

ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ

С РОЖДЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПОЯВИЛИСЬ ТРАНЗИСТОРНЫЕ ПРИЕМНИКИ И ПОРТАТИВНЫЕ МАГНИТОФОНЫ, КОСМИЧЕСКАЯ РАДИО- И ТЕЛЕСВЯЗЬ, МАЛОГАБАРИТНЫЕ ЭВМ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ, БИОНИКА, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА, ГОЛОГРАФИЯ ОБЯЗАНЫ СВОИМ ВОЗНИКНОВЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКАМ...

И. ДЗЮБИН

ПУТЕШЕСТВИЕ В СТРАНУ ЛИЛИПУТОВ

И. ДЗЮБИН

ПУТЕШЕСТВИЕ
В СТРАНУ
ЛИЛИПУТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
МОСКВА 1975

Дзюбин И. И.

Д43 Путешествие в страну лилипутов. М., «Знание», 1975.

160 с. (Жизнь замечательных идей).

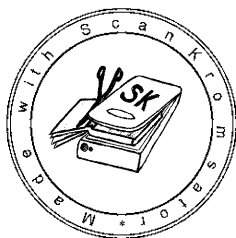
Минуло четверть века со дня изобретения замечательного полупроводникового устройства — транзистора. Появившись на свет, транзисторы оказались именно теми приборами, которые смогли совершить подлинный переворот в современной технике.

Благодаря полупроводникам появились транзисторные приемники и портативные магнитофоны, космическая связь и телевидение, малогабаритные вычислительные машины, современные медицинские приборы и другие устройства. Немало замечательных достижений принесли они и в другие области науки и техники. Бионика, оптоэлектроника, голография обязаны своим рождением полупроводникам.

О роли полупроводников в радиоэлектронике, о трудностях и победах этой молодой науки и рассказывается в этой книге.

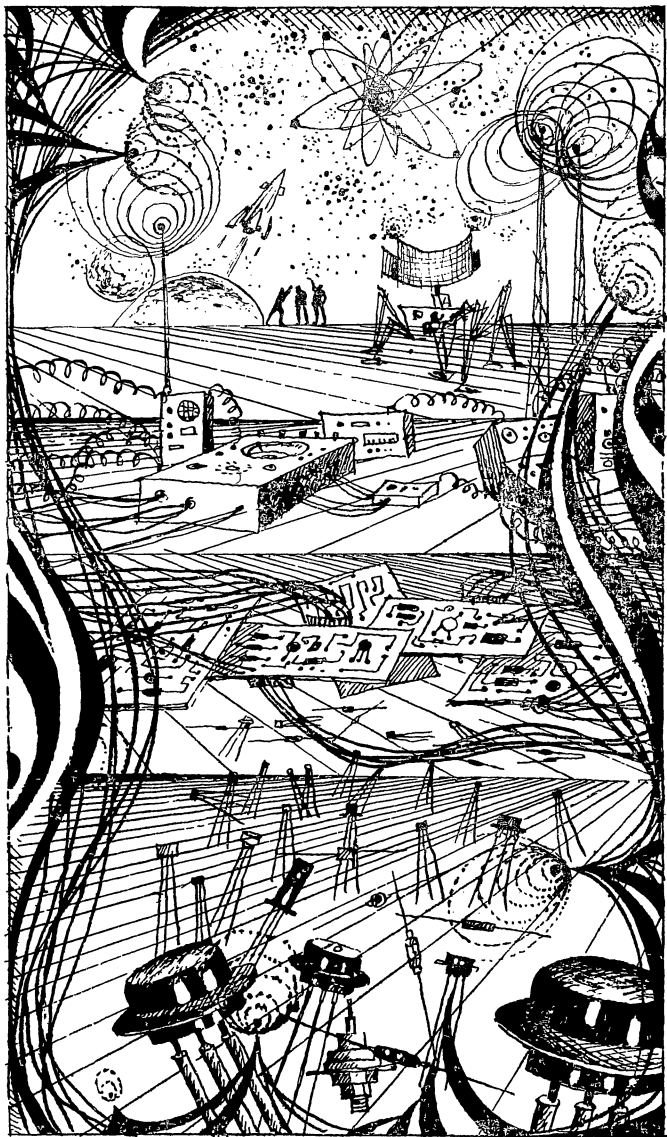
Д $\frac{20408-055}{73(02)-75}$ 163—75

531.9



Scan AAW

ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ





ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

*Ум человеческий имеет три ключа,
все открывающих: знание, мысль,
воображение — все в этом.*

В. Г Ю Г О

Пожалуй, трудно было бы назвать такую область науки и техники, в которой за последнюю четверть века не произошло более или менее значительных изменений. Наш век в одинаковой степени может быть назван веком атомной энергии, веком кибернетики или веком космических исследований. И в то же время наш век, как никакой другой, можно охарактеризовать как век великанов и лилипутов, ибо рядом с исполинскими творениями рук человека мирно уживаются крохотные, сверхминиатюрные изделия и устройства, выполненные на полупроводниковых приборах.

Первые опыты практического применения полупроводников в радиоэлектронике относятся к началу XX в. Наш выдающийся соотечественник, изобретатель радио А. С. Попов впервые в мире применил полупроводниковый кристалл сначала в радиотелеграфии, а затем в радиотелефонии.

Идея использования полупроводников для усиления и генерирования колебаний была впервые предложена в 1922 г. советским физиком О. В. Лосевым. Молодой ученый доказал, что простой кристаллический детектор можно заставить действовать подобно электронной лампе. Однако сущность физических явлений в кристалле полупроводника не получила в то время достаточно ясного физического объяснения.

В 30-е годы группой советских ученых под руководством академика А. Ф. Иоффе было начато широкое и систематическое исследование свойств полупроводников. Аналогичные исследования проводили в эти годы и ряд зарубежных физиков — Шокли, Бардин, Браттейн и др.

Основные результаты этих работ, проводимых как в СССР, так и за рубежом, завершились в 1948 г. созданием точечного германиевого триода — транзистора.

Открытие транзистора — одно из главных достижений современной науки и техники. Именно оно дало нам возможность пользоваться и наслаждаться новейшими достижениями науки и техники. Влияние возникших на основе транзистора полупроводниковых приборов на другие области науки и техники трудно переоценить.

Благодаря транзистору электронная аппаратура уменьшилась во много раз, стала экономичнее и надежнее. Появились транзисторные приемники, телевизоры, магнитофоны и другие устройства, настолько миниатюрные, что не превышают размеров обычного спичечного коробка.

Без транзистора не могло бы быть и нашего космического века. Нужно ли говорить, что сложная и «умная» аппаратура искусственных спутников Земли и космических кораблей не обходится без транзисторов и полупроводников. Без транзисторов были бы невозможны последние достижения космонавтики — полеты межпланетных станций на Венеру и на Марс, исследование поверхности Луны автоматическими станциями и космическими кораблями «Аполлон», так как никакая другая аппаратура не смогла бы справиться с выводом космической станции на расчетную орбиту и управлением ею в процессе полета.

Время идет, и уже межпланетные станции прошли мимо Меркурия и летят к Юпитеру. На 1977 г. запланирован полет Юпитер — Сатурн — Нептун — Плутон.

А разве электронно-вычислительные машины, эти усилители умственных способностей — не впечатляющее достижение нашего времени? Благодаря транзистору вычислительные машины из громоздких и многотонных сооружений превратились в миниатюрные устройства, легко размещающиеся на письменном столе инженера и даже в кармане. Сегодня все это не расценивается как волшебство, но услышав о новых достижениях полупроводниковой электроники, мы удивляемся. Удивляемся и восхищаемся плодами человеческой деятельности. Ведь буквально на наших глазах, за какие-нибудь 25 лет сделан резкий и качественный переворот в технике и сейчас она просто немислима без крохотных кристаллов — полупроводников!

Партия всегда проявляла и проявляет постоянную заботу о всемерном развитии полупроводниковой электрони-

ки, радиопромышленности, вычислительной техники, т. е. комплекса отраслей, определяющих технический прогресс.

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства нашей страны на 1971—1975 гг. предусматривается дальнейшее ускорение темпов научно-технического прогресса на основе фундаментальных и прикладных исследований в наиболее перспективных областях науки и быстрого внедрения результатов научных исследований в производство. Одной из таких отраслей науки в Директивах названа радиоэлектроника.

Со словами «полупроводник», «транзистор» каждый из нас встречается довольно часто. Осмысленно объяснить значение этих слов могут, на первый взгляд, многие. Но если вы знаете о них только то, что «они произвели революцию в радиоэлектронике» или «заменяли хрупкую радиолампу и повысили надежность аппаратуры», то вы знаете о них приблизительно столько же, сколько знают путешественники, оказавшиеся в незнакомой стране и не изучившие ее культуру, язык.

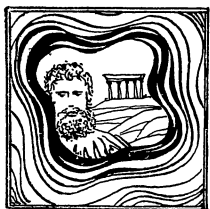
Полупроводниковая электроника наиболее подходящая страна для путешествия современного Гулливера. Это страна с богатой и глубокой культурой, поэтому наше путешествие мы начнем с усвоения понятий и образов, лежащих в основе всей техники полупроводников. Читатель узнает, какими нелегкими путями шла молодая наука к одному из замечательных открытий нашего века, как завоевывала и одерживала одну победу за другой.

В дальнейшем мы расскажем об электронике с охватом всех областей техники, в которые она уже пустила глубокие корни. Бионика и оптоэлектроника, полупроводниковые оптические генераторы и голография, космическая электроника и вычислительные машины — вот далеко не полный перечень новых направлений в технике, появление которых связано с развитием и достижениями полупроводников. Рассказать обо всем этом отнюдь нелегко, если иметь в виду все нарастающие темпы развития современной техники. Приходилось отбирать лишь те области применения, без которых сейчас невозможно представить удивительный мир полупроводников.

Трудно осознать, как стремительно развивается эта молодая наука. Ловишь себя на том, что, пытаясь осмыслить масштабы настоящего, невольно думаешь о будущем. Поэтому, рассматривая области применения полупроводников, мы неоднократно заглядываем в будущее. Это сле-

дует понимать не как попытку предсказания, а скорее как иллюстрацию того, что ожидает нас после решения многих проблем, связанных с применением электроники. Нет никаких сомнений, что полупроводники займут важное место в великих завоеваниях человеческого разума и еще раз подтвердится правильность ленинских слов: «Ум человеческий открыл много диковинного в природе и откроет еще больше, увеличивая тем свою власть над ней...»¹

¹ В. И. Л е н и н. Полн. собр. соч., т. 18, с. 298.



Если я видел дальше, чем другие, то потому, что я стоял на плечах гигантов.

И. НЬЮТОН

Догадки древних

В течение многих веков и тысячелетий человек по крупицам собирал знания об окружающем мире. Из века в век, из книги в книгу кочуют предания, иногда скупо подтверждаемые хрониками и летописцами. Одна из самых древних легенд связала с именем древнегреческого ученого Фалеса Милетского.

Более 2 тыс. лет назад Фалес Милетский открыл мир таинственных и непонятных сил. Оказалось, что натертый янтарь притягивает пушинки, кусочки дерева, а камни из местечка Магнезия притягивают железо. Кто бы мог подумать, что именно янтарная палочка станет началом настоящего переворота в познании природы? Удивительной красоты камень оказался на редкость работающим. Во время работы к веретену, сделанному из ископаемой смолы — янтаря, прилипало так много пушинок, что пряжа не успевала обтирать его. И чем больше натирали камень, тем больше пушинок к нему прилипало. Так впервые наши предки встретились с электричеством и магнетизмом.

И еще много таинственных явлений запечатлели древние летописи. Гром и молнии, электрические рыбы, тайны шаровой молнии — все это вызывало удивление, страх, восхищение далеких предков. О природе этих явлений никто не догадывался вплоть до XVII в., хотя первые попытки заглянуть в глубь вещества, раскрыть тайну строения материи были предприняты еще мудрецами Древнего Востока, Греции, Индии, Китая.

Вдумаемся в слова Демокрита из его книги «Великий диакосмос», написанной более двух тысячелетий назад: «Начало Вселенной — атомы и пустота, все остальное существует лишь во мнении. Миров бесчисленное множество, и они имеют начало и конец во времени. И ничто не возникает из небытия, не разрешается в небытие. И атомы бесчисленны по величине и по множеству, носятся же

они во Вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается все сложное: огонь, вода, воздух, земля».

Представление об атоме, пришедшее к нам из глубокой древности, долгое время оставалось неизменным. Демокрит приписывал атомам только два свойства — величину и форму, Эпикур добавлял третье — тяжесть. В течение многих веков ученые не смогли опровергнуть догадок древних.

Сейчас ни у кого не возникает сомнения в том, что земля и воздух, мы сами и все вокруг нас состоит из атомов. Науке известно немногим более 100 видов атомов вместе с созданными в последние годы искусственным путем. Каждый вид атомов соответствует определенному химическому элементу, например, кислороду, железу, водороду, сере. Содержание элементов в природе крайне неравномерно. В 1889 г. американский химик Кларк, вычисляя средний состав земной оболочки, пришел к интересному выводу. Оказалось, что окружающая нас природа построена в основном из 12 элементов. Наиболее распространенными элементами являются кислород и водород. Содержание кремния в земной коре приближается к 30%. Остальные же элементы встречаются очень редко и рассеяны в природе. Соединяя различным образом эти элементы между собой, мы и получаем все разнообразие тел и продуктов жизни.

Слово «атом» означает «неделимый». И хотя мы уже давно в состоянии «расщепить» атомы и неделимое перестало быть неделимым (мы знаем, что атомы состоят из мельчайших частиц, называемых нами элементарными), тем не менее этот термин сохранился до наших дней.

Атомы, электроны, кванты

Сейчас нет нужды доказывать, что все вещества состоят из молекул, молекулы — из атомов, атомы — из ядра и электронов. Но для того, чтобы объяснить странное поведение янтаря, понять особенности и свойства полупроводников, необходимо кратко остановиться на сложном «атомном хозяйстве».

Как же представляет себе классическая физика устройство атома?

В центре атома находится положительно заряженное ядро. Вокруг ядра вращаются отрицательно заряженные электроны, которые образуют так называемую электрон-

ную оболочку атома. От количества этих вращающихся электронов и зависят все химические свойства элементов.

Как всякое заряженное тело, электрон при вращении расходует энергию. Растратив ее, он в конце концов должен упасть на ядро. Но этого никогда не происходит.

Объяснить это явление удалось только после открытия волновой природы электрона. Оказывается, что большинству стационарных состояний электрона отвечает нечто подобное орбитальным траекториям, «размазанным» в силу неопределенности координаты. Иными словами, электрон как бы «размыт» в пространстве и существует в пределах какой-то оболочки, находясь на строго определенном расстоянии от ядра. Оболочки располагаются друг над другом на различных уровнях, окружая атомное ядро. Электроны, находящиеся на смежных оболочках, имеют неодинаковую энергию. Чем дальше от ядра находится электрон, тем больше его потенциальная энергия.

Если электроны, вращаясь вокруг ядра, находятся в пределах своей оболочки, то излучения энергии не происходит. Электроны отдают свою энергию только тогда, когда переходят с орбиты с более высоким уровнем энергии на орбиту с более низким уровнем энергии. Опускаясь с верхних уровней энергии на низшие, электроны испускают порцию энергии — квант. Переход же с ближней к ядру оболочки на дальнюю сопровождается поглощением кванта энергии. Если число электронов, содержащихся в атомах определенного вещества, недостаточно для заполнения всей оболочки, то атомы в состоянии соединяться с другими атомами и образовывать кристаллические структуры. Атомы в кристалле расположены прямыми рядами, а силы, действующие между соседними атомами, определяют твердость кристалла и внутреннюю силу сцепления. Таким образом, химические процессы, электрическое состояние тел и многое другое определяются структурой внешней электронной оболочки.

Как же ведут себя электроны в различных веществах?

Первое знакомство

Попробуем разделить все встречающиеся в природе вещества по их способности проводить электрический ток. Такое деление вещества на проводящие (проводники) и непроводящие (изоляторы) применяется давно, с тех пор как наука занялась электричеством.

Проведем несколько опытов. Проверим, как ведут себя электроны в проводниках и изоляторах.

Как известно, атомы металлов образуют кристаллическую решетку. В отсутствие приложенного напряжения электроны свободно перемещаются между атомами. И если взять любое условное сечение внутри объема металла и подсчитать число электронов, проходящих через это сечение в единицу времени, то окажется, что число электронов, перемещающихся через него слева направо, всегда будет равно числу электронов, проходящих справа налево. А это значит, что электрического тока в этом объеме металла нет.

Но стоит только подключить металлическую пластину к двум полюсам источника напряжения, как хаотическое движение электронов пропадает. Свободные электроны теперь не только участвуют в беспорядочном тепловом движении, но и перемещаются к положительному полюсу источника. На место, освобожденное ушедшими электронами, электрическое поле выталкивает другие из отрицательного полюса источника. В металле возникает электрический ток. При нагревании пластины электронам труднее двигаться вперед, поэтому при повышении температуры сила тока уменьшается. В этом свойстве важный признак электропроводности металла.

Совсем иначе дело обстоит с изоляторами. В изоляторах валентные электроны прочно связаны в атомах. Там нет свободных электронов, а значит, нечему создавать электрический ток. Но если мы сильно нагреем изолятор, он может потерять свои изолирующие свойства. Связи между атомами нарушатся, и изолятор может превратиться в полупроводник.

Каковы же особенности полупроводников? В силу каких своих качеств они нашли столь широкое применение в технике, в нашей жизни?

Уже само название «полупроводник» говорит о том, что к числу полупроводников должны быть отнесены вещества, способные проводить электрический ток. Однако их проводящие свойства гораздо хуже и занимают промежуточное место между проводимостью металлов и изоляторов. Чисто количественная оценка проводимости этих веществ привела к тому, что эти вещества были выделены в специальную группу полупроводников. Таким образом, этим названием подчеркивалось, что данные вещества представляют собой плохие проводники.

Как выяснилось в дальнейшем, после тщательного изучения механизма проводимости, полупроводники не только количественно, но и качественно отличаются от проводников. У полупроводников гораздо больше общих свойств с изоляторами, и в этом смысле их с успехом могли называть «полуизоляторами». Тем не менее за ними было сохранено их традиционное название.

Отличительной особенностью полупроводников является сильная зависимость параметров от изменения температуры, обусловленная их физическими свойствами. С повышением температуры электропроводность полупроводников улучшается, а с уменьшением — ухудшается. При очень низких температурах, близких к абсолютному нулю, полупроводник может превратиться в изолятор.

Следующей характерной чертой полупроводников является их сильная чувствительность к различного рода примесям, т. е. атомам других элементов. Ничтожные доли процента примесей, введенных в полупроводник, могут в тысячи и более раз изменить его электропроводность. Кроме того, электропроводность полупроводников может сильно изменяться при радиоактивном облучении, а также с изменением освещенности.

То, что было рассказано выше, вероятно, хорошо известно многим читателям. Это, так сказать, прописные истины, но остановиться на них, хоть и мельком, было нужно, иначе трудно понять, почему полупроводники выделены в особую группу веществ.

Какие же вещества относятся к полупроводникам?

Окружающий нас мир богат такими веществами. Их можно извлекать из песка, сажи, камня. Пожалуй, можно сказать, что полупроводники представляют собой группу веществ, гораздо более обширную, чем проводники и изоляторы, вместе взятые. Однако для производства полупроводниковых приборов применяются, главным образом, германий, кремний, а также полупроводники в виде химических соединений, такие, как арсенид галлия, антимонид индия, фосфористый галлий, и др.

Кремний — один из самых распространенных в природе элементов. Как химический элемент он известен науке относительно давно. Кремний был открыт И. Берцелиусом в 1823 г. и впервые получен в свободном состоянии в 1825 г. Несколько позже, в 1886 г., немецким ученым К. Винклером был открыт германий. Он подробно исследо-

вал свойства германия и в честь своей родины дал ему имя, которое и сохранилось до наших дней.

Интересно отметить, что существование германия и его свойства еще за 15 лет до открытия предсказал известный русский химик Д. И. Менделеев на основании разработанной им периодической системы элементов.

Германий и кремний обладают очень многими общими свойствами. Но если кремний имеется в изобилии, то германий — очень редкий элемент; его содержание в других минералах обычно составляет доли процента.

Арсенид галлия представляет собой соединение мышьяка с галлием. По сравнению с германием и кремнием арсенид галлия значительно меньше подвержен воздействию температуры и радиации, что делает его незаменимым при изготовлении целого ряда приборов. Это прежде всего генераторы Ганна, туннельные диоды, транзисторы и некоторые другие приборы.

Но есть и огромное количество других полупроводников, одни из которых уже используются, а другие ждут раскрытия своих тайн. Уже сейчас широкое применение находят двойные полупроводниковые соединения элементов третьей и пятой, второй и шестой групп таблицы Менделеева, а также карбид кремния. Ведется большая работа по выращиванию монокристаллов полупроводниковых материалов. Результаты этих работ позволят глубже понять связь между различными свойствами кристалла, содержанием в нем примесей и особенностями его структуры. Это открывает новые пути целенаправленного изменения свойств полупроводников.

Вот мы и познакомились с тремя группами веществ, уяснили основные их свойства.

Теперь настало время начать разговор о механизме электропроводности в полупроводниках.

Электроны встречаются с дырками

Рассмотрим поведение электронов в таких широкопространенных полупроводниках, как германий или кремний.

Внешняя электронная оболочка атома германия (и кремния) образована четырьмя электронами. Каждый из этих электронов образует с четырьмя соседними атомами

парноэлектронные связи. Каждая пара электронов жестко связана со своей парой атомов и не может свободно перемещаться в объеме полупроводника. При этих условиях в полупроводнике не должно бы быть свободных носителей заряда и он должен бы быть хорошим изолятором. Такое предположение справедливо, если полупроводник обладает идеальной структурой и находится при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Достаточно воздействовать на полупроводник теплом или электрическим полем, как часть электронов разрывает свои связи с атомами и становится свободной: в полупроводнике появились носители электричества, его электропроводность увеличилась.

Введем теперь в полупроводник атом примеси. Добавим в германий немного сурьмы или мышьяка — элементов пятой группы. Тогда четыре электрона займут место в связях с соседними атомами германия, а пятый окажется как бы лишним. Этот электрон связан со своим атомом гораздо слабее, чем остальные электроны, задействованные в валентных связях, поэтому такие избыточные электроны легко освобождаются от атома и превращаются в свободные носители заряда. Движение этих электронов под влиянием электрических сил и представляет собой ток в полупроводнике. В этом случае говорят, что полупроводник обладает электронной проводимостью.

Если же в качестве примеси использовать элементы третьей группы, например индий или галлий, у которых имеется три электрона на внешней оболочке, то всем трем электронам найдется место в структуре кристалла, а одного электрона будет не хватать. Это место свободного, незанятого уровня специалисты называли дыркой. Сюда может «прыгнуть» электрон другого атома соседа. В том месте, откуда ушел электрон, образуется новая дырка, которая, в свою очередь, будет заполнена каким-нибудь другим электроном. Получается, что дырка способна перемещаться вдоль полупроводника, а это аналогично перемещению положительных зарядов.

Итак, в полупроводнике электрический ток создается не только теми электронами, которые по каким-то причинам вырываются из «плена» атомов. Электроны, не освободившиеся совсем, а только перескакивающие с атома на атом, перемещаются туда, куда их влечет электрическое поле. А такое движение зарядов представляет собой не что иное, как электрический ток.

Мы приходим к выводу: в полупроводнике существуют два вида проводимости — электронная и дырочная. Грубо говоря, электронная проводимость — это обычный электрический ток, движение электронов, а дырочная — движение фиктивных, несуществующих положительных зарядов, по величине равных электронным. Что такое фиктивный заряд — объяснила квантовая теория. В полупроводнике не все нормальные квантовые состояния насыщены электронами. Отсутствие на положенном месте электрона, т. е. отрицательного заряда, равносильно присутствию там положительного заряда той же абсолютной величины. Это и есть «дырка». Движение «дырки», т. е. перемещение свободного квантового состояния из-за того, что его покидает электрон, соответствует положительному току.

Вводя в кристалл полупроводника разные примеси, получают в нем области со свободными электронами и области с дырками. На границе таких областей образуется так называемый электронно-дырочный переход, на использовании свойств которого основано большинство современных полупроводниковых приборов.

Взять, к примеру, простейший полупроводниковый прибор — диод. Диод можно рассматривать как два спаренных кристалла с разными типами проводимости: электронной и дырочной. Подключим диод к батарее таким образом, чтобы «плюс» источника был подсоединен к дырочному слою, а «минус» — к электронному. Электроны, которыми обильно насыщен электронный слой, будут притягиваться к положительному полюсу батареи. Одновременно из дырочной области переключиваются положительные заряды. Два потока зарядов идут навстречу друг другу — через диод течет ток.

Поменяем местами «плюс» и «минус» источника. Картина резко меняется. Теперь электроны отталкиваются электрическим полем в сторону положительного полюса. В дырочном слое электроны будут смещаться не к «минусу» источника, а в глубь полупроводника и заполняют все дырки у границы электронно-дырочного перехода. Условий для образования дырок не существует, ток через диод не протекает. Итак, на границе электронного и дырочного слоев возник запирающий слой — зона, в которой нет ни электронов, ни дырок. В этой зоне полупроводник обладает свойствами изолятора.

Односторонняя проводимость — одно из важных свойств электронно-дырочного перехода. Убедиться в этом не труд-

но, если подвести к диоду переменное напряжение. Очевидно, запирающий слой будет периодически расширяться и исчезать. И налицо результат: перед нами простейший выпрямитель переменного тока.

И еще одно достоинство у электронно-дырочного перехода: его ширина способна изменяться в зависимости от амплитуды подводимого напряжения. Увеличивая или уменьшая напряжение, мы можем сближать или раздвигать запирающий слой. Не правда ли, большое сходство с конденсатором переменной емкости. Только здесь не требуется механического воздействия для изменения расстояния между пластинами. Эту операцию выполняет электрическое поле.

По мере того как ученые накапливали данные о кристаллах, стали обнаруживаться удивительные вещи. Оказывается, в кристалле полупроводника можно создать не только один, а два, три, несколько электронно-дырочных переходов. А это открывало возможности создания принципиально новых полупроводниковых приборов, на основе которых и получила развитие современная радиоэлектроника. Но это случилось лишь в 50-е годы нашего столетия.

А пока возвратимся примерно на 150 лет назад. Я думаю, читателю будет интересно узнать, как полупроводники постепенно входили в нашу жизнь и становились нашим другом.

Тепло и холод

В 1822 г. немецкий физик Зеебек, проводя серию опытов с разнородными проводниками, наблюдал явление, получившее впоследствии название термоэлектрического эффекта.

Зеебек начал свой поиск с изучения электрических явлений в проводниках, описанных к тому времени в серии работ Эрстеда, Ампера, Фарадея и других ученых.

Опыт Зеебека может повторить каждый. Достаточно взять два (или несколько) различных по составу проводника, соединить их между собой, а затем подогреть в месте спая. При замыкании такой цепи на миллиамперметр последний отметит появление тока, который будет течь непрерывно, если поддерживать разность температур меж-

ду спаями. Налицо превращение тепловой энергии в электрическую.

Конечно, проводя свои опыты, Зеебек не мог сделать верных выводов. По его собственным словам, наблюдаемые явления есть не что иное, как «магнитная поляризация металлов и руд, вызванная разностью температур». Более того, в своем трактате, опубликованном в «Известиях Прусской академии наук», Зеебек пытался связать земной магнетизм с разностью температур между экватором или серией южных вулканов и полярными льдами. Всячески подчеркивая связь между теплотой и магнетизмом, он не желал замечать истинного виновника этой связи — электрического тока.

Но этот научный курьез имел и свою положительную сторону. Пытаясь доказать свою правоту, Зеебек провел колоссальное количество опытов, используя при этом различные материалы (твердые и жидкие металлы, полупроводники, сплавы металлов и др.). Оказалось, что в полупроводниках термоэлектродвижущие силы в десятки раз больше, чем в металлах. И это понятно. Ведь в полупроводниках концентрация носителей тока с увеличением температуры растет значительно быстрее, чем в металлах. Поэтому наблюдаемые термоэлектродвижущие силы во многих полупроводниках были в десятки раз больше, чем в металлах.

Но как ни странно, на протяжении многих лет ученые рассматривали эффект Зеебека скорее как забавное явление, чем важное открытие, способное сыграть большую роль в решении энергетических проблем. И только в 30-х годах нашего столетия физики снова вернулись к исследованию термоэлектрических свойств полупроводников.

Важность открытого Зеебеком явления неоднократно подчеркивал академик А. Ф. Иоффе. «Если бы вслед за своим открытием Зеебек пытался бы использовать термоэлементы для получения электроэнергии,— писал Иоффе,— то он мог бы получить КПД порядка трех процентов, то есть столько же, сколько давали лучшие паровые машины того времени».

Последующие исследования подтвердили правильность этих слов. Достаточно сказать, что на эффекте Зеебека созданы термобатареи, термогенераторы и другие приборы, преобразующие тепловую энергию в электрическую. Все они с успехом используются для решения целого ряда практических задач.

Так был разрешен основной парадокс, стоявший на пути теории полупроводников. Но стремление овладевать все новыми и новыми тайнами природы безгранично. Подтверждением этого является открытие француза Жана Пельтье.

Спустя 12 лет после открытия Зеебека часовщик Пельтье опубликовал во французских «Анналах физики и химии» за 1834 г. статью о температурных аномалиях, наблюдаемых вблизи границы двух различных проводников.

Пельтье составил цепь из разнородных материалов и пропускал через нее постоянный электрический ток. Оказалось, что ток, протекающий по такой цепи, создает в месте спая разность температур и, наоборот, разность температур вызывает в замкнутой цепи электрический ток. Впоследствии было точно установлено, что Жан Пельтье наблюдал эффект, обратный эффекту Зеебека.

Наблюдаемый эффект был тем сильнее, чем больше термоэлектродвижущая сила. Особенно разительный контраст Пельтье обнаружил на границе материалов висмут — сурьма. Так, при пропускании тока в направлении от висмута к сурьме температура спая повышалась на 37°C , а при изменении направления тока тот же спай охлаждался на 45°C .

Пельтье не сумел правильно объяснить сущность происходящих явлений.

Потребовалось несколько лет для выяснения истинного смысла этого явления. Конец всем сомнениям положил петербургский академик Э. Ленц. Он проделал довольно простой опыт. На месте спая двух проводников — висмута и сурьмы он поместил каплю воды. Пропуская ток через цепь, Ленцу удалось настолько понизить температуру одного спая, что капля воды замерзала. Сразу отпали все сомнения и была четко сформулирована следующая закономерность: при прохождении тока в цепи, состоящей из различных проводников, в местах контакта, в дополнение к теплоте Джоуля — Ленца, выделяется или поглощается (в зависимости от направления тока) некоторое количество тепла, пропорциональное прошедшему через контакт количеству электричества и некоторому коэффициенту, зависящему от природы материалов, названному коэффициентом Пельтье.

Как и в случае термоэлектрических явлений, открытых Зеебеком, эффект Пельтье особенно ярко проявлялся при использовании полупроводников. И если, используя явление Зеебека, люди научились превращать тепло в электроэнергию, то явление Пельтье навело ученых на мысль использовать электрический ток для получения искусственного холода. Правда, практически использовать эффект Пельтье оказалось возможным только в наши годы.

Этот эффект лежит в основе действия таких охлаждающих устройств, как бытовые и технические (полупроводниковые) холодильники. Преимущества их по сравнению с другими подобными устройствами достаточно велики. Они экономичны, просты в изготовлении, могут обеспечить охлаждение в малых объемах, что чрезвычайно важно при проведении ряда исследований.

Тепло и холод... Знакомые и близкие с детства слова. Но сколько понадобилось времени и людских усилий, пока человек сумел овладеть полупроводниками и научился извлекать из них пользу. В перспективе развитие термоэлектричества может привести к таким открытиям, что любые прогнозы окажутся слишком скромными.

Не будем, однако, забегать далеко вперед. Посмотрим лучше, чего уже достигла новая наука о полупроводниках.

Тайна света

Много труда пришлось потратить ученым, чтобы ответить на, казалось бы, простой вопрос: что такое свет?

Мы знаем, что первый шаг в этом направлении сделал английский физик Джеймс Клерк Максвелл. В 70-х годах прошлого столетия он ввел в физику понятия об электрических и магнитных полях и вывел уравнения, описывающие законы электричества и магнетизма.

Согласно теории Максвелла, электромагнитное поле распространяется в виде волны, причем волны незатухающей. Но в виде таких «поперечных» волн распространяется и свет. И не только в виде волн. Как выяснилось позднее, природа света двоякая. С одной стороны, это волны, с другой — поток частиц — квантов. Получается, что, освещая какой-либо предмет, мы словно обстреливаем его определенными порциями электромагнитных волн. Длина световых волн — доли микрона. Чем меньше длина волны, тем большей энергией обладает световое излучение.

Поначалу теория Максвелла казалась сложной и надуманной. Но последовавшие вслед за открытием серии опытов как по изучению световых явлений, так и электромагнитных волн полностью подтвердили правильность и стройность теории Максвелла.

В эти же годы, а точнее в 1873 г., английский электротехник Уиллоуби Смит вместе со своим помощником Мейем проводил испытания подводного кабеля. Для этих работ У. Смигу были необходимы материалы с высоким электрическим сопротивлением. Ученый перепробовал множество веществ и в конце концов выбрал полупроводник — селен. Включив селеновый элемент в электрическую цепь, Мей заметил, что ток внезапно резко возрос. Проверив цепь и не обнаружив короткого замыкания, Смит случайно обратил внимание на маленький луч света, который освещал селеновую палочку. Неужели луч света так изменил электропроводность селена? Загородив луч рукой, Смит наблюдал уменьшение тока. Объяснение происходящему было найдено.

Вскоре было создано первое селеновое фотосопротивление. Идеально простой прибор — маленький кусочек полупроводника — оказался в десятки раз чувствительнее к свету, чем человеческий глаз.

Немалая заслуга в создании первого прибора, использующего внутренний фотоэффект, принадлежит американскому изобретателю Беллу. В 1880 г. на заседании Американского общества распространения наук Белл сделал доклад, в котором рассказал о сконструированном им приборе, получившем название «фотофон».

Конструкция фотофона чрезвычайно проста. Перед селеновой пластинкой, включенной в цепь источника постоянного тока и телефона, устанавливалось тончайшее зеркало. С одной стороны на зеркало направлялись звуки человеческой речи и, по существу, оно служило мембраной. На другую поверхность зеркала с помощью системы линз направлялся сконцентрированный пучок солнечных лучей. Отражаясь от поверхности зеркала, свет попадал на селеновую пластинку и таким образом воспроизводил все колебания мембраны, т. е. человеческой речи. Такое устройство позволяло вести передачу и прием человеческой речи на расстоянии прямой видимости. Так впервые с помощью световых волн были осуществлены передача и прием сигналов на расстоянии.

Радио это или не радио? Ведь слово «радио» в переводе с латинского означает «луч». Значит, радио может работать на различных лучах, учитывая, что свет и электромагнитные волны имеют одну и ту же природу. Это доказал немного позднее немецкий физик Генрих Герц.

От искры до электронной лампы

Перенесемся с Американского континента в лабораторию Герца.

В 1888 г. Герц, не зная усталости, настойчиво изучает электромагнитные явления. После долгих и настойчивых поисков был создан знаменитый вибратор Герца — генератор, излучающий в пространстве радиоволны.

Трудно себе представить, как на такой чрезвычайно простой установке, состоящей из кусков проволоки и шариков, можно было открыть волны, давшие потом жизнь радио и телевидению? И вместе с тем именно в опытах Герца зародился принцип беспроводной связи.

Хотя Герцу удалось обнаружить электромагнитные волны на расстоянии не более 3 м, теория Максвелла в этих опытах нашла блестящее подтверждение.

Но это еще не открытие радио. В установке Герца не хватало ряда существенных элементов, без которых радиосвязь немыслима. Да и сам ученый сомневался, что можно использовать электромагнитные волны для практических целей.

Прошло несколько лет, и в России радиоволны были впервые поставлены на службу человеку. Это сделал наш выдающийся соотечественник Александр Степанович Попов.

Собранный им радиоприемник был безламповым. Увлечшись опытами Герца и пытаясь воспроизвести их, Попов сразу подметил их слабые и сильные стороны. Сильная сторона заключалась в том, что давала возможность вести передачу и прием на расстоянии. И как бы ставя перед собой задачу на будущее, А. С. Попов пишет: «Если бы изобрести такой прибор, который заменил бы нам электромагнитное чувство, то его можно было бы применять и в передаче сигналов на расстоянии».

Слабая сторона заключалась в том, что максимальное расстояние, на котором еще можно было различить «искры Герца», не превышало 20 м.

Необходимо было найти замену искровому разряднику. Помог случай. В лекции известного английского физика Оливера Лоджа, посвященной памяти только что скончавшегося Генриха Герца, в частности, говорилось, что он, О. Лодж, попытался использовать для регистрации электромагнитных волн металлические порошки и заметил, что они более чувствительны к электромагнитным волнам, чем вибратор Герца.

В первом номере «Журнала Русского физико-химического общества» за 1896 г. Попов писал: «...Я занялся воспроизведением некоторых опытов Лоджа над электрическими колебаниями с целью пользоваться ими на лекциях... В результате я пришел к устройству прибора, служащего для объективных наблюдений электрических колебаний, пригодного как для лекционных целей, так и для регистрации пертурбаций, происходящих в атмосфере».

Именно эта работа по воспроизведению демонстрационных опытов О. Лоджа принесла желаемые результаты.

Исследуя различные порошки, Попов добился того, что металлический порошок при разряде из плохого проводника превращался в хороший, по нему начинал протекать ток. Так впервые Попов применил кристаллический детектор в технике приема сначала радиотелеграфных, а затем и радиотелефонных сигналов.

Публично опыты были показаны 7 мая 1895 г. — в день, который мы отмечаем как День радио.

Исследование кристаллических детекторов продолжалось и в начале XX в. В период с 1900 по 1905 г. в России и за рубежом было проведено изучение детекторных свойств точечного контакта металлической пружины с кристаллами таких полупроводников, как карбид кремния, кремний, теллур. Так постепенно полупроводники начинали входить в нашу жизнь.

С чего начинается радиолюбитель? С детекторного приемника. Предельно проста его конструкция. Проволочная катушка, невзрачный камешек детектора, наушники. Вот и вся премудрость.

Именно так, благодаря детектору — кристаллу, до радиослушателей доходили передачи радиовещательных станций. При этом использовался не весь кристалл, а только ничтожно малая точка на его поверхности, в которую упирался тоненький капризный усик. Найти эту капризную точку, дающую самый громкий и поразительно

чистый прием радиопередачи, было делом большого терпения. Но несмотря на идеальную чистоту принимаемых передач, детектор не усиливал радиосигналов, а только добросовестно пропускал и преобразовывал ту порцию энергии, которую могла уловить антенна. Этой энергии от передатчика доходило ничтожно мало. Поэтому детекторные приемники могли принимать сигналы только довольно мощных и относительно близко расположенных радиостанций. И тем не менее детекторные приемники сыграли очень большую роль в радиофикации нашей страны, особенно в сельских местностях.

По мере развития радиотехники совершенствовались и сами детекторы, но это совершенствование сводилось главным образом к нахождению естественных кристаллов, обладающих лучшими свойствами, и подбору к ним соответствующих металлических зондов.

Так продолжалось до тех пор, пока не была открыта электронная лампа.

Рождение исполина

После изобретенного Поповым радио прием и передача радиовещательных программ осуществлялись с помощью искровых радиостанций.

Трудно себе представить более несовершенные приборы. Единственным способом возбуждения электромагнитных колебаний высокой частоты был метод разряда контура, состоящего из емкости и индуктивности, через искровой промежуток. Сильно затухающие волны создавали огромные помехи. Требовалась коренная переработка всех принципов возбуждения и приема сигналов. Примерно к 1910 г. искровые радиостанции достигли предела своих возможностей и дальнейшее их развитие прекратилось. А позднее, в конце 30-х годов были наложены запреты на применение искровых радиостанций, так как они стали основным источником радиопомех и мешали работе других станций.

В связи с запросами радиосвязи остро встала проблема найти устройство, способное не только выпрямлять, но и усиливать принимаемые сигналы.

Еще в конце прошлого века известный американский изобретатель Т. А. Эдисон обратил внимание на интересное явление, которое так и вошло в историю техники как

«эффект Эдисона». Он обнаружил, что от раскаленной нити обычной электрической лампочки исходят электрические заряды. И если создать «космос в миниатюре» — откачать воздух из баллона и поместить вторую пластинку (теперь ее называем анодом), то можно заметить, что между пластинками, не соединенными вместе, протекает электрический ток. Так возник прообраз двухэлектродной лампы — диода, который был изобретен англичанином Флемингом в 1904 г.

Прошло всего два года, и в диод была введена управляющая металлическая сетка. Появилась первая усилительная лампа — триод, а ее изобретателем оказался французский ученый Ли де Форест. В дальнейшем техника электронных ламп развивалась очень быстро — появились лампы, содержащие не одну, а несколько сеток — тетроды, пентоды и т. п. Но принцип устройства и работы их остался неизменным.

Известный физик Луи де Бройль при чествовании Ли де Фореста сказал, что именно им введен принцип, на котором основаны все современные лампы этого рода: регулирование тока, текущего в вакуумной лампе между катодом и анодом, с помощью других вспомогательных элементов.

Изобретение электронной усилительной лампы произвело буквально революцию не только в области чистой радиотехники, но и во множестве других отраслей.

Радиолюбители старшего поколения хорошо помнят первые годы победного шествия радиоламп. Какими они казались совершенными по сравнению с примитивными кристаллическими детекторами!

Радиолампам и впрямь было чем гордиться. Ведь с их помощью мы получили возможность слушать радио без надоевших наушников. Именно тогда в наших домах зазвучали первые громкоговорители.

Оказалось, что сигналы можно усиливать многократно в нескольких лампах подряд. Да и не только усиливать. Радиолампы с двумя электродами выпрямляли переменный ток, т. е. играли роль детекторов. Лампы, снабженные дополнительными электродами, исключительно тонко управляли потоками электронов. Наконец, в этих приборах было нетрудно возбуждать разнообразные электрические колебания.

Благодаря радиолампе развились современные системы звукового и телевизионного радиовещания, появились

радиолокация, радионавигация, вычислительные машины и многие другие замечательные достижения человечества. Произошла настоящая революция, которая вызвала к жизни новую обширную область знаний — электронику.

И каждый раз, когда в развитии радиоэлектроники возникали затруднения, ученые неизменно обращались к электронной лампе. Действительно, она долго не знала конкуренции. Однако и здесь со временем обнаружилось много слабостей. Это — значительное потребление электроэнергии, большой вес, большие габариты ламповой аппаратуры и, самое главное, недостаточная надежность радиоламп в работе. Пока речь шла о несложных или относительно медленных процессах в мире радиоламп, все обстояло благополучно. Но по мере развития радиолокации и освоения новых частотных диапазонов нас все меньше удовлетворяла электронная лампа. Все сильнее начинало сказываться влияние паразитных междуэлектродных емкостей. Чем труднее и сложнее вставляли задачи, тем привлекательнее казалась мысль: а нельзя ли, используя вещество самого проводника, твердого тела, управлять электрическим током? Можно ли извне менять электропроводность кристаллической структуры и как этого добиться? От решения этих вопросов зависело дальнейшее развитие радиоэлектроники. И тогда взоры ученых обратились к ранее отвергнутому и забытому открытию О. В. Лосева.

Открытие, удивившее весь мир

В 1973 г. исполнилось 70 лет со дня рождения пионера физики твердого тела Олега Владимировича Лосева (1903—1942). Имя его известно главным образом специалистам в области полупроводниковой электроники, хотя Лосев вполне заслуживает того, чтобы о нем знали самые широкие круги, — это был талантливый ученый, изобретатель, положивший начало новому направлению в физике.

Доставляет большое удовольствие писать о нем не только потому, что любовь Лосева к науке была поразительна, но еще и потому, что консервативно настроенные западные ученые не прочь приуменьшить заслуги нашего соотечественника.

Четырнадцатилетним юношей в 1917 г. Лосев случайно попал на популярную лекцию В. М. Лещинского, занимав-

шего в то время пост начальника Тверской радиоприемной станции. Так состоялось первое знакомство с радиотехникой, которое и решило дальнейшую судьбу юноши. Он посещает радиостанцию, работает дома в созданной им кустарной «лаборатории», знакомится с часто бывавшим на Тверской станции крупнейшим ученым В. К. Лебединским. И читает, читает много, систематически, упорно, в первую очередь выбирая специальные книги по физике и радиотехнике.

В 1920 г. Лосев заканчивает реальное училище. Лебединский приглашает любознательного юношу к себе в лабораторию в Нижний Новгород. На первых порах ему поручали выполнять несложные задания инженеров по сборке отдельных узлов и приборов радиоаппаратуры. Но как только выкраивались свободные часы, Лосев посвящал их исследованию механизма действия кристаллических детекторов. Это была новая и интересная работа.

Прошло два года. Это были тяжелые годы для молодой Республики Советов. Не хватало продовольствия, топлива. Стояли фабрики, заводы. Попытки экспериментально доказать целый ряд явлений зачастую натывались на отсутствие необходимого оборудования, аппаратуры. И здесь в полной мере проявились незаурядные качества Лосева: собранность, целеустремленность, умение выполнять работы своими руками. «У Олега Владимировича был исключительный талант из предметов, которые были под руками, и отходов — кусков дерева, обрезков проволоки, жестянок и т. п. — создавать именно такие приборы, с помощью которых можно было наблюдать интересующие его физические явления», — писал позднее профессор Г. А. Остроумов.

Поначалу О. В. Лосев изучал детекторы различного типа как радиолобитель. В процессе этих исследований он обнаружил в детекторе из цинкита (минеральная окись цинка) со стальным острием способность возбуждать в радиотехнических контурах собственные незатухающие колебания. Эта работа была опубликована в 1922 г. в журнале «Телеграфия и телефония без проводов». В ней дано подробное описание опытов с детекторами и показана возможность их использования как гетеродина в детекторном приемнике.

Лосев установил, что некоторые детекторы могут не только выпрямлять, но и усиливать сигнал, если их рабочая точка находится на участке вольт-амперной харак-

теристики, где сопротивление детектора становится отрицательным. Этот принцип лег в основу безлампового радиоприемника с усилением сигнала, который Лосев назвал кристадином (кристаллическим гетеродином).

Первый образец кристадина Лосев изготовил в 1923 г. К этому времени начала работать Центральная радиотелефонная станция в Москве, передачи которой на простые детекторные приемники можно было принимать только вблизи от столицы. Кристадин же позволял не только значительно увеличить дальность приема радиостанций, но был прост и дешев в изготовлении.

Так Лосев сумел заставить простой детектор действовать подобно электронной лампе.

Интерес к кристадину был огромный. «Сенсационное изобретение» — под таким заголовком американский журнал «Радио ньюс» в сентябре 1924 г. напечатал редакционную статью, целиком посвященную работе Лосева. «Открытие Лосева делает эпоху», — писал журнал, выражая надежду, что вскоре хрупкую и довольно сложную вакуумную лампу заменит маленький кусочек цинкита или другого вещества — простого в изготовлении и нетребовательного в обращении (термина «полупроводник» тогда не существовало).

В 20-х — 30-х годах кристадин Лосева получил широкое распространение среди радиолюбителей нашей страны и за рубежом.

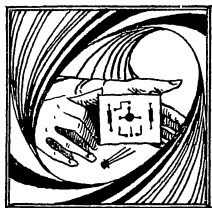
Продолжая исследование кристаллических детекторов, Лосев вскоре открыл новое явление — свечение карборунда при прохождении сквозь него электрического тока. Как бы предвидя современные полупроводниковые источники света, Лосев в одной из работ писал: «Светящийся детектор может быть пригоден в качестве светового реле как безынертный точечный источник света». Спустя почти 20 лет это явление было вновь открыто американским физиком Дестрио и получило впоследствии название «электролюминесценция». В настоящее время электролюминесценция широко применяется в полупроводниковых лазерах, телевидении, светотехнике.

В результате вдохновенной работы Лосева родилось новое направление, лежащее на границе между радиотехникой и физикой и называемое ныне полупроводниковой электроникой. Особенно высоко ценил исследования Лосева академик А. Ф. Иоффе. В 1938 г. по инициативе Иоффе Лосеву за совокупность работ была при-

суждена степень кандидата физико-математических наук.

Шли годы. Началась вторая мировая война. Находясь в Ленинграде, Лосев продолжал исследовательскую работу, направляя все свои знания и умение на решение оборонных задач.

Он умер тридцати девяти лет, так и не дожив до полного торжества своих открытий. А они завоевывали себе позиции с большим трудом. Нужен был толчок, какое-то яркое событие, которое бы привлекло внимание физиков и показало бы во всей полноте значение работ Лосева.



ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО С ЛИЛИПУТАМИ

Сделать открытие, значит увидеть то, что все видят, и подумать при этом то, что до сих пор никому в голову не приходило.

А. СЕНТ-ДЬЕРДИ

Вокруг транзистора

В июле 1948 г. на одной из страниц газеты «Нью-Йорк таймс» было опубликовано скромное сообщение о том, что фирма «Белл телефон лабораториз» разработала электронный прибор, способный заменить электровакуумную лампу. Как подчеркивалось в сообщении, это был точечно-контактный прибор, в котором два металлических «усика» контактировали с брусом из поликристаллического германия. Его создателями были американские ученые Д. Бардин и У. Браттейн, работавшие под руководством У. Шокли.

Сложными и разными путями шла наука к транзистору. Вслед за открытием О. В. Лосева в лабораториях многих стран мира начались работы по исследованию свойств полупроводниковых структур. Ученые по крупицам накапливали знания о полупроводниках, пробовали «оживить» пока еще трудноконтролируемые в работе кристаллы.

Первая попытка создать трехэлектродный усилительный полупроводниковый прибор была сделана профессором Лейпцигского университета Юлиусом Лилиенфилдом. В 1925 г. им было запатентовано устройство для усиления электрических колебаний на основе полупроводниковой пленки сульфида меди. Это был первый патент на полупроводниковый усилитель. Объектом изобретения, писал Лилиенфилд, было «простое, надежное и дешевое реле, или усилитель, не требующее больших напряжений и применения нити накала или какого-либо аналогичного элемента».

Позднее при обосновании фирмой «Белл» своей заявки на транзистор вокруг патента Лилиенфилда возникла оживленная дискуссия. Всем было ясно, что Лилиенфилд создал твердотельный усилитель почти за четверть века

до появления транзистора. Но в то же время возникал вопрос: а можно ли заставить работать описанное в патенте устройство? Реализацию изобретения Ли́лиенфилда поручили сотрудникам фирмы «Белл». Вскоре устройство было создано, но попытка заставить его работать не имела успеха. В наши дни существует общепринятое мнение, что Ли́лиенфилд практически не реализовал описанное им в патенте устройство.

Важную роль в развитии теории полупроводников в 20—30-е годы сыграли работы, проводимые в СССР под руководством академика А. Ф. Иоффе. В те годы нелегко было предвидеть возможности практического использования полупроводников. Наука о полупроводниках только начинала делать первые и пока еще робкие шаги. Но Иоффе видит значительно дальше других. В 1931 г. он публикует статью с пророческим названием: «Полупроводники — новый материал электротехники». И это в то время, когда не существовало даже термина «физика полупроводников».

Иоффе начал усиленно изучать эти вещества. Студенты, инженеры, школьники, как зачарованные, воспринимали рассказы Иоффе о чудесах и тайнах полупроводников, обладающих таинственными и неожиданными свойствами. Сам он очень любил науку и обладал завидными способностями популяризатора.

Работать приходилось в тяжелых условиях. Слишком много было скептиков, слишком несовершенны были исследуемые образцы полупроводников. «Грязь» материалов — вот основной недостаток полупроводников. Так думали скептики. Иоффе думал иначе. Вы правы, говорил он, материалы грязные, воспроизводимости нет. Вы считаете, что такая ничтожная чувствительность к изменениям состава образца — недостаток. А мне кажется, напротив, в этом главное достоинство полупроводников.

Каким предвидением и верой в будущее полупроводников надо было обладать, чтобы за много лет до практического использования полупроводниковых материалов разгадать секреты их электропроводности. Насколько это важно, оценили значительно позднее, когда научились очищать материалы. Вводя в очищенный полупроводник те или иные примеси, люди научились управлять электрическими свойствами кристаллов. Именно это свойство полупроводников привело в дальнейшем к созданию великого множества современных твердотельных приборов.

В 1938 г. советским физиком Б. И. Давыдовым была разработана диффузионная теория выпрямления переменного электрического тока на границе двух полупроводников. Экспериментальное подтверждение этой теории сыграло важную роль в исследовании процессов, происходящих в электронно-дырочных переходах. Как мы увидим позже, распространив идеи Давыдова, американский физик У. Шокли заложит основы современной теории электронно-дырочных переходов — одного из краеугольных камней фундамента физики полупроводников.

Но тогда мало кто из физиков хотел ломать голову над этой теорией. И причина была та же: никто не мог понять и прочувствовать свойства плохо очищенных и практически не контролируемых кристаллов.

Так обстояли дела к 1938 г., когда американцы У. Шокли и А. Холден сделали попытку создать усилитель, используя угольные контакты, на которые оказывалось давление с помощью кварцевого кристалла. Опять неудача.

Работы продолжались в военные годы. Были исследованы сотни разнообразных структур германия, кремния, но успеха достичь так и не удавалось. Правда, в процессе этих исследований были впервые получены электронно-дырочные переходы. На этой почве возник целый ряд идей и методов, с помощью которых ученые стремились объяснить наблюдаемые явления.

Хотя причины неудач еще не находили достаточного объяснения, все понимали, что ситуация для открытия подготовлена и нужен решающий шаг.

Бомба величиной с горошину

Изобретателей транзистора часто спрашивали о путях, которые привели их к открытию. Однажды, когда один из журналистов задал У. Шокли вопрос: «Как вы это сделали?» — он ответил, что транзистор появился не в результате приложения известной теории к практике для достижения желаемой цели, но и не благодаря случаю. Напротив, транзистор был создан в результате сочетания людских усилий, потребностей и событий.

После долгой и кропотливой работы в период 1938—1948 гг. ученые пришли к выводу, что получить усиление в полупроводниках можно, лишь идя двумя путями. Пер-

вый путь вытекал из сравнения обычного лампового диода и металло-полупроводникового выпрямляющего контакта. Основная сложность заключалась в размещении третьего электрода-сетки в узком слое пространственного заряда. По этому пути пошли немецкие физики Р. Хильш и Р. Поль. Однако созданный ими полупроводниковый прибор позволял усиливать только те сигналы, частота которых была меньше 1 Гц.

Второй путь, которого придерживался У. Шокли, состоял в воздействии электрическим полем на пленку полупроводника, что позволяло управлять его проводимостью.

Бардин и Браттейн считали, что явления, наблюдаемые в обоих случаях, связаны между собой, и если попытаться найти и дать объяснение хотя бы одному из них, задача получения твердотельного усилителя может быть решена.

В конце 1947 г. начались решающие опыты. Браттейн, ведущий экспериментатор фирмы «Белл», поместил точечный металлический контакт на поверхность пластины германия с дырочной проводимостью, погруженной в электролит. Было получено усиление, но только на низких частотах. В то же время Бардин и Браттейн заметили, что при подаче постоянного смещения на электролит происходит анодное травление германия, сопровождавшееся образованием окисной пленки. Почему бы не использовать эту пленку вместо электролита?

Их предположение, что электролит ограничивает частоту усиления, оправдалось. Бардин разработал новую геометрию усилителя, и вскоре было создано работающее устройство.

Созданный прибор привлекал своей простотой. При расположении вблизи основного контакта германия зондирующей иглы и подаче на нее отрицательного напряжения ток в ее цепи возрастал в сотни раз и повторял изменение входного тока. Этот эффект был положен в основу изобретения трехэлектродного усилительного полупроводникового прибора, получившего впоследствии название «транзистор».

Мир по достоинству оценил значение этого открытия. В 1956 г. У. Браттейну, Д. Бардину и У. Шокли была присуждена Нобелевская премия.

Первые образцы германиевых точечных транзисторов в СССР были изготовлены в 1949 г. А. В. Краспловым и С. Г. Мадояном.

Ко времени изобретения транзистора существовал единственный полупроводниковый прибор — кристаллический диод. А он, как известно, имел только один электронно-дырочный переход, обладал малой чувствительностью и был очень нестабилен. А что же транзистор? В отличие от диода он имеет два электронно-дырочных перехода. Это, конечно, не случайно. Оказывается, принципы действия приборов с электронно-дырочными переходами во многом близки тем, которые характерны для электронных ламп.

Попробуем сравнить работу транзистора с работой самой простой вакуумной электронной лампы-триода.

Заглянув внутрь лампы, мы увидим три электрода: катод, сетку и анод. Катод, раскаленный протекающим через него электрическим током, испускает поток электронов, которые устремляются к аноду. Между катодом и анодом расположена управляющая сетка. Она действует подобно клапану: либо свободно пропускает электроны, либо регулирует поток электронов, замедляя их движение. Таким образом, изменяя напряжение на сетке, мы можем управлять анодным потоком. Именно это свойство позволяет применять триод в качестве усилителя электрических колебаний.

А вот перед нами полупроводниковый триод, пришедший на смену вакууму, на смену стеклянному баллону электронной лампы. Основой транзистора является крошечный, величиной с горошину кристалл германия (кремния), который имеет три области и два электронно-дырочных перехода. Переходы разделены между собой управляющим электродом (базой). Крайние области имеют одинаковую электропроводность, средняя — противоположную. В зависимости от вида введенной в кристалл примеси крайние слои могут быть дырочные, а внутренний — электронный или, наоборот: крайние слои — электронные, внутренний — дырочный. Один из крайних слоев (эмиттер) действует подобно катоду лампы: он является носителем свободных электронов (дырок). К базе подсоединяется источник управляющих сигналов и она действует подобно сетке лампы: база «прозрачна» для электронов. Третий слой (коллектор), к которому подсоединен источник напряжения, дает энергию, необходимую для ускорения прошедших сквозь базу электронов. Электроны, подхваченные электрическим полем коллектора, создают ток в нагрузке выходной цепи.

Итак, эмиттер, коллектор и база — три электрода полу-

проводникового триода-транзистора. Они соответствуют катоду, аноду и сетке электронной лампы. Похожи и процессы, происходящие в электронной лампе и транзисторе. Но разница все-таки огромная. И дело даже не в том, что в радиолампе электроны движутся в вакууме, а в транзисторе — в твердом теле. У транзистора оказалось много достоинств, которым могла «позавидовать» радиолампа: отсутствие нити накала, крошечные размеры и вес, ничтожное потребление электрической энергии.

Вот что было написано в первой статье об изобретении транзистора, опубликованной 10 июля 1948 г. в американском еженедельнике «Новости научной литературы»: «У стеклянной лампы впервые за 40 лет появился соперник — небольшая деталь из полупроводникового материала германия, которая служит для усиления или генерирования тока... У нового прибора нет нити накала, которая должна нагреваться прежде, чем прибор начнет работать... Прибор начинает работать мгновенно...»

Размеры первых образцов транзисторов поражали, даже специалисты, скупые на образные выражения, сравнивая радиолампы и транзисторы, говорили о них как о «великанах» и «лилипутах». Один из журналистов, описывая новое достижение, выразился так: «В электровакуумной промышленности недавно была обнаружена бомба замедленного действия величиной с горошину». А ведь совсем недавно, когда надо было показать все самое удивительное и замечательное, что создала современная наука и техника, обращались к электронной лампе.

Преимущества соперника

Взрывная сила изобретений и открытий поразительна. Тысячелетиями создавался парусный флот — бригантины, каравеллы, фрегаты — краса и гордость великих держав.

Но вот в море появилось новое, неуклюжее и урчащее судно — пароход Роберта Фултона. Можно было приветствовать его или проклинать, вздыхать или радоваться, одно стало ясно сразу: кончился век парусов...

С открытием транзистора кончился век электронных ламп. Богатейшие технические возможности транзистора были немедленно оценены специалистами. Транзистор надежен. Он тверд и прочен. Он не лопнет, не разобьется, как стеклянный баллон электронной лампы.

Но самое существенное, пожалуй, в том, что в транзисторе отсутствует нить накала. А как известно, эта маленькая деталь слишком «прожорлива». Чуть ли не половина энергии, расходуемой электронными лампами, уходит на то, чтобы накаливать их нить. Мало того, она самый ненадежный элемент радиолампы: при включениях и выключениях нить то раскаляется, то остывает. Такой режим работы довольно часто выводит ее из строя. Уже одного этого достаточно для того, чтобы отдать предпочтение транзистору как устройству более надежному, долговечному, экономичному.

А потребление электроэнергии? Радиолампы, как известно, работают при значительных токах и напряжениях и поэтому требуют мощных источников питания. Энергия этих источников расходуется не столько на полезную работу ламп, сколько на бесполезно растрачиваемое тепло (тепловые потери иногда достигают 70—80%). И здесь транзисторы ушли далеко вперед: для нормальной их работы оказалось достаточным подводить к ним напряжение порядка долей единиц вольт при токе в тысячные доли ампера. Возрос и коэффициент полезного действия. У современных транзисторов он составляет 50—60%.

Малое потребление энергии, а следовательно, и малое выделение тепла давало возможность использовать мало-мощные источники: миниатюрные аккумуляторы, солнечные и атомные батареи и др. Радиодетали — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности — можно было расположить более компактно, значительно уменьшив их вес и габариты.

Несмотря на явные преимущества транзисторов, позиции электронных ламп долгое время оставались прочными. Радиолампа была царицей радиоэлектроники и не собиралась сдавать свои позиции. Наоборот, с появлением транзистора резко усилились работы по усовершенствованию ламп. Именно в этот период появились «пальчиковые», сверхминиатюрные лампы с повышенной надежностью, более экономичные. В сочетании с миниатюрными радиодеталями они некоторое время достаточно успешно конкурировали с первыми образцами транзисторов.

И все же радиолампы постепенно утрачивали свои позиции. Особенно отчетливо их недостатки проявились при создании крупных радиотехнических систем и комплексов, больших электронно-вычислительных машин, а в дальнейшем и при решении задач по освоению космического

пространства, где на «повестку дня» остро встал вопрос надежности. Электронные устройства для этой техники насчитывали сотни и тысячи радиоламп, десятки и сотни тысяч радиодеталей, потребляли колоссальную мощность, занимали огромные площади.

Вспомним первую вычислительную машину «Эниак», появившуюся в 1946 г. Она состояла из 18 тыс. электронных ламп, 1,5 тыс. электромеханических реле, занимала площадь в 150 м² и весила около 30 т.

И еще один из ветеранов — «Тридаг». Он занимал целое здание с трансформаторами, электромоторами, насосными станциями. И все это для обслуживания 8 тыс. электронных ламп и 2 тыс. реле.

Современная наука и техника выдвигали очень сложные задачи, которые электронным лампам решить было уже не под силу. Выход был один: радиолампы должны уступить место транзисторам.

Первым наиболее серьезным испытанием, в котором транзисторы полностью оправдали возложенные на них надежды, были электронно-вычислительные машины. Полупроводниковые приборы миниатюрны, вместо радиолампы детали со спичечную головку. У новых машин резко повысилась надежность, уменьшилось потребление энергии, не говоря уже о габаритах. Стали даже поговаривать о настольных агрегатах...

А быстродействие? Не десятки операций в секунду, а тысячи и десятки тысяч! Об этом мечтали физики и математики, биологи и медики.

Позднее транзисторы стали широко применять в бытовой радиоаппаратуре. Карманные радиоприемники, портативные магнитофоны и телевизоры прочно вошли в нашу повседневную жизнь. Новая аппаратура была компактной, легкой, экономичной по потребляемой энергии и потенциально надежной.

Понадобилось всего лишь немногим более 10 лет для того, чтобы транзисторы не только прочно вошли в арсенал современных технических средств, но и завоевали передовые рубежи. Полупроводниковые диоды и транзисторы стали основными элементами радиоэлектронной техники. Трудно даже перечислить все области, где транзисторы, заменив электронные лампы, создали новые направления в электронике.

Когда-нибудь и транзисторы потеряют свое ведущее значение. Но их историческая ценность будет опреде-

ляться не только тем, что они позволили уменьшить габариты и повысить надежность электронных схем. В отличие от электронных ламп, разработка которых не стала основой для развития новых направлений, транзистор оказался предшественником новых приборов, дал начало новой, полупроводниковой технологии.

Семейство полупроводников растет

Прошло сравнительно немного времени с момента создания первого транзистора, а в печати одно за другим появляются сообщения о создании новых полупроводниковых приборов. Одни из них по принципу действия и характеристикам были похожи на транзисторы, другие имели принципиально иное устройство. Но почти все созданные полупроводниковые приборы объединяло одно — наличие электронно-дырочного перехода. Можно без преувеличения сказать, что электронно-дырочный переход — сердце полупроводникового прибора.

Приборы с одним электронно-дырочным переходом — диоды, пожалуй, самый представительный класс полупроводников как по количеству, так и по разнообразию выполняемых функций.

Вслед за первенцем полупроводниковой эры — кристаллическим диодом, выполняющим функции выпрямления и детектирования, появилось огромное число других диодов с самыми различными свойствами.

Еще недавно основным элементом для настройки радиоприемников и передатчиков служили конденсаторы переменной емкости. Эти довольно сложные элементы радиоаппаратуры были чрезвычайно неудобны в настройке. Изменение емкости осуществлялось механически, а при дистанционном управлении для вращения механических частей требовались электродвигатели.

Новое начало в создании удобных и миниатюрных устройств для настройки радиоаппаратуры положили емкостные полупроводниковые приборы — варакторы.

Варактор, обладая свойствами конденсатора, позволяет регулировать емкость изменением приложенного напряжения, имеет малые габариты и вес. Поскольку изменение емкости варактора достигается электрическим воздействием, значительно упростилась конструкция устройств дистанционного управления настройкой приемников и автоматическая настройка.

Но варактор обладает и другими удивительными свойствами. Например, с его помощью можно усиливать радиосигналы. В основу работы таких усилителей, названных параметрическими, легла идея, сформулированная советскими учеными Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси.

Принцип параметрического усиления связан с изменением количества энергии, запасенной в конденсаторе, при изменении его емкости. В самом упрощенном виде принцип усиления с помощью варактора можно описать так.

Параметрический усилитель содержит колебательный контур с конденсатором переменной емкости, к которому подводятся колебания усилительного сигнала. Изменение емкости производится значительно быстрее, чем изменяется ток усиливаемого сигнала: по крайней мере вдвое большей частотой. В результате мощность колебаний возрастает за счет того источника, который обеспечивает изменение емкости.

В качестве конденсатора переменной емкости в усилителе используется емкостный диод — варактор. Изменение емкости осуществляется путем изменения подводящего к диоду переменного напряжения от вспомогательного генератора накачки. Последний «накачивает» в усилитель колебательную энергию, преобразуемую затем в усиленный сигнал.

Главное достоинство параметрических усилителей — слабый шум. Это очень важный показатель усилителей, показатель, за который идет непрекращающаяся борьба в лабораториях всего мира.

Именно шум на очень коротких волнах ограничивает возможности приема слабых станций, что особенно важно не только для бытовой радиоаппаратуры, но и в технике связи, например в радиоастрономии и космической радиосвязи.

Даже в транзисторах уровень шумов достаточно велик и прежде всего за счет прохождения сигналов постоянного тока. В параметрических усилителях уровень шумов значительно ниже. Здесь варактор не пропускает постоянный ток, и шумы возникают лишь за счет хаотического теплового движения электрических зарядов. Но такой шум можно значительно ослабить, если охладить варактор. Достаточно последний поместить в сосуд Дьюара, наполненный жидким азотом или параами жидкого гелия.

Вот такие охлаждаемые параметрические усилители установлены на всех приемных станциях системы распространения программ телевизионного вещания «Орбита».

Прыжок через барьер

Как мы уже знаем, в обычном диоде на границе двух зон проводимостей возникает так называемая запирающая зона, характеризующаяся некоторым энергетическим уровнем. В зависимости от направления электрического поля ток через эту зону либо проходит, либо не идет.

Немалую роль в этом процессе играет запирающий слой. Если сделать его очень тонким, а в электронных и дырочных областях увеличить содержание примесей в тысячу и более раз, то окажется, что электроны смогут перескочить границу раздела по очень узкому коридору (туннелю). Отсюда и название диода — туннельный.

Первый туннельный диод был получен в 1958 г. японским физиком Лео Есаки, который исследовал явление пробоя в узких германиевых электронно-дырочных переходах.

Туннельные диоды обладают резко выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой. При увеличении напряжения от нуля ток в диоде растет очень быстро, причем достигает большой величины при весьма малых напряжениях. Если сравнить туннельный диод с обычным выпрямительным диодом, то при таких малых напряжениях ток в диоде практически отсутствует. Достигнув максимума, ток начинает уменьшаться, а дальше снова растет. Наличие падающего участка свидетельствует о том, что туннельный диод имеет отрицательное сопротивление и, следовательно, может быть использован для усиления и генерирования колебаний. Достаточно вспомнить кристадин О. В. Лосева, чтобы убедиться, что основная идея усиления и генерирования колебаний с помощью кристаллических двухполюсников принадлежит нашему соотечественнику.

Туннельные диоды несравненно совершеннее транзисторов и электронных ламп. Они работают безотказно в диапазоне до 600°C , начиная с температуры жидкого гелия (-296°C), стойко переносят ядерное излучение и внешнюю грязь.

Вместе с тем туннельные диоды весьма своеобразные

приборы, обладающие целым рядом уникальных свойств. Они очень экономичны и потребляют в несколько раз меньше энергии, чем самые экономичные полупроводниковые приборы (не говоря уже о вакуумных лампах).

Туннельный диод — двухполюсник с отрицательной проводимостью, и его входные зажимы являются одновременно и выходными. В таком случае мы избавляемся от внешней обратной связи и получаем идеальный прибор для построения схем автогенераторов.

Наличие внутренней обратной связи и возможность работы при малых уровнях мощности позволяют считать его одним из перспективных активных элементов твердых микросхем.

Исключительно полезны они и в вычислительной технике. Достаточно сказать, что туннельный диод является полупроводниковым прибором, который переключается за доли наносекунды. Вычислительные машины, построенные на туннельных диодах, выполняют до миллиона операций в секунду и имеют весьма малые размеры.

Долой контакты!

Инженеров давно привлекала возможность использования транзисторов в качестве электронного ключа. Известно, что точечно-контактный транзистор лучше работал как ключ, чем как усилитель. В дальнейшем после появления плоскостных транзисторов удалось реализовать идею создания приборов с падающим участком вольтамперной характеристики.

Если оглянуться лет на 15—20 назад и взять, к примеру, электротехнику, можно отметить, что там царили газоразрядные и электровакуумные приборы. Недостатки их хорошо известны: большое потребление энергии, низкая надежность, большие габариты и вес, низкая механическая прочность, малый срок службы и т. п.

На смену им пришли управляемые полупроводниковые вентили. Поскольку характеристики созданных приборов напоминали характеристики газоразрядных приборов — тиратронов, им было дано название — «тиристоры». Они очень похожи на своих братьев — на транзисторы. Правда, выглядят посolidнее, и это позволяет им брать на себя работу, которая не по плечу транзисторам.

«Сердцем» тиристора является уже знакомая нам кремниевая пластинка. На нее нанесены четыре чередующихся

слоя с электронной и дырочной проводимостями. Таким образом, в отличие от транзистора тиристор имеет не два, а три электронно-дырочных перехода.

Структуру тиристора удобно представить в виде комбинации двух транзисторов с различными типами проводимости. Здесь база и коллектор одного транзистора соединены соответственно с коллектором и базой другого. Эмиттерные слои называют катодом и анодом, а средние слои — базами (электронными и дырочными). К одной из баз подсоединяется управляющий электрод.

Переключающее действие такой структуры основано на увеличении коэффициентов усиления составных транзисторов с ростом тока. Стоит только подать питающее напряжение на электроды тиристора, как любое возрастание тока одного транзистора приводит к увеличению тока другого. Этот процесс лавинно нарастает и длится до тех пор, пока оба транзистора не окажутся в состоянии насыщения. В этот момент тиристор переключается в открытое состояние, напряжение на нем резко упадет, а ток возрастет до значения определяемого сопротивлением нагрузки.

А что будет, если напряжение на управляющий электрод не подавать? Оказывается, в этом случае все приложенное между катодом и анодом напряжение распределяется между тремя переходами. Теперь нам нетрудно понять роль управляющего электрода: он как бы «впрыскивает» порции энергии в составные транзисторы. Но это еще не все. При включенном тиристоре мы можем смело снять управляющее напряжение, не нарушив работу самого прибора. В этом нет ничего странного, как может показаться на первый взгляд. Если провести аналогию с транзистором, то там при снятии сигнала с базы приток носителей прекращается. В тиристоре же ток базы одного транзистора является током коллектора другого, и наоборот. Поэтому независимо от наличия управляющего сигнала при открытом тиристоре всегда имеется источник носителей в базах, который и поддерживает в приборе состояние насыщения. В этом заключается принципиальное различие транзистора и тиристора.

Закрывать прибор можно, лишь снизив ток через него до некоторого определенного значения или разорвав анодную цепь.

Параметры тиристорov имеют ярко выраженный «ключевой» характер. В электрических устройствах они действуют как нормально разомкнутые ключи с односторон-

ней проводимостью, которые могут быть замкнуты при подаче соответствующего сигнала.

Способность коммутировать значительные мощности наряду с такими качествами, как высокая надежность, малые размеры, высокий коэффициент полезного действия, большой срок службы, сделали их незаменимыми в самых различных отраслях электроники, электротехники, транспорта. И надо сказать, что тиристоры заменяют вакуумные лампы с пользой для дела, давая огромный экономический эффект.

До последнего времени электрификация железных дорог могла осуществляться только одним способом: в провод над железнодорожным полотном поступал постоянный ток, которым и питались двигатели электровоза. Вдоль всей магистрали строились громоздкие, дорогие и сложные выпрямительные установки. Очень заманчиво, однако, перевести все электрифицированные дороги на переменный ток. Это дало бы огромную экономию, увеличило бы пропускную способность дорог, позволило бы избавиться от выпрямительных подстанций. Но тогда придется выпрямители устанавливать прямо на электровозе. И здесь на помощь приходят мощные управляемые полупроводниковые выпрямители. Выпрямитель площадью всего 100 см^2 может обеспечить постоянным током электровоз мощностью в 4 тыс. лошадиных сил! Да еще с неслыханной до этого эффективностью! Коэффициент полезного действия такого выпрямителя близок к 100%, а это значит, что практически отсутствует система охлаждения и связанные с нею трубопроводы и прочая арматура. Так стала реальностью электрификация железных дорог на переменном токе.

Можно привести еще десятки областей применения управляемых вентилях. Они используются и в регуляторах напряжения, и в преобразователях частоты, и при управлении высокоскоростными двигателями — везде, где требуются экономичные, эффективные и быстродействующие переключатели.

Мы рассмотрели лишь некоторые, но далеко не все возможные способы использования свойств электронно-дырочных переходов в диодах, неуправляемых и управляемых. Некоторые диоды других назначений будут рассмотрены выше.

А пока возвратимся к приборам с двумя переходами — транзисторам различных типов.

Новые члены семьи

Старейший по времени изобретения полупроводниковый прибор — полевой транзистор. Его идея была предложена Ю. Лилиенфилдом еще за 20 лет до открытия биполярного транзистора, но в то время не получила должного внимания.

В основу работы полевого транзистора был положен так называемый полевой эффект, т. е. изменение тока, протекающего через полупроводниковый материал, под действием поперечного электрического поля. Этот эффект может быть использован для получения переменного сопротивления или конденсатора переменной емкости. Впрочем, первый полевой транзистор и представлял собой не что иное, как плоскопараллельный конденсатор. Основу прибора составляет монокристаллическая кремниевая пластина с дырочной проводимостью, на которую накладываются две зоны с электронной проводимостью. Затем поверхность пластины покрывают диэлектрическим слоем. Сверху на нее наносится слой металла. При воздействии электрическим полем на металлическую пластину и контакты полупроводника меняется сопротивление полупроводникового материала, что приводит к изменению тока во внешней цепи, причем сила тока зависит от электрического поля на металлическом электроде. Этот ток изменяется при помощи электрического сигнала, так же, как и в транзисторах. Таким образом, с точки зрения токопрохождения между двумя этими приборами есть существенная разница.

Транзисторный эффект возникает в глубине полупроводника, за счет того, что зоны — эмиттер, база и коллектор — наложены друг на друга, и ток пересекает базу перпендикулярно к поверхности пластины. Полевой эффект возникает на поверхности; ток течет по слою толщиной в несколько микронов.

При изготовлении полевых транзисторов в качестве диэлектрика обычно используется слой двуокиси кремния. Отсюда произошло часто употребляемое название МОП-транзистор (металл — окисел — полупроводник).

С практической точки зрения полевой транзистор — один из наиболее современных и перспективных. В последние годы он все шире применяется в усилительных и импульсных схемах вместо транзисторов и электронных ламп. Основой успеха полевых транзисторов являются их

уникальные характеристики: высокое входное сопротивление и низкий уровень шумов, а также простота и экономичность схем даже по сравнению со схемами на транзисторах.

Дальнейшее развитие других типов транзисторов (усилительных, высоковольтных, мощных сверхвысокочастотных — СВЧ-транзисторов и др.) шло как по пути улучшения параметров, так и по пути освоения новых технологических процессов.

Параллельно с разработкой и выпуском транзисторов на основе германия начали осваиваться и приборы на основе кремния, которые позволяли расширить температурный диапазон и получить большие уровни мощности.

В начале 60-х годов в мировой практике широкое применение начала находить планарная технология изготовления транзисторов на основе германия и кремния (термин «планарный» происходит от английского слова «planar» — плоский). Особенностью планарных транзисторов является то, что выводы от областей полупроводниковой структуры располагаются в одной плоскости. Поверхность кристалла покрывается пленкой двуоксида кремния, что позволяет не только защитить границы электронно-дырочных переходов от внешних воздействий, но и задать конфигурацию областей прибора. Достаточно привести такой пример: на одной кремниевой пластине диаметром около 30 мм методом фотолитографии создается до 300—400 транзисторных структур.

Применение фотолитографических процессов сделало планарную технологию универсальной. Здесь важно отметить тот факт, что на ее основе появилась возможность создания транзисторов различного назначения. Кроме этого, планарная технология позволила значительно уменьшить размеры элементов транзисторных структур, что дало возможность увеличить предельную частоту транзистора.

В последние годы нашли применение принципиально новые методы получения электронно-дырочных переходов. К ним можно отнести, например, создание переходов с помощью электронного луча и методы ионной бомбардировки полупроводниковых кристаллов.

Одной из важных проблем сегодняшнего дня является использование новых полупроводниковых материалов. Создан ряд приборов на арсениде галлия. Такие транзисторы

оказались работоспособными при температурах до $+250^{\circ}\text{C}$.

Созданы также первые образцы транзисторов на карбиде кремния, работающие до $+350^{\circ}\text{C}$, рассматриваются возможности использования антимонида индия для получения сверхвысокочастотных приборов.

Нельзя сказать, что приведенные примеры возможностей использования тех или иных материалов обладают исчерпывающей полнотой. Большое количество полупроводниковых материалов, которые могут быть получены двойным, тройным и четверным соединением различных элементов, не только не изучено, но и вероятнее всего, не открыто. Не так давно выяснилось, что свойствами полупроводников обладает ряд органических полимерных материалов. Вполне вероятно, что органические полупроводники могут открыть новые пути перед полупроводниковой техникой. А это значит, что мы с каждым годом имеем возможность все дальше проникать в тайны полупроводников. Во всяком случае в течение двух десятилетий произошло столько перемен — не частый в истории техники случай! — что одно и то же поколение ученых готовится к новому скачку, подобному тому, который привел к открытию транзистора и ряда других приборов.

Вот об одном из наиболее перспективных направлений и будет рассказано ниже.

Знакомство продолжается

В 1968 г. в Америке состоялась выставка измерительных приборов, электронной техники и автоматики. Одним из экспонатов, который привлек всеобщее внимание, была радиолокационная станция, предназначенная для измерения скорости движущихся целей. Она была настолько мала, что ее можно было держать в руке. В качестве источника СВЧ энергии был применен новый полупроводниковый генератор, который, как высказывались специалисты, в будущем способен заменить такие источники СВЧ энергии, как клистронные и магнетронные генераторы.

Идея нового полупроводникового прибора была предложена 10 лет назад английским физиком Джоном Ганном на основании открытого им эффекта и впоследствии получила его имя.

Изучая поведение арсенида галлия и фосфида индия в сильных электрических полях, Ганн обнаружил, что при приложении электрического поля, превышающего некоторое критическое значение, в кристалле полупроводника возникают колебания тока. Для работы такого генератора были необходимы: источник постоянного тока, объемный резонатор и кристаллик полупроводника.

Работа диодов Ганна основана на интересном явлении. В отличие от транзисторов здесь работает весь объем полупроводника, а не только узкие области электронно-дырочных переходов. Причем эффект Ганна наблюдается лишь в полупроводниках, имеющих две зоны проводимости на различных энергетических уровнях, что определяет разную степень подвижности электронов при воздействии электрическим полем.

Физика работы диодов Ганна достаточно проста. Известно, что в основе работы любого генератора колебаний тока лежит понятие об отрицательном сопротивлении. Так, в ламповом генераторе отрицательным сопротивлением обладает электронная лампа, дающая сдвиг фаз на 180° . В генераторе Ганна таким элементом является объем полупроводника. Кратко механизм возникновения колебаний в приборе можно объяснить так.

По мере увеличения напряженности электрического поля ток в кристалле увеличивается сначала линейно (подчиняется закону Ома). При дальнейшем увеличении напряженности поля электроны получают дополнительную энергию для перехода в зону с большим энергетическим уровнем и становятся внезапно как бы тяжелее. А поскольку они имеют меньшую подвижность в этой зоне, то при увеличении напряжения суммарный ток стремится уменьшиться. Такой режим, как известно, определяется наличием отрицательного сопротивления.

Состояние отрицательного сопротивления неустойчиво. Переброс электронов в тяжелое состояние вначале будет совершаться лишь там, где для этого достаточно электрическое поле. Как только это произойдет, возникает область с повышенной напряженностью электрического поля. Поле же в другой области значительно меньше критического значения. А поскольку область сильного поля нестационарна, она дрейфует через кристалл и движется от катода к аноду. Достигнув анода, она рассасывается, а у катода возникает новая область сильного поля. Таким образом, в цепи кристалла образуется периодическая

последовательность импульсов тока. Период повторения импульсов равен времени движения области сильного поля через кристалл. А оно, в свою очередь, зависит от длины кристалла. Очевидно, для того чтобы повысить частоту колебаний, необходимо уменьшить длину кристалла, что приводит к понятным технологическим трудностям, а также уменьшает выходную мощность и коэффициент полезного действия. Выход был найден, когда предложили новый режим работы генератора Ганна — режим с ограниченным накоплением объемного заряда. Такие генераторы являются наиболее мощными генераторами на твердом теле.

Хотя конструкция описанных выше приборов чрезвычайно проста, практическая реализация их встречает затруднения. В приборе выделяются огромные мощности на единицу объема, поэтому очень трудно обеспечить отвод тепла при работе прибора в непрерывном режиме. Технология производства ганновских приборов пока еще слишком дорога. Но как только научатся эффективно и дешево получать арсенид галлия такой же чистоты и однородности, какой получают сейчас германий и кремний, затруднения будут сняты. Согласно перспективным прогнозам ведущих экспертов США, Англии, Японии, это произойдет в ближайшие 5—10 лет, после чего генераторы Ганна, став такими же массовыми и дешевыми, как транзисторы, найдут сотни самых различных применений.

Полупроводниковые магниты

С появлением диодов и транзисторов стало необходимым сделать такими же миниатюрными их неразлучных спутников — конденсаторы, резисторы, катушки индуктивности. Не забыли и про антенну. Неужели она останется такой же длинной, как раньше? Если так случится, то приемник или другое устройство станет ненамного меньше. Необходимо было найти какие-то новые материалы, которые заменили бы устаревшие и громоздкие постоянные магниты.

Поиски новых, более совершенных магнитных материалов увенчались успехом. Были созданы полупроводниковые магниты — ферриты.

Ферриты представляют собой вещества, которые называют оксидными полупроводниками (от латинского названия кислорода — «оксигениум»).

Внутренняя структура ферритов обычно образуется отрицательными ионами кислорода, в пустотах между которыми находятся ионы трехвалентного железа и какого-либо двухвалентного металла: никеля, цинка, лития. Ионы кислорода прочно удерживают завоеванные ими электроны. Переход зарядов, а следовательно, и возникновение электрического тока возможны только лишь между металлическими ионами. Беспокойные ионы непрерывно обмениваются электронами под действием теплового движения. Но стоит только подсоединить батарею, как появится упорядоченный обмен электронов; они станут перескакивать с иона на ион в одну сторону — появится электрический ток.

Для радиотехники наибольший интерес представляют никель-цинковые ферриты. Их получают путем перемешивания мелких порошков окисей этих металлов, затем прессовки и обжига их (подобно керамике) при высокой температуре. Обладая значительной твердостью, ферриты затем шлифуются.

Новые полупроводниковые магниты проводят электрический ток в миллиарды раз хуже, чем железо. Но зато они обладают самым ценным качеством: их электрические и магнитные свойства можно регулировать.

Есть среди ферритов материалы, которые способны весьма долго сохранять намагниченность, а когда необходимо, легко перемагничиваться. Они используются, например, в качестве «магнитной памяти» электронно-вычислительных машин.

В настоящее время широко применяются магнитные пленки толщиной порядка долей микрона. Основным преимуществом пленочных элементов по сравнению с массивными является большое быстродействие. Скорость перемагничивания тонких ферромагнитных пленок на два — три порядка больше скорости перемагничивания ферритовых тороидов. В результате быстродействие электронных машин при использовании пленочных элементов удалось повысить в тысячу раз. Это означает, что вместо десятков или сотен тысяч операций в секунду машина сможет производить десятки или даже сотни миллионов таких операций.

Есть ферриты, которые молниеносно намагничиваются даже в слабом магнитном поле и также быстро меняют намагниченность в такт с переменами магнитного поля. Ферритовый стержень с насаженной на него катушкой

входного контура может служить отличной антенной. Такая антенна уместается даже в самом маленьком приемнике и заменяет обычную антенну, например, из металлической проволоки.

Ферриты с успехом применяют для изготовления сердечников катушек индуктивности, используемых в цепях высокой частоты. Кто из нас не знает, что без них невозможна настройка приемника на определенную волну. Приемники, настраиваемые при помощи ферритовых сердечников, значительно компактнее и дешевле, чем приемники с громоздкой индукционной катушкой из проволоки.

Особое распространение ферриты получили в связи с развитием техники высоких и сверхвысоких частот. Дело в том, что ферромагнитные материалы (железо, никель, кобальт и др.) нельзя использовать в высокочастотной технике из-за их высокой электропроводности и возникающих вследствие этого больших потерь на вихревые токи. Имея же ферриты, обладающие высоким удельным сопротивлением, не нужно ухищряться в борьбе с вихревыми токами.

Ферриты обладают значительной магнитной проницаемостью и имеют очень малые потери в широком диапазоне частот. Такое сочетание их свойств позволило не только решить целый ряд принципиально новых задач, но и получить значительный выигрыш в габаритах радиоаппаратуры.

Рассмотрим некоторые случаи применения ферритов на сверхвысоких частотах. Известно, что любой металл является идеальным отражателем для электромагнитных волн. Ферриты же пропускают через себя волну лишь с незначительным отражением. Получается, что характеристики электромагнитных волн, распространяющихся через феррит в противоположных направлениях, различны. Это говорит о том, что феррит обладает необратимыми, или вентильными, свойствами. Именно необратимость свойств феррита широко используется для создания целого ряда устройств. Вот некоторые из них.

К необратимым устройствам относятся гираторы, не дающие фазового сдвига при распространении электромагнитной волны в одном направлении и обеспечивающие сдвиг фаз на 180° при распространении волны в обратном направлении; направленные фазовращатели, позволяющие создать любой фазовый сдвиг электромагнитной

волны в одном направлении; циркуляторы, осуществляющие переключение электромагнитной волны, и др.

Все эти устройства относятся к специальной области техники, и мы не будем рассматривать их устройство и принцип действия, тем более что это весьма сложно и выходит за рамки данной книги.

Куда ведет кривая?

Официальной датой рождения современной полупроводниковой электроники принято считать 1948 г.

За четверть века накоплен обширный материал. Именно за это время электронный элемент из вакуумной лампы превратился в слой атомов, а панель с лампами — в маленькую кристаллическую пластинку. Появилось великое множество полупроводниковых приборов и год от года число их будет расти.

Почти столетие легло между открытием закона газа и полноценной паровой машиной. Для создания радио потребовалось 35 лет с момента рождения идеи, телевизора — 15, атомной бомбы — 6, транзистора — 5 лет. Сейчас же от открытия до реализации крупнейших изобретений проходят иногда месяцы. На наше время пришлось и гораздо большее, чем прежде, количество самих открытий.

Более того, некоторые ученые считают, что дальше наука будет развиваться еще стремительнее. Другими словами, для науки применим закон экспоненциального роста.

Выше мы познакомились с устройством и принципом действия многочисленного семейства полупроводниковых приборов. Их появление поставило перед учеными и конструкторами ряд сложных технических задач, связанных с технологией производства и конструированием аппаратуры.

Сейчас никого не удивит ни транзисторными приемниками, ни портативным магнитофоном и телевизором. А ведь каких-нибудь 20—25 лет назад тот же телевизор был тяжелым и громоздким. Собрать такой телевизор было чрезвычайно трудно. Ни один автомат не мог справиться с навесным монтажом, не мог расставить на свои места радиолампы, резисторы, конденсаторы. Блоки и узлы собирались вручную, детали крепились на металли-

ческое шасси, концы проводов припаивались к выводам деталей при помощи паяльника. Такой телевизор, имея не более тысячи деталей и элементов, занимал объем около 0,1 м³. Много это или мало?

Попробуем подсчитать, какой объем будет занимать оборудование на современном самолете и сколько оно будет весить, если использовать устаревшие элементы. Примем средний объем одного элемента равным 10 см³, а вес — 10 г. При среднем количестве элементов 200 тыс. окажется, что только одни элементы займут объем в 2 м³ и будут весить 2000 кг. Это недопустимо много.

А радиоэлектронное оборудование ракет и космических кораблей? Там и вовсе каждый сэкономленный грамм веса конструкции расценивается на вес золота.

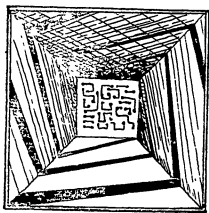
Или первые электронно-вычислительные машины — громоздкие, многотонные сооружения...

Приведенные примеры позволяют лишний раз убедиться в назревшей необходимости резко уменьшить вес и объем радиоаппаратуры.

Всякое уменьшение объема аппаратуры сталкивается с определенными трудностями. Каких же минимальных размеров можно достичь, применяя транзисторы и диоды?

Теоретики подсчитали, что плотность монтажа с использованием транзисторов и диодов можно довести до трех — пяти деталей на 1 см³. Дальнейшее «уплотнение» деталей невозможно по чисто технологическим причинам. Площадь контактов становится настолько малой, а выводы полупроводников такими тонкими, что устройство теряет самый важный признак — надежность.

Перед специалистами встала новая задача — найти какие-то другие принципы конструирования аппаратуры.



УДИВИТЕЛЬНАЯ СТРАНА

*И вот мы в мире,
исполненном
умопостижимой красоты.*

МАЛЬБРАНШ

Выход из тупика

Полупроводниковые диоды и триоды позволили в десятки раз уменьшить объем и вес аппаратуры. При этом значительно возросла надежность. Появилась возможность использовать детали и узлы минимальных размеров. Но не менее важная задача — соединение деталей между собой, способ монтажа.

Первый способ уменьшения размеров аппаратуры — использование малогабаритных элементов и их более плотное размещение. С этим тесно связан вопрос о принципе сборки схемы или устройства. Старый способ соединения элементов бесчисленными проводами явно изжил себя: детали и узлы стали настолько крохотными, что их трудно удерживать в руках.

На помощь инженерам и конструкторам пришла современная технология — в производство стали внедряться печатные схемы. Теперь соединения между элементами выполняются не проводом, а особой токопроводящей краской, содержащей металлический порошок. На изоляционную пластину (плату) наносятся металлические полосы, соответствующие необходимым соединениям. Остается лишь присоединить крошечные приборы и элементы.

Можно использовать и другой способ нанесения соединений. Плату покрывают медной фольгой, а затем гальваническим путем вытравливают ненужные участки. Таким образом на плате остается лишь рисунок схемы соединений, например, приемника. Такой способ монтажа позволил перейти к модульному конструированию аппаратуры. Модуль представляет собой отдельный узел аппаратуры — триггер, усилитель, вибратор, оформленный в виде единого самостоятельного элемента конструкции. Модули обычно оформляются на пластинах унифициро-

ванных размеров, а их высота зачастую определяется каким-либо входящим в модуль элементом. Это так называемые плоские модули.

Наибольший интерес представляют объемные модули. Здесь детали располагаются вертикально вплотную друг к другу. Соединение их осуществляется в плоскости расположения выводов. Такие модули позволяют получить наибольшую плотность монтажа. И все же при модульном конструировании оставался значительный неиспользованный объем, было много контактов, деталей крепления и т. п. Раньше выходил из строя элемент, а теперь подводят контакты и пайки, снижая надежность электрических схем.

Первым шагом миниатюризации деталей было создание микромодулей. Уже само слово «миниатюризация» говорило о том, что специалисты ставили своей целью сделать элемент как можно меньших размеров. Однако в равной степени было важно и другое. Разрабатывая новые схемы, конструктор и инженер думали также о надежности. С этой точки зрения превосходство микромодулей над дискретным элементом неоспоримо.

Активные элементы схемы (транзисторы, диоды) выполняются отдельно, а затем монтируются на изоляционной плате. Пассивные (резисторы, конденсаторы, индуктивности) прорисовывают непосредственно на плате, используя методы нанесения пленок металлов, а также их окислов. Так, например, конденсатор получают последовательным напылением слоев пленки металла, разделенных пленкой диэлектрика; металлическая полоска в виде спирали образует «катушку» индуктивности. Детали, как и соединения между ними, превратились как бы в одно целое, что придало им плотность и жесткость.

Пластины с элементами конструкции располагаются друг над другом в определенном порядке. В результате получается блок, напоминающий этажерку, горизонтальными полками которой являются микроэлементы, а вертикальными стойками — соединительные проводники. Микромодуль герметизируется с помощью специального состава и превращается в монолитный микромодульный блок. До 25 деталей в 1 см³ можно разместить таким образом. Если изготовить из микромодулей транзисторный приемник, то по своим размерам он не будет превышать пачку сигарет. И еще одна хорошая особенность у микромодулей — их можно собирать автоматически.

Так микромодули стали основой радиоаппаратуры. Они не боятся ударов и вибрации, хорошо защищены от окружающей среды, их можно собирать из ограниченного числа элементов определенного типа и с определенными параметрами. Благодаря этому практически исключаются неисправности в готовой аппаратуре. А если они и случаются, то заменить пострадавший микромодуль — дело всего лишь нескольких секунд.

Но и такие схемы имеют свои недостатки. Для каждого отдельного элемента требуется плата, имеющая определенные размеры и вес, тогда как элемент сам по себе (например, тонкая резистивная пленка) занимает значительно меньшее пространство. По-прежнему остаются контакты, пайки, детали крепления. Все это не дает возможности существенно повысить надежность в сочетании с высокими рабочими характеристиками. Создатели микросхемотехники вновь подошли к, казалось бы, непреодолимому барьеру.

Геометрия микроэлектроники

Еще не улеглось волнение в связи с внедрением микромодулей, как ученые предложили новый метод получения микросхем. На смену схемам на дискретных компонентах пришли интегральные схемы. Именно благодаря им монтаж стал поистине творческим процессом. Человек отказался от объемных деталей и перешел к плоскостным, почти графическим элементам. И здесь электронная технология — незаменимый и послушный помощник человека.

Большинство схем получают, используя пластину кремния с дырочной проводимостью, на поверхности которой выращивается слой материала с электронной проводимостью. Компоненты таких схем выполняют поочередным введением примесей обоих видов проводимости. Так, для формирования транзисторов используются три слоя, для диодов — два слоя или соответствующим образом включенный транзистор.

После окончания этих процессов на кремниевой пластинке остается слой двуокиси кремния. Мы уже говорили, что он обладает прекрасными защитными свойствами. И не только защитными — он может служить своеобразной подложкой. Если нанести поверх защитного слоя

пленку из резистивного материала, можно получить резистор с необходимой величиной сопротивления. Таким же образом можно «нарисовать» конденсатор.

Можно обойтись и без пленок. Тогда роль конденсаторов будут выполнять емкости электронно-дырочных переходов, а роль резистора — один из слоев кремниевой пластины.

Получается, что все элементы схемы, например, радиоприемника, за исключением антенны и громкоговорителя можно разместить в кристалле полупроводника.

Уже первые интегральные схемы отличались высокой надежностью. Если в дискретном элементе нужен был ввод и вывод для каждого элемента, то для интегральной схемы, состоящей из сотни элементов, требуется не более десятка вводов и выводов. Таким образом, в интегральной схеме устраняются многие причины неисправностей. Кроме этого, уменьшаются паразитные емкости схемы, что чрезвычайно важно при конструировании блоков электронно-вычислительных машин. Важно потому, что за счет уменьшения паразитной емкости увеличивается быстродействие машины.

Но, как выяснилось позднее, полупроводниковые интегральные схемы обладают существенным недостатком: такие схемы не позволяют получать некоторые компоненты, и в частности индуктивности.

Понадобились годы, пока нашли решение. В поисках и ошибках, победах и заблуждениях рождалось новое направление микроэлектроники — тонкопленочные интегральные схемы.

Из тонких пленок удастся создать удивительный мир лилипутов, построить целый ряд приборов и устройств необычной архитектуры и красоты.

Что же собой представляет тонкая пленка?

Чтобы ее получить, требуется почти ювелирная работа. На диэлектрическую подложку (стекло, кварц, керамика) надо напылить тончайшим слоем радиодетали. Для этого используются новейшие технологические методы. Здесь и метод катодного напыления, и метод термического осаждения в вакууме или распыления ионной бомбардировкой в среде разряженного инертного газа. Толщина пленки поражает воображение: она соизмерима с размерами молекул.

Наносят пленки с помощью трафаретов, накладываемых на подложку. Наиболее сложным процессом является сов-

мещение трафаретов. Здесь нужна абсолютная точность и достичь ее очень трудно: ведь слоев пленок в радиосхеме может быть более десяти. До последнего времени самыми трудными в изготовлении были тонкопленочные транзисторы и диоды. И только в 1968 г. были получены более или менее удовлетворительные результаты, причем наилучшие характеристики достигнуты при изготовлении тонкопленочных полевых транзисторов. До этого транзисторы размером с маковое зернышко вкрапливали в схему.

Так рождались схемы микроприемников «Микро» размером намного меньше спичечной коробки и тоньше большинства наручных часов.

При первом взгляде на графические узоры микросхем невольно возникает мысль — вот где красота, порядок, симметричность! Как тут не вспомнить подкову блохи, которую свыше 100 лет назад смастерил лесковский умелец Левша.

И здесь геометризм не прихоть, не роскошь, а очередная технологически обусловленная фаза эволюции техники: чтобы металлические участки на подложке не мешали друг другу и размещались наиболее компактно, их надо расположить в определенном порядке.

И все же даже такие ювелирные изделия, как полупроводниковые и тонкопленочные схемы, не лишены недостатков. Первая не позволяет получить катушки индуктивности. Во второй технологически трудно напылить тонкопленочные транзисторы и диоды.

А нельзя ли объединить полупроводниковую и тонкопленочную схемы, взяв от каждой все лучшее?

Так и сделали. На свет появились гибридные интегральные схемы.

Резисторы, конденсаторы, контактные площадки и внутрисхемные соединения стали изготавливать с помощью методов тонкопленочной технологии.

Навесные активные элементы (транзисторы, диоды) крепят либо на плату с пленочными пассивными элементами, либо на основание корпуса гибридной микросхемы или при необходимости на дополнительную плату. После этого корпус микросхемы герметизируется и схема готова.

Гибридные интегральные схемы нашли широкое применение в бытовой аппаратуре, радиоприемниках, магнитофонах, телевизорах и т. п. И прежде всего потому, что

по сравнению с другими видами интегральных схем, они отличаются меньшей стоимостью, большей помехоустойчивостью, способностью работать при напряжениях питания свыше 50 В; кроме того, в тяжелых температурных условиях они лучше отводят тепло, что особенно важно при конструировании интегральных схем.

В условиях, когда число элементов растет, а объем их уменьшается, возрастает плотность мощности и количество тепла, выделяемое единицей объема. Это тепло надо отвести. И если устройства на транзисторах позволяли довольно легко решить эту задачу, то в интегральных схемах (при уровне интеграции до 100 элементов на 1 см³ объема) это сделать довольно сложно.

Сравнительно недавно в микроэлектронике появилось новое направление — большие интегральные схемы (БИС), в которых вместо отдельных элементов (усилителя, триггера, логической ячейки) имеются интегральные узлы и даже целые подсистемы (регистр, счетчик, блок памяти и т. п., вплоть до арифметического устройства вычислительной машины).

С помощью таких схем достигнут высокий уровень интеграции. Достаточно сказать, что уже в настоящее время плотность монтажа в лабораторных условиях доведена до 10 тыс. элементов на 1 см³ объема.

Как же удалось достичь столь высокой плотности элементов в одной схеме? Прежде всего путем отказа от классического транзисторного эффекта и перехода к эффекту поля.

В предыдущей главе уже отмечалось, что МОП-транзисторы, работающие на полевом эффекте, в ряде случаев вытесняют транзисторы за счет своих уникальных характеристик.

Кроме этого, технология их изготовления гораздо проще. Так, для изготовления биполярного транзистора требуется не менее десяти технологических операций, а для МОП-транзистора — три, четыре.

Можно отметить еще следующее, пожалуй главное. МОП-транзисторы потребляют значительно меньше энергии, чем транзисторы. Именно за счет меньшей теплоотдачи в одном монокристалле можно «упаковать» гораздо больше элементов.

Согласитесь, что нелегко представить, как на пластинке диаметром с ручные часы формируется одновременно 65 твердых схем, а значит 975 транзисторов,

975 резисторов и 455 диодов. Или взять вычислительное устройство, которое легко уместится на ладони и состоит из 587 твердых схем, заменяющих около 10 тыс. обычных деталей.

Но и это не предел. В будущем такие схемы имеют тенденцию перерасти в ГИС (гигантская интегральная система), состоящую из нескольких тысяч элементов.

Наступает эпоха микроэлектроники. Сейчас все сомнения позади, и микроскопические области кристаллика получают все большее развитие, превращаясь в блоки, устройства, машины. И если у дискретных элементов отсутствовала какая-либо степень функциональной завершенности, то интегральные схемы ее приобрели. Рождается новое направление — функциональная микроэлектроника. Ее характерной чертой является использование физических свойств вещества для получения заданной функции.

В функциональном узле или приборе нельзя выделить один элемент из остальных, а конструкцию его нельзя разделить, не нарушая при этом выполняемой им функции электронной схемы. В том нет чего-либо необычного. Примером функционального прибора может служить кварцевая пластинка. Кварц как электрическую систему можно представить в виде довольно сложной схемы, выполняющей функции колебательного контура. Однако в его объеме нельзя выделить области, занимаемые конденсаторами, катушками индуктивности и резисторами. В нем как бы проинтегрированы функции элементов, образующих колебательный контур. Таким образом, один функциональный блок, созданный в едином монолите твердого тела, осуществляет преобразование сложных функций, заменяя собой целую схему, составленную из дискретных элементов.

Создание функциональных блоков идет по различным направлениям, основываясь на достигнутых результатах в различных областях науки и техники. Уже сейчас вырисовываются контуры аппаратуры будущего. Она будет характеризоваться значительно большей надежностью за счет резервирования элементов без увеличения объема, решением задач самодиагностики неисправностей, а в дальнейшем даже саморемонта.

«Сегодня науку нередко сравнивают с высоким деревом, которое всеми корнями своими связано с практикой. И естественно требование к этому дереву — максималь-

ное плодоношение», — пишет А. Меркулов в книге «Раскрывая тайны природы».

Эти слова можно смело отнести к полупроводниковой электронике. За недолгие годы своего существования она пустила корни буквально во все области современной техники. И в каждой из областей она дает начало качественно новому этапу развития техники. Ярким подтверждением сказанного могут служить созданные в последние годы новые направления радиоэлектроники — бионика, оптоэлектроника. Вот о них и пойдет наш рассказ.

Живая жизнь и микросхемы

Люди издавна пытались создать такие устройства и машины, которые были бы способны воспроизводить действия живых существ. До нас дошли описания различных игрушек, механических автоматов, созданных много лет назад. Уже в те времена человек находил элемент внешнего сходства в действиях примитивного технического устройства и живого организма и старался это сходство использовать. Именно в биологических системах человек подметил удивительное разнообразие форм, принципов построения, функционирования различных органов в сочетании с высокой надежностью.

О связи природы и машин, сделанных руками человека, писал философ Рене Декарт. Разница между ними, по его мнению, заключается лишь в том, что «действия механизмов зависят исключительно от устройства различных трубок, пружин или иного рода инструментов, которые, находясь по необходимости в известном соответствии с изготовившими их руками, всегда настолько велики, что их фигура и движения легко могут быть видимы, тогда как, напротив, трубки или пружины, вызывающие действия природных вещей, обычно бывают столь малы, что ускользают от наших чувств».

Шли годы. Стремительно развивалась техника. И чем сложнее становились машины и приборы, тем чаще человек обращал свой взор на живую природу. Еще в конце прошлого столетия в журнале «Природа и люди» высказывалась мысль о связи технического устройства и живого организма. «Когда человек истощает весь запас своей изобретательности, он неминуемо должен обратиться к природе за новым вдохновением; и если его подражание

разумно — успех обеспечен; в противном же случае виною неуспеха является не природа, а сам ее подражатель».

Немного позднее, к середине XX в., у человека появилась возможность разобраться и изучить технические идеи живой природы. Этому в немалой степени способствовало появление и внедрение быстродействующих вычислительных машин, состоящих из сотен тысяч миниатюрных элементов. И всякий раз приступая к созданию нового устройства, человек ставит своей целью выявление и изучение аналогий в живой и неживой природе.

Разумеется, никому и в голову не приходило ставить знак равенства между живым организмом и даже самым совершенным механизмом. Уж слишком велико их отличие. Любая биологическая система отличается малыми размерами, высокой надежностью, точностью выполнения разнообразных функций, весьма малым потреблением энергии, высокой чувствительностью. Но это еще не все. У биологических систем есть еще одно ценное качество — приспособляемость к различным условиям. Таким качеством не может похвастаться ни одна техническая система.

Изучая живую природу, человек стремится понять, в чем она совершеннее, «умнее», экономичнее современной техники. На основании познанного рождаются новые методы решения труднейших проблем, стоящих ныне на повестке дня.

На стыке двух наук — биологии и электроники — возникла новая наука — бионика. Датой рождения бионики принято считать сентябрь 1960 г., когда открылся первый американский национальный симпозиум на тему: «Живые прототипы искусственных систем — ключ к новой технике». И не случайно бионика избрала своей эмблемой скальпель и паяльник, соединенные знаком интеграла, — союз физиолога, техника и математика.

Что же изучает бионика? Как осуществляется соединение биологических систем с техническими?

Очень эмоционально выразил свое отношение к бионике один американский исследователь. «Бионика объединяет самую безумную часть электроники с самой безумной частью биологии». Эмоции — не довод, когда речь идет о науке. Но с ними тоже надо считаться. Так или иначе, для того чтобы разрешить все сомнения, нам остается заглянуть во внутреннюю структуру некоторых

биологических систем и посмотреть, как их интерпретировали инженеры.

Совершенство и разнообразие «электронных» устройств обнаружены у многих животных и насекомых. Нас поражают их высокая чувствительность, мгновенная ориентация, способность преобразовать один вид энергии в другой и многое, многое другое.

Большой интерес для инженеров представляет эхочувствительная система летучей мыши. Обладая слабо развитым зрением, мышь превосходно ориентируется в темноте, умудряется не ударяться о стены, не сталкиваться с другими своими сородичами.

Благодаря работам американского ученого Д. Гриффины сейчас доказано, что природа снабдила летучую мышь ультразвуковым локатором. При полете она излучает серию импульсов длительностью в тысячные доли секунды, их частота лежит выше границ нашего слуха и колеблется от 30 до 90 кГц.

Такие колебания частоты вызваны характером выполняемой работы. Если летучая мышь летает в поисках насекомого, она испускает от 5 до 10 «криков» в секунду, причем каждый «крик» длится 10—15 мс. При обнаружении пищи она учащает сигналы до 250 в секунду и теперь каждый из них длится всего лишь 1—3 мс.

Итак, «локатор» летучей мыши выполняет, в общем, те же функции, что и обычные, созданные человеком радиолокационные устройства. Но по своей точности и совершенству природное «устройство» в сотни и более раз превосходит созданное человеком.

Однако не только эти характеристики привлекли внимание специалистов. Взять, к примеру, проблему «помех», которая приносила и приносит немало неприятностей при разработке аппаратуры. Помехами могут являться любые радиосигналы, попадающие на вход приемного устройства и мешающие выделению полезных сигналов. Для уменьшения их уровня приходится применять различные устройства, что приводит к увеличению объема аппаратуры.

А что же летучая мышь? Оказывается, для нее почти не существует помех. Она прекрасно ориентируется среди всевозможных сигналов и всегда находит только свой отраженный сигнал.

Техника чрезвычайно нуждается в таких приборах, и создание такого локатора открыло бы новую страницу в современной радиолокационной технике.

А у мотылька, которым питаются летучие мыши, уши подобны маленьким микрофонам. Маленький неутомимый труженик имеет слуховой орган, который воспринимает сигналы от 10 и до 100 кГц, т. е. именно те частоты, на которых работает локатор летучей мыши. Когда мотылька грозит опасность, он в доли секунды находит выход из положения.

Вот как описывает поведение мотыльков при возникновении опасности А. Дж. Коут в книге «Поиски роботов». «К шесту, установленному на участке, находящемся в поле зрения кинокамеры, подвешивался громкоговоритель. Стоило мотылька оказаться перед камерой, как динамик начинал издавать серию звуков, не слышимых человеческим ухом. И тотчас же мотылек резко изменял характер полета. Иногда он отвесно падал вниз, после чего возобновлял полет в прежнем направлении. Иногда же выполнял не прямолинейное пикирование, а снижение по замысловатой спирали. А бывали случаи, когда он, оставаясь на одной и той же высоте, резко менял направление полета. Ясно одно: мотылек знал, что надо делать, чтобы «заморочить» голову летучей мыши».

Не правда ли, у мотылька где-то скрыт уникальный приемник для обнаружения ультразвуковых сигналов? Легко предвидеть, что приборы, подобные «мотыльку», но гораздо более совершенные, могли бы найти широкое применение в технике. По такому принципу можно создать высокочувствительную навигационную аппаратуру миниатюрных размеров.

Рассмотренные примеры заставляют нас лишний раз убедиться в том, что для изучения многих биологических систем требуется инженерный подход.

Особенно поражает нас высокая чувствительность животных, ощущения которых значительно тоньше, чем у человека. Коэффициент полезного действия каждого из этих органов чрезвычайно высок.

Глаза лягушки устроены так, что позволяют видеть только те детали, которые необходимы для поимки насекомых.

Гремучие змеи и сибирские щитомордики реагируют на изменения температуры до тысячной доли градуса, а глаз таракана чувствует колебание температуры в сотую долю градуса.

Рыбка мормирус с помощью электромагнитных волн распознает в воде мельчайшие предметы.

Мухи взлетают и садятся, сообразуясь с направлением магнитного поля.

Электрический скат может создать электрический импульс напряжением в 50—60 В, а угри — до 600 В.

А птицы? Разве не вызывает восхищение их способность ориентироваться? Голуби уверенно и безошибочно находят обратный путь к дому. Кстати, именно голуби помогли человеку решить ряд вопросов по повышению надежности во множестве технологических операций.

Голуби оказались незаменимыми техническими контролерами. Взять, к примеру, производство электронного измерительного оборудования. Тончайшие измерительные приборы на одном из заводов по неизвестным причинам стали выходить из строя. Как выяснилось позднее, аппаратуру подводили крохотные трещины на ряде деталей. Причем человек был не в состоянии надежно контролировать изготавливаемую продукцию: уставали глаза, притуплялось зрение.

И тогда контроль доверили голубям. Как только появляется бракованная деталь, голубь клюет сигнальную кнопку и деталь снимается с конвейера.

Или другой пример. Глаз мухи послужил прототипом приборов, способных измерять мгновенную скорость движущихся объектов. Уже создана фотокамера «мушиный глаз», способная зафиксировать тысячекратное изображение предмета с помощью 1329-линзового объектива. Этот прибор предназначен для репродукции особо точных микроэлектронных схем электронно-вычислительных машин.

Недавно был открыт секрет световой ориентации некоторых насекомых. Как показали опыты, пчелы находят и определяют свой путь по количеству поляризованного света, прошедшего через их глаза. Чувствительность глаз пчел настолько велика, что даже не видя долгое время солнце, они тем не менее точно «помнят» свой маршрут к улью.

На этом принципе польский ученый В. Старкевич создал электронный прибор, помогающий незрячим. Он представляет собой фотокамеру, помещаемую на голове незрячего. На дне фотокамеры находится искусственная сетчатка, которая состоит из набора фотосопротивлений, причем каждое «различает» только одну часть рассматриваемого предмета. С помощью электронного «глаза» незрячие смогли различать белые фигуры простой геометриче-

ской формы, а также ориентироваться среди извилистых дорожек парка, посыпанных светлым песком.

Таких моделей, иллюстрирующих поведение живых организмов, создано немало. Среди них как малогабаритные, надежные и предельно чувствительные датчики, так и системы обнаружения, ориентации, навигации и контроля. Нетрудно предвидеть, что такие приборы найдут самое широкое применение в технике.

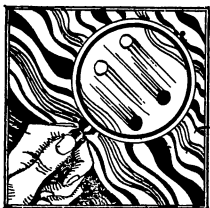
Остановимся еще на одной модели, к которой приковано пристальное внимание ученых всего мира. Это модель живой клетки — нейристор.

Нейристор — подобная проводникам структура, по которой передача возбуждения (импульса) могла бы распространяться так же, как по нервной клетке. Живая клетка чрезвычайно сложный элемент с разнообразными функциями. Ее можно сравнить с электрической схемой, содержащей несколько тысяч радиоэлектронных элементов, каждый из которых работает с большой эффективностью в любых условиях.

Моделировать живую клетку — нелегкий процесс. Несмотря на то, что удалось построить модели отдельных функций живой клетки, еще никто не продемонстрировал нейристор для практических целей. И это не удивительно: ведь живая клетка — сложнейшая в природе система.

Пройдет немало времени, пока будет создана искусственная клетка. И тогда станет возможным то, что сегодня кажется фантастикой. Вычислительная машина, построенная на нервных структурах, ультразвуковой локатор — летучая мышь или дельфин, искусственные «разумные» приборы и устройства — вот пока еще не реализованные, но вполне реальные перспективы бионики.

НАПЕРЕГОНКИ СО СВЕТОМ



*Так слушайте же меня, дабы понять
то, что вы сейчас увидите.*

БЕРНАРД ШОУ.

Цезарь и Клеопатра

С помощью Солнца

На Всемирной выставке «ЭКСПО-70» перед самым большим павильоном возвышалось необычное сооружение конусообразной формы — «Башня Солнца».

С древних времен люди поклонялись Солнцу, считая его безраздельным хозяином планеты, связывая с ним свое настоящее и будущее.

До нас дошли древние рисунки египтян, где они изображали Солнце как щедрого владыку, одаривающего людей земными благами, освещающего и согревающего живую природу.

Человек издавна делал попытки заставить энергию Солнца работать на себя. Но многие века не удавалось достичь успеха.

Впервые превращение солнечной энергии в электрическую удалось осуществить в прошлом веке. Немецкий физик Г. Герц, проводя опыты со своим знаменитым вибратором, столкнулся с совершенно новым и непонятным явлением. Ему удалось заметить, что если на искровой промежуток направить луч света от достаточно мощного источника (например, вольтовой дуги), то напряжение, требуемое для создания искры, можно было уменьшить. Значит, свет каким-то образом влияет на прохождение электрического тока?

Разгадать тайну этих явлений сумел в конце прошлого века известный русский ученый А. Г. Столетов. Он установил, что свет вырывает из поверхности тел электроны в количестве, пропорциональном интенсивности падающего света. Чем больше поток света, тем больше выбитых электронов. Открытое А. Г. Столетовым явление получило название внешнего фотоэлектрического эффекта. Позднее ученому удалось сконструировать фотоэлемент — прибор, создающий электрический ток под действием падающего на него света.

Почти одновременно с опытами, проводимыми А. Г. Столетовым, профессор Казанского университета В. А. Ульянин исследовал явление фотоэлектрического эффекта на границе соприкосновения металла с уже известным нам полупроводником — селеном.

В. А. Ульянин обратил внимание на следующий факт. Если покрыть селен тонкой пленкой металла, настолько тонкой, что она будет прозрачна для света, то при освещении ее в цепи появляется электрический ток. Вскоре выяснилось, что этим свойством обладает не только селен, но и многие другие полупроводники. Явлению, изученному В. А. Ульяниным, дали название внутренний фотоэлектрический эффект.

Первым прибором, использующим фотоэлектрический эффект, является фоторезистор. Он представляет собой полупроводниковый прибор без электронно-дырочного перехода. Пока на него не падает свет, в цепи течет ток, который определяется обычным омическим сопротивлением фоторезистора и приложенным к нему напряжением. Здесь лучистая энергия как бы законсервирована в материале полупроводника. При освещении его проводимость увеличивается в миллионы раз, что делает фоторезистор незаменимым для целого ряда устройств, в частности устройств автоматики.

Позднее, уже в нашем веке, появился новый тип прибора, получивший название фотодиода. Это кристалл полупроводника, две части которого имеют разную проводимость с электронно-дырочным переходом между ними. Если фотодиод осветить, то кванты света будут освобождать электроны из плена атомов на создание дырок. Образовавшиеся электронно-дырочные пары разделяются электрическим полем перехода: электроны и дырки собираются по разные стороны от него. В результате один электрод заряжается положительно, другой — отрицательно, и на контактах диода при отсутствии приложенного напряжения появляется фотоэлектродвижущая сила. При замыкании цепи в ней будет протекать электрический ток. Так действует полупроводниковый фотодиод, преобразующий световую энергию в электрическую.

Наряду с фотодиодами в различных схемах применяются и фототриоды, представляющие собой приемники лучистой энергии и обладающие свойством усиления фототока при воздействии энергии оптического излучения.

Фототриод — своеобразный кристаллический умножитель электронов. Он как бы совмещает в себе фотодиод и полупроводниковый усилитель.

Для изготовления фотодиодов и фототранзисторов используется селен, германий, закись меди и другие элементы. Однако наиболее выгодно делать их из кремния, ибо он наиболее распространен в природе, менее чувствителен к колебаниям температуры. Наконец, последнее немаловажное обстоятельство — кремний позволяет достигнуть минимальных потерь на отражение. На поверхности кремния очень легко образуется защитная пленка из окиси кремния, которая практически абсолютно прозрачна. Благодаря этим свойствам именно кремний стал основным материалом для изготовления солнечных батарей.

Размеры солнечных батарей невелики. Зато коэффициент полезного действия достигает 11—13%. Если современными солнечными батареями покрыть 1 м² Земли, то такая установка может дать 120 Вт электроэнергии. Правда, пока такая идея неосуществима и прежде всего из-за дороговизны кремниевых батарей.

Однако ученые твердо убеждены, что такие фотоэлектростанции обязательно появятся. Уже сейчас найдены вещества, которые во многих отношениях лучше кремния.

Но не только для создания солнечной энергетики пригодны кремниевые фотоэлементы.

Взять, к примеру, карманные радиоприемники. Энергии для их питания требуется очень немного. И ее дают кремниевые фотоэлементы, удобно размещаемые в корпусе приемника. При отсутствии света в темноте начинает работать миниатюрный аккумулятор, заряженный теми же фотоэлементами.

А вот еще одно оригинальное устройство. Оно оказывает помощь незрячим при чтении обычных печатных текстов. И здесь не обходится без фотодиодов. Электронные «очки», сконструированные американскими специалистами, сделаны в виде пистолета, который слепой передвигает по страницам книги. Фотодиоды не только четко фиксируют сочетания темных и светлых участков книги, но и превращают световую энергию в энергию электрическую. При помощи транзисторов электрические сигналы усиливаются и в такт изменениям проходящего тока преобразуются далее в механические колебания за счет установленных в схему механических вибраторов. Эти колебания и ощущает слепой. В данном устройстве

каждый букве алфавита соответствует определенная частота вибраций.

В последние годы для фотодиодов нашлась более интересная и увлекательная работа — питать электроэнергией космические аппараты.

Солнечные батареи обеспечивают энергией большинство современных искусственных спутников Земли, автоматических станций и космических кораблей. В полете их аккумуляторы непрерывно пополняют электрическую энергию от солнечных батарей. Но для того, чтобы энергия поступала непрерывно, корабль надо сориентировать определенным образом в направлении к Солнцу. Такой ловушкой света, «глазами» космического корабля являются фотодиоды. Стоит лишь кораблю отклониться от заданного направления, как фотодиоды сообщат «мозгу» станции, с какой стороны «виден» свет. По поступающему сигналу срабатывает система ориентации, которая приводит корабль в нужное положение.

Само собой разумеется, что солнечные батареи не функционируют на теневой стороне планеты или в непроходимой для солнечных лучей атмосфере планет типа Венеры. В этих условиях начинают действовать химические или атомные источники тока. И все же львиную долю электроэнергии дают кремниевые фотоэлементы.

Сердцем автоматических самоходных аппаратов «Луноход» также являлись солнечные батареи. Они приводили в действие двигатели лунного «автомобиля», давали энергию для питания разнообразной научной аппаратуры.

И, наконец, почти несомненно, что ориентировка будущих звездных кораблей, запускаемых с Земли на огромные расстояния, будет также основана на принципе фототропизма (т. е. способности двигаться на источник света): для этого будет достаточно «нацелить» фотоэлементы корабля на какую-нибудь неподвижную звезду.

Мы привели далеко не полный перечень устройств и приборов, в которых нашли применение солнечные батареи и фотоэлементы. К сожалению, они еще далеки от совершенства. Но надо учитывать, что все достигнутое — лишь начало их пути.

Впереди новые проекты и решения. Уже сейчас ученые ломают голову над проблемой эффективного использования «золотого дождя», падающего на Землю. Здесь надо ждать открытий!

Невиданные источники

В 1917 г. Альберт Эйнштейн показал, что возбужденные атомы или молекулы могут излучать элементарные порции электромагнитной энергии — кванты света (фотоны) двумя способами. Во-первых, процесс излучения может происходить без внешнего возмущения, т. е. самопроизвольно. Во-вторых, фотон может излучаться при воздействии на возбужденную систему точно таких же фотонов. Отсюда следует, что частицу с верхнего энергетического уровня можно столкнуть на нижний, при этом частица испускает квант света, тождественный падающему. Процесс вынужденного испускания прямо противоположен хорошо известному процессу поглощения света в веществе. При поглощении квант света исчезает, при вынужденном испускании, наоборот, появляется еще один квант.

Явление вынужденного испускания лежит в основе работы оптических квантовых генераторов света — лазеров. В 1954 г. советским физикам Н. Г. Басову и А. М. Прохорову и одновременно американскому ученому Ч. Таунсу удалось впервые наблюдать и использовать вынужденное излучение. Так родились удивительные, невиданные источники света. «Чтобы получить от нити лампы накаливания луч света такой же яркости, как луч квантового генератора, ее потребовалось бы нагреть до температуры 10 миллиардов градусов», — писал академик Басов.

А созданные источники света не раскалены до чудовищной температуры, они совершенно холодные и вполне умещаются на ладони.

Первые модели источников света работали на рубине. В последние годы внимание ученых и инженеров привлекли полупроводниковые материалы. Создание на их основе лазеров положило начало новому направлению в полупроводниковой электронике. Самая значительная их особенность — возможность непосредственного преобразования электрической энергии в энергию световых электромагнитных колебаний, причем коэффициент полезного действия при таком преобразовании может приближаться к 100 %. Кроме того, мощность полупроводниковых лазеров в расчете на 1 см³ излучающего вещества в сотни тысяч раз больше, чем у других генераторов.

Остановимся более подробно на принципе действия полупроводникового лазера. Как уже отмечалось ранее, для

перехода электрона в зону проводимости ему необходимо сообщить определенную энергию. Каким же образом энергия пучка электронов превращается в лазерное излучение?

В полупроводниковом лазере используется обычный полупроводниковый диод, обладающий электронной и дырочной проводимостью. На противоположные концы полупроводника наносят отражающие покрытия — зеркала. Они-то и образуют «колебательный контур» — оптический резонатор полупроводникового лазера. Усиление световой энергии происходит при условии, когда большинство уровней энергии в зоне проводимости занято электронами, а в дырочной области — дырками. Достаточно подать постоянное напряжение на диод, как дырки и электроны устремятся друг к другу. В процессе рекомбинации электроны переходят границу электронно-дырочного перехода, испуская при этом квант энергии. Благодаря оптическому резонатору создаются условия для многократного прохождения светом пути от одного зеркала к другому. Этот процесс сопровождается испусканием индуцированного света — он вырывается наружу через одно из зеркал резонатора (последнее выполняется полупрозрачным).

Первые диоды из арсенида галлия генерировали в невидимой ближней инфракрасной области спектра. Изменяя процентное содержание различных компонентов кристалла, можно варьировать частоты генерируемого излучения в широких пределах. Например, электронно-дырочные переходы на карбиде кремния и фосфиде галлия в силу большей ширины зоны излучают видимый свет — синий и красный соответственно. Таким образом, электронно-дырочный переход можно заставить работать в качестве излучателя света, видимого и невидимого.

Что же новое несут в технику полупроводниковые лазеры? Наряду с отмеченными особенностями можно привести другое достоинство: миниатюрность. Доли миллиметра — таковы размеры полупроводниковых лазеров. Наконец, такую высокую направленность излучения, как у лазеров, в сочетании с большой мощностью нельзя получить от обычных источников никакими, даже самыми совершенными зеркалами или другими оптическими системами.

Создание лазеров позволяет пересмотреть наши взгляды на многие установившиеся процессы. Нужно ли для транспортировки энергии по-прежнему использовать элек-

трический ток? Не проще ли передавать ее в виде света? Нельзя ли попытаться создать систему, способную с поверхности Земли пучками света поддерживать искусственные спутники на их орбитах? Необходимо ли сохранять металлическую обработку материалов? Ведь при обработке лучом лазера затраты энергии могут быть намного меньше, точность выше, а детали прочнее.

Изучением принципов работы лазеров, созданием и практическим применением их занимается одна из самых молодых наук — квантовая электроника. Она возникла на стыке трех наук: оптики, радиоэлектроники и квантовой механики. Несмотря на молодость, квантовая электроника заняла почетное место среди других наук и оказывает все возрастающее влияние на развитие многих областей знания.

Новая профессия электроники

Известно, что скорость распространения электрических импульсов в твердом теле относительно невелика и прежде всего из-за наличия пассивных элементов (резисторов, конденсаторов) и электрического тракта. Для того чтобы зарядить и разрядить конденсатор, требуется немалое время. Передача электрических сигналов также связана с определенными трудностями.

Вот здесь и возникает проблема. В самом деле, каким путем повысить быстродействие схем, как избавиться от потерь электроэнергии при передаче и от различного рода помех и наводок?

Ученые обратили внимание на два специфических свойства света, которыми не обладает электрический ток. Во-первых, оптический сигнал развернут не только во времени, но и в пространстве. Во-вторых, оптические связи бесконтактны. Получается, что оптический сигнал — «сам себе провод» и по нему можно передавать энергию практически без потерь со скоростью около 300 тыс. км в секунду!

Совместное использование электрических и световых сигналов — главная идея оптоэлектроники.

Что же нового может принести науке это направление? Прежде чем ответить на этот вопрос, рассмотрим, как устроены оптоэлектронные устройства.

Любое, даже самое простое оптоэлектронное устройст-

во состоит из источника света, среды, в которой распространяется свет, и приемника. В качестве источника света используются излучательные диоды на арсениде галлия — лазеры и светодиоды.

Светодиоды представляют собой крохотные диски из карбида кремния или арсенида галлия и по принципу действия аналогичны полупроводниковым приборам. При пропускании тока через светодиод он светится, причем излучение света можно получить как в видимой, так и в невидимой частях оптического спектра.

До последнего времени самыми распространенными индикаторами света являлись лампы накаливания, неоновые лампы, газоразрядные приборы и люминесцентные индикаторы. По сравнению с ними светодиоды более долговечны и потребляют в десятки раз меньшую мощность. В светодиодах яркость свечения пропорциональна величине тока, протекающего через прибор. Включив светодиод в цепь какого-либо устройства, можно контролировать его параметры по изменению яркости свечения. Помимо этого, они обладают высокой скоростью переключения, занимают малый объем и отличаются устойчивостью к различного рода механическим воздействиям.

Высокие качества светодиодов позволяют использовать их в индикаторных устройствах малогабаритной аппаратуры, а также совместно с микросхемами.

В настоящее время освоен выпуск цифровых индикаторных панелей, на которых можно воспроизводить как цифровые знаки, так и буквы. Такие панели могут оказаться весьма полезными в измерительных устройствах, вместо стрелочных приборов, устройствах вывода информации из электронно-вычислительных машин, а также при работе с кинофотоаппаратурой.

Приемниками света служат рассмотренные выше кремниевые фотодиодные и фототранзисторные приборы. Обычно для передачи и приема применяются определенные сочетания оптоэлектронных приборов. Например, светодиод — фототранзистор, светодиод — фоторезистор, светодиод — фототиристор и т. п.

Для того чтобы направить световой сигнал из одного блока (источника) в другой (приемник), используются проводники светового сигнала — световоды. Световоды — это пучки тончайших нитей из прозрачного стекла, по которым свет распространяется в результате многократного внутреннего отражения от стенок. Через стеклянное во-

локно толщиной порядка нескольких микрон может быть передано около 100 оптических сигналов, причем потери энергии очень незначительны. Но это не все. Если сделать волокна с примесью определенных химических элементов, то они могут даже усиливать световой сигнал подобно лазеру, компенсируя тем самым потери энергии в световоде. Это одно из главных преимуществ оптической связи.

Не менее важны и другие. Во-первых, идеальная развязка между входом и выходом устройств. Сигнал передается только в одном направлении. Поэтому изменения режима нагрузочной цепи не отражаются на характеристиках входной цепи. Во-вторых, отсутствие отраженных сигналов от приемника к источнику, а также очень широкий диапазон частот (от нуля герц до гигагерц). Наконец, экономичность, огромное быстродействие, малый вес и габариты, высокая надежность. Перечисленные достоинства оптоэлектроники открывают перед разработчиками широкие перспективы.

Несомненно, большое практическое применение найдут оптические переключатели. В одном из вариантов такого переключателя предполагается использовать два близко расположенных полупроводниковых лазера. Сначала работает первый лазер. Когда включается второй лазер, его излучение гасит генерацию в первом лазере и выходит из другой грани полупроводника. Такое взаимное гашение генерации интересно тем, что оно выполняет роль оптического трансформатора постоянного или переменного тока и позволяет осуществлять надежную развязку цепей между различными устройствами.

Не менее интересны и так называемые оптоэлектронные ключевые устройства. Они служат для замены мало надежных электромеханических и электронных реле в различных электрических схемах. Здесь используется сочетание двух полупроводниковых приборов: светодиода и фототиристора.

Светодиод является источником света, а фототиристор выполняет роль практически идеального ключа, где переключение происходит под действием световых импульсов. Такие устройства отличаются высокой надежностью, позволяют производить до нескольких миллиардов переключений и более, имеют малые габариты и вес.

Созданы приборы с так называемой перемещающейся границей излучения — управляемые светодиоды. При возникновении в цепи управления тока в точке примыкания

управляющего электрода к светящемуся кристаллу появляется темное пятно, размеры которого пропорциональны величине тока, протекающего через управляющий электрод. Такие светодиоды можно использовать в индикаторах настройки современных приборов, а также в схемах для регистрации переменных процессов.

Есть и другие проекты. Речь идет о разработке оптических устройств, на базе которых могут быть созданы новые вычислительные машины. Здесь можно говорить о быстройдействии порядка 10 млрд. операций в секунду и плотностях записи информации порядка миллионов двоичных единиц на 1 см².

Конечно, от первых экспериментов до законченного устройства расстояние огромное. Ни в год, ни в два его не пройдешь. Но работы начались и идут широким фронтом.

В истории науки не раз случалось, что одно направление дает толчок развитию другого. Оптоэлектроника в содружестве с квантовой электроникой и радиоэлектроникой дала толчок бурному развитию голографии.

Наука о «призраках»

Слово «голография» происходит от слов «олос» — полный и «графо» — пишу и означает «полная запись». С научной точки зрения голография — метод записи и воспроизведения волнового поля.

Еще со времен Гюйгенса и Френеля физика исследовала волны, их интерференцию, дифракцию, рассматривая свет как волновое явление. (Напомним, что интерференция — это сложение волн одинаковой частоты, приходящих в каждую точку пространства по двум или нескольким различным путям, а дифракция — явление огибания волнами препятствий, лежащих на пути распространения волн.) К началу XIX в. ученые располагали уже достаточными знаниями об интерференции и дифракции световых волн, чтобы сформулировать основные принципы голографии. Но только в 1948 г. английский физик Деннис Габор сумел сформулировать идею воспроизведения волнового фронта и указать метод ее осуществления.

Одним из важнейших этапов в развитии голографии являются работы советского ученого Ю. Н. Денисюка, предложившего в 1962 г. регистрировать голограммы в

трехмерных средах. Именно с этого времени голография начала бурно развиваться.

Представьте себе, что вам показывают фотопластинку. Внимательно посмотрев, на ней можно увидеть совокупность пятен, путаницу волнообразных штрихов, окружностей. Но стоит только пропустить через нее луч лазера, как она оживает, и на экране появляется четкое изображение. И не плоское, как на обычной фотографии, а объемное. Предметы, запечатленные на пластинке, особенно ближние, будут видны с разных сторон. Эффект будет настолько сильным, что избавиться от впечатления реально существующего предмета невозможно.

И еще замечательная особенность у такой фотопластинки. Даже разбив ее на мелкие кусочки и осветив лучом лазера любой из них, мы получим все то же изображение целиком.

Уберите свет — «призрак» исчезнет. Включите свет — предмет возникает вновь. Именно отсюда пошло шуточное название этой отрасли науки как науки о «призраках».

На самом же деле не было никакого чуда. Просто вам показали голограмму и помог ее создать лазерный луч.

Что же собой представляет голограмма?

Голограмма есть не что иное, как фотография интерференционной картины световых волн. Смещая точку наблюдения в пределах волнового поля, мы видим объемное изображение предмета, как бы ощущаем его реальность.

Для получения голограммы объекта необходимы когерентные источники света. Это означает, что излучение, испущенное различными точками источника в разные моменты времени, связано между собой. Таким источником служит лазер, который дает остронаправленное излучение с высокой степенью когерентности и позволяет выявить и использовать волновые свойства света.

Чтобы получить голограмму предмета, его освещают лазерным лучом. Рядом с предметом устанавливается зеркало. Таким образом, лучи лазера попадают не только на объект, но и на зеркало. Отраженная от предмета волна, а также опорная волна от зеркала попадают на фотопластинку. В результате взаимодействия опорной и отраженной волн на фотопластинке будет зарегистрирован узор из чередующихся темных и светлых участков. Причем если колебания совпадают по фазе, то их суммарная амплитуда увеличивается, если находятся в противофазе — ослабляется. Так в голограмме запечатлевается вся ин-

формация об амплитудах и фазах световой волны. Каждая точка голограммы несет информацию о световых волнах, которые привели к образованию узора из чередующихся темных и светлых полос. Поэтому при нарушении целостности голограммы качество изображения не разрушается, остается цельным. Изменение яркости и четкости предмета становится заметным лишь при восстановлении изображений с очень малых кусочков голограммы (порядка 3—4 мм).

Следующий этап — «оживление» фотопластинки — основан на явлении дифракции световых волн.

Для того чтобы восстановить изображение, объект съемки убирают, а голограмму помещают на то же место, где она находилась при съемке. Если затем включить лазер и посмотреть в освещенную лучом лазера голограмму, как в окошко, мы увидим объемное изображение: предмет на том же месте, как будто его не убирали. Более того, если среди заснятой группы предметов один загораживает другой, то, смещая точку наблюдения (отклонившись в бок, например) в пределах заснятого волнового поля, мы сможем увидеть, что делается за предметами, расположенными на переднем плане.

Резюмируя сказанное, мы приходим к следующему основному закону голографии:

если на светочувствительной поверхности зарегистрировать интерференционную структуру, образованную произвольной предметной волной и когерентной с ней опорной волной от точечного источника, и затем осветить эту структуру (голограмму) опорной волной, то в результате дифракции света восстановится предметная волна.

У голограммы есть еще одно поразительное свойство. Она обладает «памятью». На обычную фотопластинку размером 32×32 мм можно записать 1024 голограммы: каждая занимает площадь в 1 мм^2 . И храниться она будет вечно.

Перечисленные свойства голографии позволяют сделать вывод, что у нее широчайшие перспективы применения. Интересную мысль высказал по этому поводу американский ученый Д. Строук: «Голограмма хранит световые волны подобно тому, как фортепиано хранит музыкальные звуки. В струнах скрыта музыка, нужно лишь, чтобы по ним ударили молоточками».

Итак, прежде всего голограмма — уникальное по емкости хранилище информации. Если наделить вычисли-

тельные машины голографической памятью, то по эффективности они превзойдут подобные существующие ныне устройства в 100—1000 раз. В них станет возможно вести параллельную обработку неслыханного количества информации.

Способность голограммы сохранять высококачественное изображение может послужить для изготовления копий с редких и ценных документов и во много раз удлинять их жизнь.

Успешно идут поиски возможностей применения голографии и в других направлениях. Стереоскопичность изображения, возможность получения многоцветных изображений делают весьма заманчивыми перспективы голографического кино и телевидения.

Голография открывает новый метод исследования деформаций, анализа движущихся объектов и их вибрации, исследования рельефа сложных поверхностей.

В различных областях науки и техники нередко приходится прибегать к выделению определенного сигнала из совокупности сигналов, чем-то отличающихся от него. И здесь голография поможет узнать «свой» сигнал. Этот же принцип может быть применен для воссоздания целого изображения по его части.

С помощью голограммы удалось получить изображение даже несуществующего предмета, так называемой синтезированной голограммы. Исходя из математического описания формы одного выдуманного объекта, на вычислительной машине было рассчитано распределение интенсивностей, которое должно получиться на голограмме. Затем последовательно освещались мельчайшие участки фотопластины с рассчитанной выдержкой. Пропуская луч лазера через полученную голограмму, было получено изображение несуществующего предмета.

Думается, что теперь читателю понятно, почему мы ограничились лишь очень кратким рассмотрением наиболее интересных случаев применения голографии. Трудно перечислить и предугадать ее изумительные возможности, учитывая хотя бы тот факт, что сейчас ежегодно публикуется до 1000 работ в этой области. Тем не менее о некоторых, наиболее интересных, с нашей точки зрения, моментах использования голографии будет рассказано в последующих разделах книги.

Волшебный луч

Современное общество обладает развитой сетью самых разнообразных средств связи. Люди опутали Землю всевозможными проводами и кабелями, по которым передается огромное количество различных сообщений и программ. И все-таки в наше время бурного роста потока информации, развития космонавтики и общего технического прогресса существующих линий связи явно не хватает.

Радиотехникам известно, что, чем короче волна, тем шире частотные границы диапазона. Именно поэтому специалисты всегда стремились любой ценой укорачивать волны. Только на самых коротких волнах можно избавиться от тесноты в эфире и передавать большой объем информации.

Когда длину волны укоротили до сантиметров, оказалось, что в этом диапазоне можно одновременно передавать около 100 телевизионных программ и 100 тыс. телефонных разговоров.

Но и этого сегодня оказывается недостаточно.

Как же увеличить емкость линий связи? Остается только одна возможность: забраться в глубь еще более коротких электромагнитных волн.

Переход на новые диапазоны волн был всегда связан с необходимостью использовать новейшие физические открытия, осваивать новую электронную аппаратуру и технологию ее изготовления. Так было и на этот раз. Использование выдающегося научного достижения — создания оптических квантовых генераторов — позволило успешно освоить волны длиной до десятых долей микрона.

Детище второй половины XX в. — лазеры обладают удивительными свойствами. Они могут обеспечить колоссальные плотности энергии в почти нерасходящемся луче. Высокая плотность энергии и остронаправленное излучение, которые не достижимы в диапазоне радиоволн, позволяют оптическим линиям связи при меньшей мощности передатчика получить большую дальность действия.

Скорость распространения светового луча несоизмеримо больше скорости полета любого снаряда или ракеты, а полоса пропускания световых волн в тысячи раз больше, чем у самых коротких радиоволн. В оптическом диапазоне можно легко разместить около 10 млн. телепрограмм и 10 млрд. телефонных разговоров! Это означает, что при

прочих равных условиях оптическая линия связи характеризуется емкостью в миллион раз большей, чем емкость радиоперехода метрового диапазона волн. Недалек день, когда полупроводниковый лазер и световоды позволят заменить современный толстый кабель, а заодно и убрать с крыш домов лес телевизионных антенн.

Уже в настоящее время лазерные системы связи широко используются в технике. В нашей стране первая открытая наземная лазерная линия связи начала работать в Ленинграде в ноябре 1964 г. По 6-километровой трассе передавались телефонные разговоры и телевизионные изображения. В 1966 г. в Москве пущена в эксплуатацию двусторонняя оптическая линия многоканальной связи между АТС с индексами Г6 и АВ-9 с расстоянием между ними около 6 км. Луч лазера рождался на башне Московского университета и простирался до Зубовской площади. Так появился оптический телефон, пришедший на смену перегруженной городской телефонной сети.

Те, кто побывал на ВДНХ в павильоне «Электроника», могли увидеть действующую установку ЛГ-24М, которая обеспечивает передачу телевизионных программ на расстояние в 5 км. Или другой пример. Недавно вступила в строй экспериментальная приемно-передающая станция, связывающая АТС Еревана с Бюраканской астрофизической обсерваторией. Расстояние между этими пунктами 25 км. Аппаратура спроектирована и изготовлена советскими специалистами и может одновременно обслужить 24 абонента.

Пока это первые и робкие шаги. Однако вспомним, как рождалась полупроводниковая электроника. Поначалу многие специалисты сомневались, что транзисторы смогут завоевать прочное положение в технике. Но после освоения технологии их производства положение резко изменилось. То же самое происходит и с лазерной техникой. Необходимо поскорее решить ряд технических и технологических проблем и тогда фантастика станет действительностью.

Опыт эксплуатации первых оптических линий связи продемонстрировал отличную слышимость, отсутствие шумов и потрескиваний. Правда, есть и существенные недостатки. Одним из главных является зависимость дальности передачи информации от состояния атмосферы. Атмосферные осадки, различные шумы, космическое излучение, сопутствующее смене дня и ночи, служат пока не-

преодолимой преградой для передачи сигналов на большие расстояния.

Другая причина ослабления светового излучения с расстоянием — рассеяние и поглощение его находящимися в воздухе аэрозолями, т. е. мельчайшими частицами пыли, капельками воды и химических веществ. Некоторые специалисты считают, что дальность передач можно увеличить, если использовать «атмосферные окна», где определенные длины волн почти не задерживаются атмосферой. Таким свойством обладают световые волны длиной от 13 до 8 мк и от 0,75 до 0,33 мк.

Второй путь увеличения дальности действия систем связи на лазерах заключается в защите светового луча от влияния атмосферы с помощью световодов. Такой световод представляет собой трубу, снабженную системой зеркал для плавного изменения направления луча в местах поворота трассы. Один световод может обеспечить передачу до 100 тыс. телефонных разговоров.

В случае если передачу надо вести за пределами прямой видимости, можно использовать ряд промежуточных станций, аналогичных применяемым в системах телевизионной связи. Кроме этого, загоризонтную связь можно построить на свойстве света отражаться от облаков и неоднородностей тропосферы. Указанные способы могут обеспечить передачу информации на расстояние выше 100 км.

Не мало проблем предстоит решить и при обработке поступающей информации. К сожалению, создание мощных лазеров не решает пока полностью задачу создания оптической связи. Основная трудность — отыскать в пространстве и обработать остронаправленный луч лазера. Этот луч нужно направить и принять на другом конце линии связи, а принятый световой сигнал преобразовать в электрический. С этой целью применяются приемные устройства, которые собирают и фокусируют энергию, посланную антенной передатчика.

Из разнообразных типов приемников в настоящее время широко используются быстродействующие фотоэлектронные умножители и другие индикаторы световой энергии. С помощью их лазерные сигналы преобразуются в радиосигналы, из которых происходит выделение полезной информации, а последняя затем поступает к громкоговорителям, телефонам, телевизионным кинескопам и другим приборам.

Помощник врача и хирурга

В предыдущих разделах мы рассказали лишь о некоторых задачах, решаемых учеными с помощью лазеров. Их можно назвать десятки. По мнению академика А. М. Прохорова, к 2000 г. лазер станет одним из основных инструментов техники.

А теперь стоит рассказать о еще одной области применения лазера.

Сразу же после создания оптических квантовых генераторов высказывался ряд соображений по использованию их в медицине. Ведь луч лазера монохроматичен, когерентен и устремлен в одном направлении, размышляли ученые. Нельзя ли использовать его в ходе хирургической операции? Оказалось, что можно. Сегодня лазер — один из точнейших хирургических инструментов современной медицины.

Отслаивание сетчатки — тяжелейшая глазная болезнь, приводящая к потере трудоспособности. Долгое время перед этой болезнью были бессильны самые лучшие специалисты. Сейчас с успехом проводят операцию с помощью лазера. Выпускаемые нашей промышленностью лазеры ОК-1 специально предназначены для лечения глазных болезней.

Сфокусированный в области сетчатки луч света «приваривает» сетчатку, не повреждая при этом другие части глаза: роговицу, хрусталик, стекловидное тело. Здесь используется одно из замечательных качеств лазерного излучения — избирательность действия. Луч не повреждает прозрачные среды и, лишь достигнув глазного дна, поглощается там темноокрашенными клетками сетчатой оболочки.

Этот же принцип избирательности был использован для лечения кожных заболеваний. Первые опыты показывают, что применение лазерного луча дает и хорошие косметические результаты. Судите сами. На веснушку направили тонкий луч лазера. Подбирая режим излучения, удалось добиться разрушения пигментированных клеток кожи. Находящиеся же между ними участки белой кожи совершенно не реагировали на вспышку лазера. Не исключено, что уже в ближайшем будущем женщины будут избавлены от разного рода экзекуций, которым они подвергали себя, стараясь любой ценой уничтожить веснушки.

С развитием оптоэлектроники преобразились различные отделы физиологии.

Недавно был предложен новый способ исследования деятельности сердечно-сосудистой системы. Речь пойдет об известных нам световодах — стеклянных волокнах. В полость сердца вводятся тончайшие нити световода, по которым направляется когерентный пучок света. В результате полного внутреннего отражения от стенок световода луч проходит по волокну к области сердца и обратно, передавая неискаженное изображение объекта.

Есть и другой метод. Можно использовать два световода. По одному из них направляется некогерентный пучок света попеременно с различной длиной волны. Второй световод служит для приема отраженных сигналов. Лучи света от источника проходят по первому световоду; дойдя до кровеносных сосудов и частично отражаясь от них, они возвращаются через второй световод. По отраженной световой волне врач получает информацию о насыщении крови кислородом в полости сердца.

Наличие световодов, при помощи которых свет может быть направлен в желаемую точку, позволяет использовать лазеры для операции на внутренних органах, и в частности, для лечения злокачественных и доброкачественных опухолей человека.

Уже получены первые обнадеживающие результаты. При правильном выборе энергии излучения световые импульсы приводят к полному разрушению опухолевой ткани.

Операционная выглядит необычно. В ней отсутствуют привычные нам аппараты и инструменты: нет скальпеля, хирургических инструментов, нет и самого хирурга. Их заменила лазерная установка, посылающая мощные пучки света на пораженное место. Слышны только приглушенные выстрелы, чем-то отдаленно напоминающие залпы артиллерийских орудий. Луч лазера тончайшей иглой впивается в опухоль больного, выбрасывая части клеток в виде невидимого облака. На месте опухоли сначала образуется сухая корочка, которая впоследствии отпадает и практически не оставляет никакого следа.

Если пучок света направлять не импульсами, а непрерывно, то такой луч способен рассекают ткани, выполняя функции скальпеля. Первые образцы таких скальпелей созданы в Московском научно-исследовательском онкологическом институте им. П. А. Герцена и проходят

в настоящее время испытания. Луч лазера не только с успехом отсекает пораженные ткани, но и предотвращает кровотечение, как бы «приваривая» встречающиеся по ходу операции сосуды. Такой способ оперативного вмешательства сулит немалые перспективы для бескровных операций на внутренних органах.

Предстоит еще немало сделать, чтобы полностью решить проблемы лазерного лечения жизненно важных органов и систем человеческого организма. Есть все основания полагать, что ученые добьются новых успехов на этом нелегком пути борьбы за здоровье человека, а лазеры займут важное место в медицине будущего. Ведь будущее закладывается уже сегодня.

Уникальный измеритель

В США подсчитано, что в среднем за день проводится более 20 млрд. измерений. А многим ли известно, что в нашей стране более 3 млн. человек занимаются измерениями? Что и говорить, цифры внушительные!

Прав был великий русский ученый Д. И. Менделеев, когда писал, что «наука начинается там, где начинаются измерения».

С прогрессом науки и техники методы проведения эксперимента крайне усложнились. Теперь успех исследовательского поиска зависит не только от изобретательности ученого, но и в значительной степени от технических возможностей измерительной аппаратуры.

При огромных объемах измерений важен один общий принцип — точность результата. Требование это достаточно очевидно, но зачастую трудно выполнимо.

Создание лазеров открыло новые перспективы перед техникой точных измерений. Объясняется это прежде всего тем, что лазер обладает сочетанием таких свойств, как высокая монохроматичность, малая расходимость луча и большая интенсивность.

Эти свойства лазерного излучения широко используются в интерферометрии.

В настоящее время наша промышленность выпускает специальные лазерные интерферометрические установки для точного измерения длин, показателей преломления и контроля однородности деталей.

Лазерные интерферометры оказывают большую по-

мощь и микроэлектронике при изготовлении интегральных схем. Для нанесения элементов интегральной схемы необходимо производить их покадровое проекционное впечатывание на подложку. Как известно, подложки в интегральных микросхемах играют очень большую роль. Во-первых, подложка является конструктивной основой микросхем. Во-вторых, материал подложки и его обработка оказывают существенное влияние на параметры осаждаемых пленочных слоев и на надежность всей интегральной схемы.

При впечатывании элементов необходимо точно контролировать перемещение подложки, ибо от этого зависит совмещение элементов в микросхеме. Чем выше точность, тем большее количество элементов можно уложить на подложку. Достаточно сказать, что оптический метод позволил в 10 раз повысить точность измерения. Это дало возможность в дальнейшем перейти от обычных интегральных схем к изготовлению БИС, необходимых для создания сверхминиатюрной радиоэлектронной аппаратуры.

Дальнейшие исследования, активно проводимые многими научно-исследовательскими лабораториями, показали, что область возможных применений лазерных интерферометров гораздо шире, чем предполагалось ранее.

Одной из первых областей, использовавших эффект от применения оптического метода измерений, была голография, которая способствовала введению ряда новых перспективных методов в интерферометрию. Техника голографической интерферометрии добавляет к перечисленным случаям применения возможность исследования таких явлений, которые раньше считались недоступными для наблюдения. Более того, голография сделала интерферометрию менее сложной за счет возможности применения лазеров. Она также позволила производить точные измерения практически на любом материале и почти независимо от окружающих условий.

Рассмотрим некоторые возможности голографической интерферометрии.

Если поместить голограмму на то место, где она была зафиксирована, а предмет убрать, то, как мы уже знаем, восстановится световая волна, рассеивавшаяся предметом. Если же предмет не убирать и осветить его и голограмму теми же прямым и опорным лучами, то можно наблюдать интерференционную картину двух волн: идущую от пред-

мета и восстановленную голограммой. Если с предметом произошли какие-либо изменения, то в интерференционной картине появятся светлые и темные полосы, характеризующие степень этих изменений, что позволяет точно их измерить.

Исследование деформаций — одно из первых применений голографической интерферометрии. Взять, к примеру, деталь самолета или лопасть двигателя до того момента, как он начинает работать. На фотопластинку записывают исходное состояние детали. Через некоторое время на эту же пластинку наносят изображение той же детали, но испытавшей деформацию. Интерференция между восстановленным волновым фронтом голограммы и волновым фронтом от деформированного объекта дает общую интерференционную картину, показывающую, как изменился наблюдаемый объект.

Точность измерений поражает: измеряются деформации порядка десятой доли микрона, т. е. соизмеримые с долями длины световых волн.

Удалось получить голограммы быстро движущихся объектов. Отдельная вспышка лазера «останавливает» его на мгновение и регистрирует состояние объекта. При повторной экспозиции вторая картина накладывается на ту же голограмму. Ряд таких последовательных снимков дает развертку движения во времени и пространстве. Таким образом были получены детальные изображения ударных волн следа летящей пули. Была также сфотографирована волна сжатия, создаваемая крыльями летящей мухи.

С помощью голографических методов может быть исследована концентрация электронов в плазме лазерной искры. Для получения интерференционной картины плазмы используется одновременное излучение нескольких длин волн (не менее двух). По полученной голограмме определяют вклад в рефракцию плазмы тех или иных частиц, т. е. производят диагностику плазмы.

Мы рассказали лишь о некоторых универсальных измерителях, которые делают первые шаги в широкую практику. Перечисление всех возможностей голографических интерферометров затруднительно из-за их разнообразия.

Пока еще перед голографией много сложных и нерешенных проблем. Сама голограмма кажется нам сейчас чудом. Но ведь все принципиально новое не может сразу

стать очевидным в широкой непрофессиональной среде. Любое открытие сначала находит признание в среде профессиональной. И именно оттуда идут самые обнадеживающие отзывы, содержание которых означает, что «чудо» состоится.

Разноцветный мир

В наши дни все согласны с тем, что цвет — это мнение, ощущение. Причем в зависимости от условий окружающей среды ощущение различных цветов неодинаково.

Многие из представителей животного мира не различают цвета. Собаки, да и другие животные видят все окружающее одноцветным. Их органы чувств реагируют только на изменение яркости света, отражаемого от различных предметов. Это позволяет им ориентироваться даже в незнакомой обстановке.

Люди, к счастью, хорошо различают цвета. Как безрадостно было бы жить в одноцветном мире!

Физиологами установлено, что наше зрение может передать в мозг во много раз больше информации, чем другие органы чувств. Восприятие света и цвета находится в органической взаимосвязи и представляет собой довольно сложный процесс.

Первым, кто заложил основы корпускулярной теории света, был великий ученый И. Ньютон. Более 300 лет назад Ньютон пропустил белый луч солнечного света через трехгранную призму. Из призмы вышел веер лучей всех цветов — от фиолетового до темнокрасного. Поставив на пути вышедших из призмы лучей вторую призму, Ньютон вновь собрал их в один пучок белого цвета. Проведенный опыт позволил сделать правильный вывод, что белый цвет — это совокупность всех видимых цветов.

Против Ньютона, склонявшегося к тому, что свет это частицы, выступали видные ученые того времени, в том числе Х. Гюйгенс, Р. Гук и др. И только спустя почти 100 лет великий русский ученый М. В. Ломоносов сумел объяснить опыты Ньютона и разработал теорию трехцветного зрения. Мысли великого ученого были описаны им в работе «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющем, июля 1-го дня 1756 года говоренное».

Все последующие работы по исследованию света, проводимые Дж. К. Максвеллом, Т. Юнгом, Т. Гельмгольцем, Я. Пуркинье и др., подтвердили справедливость теории М. В. Ломоносова.

Каким же образом наш глаз различает цвета?

Из физики известно, что человеческий глаз воспринимает широкий спектр видимого света. Световые волны имеют определенную длину, и нашему восприятию доступна область длиной от 400 до 800 мкм. Самые длинные световые волны дают темно-красный цвет, самые короткие — темно-фиолетовый. Другие типы волн, а именно радиоволны, ультрафиолетовые, рентгеновские, инфракрасные, нашему глазу недоступны.

Также известно, что белый свет можно разложить на все цвета радуги или, как говорят, в спектр. В нем смешаны все видимые световые волны, дающие огромное разнообразие цветовых оттенков. Три цвета — красный, зеленый и синий условились считать основными. Складывая и изменяя яркость каждого из основных цветов, можно получать любые цвета.

Согласно теории М. В. Ломоносова, наш глаз различает цвета потому, что все цветочувствительные нервные окончания сетчатки глаза делятся на три группы. Каждая из этих групп различает только какой-нибудь один цвет: первая — красный, вторая — синий, третья — зеленый. Белый цвет воспринимают все группы одновременно. Лучи света других оттенков, не имеющие в сетчатке своих нервных окончаний, возбуждаются в нашем мозгу в результате сочетания основных цветов. Например, голубые лучи возбуждают в основном синие и зеленые нервные окончания, а фиолетовые — синие и красные. Таким образом в нашем воображении получают оттенки различного цвета: темно-синий, голубовато-синий, оранжевый и т. д., т. е. весь спектр белого света. Именно на учете этих особенностей человеческого глаза и основаны способы получения цветного изображения.

Впервые метод передачи цветного изображения был предложен русским инженером-электриком А. А. Полумордвиновым. В 1899 г. он предложил «Светораспределитель для аппарата, служащего для передачи изображения на расстояние».

Немного позднее, в начале XX в. русский инженер И. А. Адамян создает систему сначала двухцветного, а в 1925 г. — трехцветного электронно-механического теле-

видения, которую с успехом демонстрирует в СССР и Англии. Одновременно с И. А. Адамианом и независимо от него такая система была предложена английским изобретателем Дж. Бердом. В этих системах в качестве механического устройства использовался вращающийся диск, сконструированный немецким изобретателем П. Нипковым.

В 1929 г. советским инженером Ю. С. Волковым была создана система цветного телевидения без вращающегося устройства. Именно это изобретение положило начало цветным электронным системам.

В дальнейшем усилиями ученых многих стран системы цветного изображения постоянно совершенствовались. В настоящее время существует несколько вариантов получения цветного изображения. Остановимся ненадолго на самом простом из них.

Пусть, к примеру, имеются три кинескопа, у которых экраны соответственно красного, синего и зеленого цветов. Каждый передатчик цветного телевидения также имеет три передающие трубки. Перед каждой из них установлен светофильтр: перед одной — красный, перед другой — синий, перед третьей — зеленый. Принятые от передатчика сигналы усиливаются приемным устройством и поступают на модуляторы кинескопов, каждый на свой. Затем полученные изображения проектируют на один общий экран. Когда проектируемые изображения совпадут, на экране возникает цветное изображение.

Вроде бы все просто и естественно. Однако, как показали эксперименты, точно совместить все три изображения на один общий экран очень трудно. Кроме этого, такая система сложна в изготовлении, а сам телевизор слишком дорог для массового производства.

Наибольшее распространение получила система, в которой используется один кинескоп с теневой маской. Данная система построена на использовании удивительного свойства нашего глаза. Мы не замечаем каждую в отдельности из близкорасположенных маленьких точек разного цвета. О такого рода изображении у нас создается представление как об одноцветном. Вот это свойство глаза и легло в основу конструкции цветного кинескопа.

В таком кинескопе экран покрывается не сплошным слоем люминофора, а точечной мозаикой. Мозаика состоит из трех люминофоров и сгруппирована в виде треугольников, каждая точка треугольника светится только

одним цветом: красным, синим или зеленым. Расстояние между центрами соседних точек примерно три десятых миллиметра. Если взять телевизионную трубку размером 59 см по диагонали, то светящихся точек, уложенных в строгом порядке, будет ни мало ни много около 2 млн.

Чтобы получить цветное изображение, необходимо засветить каждую точку экрана кинескопа с помощью электронно-оптических систем, дающих три разных «цветовых» сигнала. Это достигается с помощью специального диска с отверстиями — теневой маски. В ней сделаны отверстия, каждое из которых приходится точно против центра треугольника. Таким образом, электронный луч каждой электронно-оптической системы цветного кинескопа попадает только в «свою» точку: красную, синюю или зеленую. Для того чтобы разноцветные лучи не разошлись и попадали каждый в свою точку, на горловине кинескопа устанавливаются корректирующие магниты. Они могут не только регулировать перемещение электронных лучей в любом направлении, но и осуществлять их динамическое сведение строго в такт с работой отклоняющей системы.

Как видим, в этой системе каждая точка экрана кинескопа светится только одним цветом. Но в отличие от первого варианта сложение цветов происходит не на экране, а у нас в глазах.

Мы в общих чертах рассмотрели, как создается цветное изображение на экране телевизора. Пока еще цветные кинескопы и телевизоры не так совершенны, как черно-белые. Но с каждым годом улучшаются качество изображения, их конструкция и схемное решение. Все более широкое распространение получают полупроводниковые приборы и интегральные схемы. Последние успешно применяются в усилителях промежуточной и звуковой частот. Появились и блоки переключения телевизионных каналов на интегральных схемах.

Пересматриваются возможности ранее предложенных способов получения цветного изображения. Это стало осуществимо благодаря созданию полупроводникового лазерного кинескопа.

В Физическом институте АН СССР под руководством лауреата Ленинской и Нобелевской премий академика Н. Г. Басова создан первый образец электронно-лучевой трубки с лазерным экраном. Основное отличие лазерных кинескопов от существующих — принципиально новая

конструкция экрана. Экран выполнен в виде полупроводниковой пластинки, каждая точка которой представляет собой полупроводниковый лазер. Управляемый электронный луч толщиной в сотую долю миллиметра, пробегая по пластинке, генерирует излучение большой яркости.

С помощью лазерного кинескопа можно получить цветное изображение по способу, предложенному еще в 1952 г. советским изобретателем Б. Г. Жебелем.

Для создания цветного изображения кинескоп выполняется из трех полупроводниковых лазерных экранов. Каждый экран излучает один из трех цветов: красный, синий, зеленый. Экраны кинескопа располагаются друг над другом на одной подложке. Для создания развертки электронный луч последовательно обегает по вертикали каждый лазерный экран. Время, необходимое для создания изображения, распределяется равномерно между тремя экранами. Совмещение трех полученных изображений производится на одном общем экране. Учитывая, что размеры лазерных экранов микроскопически малы, точность совмещения может быть достигнута гораздо более просто, чем, например, в рассмотренном выше первом варианте.

Применение лазерного кинескопа сулит заманчивые перспективы. Судя по тому, какими темпами внедряются лучшие достижения науки и техники, можно ожидать, что в ближайшем будущем он найдет широкое применение.

Кино будущего

Нет нужды доказывать, что кино является самым массовым видом искусства.

Изображение, которое мы видим на экранах, несмотря на богатые краски, пока еще отличается от реального мира, каким мы его наблюдаем, и прежде всего тем, что видимое на экране плоско. И хотя разработано много систем объемного кино, все они, к сожалению, несовершенны.

Панорамное кино, круговая кинопанорама создают лишь «эффект присутствия», впечатление глубины пространства. И достигается это разными путями. В первом случае применяется огромный вогнутый экран, во втором — множество экранов, расположенных кольцом вокруг стен.

Созданные системы не имеют ничего общего с голографическим изображением, которое поддается пространственному измерению и может быть получено без применения всевозможных линз и экранов.

Как же будет выглядеть голографический фильм? Этот вопрос был задан журналистами одному из основоположников голографии лауреату Ленинской премии Юрию Николаевичу Денисюку. Вот что он ответил.

«Первое предположительное отличие голографического фильма от обычного заключается в том, что он будет непосредственно воздействовать на восприятие зрителя. Поясню. Сегодня зритель — как бы сильно он ни был увлечен тем, что происходит на экране, — хорошо чувствует свое положение в зале по отношению к экрану. Собственно, само слово «зритель» точно определяет ту опосредованность восприятия, которая создается пространственной изолированностью экрана. Человек, который придет смотреть голографический фильм, будет ощущать себя не столько зрителем, сколько участником фильма. Все, что он увидит, будет происходить в окружающем его пространстве, насыщенном трехмерными, объемными изображениями. Можно предположить, что по окончании голографического фильма у зрителя останется ощущение прожитого, а не просмотренного. Как будет выглядеть кинозал, как будет технически проводиться демонстрация фильма — сейчас сказать трудно, поскольку все наши нынешние представления связаны с кинозалом, неотъемлемой частью которого является экран. Скорее всего голографические фильмы потребуют создания новой индустрии кино, иных технических средств, иных помещений».

Главная задача сегодняшнего дня — создание огромных голограмм, через которые, как через окно, одновременно могли бы наблюдать изображение большое число зрителей. Здесь основная трудность заключается в том, что голограммы должны быть не «призраками», а «живыми», т. е. меняться во времени в соответствии с перемещениями объекта наблюдения.

Но эти трудности, по-видимому, преодолимы в ближайшие годы. Об этом свидетельствует хотя бы такой факт, что в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе уже функционирует установка для светоскоростного киноголографирования плазмы.

Голография может оказать существенную помощь и

«обычному» стереоскопическому кино на основе предложенного Д. Габором голографического стереоэкрана.

Два стереопроектора проецируют на внешний экран изображение. Экран должен создавать чередующиеся зоны, соответствующие точкам зрения левого и правого глаза. Расстояние между зонами выбирается равным среднему расстоянию между зрачками человеческого глаза. При этом зритель левым глазом должен видеть только изображение, освещенное проектором «левого» кадра, а правым — «правого» кадра. Для получения такого соотношения световых излучений проекторов используется зависимость отраженной и пропущенной световой энергии от ориентации плоскости поляризации. Изменяя плоскость поляризации падающего на экран света, можно достигнуть взаимной ортогональности направлений поляризации излучения для каждого из стереопроекторов. Теперь достаточно снабдить кинозрителя специальными очками, пропускающими свет, поляризованный таким образом, чтобы каждый глаз видел только свое «правое» или «левое» изображение, как перед зрителем возникнут кадры кинофильма в объемном изображении.

Нет сомнения, что голографические методы найдут применение и в телевидении как в обычном, так и в цветном. Правда, там до последнего времени было много неясных вопросов и, в частности, такой существенный, как принцип воспроизведения изображения.

Известно, что экраны современных телевизоров покрыты люминофором и начинают светиться под воздействием бомбардировки электронов. Для объемного телевидения нужен другой экран, экран, который бы изменял свою прозрачность при модуляции электронного луча и имел бы высокую разрешающую способность.

Можно изготовить такой экран с помощью светодиодов, но здесь много технологических и технических трудностей. Есть и другое решение.

Созданный недавно лазерный кинескоп позволяет решить эту задачу. Как показали первые эксперименты, при размере лазерных экранов площадью в 1 см^2 яркость излучения получается настолько большой, что дает возможность спроецировать изображение на экран площадью в несколько квадратных метров.

Конечно, реализация возможностей голографии только начинается. Но ученые уже называют ориентировочные сроки рождения голографического кино и телевиде-

ния: 80-е годы нашего века — лабораторные исследования, 90-е — внедрение в практику.

Но это лишь прогноз. Ученым и инженерам придется преодолеть немало трудностей и прежде всего в создании новой приемной и передающей аппаратуры. Многое зависит и от дальнейшего развития полупроводниковой лазерной техники. Но уже то, что первые эксперименты прошли удачно, позволяет надеяться, что нынешнее поколение сможет увидеть реализацию идей голографии.

С лучом в космос

Успехи в освоении космического пространства стали возможными в первую очередь благодаря новейшим достижениям радиоэлектроники. Без нее космос остался бы для нас мертвым. Мы не смогли бы управлять автоматическими станциями и космическими кораблями и поддерживать с ними связь, любоваться пейзажами других планет и слушать голоса космонавтов.

Создание все более совершенных оптических квантовых генераторов привлекло пристальное внимание специалистов, разрабатывающих средства космической связи.

Лазеры как будто специально созданы для установления связи в космосе. Здесь исчезают многие трудности, имеющие место при распространении света в земных условиях. В космосе отсутствует атмосфера, а следовательно, и поглощение энергии лазерного луча. Это позволяет получить от оптической аппаратуры значительно большую дальность действия при сравнительно низкой мощности, малых размерах и весе оптических квантовых генераторов. Достаточно сказать, что для освещения волнами сантиметрового диапазона пятна на Луне диаметром в 1 км необходимы антенны размерами в несколько километров. Такое же пятно в оптическом диапазоне можно получить, если использовать метровую антенну. Можно сделать вывод, что лазеры являются наиболее необходимыми приборами для применения их в космических исследованиях.

Первым космическим телом, подвергшимся исследованию с помощью лазера, стала Луна. В 1962—1963 гг. в США и СССР были проведены опыты по определению и уточнению расстояния до нашего естественного спутника. В этих опытах использовался лазер, который посылал в сторону Луны импульсы длительностью в тысячные доли

секунды. Отраженный сигнал принимался наземной приемной аппаратурой. Измерение дальности сводилось к фиксации двух моментов: излучения прямого сигнала и приема этого же сигнала после его отражении от цели. По времени прохождения сигнала туда и обратно и определялось расстояние до поверхности Луны. Ошибка в измерении расстояния в этих опытах не превышала нескольких сотен метров. Однако для проведения научных исследований такая точность измерения явно недостаточна.

В последующих опытах по лазерной локации Луны использовались искусственные отражатели. В частности, автоматической станцией «Луна-17» был доставлен самоходный аппарат «Луноход-1», на котором был установлен сделанный французскими специалистами лазерный отражатель. Такой метод позволил уменьшить ошибку в измерении расстояния до нескольких метров.

Следует ожидать, что в недалеком будущем оптическая связь позволит более точно определять расстояние между космическими кораблями, осуществлять их встречу и стыковку в космосе. Бортовой лазерный локатор будет не только с большой точностью определять расстояние до движущегося объекта, но и следить за взаимным расположением космических кораблей.

Разрабатываются оптические системы для связи космического корабля с Землей при входе его в плотные слои атмосферы. Как известно, в этот момент радиосвязь с кораблем прекращается, потому что вокруг него образуется ионизированная оболочка. Предлагается установить на борту корабля мощный лазер.

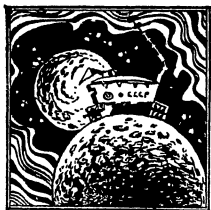
Изучалась возможность применения лазерных систем связи по каналу «Космос — Земля». На борту космического корабля был установлен полупроводниковый передатчик, работающий в импульсном режиме. В задачу космонавта входило обнаружение наземного лазерного маяка и установление односторонней телефонной связи с Землей. Первые опыты принесли обнадеживающие результаты.

Еще один путь использования лазеров — передача информации. К сказанному в начале главы добавим следующее. Теоретически подсчитано, что в космосе можно установить связь на расстояние в сотни тысяч километров, а в дальнейшем осуществить межпланетную связь на расстояния в несколько десятков световых лет (световой год — расстояние, которое пробегает свет за год, равное

$9,463 \times 10^{12}$ км). Такая система передачи информации будет более экономичной и энергетически выгодной.

Изучаются способы связи между космическим кораблем, находящимся в районе, скажем, Марса, и Землей. Здесь предполагается совместное использование радиотехнических и оптических линий связи. Радиолиния исключит влияние атмосферы, а оптическая обеспечит преодоление расстояний в миллионы километров. Передача из космоса по оптической линии связи будет приниматься искусственным спутником Земли, а оттуда по радиолинии передаваться на наземный пункт связи.

Существуют и другие работы и проекты по использованию лазерной техники в космических исследованиях. Число их растет быстрыми темпами и, несмотря на ряд нерешенных технических проблем, можно ожидать, что в ближайшем будущем лазеры сыграют важную роль в освоении космоса.



Что бы я ни выдумывал, все это будет уступать истине, ибо настанет время, когда достижения науки превзойдут силу воображения.

ЖЮЛЬ ВЕРН

Чудесные превращения

Наука давно разгадала секреты электропроводности полупроводников. Стала понятна роль электронов и дырок, а также влияние примесей на свойства полупроводниковых материалов.

А ведь все началось более 150 лет назад с научного курьеза. Именно тогда немецкий ученый Зеебек впервые наблюдал термоэлектрическое явление в чистом виде.

Попытки создать из спаянных металлических проволок — термоэлементов источники тока предпринимались в прошлом не один раз. Однако при самых удачных конструкциях КПД таких устройств не превышал 1%. Кажется, что практическое использование термоэлектричества так и не будет реализовано.

Но вот 40 лет назад академик А. Ф. Иоффе убедительно доказал несостоятельность таких убеждений. Он взялся утверждать, что термоэлектрические источники тока надо делать не из металлов, а из полупроводников.

Вместе с коллективом научных работников А. Ф. Иоффе приступил к созданию термоэлектродвигателей. В те времена было нелегко подобрать необходимые полупроводниковые материалы. И все же в 1940 г. в нашей стране были созданы первые полупроводниковые термоэлектрические генераторы. Правда, КПД их не превышал 3%, но по эффективности они приближались к небольшим паровым машинам. Это был уже успех. И, как показало недалекое будущее, вскоре их КПД вырос до 10%, что позволило термоэлектродвигателям конкурировать со многими другими источниками электрического тока.

Не все знают, что единственным источником электропитания в отдаленных сельских местностях еще недавно являлись громоздкие гальванические батареи. Мало того что их стоимость была велика. Но если учесть, что даже

при непродолжительном хранении напряжение батареи постоянно «садилося», можно понять, какие неудобства они создавали.

Разработанные советскими специалистами термоэлектрогенераторы с успехом заменили устаревшие и ненадежные батареи. В этих генераторах тепло, идущее от обычной керосиновой лампы, непосредственно превращалось в электрическую энергию.

Конструкция генератора очень проста. Лампа как лампа, только к ней тесно прижаты ребра из большого числа отдельных термодпар. Наружные спаи термодпар примыкают к ребрам радиатора и охлаждаются воздухом. Внутренние спаи прижаты к горячей стенке и нагреваются горячими газами лампы. Внутри стекла лампы непосредственно под пламенем находится нижняя часть теплопередатчика. Теплопередатчик снабжен несколькими продольными каналами, по которым тепло поступает в вытяжную трубу, создающую необходимую для горения лампы тягу. Лампа освещает дом или палатку, а термоэлементы при нагревании вырабатывают электроэнергию, которой вполне достаточно для питания батарейного радиоприемника.

Во время войны в партизанских частях можно было видеть чудо-котелки.

Известно, какую роль играли радио и связь для партизанских отрядов. Но где взять электроэнергию для питания радиостанции, когда единственный источник энергии — разложенный в лесу костер. Помощь пришла — партизанам доставили термоэлектрогенераторы. Это были металлические сосуды, на дне которых находились полупроводниковые термоэлементы. Они давали достаточный ток для питания радиостанции. Для этого их надо было только обогреть над костром.

Такие генераторы отошли в прошлое. Сегодня электрический ток рождается в атомном реакторе.

Физиков давно интересовал вопрос — как получить электроэнергию непосредственно от ядерного реактора? Один из возможных способов такого превращения энергии ученые связывали с использованием полупроводниковых термоэлементов.

В настоящее время разработаны сотни типовых источников тока для космических кораблей, метеорологических станций, навигационных маяков. В них источником тепла служат радиоактивные вещества: полоний, плутоний, кюрий и т. п. Пока такие источники не получили большого

распространения. Основная причина — сложность защиты обслуживающего персонала от радиоактивного излучения.

В Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова построен экспериментальный ядерный реактор-преобразователь «Ромашка». В нем тепло излучается за счет деления ядер урана в активной зоне реактора. Цилиндрическая активная зона реактора состоит из пластинчатых теплообменников и графитовых конструкций. Эта же зона окружена отражателем из бериллия. Основное его назначение — возвращение в активную зону быстрых нейтронов, что обеспечивает начало цепной реакции.

С наружной стороны отражателя установлены термоэлементы. Тепло, рожденное в активной зоне реактора, с помощью полупроводниковых термоэлементов превращается в электрическую энергию. Такой термоэлектрогенератор обеспечивает мощность около 500 Вт при токе около 100 А.

Впереди новые заманчивые проекты. Трубы котельных установок и тепловых электростанций можно одеть в «рубашку» из батарей полупроводниковых термоэлементов. Тогда бесцельно сжигаемое тепло станет питать энергией приборы и освещать улицы.

Энергию начнут давать непосредственно лучи Солнца. Здесь термоэлементы будут нагреваться сконцентрированными с помощью зеркал солнечными лучами, а охлаждаться или водой или радиаторами. Труднейшие задачи! Но каждый день приближает нас к их решению.

О пользе холода

Термоэлектрические явления в полупроводниках впервые были отмечены в работах Зеебека и Пельтье. Мы уже рассказывали о чудесном превращении воды в лед, а льда в воду при перемене направления тока. Эти опыты еще в прошлом веке проделал русский ученый Э. Х. Ленц.

Получение искусственного холода необходимо для целого ряда отраслей промышленности. И не только там. Электроохлаждение помогает решить множество чисто научных задач. О нескольких примерах практического использования термоэлектричества мы и расскажем.

Во многих полупроводниковых устройствах необходимо поддерживать определенную температуру, в то время как условия окружающей среды постоянно изменяются.

Нужно учитывать и тот факт, что такие устройства занимают ничтожно малый объем и применять какие-то сложные холодильные установки просто невозможно. На помощь приходят полупроводниковые микрохолодильники, которые в зависимости от температуры окружающей среды ограждают приборы как от нагрева, так и от чрезмерного охлаждения.

В различной радиоаппаратуре применяются кварцевые стабилизаторы частоты. Малейшее изменение температуры приводит к изменению длины волны, на которой работает аппаратура. «Удержать» частоту в заданных пределах помогает термистор и микрохолодильник.

Термистор представляет собой объемное полупроводниковое сопротивление с большим температурным коэффициентом. При малейшем изменении температуры в стабилизаторе термистор «дает команду» на холодильник, который повышает или понижает температуру в соответствии с необходимостью.

Даже школьники начальных классов знают, что окно в бесконечное пространство Вселенной открыл нам современный телескоп. Управляет его движением автоматическое устройство, основой которого является фотоэлектронный умножитель. Он следит за перемещением небесных светил, реагируя на очень слабый свет, идущий от них. Малейшее изменение окружающей среды — и светило уйдет из-под наблюдения. Поэтому главное условие работы фотоэлектронного умножителя — постоянство температуры. Полупроводниковый холодильник поможет и здесь. Реагируя на ничтожное изменение температуры, он значительно повышает чувствительность прибора, а следовательно, и надежность работы всей системы.

Сравнительная несложность образования «электронного мороза» открыла ему дорогу и в медицину. При лечении различных заболеваний широко используется способ искусственного охлаждения. И здесь применяются полупроводниковые холодильники, которые поддерживают постоянство температуры органов и частей тела больного.

Но ученые стремятся еще более эффективно использовать термоэлектрические свойства полупроводников. Известно, что явление Пельтье получило первое практическое применение в домашних термоэлектрических холодильниках. В них нет ни мотора, ни охлаждающей жидкости. Видны только с задней стенки ребра радиаторов. Компактно и просто.

В отличие от других типов полупроводниковые холодильники могут быть небольших размеров и при этом будут иметь достаточно большой коэффициент полезного действия. Это позволит решить по-новому различные технические задачи.

Партия опытных термохолодильников уже прошла испытания на пассажирских самолетах. В будущем эти простые и неприхотливые аппараты заменят громоздкие и сложные холодильные установки в рефрижераторах, автомашинах, вагонах, судах, что даст большую пользу народному хозяйству.

На основе термоэлектрического эффекта окружающий помещение воздух можно заставить обогревать само помещение, а со временем использовать и для приготовления пищи. Преимущества такой системы обогрева помещения очень велики, хотя на первый взгляд это невероятно и противоречит здравому смыслу. Но только на первый взгляд.

Представим себе картину будущего. Решетки термоэлементов компактно разместились как внутри комнаты, так и снаружи помещения.

Помещение будет обогреваться за счет тока, протекающего через термоэлементы. Ведь холодный воздух с улицы будет способствовать большему выделению тепла и соответственно большему охлаждению наружного воздуха. Как только в комнате станет жарко, автоматическое устройство, состоящее из термисторов и терморпар, переключит ток в другое направление, и комнатные пластины термоэлементов начнут охлаждаться. Такие системы отопления просты, экономичны и, несомненно, за ними будущее.

На плечах радиоволн

С изобретением транзистора и дальнейшим развитием микроэлектроники началось практическое использование полупроводников в технике.

Еще лет десять назад мы восхищались транзисторным приемником размером с портсигар, а сейчас появились сверхминиатюрные радиоприемники величиной немного более булавочной головки. Тут-то и пришлось призадуматься радиоспециалистам. Как осуществить питание такого приемника? Неужели придется использовать существующие батарейки и аккумуляторы? Нет, эти источники

питания здесь не подойдут. Они слишком тяжеловесны и громоздки для таких сверхминиатюрных радиоаппаратов.

Вот тогда и родилась заманчивая идея: что если попытаться в качестве источников питания использовать энергию электромагнитного поля работающих радиостанций? Тем более что любая радиопередача является, по существу, передачей электромагнитной энергии без проводов. Так ученые придумали для радиоволн еще одну работу. Работу удивительную, на первый взгляд фантастическую.

Сделали предварительные расчеты и убедились, что такая задача реальна не только теоретически, но и практически. Необходимое количество энергии для такого приемника можно получать от радиопередатчиков, расположенных сравнительно недалеко.

Работу такого радиоприемника с питанием по «эффиру» можно представить следующим образом. Энергия электромагнитного поля, попадающая на антенну, разделяется с помощью электрических фильтров по двум каналам: каналу электропитания и радиоканалу. По каналу электропитания сигналы местной радиостанции направляются в выпрямитель, где происходит преобразование принятого сигнала в постоянный ток, который далее подается для питания усилителя низкой частоты. По радиоканалу сигналы радиопередачи попадают в детекторный каскад, затем в усилитель низкой чистоты и, наконец, в громкоговоритель.

Для настройки такого приемника необходимо иметь два переключателя: один — для настройки на волну радиостанции, передачу которой предстоит принять, и другой — для настройки на волну станции, энергия радиоволн которой требуется для питания радиоприемника.

Электропитание с помощью радиоволн открывает заманчивые перспективы. Ведь энергия радиоволн способна обеспечить даже маломощные передатчики, что особенно важно для телеметрии, исследований метеорологических условий в околоземном пространстве.

Несколько лет назад американские ученые провели интересный эксперимент. Представьте себе некий летательный аппарат без источника энергии: ни двигателя внутреннего сгорания, ни батарей, ни даже резинового жгута. Однако стоило оператору нажать кнопку, как конструкция поднялась в воздух и, словно удерживаемая волшебной силой, в течение нескольких минут парила в небе.

Вы, наверное, догадались, что летательный аппарат удерживался в воздухе пучками радиоволн. Действительно, мощный луч от наземного радиолокатора принимался антенной аппарата, а крошечные полупроводниковые диоды превращали энергию радиоволн в электрический ток. Ток приводил в движение электродвигатель, который и вращал винт. Аппарат поднимался в воздух подобно обычному вертолету.

Некоторые специалисты считают, что такое устройство, очевидно более мощное, в будущем может быть использовано в качестве первых постоянных воздушных метеорологических станций.

Дальше — новые возможности. Электропитание по «эфиру» применимо в радиосистемах, работающих по принципу запроса — ответа, а также в иных аппаратах, широко используемых в навигации и в других областях. К примеру, радиолокационный «запросчик» будет не только посылать импульсы запроса «радиоответчику», но и обеспечивать его необходимой энергией на автоматический ответ.

И, наконец, открывается возможность для решения проблемы «карманного радиотелефона». Такому телефону провода не нужны. Человек сможет вести телефонные переговоры в любом месте и в любое время.

В Японии уже сейчас широко развивается система персонального телефонного радиовызова — «карманный звонок», которая действует в пределах какого-то определенного района или города.

Абонент, снабженный карманным радиоприемником, может быть вызван в любом месте, где бы он ни находился, с помощью обычного телефонного аппарата. Для этого лицу, желающему переговорить с абонентом, необходимо набрать присвоенный абоненту номер. Сигнал вызова через телефонную станцию преобразуется в радиосигнал и последний излучается в эфир.

В радиоприемнике имеется специальное декодирующее устройство, которое настроено на определенный кодированный номер. В результате вызов в виде короткого звонка принимает лишь один абонент.

Получив вызов, абонент спешит к телефонному аппарату, набирает определенный номер и получает ту необходимую информацию, которую ему хотели сообщить.

Описанная система в настоящее время обслуживает более 100 тыс. абонентов в крупнейших городах Японии.

С радиостанцией в глубины тела

В своем стремлении к все более полному познанию живого организма современная наука широко пользуется достижениями радиоэлектроники. Для того чтобы найти и разгадать загадки поведения животных и птиц, обнаружить неизвестные возбудители болезни, поставить точный диагноз больному, необходимы умные, точные, миниатюрные приборы.

Еще в 30-е годы нашего столетия ученик Павлова А. А. Ющенко сконструировал малогабаритный радиопередатчик для наблюдения за поведением собак. Он отличался простотой и оригинальностью конструкции и для того времени был самым легким передатчиком в мире: вес его не превышал 400 г вместе с батареями.

Разработка датчиков и малогабаритной аппаратуры для исследования живого организма обусловлена рядом специфических трудностей. Для точной регистрации физиологических параметров датчики должны размещаться в строго определенных точках организма. В экспериментах на животных фиксация датчиков может быть осуществлена путем вживления их под кожу или в мышцы или путем специальных операций. Значительно сложнее разместить и зафиксировать датчики и электроды на теле человека, потому что перед специалистами ставится одно непеременимое и трудновыполнимое условие: вес и размеры таких датчиков должны быть микроскопически малыми.

В настоящее время с помощью интегральных схем удалось создать такие миниатюрные передатчики (их вес не превышает 2—3 г), что их можно устанавливать на теле птиц и использовать для наблюдения за ними. Причем сигналы передатчика можно принимать на расстоянии более 30 км! Но даже такому микроскопическому передатчику необходима электроэнергия. А где ее взять, если подсели аккумуляторы? Ведь невозможно уговорить птицу сесть, чтобы подзарядить аппаратуру! Так в большинстве случаев ученым приходится рассчитывать длительность эксперимента на время работы батарей.

И здесь на помощь биологам может прийти энергия электромагнитных волн, известная нам как «питание по эфиру». Ее мощности хватит для работы крошечной радиостанции, размещенной непосредственно на живом организме.

А как быть, если испытуемый объект находится в дви-

жении? В этом случае каждую мышцу живого организма можно сравнить с работой электростанции. Каждое сокращение мышц — это электрический импульс. Если человек выполняет, например, спортивные упражнения и его нельзя соединить проводами со стационарным передатчиком, то передающее устройство укрепляют в шлеме, кармане костюма.

В настоящее время микроминиатюризация радиоаппаратуры позволила создать радиопередатчики, которые могут реагировать и передавать информацию из глубин человеческого тела.

Шесть миниатюрных радиопередатчиков врачам США удалось запрятать в один зуб. Сигналы, которые передавал «радиозуб», позволили выяснить, какие усилия требуются человеку для пережевывания той или иной пищи. Обработав информацию на электронно-вычислительной машине, ученые получили много интересных данных, которые несомненно помогут, например, в создании совершенных зубных протезов.

Если у вас когда-нибудь брали желудочный сок, то вы знаете, какая это мучительная и длительная операция. Не так давно появилась возможность взглянуть на желудок изнутри и вести оттуда радиопередачу. С помощью полупроводниковых приборов созданы «радиопилюли», способные тщательно обследовать желудочно-кишечный тракт больного и передать с помощью радиоволн все необходимые данные: кислотность, давление, температуру. Вместе с источником питания такие «радиопилюли» весят всего несколько граммов и без труда умещаются на трехкопеечной монете: их длина всего 1,5 см, а диаметр — 8 мм.

Глотать такую пилюлю не больно, да и неприятные ощущения исчезли.

Но врача интересуют и другие данные, и в частности, как меняются давление, температура и т. п. на отдельных участках желудочного тракта. Зная район нахождения радиопилюли, можно определить, в каком именно месте наблюдаются отклонения от нормы.

Такой аппарат для записи пути радиопилюли в организме был создан. Он представляет собой миниатюрный радиолокатор, который перемещается над больным и следит за движением радиопилюли. Таким образом, в настоящее время с помощью уникальной электронной аппаратуры физиологи могут получать обширную информацию о состоянии и характере изменений в изучаемом объекте.

А результаты? Новые сведения помогут еще более эффективно не только лечить, но и предупреждать заболевания. Здесь кривая успехов науки идет вверх все более и более круто.

Пути-дороги телевидения

Из всех чудес современности телевидение, пожалуй, наиболее замечательно. Чего стоит уже сам факт передачи изображения на большие расстояния!

В настоящее время телевидение прочно вошло в наш быт, изменило жизнь миллионов людей.

Будучи неотъемлемой частью нашей жизни, телевидение с каждым годом ставит все более серьезные проблемы как перед организаторами программ телевидения, так и перед потребителями. Скажем, вам захотелось еще раз посмотреть понравившийся фильм или спортивную передачу. Или, путешествуя по стране, видя много интересного и увлекательного, отснять любительский телевизионный фильм и показать его друзьям на экране домашнего телевизора.

Как это сделать? Какие новые телевизионные системы предлагают изобретатели?

Современное развитие телевизионной аппаратуры, техники видеозаписи, средств связи достигло такого уровня, что появилась возможность создать так называемые системы кассетного телевидения.

Кассетное телевидение — это запись на видеоленту телевизионной программы в форме кассеты. В настоящее время существует несколько способов записи и воспроизведения телевизионных программ.

Самый старый и широко известный способ — магнитная запись. С помощью видеоманитофона запись и воспроизведение звука и изображения производятся на магнитную ленту. Так мы обычно делаем, пользуясь обычным магнитофоном, когда хотим прослушать любимую мелодию. Записав на ленту телепрограмму и «вставив» кассету в телевизор, можно смотреть передачу на экране телевизора. Такие малогабаритные видеоманитофонные приставки уже созданы и, возможно, скоро появятся на прилавках магазинов. Если такой видеоманитофон снабдить телевизионной камерой, то можно не только отснимать любительские фильмы, но и тут же демонстрировать их на экране телевизора.

Недавно сконструирована новая система кассетного телевидения — звуковизуальная запись на видеопластинку. По виду она напоминает обычную долгоиграющую пластинку. Разница заключается в том, что здесь на бороздках сделана одновременно запись как звука, так и изображения. Время воспроизведения каждой стороны пластинки около 40 мин. Размножение пластинок идет обычным прессованием, как и в случае грампластинок.

Звуковизуальная система относительно проста в изготовлении и может быть широко использована, например, при обучении студентов-заочников. Во-первых, есть возможность всегда повторить интересующую часть лекции. Во-вторых, когда вы видите и слышите преподавателя, лучше усваивается лекционный материал.

Есть и другие системы записи и воспроизведения программ. Интересна идея, предложенная американскими учеными, основанная на последних достижениях лазерной техники и голографии.

Она представляет собой голографическую приставку к телевизору, состоящую из видеомэгнитофона со сменными кассетами голографической записи фильмов. Каждый кадр кинофильма с обычной киноплёнки считывается лазером и сжимается на голоплёнке до микроголограммы. Для изготовления последних используется фоторезистивный материал. Нанеся на фоторезистор слой металла, получают трафарет, по которому изготавливают копии кадра на прозрачной хлорвиниловой ленте. Луч лазера, обегая последовательно микроголограммы движущейся ленты, воспроизводит изображение на экране телевизора. Как показывают эксперименты, видеозапись часового фильма может быть вложена в кассету, не большую, чем в кассетном магнитофоне.

Самое ценное в этой системе, пожалуй, то, что голографическое изображение несет информации гораздо больше, чем любое из известных ранее. Во многих ситуациях это свойство голограмм поистине бесценно. Кроме этого, данная система записи и воспроизведения программ обладает большой помехоустойчивостью и низкой стоимостью тиражирования.

У кассетного телевидения широкий диапазон практического применения. В условиях информационного кризиса это чрезвычайно важно. Пройдет немного времени, и у телезрителей появятся домашние видеотеки, чем-то напоминающие сегодняшние фонотеки. Телезритель в любое

время сможет смотреть интересующие его фильмы и передачи как в обычном, так и в объемном изображении. Для этого надо будет лишь заказать на прокатном пункте интересующий вас обычный или голографический фильм и вам пришлют набор соответствующих кассет.

Перед техникой кассетного телевидения стоит еще много нерешенных проблем. Но последние достижения микроэлектроники, лазерной техники и голографии позволяют надеяться, что эти проблемы будут решены в самые ближайшие годы.

Нужен ли автомобилю водитель?

Немного найдется новшеств, которые вторглись бы в нашу жизнь так же властно, как автомобиль. Это обусловлено многими его положительными качествами: большой мобильностью, высокой скоростью доставки грузов и пассажиров, хорошей приспособляемостью к различным условиям перевозок, возможностью доставки грузов с мест производства к потребителям без перегрузки и т. п.

Родившись на свет менее столетия назад, автомобильный парк мира непрерывно растет и в настоящее время насчитывает свыше 250 млн. автомобилей.

Насыщенность улиц современных городов различным транспортом, необходимость перестроек во время движения, обгонов, объездов и других маневров требует от водителей постоянного и напряженного внимания. Облегчить их труд, повысить безопасность движения на дорогах — вот основная проблема, над которой работают специалисты различных профессий.

Каждый из нас хорошо представляет работу водителя. Ему приходится следить за светофором и действиями регулировщика, наблюдать за потоком машин, мчащихся впереди, навстречу, сзади и сбоку, быстро оценивать постоянные изменения дорожной обстановки и находить наиболее безопасные для себя и пешеходов решения. Все большую помощь водителю в его нелегком труде оказывает техника. За последние годы автомобильная промышленность перешла на полупроводниковые и электронные устройства, отказавшись от ненадежных механических реле и других устройств.

Взять, к примеру, широко известные схемы электронного зажигания на транзисторах и тиристорах, заменив-

шие механические прерыватели. С введением их в автомобиль резко сократилось число неполадок, повысился срок службы свечей, уменьшился расход топлива на высоких скоростях. Но специалисты не остановились на достигнутом. Недавно разработана новая бесконтактная система зажигания. Она представляет собой блокинг-генератор, включаемый и выключаемый металлическими лопастями, установленными на валу распределителя. В зависимости от положения лопастей в поле полюсов трансформатора колебания в блокинг-генераторе то возбуждаются, то срываются — устройство действует подобно обычному выключателю.

Широкое применение находят полупроводниковые приборы и в электронных схемах указателя поворотов. Электромеханические указатели часто выходят из строя из-за подгорания контактов особенно при использовании достаточно мощных сигнальных ламп. На смену им пришли бесконтактные полупроводниковые приборы: транзисторы и тиристоры. Кроме этого, световая индикация работы указателя поворотов начинает использоваться совместно со звуковой индикацией, что позволяет повысить эффективность работы устройства.

Немало аварий происходит из-за несоблюдения необходимой дистанции между транспортными средствами. И здесь большую помощь может оказать радиоэлектроника. Обсуждается, например, вопрос об установке вдоль шоссе датчиков, которые будут посылать сигналы «путь закрыт» автомобилям, нарушившим определенный интервал, и таким образом предостерегать их от столкновений. Именно так сделано на железных дорогах, где через определенные отрезки пути установлены семафоры. Пока один поезд не пройдет этот отрезок, другим поездам путь закрыт — красный свет. Обсуждается и другой вариант — использовать для этой цели миниатюрные радиолокаторы, например лазерные на диодах из арсенида галлия, которые будут установлены на каждом автомобиле. В будущем такой радиолокатор может быть использован и в системе управления автомобилей, воздействуя соответствующим образом на скорость движения.

Этот метод может быть использован и для управления тормозами автомобиля. Заметив препятствие, радиолокатор дает команду на остановку автомобиля. Такое автоматическое устройство гораздо надежнее, чем нервная система человека. Острота и скорость реакций человека на

внешние события зависят от его самочувствия, от степени усталости. Автоматическое же устройство срабатывает в любых условиях точно и быстро.

В последние годы, пожалуй, основной проблемой городов является защита окружающей среды от загрязнения парами топлива, выхлопными и картерными газами. Только за последнее десятилетие облако выхлопных газов в крупнейших городах мира увеличилось более чем в 4 раза. Власти ряда стран были вынуждены принять меры по уменьшению токсичности выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания.

Электронщики тоже внесли свою лепту в решение этой проблемы. На некоторые типы автомобилей «Мерседес», «Фольксваген» устанавливается электронное управляющее устройство, составными элементами которого являются полупроводниковые диоды и транзисторы. В различных местах двигателя размещаются всевозможные датчики и реле, сигналы от которых поступают на управляющее устройство. На основе этих данных определяется оптимальный режим работы двигателя: количество и качество смеси, температура и давление топлива. По мнению специалистов, такая система позволяет значительно уменьшить содержание вредных продуктов сгорания в выхлопных газах автомобилей.

Сегодня техника облегчает труд водителя. Но недалеко то время, когда автоматика и здесь заменит человека.

...Мы садимся в автомобиль и с недоверием посматриваем на пустующее место водителя. За рулем никого нет. Остается только сообщить автомобилю, куда надо ехать, с какой скоростью, в каком пункте требуется сделать остановку и прочие необходимые данные о маршруте. Машина трогается с места. Пассажиры избавлены от всяких хлопот: не надо следить за знаками светофора, дорожной обстановкой. Чуткий и точный автоводитель прекрасно разбирается во всех дорожных ситуациях, обходит препятствия, встречающиеся на пути, избегает столкновений, изменяет направление движения.

Сегодня об этом можно только мечтать. Но время, когда такой автоматический автомобиль станет реальностью, не за горами. Встречаются же электровозы без машинистов, так почему же не появиться на дорогах автоуправляемым машинам!

Погода, которую делает электроника

Ураганы и засухи, морозы и неудержимые паводки, снегопады и ливни — сколько бед терпят жители нашей планеты от этих стихийных бедствий! Одна из основных причин того, что эти явления приносят огромный ущерб людям, — их неожиданность, отсутствие необходимой метеорологической информации.

Ученые не одно тысячелетие пытались разгадать устройство таинственного механизма, управляющего погодой. Еще греческий философ Аристотель в книге «Метеорология» пытался не только объяснить природу наблюдаемых явлений: снега, града, молний, радуги, но и предсказывать изменения погоды.

Лишь в середине XVIII в. метеорология из чисто наблюдательной науки, привязанной к Земле, превратилась в науку, способную предсказывать погоду. Именно тогда удалось поднять в небо первый термометр с помощью воздушного змея. А немного позднее, в 1782 г., французский профессор Жак Александр Сезар Шарль, поднявшись в небо на воздушном шаре, впервые в мире измерил температуру и давление воздуха на высоте более 3000 м.

Шли годы. Как ни высоко забирались метеорологи на своих воздушных шарах, существенного сдвига в умении предсказывать погоду не было. Обработка результатов измерений вызывала большие трудности. Часть запущенных приборов терялась, уносимая за сотни километров воздушным течением, а на тех из них, которые удавалось отыскать, были зафиксированы данные, практически уже устаревшие.

Перелом наступил лишь в 1930 г., когда в СССР была сделана первая радиопередача с высоты около 10 км. Запуск шара-зонда с радиоэлектронной аппаратурой был осуществлен сотрудниками Аэрологической обсерватории под руководством метеоролога П. А. Молчанова. Думал ли кто в то время, что эта первая в мире радиопередача с большой высоты будет предвестницей будущих передач из космоса?

Ныне метеорологические станции находятся и на Земле, и в воздухе, и на дрейфующих льдах. Только на территории нашей страны их свыше 4 тыс. А вода? Ведь более 70% поверхности земного шара занято океанами и морями. Хотя водное пространство метеорологи не оставили без внимания, все же вести систематические наблю-

дения в этих районах не всегда возможно. Такие «белые пятна» в сведениях о погоде имеют весьма существенное значение, ибо погода, по сути дела,— это взаимное влияние воздуха и воды.

В полной мере избавиться от этих «пятен», помочь наземным метеостанциям наблюдать за развитием атмосферных явлений нашей планеты смогли только искусственные спутники Земли.

Метеорологические спутники — незаменимые наблюдатели. Пролетая над необъятной территорией земного шара, они могут передавать на Землю самую разнообразную информацию о погоде над различными участками планеты. Данные с бортов спутников позволяют определять местонахождение зон облаков, выявлять закономерности в распределении солнечной энергии на Земле, наличие циклонов и антициклонов, возникновение и район прохождения ураганов и смерчей. Для того чтобы составить прогноз, нужно иметь сведения о фактической погоде практически со всех уголков земного шара.

В нашей стране эти задачи решаются с помощью метеорологической системы, в состав которой входят спутники «Космос» и «Метеор». Очень перспективны метеорологические спутники, которые, автономно или по команде с Земли могут менять высоту полета и направление своего движения. Возможность их создания была проверена запуском в СССР маневрирующих космических аппаратов «Полет-1» и «Полет-2».

Если вы внимательно читаете сообщения ТАСС о запуске очередного искусственного спутника, то, очевидно, обращали внимание, что в них всегда имеется следующая фраза: «Установленная на спутнике аппаратура работает нормально. Координационно-вычислительный центр ведет обработку поступающей информации». А это значит, что в спутнике установлена самая разнообразная радиоэлектронная аппаратура. По богатству научного оборудования она могла бы успешно конкурировать с земными научными лабораториями.

Установленные на борту датчики фиксируют те или иные данные о метеоусловиях и определяют их величину. С помощью фото- и телекамер получают изображение облаков и их распределение в данном районе. Только за один оборот вокруг Земли спутник передает на Землю сведения об облачности с территории, составляющей около 8%. Передача идет не только днем, но и ночью. Прибо-

ры ночного видения — «инфракрасные глаза» — позволяют наблюдать ночью сияние облаков, испускающих тепловое излучение.

Но как передать ночные и дневные изображения планеты? С этой целью изображение зашифровывается в двоичной системе и записывается на магнитную ленту. По команде с вычислительного центра эти цифровые данные поступают в наземную электронно-вычислительную машину, которая ведет обработку результатов наблюдений.

В нашей стране, например, для этой цели специально построена вычислительная машина «Погода», в других странах в распоряжение метеорологов также отданы специальные электронные машины. Такие машины значительно облегчают труд человека, выполняя важную и ответственную работу.

Показателен такой пример. Для составления краткосрочного прогноза погоды надо решить 800 уравнений с 800 неизвестными. Если поручить эту работу человеку, то ему потребуется для этого около 300 лет даже в том случае, если он будет трудиться по 8 ч в сутки. Вычислительная машина БЭСМ с этой работой справилась за 20 ч. Современные машины затратят на эту операцию меньше часа!

Мы не раз видели изображение нашей планеты на страницах газет. И не могли не восхищаться ее красотой. Мы увидели и линии атмосферных потоков, и замысловатые кривые циклонов, и многое другое, что помогает составить прогноз погоды.

Хотелось бы упомянуть еще об одной способности спутников. Речь идет о предсказывании вторжения ураганов и других стихийных бедствий. Например, с помощью спутников удалось опознать заранее и весьма точно определить район вторжения ураганов Клара и Эстер, что спасло от гибели множество человеческих жизней. Это стало возможным лишь совсем недавно.

Представим себе картину недалекого будущего.

Где-то высоко на орбите вокруг Земли вращается метеорологическая станция — «институт погоды». Словно дирижер, она управляет работой метеорологической системы страны, в которую входят наземные станции, разбросанные по всей территории. На ее борту находятся специальные электронно-вычислительные машины, которые мгновенно проводят обработку поступающей лавины информации. Здесь будет устанавливаться краткосрочные и

долгосрочные прогнозы и практически каждый час мы будем знать о погоде в любой точке нашей страны. Прогнозы станут точными, расширятся возможности воздействия человека на природу.

Говорит и показывает «Орбита»

С того самого дня, когда было изобретено радио, человек стремился раздвинуть границы связи посредством «невидимых» волн.

Вспомним этапы развития радиосвязи. Сначала были освоены длинные волны. Оказалось, что они могут путешествовать вокруг Земли, хотя и теряют при этом значительную часть энергии. С короткими волнами все обстоит иначе. Они распространяются главным образом в верхних слоях атмосферы и способны многократно отражаться от слоев ионосферы. Это дает возможность использовать их для дальней радиосвязи. Именно с освоением коротких волн стала возможна связь по радио при сравнительно небольших мощностях в пределах земного шара, появились радиолокация и телевидение.

С рождением телевидения появились и новые проблемы. Известно, что дальность приема телевизионных сигналов ограничивается пределами прямой видимости. Поэтому приходится при передаче на большие расстояния сооружать ретрансляционные станции, отстоящие друг от друга на расстоянии 50—100 км. Это еще возможно сделать, когда речь идет о поверхности Земли. А как быть, если надо передать сообщение через водное пространство?

Можно использовать специальные кабельные линии или волноводы. Но, во-первых, это экономически невыгодно, ибо сигнал, передаваемый по кабелю, быстро теряет энергию. А это приводит к необходимости ретрансляционные станции располагать уже на расстоянии не в 50—100 км, а в 2 раза ближе. Во-вторых, увеличение числа промежуточных станций резко снижает надежность передачи сигналов.

Можно, конечно, увеличить высоту антенны ретрансляционной станции. Именно таким путем пошли специалисты некоторых стран Западной Европы. Правда, они не возводили высоких башен, а устанавливали антенны на вершинах гор. Да и есть ли смысл возводить огромные антенны, если подсчитано, что при увеличении их высоты

даже в 500 раз дальность приема телепередач увеличится всего лишь в 10 раз?

А что если ретранслирующее устройство установить не на высокой антенне, а повыше — на борту искусственного спутника Земли? Экономический и технический анализ показал, что на средства, требующиеся для возведения, например, гигантской телевизионной башни высотой в 5 км, можно запустить не один, а несколько искусственных спутников Земли.

Так, 23 апреля 1965 г. в соответствии с программой отработки систем дальней радиосвязи и телевидения был запущен спутник связи «Молния-1». Радиоэлектронное оборудование спутника разнообразно. Здесь и ретрансляторы для передачи программ телевидения и дальней радиосвязи, и системы ориентации спутника, и системы корректировки орбиты. Отсюда вся информация стекается в бортовую электронно-вычислительную машину. Она не только управляет аппаратурой в процессе полета по заданной программе, но и обрабатывает данные, выясняет и устраняет возможные ошибки.

Сколько же спутников надо запустить, чтобы обеспечить надежную связь в пределах земного шара? Один или несколько?

Специалисты подсчитали, что даже один спутник «Молния-1», выведенный на орбиту с апогеем около 40 тыс. км над Северным полушарием и периодом обращения 12 ч, способен обеспечить связь не только между любыми районами нашей страны, но и большей частью земного шара. Правда, один такой спутник не обеспечивает круглосуточной связи.

Такая связь обеспечивается при выведении на стационарную орбиту трех спутников. Стационарная орбита означает «привязку» спутника к определенной точке земного шара, при этом число оборотов спутника совпадает с числом оборотов Земли. Спутники равномерно распределяются по орбите таким образом, чтобы обеспечивать прием радио- и телепередач практически в любой точке земного шара.

Однако искусственные спутники Земли не в состоянии одни решить задачу создания всемирного телевидения. Вся система космической связи намного сложнее.

В систему космической связи входят сложнейшие наземные радиотехнические комплексы. Основной из них — Общесоюзная радиотелевизионная передающая станция,

воздвигнутая рядом с Останкинской башней. К ней сходятся со всех концов страны магистрали радиорелейных и кабельных линий. Антенны передающей станции посылают в эфир мощные телевизионные сигналы. Именно здесь берет начало радиомост Земля — Космос — Земля.

Путь, который проходит телевизионный сигнал, измеряется многими тысячами километров. На экраны Новокузнецка, например, изображение попадает так. Сигнал из радиотелевизионной передающей станции подается через станцию спутниковой связи, затем «пробегают» путь в 80 тыс. км по космическому радиомосту, ретранслируется спутником «Молния-1», принимается земной станцией в Кемерово, а оттуда по радиорелейной линии поступает в Новокузнецк.

По всей территории нашей страны ведется монтаж красивых сооружений, увенчанных параболическими антеннами. Это земные станции системы космической связи «Орбита». Только за один 1968 г. их введено в действие более 20. В 1974 г. вступают в строй станции «Орбита» на Курильских островах, Чукотке, в Казахстане.

В станциях «Орбита» заложены новейшие достижения современной техники как в передающей, так и в приемной аппаратуре. Они собраны на полупроводниковых приборах и включают в себя устройства приема и передачи информации, антенные системы и всевозможные радиосредства, необходимые для работы искусственных спутников. В настоящее время ведется реконструкция станций «Орбита», что обеспечит в ближайшие два-три года подачу «космического» цветного телевидения.

Ретрансляция через искусственные спутники сделала телевидение и связь достоянием не только нашей страны, но и далеко за ее пределами. С помощью системы «Интервидения» и «Евровидения» мы следим за событиями, происходящими в мире. А совсем недавно была создана международная система космической связи «Интерспутник». С вводом ее в действие миллионы телезрителей ЧССР, ГДР, Кубы и других стран смогут принимать и передавать передачи, идущие со всех концов земного шара.

В поле зрения — Луна

С незапамятных времен природа загадочной Селены, строение ее поверхности волновали ученых всего мира. Немало споров возникало, в частности, о магнитном поле Луны, химических и физических свойствах ее поверхности, о процессах, происходящих внутри небесного тела... И трудно сказать, как бы развивались наши представления о естественном спутнике Земли в дальнейшем, если бы не были предприняты реальные шаги ее покорения с помощью автоматических аппаратов.

Полеты космических станций «Луна» выявили многие особенности ее строения. В результате детального анализа образцов лунного грунта, доставленных на Землю советскими автоматическими станциями и американскими космонавтами, был установлен состав пород лунных морей и материков. Огромное значение имело также установление остаточной намагниченности лунных пород, что, по-видимому, говорит о наличии в прошлом у Луны магнитного поля. Эти и ряд других открытий позволили лучше познать общие закономерности развития Луны.

И вот наступил триумф «Луны-21». В соответствии с программой исследования Луны и планет Солнечной системы 16 января 1973 г. управляемая космическая станция «Луна-21» доставила на Луну в районе Моря Ясности самоходный аппарат «Луноход-2».

По поверхности нашего естественного спутника, обходя кратеры и вулканы, передвигается самоходная лаборатория. Экипаж лунохода с командно-вычислительного центра на Земле управляет его движением, глядя на экран телевизора. Картины лунного пейзажа, сменяющиеся одна другой, автоматически передаются на Землю.

Между Землей и Морем Ясности почти 400 тыс. км. Чтобы пробежать это расстояние туда и обратно, рабочему сигналу требуется 2,5 с. Экипажу же, управляющему луноходом, на то, чтобы осмыслить полученную телеметрическую и видеоинформацию и принять нужное решение, отводится 5—6 с. Жесткая лимитированность по времени, невозможность отменить или перенести «сорванную» операцию на другое время требуют от экипажа и систем управления большой точности проведения каждой операции. Ведь такое большое расстояние никогда не разделяло человека и автоматический самоходный аппарат. И все же он подчиняется дистанционному управлению и информации.

рует мир обо всем, что происходит на огромной и далекой планете.

Мало кто ожидал увидеть на Луне обычное земное колесо. Вообще, изобретя колесо, не имеющее аналогий в природе, человек возгордился и тысячи лет не обращал внимания на лучшие конструкции, которые создала природа. И только с бурным развитием транспорта началось заимствование у природы новых идей и методов. В результате появились проекты и модели будущих средств передвижения: «стопоходов», «шагоходов», «лунных пауков» и прочих движителей, действующих подобно ползающим и прыгающим насекомым. Казалось, что колесо ушло в прошлое и абсолютно не подходит для передвижения на далеких планетах. Но так только казалось.

Почему же все-таки остановились на колесе? Ведь даже сами создатели лунохода не отрицают, что в процессе работы им не раз приходилось рассматривать различные экзотические двигатели, такие, как гусеничный, шагающий, прыгающий. Основная причина выбора «старого» движителя — трение. Любая другая конструкция в условиях глубокого вакуума Луны и специфических особенностей грунта не смогла бы работать. Колеса же с ажурными ободами, где при каждом свой электромотор, успешно передвигались по пыльным просторам Луны, преодолевая на пути холмы и россыпи камней.

Разве это не чудо электроники и автоматики — самоходный аппарат на Луне? Каким же «разумом» должна обладать радиоэлектронная аппаратура, чтобы осуществить весь комплекс научных работ между двумя небесными телами?

В связи с этим хочется особо рассказать о роли радиоэлектроники и автоматики в успешном управлении космической станцией «Луна-21», и в том числе лунным аппаратом «Луноход-2».

Много сложных задач приходится решать при выводе космической ракеты на расчетную траекторию и ее управлении в процессе всего полета. Не менее важная и ответственная задача — «доставить» автоматическую станцию в строго заданный (и весьма небольшой) район Луны. Наконец, посадка лунной станции, которая должна быть настолько мягкой, чтобы весьма чувствительная аппаратура сохранила работоспособность. Решение этих сложных задач потребовало исключительной точности, оперативности и слаженности в работе всех звеньев бортовой

аппаратуры, наземных быстродействующих электронно-вычислительных машин и командно-измерительных средств.

«Начинка» лунного аппарата — бортовая аппаратура, необходимая для его управления и связи с наземными комплексами. Программно-временное устройство, телеметрические системы, радиопередатчики и приемники, система терморегулирования, источники питания, научная аппаратура — вот далеко не полный перечень устройств, в которых применяется современная радиоэлектронная аппаратура.

Особый интерес представляет научная аппаратура. На борту лунохода целая научно-исследовательская лаборатория. Какие только научные задачи не решает она! С помощью телевизионных камер мы наблюдали первые лунные колеи, проложенные луноходом. А земной экипаж, сверяясь с телевизионными изображениями, управляет самоходным аппаратом.

Здесь и астрофотометр, измеряющий светимость лунного неба, и радиометр, измеряющий характеристики космического излучения. Рентгеноспектральный прибор «Рифма» производит подробный анализ лунных пород по всей трассе движения аппарата. Оказалось, что в состав лунных пород входит кремний, кальций, железо, алюминий и другие элементы.

В течение всего времени работы лунохода производились магнитные измерения, которые показали, что магнитное поле поверхности Луны очень неоднородно.

Особый интерес вызвали эксперименты по лазерной пеленгации и лазерной локации. Для этой цели на луноходе был установлен фотоприемник «Рубин» и французский уголкового отражателя лазерного излучения.

Лазерная пеленгация использовалась для определения координат лунохода с высокой точностью. Оптический квантовый генератор устанавливался в фокусе телескопов, расположенных в горах Заилийского Алатау и других пунктах Советского Союза. С Земли лазерный луч направлялся в район нахождения лунохода. В тех случаях когда оптический сигнал попадал в фотоприемник «Рубин», происходило преобразование световой энергии в электрическую, и радиосигнал о попадании луча передавался на Землю. Проведенные измерения показали высокую точность оптической пеленгации.

Лазерная локация необходима для точного измерения расстояния до Луны и уточнения ее орбиты. На Земле в фокусе гигантского телескопа Крымской обсерватории установлен мощный лазер. По лунной трассе посылаются серии мощных лазерных импульсов, следующих с интервалом 3 с. Достигнув Луны и отразившись от уголкового отражателя, луч возвращается на Землю. Расстояние до отражателя определяется по времени распространения лазерного импульса.

Проводились и другие научные наблюдения в течение как лунного дня, так и лунной ночи. В результате был собран большой научный материал, который дал многое для познания Луны, ее происхождения и строения, а также для дальнейшего накопления новых знаний о происхождении и эволюции Солнечной системы.

От транзисторного приемника к карманной вычислительной машине

Об успехах радиоэлектроники особенно наглядно свидетельствуют конструкции современных радиоприемников, богатство радиовещательных звуковых и телевизионных программ.

За последнее десятилетие произошли большие изменения в области телевидения, радиовещания, техники записи и воспроизведения звука. Эти изменения прежде всего связаны с прогрессом полупроводниковой электроники. С открытием транзистора стали доступны всем портативные и карманные транзисторные радиоприемники. Наконец, появились цветные телевизоры, стереофонические проигрыватели и магнитофоны, было освоено частотно-модулированное (ЧМ) радиовещание и телевидение в дециметровом диапазоне. Ушли в прошлое пудовые детекторные приемники, сдают свои позиции ламповые радиоприемники. И прежде всего потому, что потребляют много электроэнергии, имеют большие габариты и вес, а также низкую надежность узлов и элементов.

Радикальным изменениям подвергались наши представления о конструировании радиоаппаратуры. Миниатюризация и многофункциональность сказали здесь свое веское слово. Объединение множества схемных функций в миниатюрном объеме полупроводника, внедрение нормализованных многоэлементных микроузлов позволили резко со-

кратить габариты и повысить мощность радиоэлектронной аппаратуры.

В современных радиоприемниках и телевизорах большая часть элементов выполнена на интегральных схемах. Интегральные схемы выполняют функции усилителей промежуточной частоты каналов изображения и звука, усилителей звуковой частоты и сигналов изображения.

Мы уже упоминали о приемнике прямого усиления «Микро», собранном на интегральных схемах. На смену ему пришла новая модель — приемник «Микрон», выполненный на гибридной интегральной схеме. Работая в длинноволновом и средневолновом диапазонах, он имеет размеры спичечного коробка и весит всего 38 г.

Появились приемники-брелки, приемники, помещающиеся в ушной раковине или в наручных часах. В наши дни специалисты не удивятся, прочитав сообщение о радиоприемнике величиной с пшеничное зернышко или булавочную головку. Приведенные примеры далеко не исчерпывают возможности и перспективы миниатюрной радиоприемной аппаратуры.

Широкое распространение получили системы перевода с одного языка на другой. Они необходимы, например, при проведении международных совещаний. Каждый участник совещания снабжается микроскопическим радиоприемником с ушным телефоном, переключателем и регулятором громкости. Такая система позволяет слушать передачи на многих языках как сидя в кресле, так и находясь в соседних помещениях.

Ведутся работы по улучшению отдельных узлов и деталей радиоаппаратуры. Успешное внедрение варакторной настройки в приемники звукового и телевизионного вещания значительно упростило конструкцию систем автоматической настройки. Такое управление очень удобно на метровых и дециметровых волнах, так как в этих диапазонах радиостанции имеют фиксированные частоты, отстоящие друг от друга на одинаковых расстояниях.

Совершенно неожиданным оказалось использование цифровых интегральных схем в радиоприемниках. Они еще не внедрены в массовое производство, но принцип их конструкции более совершенен. Такой приемник имеет клавишное управление и может автоматически «искать» настройку на ту радиостанцию, сигнал которой подходит для доброкачественного приема.

Улучшилась и конструкция самих клавишей. До последнего времени нажатие и отпускание клавиши вызывало механическое включение или выключение контактов. В новой аппаратуре механические клавиши заменяются на электронные ключи. Теперь достаточно легкого прикосновения к клавише, как срабатывает ключевое устройство, обеспечивая включение или выключение нужной цепи.

Говоря о прогрессе радиоэлектроники, многие обычно имеют в виду транзисторные приемники, известные каждому. Но они служат лишь слабой иллюстрацией уменьшения объемов, достигаемого с помощью полупроводников. Более яркую картину дают современные электронно-вычислительные машины. Кто из научных работников, инженеров, конструкторов не мечтает увидеть на своем рабочем столе небольшую электронно-вычислительную машину? Еще несколько лет назад они казались нам далеким будущим, потому что занимали огромные залы. А сегодня вполне умещаются на письменном столе или даже в кармане инженера. В СССР ленинградским заводом научно-производственного объединения «Позитрон» налажен выпуск компактных настольных вычислительных машин. Одна из миниатюрных вычислительных машин, выпущенная в Японии, весит всего 285 г и имеет размеры портсигара. На ней можно выполнять все четыре арифметических действия. А изготовлена она на микроэлектронных схемах, включающих более 2 тыс. транзисторов. Или другой пример. В Англии разработана карманная счетно-решающая машина, имеющая вес 185 г! Она производит сложение, вычитание, деление и умножение, а также вычисление процентов. В ней есть автоматическое запоминающее устройство, которое фиксирует результаты вычисления.

Малогобаритные вычислительные машины даже с ограниченными возможностями во многих случаях оказались эффективнее, чем мощные, с огромной памятью вычислительные устройства, ибо нет смысла поручать многофункциональным машинам выполнение сравнительно простых операций. Инженер, поработавший на «малой» машине буквально несколько недель, уже не мыслит без нее своей деятельности, точно так же, как раньше он не мог обойтись без логарифмической линейки.

Пока еще стоимость карманных вычислительных машин достаточно высока. Но уже сегодня никто не сомневается в том, что в недалеком будущем они станут таки-

ми же привычными и обыденными, какими сейчас являются транзисторные приемники.

Что же нас ждет завтра?

Усовершенствование радиоэлектронных средств для получения и обмена информацией может в конечном итоге привести к созданию домашних информационных центров. Такие центры будут укомплектованы телевизионными и радиовещательными устройствами, телефоном, аппаратом передачи данных и электронными печатными устройствами. Сказанное станет понятным, если смотреть на дом и квартиру не как на место хранения различной аппаратуры, а как на звено широкоразветвленной радиоэлектронной информационной сети.

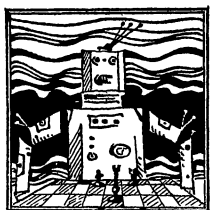
С помощью информационного центра человек получит возможность не только принимать телевизионные и вещательные программы, но и общаться с другими людьми по звуковым и видеоканалам. По радио, по линиям связи он сможет у себя дома «принимать» тексты газет, журналов и писем; не выходя из квартиры, получит доступ к научно-техническим библиотекам.

В каждой квартире появится вычислительная машина, которая возьмет на себя все функции по контролю и управлению бытовыми приборами и домашним информационным центром. При обнаружении неисправностей она будет информировать соответствующие службы быта. При необходимости она может вступать в контакт с другими вычислительными машинами, установленными в сберкассах, торговых организациях и административных учреждениях. Очевидно, придет время, когда мы с вами сможем набрать нужный номер телефона и в ответ получить любую необходимую информацию от центрального информационного центра.

Интерес к бытовым машинам обоснован. Домашние вычислительные машины точно так же «впишутся» в ансамбль вашей квартиры, как и прочие бытовые приборы. А сколько забот снимут с плеч хозяев дома эти умные помощники человека!

Недавно ленинградскими специалистами разработан проект домашней информационной машины. В ней как бы объединены функции вычислительной машины и бытовых радиоприборов, таких, как радиоприемник и телевизор. Такая машина сможет не только хранить, получать извне и обрабатывать информацию, но и воспроизводить ее.

Пока домашняя информационная машина лишь задумана. Для успешного претворения ее в жизнь требуется сделать многое. Многое надо изобрести, многое предусмотреть, о многом подумать. И весьма вероятно, что домашние электронные калькуляторы станут доступны человеку уже в недалеком будущем.



ПЛЕЧОМ К ПЛЕЧУ С ЧЕЛОВЕКОМ

Человек должен верить, что непонятное можно понять; иначе он не стал бы размышлять о нем.

Г Е Т Е

Зачем нужны машины?

Природа миллионами лет создавала человека, тысячами и тысячами связей скрепляя его с условиями жизни. Человек развивался и одновременно развивались и усложнялись орудия, которыми он работал, накапливался и осмысливался его трудовой опыт, прогрессировали формы кооперации и разделения труда. Эти последние достигли в мануфактуре такого развития, что труд дробился на множество зависимых друг от друга операций, выполнение каждой доводилось до автоматизма, а весь коллектив действовал в совокупности как живой прообраз будущей машины.

Так созревали условия для возникновения машинного производства.

Машина взяла на себя сначала двигательную функцию, а затем и функцию управления орудием труда, сделав уделом рабочего целый комплекс новых обязанностей: ее включение и выключение, контроль за режимом работы, наладку и ремонт и т. п.

Ныне человечество живет и работает в окружении самых разнообразных машин. Они строят дома, обрабатывают металл, добывают руду и уголь. С помощью машин мы преодолеваем огромные расстояния, раскрываем тайны океана и Земли, бороздим просторы космоса...

Стремительное развитие техники обрушивается на нас столь быстро, что человеческий организм вынужден мобилизовать все свои скрытые ресурсы и возможности, чтобы сохранить способность к разумному действию. Преодолеть намечающийся разрыв между органическими возможностями человека и бурным развитием техники помогло рождение новой науки — кибернетики.

Кибернетика — молодая наука. Она возникла в 40-х годах нашего столетия и, по словам одного из ее осново-

положников американского ученого Норберта Винера, родилась из изучения «пограничных зон наук, где для опытного исследователя открываются богатейшие перспективы».

Кибернетика и автоматика начали механизацию умственного труда. Работа оператора и контролера, счетчика и диспетчера и многие другие работы, отнимавшие у человека много умственных и физических сил, стали выполняться «думающими» автоматами.

Эпоха таких автоматов началась с создания электронных вычислительных машин, которые взяли на себя утомительную счетную работу. И делают они ее быстрее и точнее, чем человек.

В этой связи показателен такой пример. Английский математик Шенкс более 100 лет назад взялся определить с большой точностью число π . Затратив 15 лет работы, Шенкс вычислил π с 707 знаками после запятой.

В 1949 г. эту задачу предложили решить одной из первых вычислительных машин. Менее чем за сутки машина справилась с задачей и даже перевыполнила ее: число π было вычислено с 2048 десятичными знаками. 15 лет однообразной работы мозга человека и 24 ч работы машины, а количество знаков у машины почти в 3 раза больше!

История науки знает немало примеров, когда на поиски доказательства одной теоремы тратилось много лет и даже десятков лет упорного труда лучших математиков мира. Поручив машине производить решение сложных и трудоемких математических задач, человек сэкономил время для всецело творческого труда.

Но не только эти задачи можно поручать вычислительной машине. Человек разглядел путь к расширению ее возможностей и оказалось, что вычислительная машина пригодна также для решения неожиданно широкого класса задач. Конечно, не всякую задачу можно поручать машине. Ей доступны только те из них, которые подчиняются четким математическим правилам, законам формальной логики.

Сегодня, спустя почти 30 лет после появления первых электронно-вычислительных машин, можно утверждать, что произошел резкий, качественный скачок в развитии науки и техники, который заставляет по-новому осмыслить как весь предшествующий ход научно-технического прогресса, так и возможные перспективы его в будущем.

Возникнув прежде всего как средство автоматизации сложных и трудоемких вычислений, электронно-вычисли-

тельные машины сегодня становятся своего рода «мозгом» современной автоматики. Они позволяют управлять процессом производства наилучшим способом, при самых малых потерях энергии, материалов и времени.

Электронно-вычислительные машины помогли решить такие современные проблемы, как проникновение в глубь вещества и в атомное ядро, управление процессом ядерного синтеза, и многие другие.

Без электронных машин не была бы осуществлена давняя мечта человека — запуск и вывод на орбиту искусственных спутников и космических кораблей. Для того чтобы вывести ракету на расчетную орбиту, необходимо переработать огромный объем информации в считанные секунды. Машины проверяют и оценивают надежность работы всех устройств корабля, уточняют орбиту его движения, рассчитывают поправки и подготавливают необходимые данные в процессе полета.

Кибернетика за последние годы стала чрезвычайно разносторонней. Физики и математики, биологи и медики, инженеры и агрономы пользуются услугами современных вычислительных машин. Они все больше вторгаются в деятельность человека как верные помощники, освобождая его от сложных расчетов, от напряженного, часто однообразного труда.

Появились машины, «поведение» которых подобно поведению человека, машины, способные говорить и читать, играть и планировать, обучать и ориентироваться в обстановке. Разрабатываются машины, обладающие чертами личности, и машины, которыми управляют другие машины.

И в этой связи часто можно слышать вопрос: неужели человек отдаст машине все, что является его законной гордостью, все, что отличает его от остальных живых существ на нашей планете?

Думается, это вряд ли произойдет. Человек создает машину для своих нужд, удовлетворение их — цель любой машины. Уберите эту цель — и любая машина станет в тупик.

И тем не менее работы, проводимые в этих направлениях, представляют интерес, ибо человек непрерывно растет вместе с творениями своих рук. Прикладывая их к тому, что дает ему окружающая природа, человек преобразовывает мир, неустанно стремится к самоусовершенствованию.

И какие бы новые задачи ни вставали перед наукой будущего, ясно одно: единственный предел возможностей самой умной машины не в ней самой, а в мыслях и фантазии людей, ее создающих.

Немного истории

Перед наукой и техникой десятилетиями стояли нерешенные проблемы. Человеческий гений мог их поставить, однако решить был не в силах: уж очень ограничены возможности человека в расчетах — медленно, слишком медленно считает он. Облегчить труд людей, создать механического помощника для своего разума — давняя мечта человека.

Впервые принцип суммирующих машин был предложен Б. Паскалем в 1642 г. Основными деталями его счетной машины являлись вращающиеся зубчатые колеса и шестеренки.

Впоследствии этот принцип стал использоваться почти в каждой счетно-вычислительной машине. Сначала была создана более совершенная, чем у Паскаля, машина Лейбницем, затем — петербургским инженером В. Т. Однером.

В наши дни на смену механическим приспособлениям пришла электронная техника, однако основной принцип построения машин со времен Паскаля остался неизменным.

Первая электронно-вычислительная машина «Эниак» была создана в 1946 г. Предназначенная для расчетов траекторий снарядов, она была громоздка, считала очень медленно. «Эниак» могла производить одно сложение за 2 десятитысячные доли секунды, одно умножение — за 28 десятитысячных секунды и одно деление — за 6 тысячных секунды. Мало того, она постоянно выходила из строя и прежде всего по вине электронных ламп, которых в ней было 18 тыс. «Никогда в жизни мне не приходилось спать и завтракать так, как в течение тех месяцев, когда мы по двадцать четыре часа просиживали у вычислительных машин, сменяя друг друга, — вспоминает математик Г. Эванс. — «Эниак», на котором мы работали, оказался довольно капризной машиной. Постоянно какие-нибудь лампы или контуры выходили из строя и нам приходилось простаивать».

Конечно, первые машины сегодня могут вызвать у нас только снисходительную улыбку. Но для того времени они

являлись огромным достижением. Специалисты начали прикидывать, какие выгоды можно извлечь из машины, если использовать ее главное преимущество — быстроту работы. Прошло несколько лет, и оказалось, что задачи, предлагаемые машинам, резко усложнились, выросли и требования по надежности аппаратуры. Сотни тысяч ламп, громоздких и ненадежных, постепенно становились тормозом для развития вычислительной техники. Да и скорости вычислений явно не хватало.

Выход был один: заменить лампы полупроводниками. Так в конце 50-х и начале 60-х годов появилось второе поколение машин, созданных на основе полупроводниковых приборов. По сравнению со стеклянным баллоном полупроводниковый прибор выглядел лилипутом. У него обнаружилось много достоинств: малое потребление энергии, отсутствие охлаждения, компактность. Полупроводники миниатюрнее и надежнее. Логические ячейки стало легче собирать, да и считать машины стали быстрее. Ведь чем короче расстояние между ячейками, тем быстрее они обмениваются информацией. Быстродействие полупроводниковых машин выросло до тысяч и десятков тысяч операций в секунду.

Как и следовало ожидать, после бурного внедрения полупроводников в технику началось стремительное уменьшение размеров элементов. Сначала были созданы модульные схемы из малогабаритных активных и пассивных элементов. И, наконец, к концу 60-х годов были созданы интегральные схемы, которые оказались способными заменить целую ячейку логической схемы вычислительной машины. Теперь специалистам не надо было думать над очередной конструкцией ячейки, они, применяя крохотные интегральные схемы, по кирпичику возводили машины третьего поколения. Теперь счет пошел на миллионы операций в секунду!

Машина может складывать и перемножать десятки тысяч многозначных чисел в секунду.

Машины третьего поколения сравнивают по объему информации с публичной библиотекой средних размеров. При этом найти необходимый материал удастся значительно быстрее, чем в библиотеке.

Существующие гигантские вычислительные системы, такие, как «Соломон», «Иллиак», могут работать со скоростью до 200 млн. операций в секунду. Практически в

таких системах работает более тысячи вычислительных машин.

Но и в этих машинах обнаружилось слабое место. Раньше из строя выходил какой-либо элемент, теперь подводят соединения между интегральными схемами. Дополнительные задержки сигнала в соединениях между ними сильно понижают быстродействие вычислительных машин.

И если теоретически электрический сигнал проходит через проводник длиной в 1 см за 30 пс, то из-за наличия дополнительных задержек скорость передачи сигналов становится значительно ниже скорости света. Сократить расстояние между элементами, а следовательно, уменьшить задержку прохождения сигналов — вот основная задача, которую необходимо было решить.

Миллиард операций в секунду!

Современное состояние науки позволило ученым решить и такую сложнейшую проблему, как дальнейшее повышение быстродействия электронно-вычислительных машин. Как показали исследования, резко сократить число соединений между элементами можно, если использовать новые физические явления и перейти от микроэлектронных схем к функциональным. Теперь в одном монокристалле размещают не десяток схем, а сотни и даже тысячи. Естественно, что внутри таких схем соединительные линии будут микроскопически малы, и электрический сигнал от элемента к элементу пройдет значительно быстрее. Так интегральная схема превратилась в Большую интегральную систему, что вызвало к жизни новое поколение вычислительных машин. Если верить специалистам, то линейные размеры одного полупроводникового прибора могут быть доведены до тысячных долей миллиметра и менее. 100 млн. приборов разместится в 1 мм^3 , что даст возможность «электронной мысли» работать со скоростью в миллиарды операций в секунду. Полное торжество современной техники и явная победа лилипутов над великанами.

Можно пойти и другим путем. Путем, который недавно был предложен советскими специалистами. Он заключается в создании машин нового типа, так называемых гибридных вычислительных машин.

Исторически сложилось, что развитие вычислительных машин шло по двум основным направлениям: разработке

аналоговых и цифровых машин. В аналоговых вычислительных машинах сигналы, посылаемые из одной ее части в другую, передаются в виде непрерывных аналогов (электрических напряжений, потоков жидкостей и т. п.). Такие машины отличаются быстродействием, простотой решения задач. Не лишены они и недостатков. Это прежде всего низкая точность вычислений, плохое «запоминание» информации.

Цифровые вычислительные машины более универсальны; перечислить все, что они могут выполнить, просто невозможно. Достаточно сказать, что они отличаются высокой точностью вычислений, прекрасно «запоминают» информацию, имеют полную автоматизацию ввода-вывода данных. К их недостаткам следует отнести ограниченность скорости выполнения поставленной задачи и сложность составления программы.

Объединив преимущества аналоговых и цифровых вычислительных машин, ученые создали гибридные вычислительные машины. Такие машины состоят из двух составных частей — аналоговой и цифровой и каждая решает свою задачу. Аналоговая часть машины решает ту часть задачи, где требуется достичь высокого быстродействия; цифровая же часть производит вычисления с большой точностью.

При решении задач определенных классов гибридная вычислительная машина сможет выполнять 10—20 млрд. операций в секунду и более с большой точностью вычислений. Такая скорость нужна и при управлении космическим кораблем, и при решении задач в процессе управления термоядерными реакциями и другими быстропротекающими процессами.

Успехи оптоэлектроники и голографии позволяют ученым строить самые оптимистические прогнозы относительно создания «световых» вычислительных машин с огромным объемом памяти и высоким быстродействием при минимальном расходе электроэнергии. В них станет возможным осуществить параллельную обработку больших массивов информации.

Совсем недавно научный мир взбудоражило сообщение американских специалистов о создании голографического запоминающего устройства, способного осуществлять полный цикл обработки данных: ввод, запись, считывание и стирание.

Запоминающее устройство состоит из лазера, жидких

кристаллов, электроакустических дефлекторов и голограмм, снятых на термопластическом материале.

По заявлению разработчиков, такое устройство станет предшественником нового поколения запоминающих устройств, которые по емкости памяти будут сравнимы с самыми большими из современных ячеек памяти, а по быстродействию превзойдут их на три порядка.

Принцип работы голографического запоминающего устройства выглядит так. Накопление данных в виде голограмм осуществляется на термопластическом материале. Вся информация разбивается на массивы, причем каждый такой массив записывается с помощью лазерного луча на отдельный участок фотопластинки. В результате получается решетка голограмм. Для выборки данных голограмма освещается лучом лазера, в результате чего восстанавливается изображение нужного массива. Полученное изображение проецируется на светочувствительную решетку, которая «считывает» оптические данные и преобразует их в электрические сигналы.

Для стирания голограммы термопластический накопительный материал подвергается тепловому воздействию.

В таких устройствах, по-видимому, можно вообще обойтись без соединений, без металлических проводников — их заменят световые лучи, которые свяжут ячейки между собой.

Скорость света, как известно, составляет 300 тыс. км в секунду. Время, необходимое для того, чтобы луч пересек расстояние в тысячные доли миллиметра, трудно представить. Скорость работы в подобных устройствах будет измеряться в сотых и тысячных долях наносекунды! Такое огромное быстродействие поражает, это как сказка, еще не реализованная, но вполне решаемая в недалеком будущем.

Однако мы еще ничего не сказали о памяти такой машины. Представляется весьма реальным достижение емкости запоминающего устройства порядка $10^{12} \div 10^{13}$ двоичных единиц информации. Размеры каждого оптического элемента предельно малые — молекулы и даже атомы.

Фантастическое быстродействие и фантастические размеры! Недаром оптоэлектронику связывают со всевозможными гипотезами, направленными на создание искусственного разума и синтетической нервной системы. Ранее ученым казалось, что для «конкуренции» с человеческим мозгом потребуется огромное количество схем. Достиже-

ния и будущее оптоэлектроники и голографии, по всей видимости, могут способствовать получению схем в более приемлемом для этой цели объеме.

Информация и мы

Информационный кризис — наиболее острая современная проблема. И осознана она была лишь в середине нашего века. Информация захлестнула людей, на какой-то момент они «захлебнулись» в ее потоке.

Ньютону ничего не стоило быть в курсе всех научных открытий: в его время выходило лишь пять научных журналов. Сейчас их выходит более 200 тыс., в них печатаются миллионы статей. В периодических научно-технических изданиях публикуется ежегодно более 300 тыс. патентов и описаний изобретений и открытий. Но это еще не все. Мы не взяли в расчет различные сборники, труды конференций, симпозиумов, коллоквиумов, научно-популярную и научно-художественную литературу, выходящую ежегодно массовым тиражом.

Человек не в состоянии прочитать все выходящие газеты, прослушать и просмотреть предназначенные для него радио- и телепередачи. Объем информации в сотни тысяч раз превышает возможности человека воспринимать эту неудержимую лавину. И даже если бы он читал круглые сутки без сна и отдыха, то все равно не смог бы быть в курсе всего происходящего в мире.

Создается такое положение, когда человек, раскрывая тайны природы, узнает все больше и одновременно не может пользоваться тем, что уже открыто и изучено другими.

Доходит до курьезов: военное ведомство США несколько лет вело разработку специального устройства. Было потрачено более 1 млн. долларов. А вскоре выяснилось, что точно такое же устройство давно сделано соседним ведомством. Получается, что специалист не в состоянии следить за потоком информации даже в своей области. Легче изобрести что-нибудь или заново поставить какой-либо эксперимент, чем узнать об этом, изучая океан литературы. И выход из этого поистине трагического положения состоит, по-видимому, в том, чтобы упорядочить поток информации, сделать ее более доступной.

А сделать это чрезвычайно трудно, если учесть, что каждую минуту в мире появляются 2 тыс. страниц печатной информации и с каждым годом этот объем будет увеличиваться. Поэтому задача выбора самого важного ставится наиболее остро. Некоторые ученые высказывают мысль, что на современном этапе статьи в журналах как метод сообщения информации не оправдывают себя. И как доказательство приводили убедительные факты.

В крупнейшей Лондонской научной библиотеке собрано около 10 тыс. научных журналов. Больше половины из них ни разу никем не были затребованы. Три четверти журналов были использованы всего один — два раза. Если подвести общий итог, то выводы не утешительные. Почти половина интересующей ученых информации сосредоточена лишь в нескольких десятках научных журналов.

Горы никем не прочитанных книг и журналов год от года растут, и через несколько лет, по мнению академика В. А. Каргина, «мы можем оказаться перед фактом, что большая часть результатов научных работ, требующих и немалых средств, и очень квалифицированного труда, просто не будет использоваться из-за невозможности усвоения и обмена громадного объема информации».

Где же выход?

Прежде всего в перестройке информационной службы, в широком внедрении электронно-вычислительных машин и других средств современной оргтехники.

Для того чтобы упорядочить поток сведений, надо постепенно отказаться от публикации в научных журналах полных текстов научных статей. Это так называемое свертывание информации, когда вместо статьи публикуются обзоры, рефераты, краткие сообщения, в которых содержатся наиболее важные результаты.

Делаются попытки как-то облегчить поиски, создать вроде крупномасштабного атласа моря информации. Скажем, у нас выпускается грандиозный «Реферативный журнал», который вбирает в себя существенную часть информационной лавины. Помимо всего прочего, с его помощью осуществляется интенсивный международный обмен информацией.

В последние годы появилась новая система отбора информации — научные цитаты и ссылки. Допустим, что вы, просматривая какой-то журнал, встречаетесь с интересной статьей и хотите узнать, что еще написано на эту тему. В этом вам поможет язык цитат и ссылок.

С 1963 г. в США институтом научной информации издается «Индекс научных ссылок» — толстая книга большого формата, в которой содержатся указания на ссылки. Например, при составлении «Индекса» за 1965 г. было просмотрено 1147 важнейших научных журналов мира. В нем содержались сведения о 3 млн. ссылок, приведенных в 236 тыс. статей.

С помощью «Индекса» можно узнать множество интересных вещей. Как фамилия первого автора статьи? Кто еще публикует работы на эту тему? В каком журнале и в каком году опубликована работа? Не проводились ли подобные исследования ранее? Как называется статья и кто соавтор? И так далее.

В подготовке «Индекса» принимают участие «грамотные» вычислительные машины, которые не только осуществляют поиск информации, но и обрабатывают все данные. Это позволяет выпускать его в предельно сжатые сроки.

Становится очевидным, для того чтобы справиться с колоссальным объемом информации, надо создать «мыслящие» информационные системы, способные воспринимать, преобразовывать, хранить, искать и выдавать информацию без участия человека. Такие системы уже выходят из стадии эксперимента. Скоро ученые в ответ на поставленный машине вопрос смогут получить не только библиографическую справку, но и краткую информацию о содержании интересующих их работ. В перспективе вероятны информационно-логические системы, способные самостоятельно классифицировать сведения, определяя их новизну, достоверность, важность.

Наибольшие успехи достигнуты в области информационно-поисковых систем. В качестве примера можно привести систему, которая обслуживает предприятия, работающие в области радиоэлектроники. С ее помощью можно быстро и с исчерпывающей полнотой получить библиографическую справку по целой программе или отдельному вопросу. Получив запрос, электронно-вычислительная машина выдает данные, которые выпечатываются выводным устройством. А если сделать к ней выносной пульт, то информацию можно получать прямо на рабочем месте. Такой метод даст возможность ученым и инженерам оценивать выдаваемые машиной сведения практически в процессе проведения поисковой или экспериментальной работы. В будущем по желанию ученого такие машины будут не

только информировать о литературных источниках, но и по крохам сведений восстанавливать какую-нибудь конструкцию или технологический процесс.

Со временем появятся гигантские информационные центры с необъятными хранилищами информации, каждое из которых будет отвечать различным аспектам творчества человека. В памяти электронно-вычислительных машин будет храниться не только информация, связанная с книгами, библиотеками и кино, но и различного рода сенсорная запись, т. е. запись человеческих чувств.

Мы уже убедились, что микроэлектроника способна творить чудеса. Поможет она и в создании миниатюрных переносных устройств хранения информации. Такие устройства позволят каждому человеку подключаться к информационному центру и получать интересующую его информацию.

Для решения информационных проблем все шире привлекаются самые новые и перспективные средства. Здесь и микроэлектроника, и оптоэлектроника, и голография.

Нет ничего удивительного в том, что специалисты различных отраслей науки и техники сегодня с надеждой смотрят на электронную технологию. Тонкий, не толще волоска, электронный луч «рисует» микроминиатюрные электрические схемы. А что если попытаться использовать «художественные» способности для микроизображения текста?

Подсчитали, и теперь уже мало кто сомневается в том, что на булавочной головке можно уместить текст 24 томов «Британской энциклопедии». Выбрать нужную статью поможет электронный микроскоп. Электронный луч позволит человеку, главной фигуре творческого процесса, жить постоянно в мире новых идей, выделять из огромной массы информации лишь необходимое для его работы.

Есть и другие способы. В качестве примера можно привести разработку оптических логических модулей для сверхбыстродействующей обработки информации. В этих модулях применяются полупроводниковые лазеры, оптически связанные друг с другом. Действие модулей основано на управлении световым излучением одного лазера с помощью когерентного света другого. Отсутствие электрических сигналов и связей позволяет существенно повысить быстродействие таких устройств.

Многого ждут и от голографии. Представляется реальным достижение емкости памяти запоминающего устройства порядка 10^{13} двоичных единиц информации при времени поиска последней менее 1 мин. Тысяча страниц книги, записанных на голограмме, просматривается в доли секунды. Такие устройства позволяют осуществить параллельную обработку больших массивов информации с помощью методов картинной логики.

Электронный переводчик

Хотя первые вычислительные машины применялись исключительно для выполнения математических операций, проблема машинного перевода сразу же привлекла внимание специалистов. Обилие информации по важнейшим научным проблемам современности, опубликованной на различных языках, буквально захлестнуло человечество. Чтобы перевести всю эту лавину литературы, требуется целая армия переводчиков. А где ее взять? Вот тогда-то и появилась мысль использовать вычислительную машину для перевода с одного языка на другой.

Как же машина переводит?

Мы знаем, что для перевода с одного языка на другой существуют определенные правила. Человеку нужен словарь, словарь нужен и машине. Но только такой, который можно сформулировать на математическом языке и в виде программы задать машине.

Выразить буквы алфавита числами нетрудно. Гораздо сложнее сообщить машине грамматические и стилистические правила, законы образования слов, их окончаний и приставок и т. д. Располагая этими данными, машина начинает процесс перевода приблизительно так.

Сначала она ищет значение каждого слова на другом языке. Этот процесс осуществляется как вычитание заложенных в машину чисел словаря из введенного числа. Затем, переводя все отдельные слова, машина с учетом структуры предложения и правил грамматики складывает их в предложение. Теперь машине остается только подать полученный текст на буквопечатающий телеграфный аппарат, который отпечатает переведенный машинописный текст.

Первая машина-переводчик появилась в 1954 г. Через четыре года имелись уже три такие машины, приспособ-

ленные для перевода технических текстов и обладающие запасом около тысячи слов.

Современное поколение машин построено на последних достижениях современной науки и располагает достаточным словарным запасом. Сравнительно недавно советскими учеными разработаны новые автоматические переводчики с японского языка на русский. В основу их работы заложены методы оптоэлектроники и голографии. Как же осуществляется процесс перевода в этой машине?

С помощью лазера на фотопластинку записывают набор иероглифов и полученные голограммы вводят в запоминающее устройство машины. Перевод текста производится оптическим методом. Иероглифы освещаются пучком света, и установка сравнивает полученный спектр с голограммой, хранящейся в памяти машины. Как только машина распознает «свой» иероглиф, появляется сигнал совпадения в виде светового пятна. С помощью фотодиодов световая энергия преобразуется в электрическую и на световом табло или печатающем устройстве появляется русский перевод.

Первые эксперименты показали, что такой оптический переводчик даст возможность специалистам разобраться в техническом содержании переведенного текста. И хотя такая машина еще далека от совершенства, в будущем она может быть использована не только для автоматического перевода, но и для обработки любой информации.

Создав машины-переводчики, специалисты столкнулись с рядом трудностей, которые в настоящее время почти или полностью неразрешимы.

Большое препятствие для точного перевода с одного языка на другой представляют слова, имеющие два — три или больше значений. Учесть и проанализировать соответствующее значение слова, несмотря на достаточный словарный запас, машине пока не под силу.

Много хлопот доставляют во время перевода так называемые идиоматические выражения и разнообразные обороты и выражения. Здесь машина «спотыкается», делает не только массу ошибок, но часто совершенно искажает содержание и смысл фразы.

В настоящее время ведутся настойчивые поиски полного решения проблемы автоматического перевода. Более благополучно дело обстоит с техническим текстом. Что касается перевода художественной литературы, то в этом

направлении предстоит немало сделать, чтобы переведенный текст мог доставить человеку эстетическое наслаждение. В этой связи практичнее пока ориентироваться на содружество электронного переводчика и человека-редактора. Такой путь позволяет снизить трудоемкость перевода, ускорить все операции, связанные с ним. Это оправдано и экономически.

Нет сомнения, что ближайшее время принесет новые достижения в этой области. Ведь природа бесконечна, познаваема и неисчерпаема — это подтверждается всем опытом человеческого знания.

Машины, которые играют

Интеллектуальные игры, например шахматы, шашки, созданные людьми для развлечения, также давно привлекали внимание создателей машин. По мере того как машины росли, «умнели», а скорость их действия неизмеримо возрастала, ученые все более утверждались в стремлении создать машину, которая могла бы мыслить. Первые шаги были сделаны в направлении создания «играющих» машин. Такие машины — идеальный материал для исследования и познания свойств человека, его способности мыслить и предвидеть многочисленные варианты своих действий.

Познакомимся в общих чертах с тем, как машина играет в шахматы. В машину вводится программа распознавания ходов противника, программа собственных ходов, правила игры. Реализация этих правил производится математическим и логическим аппаратом машины. Ведя игру, машина должна постоянно «мыслить» вперед, оценивать возможные варианты, «предвидеть» их результат. Учитывая свое положение после каждого сделанного хода, она выбирает наиболее приемлемое продолжение. Если бы она сумела оценить все будущие ходы, ей осталось бы одно: сыграть так, чтобы противник потерпел поражение. Но рассчитать все возможные варианты любая вычислительная машина не в состоянии.

Подсчитано, что общее число возможных вариантов шахматной партии равно $2 \cdot 10^{116}$. Это значительно больше, чем число электронов во Вселенной. Даже если все население земного шара сядет за шахматные доски, то только для первых десяти ходов (с учетом всех возмож-

ных вариантов) ему потребуется 217 млрд. лет. Современной вычислительной машине на перебор всех ходов потребуется ни много ни мало... 10^{247} лет!

И как ни странно, первые шахматные программы были основаны на теории проб и ошибок: любой процесс решения состоит из случайных попыток, одна из которых случайно приводит к успеху. Эта теория в вычислительной технике получила выражение в методе перебора вариантов. Если машина, играющая в шахматы, будет действовать по принципу проб и ошибок, то она «застрянет» на первых ходах.

В шахматной игре, да и для решения других задач наиболее подходящими являются программы, моделирующие человеческую деятельность. Это обнаружилось после обследования памяти, восприятия, умения решать нешахматные задачи выдающихся шахматистов. Любопытно, что даже многие гроссмейстеры не обладают какой-то исключительной памятью. В процессе игры они ведут систематический поиск — перебор, а проверяют только несколько вариантов и просчитывают их на разную глубину. К тому же, как высказался Рихард Рети, «каждый шахматист, наислабейший и наисильнейший, обладает сознательно или бессознательно известными принципами, которыми он руководствуется в выборе ходов». А вот высказывание советского гроссмейстера Виктора Корчного: «В мышлении шахматиста большую роль играют психологические мотивы. Он часто руководствуется не объективными оценками, а своими собственными ощущениями, тем, что он может себе позволить».

Если бы их знать, то тогда бы удалось смоделировать оперативное, творческое мышление. А пока ученые ищут новые принципы построения шахматных программ, мечтают научить машины играть лучше. Здесь важно, чтобы машина смогла бы учиться как на собственных ошибках, так и на промахах противника. Тогда, извлекая уроки из сыгранных партий, машина становилась бы более совершенной и талантливой.

А пока машина играет несравненно слабее человека. И хотя таких сыгранных партий насчитываются единицы, они наглядно показывают отставание машинного «мышления», отсутствие способности видеть позицию. Но так или иначе играющие машины с каждым годом все более угрожают шахматной монополии человека, а в будущем могут даже превзойти гроссмейстера. Такой прогноз основан

прежде всего на достигнутых успехах в области теории математической лингвистики и физиологии. Но, как говорится, поживем — увидим. Дело ведь это тонкое и сложное. Во всяком случае человек стремится все шире исследовать идеи шахматного программирования, предлагает новые варианты шахматных автоматов.

В 1970 г. в США была переведена книга доктора технических наук, неоднократного чемпиона мира М. Ботвинника «Алгоритм игры в шахматы». Интересна научная оценка шахматной проблемы, сделанная специалистами в предисловии к американскому изданию. «Ботвинник говорит об основных процессах мышления шахматного мастера и низводит эти процессы до математических формул. Эта формализация процессов мышления является вкладом в науку на трех уровнях: на первоначальном этапе она дает основу для составления программы, которая, вероятно, будет успешно играть в шахматы; на среднем уровне программа для игры в шахматы поможет нам изучить и рационализировать процессы планирования и получения необходимых решений; на более высоком уровне изучения работы мозга на примере игры в шахматы приведет нас к пониманию человеческого мышления и человеческой техники».

К столь лестному отзыву следует добавить, что система программирования, разработанная Ботвинником, одна из немногих, у которой имеются шансы на успех.

Машина управляет производством

Кибернетика сблизила деятельность человека и электронно-вычислительной машины, помогла увидеть и найти много общего между ними. Недаром психологи утверждают, что человек — это подсистема единой большой системы «человек — машина».

Человек и Машина! Как складываются, как должны складываться взаимоотношения между ними?

Психологи, изучающие роль человека и машины, определили, что человек — это наиболее пластичное и универсальное звено, лишь кое в чем уступающее «машинному» звену. Например, в скорости, иногда в точности исключения операций, в длительности сохранения заданного режима работы. Здесь уместно привести высказывание американского психолога А. Чапаниса, который пишет:

«Обычно принято говорить, что проблема согласования человека и машины возникает из ограниченных возможностей человека. С такой же уверенностью можно было бы сказать, что эти проблемы возникают из-за ограниченных возможностей машины». С этими словами нельзя не согласиться.

Когда речь заходит об открывающихся возможностях применения математических методов для управления производством, приходится говорить о многообразии задач, решаемых с помощью современных электронно-вычислительных машин. Их внедрение в управление производственными процессами оказалось настолько успешным, что произвело переворот в автоматизации. Электронно-вычислительные машины позволили вести производственный процесс в наиболее выгодных условиях при максимальной производительности труда.

Взять, к примеру, управление металлорежущими станками. На них обрабатывается огромное количество деталей — от мельчайших деталей часов механизмов и уникальных приборов до гигантских роторов и лопаток турбин. Не случайно металлорежущие станки, предназначенные для обработки деталей, в современном парке машин занимают ведущее место.

Прежде чем заставить станок изготавливать или обрабатывать детали нужного профиля, необходимо выполнить массу операций: произвести инженерный расчет узлов детали, составить спецификацию, технологический маршрут и карту. На это уходит уйма времени. Все эти операции можно передоверить вычислительной машине. Ведь в основе действия сверлильного, токарного, фрезерного и других станков лежат определенные принципы, которые можно сформулировать с помощью математических формул и в виде программы задать электронно-вычислительному автомату. Таким же образом машине можно сообщить все сведения о поверхностях: размеры, допуски, чистоту обрабатываемой детали, на какой глубине должны работать резцы и т. д. Вся необходимая информация переносится на перфоленту, которая идет в машину; в ее памяти хранится последовательность выбора и обработки данных, технические характеристики станка, допустимые скорости подачи и т. п.

Но этой информации недостаточно для управления станком без участия человека. Необходимы еще сведения, которые фиксируют положение детали и режущих ин-

струментов в каждый момент времени. Эти сведения поступают в вычислительную машину от контрольно-измерительных приборов, установленных на станке. Исполняющая часть устройства, установленная на станке, получает соответствующие команды от управляющей машины и точно следует чертежу, преобразованному в цифровые данные.

Ну а чем же занят теперь рабочий? Он налаживает автомат и контролирует его работу. Но и это не является лучшим решением. Более выгодно, когда вычислительная машина непосредственно управляет станком без вмешательства человека. Такие станки уже работают в цехах-автоматах ряда заводов нашей страны. Изготовленные на них сложнейшие детали отличаются удивительной точностью.

Однако поручать электронно-вычислительной машине управление одним станком экономически невыгодно. Ведь ее производительность в тысячи раз больше той, которая необходима для этой цели. Поэтому конструкторы стремятся использовать вычислительные машины для управления не одним, а множеством станков, целым цехом, причем совсем не обязательно станков одного типа. Здесь уже достигнуты вполне ощутимые результаты.

В память машины закладывается программа выполнения операций на каждом из станков и на ее основании вычислительная машина дает им соответствующие цифровые сигналы. Но и это еще не все. Конструкторы пошли дальше. Если стало возможным создать машину, управляющую цехом, нельзя ли создать такую машину, которой можно было бы поручить управление целым заводом?

И это удалось осуществить. Известен, например, полностью автоматизированный завод по производству блоков автомобильных моторов, управляемый электронной машиной. Проектируется завод-автомат с цифровым программным управлением для изготовления радиоприемников. Человек здесь заботится лишь о том, чтобы на завод вовремя доставлялись сырье, полуфабрикаты. Все остальное на себя возьмет электронная машина.

А возможно ли создать завод, где вообще не будет людей? В принципе, да. В будущем такие заводы, очевидно, появятся. Но, скорее всего, их будет очень немного. Им будут поручены лишь те процессы, которые трудно выполнять людям из-за соображений безопасности, — ядерные реакции, вредное химическое производство. Но даже такие заводы-автоматы не обойдутся без людей, потому что

только при участии человека электронная техника может дать полный эффект. Особенно когда речь идет об управлении. Только человек главенствует в системе управления, а не машина.

«Отдайте же человеку человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин». Так писал в книге «Творец и робот» основоположник кибернетики Норберт Винер. К сказанному следует добавить, что машина всегда была и остается помощником, слугой человека.

Кибернетика и медицина

Получая от человека все новые и новые знания, электронно-вычислительные машины постоянно совершенствуются, повышают свое «мастерство». Уже сегодня они проникли во многие больницы и клиники мира, все шире применяются принципы кибернетики в изучении сложнейших форм жизнедеятельности организма.

Только на первый взгляд кажется, будто у медицины и кибернетики мало общего. Именно математика обеспечивает наибольшие возможности в детальной и количественной оценке живых систем. Ведь деятельность организма — это не что иное, как постоянная работа многочисленных органов. А как мы знаем, любую работу можно перевести на язык математики. Вот и получается, что с помощью кибернетики реально составить математический портрет человека.

Нынешнему врачу и хирургу приходится все больше полагаться на точные знания о человеке, которые он получает с помощью многочисленных средств современной техники. Для того, чтобы установить диагноз, назначить курс лечения, врачу необходимо переработать и правильно оценить массу информации — опросные данные, результаты лабораторных наблюдений и клинического обследования, кривые характеристик деятельности того или иного органа, результаты личного осмотра и т. д. Даже имея феноменальную память, большой опыт работы, врачу нелегко справиться с анализом всех этих данных.

Кибернетическая машина, обладая огромной «памятью», может стать незаменимым помощником медицинских работников. Имея в своей памяти знания о человечес-

ком организме и получив признаки конкретного заболевания, а также результаты всевозможных анализов, машина способна в считанные секунды обработать полученную информацию и «выдать» диагноз, решить вопрос, какие лекарства или процедуры окажутся наиболее действенными. Естественно, что машина не сможет полностью заменить врача, но зато она позволит более надежно и точно установить причину заболевания.

Разработкой таких машин занимаются многие научно-исследовательские институты нашей страны и за рубежом. В этом направлении уже сегодня достигнуты обнадеживающие результаты. Так, сотрудники Саратовского медицинского института совместно с математиками разработали машинную диагностику аппендицита, вывели уравнения, позволяющие составить прогноз лечения инфаркта миокарда. Исследуются возможности применения вычислительных устройств для расшифровки электрокардиограмм и постановки диагнозов сердечно-сосудистых заболеваний. Диагностические кибернетические машины не просто экономят время врача и облегчают его труд, но и способствуют использованию его творческих возможностей.

Естественно, еще рано говорить о том, что в ближайшем будущем удастся оборудовать такими машинами все лечебные учреждения. Однако в ряде случаев уже сегодня вычислительные машины используются для составления истории болезни, обработки медицинских, лабораторных и административных данных о пациентах. Вспомним, сколько времени тратит врач на составление истории болезни, на чтение всех записей. А если еще учесть, что записи в истории болезни разбросаны, не систематизированы, то легко понять, что вычислительная машина здесь просто незаменима.

Приведенные примеры заставляют нас лишний раз убедиться в необходимости объединения усилий человека и вычислительной техники.

Наиболее остро эта проблема встала перед медициной в связи с полетами человека в космос. К числу ведущих проблем второй половины нашего века относится изучение влияния условий и факторов космического полета на живые организмы. Этими проблемами занимается новая наука — космическая медицина.

На земле пациент находится в поле зрения врача, который в любой момент может непосредственно вмешаться

в ход эксперимента. Другое дело, когда человек в космосе, за тысячи и сотни тысяч километров от врача. В этом случае необходимо не только подробно знать о самочувствии космонавтов в каждый момент полета, но и уметь прогнозировать неприятные ситуации на срок, достаточный для проведения требуемых мероприятий. На это врачу отводится очень мало времени — минуты и даже секунды.

Неотъемлемой частью космического корабля является электронная аппаратура для научных исследований и медицинского контроля. В самостоятельное научное направление оформилась биологическая телеметрия, занимающаяся дистанционным измерением биологических показателей: пульса, дыхания, работы сердца, биотоков мозга и т. п.

Кроме телеметрии, в космической медицине используются средства радио и телевидения для двусторонней связи с космонавтом, а также для изучения его поведения и реакции на изменение условий в космическом полете. Специалисты стремятся по выражению лица, жестам, движениям, речи получить какие-то дополнительные сведения о самочувствии космонавта.

В связи с усложнением космических программ пришлось отказаться от непосредственной связи датчиков с бортовой аппаратурой. Современные достижения микроэлектроники позволили создать миниатюрные устройства, которые передают медицинскую информацию на бортовую вычислительную машину. Здесь она преобразуется в компактную, сжатую форму и передается на Землю. Решение таких сложных задач потребовало поиска оригинальных решений, привлечения математических методов и электронно-вычислительной техники.

Разработка эффективных методов в космической медицине представляет немалый интерес и для земной медицины, потому что в первую очередь стимулирует внедрение как отдельных телеметрических, регистрирующих приборов, так и вычислительной техники в клиническую практику. Так что космическая медицина, казалось бы, созданная для покорителей космоса, оказалась весьма земной. Нет сомнения в том, что в ближайшем будущем мы будем свидетелями новых успехов, достигнутых в этой области.

То, что рассказано выше, дает лишь самое общее и далеко не полное представление о применении кибернетических методов в современной медицине.

Как только появились первые вычислительные машины, на них сразу же обратили внимание физиологи. Прежде всего их интересовал вопрос, можно ли использовать машины для изучения умственных способностей человека, работы человеческого мозга? И это естественно. Проникнуть в тайны живой природы, понять законы жизнедеятельности организма, сложную и мудрую деятельность мозга — одна из больших задач современной науки.

Пути к раскрытию тайн природы люди искали всегда, создавая великое множество разнообразных моделей. Особенно расширились возможности ученых после того, как бурно шагнула в нашу жизнь микроэлектроника. Она способствовала применению вычислительных машин во многих областях электроники и одновременно стимулировала проведение работ, направленных на создание модели человеческого мозга.

Реально ли это в настоящее время?

Сравним электронно-вычислительную машину с человеческим мозгом. Мозг — очень экономичная и надежная система, обладающая фантастически малыми габаритами и весом. Плотность «монтажа» его на единицу объема исключительно огромна. Если мы попробуем описать человеческий мозг с кибернетической точки зрения, то это будет выглядеть так.

Мозг — вычислительное устройство объемом в $2,5 \text{ дм}^3$, весом немного более 1 кг, состоящее из 12—14 млрд. нервных клеток, потребляющее мощность около 25Вт, имеющее память, хранящую 10^{13} или 10^{15} двоичных единиц информации. Ко всему этому мозг обладает потрясающей гибкостью, приспособляемостью к изменениям внешней среды и исключительной надежностью.

Если взять за основу полупроводниковые приборы (транзисторы) и попробовать сконструировать модель мозга, то получилось бы гигантское сооружение весом более 10 тыс. т и объемом более 10 тыс. м^3 . Одной лишь энергии для питания такого фантастического устройства потребовалось бы не менее половины мощности Куйбышевской ГЭС.

Предположим на мгновение, что такое устройство создано. Будет ли оно работать? Практически — нет, отвечают специалисты.

Если предположить, что в среднем каждые 10—15 лет одна деталь выходит из строя, то при общем числе деталей, равном 100 млрд., только в течение одной секунды будут выходить из строя около 2 тыс. деталей, и, следовательно, такая система окажется работоспособной всего лишь сотые доли секунды. Выводы неутешительные.

В наши дни появилась возможность разместить более чем 10 тыс. электронных деталей в кубическом сантиметре объема. И хотя электронный «мозг» получился бы размером с малогабаритную комнату, соперничать с нервной системой он был бы не в состоянии.

Вычислительные машины во многом уступают человеческому мозгу. Взять хотя бы ее запоминающее устройство. Это — «нервный центр» всей машины, ее «память». Запоминающее устройство определяет сложность поставленной задачи, сравнивает, «запоминает» и хранит поступающую информацию. «Память» современных машин способна вмещать и хранить до 100 млн. двоичных единиц информации. И все же ей далеко до мозга. Человеческий мозг обладает памятью, в сотни тысяч раз большей.

Существенная разница заключается и в системе обработки информации машиной и человеком. Машина поглощает всю данную ей информацию, человек же делает отбор. Когда мы читаем книгу, то запоминается не текст, а смысл прочитанного. «Смысловому запоминанию», выборочному усвоению и использованию информации научить машину пока не удалось. Между тем такой отбор очень важен, ибо спасает память от перегрузки, облегчает поиски необходимой для данного человека информации. Именно в этом проявляется индивидуальность человеческой памяти.

Кроме всего, отказ каждого элемента машины нарушает работу всей схемы. Получается, что такая гигантская система имела бы надежность более низкую, чем первая вычислительная машина.

Другое дело — человеческий мозг. Он функционирует даже тогда, когда половина его клеток парализована. Здесь все наоборот: элементы ненадежны сами по себе, а общая надежность превосходит всякое воображение. Вполне очевидно, что секрет такой поразительной работоспособности не в отдельной клетке, а в их связях, в принципах работы.

Не слишком ли смела мысль создать машины, подобные и сравнимые с человеческим мозгом? Возможен ли искусственный мозг?

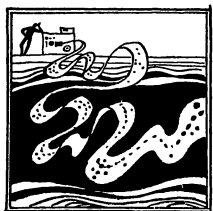
Очевидно, что ни одно из перечисленных различий между человеческим мозгом и вычислительной машиной в принципе не является непреодолимым. Это лишь вопрос времени. Во всяком случае в этом направлении ведутся серьезные работы. Разрабатываются машины, обладающие чертами личности. Предпринимаются попытки создать машины, действующие «разумно» в условиях меняющейся обстановки. Достигнуты определенные успехи в создании самообучающихся, самоприспосабливающихся, «говорящих», «читающих», переводящих и других электронных машин. Со временем машины научатся самостоятельно решать поставленную задачу, доказывать и выводить алгебраические теоремы, проектировать другие машины без существенного вмешательства с нашей стороны.

И наконец, последние достижения оптоэлектроники в сочетании с успехами органических систем на белковой основе могут привести к интересным и неожиданным результатам в области моделирования живой клетки и нервной системы человека.

Здесь привлекательной кажется мысль с помощью машины познать самого себя, наш собственный биологический облик. Другая возможность заключается в том, что знания, накопленные наукой, будут закладываться в память машины, и, таким образом, мы сможем осуществить подключение мозга человека к машинной системе обработки информации.

И все же здравый смысл подсказывает, что машина, даже самая совершенная, никогда не будет мыслить. Процесс мышления — свойство только ее творца — человека. А значит, более разумных, чем человек, машин создано не будет.

Хорошо сказал Луи де Бройль: «Мы никогда не должны забывать, что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает, и что в этой области каждая новая открытая земля позволяет предполагать существование еще неизвестных нам необъятных континентов».



Современная физика знает две области, от которых мы ждем наиболее крупных сдвигов в материальных условиях жизни,— это атомное ядро и полупроводники.

А. ИОФФЕ

Вот и окончилось наше путешествие по удивительной стране полупроводников. Перебрав в памяти то, что было рассказано, можно уверенно сказать, что полупроводниковая электроника по глубине своего воздействия на все области науки и техники — одна из наиболее ярких страниц в истории человечества.

Можно ли представить себе развитие техники без открытия и овладения энергией атомного ядра? Можно ли вообразить развитие научной мысли без Ньютона, Максвелла и Эйнштейна? И точно так же невозможно представить себе достижения человеческого гения без полупроводников.

В этом заслуга не одного поколения ученых, и первый среди них — академик Абрам Федорович Иоффе, который по праву считается «отцом полупроводников».

Иоффе первым понял возможности технического использования полупроводников и развернул их исследование еще задолго до того, как важность полупроводников стала общепризнанной.

Больше всего его привлекали энергетические возможности полупроводников. Мощная энергетика без машин, прямое преобразование тепла в электричество — вот тема его монографии «Полупроводниковые термоэлементы». Недаром эту небольшую по объему книгу за границей именуют «библией термоэлектричества». И по праву эта работа в 1961 г. была удостоена Ленинской премии.

Солнечные батареи, крошечные и прочные радиоприемники, полупроводниковые холодильники, использование атомной энергии для преобразования тепла в электричество — далеко не полный перечень важнейших областей

применения полупроводников, которые предсказал Иоффе еще на рубеже 20—30-х годов.

И эти удивительные по точности предсказания выдающегося ученого сбылись. «Можно смело сказать,— писал Иоффе,— что полупроводники призваны сделать революцию в технике производства, равную по значению той революции, которую совершило расщепление атомного ядра». Сказанное означает, что все достигнутое с помощью полупроводников стало фундаментом всех грандиозных замыслов и свершений современной науки, сегодняшним итогом развития техники.

А что будет завтра? Что принесут нам ближайшие десятилетия? Полупроводники — поистине неисчерпаемый кладезь новых идей, явлений, возможностей. Многие из того, что рассказано в этой книге, стало или в ближайшем будущем станет реальностью. В заключение хотелось бы остановиться на некоторых проблемах, о которых в последние годы много говорят и пишут.

Всем хорошо известно о взаимосвязи электрического поля и упругих волн в пьезокристаллических материалах. Еще в годы первой мировой войны французский ученый Ланжевен создал прибор, преобразующий энергию электрических колебаний в энергию звуковых волн высокой частоты. Для этой цели он использовал обычную пьезокварцевую пластинку. Несмотря на важность открытия Ланжевена, пьезоэлектрический эффект в то время не нашел должного применения. В последние годы на основе использования достижений микроэлектроники интерес к акустоэлектронным устройствам резко возрос.

Наиболее интересные исследования явлений, происходящих в пьезокристаллах, проводимые в СССР, США, Англии, дали толчок развитию нового направления электроники — акустоэлектроники. В первых опытах по передаче электрических сигналов использовались полупроводники. В них при определенных условиях наблюдались ярко выраженные пьезополупроводниковые свойства. Такие полупроводники получили название пьезополупроводников.

К пьезополупроводникам относятся такие материалы, как арсенид галлия, сульфид цинка, сульфид кадмия и некоторые другие. При приложении в определенных кристаллографических направлениях электрического поля в них возникает деформация кристаллической решетки. В условиях, когда электрическое поле меняется по времени, вдоль кристалла будет возникать переменная деформация решетки.

ки, и как следствие — по решетке побежит звуковая волна. Принцип действия пьезополупроводникового усилителя весьма прост. При подаче на пьезополупроводник электрического сигнала в нем возбуждаются звуковые колебания. Благодаря пьезоэлектрическим свойствам такие колебания вызовут изменение электрического поля, которое будет перемещаться вдоль кристалла вместе со звуковой волной. Под действием электрического поля свободные электроны группируются в том месте, где энергия поля минимальна. Теперь достаточно приложить к кристаллу постоянное ускоряющее поле в направлении движения волны со скоростью, превышающей скорость распространения волны. Тогда сгруппировавшиеся электроны начнут двигаться к выходному контакту пьезополупроводника, попадая по мере движения в те области, где электрическое поле волны их тормозит. В этом случае энергия электронов передается звуковой волне и происходит их усиление. Уже созданы первые образцы таких усилителей. Результаты первых экспериментов показывают, что интенсивность ультразвука может достигать десятков ватт на квадратный сантиметр, коэффициент усиления от десятков до сотен децибел на один сантиметр длины кристалла. Кроме простоты изготовления, такие усилители отличаются высокой степенью развязки входа и выхода, что особенно важно для высоких и сверхвысоких частот. Можно ожидать, что со временем акустоэлектронные усилители могут оказать серьезную конкуренцию транзисторам в целом ряде применений.

Мы рассмотрели лишь некоторые применения акустоэлектроники при распространении звуковых волн в объеме твердого тела. Но акустические волны могут распространяться и по поверхности кристалла. Это так называемые поверхностные волны, открытые недавно советским ученым Ю. Гуляевым и одновременно американским ученым Д. Блештейном. Целый ряд специфических свойств, связанных с их распространением, открывает новые возможности использования акустоэлектроники в различных устройствах.

Если нанести на поверхность полупроводника пленку пьезодиэлектрика, можно создать устройство для усиления поверхностных волн. В этом случае звуковые волны возбуждаются в пленке пьезодиэлектрика, а взаимодействие электронов в полупроводнике со звуковыми волнами происходит через электрическое поле, выходящее из пьезоди-

электрика. Такие усилители можно применять при конструировании линий задержки на большие длительности. Введем в материал пьезодиэлектрика примесь других элементов с механическими свойствами в виде узких полосок определенной формы. И тогда поверхностная волна, распространяясь по поверхности кристалла, в точности повторит все изгибы и повороты нанесенного рисунка.

Возможность менять направление распространения позволяет использовать поверхностные волны в качестве элемента связи между различными элементами, собранными на одной подложке.

Высказываются идеи использования поверхностных волн в системах телевидения и связи, для обработки и ввода информации в электронно-вычислительную машину. Следует добавить, что в будущем возможно создание гибридных устройств обработки сигнала, использующих как акустоэлектрические элементы, так и микроэлементы.

В последние годы бурно развивается одна из весьма перспективных отраслей радиоэлектроники — криоэлектроника. Она изучает поведение радиоэлектронных компонентов и материалов при очень низких температурах ($0-20^{\circ}\text{K}$).

Использование низких температур позволило не только улучшить технические характеристики радиоэлектронных устройств, но и создать принципиально новые приборы, такие, как мазеры.

Мазер — квантовый генератор сантиметровых и миллиметровых волн, позволяющий усиливать СВЧ сигнал при очень малом уровне шумов. Он основан на том же принципе, что и лазер, только для его работы требуется низкая температура.

Квантовые усилители позволили получить наивысшую чувствительность приема сигналов. Они незаменимы в спутниковых системах связи, радиоастрономии. Мазер — неотъемлемая часть оборудования современных радиотелескопов.

Широко ведутся работы по изучению таких необычных явлений, как сверхпроводимость. Созданы сверхпроводящие накопители энергии, которые успешно применяются в генераторах накачки для мощных лазеров, электрогенераторах, электромагнитах и других устройствах. Выходят из стен лабораторий криоэлектронные запоминающие устройства, сверхпроводящие линии задержки и т. д. По

мнению специалистов, в этой области надо ждать новых открытий.

И еще одно направление. Мы знаем, что первой стадией фотосинтеза растений является фотоэффект: лист накапливает или концентрирует энергию солнечных лучей. Эта энергия разбивает молекулу углекислого газа; в результате изготавливаются «кирпичики» будущих белков — молекулы углеводов. Получается, что между зеленым листом и полупроводником существует близкая аналогия и здесь фотоэффект — звено, связующее биологические процессы с полупроводниками.

КПД фотосинтеза растений достигает 20—25 процентов; он выше КПД большинства полупроводниковых солнечных батарей. Если удастся довести КПД процесса фотосинтеза до 40—60 процентов, то откроются пути для широкого использования солнечной энергии.

Активно ведутся и другие исследования в области познания живой природы. Здесь и модель сложного глаза краба, и нервные механизмы эхолокации у летучих мышей, и изучение поведения некоторых видов насекомых, и механизмы восприятия запахов, и надежность мозга...

Несомненно, что рано или поздно многие бионические исследования принесут свои плоды.

Не так давно ученые установили, что основа живых тканей — белок — является полупроводником. Ряд специалистов считают, что настанет время, когда микросхемы и вычислительные машины будут строить, используя органические материалы — белковые молекулы. Этот путь может привести к созданию биологических «умных» машин, неких подобий человеческого мозга. Однако не все разделяют эту точку зрения. Академик А. Н. Колмогоров, например, считает что гораздо реальнее построить вычислительную машину на кремнийорганической основе. Как бы там ни было, но это весьма далекие перспективы. Идеи электроники обогатили арсенал конструкторов радиоэлектронной аппаратуры сверхбыстродействующими логическими устройствами, бесконтактными переключателями, миниатюрными индикаторами. Использование методов микроэлектроники обеспечивает при этом многократное увеличение объема информации, которая может храниться в запоминающих устройствах вычислительных машин.

Применение научных достижений на практике — процесс весьма сложный. Чтобы использовать открытие тран-

зистора, надо было коренным образом изменить всю технологию производства полупроводников, развить различные отрасли промышленности.

Совсем недавно универсальными полупроводниками считались лишь германий и кремний. Позднее к ним присоединился арсенид галлия. А сегодня взоры ученых обращены на алмаз. Я не оговорился, алмаз — один из лучших драгоценных камней, по мнению специалистов, дает новый толчок развитию микроэлектроники.

Не только в музее драгоценностей или в окне ювелирного магазина видим мы этот самоцвет. Алмаз нужен всюду, где надо обрабатывать сталь или твердый камень, бурить скважину или резать стекло.

Алмаз отличается от обычной сажи в трубе и от черного графита в карандаше только тем, что в нем иначе расположены мельчайшие частички того же элемента — углерода.

Но вот 20 лет назад в Южной Африке были найдены алмазы, обладающие полупроводниковыми свойствами. Как выяснилось позднее, этими свойствами алмаз обязан примесям, состав которых пока остается загадкой.

Нельзя ли попытаться искусственно получить полупроводниковый алмаз, повторив в лаборатории то, что делает природа?

Оказалось, что можно. Правда, здесь не подходят методы диффузии, которые применяются для получения обычных полупроводников. Для того чтобы пробиться в глубь алмаза и ввести в него необходимые примеси, пришлось прибегнуть к ионной бомбардировке. Так под руководством академика Л. Ф. Верещагина удалось из графита синтезировать полупроводниковый алмаз.

Что же нового могут принести алмазные полупроводники?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим наиболее характерные свойства алмаза.

Он не растворим ни в одной жидкости, которую знает человек, кроме расплавленного металла или расплавленной горной породы. Он не горит в обычном огне, и только при температуре выше 800°C можно ожечь алмаз в сплаве с селитрой. Наконец, алмаз обладает свойством рассеивать свет солнца, т. е. делать то, что производят капельки дождя, образующие на небе радугу. И еще одно поразительное свойство обнаружили московские ученые у алмаза: помещенный в топку, он с большой чувствительностью

фиксирует окружающую температуру. В настоящее время алмазный термометр уже используется на ряде предприятий нашей страны для измерения температуры огненной стихии.

Недаром академик Б. М. Вул подметил, что алмаз в чем-то превзойдет германий и кремний, как и всякий идеальный образец превосходит менее совершенные.

Действительно, германий и кремний чувствительны к температуре. Малейший перегрев структуры таких полупроводников приводит к выходу их из строя. Алмаз же не боится перегрева. К тому же он обладает большей теплопроводностью, чем металл. Эти уникальные качества сделают алмазы незаменимыми в преобразователях электрической энергии. Ведь алмаз здесь становится и проводником, и идеальным изолятором! А раз так, то будущие преобразователи и выпрямители резко изменят свой облик: они не только уменьшатся в размерах, но и превзойдут своих младших братьев — преобразователи на германии и кремнии — по концентрации энергии на единицу объема.

Недалек тот день, когда будет создан первый алмазный транзистор. Для этого есть все предпосылки: совсем недавно советским ученым в лабораторных условиях удалось вырастить тонкие пленки алмаза при комнатной температуре.

Ведутся работы по созданию алмазных лазеров. Хочется верить, что за алмазными лазерами последуют миниатюрные алмазные вычислительные машины.

Ведутся поиски новых способов изготовления, конструирования и монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Исследования показывают, что можно избежать соединений между элементами, если научиться выращивать кристаллы полупроводника. Именно так природа самовоспроизводит однотипные компоненты. Если бы это удалось, стал бы возможным разговор о воссоздании электронно-вычислительной машиной (путем размножения кристаллов) целых блоков, ее составляющих.

Не исключено, что со временем станет возможным и воспроизведение машиной самой себя.

К сожалению, человек, вырвав у природы многие секреты, мало знает о себе, о своем собственном организме. Мы плохо знаем мозг, его скрытые резервы. В этой связи симбиоз «машина — человек» — проблема очень важная и актуальная. С повышением уровня техники человек по-

лучает все новые возможности для решения этой сложнейшей задачи.

Человек, ставя на службу новые и новые открытия, еще глубже проникает в тайны природы. Ведь пределы человеческих возможностей никем не измерены, и каждое новое завоевание открывает необозримые дали. Как сказал об этом известный английский физик Дж. Дж. Томсон: «Великое открытие — это не конечная станция, а скорее дорога, ведущая в области, до сих пор неизвестные. Мы взбираемся на вершину пика, и нам открывается другая вершина, еще более высокая, чем мы когда-либо видели до сих пор, и так продолжается дальше».

СОДЕРЖАНИЕ

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ	5
НИТИ ТЯНУТСЯ В ПРОШЛОЕ	9
Догадки древних	9
Атомы, электроны, кванты	10
Первое знакомство	11
Электроны встречаются с дырками	14
Тепло и холод	17
Тайна света	20
От искры до электронной лампы	22
Рождение исполина	24
Открытие, удивившее весь мир	26
ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО С ЛИЛИПУТАМИ	30
Вокруг транзистора	30
Бомба величиной с горошину	32
Преимущества соперника	35
Семейство полупроводников растет	38
Прыжок через барьер	40
Долой контакты!	41
Новые члены семьи	44
Знакомство продолжается	46
Полупроводниковые магниты	48
Куда ведет кривая?	51
УДИВИТЕЛЬНАЯ СТРАНА	53
Выход из тупика	53
Геометрия микроэлектроники	55
Живая жизнь и микросхемы	60
НАПЕРЕГОНКИ СО СВЕТОМ	66
С помощью Солнца	66
Невиданные источники	70
Новая профессия электроники	72
Наука о «призраках»	75
Волшебный луч	79
Помощник врача и хирурга	82
Уникальный измеритель	84
Разноцветный мир	87
Кино будущего	91
С лучом в космос	94
ЛИЛИПУТЫ ЗА РАБОТОЙ	97
Чудесные превращения	97
О пользе холода	99
На плечах радиоволн	101

С радиостанцией в глубины тела . . .	104
Пути-дороги телевидения . . .	106
Нужен ли автомобилю водитель? . . .	108
Погода, которую делает электроника . .	111
Говорит и показывает «Орбита» . . .	114
В поле зрения — Луна	117
От транзисторного приемника к карманной вычислительной машине	120
ПЛЕЧОМ К ПЛЕЧУ С ЧЕЛОВЕКОМ . . .	125
Зачем нужны машины?	125
Немного истории	128
Миллиард операций в секунду!	130
Информация и мы	133
Электронный переводчик	137
Машины, которые играют	139
Машина управляет производством . . .	141
Кибернетика и медицина	144
Мозг и вычислительная машина	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150

Дзюбин Иван Иванович

ПУТЕШЕСТВИЕ В СТРАНУ ЛИЛИПУТОВ

Редактор С. Столпник

Худож. редактор Т. Добровольнова

Техн. редактор М. Столярова

Корректор В. Гуллева

А 08528. Индекс заказа 57725. Сдано в набор 3/I. 1975 г. Подписано к печати 30/VI. 1975 г. Формат бумаги 84X X108¹/₃₂. Бумага типографская № 1. Бум. л. 2,5. Печ. л. 5,0. Усл.-печ. л. 8,40. Уч.-изд. л. 8,53. Тираж 100 000 экз. Издательство «Знание». Москва, 101835. Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ № 5—295. Цена 27 коп.

Головное предприятие республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, г. Киев, Довженко, 3.

27 коп.