

БИБЛИОТЕКА
ФОТОЛЮБИТЕЛЯ



ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

ИСКУССТВО

И. И. ЖИЛЕВИЧ, Е. Л. НЕМИРОВСКИЙ

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

Под редакцией
канд. техн. наук Е. А. ИОФИСА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
„ИСКУССТВО“

Москва 1961

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрофотографический процесс, первые сведения о котором были опубликованы совсем недавно, в короткое время получил широкое распространение во многих отраслях науки и техники и быстро завоевал себе горячих сторонников.

Надо сразу сказать, что качество электрофотографических отпечатков еще далеко не достигло той высокой степени совершенства, которая характеризует современное состояние фотографии на галогенидосеребряных слоях.

Чем же привлекает к себе электрофотография?

Прежде всего сравнительной простотой процесса. Отпадают сложные и капризные операции химической обработки экспонированного фотоматериала. Процесс проявления в электрофотографии предельно прост, а закрепление отпечатка зачастую вовсе отсутствует. Светочувствительный материал сенсибилизируется непосредственно перед съемкой, чаще всего в самой фотокамере; поэтому становятся ненужными всевозможные предосторожности, цель которых сводится к устранению засветки фотоматериалов.

Готовый электрофотографический отпечаток может быть получен в течение долей секунды. Такая скорость затруднительна для современной фотографии, ибо самая высокая степень автоматизации не может сделать мгновенными процессы химического проявления и фиксирования, а также сушки отпечатка.

И наконец, важным преимуществом электрофотографии является ее экономичность. Отпадает необходимость в дорогих, содержащих серебро слоях. Электрофотографические материалы, такие, например, как окись цинка, исключительно дешевы. Устраняется также необходимость в применении дорогостоящих химических реактивов.

Ограничивающим моментом является электризация светочувствительных слоев, без которой электрофотографический процесс немислим. Для этой цели необходим генератор высокого напряжения. Однако это препятствие уже сегодня может быть преодолено. Когда электрофотография войдет в быт, будут разработаны дешовые и портативные преобразователи напряжения, работающие непосредственно от электрической сети или от маломощной батареи.

В настоящее время электрофотография находит еще ограниченное применение, главным образом в промышленности и научно-исследовательских учреждениях.

Однако нет сомнения в том, что электрофотография вскоре найдет большое число поклонников, которые займут такое же место, как и фотолюбители.

Известно, сколь могучим фактором развития радиотехники оказалось в свое время радиолюбительство. Точно также и фотолюбители могут очень много сделать для скорейшего продвижения электрофотографии по пути совершенствования и прогресса.

Использование электрофотографии любителями до сего времени ограничивалось отсутствием необходимых материалов, а также отсутствием каких-либо пособий.

В 1959 г. Каунасская бумажная фабрика имени Ю. Янониса освоила производство электрофотографических бумаг.

Что же касается пособий по электрофотографии, то предлагаемая вниманию читателей книга является первым опытом в этой области. Она содержит непосредственные практические указания по методике осуществления электрофотографических процессов, рецептуру светочувствительных слоев и проявителей, сведения о технологических режимах.

Читателю в краткой и доступной форме излагаются также сведения, необходимые для понимания процессов, используемых в электрофотографии, рассказывается об истории изобретения этого процесса и о перспективах применения нового процесса в различных областях науки и техники.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

Фотографический процесс, разработанный в 30-х годах прошлого столетия трудами Нисефора Ньепса, Луи Дагера и Фокса Тальбота, не претерпел с тех пор сколько-нибудь принципиальных изменений. На смену дагеротипии пришел мокроколлодионный процесс, который, в свою очередь, уступил место сухим галогенидосеребряным светочувствительным слоям. Из года в год совершенствовалась фотографическая аппаратура. Во много десятков раз увеличилась светочувствительность фотографических материалов.

Все эти изменения не затронули сущности способа, которая состоит в химических изменениях, протекающих в фотографическом материале под действием света.

Электрофотографический процесс основан на использовании фотоэлектрического действия света.

Для того чтобы уяснить себе, в чем проявляется это действие света, напомним, что все тела по своим электрическим свойствам делятся на две категории — *проводники* и *диэлектрики*.

Проводники характеризуются возможностью свободного перемещения по объему тела электрически заряженных частиц (электронов или ионов), что обуславливает их сравнительно низкое удельное сопротивление прохождению электрического тока под воздействием электрического поля. Диэлектрики, наоборот, почти не имеют свободных электронов, ввиду чего перемещение электричества по всему объему тела под действием сил поля практически невозможно. Диэлектрики характеризуются большим удельным сопротивлением.

Деление тел на проводники и диэлектрики чисто условное, так как имеется еще большая группа тел, которые не могут быть причислены ни к хорошим проводникам, ни к

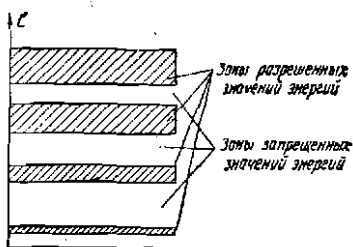


Рис. 1. Энергетический спектр электрона

диэлектрикам. Их называют полупроводниками.

В полупроводниках, также как и в диэлектриках, почти отсутствуют свободные электроны, но они могут в них появляться под воздействием внешних факторов: тепла, сильного электрического поля, радиоактивного излучения, давления или света. При этом удельное сопротивление

уменьшается во много раз и полупроводник становится способным проводить электрический ток.

Механизм появления свободных электронов в полупроводниках становится понятным, если вспомнить, что электроны двигаются вокруг ядра атома не хаотично, а по строго определенным орбитам, которые обычно называют разрешенными или дозволенными. Вращающиеся на разных орбитах электроны обладают различной энергией: те, которые ближе к ядру, — меньшей, а те, которые дальше, — большей. Энергия электронов может иметь лишь вполне определенные значения. Можно составить энергетический спектр электрона, схематично представляющий совокупность различных значений энергии, которыми может обладать электрон. Значения эти представлены здесь в виде заштрихованных полос (рис. 1), между которыми находятся промежутки. Промежутки эти условно обозначают так называемые запрещенные значения энергии, которые электрон принимать не может.

При отсутствии каких-либо внешних воздействий электроны твердого тела находятся в целиком заполненной зоне. В этом случае тело является идеальным диэлектриком. Однако, когда электроны попадают в незаполненную энергетическую зону, тело становится проводником, ибо в этой зоне электроны могут перемещаться от атома к атому под действием электрического поля. Для того чтобы перевести электрон из заполненной зоны в зону проводимости, необходимо сообщить ему некоторую дополнительную энергию. Только в этом случае электрон сможет преодолеть области запрещенных значений энергии. Дополнительную энергию сообщают телу, например, подвергая его тепловому воздействию или облучению.

В заполненной зоне после ухода оттуда электрона образуется незаполненное место, которое образно называют *дыркой*. Естественно, что электроны под влиянием электрического поля могут занимать дырки. Происходит своеобразное направленное перемещение электронов, последовательно заполняющих открывающиеся одна за другой дырки. Это движение может быть условно представлено в виде перемещения дырок в противоположном направлении. Дырки, таким образом, как бы являются носителями положительных зарядов.

Общий ток, возникающий под действием электрического поля и внешних факторов в полупроводнике, может быть представлен как сумма противоположно направленных перемещений положительно заряженных частиц — дырок в заполненной зоне и отрицательно заряженных электронов — в зоне проводимости. Если преобладает перемещение отрицательно заряженных частиц, говорят, что полупроводник имеет *отрицательную, или электронную, проводимость*. В противном случае говорят о *положительной, или дырочной, проводимости*. Оба типа проводимости используются в электрофотографии.

Как уже было сказано, полупроводник становится проводящим лишь под воздействием света или других внешних факторов. В основе электрофотографии лежит процесс возбуждения электронов каким-либо видом излучения. В простейшем случае это может быть освещение поверхности полупроводника, например, с помощью обычной электрической лампы.

Возбуждение под действием света электронов и их переход в свободную зону проводимости имеют своим следствием то, что полупроводник получает некоторую добавочную электропроводность, называемую *фотопроводимостью*. Далеко не все полупроводники реагируют на освещение. Те из них, которые обладают фотопроводимостью, называются *фотополупроводниками*. Сам же процесс освобождения электронов внутри тела под действием света носит название *внутреннего фотоэффекта*.

Представьте себе металлическую пластинку, покрытую слоем фотополупроводника. В темноте этот слой обладает превосходными изолирующими свойствами. Если сообщить ему некоторый электрический потенциал, или же, говоря по-просту, наэлектризовать его, заряды останутся на поверхности слоя.

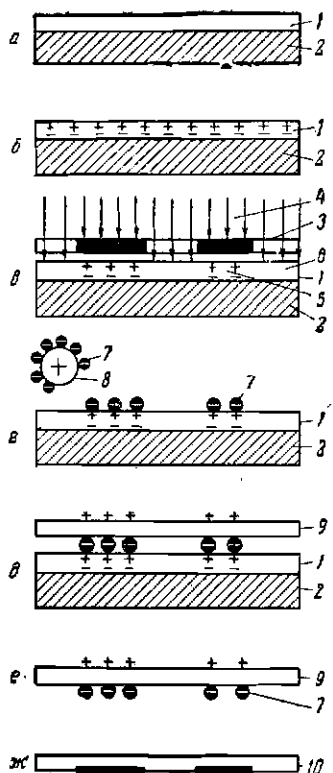


Рис. 2. Схема электрофотографического процесса:

а — электрофотографическая пластина, б — электризация фотослоя, в — экспонирование, г — проявление, д — перенос, е и ж — закрепление

конфигурации световых лучей, подействовавших на пластину. Изображение это можно проявить, сделать видимым.

Таковы основы электрофотографического процесса.

Теперь уже нетрудно наметить основные технологические стадии электрофотографии. Первая из них состоит в *электризации* полупроводникового слоя 1, нанесенного на проводящую подложку 2 (рис. 2, а и б). Операция эта проводится в темноте. Существует много различных методов

Теперь осветим пластину. Под воздействием света электроны переходят из заполненной зоны в зону проводимости. Образуются перемещающиеся электронно-дырочные пары. Положительные дырки или отрицательные электроны (в зависимости от того, какой тип проводимости имеет полупроводник), перемещаясь по направлению к проводящей подложке фотополупроводникового слоя, способствуют деполаризации (разрядке) слоя. Разность потенциалов, существовавшая между поверхностью слоя и металлической пластиной, снижается.

Так происходит, если освещена вся поверхность фотополупроводника. Но ее можно осветить избирательно — лишь на некоторых участках. В этом случае первоначальная (или приблизительно первоначальная) разность потенциалов сохранится на участках, которые оставались в тени. На слое образуется состоящее из электрических зарядов невидимое *скрытое электростатическое изображение*, конфигурация которого соответствует

электризации, которые подробно рассматриваются в последующих главах книги.

Следующей стадией электрофотографического процесса является *экспонирование* заряженного слоя. На рис. 2, в показан диапозитив 3, который помещен непосредственно на полупроводниковый слой.

Под воздействием световых лучей 4 в слое формируется скрытое электростатическое изображение. Оно состоит из участков 5, сохранивших поляризацию, и участков 6, потерявших ее. Первые находятся под темными, а вторые — под прозрачными участками диапозитива. Так происходит, если на слой проецируется штриховое изображение. При проецировании полутонного изображения величина оставшегося на отдельных участках потенциала пропорциональна плотности соответствующих участков позитива.

Третьей стадией электрофотографического процесса является *проявление* скрытого электростатического изображения (рис. 2, е). Эту операцию осуществляют, осаждая на слой мельчайшие частицы красителя 7, несущие заряд, противоположный по знаку заряду изображения. Частицы эти могут быть перенесены к слою на более крупных зернах 8.

Наконец последней стадией электрофотографического процесса является *закрепление*. Изображение, состоящее из частиц красителя, может быть закреплено непосредственно на фотополупроводниковом слое, но может быть перенесено и на какую-нибудь другую поверхность, например на бумажный лист 9 (рис. 2, д—е). Иногда необходимость в закреплении отпадает.

Проявленное и закрепленное изображение представляет собой готовый электрофотографический отпечаток 10, который можно рассматривать и использовать принципиально так же, как обычную фотографию.

Электрофотография прошла сложный и длительный путь становления и поисков. Современный процесс, сущность которого была изложена выше, был сформулирован далеко не сразу. Изобретателям нового способа пришлось претерпеть немало горьких неудач и разочарований, прежде чем они вышли на правильную дорогу. Многие, достаточно типичные ошибки и сегодня еще нередки в деятельности наших любителей, стремящихся усовершенствовать электрофотографический процесс. Чтобы помочь им устранить эти ошибки, авторы сочли целесообразным более или менее подробно ознакомить читателя с историей электрофотографии.

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ

В 1873 г. английский электротехник Уиллоуби Смит производил испытания подводного кабеля. Для какой-то цели ему понадобился материал, обладающий высоким электрическим сопротивлением. Был выбран селен, открытый в 1817 г. знаменитым шведским химиком Йёнсом Якобом Берцелиусом. Наблюдая за селеном, помощник Смита Мэй обнаружил, что при освещении селена электропроводность его возрастает.

Это явление впоследствии было названо фотопроводимостью.

Было найдено, что фотопроводимостью обладают многие вещества. Первые попытки практического применения этого явления были предприняты еще в конце прошлого столетия. Однако более или менее широкое внедрение фотополупроводников в народное хозяйство началось совсем недавно и происходит, можно сказать, на наших глазах.

На первых порах электрофотографии исследователи и изобретатели брали за основу не фотозлектрические, а электролитические процессы. В 1885 г. немецкий химик Гоппельсрёдер в труде «Об изготовлении красителей» описал процесс запечатывания бумаг, тканей и других материалов, сущность которого состояла в следующем: стопу материала помещали в электролите между двумя электродами. При подключении электродов к источнику тока электролит совокупно с материалом электродов давал некоторую окраску. Одному из электродов придавали конфигурацию изображения, которое необходимо воспроизвести. Способ Гоппельсрёдера впоследствии разрабатывали известный английский изобретатель Вильям Фриз-Грин, немецкий изобретатель Макс Бауман и другие.

Несколько в ином направлении велись исследовательские поиски профессором Новороссийского университета Пильчиковым (90-е годы прошлого столетия). Он заметил, что под действием света усиливается отложение меди на катоде гальванического элемента Даниеля. Это явление Пильчиков попытался применить для изготовления клише.

Использовать свойства фотополупроводников для воспроизведения изображений впервые предложил русский изобретатель Е. Е. Горин (1881—1951). 27 октября 1916 г. Горин подал заявку на изобретение под наименованием «Электрофотографический аппарат». Именно в этой заявке, по-видимому, и был впервые применен термин «электрофотография», которым мы ныне так широко пользуемся. Талантливому технику-самоучке Е. Е. Горину, по специальности фотографу, кроме электрофотографии принадлежит ряд других весьма интересных, но, к сожалению, должным образом не оцененных изобретений в области радиотехники, фототелеграфии, телевидения. Одним из первых Горин начал работать и в области родственной электрофотографии — магнитографии.

В аппарате Горина полупроводниковый слой использовался не для непосредственного воспроизведения изображений, а в качестве промежуточного элемента, изменяющего свое сопротивление под действием света. Полученные в результате этого импульсы воздействовали на бумагу, пропитанную составом, обладающим свойством изменять свою окраску пропорционально силе проходящего через него электрического тока.

Схема электрофотографического аппарата Е. Е. Горина изображена на рис. 3. По электрочувствительной бумаге 1, закрепленной на металлической пластине 2, подключенной к одному из полюсов источника электрического тока (батареи 3), скользят металлические щетки 4. Щетки изолированы одна от другой. Торцы 5 щеток, находящиеся в фокальной плоскости объектива 6, покрыты слоем селена, сернистой сурьмы или какого-либо другого фотопо-

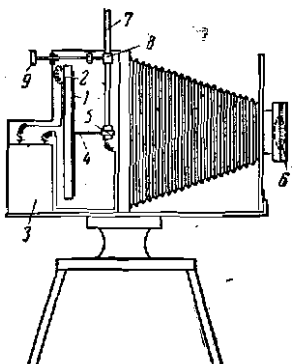


Рис. 3. Электрофотографический аппарат Е. Горина

лупроводника. Рамка со щетками постепенно перемещается в вертикальном направлении при помощи зубчатой рейки 7 и шестерни 8, управляемой маховичком 9. Так как электропроводность селена зависит от освещенности, то величина импульсов, поступающих на отдельные участки электрочувствительного материала 1, в каждый данный момент меняется. В результате на этих участках происходят различные химические изменения соответственно интенсивности тонов отдельных участков снимаемого объекта. Нам сейчас ясно, что электрофотографический аппарат Горина вряд ли мог быть осуществлен и, если бы и был осуществлен, конечно, не мог дать сколько-нибудь приемлемого качества. Горин исходил из возможностей и представлений своего времени. Тот факт, что он шел в ногу со временем, легко может быть доказан аналогичными предложениями зарубежных изобретателей. Упомянем, например, электрофотографический способ немецкого исследователя Отто фон Бронка. Способ этот, почти полностью аналогичный способу Горина, был запатентован Бронком на пять лет позднее — в июле 1921 г. Более того, известную уже нам щетку Горина с наисенным на ее торцах слоем фотополупроводника мы находим в предложении ленинградца А. Н. Заславского, запатентованном в 1955 г., а также в электрофотографическом способе швейцарца Жаана Берхтольда, первые сведения о котором были опубликованы в том же году.

Рациональное зерно, заложенное в способе Горина, состояло в его предложении применить фотополупроводники для воспроизведения изображений. Зерно это, будучи разыскано и возвращено следующим поколением изобретателей, работавших в различных странах мира, вскоре же дало богатейшие плоды. Путь к познанию истины не был прямым. Много труда было, например, потрачено на разработку различных электролитических и электрохимических методов. В 1924 г. аргентинец Андрес Стейнер из Буэнос-Айреса предложил применить для закрепления образованного на фотополупроводнике изображения методы электролитического осаднения металлов. Аналогичные способы были запатентованы в 1929 г. советским изобретателем А. Я. Лучанским и в 1934 г. — австрийцем Гольдманом. Сущность этих способов иллюстрирует рис. 4. На стеклянной пластине 1 распылен чрезвычайно тонкий прозрачный проводящий слой 2, на который нанесен слой полупроводника 3. Про-

водящий слой подключен к одному из полюсов источника 4. К другому полюсу подсоединен электрод 5, помещенный на изолирующей пластине 6. Оба электрода образуют замкнутое пространство, в которое залит электролит 7. Когда составленный указанным образом комплект находится в темноте, ток в цепи отсутствует. Но если осветить слой фотополупроводника через негатив, катионы электролита начнут осаждаться на освещенных участках.

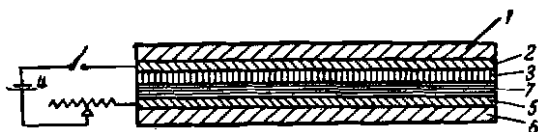


Рис. 4. Электролитическая электрофотография

В 1928 г. известной голландской электротехнической фирмой «Филипс» были начаты работы, сущность которых состояла в проецировании изображения на некоторую поверхность, под действием света испускающую электроны, которые воздействовали на светочувствительный материал. Таким образом здесь использовалось явление фотоэлектронной эмиссии, открытое в 1887—1888 гг. немецкими физиками Г. Герцем и В. Гальваксом, объясненное и изученное в 1888—1889 гг. знаменитым русским физиком А. Г. Столетовым.

Это явление носит название внешнего фотоэффекта.

Если электрохимические способы репродуцирования дали нам фотополупроводник, как один из элементов современной электрофотографии, то в способах с использованием внешнего фотоэффекта был найден и разработан другой ее элемент — проявление скрытого электростатического изображения напыливанием мелкокораздробленного красителя.

В 1928 г. профессор Будапештского университета Пол Шеленьи предложил проявлять полученный на листе диэлектрика с помощью электронно-лучевой развертки потенциальный рельеф, опыливая его порошком красителя. Аналогичный способ в 1938 г. был применен советскими изобретателями А. Л. Лубны-Герцником и Б. М. Коноплевым для передачи телевизионного изображения на большой экран.

В 1937 г. вопросами электрофотографии заинтересовался американский физик и ходатай по патентным делам Честер Френсис Карлсон. В первых его заявках описывалась установка для электронного фотографирования с использованием внешнего фотоэффекта. Фоторепродукционный аппарат проецировал изображение оригинала на полупрозрачный электрод, испускающий под действием света электроны. Близко к нему был помещен второй электрод, подключенный к противоположному полюсу источника тока. Через узкий промежуток между электродами Карлсон пропускал ленту, которая была изготовлена из материала, обладающего хорошими изолирующими свойствами. В процессе эксонирования на ленте формировалось скрытое электростатическое изображение, которое Карлсон проявлял мелко-раздробленным красителем.

Процесс, принципы которого были сформулированы еще в предложении Шеленби, Карлсон сделал полиграфическим, применив его для множественного получения оригиналов. Порошковое изображение в его установке переносилось с ленты на обычное бумажное полотно, которое впоследствии могло быть разрезано на отдельные оттиски.

Однако американский физик пошел еще дальше. Он объединил принцип формирования изображения на поверхность фотополупроводника, предложенный Е. Гориным, с принципом проявления скрытого электростатического изображения напыливанием красителя, предложенным П. Шеленби. В результате этого объединения и родилась современная электрофотография.

Это изобретение описано в американском патенте № 2297691 Честера Карлсона, заявленном 4 апреля 1939 г. и выданном 6 октября 1942 г. Экспериментально новый способ Карлсон проверил несколько ранее. Первый электрофотографический оттиск он получил 22 октября 1938 г.

Мы воспроизводим здесь чертеж (рис. 5), приложенный к патенту № 2297691, который с полным основанием можно назвать классическим. Здесь мы встречаемся со всеми стадиями электрофотографического процесса, которые были рассмотрены нами в главе первой. На *фиг. 1* изображен простейший метод электризации электрофотографической пластины 20, представляющей собой металлическую подложку 22, на которую нанесен слой фотополупроводника 21. Слой электризуется трением при помощи суконки или кусочка меха 23. На *фиг. 2, 2а и 2в* изображены различные

Oct. 6, 1942.

C.F. CARLSON
ELECTROPHOTOGRAPHY
Filed April 4, 1939

2,297,691

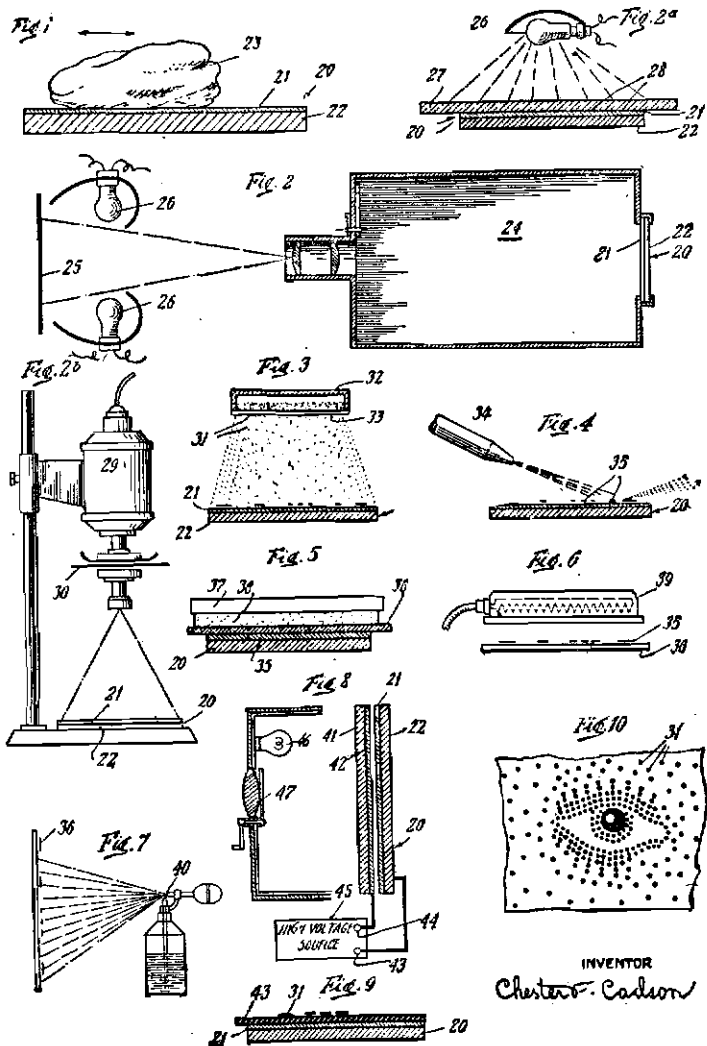


Рис. 5. Электрофотографический процесс Ч. Карлсона. Чертеж, приложенный к патенту

Методы экспонирования пластины — контактным способом через позитив 27 в лучах электрической лампы 26, с помощью репродукционного фотоаппарата 24, фотографирующего некоторый оригинал 25 в отраженном свете, и, наконец, с помощью фотоувеличителя 29, в который заправлена позитивная пленка 30. Скрытое электростатическое изображение, сформированное на слое фотополупроводника в процессе экспонирования, как это видно из *фиг. 3*, проявляется опыливанием его мелкораздробленным красителем 31, насыпанным в коробочку 32 с сетчатым дном 33. На *фиг. 4* изображен процесс удаления излишка проявляющего порошка с электрофотографической пластины действием сильной струи воздуха, направляемой на пластину форсункой 34. На *фиг. 5* изображен процесс переноса порошкового изображения с электрофотографической пластины 20 на бумажный лист 36, который прижимают к поверхности пластины при помощи колодки 37 с фетровой подушкой 38. Перенесенное на бумагу порошковое изображение закрепляют нагреванием посредством термоэлемента 39, как это показано на *фиг. 6*, или путем обрызгивания листа закрепляющим лаком из пульверизатора 40, как это показано на *фиг. 7*. На *фиг. 8* изображен способ электризации электрофотографических пластин, в основу которого положено явление внутренней поляризации фотополупроводникового слоя, находящегося под некоторым напряжением при освещении. Способ этот подробно рассматривается нами ниже. *Фиг. 9* иллюстрирует метод проявления скрытого электростатического изображения не непосредственно на фотополупроводниковом слое 21, а на тонком листе диэлектрика 48, наложенном поверх слоя. И, наконец, *фиг. 10* показывает в увеличении структуру полученной электрофотографическим путем репродукции полутонного изображения.

В патентном описании Карлсона были подробно изложены возможные практические приложения электрофотографии.

В первую очередь изобретатель рекомендовал применить способ в полиграфическом производстве для изготовления печатных форм. Карлсон отметил, что электрофотографический процесс в принципе может быть использован для репродуцирования многокрасочных изображений. Отмечалась также возможность применения способа в рентгенотехнике.

В широкой печати изобретение Карлсона было описано впервые в июле 1944 г. Разработкой промышленной технологии электрофотографии в 1945—1948 гг. занялся Институт имени Баттеля («Баттель Мемориал Институт») в гор. Колумбусе, штат Огайо, США. Здесь новый репродукционный процесс окрестили *ксерографией*. И по сей день это наименование чаще всего встречается в зарубежной печати, когда речь идет об электрофотографии. «Ксерос» по гречески означает сухой, «графо» — пишу, рисую. Термином этим пытались передать известное свойство электрофотографического процесса, которое в те годы казалось основным его преимуществом. Речь шла о том, что в электрофотографии, в отличие от обычной фотографии, все процессы являются сухими. В наши дни термин ксерография стал анахронизмом, ибо в отдельных случаях признано целесообразным проявлять электрофотографические изображения мокрым путем.

Были разработаны рецептура светочувствительных полупроводниковых слоев, широко применяемый до настоящего времени каскадный метод проявления, выявлена оптимальная технология процесса, разработана конструкция первой, весьма несложной и несовершенной копировальной электрофотографической установки. Одновременно с разработкой промышленной технологии электрофотографии были предприняты первые попытки теоретического обоснования процесса.

Первые опыты применения электрофотографии в промышленности связаны с полиграфией. Особенно многообещающие перспективы открылись перед электрофотографическими методами изготовления форм плоской печати на металлических и бумажных подложках с последующим использованием таких форм на офсетных печатных машинах.

В те же годы было установлено, что подложка для слоя фотополупроводника, на котором формируется скрытое электростатическое изображение, совсем не обязательно должна иметь высокую электропроводность. Эта простая истина позволила применить в качестве подложки бумагу. В качестве полупроводника оказалось возможным использовать дешевую и доступную окись цинка. В свое время советские исследователи академик А. Н. Теренин и Е. К. Пуцейко установили возможность оптической сенсibilизации окиси цинка органическими красителями. Аmericанцы Ч. Юнг и Х. Грейг применили тот же метод для изго-

товления сенсibilизированных электрофотографических бумаг. В результате был создан практический электрофотографический процесс, известный в зарубежной печати под наименованием «электрофакс». Первые сведения о нем были опубликованы в декабре 1954 г.

В последующие годы электрофотография начинает применяться в фотографии, рентгенодефектоскопии, измерительной технике, медицинской рентгенографии, картографии и других отраслях науки и техники. Появляются и первые портативные любительские электрофотографические установки.

В нашей стране систематические работы в области электрофотографии были начаты в 1949 г. в Научно-исследовательском кинофотоинституте и продолжены в 1955 г. в Научно-исследовательском институте полиграфического машиностроения в Москве и Педагогическом институте в Вильнюсе.

В 1956 г. был организован Вильнюсский филиал Научно-исследовательского института полиграфического машиностроения, который теперь преобразован в Научно-исследовательский институт электрографии.

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ

Не все фотополупроводники пригодны для электрофотографии. Окись меди или серый гексагональный селен не сохраняют поляризацию в темноте и поэтому не годятся для этой цели.

Определяющим моментом при решении вопроса о возможности использования в электрофотографии того или иного полупроводника является величина *удельного темного сопротивления*.

Величина эта характеризует способность фотослоя удерживать некоторый определенный электрический потенциал в темноте.

В электрофотографии используются фотополупроводники с удельным темновым сопротивлением порядка 10^{13} ом. см. При освещении слоя его удельное сопротивление должно снижаться до величин 10^{10} — 10^{12} ом. см.

Весьма важным фактором является также *фотоэлектрическая чувствительность* фотополупроводникового слоя, которая характеризует способность слоя уменьшать свое удельное сопротивление при освещении большим или меньшим количеством света.

Еще не выработана единая методика определения чувствительности электрофотографических слоев. Различные авторы придерживаются по этому вопросу различных взглядов. Широко распространено определение светочувствительности по величине экспозиции, необходимой для падения первоначально сообщенного слою потенциала на 50%. Иногда в основу критерия чувствительности кладут, как и в обычной фотографии, некоторую минимальную экспозицию, необходимую для получения определенной плотности проявленного изображения. В литературе нередко встречается оценка светочувствительности тех или иных фотопо-

лупроводниковых слоев в единицах общифотографических сенсиметрических систем (ГОСТ, ASA¹ и др.).

В 1959 г. Комиссия по научной фотографии и кинематографии Академии наук СССР приняла временные рекомендации по унификации методики испытания электрофотографических материалов. Рекомендации содержат и определенные указания относительно определения чувствительности электрофотографических слоев.

Светочувствительность серных и антраценовых электрофотографических слоев очень невысока. По приближительной оценке она составляет для первых — 0,002 и для вторых — 0,008 единиц по шкале ASA.

Вместе с тем слои эти имеют достаточно высокое удельное темновое сопротивление, так что с этой стороны каких-либо препятствий к использованию их в электрофотографии не встречается. Серые и антраценовые светочувствительные слои в промышленности не использовались. Следует отметить, что на поликристаллической сере при условии применения мощных источников освещения и больших экспозиций могут быть получены электрофотографии удовлетворительного качества. Опыты показали, что удовлетворительные электрофотографии получаются при освещенности около 2 000 лк, создаваемой на поверхности слоя фотолампой в 500 вт; время экспозиции в этом случае составляло 60 сек².

Наибольшее распространение в современной электрофотографии получили светочувствительные слои на основе селена, применяемого как в чистом виде, так и с различными добавками.

Селеновые электрофотографические слои. Селен — сравнительно редко встречающийся элемент шестой группы периодической системы Менделеева. Его содержание в земной коре составляет около $7 \cdot 10^{-6}$ %. Селен плавится при температуре 220° С и возгоняется при 688° С. Его удельный вес в твердом состоянии 4,8.

Известно несколько аллотропных модификаций³ селена,

¹ ASA — американский стандарт сенситометрин светочувствительных материалов (1947 г.).

² Опыты были поставлены В. М. Фридкиным в Научно-исследовательском институте полиграфического машиностроения в 1956 г.

³ Аллотропные модификации — видоизменения одного и того же химического элемента, существующего в виде нескольких простых веществ.

изученных еще совершенно недостаточно. При осаждении паров селена в вакууме на охлажденную до температуры — 195° С пластину при застывании слоя образуется так называемая первая аморфная модификация селена¹. Если температура пластины равна 15—20° С, возникает вторая аморфная модификация — красный стекловидный селен. При 40° С появляется третья аморфная модификация — черный стекловидный селен. При дальнейшем повышении температуры пластины осаждающиеся на ней пары селена образуют кристаллические модификации селена, которых известно три — красные моноклинные модификации α и β и серый гексагональный селен.

Имеющиеся в продаже сорта селена обычно представляют собой смесь различных модификаций.

Для изготовления электрофотографических слоев преимущественно используют красный и черный стекловидный селен. Кристаллические модификации имеют низкое темновое сопротивление и в электрофотографии не применяются.

Селен, в том виде, в каком он выпускается нашей промышленностью, нередко содержит разнообразные посторонние примеси — такие, как медь, железо, свинец, висмут. Наличие примесей объясняется тем, что источниками промышленного изготовления селена служат обычно отходы различных химических производств — пыль из каналов и промывных башен установок башенного метода получения серной кислоты, отходы при переработке цинковых руд и т.д. В некоторых случаях примеси значительно снижают величину удельного темнового сопротивления селена. Очистить селен от примесей можно с помощью сравнительно несложных и общизвестных методов перегонки в вакууме. В качестве сырья при этом рекомендуется использовать так называемый «селен для выпрямителей», число примесей в котором не превышает 0,008%.

Подложки. При изготовлении селеновых электрофотографических пластин слой фотополупроводника наносят на некоторую подложку. В качестве подложек используются различные материалы. При выборе материала определяю-

¹ Аморфное состояние характеризуется тем, что находящиеся в нем твердые тела в противоположность кристаллам обладают одинаковыми физическими свойствами (например, электропроводностью или теплопроводностью) во всем направлении.

щее значение приобретает величина удельного сопротивления. Удельное сопротивление подложки должно быть меньше или равно удельному сопротивлению фотослоя на свету. Для селена эта величина составляет около 10^{10} ом. см. Материалы, обладающие таким удельным сопротивлением, по сути дела могут быть признаны диэлектриками. Наилучшие результаты были получены с подложками, имеющими удельное сопротивление менее 10^8 ом. см.

Материал подложки не должен химически взаимодействовать с фотополупроводником ни при комнатной, ни при повышенной температуре.

В качестве подложек для электрофотографических пластин пригоден листовой алюминий марки АМЦАП, толщиной 1—1,5 мм. Хорошие результаты дает алюминиевая пластина, покрытая тонкой (порядка 20—30 мкм) пленкой окиси алюминия. Применяются также цинковые, стальные, латунные, пластмассовые подложки.

Установлены некоторые преимущества подложек из нержавеющей стали. Селеновый слой, нанесенный на стальную пластину толщиной 0,5 или 1 мм, способен удерживать в темноте на своей поверхности более высокий отрицательный потенциал нежели аналогичный слой, нанесенный на латунную или алюминиевую подложку такой же толщины. Обстоятельство это делает возможным более четкое и контрастное проявление. При электризации слоя положительным потенциалом наблюдается противоположное — максимальный потенциал удерживает латунная пластина, минимальный — стальная.

Большое значение имеет чистота поверхности подложки, на которую наносят фотополупроводниковый слой. Грубо обработанные подложки способствуют тому, что слой удерживает значительно более низкий потенциал. При переходе от 9-го к 7-му классу чистоты обработки подложки наблюдается резкий спад предельного потенциала¹.

Трещины, царапины, вмятины и другие дефекты, имеющиеся на подложке, отрицательно отражаются на качестве изображения, так как тонкий фотополупроводниковый слой, нанесенный на подложку, как правило, повторяет структуру ее поверхности.

¹ Предельный, или начальный, потенциал — условная величина, представляющая собой потенциал электрофотографического слоя относительно земли через определенный промежуток времени после окончания электризации слоя.

Перед нанесением слоя поверхность подложки шлифуют, а затем полируют. Последнюю операцию осуществляют с помощью мела или различных полировочных паст, например пасты ГОИ. Чистота поверхности после полировки должна иметь 9-й класс и выше. С отполированной поверхности необходимо удалить пыль и жировые пятна. Для этого поверхность обрабатывают ацетоном, бензином или спиртом.

Нанесение полупроводникового слоя на подложку. Процесс нанесения селенового полупроводникового слоя на металлическую подложку достаточно трудоемок и сложен. Однако селеновые электрофотографические покрытия имеют более высокую чувствительность, чем, например, доступные и дешевые слои с окисью цинка. Если имеется возможность приобрести селен, следует работать именно с селеновыми слоями.

Имея дело с селеном, нужно помнить, что элемент этот и все его соединения ядовиты. Вдыхание паров селена и его газообразных производных в самых незначительных концентрациях вызывает головную боль и тошноту. Некоторые соединения селена, попадая на кожу, вызывают экзему. Поэтому работать с ним следует в резиновых перчатках.

В электрофотографической практике применяются четыре основных способа нанесения селеновых покрытий на подложки: метод диспергирования¹ в связующем веществе, метод распыления, метод прессования и метод термического напыления в вакууме.

Простейшая методика нанесения селеновых покрытий состоит в следующем. Чистый аморфный селен тщательно измельчают, после чего смешивают с растворителем и связующим материалом. Смесь наносят на подложку и подвергают сушке.

В качестве связующего применяют материал, обладающий удельным электрическим сопротивлением порядка 10^{10} — 10^{19} ом. см. Во всех случаях удельное сопротивление связующего должно быть выше удельного темнового сопротивления фотополупроводника и, конечно, значительно выше удельного сопротивления материала подложки. Если

¹ Д и с п е р г и р о в а н и е — распределение тонко измельченных частиц в жидкой (суспензия) и газообразной (аэрозоль) среде.

применять в качестве связующего материал с сопротивлением ниже 10^{10} ом. см — светочувствительный слой не сможет удержать потенциал в темноте.

Количество связующего вещества должно быть строго определенным. Если его больше, чем нужно, селеновые частицы в светочувствительном слое далеко отстоят друг от друга. Контрастность изображения падает. Изображение получается крупнозернистым. Общее удельное сопротивление такого слоя возрастает. Диэлектрические участки удерживают электрические заряды. В результате этого светлые участки изображения не получаются чистыми, а несут более или менее заметный фон.

При малом количестве связующего вещества светочувствительный слой плохо пристает к подложке, в результате чего электрофотографическое покрытие не обладает достаточной механической прочностью.

Неплохие результаты были получены при работе со светочувствительным слоем, в котором на 1 объемную часть аморфного селена приходилось 1—2 части связующего материала.

В качестве связующего вещества применяются различные естественные и синтетические смолы — акриловые и поливиниловые смолы, полистиролы, силиконы. Используется для этой цели также и хлорированный натуральный каучук и некоторые другие материалы, имеющие соответствующее удельное сопротивление и обеспечивающие хорошее прилипание слоя к подложке.

Метод распыления заключается в нанесении на подогретую подложку капель расплавленного селена, взвешанных в воздухе. Для этого применяют специальные распылители (рис. 6). Селен помещают в конический резервуар 1, расположенный в камере 2, стенки которой нагревают газовыми горелками или электронагревателями. Селен, как уже мы говорили, плавится при 220°C . Температуру расплавленного селена в резервуаре поддерживают на уровне 250 — 350°C .

Через трубопровод 3 расплавленный селен подается в камеру распыления 4. Сюда же по трубке 5 из баллона 6 поступает сжатый газ (например, азот, аргон или гелий). Газ предварительно проходит через нагреватель 7, где его температура доводится до 225 — 350°C . Давление газа поддерживается на уровне 4—5 атм. Подложка 8, на которую наносится слой, устлавливается на подогреваемую подставку 9, температура которой поддерживается на уровне

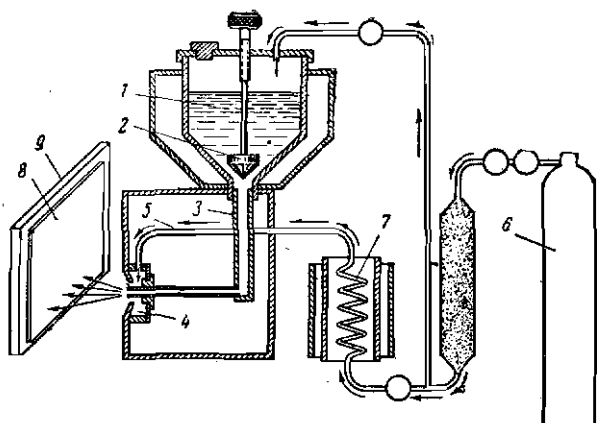


Рис. 6. Устройство для изготовления электрофотографических пластин методом распыления

190° С. При более низких температурах происходит образование кристаллического гексагонального селена, который, как известно, для электрофотографических целей непригоден. При более высоких температурах селеновые частицы легко испаряются, что приводит к большим затратам полупроводникового материала.

Нанесенный на пластину слой необходимо хорошо отполировать.

При нанесении покрытий по методу прессования расплавленный селен наливают на подложку и припрессовывают к ее поверхности, пропуская пластину между двух валков. Метод этот применяется редко.

Наилучшее качество селеновых покрытий может быть достигнуто путем термического напыления селена в вакууме.

Метод термического напыления в вакууме положен в основу промышленного изготовления электрофотографических пластин.

Вакуумное напыление широко применяется в технике для получения тонких металлических или диэлектрических покрытий. При использовании метода в электрофотографии он не претерпел сколько-нибудь принципиальных или значительных изменений.

Для создания вакуума проще всего использовать стеклянный колпак, который применяется в школе при демонстрации различных опытов на уроках физики. При изготов-

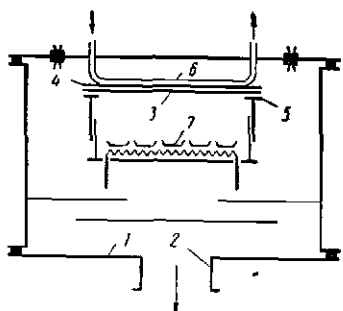


Рис. 7. Вакуумная камера для изготовления электрофотографических пластин

лении электрофотографических пластин большого формата используют специальные вакуумные камеры. Схема такой камеры, разработанной Научно-исследовательским институтом электрографии, изображена на рис. 7. Камера представляет собой цилиндрический герметически замкнутый сосуд 1, снабженный патрубком 2 для подсоединения к насосу. Чтобы ускорить создание вакуума, предваритель-

ная откачка воздуха может производиться одним или двумя форвакуумными насосами (например, марки «ЦВЛ-100»). Пластина 3 закрепляется в камере на держателе 4.

Равномерность отложения слоя может быть значительно повышена, если во время испарения селена медленно вращать пластину вокруг вертикальной оси.

Шаблон 5, прижимающий пластину 3 к держателю 4, ограничивает поверхность пластины, которая должна быть покрыта селеновым слоем. К держателю припаян змеевик 6, в котором непрерывно циркулирует подогретая вода. С помощью змеевика поддерживается необходимая температура пластины (при неподвижной пластине — 50—70° С).

Некоторые авторы рекомендуют проводить конденсацию паров селена на подложке первоначально при температуре последней 60—75° С, после чего температура повышается до 75—90° С.

Измельченный порошок селена помещают в небольших тиглях 7, подогреваемых с помощью нихромового спирального нагревателя.

Материал, из которого изготовлены тигли, не должен химически взаимодействовать с селеном. На практике применяют фарфоровые и молибденовые тигли.

Испарение селена начинается уже при температуре 240—250° С. Оптимальное расстояние между поверхностью испарения и пластиной составляет 100—150 мм.

Пары селена, осаждаясь на подложке, образуют плотный и достаточно равномерный стекловидный слой, хорошо сцепленный с пластиной. Цвет его зависит от температуры

подложки в процессе испарения, а также, в меньшей степени, от толщины слоя. При температуре пластины до 35°C слой приобретает зеленоватый оттенок, выше 35°C — темно-красный.

Оптимальная скорость испарения составляет 1—2 мк в минуту. При указанной скорости слой, обладающий необходимыми фотоэлектрическими свойствами, может быть получен лишь в том случае, если испарение ведется при достаточно высоком разрежении (10^{-4} — 10^{-5} мм ртутного столба).

Относительно оптимальной толщины слоя фотополупроводника высказывались различные мнения. Электрофотографические пластины промышленного изготовления имеют толщину слоя порядка 10—50 мк. При работе с рентгеновыми лучами толщину слоя увеличивают до 50—100 мк.

С увеличением толщины слоя увеличивается и предельный потенциал, который можно сообщить этому слою.

Рост этот (рис. 8) вначале значителен, а при толщинах свыше 100 мк — почти незаметен.

Рост потенциала вызывает увеличение контрастности изображения. Отмечается, что хорошее полутонное изображение удастся получить на фотополупроводниковых слоях, толщина которых находится в пределах 10—20 мк. С увеличением толщины слоя наблюдается заметное снижение интегральной чувствительности. Для репродуцирования штриховых изображений оптимальной считают толщину слоя 8—12 мк¹.

В электрофотографии могут применяться и значительно более тонкие фотополупроводниковые слои — в пределах от 0,2 до 2,5 мк. Все, что было сказано относительно уменьшения величины предельного потенциала с уменьшением толщины слоя, сохраняет свою силу и для этого случая. Тем не менее на тонких селеновых слоях, нанесенных на

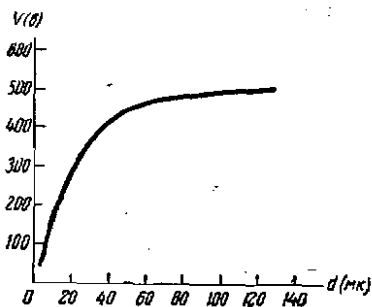


Рис. 8. Зависимость между величиной предельного потенциала и толщиной фотополупроводникового слоя

¹ По наблюдениям С. Г. Гренишина.

стеклянную подложку, покрытую чрезвычайно тонкой пленкой окиси кадмия (порядка 0,05 мк), удавалось получить качественные изображения. Преимущество тонких слоев состоит в том, что при работе с ними на репродуцированных изображениях почти не сказываются дефекты слоя. Селеновые покрытия толщиной от 0,2 до 2,5 мк прозрачны. Слой толщиной 0,2 мк слабо окрашен в желтый цвет. С дальнейшим увеличением толщины интенсивность окраски увеличивается и при 2,5 мк приобретает рубиново-красный цвет. Электрофотографические изображения, полученные на тонких селеновых слоях на стеклянных подложках, могут использоваться в качестве диапозитивов.

Светочувствительность селеновых слоев. Наивысшая общая светочувствительность электрофотографических пластин с селеновыми слоями, полученная к настоящему времени, оценивается величиной порядка 15—16 единиц по системе ГОСТ 2817—50 (около 20 ед. по шкале ASA). Промышленно изготавливаемые селеновые пластины имеют светочувствительность порядка 1—2 единиц ГОСТа. По сравнению с обычно применяемыми фотолюбителями галогенидосеребряными слоями светочувствительность эта очень мала. Однако для специальных целей, которые ставятся перед электрофотографией (в частности, для репродуцирования), она вполне достаточна.

Общая светочувствительность фотополупроводникового слоя может быть повышена путем сдвига максимума спектральной чувствительности в сторону длинноволновой части спектра.

Электрофотографические селеновые слои, как и обычные галогенидосеребряные несенсибилизированные слои, чувствительны далеко не ко всем областям спектра. Максимум спектральной чувствительности лежит в сине-фиолетовой зоне спектра в пределах 360—450 мкм. К лучам с длиной волны свыше 500 мкм чувствительность селеновых слоев значительно снижается. Селеновые слои чувствительны и к рентгеновым лучам, что объясняет их применение в рентгенографии.

Наиболее простым способом, позволяющим сдвинуть максимум спектральной чувствительности селена и повысить его чувствительность к оранжево-красным лучам, является термическая обработка. Она состоит в выдерживании элект-

рофотографической пластины в термостате в течение нескольких часов при температуре 50—60° С.

Некоторый сдвиг максимума спектральной чувствительности селенового фотослоя вправо происходит и при увеличении толщины слоя.

На общую и спектральную светочувствительность селена большое влияние оказывает температура подложки в процессе отложения слоя. Оптимальная температура подложки — примерно 50° С. Светочувствительность слоя в этом случае превышает светочувствительность слоя, нанесенного на подложку при комнатной температуре, в два-три раза. При повышении температуры свыше 50° С наблюдается небольшое повышение общей светочувствительности и сдвиг вправо максимума спектральной чувствительности. Однако одновременно падает удельное темновое сопротивление слоя. Объясняется это тем, что пары селена, осаждаясь на пластину, кристаллизуются, и в слое аморфного стекловидного селена образуются вкрапления кристаллического гексагонального селена.

Многокомпонентные электрофотографические слои. В поисках более чувствительных электрофотографических материалов, имеющих панхроматическую чувствительность, исследователи прежде всего обратились к различным комбинациям селена с некоторыми другими элементами. Так была предложена электрофотографическая пластина с двухслойным светочувствительным покрытием. Нижний слой, имеющий толщину около 15 мк и непосредственно прилегающий к проводящей подложке, формировался из стеклообразного аморфного селена. Верхний слой, толщина которого составляла около 5 мк, состоял из смеси теллура и селена. Теллур — значительно более редкий элемент, чем селен. В периодической системе элементов оба эти элемента находятся в шестой группе и в одной подгруппе. Теллур плавится при температуре 452° С и кипит при 1390° С. Его удельный вес в твердом состоянии 6,2.

Теллур вводят в электрофотографические слои в количестве 3—4%. Прибавка теллура вызывает увеличение предельного потенциала, увеличение чувствительности слоя (при электризации положительной полярности) и сравнительно небольшое увеличение темнового сопротивления слоя. Прибавка теллура позволяет также несколько сдвинуть

нуть максимум спектральной чувствительности слоя в сторону длинноволновой части спектра.

Для нанесения двухслойных покрытий используется уже известная нам методика испарения полупроводника в вакууме.

Для формирования светочувствительных слоев была использована также смесь аморфного и кристаллического селена, что, по некоторым сведениям, позволило несколько увеличить общую светочувствительность слоя.

Среди других двухкомпонентных фотослоев упомянем селено-мышьяковистые. Мышьяк — весьма ядовитый элемент пятой группы периодической системы. В обычном состоянии он представляет собой порошок стального серого цвета. Добавка мышьяка в количестве 5—10% (по весу) расширяет область спектральной чувствительности слоя, сдвигая максимум в сторону красной части спектра. При этом увеличивается и общая светочувствительность слоя. Наличие мышьяка в селеновом покрытии заметно препятствует кристаллизации селена, что также является положительным фактором.

Для изготовления электрофотографических пластин кроме селена в чистом виде и в смеси с другими элементами применялись и некоторые другие материалы. Исследовались материалы фосфорного типа (сернистый кадмий и др.): 8—10 г фосфора диспергировались в 1—3 мл 50%-ного раствора силиконовой смолы. В отдельных случаях чувствительность слоев, изготовленных указанным образом, составляла до 10 единиц ГОСТа.

В. М. Фридкиным было описано применение в качестве электрофотографических светочувствительных слоев фотополупроводников, склонных к люминесценции. Хорошие результаты были получены с люминофорами $[\text{CdS}, \text{ZnS}]\text{Cu}$ и $[\text{CdS}, \text{ZnS}]\text{Ag}$. Фон изображения, полученного на этих слоях, при освещении ультрафиолетовыми лучами, люминесцировал.

Среди других полупроводников, которые могут быть использованы в электрофотографии, следует упомянуть и селенистый кадмий.

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ БУМАГИ

В электрофотографии нет столь резкой границы между электрофотографическими пластинами и бумагами, как это имеет место в фотографии на галогенидосеребряных слоях. И на электрофотографических пластинах и на бумагах изображение сразу же получается позитивным. Вместе с тем, если говорить о практическом использовании пластин и бумаг, то здесь могут быть усмотрены несомненные параллели с обычными фотографическими процессами. Электрофотографическая пластина, несущая порошковое изображение, так же как и галогенидосеребряная пластина с негативным изображением оригинала из частиц восстановленного серебра служат лишь промежуточным этапом на пути к получению окончательного отпечатка. Конечно, в отличие от обычной фотографии, ничто не мешает нам сформировать этот окончательный отпечаток непосредственно на самой электрофотографической пластине. Однако делать это нецелесообразно. Пластина дорога, и ее можно использовать повторно. Хранить пластины с воспроизведенными на них изображениями неудобно, ибо пластины жестки и не могут быть свернуты или сложены. Известно также, что светочувствительные селеновые слои имеют интенсивный темно-вишневый цвет и темное порошковое изображение на их поверхности рассматривать трудно. В довершение к этому пластина сравнительно тяжела. Поэтому окончательно изображение переносят тем или иным путем с электрофотографической пластины на бумажный лист или ткань. Электрофотографические бумаги, как и обычные фотографические, служат для формирования и хранения окончательного отпечатка. Однако в отличие от обычной фотографии, где позитивное изображение получается копированием негатива с фотопластинки, электрофотографиче-

ские пластины в процессе формирования изображения на бумаге не участвуют. Само же формирование осуществляется в принципе так же, как и на электрофотографических пластинах.

Подложки. При изготовлении электрофотографических бумаг в качестве подложек могут использоваться различные материалы — бумага, ткань, всевозможные синтетические пленки. При выборе материала необходимо принять во внимание условия будущего использования отпечатка. Подложка должна быть тонкой, легкой, пластичной и вместе с тем достаточно прочной. Она должна хорошо воспринимать и удерживать светочувствительный слой. Особенности использования отпечатка полагают дополнительные требования относительно влагостойкости или жароустойчивости материала, отсутствия ломкости и т. д.

В качестве подложек для электрофотографических бумаг могут применяться различные сорта бумаги.

Материал подложки должен обладать удельным электрическим сопротивлением, величина которого равна или ниже удельного сопротивления полупроводникового слоя на свету. В принципе для подложек могут быть использованы и диэлектрические пленки, однако их применение осложняет процессы электризации слоя и формирования скрытого изображения.

Степень проводимости бумаги в значительной степени зависит от количества влаги в ней. Последнее, в свою очередь, является функцией относительной влажности воздуха. Установлено, что хорошие электрофотографические отпечатки могут быть получены при содержании влаги в бумаге в количестве 5—6%. При малой влажности воздуха бумагу перед использованием необходимо слегка увлажнить.

Светочувствительные слои. Светочувствительным слоем в электрофотографических бумагах служит фотополупроводник, частицы 1 (рис. 9) которого диспергированы в слое 2 некоторого диэлектрического связующего материала. Средний диаметр частиц составляет 0,25—0,35 мк. Слой нанесен на бумажную или какую-либо другую подложку 3.

В качестве фотополупроводника чаще всего используется окись цинка ZnO — основной материал современной элек-

трофотографии. Известно несколько модификаций этого материала и среди них широко применяемые в быту и промышленности цинковые белила. Для изготовления электрофотографических бумаг можно использовать различные имеющие-



Рис. 9. Электрофотографическая бумага

ся в продаже сорта цинковых белил. Хорошие результаты были получены со слоями на основе выпускаемой промышленностью цинковой эмали 2013 с окисью цинка марки М-1.

Окись цинка превосходно удовлетворяет сложные и разнообразные требования электрофотографии. Материал этот дешев, распространен и не токсичен. Белый цвет светочувствительных слоев на основе окиси цинка создает идеальные условия для рассматривания электрофотографического порошкового изображения. Цинковые белила обладают превосходными кроющими свойствами, поэтому цвет подложки в этом случае можно не принимать во внимание. На покрытой белилами поверхности бумаги можно делать отметки карандашом или чернилами, которые хорошо ложатся на слой.

Спектральная чувствительность окиси цинка находится в пределах длин волн от 300 до 450 мкм. Максимум спектральной чувствительности может быть сравнительно несложными средствами сдвинут в сторону красной части спектра. Общая (интегральная) светочувствительность невысока — она измеряется величинами порядка сотых долей единицы ГОСТа. Однако эта величина может быть увеличена в несколько десятков раз.

В качестве связующего материала для полупроводника применяются различные синтетические или естественные смолы, изоляционные лаки, водные эмульсии и другие дисперсные системы. Хорошие результаты были получены с совмещенными смолами типа БФ (клеи БФ-2 и БФ-4), поливинилбутиралем, поливинилацетатом, фенолформальдегидной смолой, полибутилметакрилатом и др. Из промышленно изготавливаемых в нашей стране лаков могут быть применены масляный лак № 17 а, лак-цапон № 902, лак ФГ-9, изоляционный лак № 302, нитролак № 951 и др.

Для растворения связующего вещества используют различные летучие органические растворители — спирты, бензин, ксилол, толуол. Большинство из этих растворителей легко воспламеняются. При работе с ними необходимо соб-

людать соответствующие предосторожности. Некоторые из них токсичны. Поэтому при изготовлении светочувствительных слоев в домашних условиях в качестве дисперсной среды для некоторых связующих материалов может быть использована дистиллированная вода. Слои при этом получаются, правда, не столь равномерными и плотными.

Можно рекомендовать несколько типовых рецептов светочувствительных слоев электрофотографических бумаг.

Рецепт № 1

Окись цинка (например, марки М-1) . . .	15—23 %
Клей БФ-2	27—30 »
Этиловый спирт	50—55 »

Рецепт № 2

Окись цинка	16—24 %
Поливинилбутираль	3—4 »
Этиловый спирт (ректификат)	75—80 »

Рецепт № 3

Окись цинка	38—42 %
Водная эмульсия лакоосновы № 321-1 . .	32—34 »
Эмульгатор ОП-10	1—2 »
Вода	25—26 »

Изготовление электрофотографической бумаги. Технологический процесс изготовления электрофотографической бумаги начинается с подготовки растворов связующего вещества. При этом, например, клей БФ-2 или порошок поливинилбутирала растворяются в этиловом спирте (ректификате), исходя из следующей пропорции: 50 г связующего на 1 л спирта. В процессе растворения жидкость непрерывно перемешивают. Затем к раствору связующего вещества добавляют измельченный полупроводник. Получившуюся массу загружают в шаровую мельницу. Последняя может представлять собой стеклянный сосуд емкостью около 1 л, в который загружено 25—30 фарфоровых шариков диаметром 5—10 мм. Продолжительность размола зависит от скорости вращения мельницы. Удовлетворительные результаты получаются при скорости вращения мельницы 50 об/мин и продолжительности помола 4—6 часов.

При отсутствии мельницы диспергирование полупроводника в связующем материале, их перемешивание и измель-

чение можно производить с помощью обычной бутылки или какого-либо другого сосуда, в который загружены фарфоровые шарики или стальные шарики от шарикоподшипника.

Если в качестве диспергирующей среды применяют воду, отдельно взвешивают в воде полупроводник и связующее вещество, а затем сливают вместе обе суспензии. Например, 100 г окиси цинка взвешивают примерно в 100 г воды, а 77 г поливинилацетата — в 63 г воды. В суспензию поливинилацетата прибавляют 8 г трикрезилового эфира ортофосфорной кислоты, который служит пластификатором, непрерывно перемешивая смесь в течение 30 мин. Затем обе суспензии сливают вместе и перемешивают.

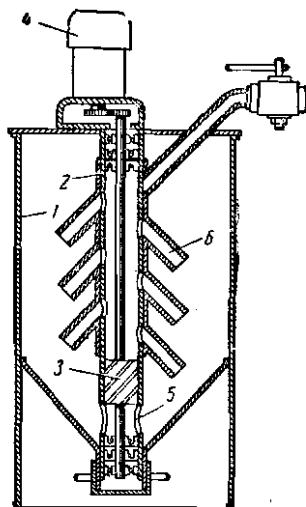


Рис. 10. Насос-эмульсатор

В промышленном производстве электрофотографических бумаг диспергирование окиси цинка в связующем веществе осуществляют с помощью насосов-эмульсаторов (рис. 10). Насос этот может представлять собой цилиндрический бак 1, в который загружают измельченный полупроводник и раствор связующего вещества. В вертикальной трубе 2 помещен четырехзаходный винт 3, приводимый во вращение от электродвигателя 4. Винт засасывает суспензию в трубу 2 через отверстия 5 и прогоняет ее через эмульгирующие трубки 6. Процесс диспергирования в насосе-эмульсаторе продолжается около 1 часа. Производительность описанного выше насоса (марки 0—58) составляет 25—30 л суспензии в час.

Фотополупроводниковую суспензию, поступающую из шаровой мельницы или насоса-эмульсатора, желательно отфильтровать. Для этой цели применяют металлическое сито или ткань с ячейками, имеющими диаметр до 0,25 мм. После фильтрования суспензию разбавляют до необходимой вязкости, приливая к ней растворитель (например, этиловый спирт) при непрерывном помешивании.

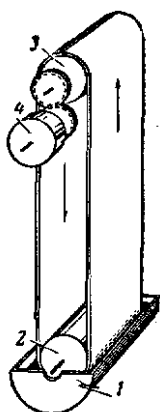


Рис. 11. Приспособление для полива электрофотографической эмульсии

Для того чтобы нанести фотополупроводниковую суспензию на бумажную подложку, в самом простом случае наливают немного суспензии на середину листа и, осторожно покачивая последний, заставляют ее стекать по направлению к краям. Затем лист высушивают. Суспензия окиси цинка сохнет очень медленно, поэтому сушка фотополупроводниковой бумаги на воздухе занимает несколько суток. Для полного высыхания слоя в термостате при температуре $60-80^{\circ}\text{C}$ требуется несколько часов.

Толщина фотополупроводникового слоя оказывает влияние на величину интегральной светочувствительности электрофотографической бумаги. Оптимальной является толщина порядка $10-30\text{ мк}$.

Такой процесс нанесения светочувствительной эмульсии непроизводителен и, что особенно важно, не может обеспечить получения равномерных фотополупроводниковых слоев. Неравномерность слоя неизбежно ухудшает качество изображения.

Поэтому ручной метод изготовления электрофотографических бумаг можно рекомендовать фотолюбителю лишь на первых порах. При первой возможности следует изготовить несложные приспособления для механизированного полива бумаги.

Принципиальная схема одного из таких приспособлений показана на рис. 11. Оно выполнено в виде корытца 1, наполненного фотополупроводниковой эмульсией, и валиков 2 и 3. Валик 2 погружен в корытце. Валику 3 сообщают принудительное вращение с помощью небольшого электродвигателя 4. Бумажную ленту склеивают концами, надевают на валики, после чего включают электродвигатель.

Несколько более сложное приспособление может быть выполнено в виде короба, заполненного фотополупроводниковой суспензией. Нижние эластичные стенки короба образуют щель, через которую протягивается бумажное полотно, сматываемое с рулончика. Эмульсионный слой выравнивается при прохождении полотна между двумя металлическими валиками. При необходимости ускорить сушку фотополупроводниковой эмульсии установку снаб-

жают несколькими парами инфракрасных ламп. Готовая электрофотографическая бумага наматывается на рулончик.

Несложные бумагополивные установки были изготовлены в Научно-исследовательском институте электрографии и имели производительность до 30 *пог. м* электрофотографической бумаги в час.

В лабораторных условиях для нанесения светочувствительного слоя на подложку могут быть использованы различные центрифуги и поливные машины. Промышленное изготовление электрофотографических бумаг осуществляется на специальных бумагополивных машинах. Одна из таких машин спроектирована Научно-исследовательским институтом электрографии и ныне установлена на Каунасской бумажной фабрике имени Ю. Янониса.

Бумагополивная машина (рис. 12) предназначена для изготовления электрофотографической рулонной бумаги шириной до 840 *мм*. Бумажное полотно сматывается с рулона 1, огибает направляющий валик 2 и поступает к валу 3, погруженному в корыто 4 с фотополупроводниковой суспензией. Необходимый уровень суспензии в корыте поддерживается автоматически. При скорости бумажного полотна 8 *м/мин* расход суспензии составляет около 80 *л* в час. Политое суспензией полотно поступает в сушильное устройство 5 с инфракрасными лампами 6, после чего наматывается на рулон 7.

Все процессы изготовления электрофотографической бумаги могут осуществляться на свету, ибо фотополупроводниковые эмульсии до их электризации нечувствительны к свету. Однако при изготовлении сенсibilизированных бумаг необходимо защитить слой от воздействия лучей полосы поглощения сенсibilизатора. Лучи эти могут вызвать разрушение сенсibilизатора. Для указанной цели сушильное устройство машины снабжено съемными светофильтрами.

Наибольшая расчетная производительность машины — 480 *пог. м* бумаги в час.

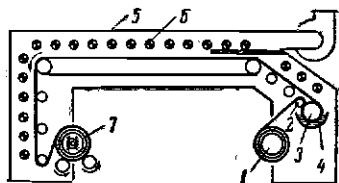


Рис. 12. Бумагополивная машина

Используя бумагополивочную машину, Каунасская бумажная фабрика имени Ю. Янониса с 1959 г. изготавливает электрофотографическую бумагу. Себестоимость электрофотографической бумаги ниже себестоимости обычных фотобумаг. Предполагается, что себестоимость эта будет значительно снижена.

Интегральная светочувствительность промышленно изготавливаемой электрофотографической бумаги составляет 0,045 единиц ГОСТа. Предполагается выпуск сенсibilизированных бумаг, чувствительность которых в 70—100 раз выше.

Разрешающая способность выпускаемых бумаг равна более 20 лин/мм.

Оптическая сенсibilизация фотослоев. Окись цинка, которая является основным материалом для изготовления фоточувствительных слоев электрофотографических бумаг, реагирует на экспонирование главным образом в ультрафиолетовых лучах с границами в пределах волн от 300 до 430 мкм. Максимум спектральной чувствительности приходится на излучение с длиной волны 370 мкм. При работе с несенсибилизированными бумагами приходится применять источники света, дающие излучение в пределах указанных спектральных границ. Непосредственное использование этих бумаг в электрофотоаппарате возможно. Однако цветопередача в этом случае заметно искажается.

Значительно лучшей панхроматической чувствительностью обладает другая модификация окиси цинка, которая характеризуется тем, что она окрашена в желто-оранжевый или коричневый цвет. Максимум спектральной чувствительности в этом случае приходится на излучение с длиной волны около 600 мкм (рис. 13). Панхроматически чувствительная окись цинка может быть получена путем сжигания

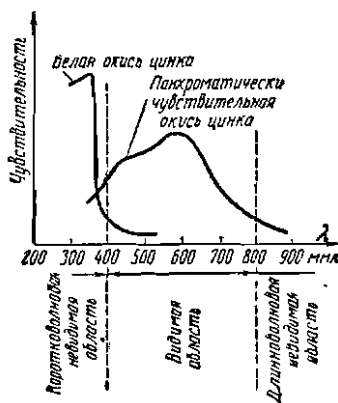


Рис. 13. Диаграмма спектральной чувствительности окиси цинка

белой окиси цинка с азотно-кислым аммонием или путем расплавления первой с некоторыми аммонийными солями. Другой метод состоит в нагревании белой окиси цинка и карбоната аммония карбаминной кислоты при температуре 150—400° С в течение одного часа. Описан также метод, который состоит в том, что белую окись цинка

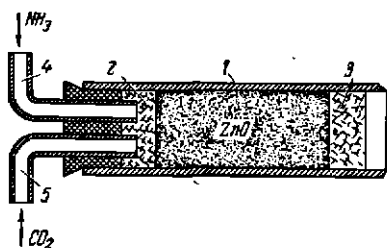


Рис. 14. Приспособление для изготовления панхроматически чувствительной окиси цинка

помещают в стеклянную трубку 1 (рис. 14) между двумя тампонами 2 и 3 из стеклянной ваты. Через газопроводящие трубки 4 и 5 в трубку вдувают двуокись углерода и аммиака. Делают это в течение примерно полутора часов. Затем трубку помещают в печь, где выдерживают ее при температуре 150° С около часа, а затем еще около часа при температуре 250° С.

Коричневая окись цинка обладает хорошими панхроматическими свойствами. Однако использование ее в электрофотографии ограничивается именно ее окраской. Рассмотреть темное порошковое изображение несравненно удобнее на белой поверхности бумаги.

Чтобы сделать электрофотографические бумаги со слоями из белой окиси цинка пригодными для применения в обычных условиях фотографирования, необходимо сдвинуть максимум спектральной чувствительности в сторону красной части спектра.

Современные методы оптической сенсibilизации электрофотографических слоев основаны на исследованиях академика А. Н. Теренина и Е. К. Пуцейко, которые установили, что при адсорбции¹ некоторых органических красителей на зернах окиси цинка область чувствительности последней сдвигается в сторону более длинных волн.

В качестве сенсibilизаторов были применены различные органические красители: эозин, бенгальская роза, родамин, флуоресцеин, метилен синий, хлорофилл, пинацианол, аурмин, акридин оранжевый и др. Спектральные области поглощения различных сенсibilизаторов изображены на рис. 15.

¹ А д с о р б ц и я — сгущение растворенного или диспергированного вещества на поверхности, например, твердого тела.

Сенсибилизация окиси цинка позволяет сдвинуть максимум спектральной чувствительности последней до величин порядка 500—650 м.мк. Одновременно в несколько десятков раз повышается интегральная фоточувствительность слоя (максимально до 3—5 единиц ГОСТа). Как видно, из графика спектральной чувствительности окиси цинка (см. рис. 13), это объясняется общим увеличением количества излучения, воздействующего на слой.

При ручных методах изготовления сенсибилизированных слоев раствором сенсибилизатора попросту обливают порошок фотополупроводника. Эозин обычно растворяют в этиловом спирте или ацетоне, флуоресцеин — в метиловом спирте или ацетоне. Из получившейся при этом суспензии при непрерывном перемещении выпаривают растворитель сенсибилизатора.

Максимум спектральной чувствительности и величина интегральной светочувствительности зависят от концентрации сенсибилизатора, введенного в слой, а также от материала, применяемого в качестве сенсибилизатора. Избыток красителя снижает чувствительность. Происходит это в силу перехода сенсибилизатора в связующее вещество и образования фильтрующей пленки, обволакивающей частицы фотополупроводника. При использовании в качестве сенсибилизатора эозина или флуоресцеина оптимальной концентрацией является 0,5—0,8 мг сенсибилизатора на 1 г белой окиси цинка.

Наивысший максимум спектральной чувствительности может быть достигнут при растворении эозина в ацетоне

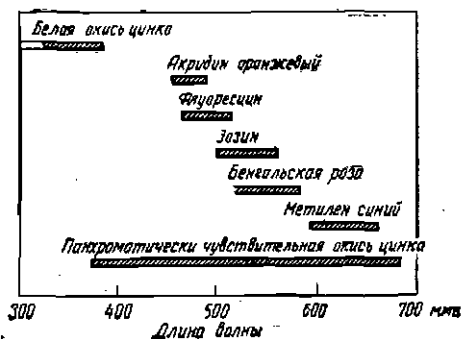


Рис. 15. Спектральные области поглощения различных сенсибилизаторов

(до 540 мк). При растворении эозина в воде максимум падает на излучение с длинами волн около 515 мк.

Увеличение интегральной светочувствительности при сенсбилизации фотополупроводниковых слоев дает возможность снизить экспозицию с 40—50 до 1—3 сек.

Кроме органических красителей для специальных целей в электрофотографические слои вводят другие добавки. Добавление некоторых тяжелых металлических окислов увеличивает чувствительность фотополупроводниковых слоев к рентгеновым лучам.

Двухслойные электрофотографические бумаги. Известно много фотополупроводников, имеющих достаточно высокое темновое удельное сопротивление и сравнительно большую интегральную светочувствительность. Однако эти материалы по тем или иным причинам не удается использовать для изготовления электрофотографических бумаг.

Некоторое распространение в электрофотографии получил сернистый кадмий CdS . Это аморфный порошок лимонно-оранжевого цвета, который изготавливается сплавлением кадмия или его окиси с серой или нагреванием солей кадмия с безводным тиосульфитом натрия. Применяют его в лакокрасочной промышленности, а также в стекольном производстве (для окраски стекла). Сернистый кадмий обладает высокой светочувствительностью в видимой части спектра при максимуме спектральной чувствительности 510 мк. Напомним, что максимум спектральной чувствительности несенсибилизированной окиси цинка лежит в области 350 мк. Правда, темновое удельное сопротивление сернистого кадмия невысоко (10^3 — 10^5 ом. см) по сравнению с удельным сопротивлением окиси цинка (10^8 — 10^9 ом. см). Однако оно может быть увеличено путем термической обработки этого полупроводника.

Широкому применению сернистого кадмия в электрофотографии мешает интенсивно оранжевый или лимонный цвет этого материала.

Выход был найден путем применения двухслойных эмульсионных слоев (рис. 16), когда на бумажную подложку 1 наносят слой, состоящий из частиц 2 сернистого кадмия, диспергированных в некотором связующем веществе 3. Вместо сернистого кадмия может использоваться

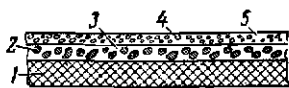


Рис. 16. Двухслойная электрофотографическая бумага

любой другой фотолупроводник, обладающий необходимыми для электрофотографии качествами, но который не может широко применяться в силу присущего ему интенсивного цвета.

После просушки слоя сверху наносится второй, более тонкий слой, состоящий из частиц 4 белой окиси цинка, диспергированных в изолирующем связующем веществе 5.

Оксид цинка обладает хорошей кроющей способностью, благодаря чему лимонно-оранжевая поверхность первого слоя закрашивается и становится совершенно белой.

Вместе с тем светочувствительность комбинированного слоя по сравнению с светочувствительностью окиси цинка, значительно возрастает. Происходит это потому, что тонкий верхний слой не препятствует проникновению большей части световых лучей к нижнему слою, обладающему повышенной фотоэлектрической чувствительностью.

Ниже приведен типовой рецепт двухслойного эмульсионного покрытия.

Нижний слой

Раствор клея БФ-2 в этиловом спирте	
(1 часть клея на 2 части спирта)	45 см ³
Сернистый кадмий	6 »

Верхний слой

Раствор клея БФ-2 в этиловом спирте	
(1 часть клея на 2 части спирта)	50 »
Оксид цинка (марки М-1)	2 »

Двухслойные электрофотографические слои нашли применение в некоторых специальных областях — например, в электрорентгенографии. Электросветочувствительный слой покрывают слоем красителя, который фильтрует лучи дневного света в той области спектра, в которой сенсibilизирован нижний слой. Такая электрофотографическая бумага, будучи наэлектризована и экспонирована в рентгеновых лучах, не боится света. Ее можно проявлять на свету. Для окраски фотолупроводникового слоя применяют красители марок: метаниловый желтый, желтый прозрачный 4К, жировой желтый 3Ж.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ СЛОЕВ

Фотополупроводниковые слои, в отличие от галогенидо-серебряных слоев, не чувствительны к свету. Засветка для них не страшна, и всяческие предосторожности, столь хорошо знакомые каждому фотолюбителю, здесь излишни. Электрофотографические пластины и бумаги изготавливают и хранят на свету.

Очувствление электрофотографических слоев проводят непосредственно перед их использованием. Чтобы сделать фотополупроводниковый слой чувствительным к свету, ему необходимо сообщить некоторый потенциал или, по-просту говоря, слой необходимо наэлектризовать.

Электризацию осуществляют в темноте. Получившие потенциал слои следует держать в затемненном помещении вплоть до того момента, пока сформированное на них в процессе экспонирования скрытое электростатическое изображение не будет проявлено.

В современной электрофотографии известно несколько методов электризации фотослоев, которые мы и рассмотрим.

Электризация трением. Процесс электризации трением хорошо известен. Для того чтобы его осуществить, нужно взять электрофотографическую пластину и несколько раз интенсивно протереть ее поверхность кусочком меха или суконкой. Делают это, разумеется, в темной комнате.

При электризации трением нельзя добиться сколь угодно равномерного распределения потенциала по поверхности фотополупроводникового слоя, а это необходимое условие для получения изображения высокого качества. Интенсивное протирание поверхности фотослоя суконкой или мехом приводит к быстрому разрушению слоя.

В настоящее время электризация трением не применяется. Этот метод можно рекомендовать фотолюбителю лишь на первых порах.

Электризация коронным разрядом. Этот метод обеспечивает равномерное распределение потенциала необходимой величины и знака по поверхности слоя, благодаря чему получил наибольшее распространение. Сущность способа заключается в осаждении на полупроводниковое покрытие положительных или отрицательных ионов¹, образованных вследствие ионизации воздуха в процессе коронного разряда. Последний возникает между заземленной электрофотографической пластиной и точечным или проволочным электродом, подключенным к одному из полюсов источника постоянного тока высокого напряжения (5—15 кВ).

Электрофотографический светочувствительный материал 1 (рис. 17, а), подложка 2 которого заземлена, помещают на некотором расстоянии от электрода 3, подключенного к источнику постоянного тока 4. При замыкании ключа 5 между электродом и электрофотографическим материалом возникает коронный заряд, в процессе которого осуществляется осаждение ионов определенной полярности на поверхности полупроводникового покрытия. В случае необходимости определенный участок фотослоя может быть защищен от ионизирующего воздействия с помощью экрана 6.

В этой схеме мы имеем дело с односторонней, или униполярной, короной. Применяются также коронные разрядники с двухсторонней, или биполярной, короной. В этом случае электрофотографический материал 1 (рис. 17, б) помещают между электродами 2 и 3, подключенными к противоположным полюсам источника постоянного тока высокого напряжения.

Для работы разрядников используют генераторы постоянного тока. Напряжение на электродах разрядников составляет 5—15 кВ. Ток коронного разряда не превышает 200—250 мкА.

В качестве источника напряжения может служить любой из широко известных высокочастотных преобразо-

¹ Ионы — электрически заряженные частицы, образующиеся при потере или приобретении электронов атомами.

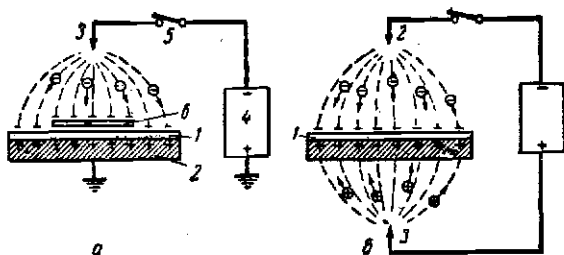


Рис. 17. Коронные разрядники:
а — с униполярной короной, б — с биполярной короной

вателей напряжения, питаемый от электрической сети 127 или 220 в, батареи или аккумулятора. Для этой цели нередко используют высоковольтные выпрямители телевизионных приемников (цепь питания анода электронно-лучевой трубки), автомобильные бобины и др.

В литературе описано несколько типовых схем высокочастотных преобразователей (рис. 18) для питания электрофотографических электрнзаторов. Такой преобразователь может быть собран каждым радиолюбителем.

Принципиальная схема высокочастотного электронного преобразователя показана на рис. 19.

Однополупериодный выпрямитель (данные силового трансформатора см. приложение № 1), собранный на лампе L_1 (5Ц4С), питает автогенератор, собранный на лампе L_2 (6П3С) с колебательным контуром в анодной цепи. В цепь управляющей сетки включена катушка обратной связи.

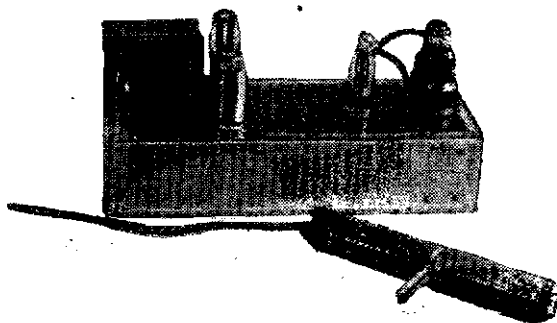


Рис. 18. Высокочастотный преобразователь

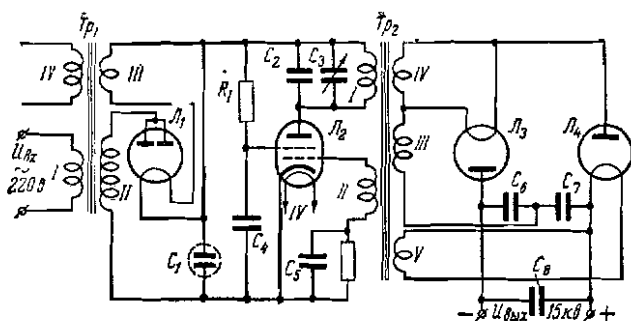


Рис. 19. Высокочастотный преобразователь напряжения с индуктивной обратной связью

Как видно из схемы, используется высокочастотный трансформатор (данные см. приложение № 2).

Изготовлению высокочастотного трансформатора следует уделить особое внимание, так как на его обмотке III генерируется высокое напряжение (порядка 15 кВ), которое при небрежном изготовлении обмоток может привести к пробое трансформатора и выводу его из строя.

Каркас высокочастотного трансформатора делается из хорошего диэлектрика, например из органического стекла или полистирола. Он состоит из двух фигурных пластин, вставляемых одна в другую (рис. 20). Нумерация вырезов каркаса соответствует нумерации обмоток в приложении № 2. При укладывании витков в вырезы необходимо не допускать их перекрещивания и западания витков из одного ряда в другой. Секции III—VII соединяются между собой последовательно, образуя высоковольтную обмотку III.

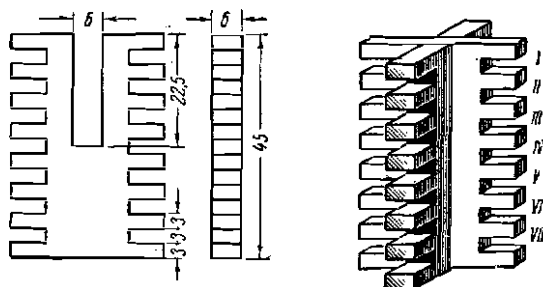


Рис. 20. Пластины для сердечника трансформатора высокочастотного преобразователя

Настройка генератора производится путем изменения емкости переменного конденсатора C_1 (17—500 мкф). Для настройки преобразователь подключается к сети, после чего с помощью конденсатора C_2 и подключенной к нему параллельно постоянной емкости C_3 (500 мкф) подбирают резонансную частоту колебательного контура, при которой между концами обмотки III получается искра наибольшей длины (10—20 мм).

Выпрямитель высокого напряжения собирается на высоковольтных кенотронах L_3 и L_4 (1Ц7С или 1Ц1С). Обмотки накала IV и V выполняются проводом, имеющим хорошую изоляцию. Они наматываются непосредственно на корпус высокочастотного трансформатора. Вследствие того что при работе преобразователя один полюс всегда заземляется, накальные обмотки кенотронов 1Ц7С нельзя размещать на силовом трансформаторе T_{p1} . Провода, которыми преобразователь подключается к коронному электризатору, должны иметь надежную изоляцию, выдерживающую напряжение порядка 15—20 кВ.

Конденсаторы C_6 , C_7 и C_8 имеют емкость по 390 нф. Лучше всего применять конденсаторы типа ПОВ-15 кв.

В последнее время стали применяться преобразователи напряжения, построенные на полупроводниковых элементах. Схема такого преобразователя изображена на рис. 21. Низкое напряжение $U_{вх}$ от аккумулятора или гальванической батареи с помощью двухтактного генератора на полупроводниковых триодах T_1 и T_2 преобразуется сначала в переменное напряжение повышенной частоты, которое затем повышается трансформатором Tr , выпрямляется диодом L_1 (1Ц11П) и сглаживается обычным фильтром. В качестве сердечника трансформатора используется ферритовый сердечник от телевизионного строчного трансформатора

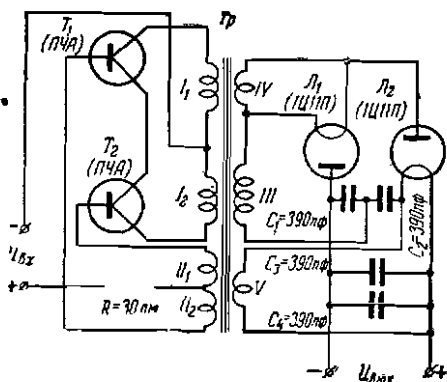


Рис. 21. Высокочастотный преобразователь на полупроводниковых триодах

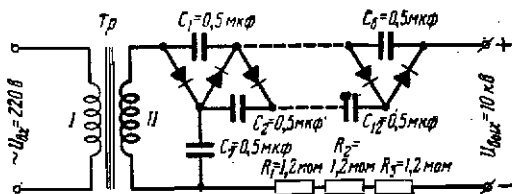


Рис. 22. Полупроводниковый высоковольтный преобразователь

типа ТВС-А. Данные об обмотках приведены в приложении № 3.

На рис. 22 изображена схема высоковольтного преобразователя, в которой полностью отсутствуют вакуумные приборы, что позволило значительно уменьшить его габариты. Данные об обмотках трансформатора приведены в приложении № 4¹.

Электризаторы. В электрофотографической практике применяется большое количество разнообразных коронных разрядников-электризаторов. Простейшим устройством является неподвижно закрепленное острое, подключенное к одному из полюсов источника высокого напряжения с потенциалом 20 кВ. Фотополупроводниковый слой помещают на заземленной проводящей подложке на расстоянии 80—100 мм от края острия. С помощью этого устройства удастся получать удовлетворительную электризацию электрофотографических пластин размером не свыше 18×24 см.

При работе с небольшими электрофотографическими пластинами и бумагами удобен портативный электризатор, представляющий собой 2—3 тонкие металлические проволоочки диаметром 0,025—0,09 мм, натянутые между двумя стойками из органического стекла. Сверху электризатор снабжен защитным экраном из оргстекла и ручкой. Нити укрепляют таким образом, чтобы они находились от поверхности слоя на расстоянии 5—15 мм, напряжение на коронирующих электродах 8—10 кВ.

¹ Описанные выше схемы высокочастотных преобразователей разработаны сотрудниками Научно-исследовательского института электрографии В. Бучеком и Е. Мартинкеном.

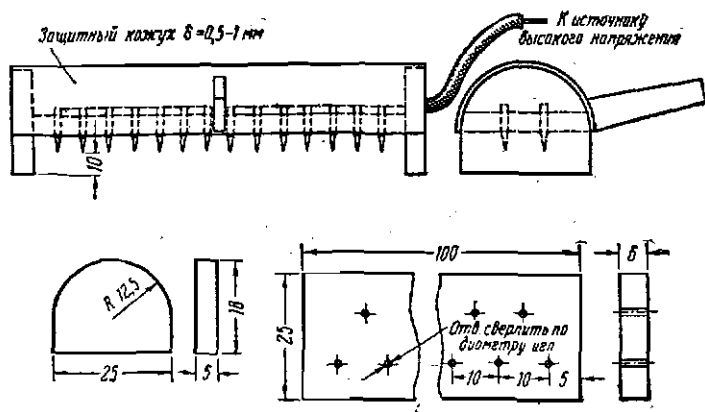


Рис. 23. Портативный коронный электризатор

В качестве электродов вместо нитей могут использоваться патефонные иглы, установленные в шахматном порядке в два-три ряда на блоке из хорошего диэлектрика, например из органического стекла (рис. 23).

Для того чтобы наэлектризовать фотополупроводниковый слой электрофотографической бумаги (рис. 24), ее помещают на проводящую заземленную подложку (металлическую пластину). Электризатор подключают к источнику напря-

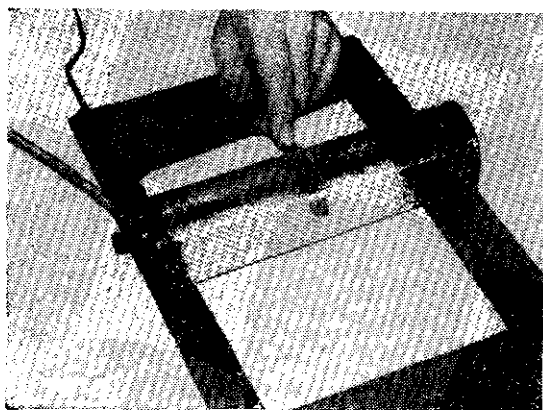


Рис. 24. Электризация фотополупроводникового слоя портативным электризатором

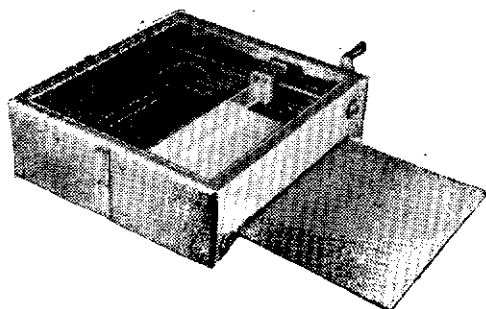


Рис. 25. Электризатор ящичного типа

жения и несколько раз проводят им туда и обратно по поверхности слоя.

Электризацию, как мы уже упоминали, проводят в темноте. Электризатор, позволяющий осуществлять этот процесс в светлом помещении, выполнен в виде ящика (на рис. 25 он показан со снятой крышкой), с направляющими для перемещения электрофотографической пластины, помещенной в кассете. Внутри ящика на цилиндрических прутках подвижно установлены стойки, несущие проволоочные электроды. Проволочки защищены сверху экраном из органического стекла. Одна из стоек прикреплена к цепи, которую можно перемещать с помощью рукоятки.

Для того чтобы наэлектризовать пластину, кассету вдвигают в ящик, выдвигают шторку кассеты, подключают электроды к источнику напряжения и медленно перемещают электроды вдоль пластины. Когда электризация закончена, шторку кассеты задвигают и вынимают кассету из электризатора. Электрофотографическая пластина готова к употреблению.

В стационарном электрофотографическом оборудовании электризацию нередко осуществляют так, что и электроды и фотослой неподвижны. В этом случае на поверхности фотополупроводникового слоя возникают точечные очаги электризации, между которыми наблюдаются более или менее значительные зазоры. Это хорошо видно на рис. 26, на котором изображен участок электрофотографической пластины, подвергнутой электризации по этому способу, а затем проявленной (без экспонирования какого-либо изображения).

Равномерность электризации может быть повышена разными способами, в частности путем сообщения коронирующим электродам колебательных движений в плоскости, параллельной поверхности фотополупроводникового слоя.

Когда электроды изменяют направление колебаний, они несколько дольше задерживаются над электризуемой поверхностью, в результате чего на последней возникают зоны повышенной электризации. Значительно более равномерный заряд получается с помощью последовательной коммутации (переключения) двух систем электродов, расположенных, например, в шахматном порядке.

На изоляционной пластине 1 (рис. 27) установлены металлические иглы 2—11. Все четные иглы подключены к контакту 12, все нечетные — к контакту 13. Контакты подключают к какому-либо коммутирующему устройству, обеспечивающему поочередное подключение четных и нечетных игл к источнику постоянного тока высокого напряжения 14.

В качестве коммутирующих устройств обычно используют электронные устройства или регулируемые газовые разрядники, шунтированные конденсаторами.

Проводящую подложку 16 фотополупроводникового слоя 17 в процессе электризации необходимо заземлить. На рисунке показан момент, когда переключатель 15 подключил высокое напряжение к четным иглам.

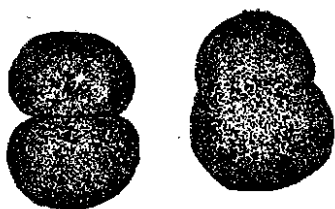


Рис. 26. Участок электрофотографической пластины, подвергнутый электризации с коммутирующим устройством (справа) и без него

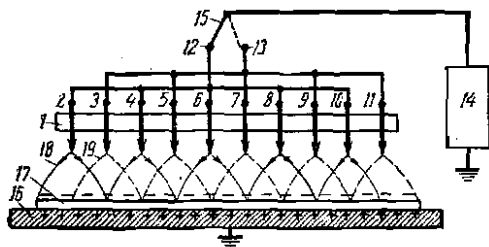


Рис. 27. Коронный электризатор с коммутирующим устройством

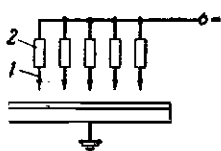


Рис. 28. Коронирующий электроризатор с балластными сопротивлениями

Между остриями игл и пластиной 16 образуется электрическое поле, которое вызывает образование коронного разряда и осаждение отрицательно заряженных ионов на поверхности слоя 17. Зона осаждения ионов от четных игл показана сплошными линиями 18.

Когда переключатель 15 замыкает контакт 13, начинают коронировать нечетные иглы. Осаждение ионов теперь уже происходит в пределах зон, ограниченных пунктирными линиями 19.

При быстрой коммутации происходит наложение ионов с четных и нечетных острий, что обеспечивает равномерность электризации слоя. Участок электрофотографической пластины, подвергнутый электризации с коммутирующим устройством, показан на рис. 26 справа. При сравнении этого участка с соседним наглядно видны преимущества только что описанного метода.

Во время электризации слоя могут происходить внезапные искровые разряды — электрический пробой. Это ведет за собой мгновенное и кратковременное прекращение процесса электризации. На участке разряда наблюдается резкое снижение потенциала, сообщаемого фотополупроводниковому слою. Если проявить изображение, экспонированное на такой слой, будут хорошо видны своеобразные белые полосы или пятна в форме звезд, что снижает качество изображения. Обычной мерой борьбы с электрическим пробоем является снижение напряжения, подаваемого на электроды. Однако это приводит к снижению интенсивности электризации, что нецелесообразно. Более эффективной мерой является последовательное включение в цепь каждого коронирующего электрода 1 (рис. 28) балластных сопротивлений 2, величина которых варьируется в пределах 1—3 мегом.

Ток коронного разряда с одного электрода — около 10 мка, а сопротивление воздушного промежутка между электродом и фотополупроводниковым слоем — несколько сотен мегом. При начале пробоя сопротивление зазора мгновенно падает до нескольких ом, в результате чего происходит быстрое нарастание тока короны. Увеличение силы тока приводит к увеличению степени падения напряжения на балластном сопротивлении и одновременно к снижению

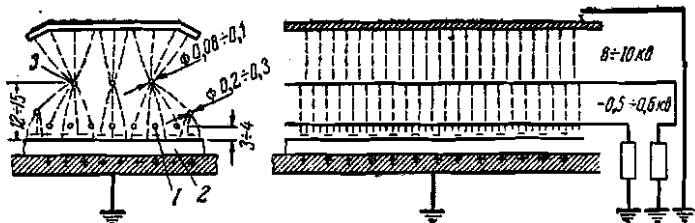


Рис. 29. Электризатор с дополнительными электродами. Схема

разности потенциалов между электродом и заземленной подложкой слоя. Градиент потенциала¹ на остриях игл снижается настолько, что возникновение пробоя становится невозможным.

Равномерность электризации фотополупроводникового слоя может быть повышена также путем использования дополнительных электродов в виде сетки или системы проволок 1 (рис. 29), помещенных между электризуемой поверхностью 2 и коронирующими электродами 3. Если потенциал коронирующих электродов 5—20 кВ, то дополнительному электроду сообщают напряжение в несколько сотен вольт. Оптимальный потенциал в этом случае устанавливают опытным путем. Электризатор с дополнительными электродами можно уподобить электронной лампе-триоде. Дополнительный электрод в этом случае играет роль, аналогичную роли сетки триода.

Электризатор с дополнительными электродами показан на рис. 30. Проводящая подложка 1 с нанесенным на ее поверхность фотополупроводниковым слоем 2 помещена на лентах 3 и 4 из проводящего электрический ток материала. Движение лентам сообщается приводными валиками 5 и 6, жестко закрепленными на валу, который приводится во вращение небольшим электродвигателем 7. Коронирующие электроды выполнены в виде трех параллельных друг другу проволок 8, подключенных к выпрямителю. Над проволоками помещен заземленный металлический экран. Заземлены также вал проводящих валиков и металлическая пластина 9, расположенная под транспортирующими лентами 3 и 4. Дополнительный электрод выполнен в виде системы

¹ Градиент потенциала — изменение потенциала на единицу длины.

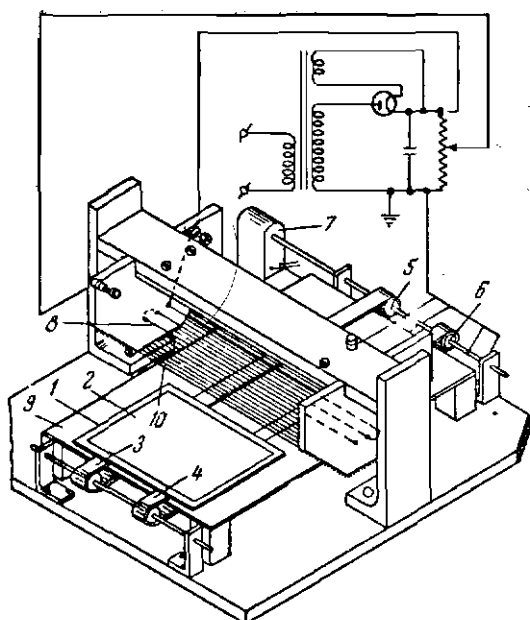


Рис. 30. Электризатор с дополнительными электродами

тонких проволочек 10, расположенных в горизонтальной плоскости между коронирующими электродами и фотополупроводниковым слоем. Потенциал на дополнительном электроде изменяется при помощи потенциометра. Регулируя величину потенциала на дополнительном электроде, изменяют степень электризации электрофотографической пластины или бумаги.

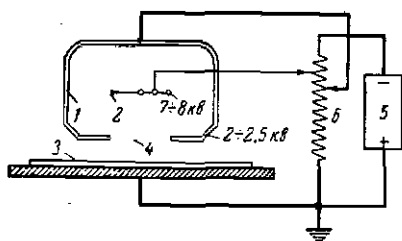


Рис. 31. Электризатор с экранирующим электродом

Электризатор более простой конструкции изображен на рис. 31. Дополнительный электрод выполнен здесь в виде замкнутого металлического экрана 1, охватывающего коронирующие электроды 2. Электризация полупроводникового

слоя 3 осуществляется через длинную и узкую щель 4 в экране. Расстояние от щели до слоя — около 10 мм. Коронирующие электроды и экран соединены с источником тока 5 через потенциометр 6.

Способ электризации путем формирования коронного разряда в порах диэлектриков¹ обеспечивает равномерную электризацию фотополупроводникового слоя. Способ заключается в следующем. Между плоским металлическим электродом 1 (рис. 32), подключенным к отрицательному полюсу источника высокого напряжения 2, и фотополупроводниковым слоем электрофотографической пластины или бумаги 3 помещают пластину 4 из какого-либо пористого диэлектрика — например, из гетинакса или целлулоида. Толщина пластины — около 0,25 мм.

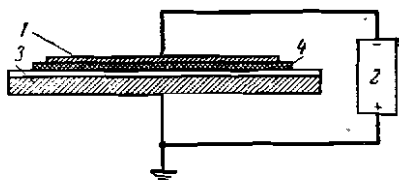


Рис. 32. Формирование коронного разряда в порах диэлектрика

Возможны различные варианты этого способа. Так при работе с обычными униполярными или биполярными коронными электризаторами диэлектрическую пластину помещают между иглами и фотослоем или между иглами и подложкой слоя. Во всех случаях это приводит к повышению равномерности электризации.

Двухсторонняя электризация. Когда подложка полупроводникового слоя хорошо проводит электрический ток, градиент потенциала заряженного слоя, как это показано на рис. 33,а, на границе его с подложкой равен нулю. Если же подложка обладает высоким удельным сопротивлением, то градиент потенциала и на границе слоя и подложки имеет некоторую конечную величину (рис. 33,б).

Если проэкспонировать такой электрофотографический материал на свету, то поверхность слоя деполяризуется. Однако на границе слоя и подложки некоторый конечный потенциал останется, ибо подложка обладает хорошими изолирующими свойствами. При проявлении изображения

¹ Предложен Н. М. Гальвидисом.

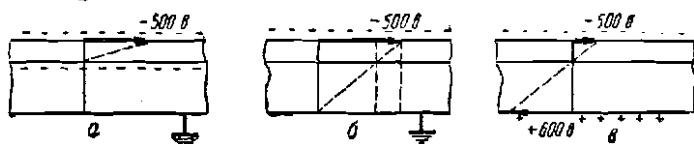


Рис. 33. Градиент потенциала электрофотографического материала

потенциал этот притянет какое-то количество порошка-проявителя, что исказит правильность воспроизведения.

Для того чтобы потенциал на границе фотослоя и подложки был равен нулю, некоторые авторы рекомендуют применять двухстороннюю электризацию, причем слою сообщают потенциал одной полярности, а подложке — другой полярности (рис. 33, в).

Двухстороннюю электризацию целесообразно применять при работе с электрофотографическими бумагами в жаркое время года, когда содержание влаги в бумажной подложке невелико и проводимость бумаги мала. Фотополупроводниковому слою окиси цинка сообщают отрицательный потенциал, а подложке — положительный.

Двухсторонняя электризация особенно часто применяется в электрофотографических копируемых устройствах, где изображение многократно воспроизводится на непрерывно перемещающемся бумажном полотне, покрытом слоем фотополупроводника. Заземлить подложку в этом случае не всегда удастся.

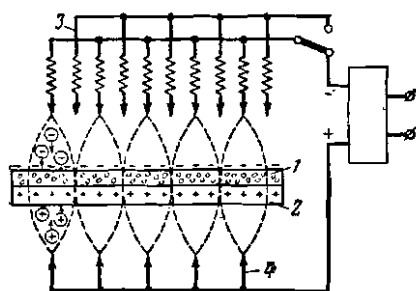


Рис. 34. Двухсторонний электризатор

Известно несколько различных конструкций двухсторонних электризаторов. Одна из них изображена на рис. 34. Слой фотополупроводника 1 на бумажной подложке 2 пропускают между двумя рядами коронирующих игл 3 и 4. Иглы 3 подключены к источнику напряжения отрицательной полярности, иглы 4 — к источнику напряжения положительной полярности. Примерно такой же эффект может быть получен, если иглы 4 заземлить.

Радиоактивная ионизация. α - и β -частицы, излучаемые радиоактивными изотопами, как известно, ионизируют окружающее пространство. Это явление может быть использовано для электризации фотополупроводникового слоя электрофотографических пластин. Принцип действия радиоактивного электризатора пояснен на рис. 35.

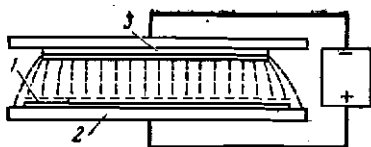


Рис. 35. Радиоактивный электризатор

Над электрофотографической пластиной, представляющей собой фотополупроводниковый слой 1 на проводящей подложке 2, помещена металлическая пластина 3, несущая слой радиоактивного полония. Для защиты этого слоя от механических повреждений поверх него электролитическим путем наносят тонкую пленку золота. Пленка эта должна быть достаточно тонка, чтобы пропускать поток α -частиц с поверхности полония. Рекомендуемая толщина пленки — около 2 мк. Радиоактивный полоний излучает α -частицы, которые ионизируют окружающий воздух, способствуя появлению как отрицательных, так и положительных ионов. Для того чтобы заставить ионы определенной полярности осаждаться на поверхности фотослоя, подложку и металлическую пластину соединяют с источником постоянного тока. Электрическое поле, возникающее между подложкой и пластиной, заставляет ионы одного знака осаждаться на поверхности слоя. Расстояние между пластиной и слоем — около 5 мм.

Устройство должно быть помещено в герметически замкнутый, непроницаемый для ионизирующего излучения сосуд. Опасность радиоактивного излучения и необходимость предотвращения ее — главный недостаток радиоактивных электризаторов. Так как период полураспада радиоактивного полония равен 140 дням, излучатель периодически необходимо заменять.

Радиоактивные электризаторы не получили распространения.

Фотополяризация слоя. Метод электризации фотополупроводникового слоя, обеспечивающий длительное сохранение потенциала на его поверхности, заключается в

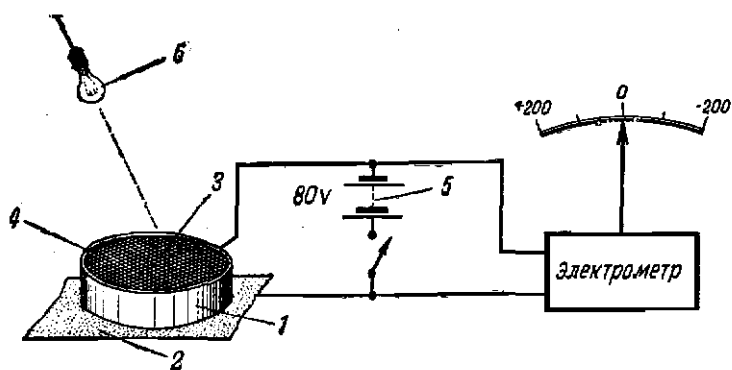


Рис. 36. Схема фотополяризации полупроводника

фотополяризации слоя, в процессе которой фотополупроводнику сообщают фотоэлектрическое состояние.

В 1921 г. японский физик М. Эгучи поместил расплавленный диэлектрик между двумя электродами, соединенными с источником постоянного тока высокого напряжения. Когда диэлектрик застыл, напряжение было снято. Исследуя свойства застывшего под напряжением слоя, Эгучи установил, что диэлектрик получил способность притягивать, подобно магниту, легкие предметы. Такой электростатический аналог постоянного магнита был назван электретом.

В 1937 г. болгарский физик Г. Наджаков проделал следующий опыт. Небольшой твердый диск 1 (рис. 36) из серы площадью 10 см^2 и толщиной 1,7 мм был помещен между двумя электродами, один из которых представлял собой металлическую пластину 2, а второй — тонкую прозрачную пленку электролита 3 в серебряном кольце 4. К электродам было приложено напряжение около 80 в, от источника постоянного тока 5. Через 4 мин. после того, как напряжение было приложено к диску, он был освещен через верхний прозрачный электрод лампой 6 (200 вт). Экспозиция длилась 10—15 мин. Затем лампу выключали и снимали напряжение.

Исследуя затем свойства диска, Наджаков установил, что диск является электретом, причем сохраняет постоянную поляризацию в течение длительного времени. Диэлектрик, приобретающий свойства электрета при освещении под напряжением, получил название *фотоэлектрета*.

Электризацию слоя в электрофотографии осуществляют аналогичным образом, она сохраняется более длительное время. Однако обычно фотополяризации подвергают не весь фотополупроводниковый слой, а лишь некоторые его участки, совокупность которых образует изображение. Такой способ получил название электрофотографии на фотоэлектретах.

Среди других способов электризации полупроводниковых слоев необходимо упомянуть индукционный способ. Он состоит в том, что электрофотографическую пластину подносят к пластинчатому электроду, соединенному с одним из зажимов источника постоянного тока. Делают это на свету. Под действием электростатической индукции на поверхности слоя генерируется потенциал, полярность которого противоположна полярности потенциала электрода. Заряд противоположного знака уходит через заземленную подложку. Если теперь выключить свет и убрать электрод, на фотополупроводниковом слое останется некоторый индуцированный потенциал.

Измерение потенциала электрофотографического слоя.

Качество воспроизведения того или иного изображения может контролироваться на всех стадиях электрофотографического процесса, предшествующих проявлению. Одним из способов такого контроля является измерение плотности заряда (или напряженности электрического поля) на поверхности фотополупроводникового слоя как до, так и после формирования скрытого электростатического изображения. Это позволяет следить за правильностью выполнения отдельных операций.

Измерение потенциала электрофотографического слоя обычно проводят с помощью динамических электрометров.

Усталость фотополупроводникового слоя и методы борьбы с ней. Если электрофотографическая пластинка в течение короткого промежутка времени несколько раз используется для формирования скрытых электростатических изображений, которые затем проявляются и переносятся на бумагу, легко заметить, что четкость изображения постепенно падает. Происходит это в силу усталости фотополупроводникового слоя. Предельный потенциал,

удерживаемый пластиной, значительно снижается. Фотослой перестает удерживать потенциал в темноте. В этом случае обычно говорят, что *темновой спад* потенциала возрастает.

Наиболее простой метод борьбы с усталостью электрофотографических пластин состоит в том, что фотополупроводниковому слою сообщают потенциал, одинаковый по величине, но противоположный по знаку ранее бывшему на нем заряду. После электризации пластина засвечивается, а затем вновь электризуется, причем на этот раз знак потенциала одинаков со знаком потенциала, сообщенным при первой электризации.

Повторная электризация противоположной полярностью позволяет полностью устранить вредное явление усталости фотослоя. Электрофотографическая пластина вновь готова к использованию.

При своевременном устранении усталости фотослоя процесс формирования скрытого электростатического изображения практически не влияет на жизнеспособность электрофотографической пластины. Ее старение вызывается лишь механическим истиранием фотополупроводникового слоя. Одна пластина может быть использована для воспроизведения не менее тысячи изображений. В этом также состоит большое преимущество электрофотографического процесса перед обычной фотографией.

Фотополупроводниковые материалы, сохраняющие электризацию. Использование фотополупроводниковых материалов связано с некоторым неудобством: непосредственно перед самым экспонированием необходимо сообщить слою поверхностный равномерно распределенный потенциал.

Чтобы избежать этого, были предложены комбинированные фотополупроводниковые пленки, сохраняющие электризацию. На тонкую металлическую (например, алюминиевую) фольгу 1 (рис. 37, а) с одной стороны наносят слой фотополупроводника 2, а с другой — слой диэлектрика (полистирола) 3. Фотополупроводниковый слой электризуют обычными методами. Фольгу при этом заземляют. По мере электризации слоя 2 пленку сворачивают в плотный рулон (рис. 37, б) таким образом, чтобы слой диэлектрика 3 прилегал к поверхности 2, на которой осажжены отрицательные электрические заряды. Получается своеобразный

конденсатор, у которого между двумя металлическими соединенными между собой обкладками 1 находятся фотополупроводниковый слой и диэлектрик 3. На границе между фотополупроводником и диэлектриком распределен отрицательный электрический заряд. Нетрудно заметить, что граница слоев, фотополупроводник и обкладка образуют конденсатор с емкостью C_1 , а граница, диэлектрик и обкладка — второй конденсатор с емкостью C_2 . Оба конденсатора включены между собой параллельно.

С помощью сравнительно несложных расчетов можно показать, что снижение общего потенциала фотослоя будет значительно замедлено, если диэлектрическая постоянная диэлектрика будет выше, чем диэлектрическая постоянная фотополупроводника, а толщина слоя 3 меньше толщины слоя 2. Материал диэлектрика должен также иметь значительно более высокое удельное объемное сопротивление по сравнению с объемным темновым сопротивлением фотополупроводникового слоя, благодаря чему разрядка конденсатора C_2 будет происходить во много раз медленнее, чем разрядка конденсатора C_1 .

Комбинированная фотополупроводниковая пленка, сохраняющая в течение длительного времени электризацию, позволяет упростить и ускорить электрофотографический процесс.

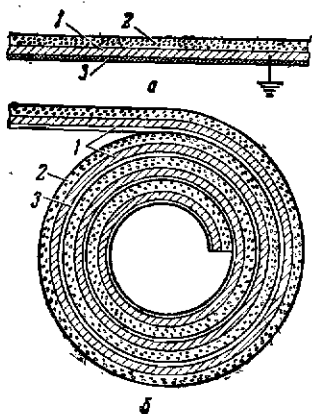


Рис. 37. Фотополупроводниковый материал, сохраняющий электризацию

ЭКСПОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ СЛОЕВ

В электрофотографии экспонирование светочувствительного слоя производится так же, как в обычной фотографии.

Коренным отличием электрофотографии от фотографии на галогенидосеребряных слоях является то, что процесс этот чаще всего осуществляется по схеме «позитив — позитив». Поэтому при контактном или проекционном копировании используют не негативное, а позитивное изображение оригинала. С другой стороны, при съемке с натуры нет нужды прибегать к негативному процессу — изображение на электрофотографической пластине после его проявления сразу же получается позитивным.

Формирование скрытого электростатического изображения. Потенциал, сообщенный электрофотографической пластине в процессе электризации, постепенно спадает — даже если пластина находится в темноте. В этом случае говорят о *темновом спаде* потенциала или о *темновой деполяризации*.

При работе с электрофотографическими материалами никогда не следует забывать о темновом спаде. Галогенидосеребряные фотоматериалы практически всегда готовы к употреблению. Очувствленные фотополупроводниковые слои, напротив, через определенный промежуток времени частично теряют свои светочувствительные свойства. Время полуспада, т. е. время, в течение которого потенциал спадает на 50% своей первоначальной величины, зависит от материала полупроводника, длительности и частоты его использования и ряда других факторов. «Усталые» слои имеют повышенную скорость темнового спада. Тот же слой новой или «отдохнувшей» пластины значительно дольше удержи-

вает заряд, чем «усталая» пластина (рис. 38).

Для окиси цинка время полупада потенциала в темноте измеряется величиной порядка от нескольких до нескольких десятков минут. За это время можно успеть проэкспонировать и проявить электрофотографическую пластину.

В процессе экспонирования отдельные участки фотослоя деполяризуются пропорционально интенсивности освещенности, действовавшей на эти участки. Если, например, мы проецируем на слой позитив, то под темными, максимально плотными участками его полупроводник сохранит сравнительно высокое удельное сопротивление и первоначальная величина потенциала останется почти без изменения. Под светлыми, прозрачными участками позитива, напротив, сопротивление полупроводника падает, благодаря чему заряд под этими участками получит возможность деполяризоваться.

На слое образуется скрытое электростатическое изображение или потенциальный рельеф, конфигурация которого соответствует конфигурации репродуцируемого оригинала. Тот перепад интенсивности тонов, который мы в обычной фотографии называем контрастностью, в электрофотографии соответствует некоторому перепаду потенциалов на отдельных участках изображения. По аналогии перепад этот может быть назван электростатической контрастностью.

Опыт показывает, что недодержка или передержка в электрофотографии ведет к снижению или повышению электростатической контрастности. При правильно подобранной величине экспозиции контрастность является максимальной.

График, изображенный на

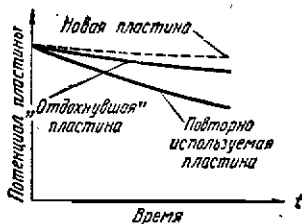


Рис. 38. Процесс темнового спада на «усталых» и «отдохнувших» пластинах

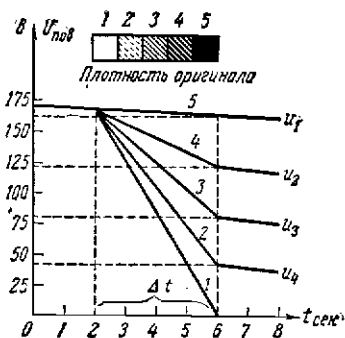


Рис. 39. Величина потенциала как функция величины относительной экспозиции

рис. 39, показывает зависимость, которая существует между величиной относительной экспозиции и величиной потенциала, оставшегося на отдельных участках фотослоя. Зависимость эта не линейна. Иными словами, потенциал, оставшийся на пластине после определенной экспозиции, не прямо пропорционален интенсивности и времени этой экспозиции. Зависимость между этими величинами носит более сложный характер.

Контактное копирование. При контактном копировании (рис. 40) диапозитив 1 помещают непосредственно на полупроводниковый слой 2 предварительно заряженной электрофотографической пластины или бумаги. Чтобы изображение было резким, необходимо обеспечить достаточно плотное прилегание диапозитива к слою. Этого можно добиться, применяя копировальные рамки. В простейшем случае достаточно положить поверх диапозитива толстое зеркальное стекло 3.

В качестве диапозитива может быть использовано изображение, полученное на стеклянной пластинке или пленке методами галогенидосеребряной фотографии. Этим методом могут быть получены также копии текста или рисунка, напечатанного, нарисованного или написанного с одной стороны бумажного листа. В этом случае приходится считаться с определенным воздействием на фотополупроводниковый слой фактуры бумаги, что отрицательно влияет на качество репродуцирования.

Контактное копирование производят в лучах источника света, к которому предъявляются определенные требования. Выбор того или иного осветителя непосредственно зависит от зоны спектральной чувствительности фотослоя. При ра-

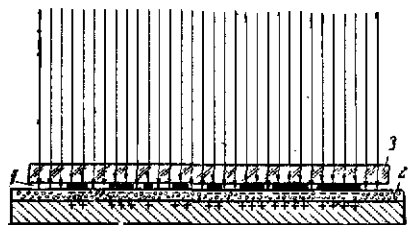


Рис. 40. Контактное копирование

боте с несенсибилизированными электрофотографическими бумагами на основе окиси цинка применяют источники ультрафиолетового излучения, например ртутно-кварцевые лампы типа ПРК-4. Могут быть применены и обычные фотолампы, а также люминесцентные лампы.

Величина экспозиции при контактном копировании определяется экспериментально. Для несенсибилизированных электрофотографических бумаг при работе с источником света мощностью 100—150 *вт*, находящемся от слоя на расстоянии 0,5 *м*, она находится в пределах 0,5—5 *сек* (в зависимости от плотности диапозитива). Для сенсibilизированных бумаг величина экспозиции в 10—100 раз меньше.

Проекционное копирование. Существует большое количество разнообразных электрофотографических устройств, в основу которых положено проекционное копирование. Для проекционного копирования в электрофотографии используют обычные универсальные фотоувеличители, например типа У-2. К фотоувеличителю может быть пристроен затвор какой-либо из малоформатных пленочных фотокамер, что позволит точно регулировать время экспонирования в достаточно широких пределах. Нужно брать камеру со съемной задней крышкой (рис. 41). Объектив аппарата вывинчивается, после чего камеру закрепляют на тубусе увеличителя с помощью переходной муфты.

В Научно-исследовательском институте электрографии разработана конструкция портативного переносного электрофотографического увеличителя, снабженного генератором постоянного тока высокого напряжения, коронным электризатором и некоторыми другими принадлежностями. Вся установка помещается в небольшом чемодане (рис. 42).

Все, что сказано относительно подбора источника освещения, остается в силе и для проекционного копирования. При работе с электрофотографическими бумагами наводку на рез-

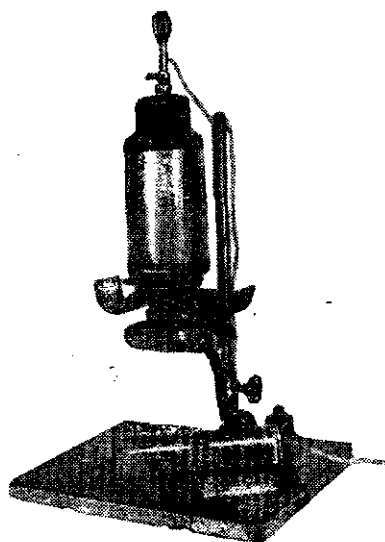


Рис. 41. Фотоувеличитель для проекционного копирования

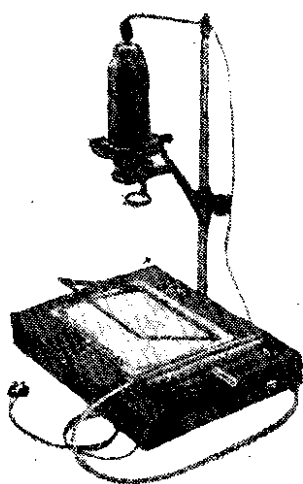
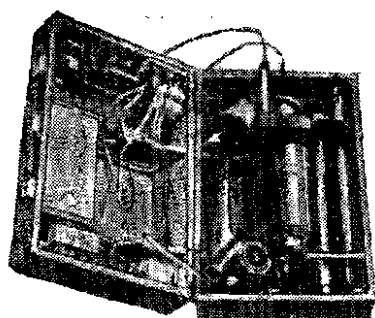


Рис. 42. Переносный электрофотографический увеличитель в сложенном и рабочем положении. На столе увеличителя — рамка для удерживания электрофотографической пластины

кость, как и в обычной фотографии, можно производить непосредственно на светочувствительный слой, используя красный светофильтр. Если наводка проводится до электризации фотослоя, светофильтр не нужен.

Светочувствительный слой электрофотографических селеновых пластины интенсивно окрашен. Поэтому наводка на резкость затруднена. Целесообразно наводку на резкость производить на листок белой бумаги, размеры которого равны размерам электрофотографической пластины.

Для того чтобы точно поместить электрофотографическую пластину, на столе увеличителя приклеивают картонные или фанерные установочные марки или используют жестко фиксированные рамки.

Продолжительность экспозиции чаще всего устанавливается экспериментально.

Копирование в отраженном свете и фотографирование с натуры. Копирование в отраженном свете — основной метод репродукционной фотосъемки. Поскольку этот вид фотосъемки преобладает в современной электрофотографии, постольку и копирование в отраженном свете должно привлечь пристальное внимание каждого, кто интересуется новым репродукционным процессом.

В отраженном свете обычно репродуцируются непрозрачные оригиналы — отдельные страницы книг, газет и журналов, чертежи, гравюры, ведомственная документация (рис. 43). Съемка производится как в натуральную величину, так и с увеличением или уменьшением. Особенно целесообразно использовать электрофотографический процесс при репродуцировании с увеличением. Это объясняется вы-

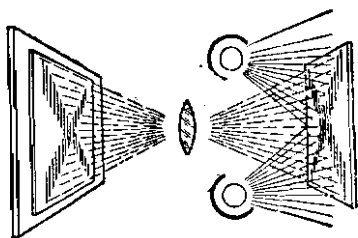


Рис. 43. Копирование в отраженном свете

сокой разрешающей способностью электрофотографии. Напомним читателю, что разрешающей способностью светочувствительного материала называют число линий с равными пробелами между ними, которые могут быть отдельно переданы на одном погонном миллиметре этого материала. Величина разрешающей способности зависит главным образом от размера частиц проявляющего порошка. Выпускаемые промышленностью проявители и электрофотографические бумаги позволяют достигнуть разрешающей способности до 30—50 *лин/мм*. Экспериментальное проявление жидкими проявителями в отдельных случаях позволяет повысить эту величину до 250 *лин/мм*. Высокая разрешающая способность наблюдается также при проявлении скрытых электростатических изображений мельчайшими частицами красителя, диспергированными в воздушной струе.

Приемы и методы, выработанные при репродукционной фотосъемке на галогенидосеребряных светочувствительных слоях, в большинстве своем сохраняют силу и в электрофотографии. Это относится, в частности, к необходимости следить за строгой перпендикулярностью оси объектива репродукционного электрофотографического аппарата к плоскости оригинала и фотополупроводникового слоя, на котором производится репродуцирование. В противном случае неизбежны перспективные искажения копии по сравнению с оригиналом.

При репродуцировании в отраженном свете рекомендуется применять фотослой, обладающие высокой электростатической контрастностью. Слой эти должны удерживать достаточно высокий предельный потенциал, иметь низкую

скорость темнового спада потенциала и подвергаться максимальной деполяризации при освещении.

В настоящее время в СССР и за рубежом серийно изготавливаются всевозможные репродукционные электрофотографические аппараты, рассчитанные на работу в отраженном свете. Аппараты эти комплектуются оборудованием, предназначенным для электризации фотослоев, проявления и закрепления изображений. Иногда все эти устройства соединены в рамках одного аппарата.

При электрофотографическом репродуцировании съемку производят на обычную фотопленку, после чего негативные микрофотокопии копируют в проходящем свете на электрофотографическую бумагу. Созданы также автоматические устройства для увеличения микрофотоснимков с получением оттисков на обычной бумаге.

Фотографирование с натуры в современной электрофотографии сколько-нибудь широкого распространения не получило. Причиной этому служит то, что в этой области электрофотография пока еще не может конкурировать с обычной фотографией. Светочувствительность электрофотографических слоев не может идти ни в какое сравнение со светочувствительностью галогенидосеребряных фотослоев. Качество электрофотографических изображений,

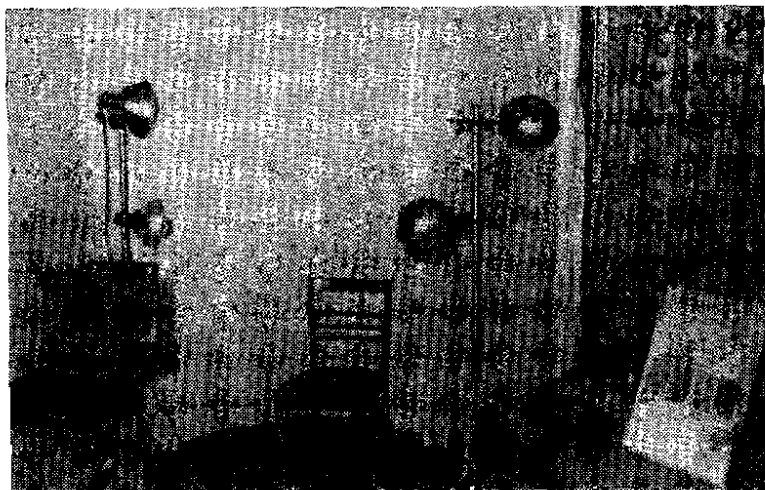


Рис. 44. Электрофотоателье

если сравнивать их с обычными фотографиями, также еще низко. Важным фактором является отсутствие дешевых и надежных электрофотоаппаратов, в то время как к услугам фотолюбителя имеется много фотографических камер, предназначенных для различных целей и способных удовлетворить самые разные требования.

Тем не менее электрофотографирование с натуры возможно. Процесс этот легче осуществить в помещении, в стационарных условиях, где удобнее расположить необходимую аппаратуру, осветители, источники высокого напряжения. На рис. 44 изображено электрофотоателье Научно-исследовательского института электрографии.

Такое же электрофотоателье работало в Москве в Государственном Политехническом музее в дни VI Всемирного фестиваля молодежи и студентов (1957 г.).

Электрофотографическим портретам (рис. 45) пока еще свойственна несколько чрезмерная контрастность. Это вызвано, однако, не столько несовершенствами способа, сколько недостатком опыта у первых наших электрофотографов, неумением правильно подобрать режимы и материалы.

Лучшие результаты получаются при технической фотосъемке.

О возможностях натурной электрофотографии можно судить по снимку, репродукция которого изображена на рис. 46.



Рис. 45. Электрофотографический портрет

Электрофотография на фотоэлектретах. Читатель уж знаком с методами электризации электрофотографического слоя путем сообщения фотополупроводнику фотоэлектретного состояния. Тот же метод положен в основу нового электрофотографического процесса, разработанного в 1955 г. В. М. Фридкиным с группой сотрудников.



Рис. 46. Электрофотографический отпечаток натурального фотоснимка

На металлическую пластину 1 (рис. 47) наносят слой фотополупроводника 2, способного принимать фотоэлектрическое состояние. Может быть использован, например, слой поликристаллической серы толщиной около 10 мк, нанесенный на алюминиевую или цинковую подложку. Сверху на слой кладется полупрозрачный электрод 3 — кварцевая пластинка с напыленным на ее поверхность микроскопическим слоем золота и серебра. Слой этот получают методами катодного распыления металлов. К электродам подводят постоянное напряжение порядка 1,5—1,8 кв от источника постоянного тока 4. После выдержки в темноте под напряжением в течение нескольких секунд фотослой освещают в течение 5—10 мин ртутно-кварцевой лампой 5. Может быть применена лампа ПРК-2, создающая освещенность на поверхности слоя порядка 10^{-3} в/см². В процессе облучения под

напряжением слой серы приобретает фотоэлектрическое состояние. Чтобы исключить переход зарядов с прозрачного электрода на фотоэлектрик, между ними помещают тонкую стеклянную пластину.

Для того чтобы сформировать на слое скрытое электростатическое изображение, на фотоэлектрик проецируют диапозитив 6. В процессе экспозиции, которая длится 1—2 мин при снятом напряжении, освещенные участки слоя теряют фотоэлектрическое состояние. Затемненные участки сохраняют поляризацию. Если теперь присыпать слой проявляющим порошком, частицы порошка пристанут лишь к тем участкам, которые сохранили фотоэлектрическое состояние.

В этом способе потенциальный рельеф на фотослое сохраняется в течение длительного времени, в силу чего отпадает необходимость в немедленном проявлении скрытого изображения. Рельеф этот сохраняется и после многократного проявления и переноса изображений. Поэтому электрофотография на фотоэлектриках особенно удобна там, где необходимо получить несколько копий одного и того же изображения.

При освещении всего фотослоя в течение небольшого времени фотоэлектрическое состояние исчезает. После этого пластина может быть повторно использована для воспроизведения новых изображений.

Другой метод использования фотоэлектриков в электрофотографии состоит в том, что слой 2 экспонируют через негатив 6 без предварительного освещения его для создания фотоэлектрического состояния. Фотоэлектрическое состояние возникает на слое в процессе экспонирования на участках, соответствующих прозрачным участкам негатива. При проявлении слоя получается позитивное изображение.

Формирование скрытого изображения на диэлектриках.
Проявление скрытого изображения непосредственно на

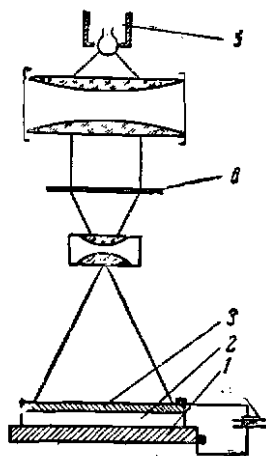


Рис. 47. Схема электрофотографического процесса на фотоэлектриках

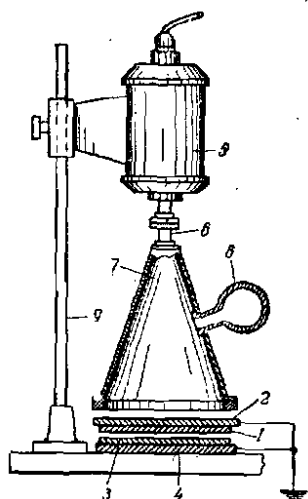


Рис. 48. Схема электрофотографического процесса на диэлектриках

электрофотографической пластины со временем приводит к истиранию поверхности фотополупроводникового слоя и выходу пластины из строя. Этого можно избежать, если использовать фотополупроводник лишь для первичного формирования скрытого электростатического изображения, которое затем переносят на пленку диэлектрика и уже здесь проявляют.

Как это делается, становится ясно при рассмотрении конкретного примера. Скрытое электростатическое изображение формируют на полистироловой или полиэтиленовой пленке 1 (рис. 48), которую закрепляют на полупрозрачном электроде 2. Перед экспонированием пленке сообщают некоторый потенциал с помощью коронного электризатора. Полупрозрачный электрод с пленкой устанавливают в темноте на поверхности фотополупроводникового слоя 3, на проводящей подложке 4. Электрод и подложку соединяют между собой проводником и заземляют.

Позитив оригинала, который необходимо репродуцировать, вставляют в фотоувеличитель 5. На объективе 6 увеличителя закреплен светонепроницаемый колпак 7, снабженный резиновой грушей 8 для отсасывания воздуха. Опуская увеличитель по штанге 9, приводят нижнюю поверхность колпака в контакт с полупрозрачным электродом.

Как пленка, так и электрод должны быть достаточно эластичны. Для того чтобы плотно прижать пленку к фотополупроводниковому слою, следует повысить давление внутри колпака, что делают с помощью груши.

В процессе экспонирования заряды с освещенных участков пленки уходят через освещенные участки слоя фотополупроводника. Скрытое электростатическое изображение на пленке может быть проявлено путем напыления мелко раздробленного красителя.

При другом способе формирования скрытого электростатического изображения на диэлектрике пленку помещают между двумя электродами. Первым из них служит проводящая прозрачная пластинка, соединенная с отрицательным зажимом источника постоянного тока. На пластинке нанесен слой фотополупроводника. Вторым электродом служит металлическая пластинка, соединенная с положительным зажимом. Изображение проецируют на фотослой через прозрачный электрод. Достоинством этого способа является отсутствие необходимости электризации диэлектрика перед экспонированием.

ПРОЯВЛЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В процессе экспонирования на поверхности фотополупроводникового слоя формируется скрытое электростатическое изображение. Чтобы сделать это изображение видимым, его необходимо проявить. Проявление заключается в нанесении на слой частиц красителя, которым предварительно сообщен заряд, противоположный по знаку заряду изображения.

Проявление — очень важная операция. От правильного ее выполнения во многом зависит качество электрофотографического изображения.

Известно много различных способов проявления. Рассмотрим некоторые из них.

Каскадный способ. В первые годы развития электрофотографии электростатические изображения проявляли, опыливая их порошком красителя. Порошок помещали в сито с достаточно мелкими ячейками. Когда сито трясли над пластиной, на последней отлагался слой порошка. Затем пластину подвергали действию воздушной струи из форсунки. При этом часть красящих частиц сдувалась, а часть — оставалась на пластине, удерживаемая силами электростатического притяжения. Качество изображения было невысоким. Проявляющий порошок отлагался и на светлых участках изображения, образуя фон, искажавший рисунок.

Лучшие результаты получаются с помощью каскадного способа, при котором происходит перемещение проявляющего порошка по поверхности фотополупроводникового слоя, при этом частицы красителя осаждаются на участках слоя, несущих скрытое электростатическое изображение.

Наиболее простой метод электризации зерен красителя основан на трибоэлектрическом эффекте. Смысл явления состоит в электризации зерен двух различных диэлектриков зарядами различной полярности при контактировании зерен. При этом знак и величина полярности определяются относительным расположением диэлектриков в трибоэлектрическом ряду.

В литературе проводится следующий пример трибоэлектрического ряда:

Кукурузная мука.
Пробка.
Мел.
Пигментированный ликоподий.
Смола.
Песок.
Сернистая медь.
Винная кислота.

При взаимном трении помещенных в этом ряду диэлектриков расположенный сверху приобретает положительную полярность, а расположенный снизу — отрицательную. Величина потенциала тем больше, чем дальше расположены диэлектрики друг от друга в трибоэлектрическом ряду.

Место того или иного материала в ряду определяется экспериментально путем замера полярности с помощью электрометра. Следует отметить, что состояние поверхности порошковых частиц оказывает существенное влияние на знак и величину потенциала, полученного тем или иным компонентом ряда в процессе трибоэлектризации. Поэтому бывает и так, что проявляющий порошок получает совсем не тот знак, как это можно было ожидать, исходя из теоретических предпосылок.

Трибоэлектрический эффект в электрофотографии используется следующим образом. Проявляющий порошок составляют из двух диэлектрических компонентов — крупнозернистого носителя и мелкозернистого пигмента. Частицы пигмента в результате трения о носитель должны приобретать заряд, противоположный по знаку заряду изображения. Размер пигментированных частиц сравнительно мал (5—15 мк). Следует иметь в виду, что размер этот определяет величину разрешающей способности способа. Если необходимо получить мелкозернистые изображения, следует соответствующим образом изменить размеры проявляющих частиц.

Величина частиц носителя значительно больше (0,3—0,6 мк). Однако, как уже известно читателю, носитель в процессе проявления не участвует. Его задача состоит в сообщении частицам красителя некоторого, вполне определенного заряда, а также в том, чтобы доставить краситель к месту проявления — к заряженным участкам скрытого электростатического изображения. На величину разрешающей способности размер частиц носителя большого влияния не оказывает.

В качестве красителей в электрофотографических проявляющих смесях применяют измельченные синтетические или естественные смолы — копал, канифоль, сандарак, идитол, эфир гарпиуса и др., к которым зачастую прибавляют те или иные пигменты. Копал — это ископаемая смола, обладающая большой твердостью и высокой температурой плавления (130—300° С). Среди различных сортов копала, которые применяются и могут найти применение в электрофотографии, упомянем «занзибар», «конго твердый», «мадагаскар».

Канифоль — твердая составная часть смолы хвойных деревьев — сосны, пихты, ели, лиственницы, которая остается после отгонки летучей части — скипидара. В твердом состоянии канифоль представляет собой хрупкое стекловидное вещество. Она размягчается при температуре 60—70° С и становится жидкой при температуре 120° С. Химический состав канифоли довольно сложен. Она состоит главным образом из смоляных кислот. Низкая температура плавления канифоли способствует тому, что эта смола, а также ее производные получили широкое распространение в электрофотографической практике. Среди производных назовем эфир гарпиуса и смолу КГМ.

Эфир гарпиуса представляет собой продукт реакции глицерина с канифолью.

Смола КГМ является основным компонентом рецептов электрофотографических проявителей.

Среди других естественных смол упомянем шеллак.

Сравнительно широко применяются в электрофотографии всевозможные синтетические смолы — поликонденсационные и полимеризационные. Упомянем идитол — прозрачную смолу с температурой плавления 100—120° С.

В электрофотографических проявителях используются всевозможные асфальты и битумы — твердые или вязкие вещества сложного химического состава.

При подборе красителя для электрофотографических проявляющих смесей следует обратить внимание на температуру плавления материала. Так как электрофотографии чаще всего закрепляют нагреванием, температура плавления красителя не должна быть высокой. Во всех случаях она должна быть ниже температуры обугливания бумаги. С другой стороны, температура эта не должна быть слишком низкой — в противном случае частицы красителя будут слипаться между собой. Важным требованием, вытекающим непосредственно из природы электрофотографического процесса, является требование однородности заряда, генерируемого на порошке в процессе трибоэлектрической электризации. Большинство частиц красителя при взаимодействии с частицами носителя должно приобретать заряды одного знака. В противном случае фон проявленного изображения будет сильно завуалирован, ибо частицы красителя, несущие заряд, одинаковый по знаку заряду изображения, осадут на светлые участки этого изображения.

Роль носителя в проявителях с успехом исполняет речной кварцевый песок. Для этой же цели применяют мелкие стеклянные и полистироловые шарики, и некоторые другие материалы. Отношение количества красителя в проявляющем порошке к количеству носителя составляет примерно от 1 : 10 до 1 : 30 весовых частей. При использовании в качестве носителя речного песка с диаметром частиц 0,3—0,6 мм лучшим отношением является 1 : 30.

Отсюда типовой рецепт проявляющего электрофотографического порошка.

Краситель	3—10%
Носитель	90—97 »

На стр. 78 приведено несколько типовых рецептов электрофотографических красителей, разработанных в Научно-исследовательском институте электрографии.

Методика изготовления проявляющих порошков состоит в следующем. Компоненты красителя тщательно взвешивают на аналитических весах и загружают в поставленную на огонь или электроплитку фарфоровую чашку. Расплавляют смолу и, непрерывно перемешивая, добавляют пигментирующие подцветки. Расплавленную массу выливают на металлический лист и дают остынуть. Застывшие куски тщательно измельчают. Чтобы краситель не прилипал к стенкам

Черный краситель		Синий краситель	
А. Смола КПМ	55%	Смола КПМ	90%
Битум	18 »	Основание основного си- него	10 »
Черная офсетно-лито- графская краска		Зеленый краситель	
Индულიн'	9 »	Смола КПМ	95%
Б. Идитол	80 »	Основание основного яр- ко-зеленого	5 »
Нигрозин спиртовой	20 »	Желтый краситель	
Красный краситель		Смола КПМ	90%
А. Смола КПМ	90%	Пигмент желтый проз- рачный К	10 »
Родамин Ж	6 »		
Пигмент алый	4 »		
Б. Идитол	80 »		
Пигмент ярко-красный	20 »		

ступки, в которой размалывают массу, в ступку доливают немного дистиллированной воды. Когда необходимая степень измельчения достигнута, воду отфильтровывают, после чего высушивают порошок. Изготовленный таким образом краситель присыпают к порошку-носителю, зерна которого предварительно промывают горячей водой и обезжиривают (путем растворения в воде мыла или тринатрийфосфата). Готовый электрофотографический проявитель слегка встряхивают, чтобы частицы носителя и красителя взаимно наэлектризовались.

При изготовлении электрофотографических проявляющих порошков промышленным путем для измельчения составляющих порошка применяют различные вибрационные истиратели, электрогидравлические дробители и др.

Простейшие проявляющие устройства. Скрытые электростатические изображения на электрофотографических пластинах и бумагах можно проявлять в обычных кюветах. В кювету засыпают немного проявляющего порошка. При этом кювету нагибают, чтобы порошок собрался у одной из стенок. Затем на дно кладут электрофотографическую пластину и легким покачиванием заставляют порошок медленно перемещаться по поверхности фотополупроводникового слоя, несущего скрытое изображение. Точно так же поступают и при проявлении электрофотографических бумаг.

В 200 см³ проявителя можно обработать свыше 100 электрофотографических отпечатков размером 9×12 см. Не-

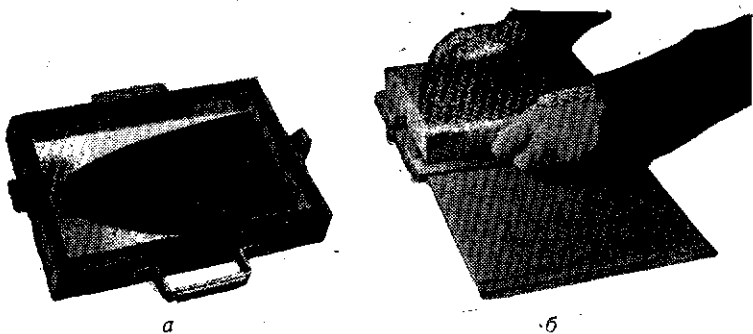


Рис. 49. Проявляющее приспособление:

а — общий вид, б — проявление электрофотографической пластины

значительный расход проявителя — большое преимущество электрофотографии по сравнению с обычными фотографическими процессами. Удовлетворительные рабочие свойства истощенного электрофотографического проявителя могут быть легко восстановлены. Для этого в порошковую смесь необходимо добавить некоторое количество красителя.

Несколько более сложное проявляющее приспособление показано на рис. 49, а. Это прямоугольный бачок, внутренняя поверхность которого обита оцинкованной жстью. На стенках бачка закреплены ручки и зажимы для крепления кассеты. В бачок засыпают проявляющий порошок. Затем, как показано на рис. 49, б, кассету вставляют в зажимы, выдвигают шторку и переворачивают бачок. Легким покачиванием заставляют проявляющий порошок перемещаться по поверхности электрофотографической пластины. Когда проявление закончено, бачок поворачивают в исходное положение, зажимают зажимы и освобождают кассету. Теперь уже проявленная электрофотографическая пластина может быть вынута из кассеты на свету.

Другое проявляющее приспособление представляет собой плоский ящик 1 (рис. 50), качающийся вокруг горизонтальной оси 2, закрепленной на стойках 3. Ящик снабжен зажимами для установки электрофотографической пластины 4. Проявляющий порошок 5 находится в резервуаре 6, отделенном от ящика поднимающейся заслонкой 7. Величина отверстия между заслонкой и дном ящика может быть по желанию изменена; величина эта определяет (конечно, весьма приблизительно и грубо) количество порошка,

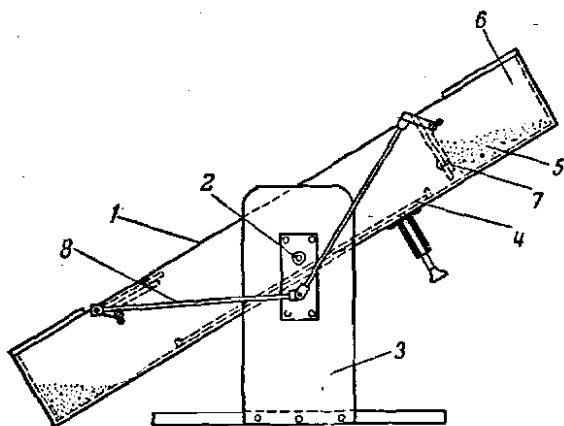


Рис. 50. Проявляющее приспособление с качающимся ящиком

поступающего на пластину. Для перемещения заслонки предусмотрена тяга 8.

Искажения потенциального рельефа и борьба с ними. Общая ионизация воздуха, возникающая при электризации фотополупроводниковых слоев в коронных разрядниках, нередко служит причиной искажения скрытого электростатического рельефа. Явление это обычно наблюдается в электрофотографических копировально-множительных машинах, электризирующее, экспонирующее и проявляющее устройства которых расположены близко друг от друга.



Рис. 51. Эффект ионного «проявления»

Некоторая часть ионов, генерируемых коронным разрядником, не осаждается на фотополупроводниковом слое и постепенно накапливается в замкнутом объеме корпуса копировально-множительной машины. На участке от электризатора 1 (рис. 51) до места экспонирования 2 отрицательные ионы 3, свободно летающие в воздухе, не могут осесть на фотополупроводниковый слой 5, вследствие того что он несет отрицательные заряды 4.

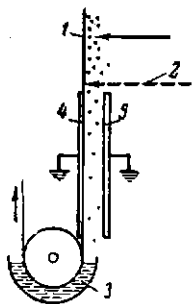


Рис. 52. Приспособление для борьбы с ионным «проявлением»



Рис. 53. Краевой эффект в электрофотографии: а — оригинал, б — электрофотографическая копия

После экспонирования слоя в лучах 6 на полупроводнике образуется некоторый потенциальный рельеф — скрытое электростатическое изображение, состоящее из отрицательно заряженных и электрически нейтральных участков. Отрицательные ионы, хаотично движущиеся около поверхности экспонированного слоя, могут попасть и действительно попадают в зону действия сил электрического поля, образованного потенциальным рельефом. При этом ионы будут немедленно захвачены полем и осаждены на экспонированных, электрически нейтральных участках. Проявление скрытого электростатического изображения ионами происходит весьма интенсивно вследствие большой подвижности ионов. Результатом такого проявления является снижение электростатической контрастности изображения, а следовательно, и ухудшение его качества.

Для того чтобы устранить эффект ионного проявления, пропускают экспонированный фотополупроводниковый материал 1 (рис. 52), непосредственно после экспонирования в лучах 2 и перед проявлением в устройстве 3, между двумя заземленными металлическими пластинами 4 и 5. Зазор между пластиной 5 и фотополупроводниковым слоем должен быть достаточно мал, чтобы затруднить проникновение ионов к потенциальному рельефу.

При проявлении каскадным способом нередко приходится сталкиваться с искажением электрофотографического изображения, известным под наименованием краевого эффекта. Явление это состоит в интенсивном отложении красителя по краям сплошных зачерненных участков и в минимальном проявлении центральной зоны (рис. 53). Краевой эффект в течение долгого времени был причиной того, что электрофотография использовалась главным образом

только для репродуцирования штриховых изображений.

Чтобы разобраться в причине этого явления, вспомним, что проявление электростатического изображения происходит вследствие воздействия электростатического силового поля, образованного потенциальным рельефом, на частицы проявляющего порошка. Силовые линии поля должны выходить за пределы фотополупроводникового слоя. В противном случае частицы красителя к слою притягиваться не будут.

Экспериментальным путем установлено, что силовые линии поля выходят в пространство над пластиной главным образом у краев изображения. Внутри сплошных замкнутых участков они замыкаются преимущественно через полупроводниковый слой.

Поэтому частицы проявляющего красителя и осаждаются в основном на краях сплошных участков. Хорошо и полностью проявляются лишь тонкие линии.

Устранить краевой эффект позволяет сравнительно несложное приспособление. Это металлическая пластина 1 (рис. 54), которую помещают в непосредственной близости от электрофотографической пластины 2. Пластины 1 заземляют. Приспособление позволяет существенно изменить характер силового поля. В этом случае большинство силовых линий перпендикулярны к поверхности фотополупроводникового слоя. Они выходят в пространство над электрофотографической пластиной и максимально воздействуют на частицы проявляющего порошка.

В настоящее время большинство проявляющих устройств, рассчитанных на проявление полутоновых электрофотографических изображений, снабжаются дополнительными заземленными электродами, устраняющими краевой эффект. Аналогичные результаты могут быть получены путем растрнирования изображения, т. е. разделения на отдельные небольшие точки примерно тем же методом, как это делается при воспроизведении фотографий в газетах.

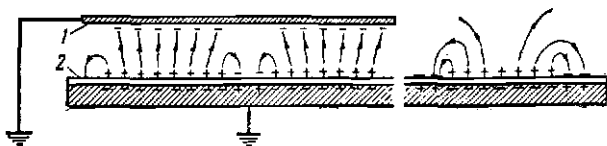


Рис. 54. Приспособление для устранения краевого эффекта

Негативное проявление. Одним из основных преимуществ электрофотографии является возможность получения позитивного изображения непосредственно с позитивного оригинала, минуя негативный процесс. Тем не менее сплошь и рядом встречаются случаи, когда необходимо сохранить обычную технологическую схему — «негатив — позитив». Так происходит, например, если нужно получить электрофотографический отпечаток с обычного фотографического негатива.

Существует несколько методов негативного проявления электрофотографий. Простейший из них состоит в проявлении изображения проявляющим порошком, частицы красителя которого несут электрический заряд, одинаковый по знаку с зарядом изображения. Краситель в этом случае оседает на экспонированных, электрически нейтральных участках (рис. 55).

Проявляющие порошки, рецептура которых была приведена, работают по схеме «позитив — позитив». Это значит, что частицы красителя в процессе трибоэлектризации приобретают положительный заряд и впоследствии оседают на отрицательно заряженных участках изображения.

Частицы красителя проявляющего порошка, работающего по схеме «негатив — позитив», должны приобретать в процессе трибоэлектризации заряд, одноименный заряду слоя. Этого можно добиться соответствующим подбором материала носителя и красителя. В качестве носителя негативного проявляющего порошка применяют стальные или стеклянные шарики 1 (рис. 56), поверхность которых покрыта тонкой диэлектрической пленкой 2, изготовленной из материала, который при трении с частицами красителя 3 сообщает последним отрицательный заряд.

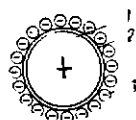
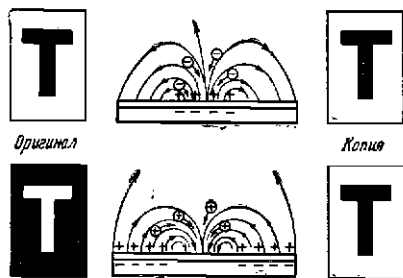


Рис. 55. Негативное проявление электрофотографического изображения

Рис. 56. Зерно проявляющего порошка

Рецепт негативного проявителя

Идитол	45%
Пигмент синий трифонилметановый	5 »
Окись магнезия	15 »
Карбонильное железо	35 »

Карбонильное железо служит основой для проявляющих частиц, позволяющей вести проявление методом магнитной кисти. Окись магнезия является компонентом, трибоэлектрические свойства которого обеспечивают генерацию на проявляющих частицах идигола отрицательной полярности. Вместо окиси магнезия для той же цели могут быть применены манная крупа, углекислый магний, измельченное органическое стекло, полистирол.

При проявлении скрытого электростатического изображения, участкам которого сообщен положительный потенциал, проявители меняются ролями: негативный работает как позитивный, и наоборот.

Другой метод негативного проявления состоит в том, что процесс ведут в присутствии дополнительного электрода, которому сообщен потенциал, одинаковый по знаку заряду изображения. Величина потенциала должна быть равна величине потенциала на неэкспонированных участках. Подложку 1 (рис. 57) электрофотографической пластины присоединяют к одному из зажимов источника постоянного тока 2, дополнительный электрод 3 — к другому. Если теперь в промежуток между пластиной и электродом направить струю проявляющего порошка, положительно заряженные частицы 4 притянутся к неэкспонированным участкам изображения и проявят его негативно (при условии, что пластине при электризации был сообщен положительный потенциал). Отрицательно заряженные частицы 5 притянутся к дополнительному электроду.

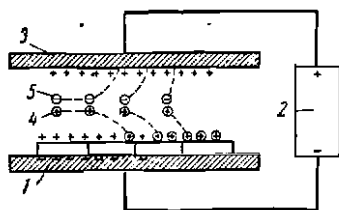


Рис. 57. Приспособление для негативного проявления

Применение дополнительного электрода позволяет регулировать интенсивность процесса проявления, изменяя по желанию степень осаждения частиц красителя на отдельных участках изображения.

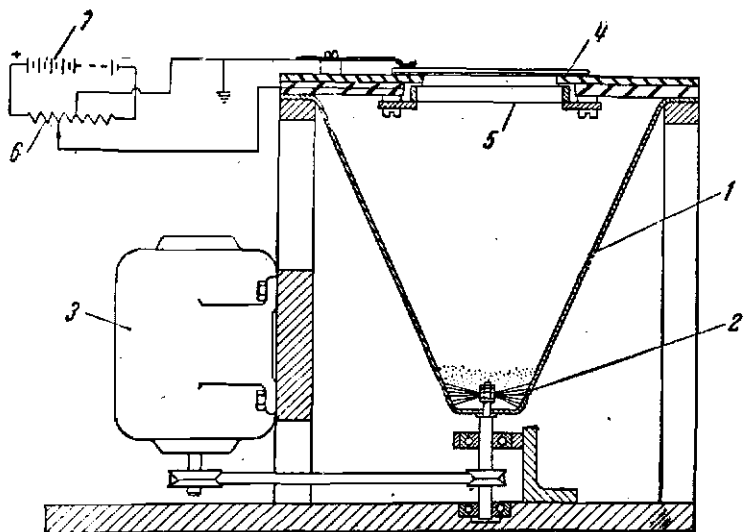


Рис. 58. Проявляющее устройство с дополнительным электродом

Дополнительный электрод может быть выполнен в виде системы тонких стальных проволочек, расположенных на расстоянии 1—2 мм от поверхности фотополупроводникового слоя. Проволочки эти располагают параллельно друг другу с частотой до 30 на сантиметр. Интенсивность и качество проявления в этом случае регулируются путем сообщения дополнительному электроду определенного по величине и знаку потенциала.

На рис. 58 изображено проявляющее устройство, снабженное дополнительным электродом. Это конусообразный контейнер 1 с проявляющим порошком, в вершине которого помещен вентилятор 2, соединенный с электродвигателем 3. Электрофотографическая пластина 4 устанавливается на верхней крышке контейнера, снабженной прямоугольным отверстием. Пластику устанавливают полупроводниковым слоем вниз. Дополнительный электрод 5 подключают через делитель напряжения 6 к источнику постоянного тока 7.

Способ магнитной кисти. В качестве носителя в электрофотографических проявителях могут быть использованы различные металлические опилки — дюралюминиевые,

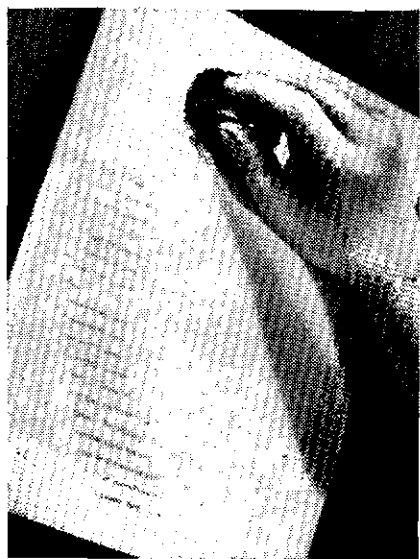


Рис. 59. Проявление методом магнитной кисти

бронзовые, стальные. Оптимальный размер опилок находится в пределах 0,25—0,5 мм. Если опилки сделать более мелкими, они пристанут к оттиску. Более крупные опилки сильно царапают фотополупроводниковый слой. Хорошие результаты были получены при работе с дюралюминиевыми опилками.

Применяя в качестве носителя металлические опилки, необходимо подбирать краситель таким образом, чтобы при контактировании с опилками на нем возникали заряды вполне определенного знака.

Использование стальных опилок позволило создать несложное проявляющее приспособление, особенно удобное при проявлении электрофотографических бумаг вручную. Это постоянный магнит, который подносят к опилкам, смешанным с красителем. Опилки притягиваются к магниту, образуя некоторое подобие кисти. Если такой кистью провести по фотополупроводниковому слою, несущему скрытое электростатическое изображение, частицы красителя притянутся к противоположно заряженным участкам изображения и проявят их (рис. 59). Стальные опилки останутся на поверхности магнита.

Железо и сталь занимают место в нижней части трибоэлектрического ряда. При взаимодействии с красителем, представляющим собой пигментированные смоляные частицы, стальные опилки электризуются отрицательно, а частицы красителя — положительно. Именно такая полярность и нужна нам для проявления отрицательно заряженных участков скрытого изображения, сформированного на фотополупроводниковых слоях из оксида цинка.

Методом магнитной кисти хорошо проявляются как штриховые, так и полутонные изображения, а также изображения, имеющие большие сплошные участки. Дополнительный электрод в этом случае излишен.

В качестве кисти можно применить электромагнит с катушками, включенными в цепь переменного тока. Вибрация опилок способствует более полному и четкому проявлению скрытого электростатического изображения.

Металлические опилки неизбежно царапают фотополупроводниковый слой. Поэтому способ магнитной кисти можно рекомендовать лишь для проявления электрофотографических бумаг, используемых однократно. Проявление способом магнитной кисти легко механизировать с помощью приспособления, перемещающего магнит с опилками и красителем вдоль и поперек фотополупроводникового слоя.

Жидкие проявители. Основанная на трибоэлектрическом эффекте электризация наблюдается не только при смешивании двух диэлектрических порошков, но и при диспергировании диэлектрического порошка в жидкости, обладающей высоким удельным сопротивлением. Это явление положено в основу жидкого способа проявления электрофотографических изображений.

В качестве среды для диспергирования используются жидкости, обладающие высоким удельным сопротивлением (выше 10^{10} ом.см) и сравнительно низкой диэлектрической постоянной (менее 2,5). Для этой цели были испробованы авиационный бензин (удельное сопротивление порядка $1 \cdot 10^{16}$ ом.см), петролейный эфир ($2,5 \cdot 10^{17}$ ом.см), керосин, бензол, скипидар, уайт-спирт, ароматические углеводы и их галогенидозамещенные гомологи, фреон 113 и др. В этих жидкостях превосходно диспергируются различные типографские краски всевозможных цветов, сажа, нигрозин и др.

Оптимальная концентрация красителя и жидкости составляет 1,5—2,5 г/л.

Ниже приведен типовой рецепт жидкого проявителя:

Печатная краска (№ 32, 51, 54, 70 или др.)	1,5—2,5 г
Авиационный бензин, четыреххлористый	
углерод или фреон № 113	1 л

При изготовлении жидких электрофотографических проявителей хорошо измельченный краситель постепенно

добавляют к дисперсионной среде. При диспергировании красителя жидкость непрерывно перемешивают.

Жидкий проявитель сохраняет удовлетворительные проявляющие свойства в течение нескольких месяцев. При длительном хранении жидкость перед употреблением взбалтывают и перемешивают. Отработанный проявитель можно легко восстановить, добавив к нему недостающие компоненты.

Метод жидкого проявления обеспечивает получение высококачественных электрофотографических изображений с высокой оптической плотностью и высокой разрешающей способностью (до 80, а в отдельных случаях и до 200—250 *лин/мм*). Преимуществом этого способа является то, что он не требует последующего закрепления отпечатков. Когда отпечаток вынимают из проявителя, бензин или четыреххлористый углерод, обладающие большой летучестью, быстро испаряются, а диспергированный в них краситель плотно пристает к поверхности фотополупроводникового слоя.

Преимуществом жидкого проявления является также и то, что частицы диспергированного красителя приобретают, как правило, однопольные заряды, чего трудно добиться при изготовлении сухих проявителей. Это немаловажное обстоятельство ведет к улучшению качества отпечатка, к устранению фона.

Недостатком метода является то, что большинство из перечисленных жидкостей (кроме фреона) — огнеопасны, а некоторые и токсичны. Поэтому при работе с жидкими проявителями следует соблюдать максимальную осторожность.

Для того чтобы проявить электрофотографическое изображение, пластину или бумагу погружают в налитый в кювету жидкий проявитель фотополупроводниковым слоем вниз. Процесс проявления занимает от 0,1 до 5 сек. Качество проявления контролируют визуально при рассеянном дневном или при красном свете (в зависимости от степени интегральной и спектральной чувствительности фотополупроводникового слоя). Когда процесс проявления закончен, отпечаток выносят на свет и хорошо просушивают.

Жидкий проявитель можно также распылять на фотополупроводниковый слой с помощью пульверизаторов или форсунок. В электрофотографических копировально-множительных машинах проявитель подают на слой с помощью опущенных в жидкость и контактирующих со слоем вращающихся валиков.

Другие способы проявления. Большое количество различных способов проявления не получили столь широкого распространения, как каскадный способ, метод магнитной кисти и жидкостное проявление. Делать из этого факта какие-либо выводы пока еще рано, ибо сравнительное исследование всех известных методов до сих пор не проведено.

Интерес представляет метод сухого проявления без носителя. Метод этот во многом аналогичен каскадному способу. Здесь также применяется двухкомпонентный проявитель, составленный из измельченных красителя и окиси кобальта, объемное соотношение которых 5 : 1. Однако, в отличие от каскадного способа, размер частиц обоих компонентов примерно одинаков. Частицы порошка приобретают положительный заряд за счет трибоэлектрического эффекта. При сухом проявлении без носителя могут быть получены электрофотографические изображения, обладающие высокой плотностью и достаточно большой разрешающей способностью (до 40 лин/мм). Особенно ценным является то, что в этом случае не столь сильно сказывается краевой эффект, неизбежный при проявлении каскадным способом (без дополнительного электрода).

В некоторых специальных областях электрофотографии применяется метод порошкового облачка. В качестве проявителя используется аэрозоль красителя — система взвешенных в воздухе мельчайших твердых или жидких частиц красителя, имеющих размер от 10^{-7} до 10^{-5} см. Аэрозоль подают в камеру, в которой находится электрофотографическая пластина, через капиллярные металлические трубки. При трении о стенки трубок в результате трибоэлектрического эффекта частицы красителя приобретают заряды различных знаков. Проявление ведут в присутствии дополнительного электрода. Изменяя величину и полярность потенциала, регулируют интенсивность осаждения частиц красителя определенного знака на электрофотографическую пластину. Этим же путем осуществляют или позитивное, или негативное проявление.

В электрофотографических множительных машинах проявление осуществляют при помощи вращающихся меховых щеток, погруженных в контейнер с красителем и контактирующих с фотополупроводниковым покрытием, несущим скрытое изображение. Частицы красителя в результате взаимодействия с волокнами щетки приобретают

определенный электрический заряд. Щетку изготавливают из стриженного бобрового, енотового или скунсового меха.

Перенос электрофотографического изображения. Проявленное порошковым красителем изображение 1 (рис. 60) может быть перенесено с фотополупроводникового слоя 2 на обычную бумагу, ткань или какой-либо другой материал. Для этого на порошковое изображение накладывают, например, бумажный лист 3, на который затем с помощью коронного разрядника 4 осаждают электрические заряды, одноименные по знаку заряду изображения и противоположные по знаку заряду красителя. При этом частицы красителя притягиваются к бумаге и переходят на ее поверхность.

Перенос изображения, обработанного жидким проявителем, затруднителен. Поэтому такие проявители применяют обычно лишь для проявления электрофотографических бумаг. Электрофотографические пластины, используемые многократно, проявляют сухими порошковыми смесями.

С одного проявленного изображения на фотополупроводниковом слое можно получить несколько оттисков на бумаге. Для этого лист, на котором сделан оттиск, до снятия его со слоя подвергается вторичной электризации при помощи коронного разрядника 5. Однако теперь уже бумаге сообщается потенциал, полярность которого одинакова с полярностью красителя. При этом часть красителя переходит обратно на фотополупроводниковый слой. Вместе с тем на бумаге остается достаточно проявляющего вещества для формирования вполне качественного оттиска. Лист снимают, а остаток красителя на фотополупроводниковом слое используют для получения аналогичным образом 5—8 копий.

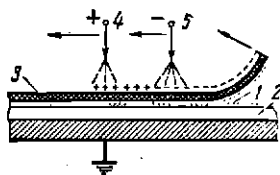


Рис. 60. Перенос электрофотографического изображения

Перенос электрофотографического изображения неизбежно снижает его качество. Этот метод применяется обычно при воспроизведении штриховых изображений. При переносе резко снижается разрешающая способность (с 40 до 16 лин/мм при проявлении каскадным способом изображения на селеновом слое). Тем не менее перенос

электрофотографических изображений применяется достаточно часто и широко, особенно в электрофотографических копировально-множительных машинах.

На качество перенесенного изображения большое влияние оказывает структура поверхности полупроводникового слоя. Электрофотографические бумаги на основе окиси цинка, имеющие в сравнении с селеновыми слоями более шероховатую поверхность, менее пригодны для воспроизведения изображений методом переноса. В этом случае значительная часть красителя вследствие сцепления с поверхностью слоя не переходит на бумагу.

Селеновые слои, имеющие гладкую зеркальную поверхность, напротив, обеспечивают качественный перенос значительной части красочного слоя.

После проявления и переноса изображения селеновый слой подвергают чистке. Делать это можно по-разному. Простейший метод заключается в посыпании поверхности пластины крупнозернистой гранулированной солью. Вследствие трибозлектрического эффекта частицы красителя притягиваются к зернам соли и удаляются с пластины.

Другой метод состоит в сообщении пластине потенциала, знак которого противоположен заряду изображения. После электризации порошок удаляют с поверхности слоя мягкой тряпочкой или кусочком ваты.

Закрепление. Электрофотографические изображения, проявленные одним из сухих способов, необходимо закрепить. Этот процесс заключается в создании условий для плотного и прочного прикрепления частиц красителя к бумажной подложке или фотополупроводниковому слою. Если этого не сделать, электрофотографическое изображение будет легко смазываться.

При работе с жидкими проявителями нет необходимости в специальном фиксирующем процессе — закрепление рисунка осуществляется само собой при высыхании нанесенного на лист электрофотографической бумаги проявителя.

Есть три основных способа закрепления электрофотографических изображений — закрепление нагреванием, закрепление давлением и закрепление парами активного растворителя. Сущность первого способа состоит в нагревании листа с нанесенным на него красителем до расплавления

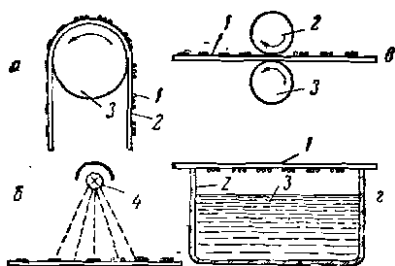


Рис. 61. Закрепление электрофотографического изображения:

а — закрепление нагретым валиком, б — закрепление инфракрасным излучением, в — закрепление давлением, г — закрепление парами растворителя

этого красителя. Расплавленные частицы плотно пристаут к листу и в дальнейшем не смазываются.

Если известно заранее, что закрепление будет производиться указанным способом, необходимо соответствующим образом подобрать проявляющий краситель. Температура плавления красителя должна быть ниже предельной температуры, которую выдерживает бумага без заметных тепловых остаточных деформаций.

Нагреть частицы красителя 1 (рис. 61, а) на листе 2 можно, приводя лист в соприкосновение с нагретым металлическим валиком 3. Другой метод (рис. 61, б) состоит в том, что лист подвергают воздействию инфракрасной радиации, излучаемой источником 4.

Простейшее устройство для закрепления нагреванием изображено на рис. 62. Электрофотографический отпечаток пропускают между двумя валиками. В нижний валик вве-

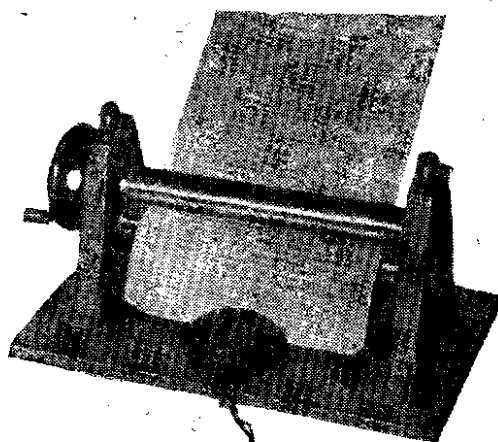


Рис. 62. Устройство для закрепления нагреванием

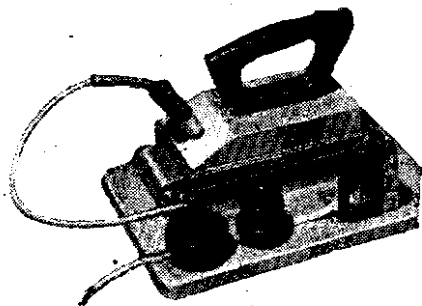


Рис. 63. Устройство для закрепления нагреванием

дена спираль электронагревателя. Верхний валик — холодный. Электрофотографический отпечаток вставляют между валиками лицевой стороной вверх и с помощью рукоятки и маховичка, соединенного с верхним валиком, пропускают через устройство.

Более совершенное закрепляющее устройство изображено на

рис. 63. Оно выполнено в виде бесконечной металлической ленты, приводимой в движение от небольшого электродвигателя. Над лентой помещен электронагреватель, в качестве которого может быть использован обычный электрический утюг. На край ленты кладут электрофотографический отпечаток лицевой стороной вверх, после чего, нажимая кнопку, включают электродвигатель. Когда отпечаток проходит под электронагревателем, происходит оплавление красителя. Отпечаток прочно закрепляется на бумажном листе. Интенсивность закрепления можно регулировать, изменяя температуру электронагревателя и скорость движения бесконечной ленты.

Закрепление давлением состоит в том, что электрофотографический отпечаток 1 (см. рис. 61, а) пропускают между двумя прессующими валиками 2 и 3.

При закреплении парами активного растворителя смолы, входящие в состав порошкового проявителя, частично растворяются, в результате чего изображение прилипает к поверхности листа. В этом случае электрофотографический отпечаток 1 (см. рис. 61, б) помещают над сосудом 2, в который налит растворитель 3. В качестве растворителя используются ацетон, четыреххлористый углерод, сер-

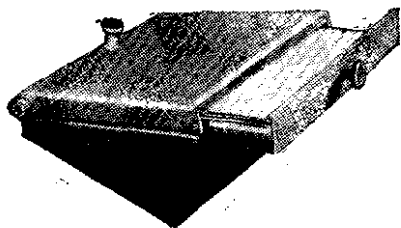


Рис. 64. Устройство для закрепления парами растворителя

ный эфир и некоторые другие органические жидкости.

Простейшее устройство для закрепления парами растворителя показано на рис. 64. Это сосуд в форме треугольной призмы с крышкой, снабженной изнутри направляющими для вдвигания рамы. Между перекладинами рамы натянуты проволоочки, на которые кладется электрофотографический оттиск. Растворитель заливают в сосуд через воронку.

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Практическое применение электрофотографии насчитывает всего лишь 10—12 лет. Тем не менее уже сегодня в нашей стране и за рубежом — в США, Великобритании, ФРГ, Польше, Японии — серийно изготавливается разнообразная электрофотографическая аппаратура. Правда, аппаратура эта дорога и рассчитана на использование в исследовательских учреждениях и промышленных предприятиях. Электрофотоаппараты для фотолюбителей пока еще нашей промышленностью не выпускаются. Однако существуют конструкторские разработки сравнительно несложных электрофотоаппаратов, которые всегда можно изготовить своими силами.

Электрофотографическая аппаратура включает четыре основных устройства: электризатор с генератором высокого напряжения, фотокамеру, проявляющее устройство и закрепляющее устройство. Эти устройства могут быть объединены друг с другом в рамках одной установки или сделаны отдельно.

Электрофотоаппараты. Почти любой складной универсальный, пленочный или пластиночный фотоаппарат может быть сравнительно просто переделан в электрофотоаппарат. Для этого он прежде всего должен быть снабжен электризатором. Что же касается проявляющего и закрепляющего устройств, то они могут быть помещены как в самой камере, так и вне ее.

Электрофотоаппараты можно классифицировать следующим образом:

1. Электрофотоаппараты для работы на пластинах.
2. Электрофотоаппараты для работы на бумаге:

- а) электрофотоаппараты с рулонной подачей бумаги,
- б) электрофотоаппараты с листовой подачей бумаги.

На пластинах работают обычно крупноформатные электрофотографические репродукционные аппараты. Малоформатные любительские аппараты работают на электрофотографических бумагах.

Конструкция электрофотоаппарата с рулонной подачей бумаги была разработана в 1960 г. в Институте кристаллографии Академии наук СССР. В основу положен складной пленочный фотоаппарат «Москва-5», к которому пристроен объектив «Юпитер-8». К аппарату прикреплен короб, в котором находятся рулон электрофотографической бумаги, лентопротяжный механизм, электризатор, проявляющее устройство и приспособление для отрезки оттиска.

Электризация бумаги осуществляется при помощи трех медных валиков, контактирующих с полупроводниковым слоем и соединенных с источником постоянного тока высокого напряжения. Валики управляются рукояткой на крышке короба.

Проявление осуществляется пропусканием экспонированного бумажного полотна через ванночку с жидким проявителем. Готовый оттиск выводится наружу и отрезается резак.

Электрофотоаппарат Научно-исследовательского инсти-

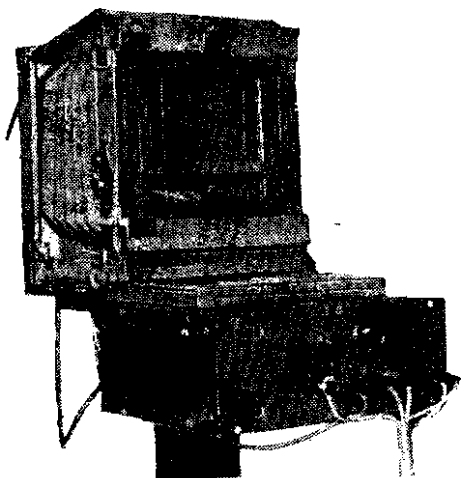


Рис. 65. Электрофотоаппарат НИИ электрографии

тута электрографии сделан из штативного пластиночного фотоаппарата «ФК» (13 × 18 см). Аппарат снабжен киносъемочным объективом И-51 с фокусным расстоянием 210 мм и относительным отверстием 1 : 4,5. Аппарат устанавливается на штативе (рис. 65). К нижней доске (основанию) фотоаппарата прикреплен генератор высокого напряжения. В передней стенке фотоаппарата укреплено кольцо, в

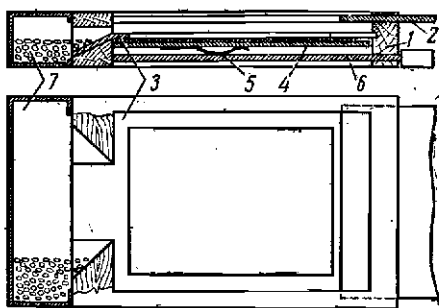


Рис. 66. Схема кассеты электрофотографического аппарата

которое ввернут объектив. Задняя стенка сделана подвижной. Она перемещается для наводки на резкость. Правильность наводки контролируется по матовому стеклу, которое вставляется в направляющие задней стенки. Кассета электрофотографического аппарата представляет собой плоский ящик 1 (рис. 66) с выдвижной шторкой 2. Рамки 3 ограничивают область экспонирования. Электрофотоаппарат рассчитан на работу как с пластинами, так и с листовой электрофотографической бумагой формата 13×18 см и меньше. Для пластин и бумаги предназначены различные кассеты. При работе с электрофотографической бумагой ее прижимают к раме металлической пластиной 4 и пружиной 5. Металлическую шторку 6 заземляют. В кассете имеется контейнер 7 для проявляющего порошка.

Установив кассету в камеру, выдвигают шторку и приводят в действие электризатор (он виден на рис. 65), который перемещают вдоль фотополупроводникового слоя при помощи выведенного наружу аппарата шнура с грузиком.

Электризатор представляет собой пластину 1 (рис. 67) из органического стекла, несущую два ряда коронирующих электродов 2 из патефонных иголок, ус-

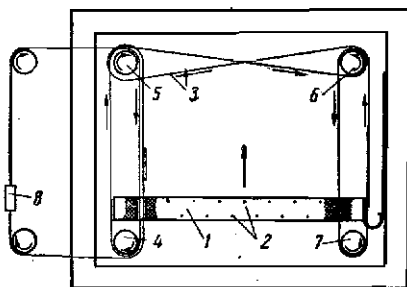


Рис. 67. Электризатор электрофотографического аппарата

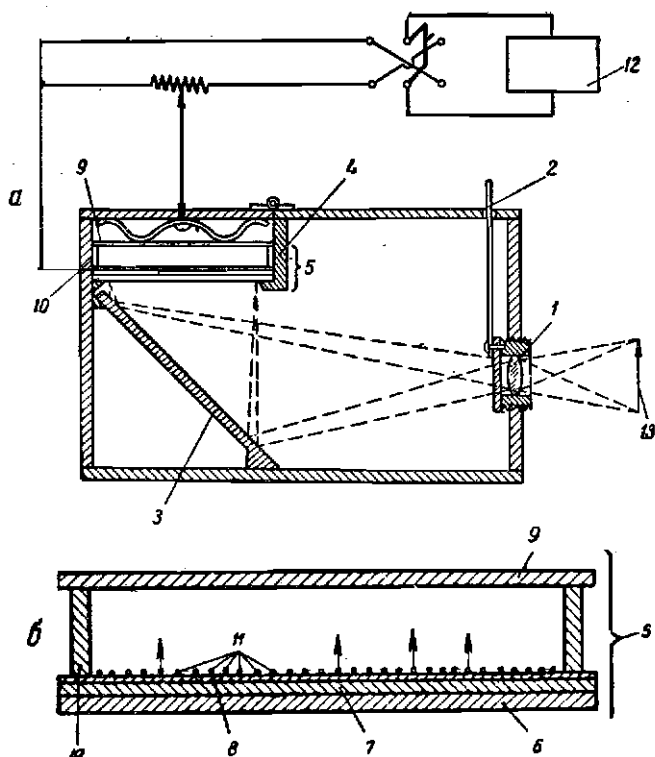


Рис. 68. Электрофотографический аппарат (а) с проявляющим устройством. Электрофотографический комплект (б) для аппарата

тановленных в шахматном порядке на расстоянии $4 \div 10$ мм друг от друга. Расстояние между рядами $10 \div 12$ мм.

Чтобы повысить равномерность электризации, ряды игл подключены к источнику высокого напряжения параллельно и соединены с коммутирующим устройством — так, как это описывалось ранее.

Электризатор установлен на бесконечном шнуре 3, перекинутом через блоки 4, 5, 6 и 7. Шнур выведен за пределы аппарата и снабжен грузиком 8, с помощью которого и перемещают электризатор.

Штативные аппараты обычно не имеют затвора. Выдержку при фотографировании производят, снимая с объектива колпачок. Величина экспозиции при этом довольно приближительна. Между тем при работе с электрофотографическими

бумагами правильно подобранная выдержка имеет большое значение. Выдержка эта находится в пределах 1—2 сек. Поэтому электрофотоаппарат Научно-исследовательского института электрографии снабжен трехлепестковым затвором, приводимым в действие с помощью реле времени. Для той же цели могут быть применены изготавливаемые нашей промышленностью шторные затворы, которые на время съемки устанавливаются на объектив.

После экспонирования шторку кассеты задвигают и вынимают кассету из аппарата. Затем переводят кассету в горизонтальное положение и легким покачиванием заставляют проявляющий порошок перемещаться вдоль полупроводникового слоя. При этом происходит проявление скрытого электростатического изображения. Проявленный отпечаток извлекают из кассеты и закрепляют одним из способов, описанных в предыдущей главе.

Своеобразная фотокамера, в которой скрытое электростатическое изображение проявляется непосредственно в процессе экспонирования оригинала на слой фотополупроводника, изображена на рис. 68, а. Камера имеет объектив 1, затвор 2, установленное наклонно зеркало 3 и систему держателей 4 для светочувствительного электрофотографического комплекта 5 (рис. 68, б). Последний состоит из прозрачной подложки 6, на которую нанесен прозрачный проводящий слой 7, а поверх него — слой фотополупроводника 8. Комплект включает верхний электрод 9, отделенный от фотополупроводника изолирующими прокладками 10. На поверхность полупроводника помещают тонкий и ровный слой проявляющего порошка 11.

Электроды 7 и 9 подключают к источнику тока высокого напряжения 12, после чего открывают затвор. Объектив проецирует изображение оригинала 13 на зеркало и отсюда — на слой фотополупроводника. Сопротивление освещенных участков полупроводника резко падает, благодаря чему электрический заряд сообщается частицам проявляющего порошка, лежащим над этими участками. Вследствие действия электрического поля, образованного между электродами, частицы порошка притягиваются к верхнему электроду. Как только частицы коснутся верхнего электрода, они теряют заряд и падают на нижний электрод, после чего процесс повторяется снова. Колебание частиц проявляющего порошка между электродами длится до тех пор, пока частицы эти не выйдут за пределы освещенных участ-

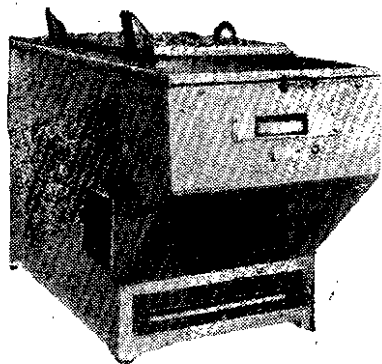


Рис. 69. Электрофотографический репродукционный аппарат «Ксерокс»

ков слоя полупроводника. Полученное позитивное порошковое изображение может быть закреплено.

Электрофотографические репродукционные аппараты предназначены для репродуцирования непрозрачных оригиналов в отраженном свете и работают на селеновых электрофотографических пластинах. Проявление обычно осуществляется каскадным способом. Порошковое изображение переносится на бу-

мажные листы электростатическим путем.

Простейшим электрофотографическим репродукционным аппаратом является «Ксерокс № 1», осуществляющий репродуцирование в масштабе 1:1 на пластинах формата 21,5×33 см (рис. 69). Корпус 1 (рис. 70 и 71) имеет закрепленную на шарнирах крышку 2. Непосредственно под крышкой помещено зеркальное стекло 3, на которое укладывают оригинал, подлежащий репродуцированию. В процессе экспонирования оригинал освещают лампами 4. Электрофотографическую пластину 5, помещенную в кассете 6, вдвигают по направляющим 7 в камеру 8. В верхнюю стенку камеры ввинчивается объектив 9. Светофильтр может

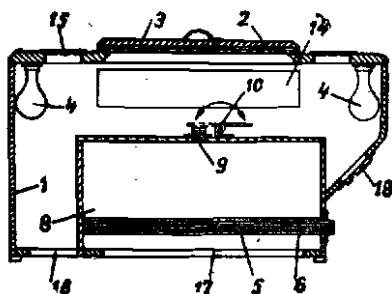


Рис. 70. Электрофотографический репродукционный аппарат «Ксерокс»

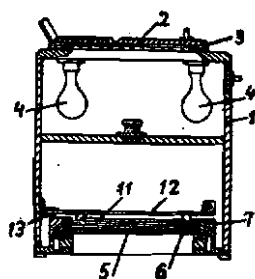


Рис. 71. Поперечный разрез аппарата «Ксерокс»

быть надет непосредственно на объектив или же установлен шарнирно на подставке 10.

Электризация пластины производится с помощью коронного разрядника 11, электроды которого закреплены над пластиной на рамке 12, перемещаемой по направляющим 13. Электризация, впрочем, производится обычно вне репродукционного аппарата с помощью специальной установки.

Для того чтобы облегчить доступ к объективу, в одной из стенок аппарата имеется отверстие, прикрытое крышкой 14. Предусмотрены также вентиляционные отверстия 15, 16, 17 и 18.

Недостатком этого репродукционного аппарата является то, что он репродуцирует лишь в масштабе 1 : 1. Увеличивать или уменьшать оригиналы на этом аппарате нельзя.

Имеются электрофотографические репродукционные аппараты, позволяющие изменять масштаб при репродуцировании: «Ксерокс № 4», копирующий оригиналы в размере до 43×56 см с увеличением и уменьшением, «Ксерокс 1218» — в размере до $61 \times 91,5$ см.

К электрофотографическим репродукционным аппаратам того же класса относится и советский аппарат «ЭРА-1», конструкция которого была разработана в 1959 г. Научно-

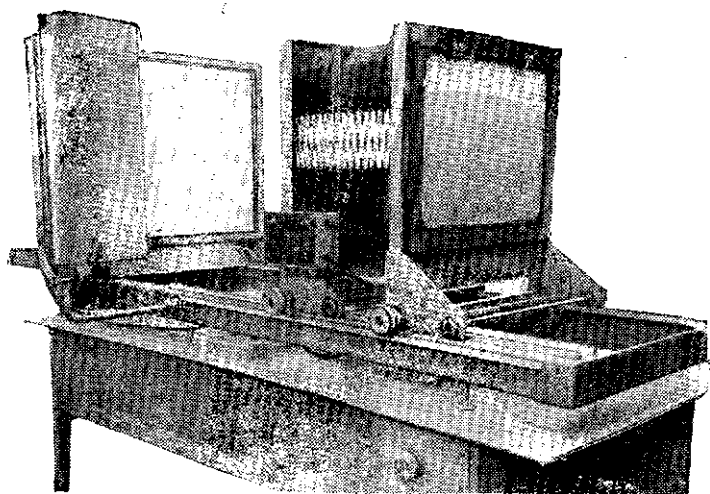


Рис. 72. Электрофотографический репродукционный аппарат «ЭРА-1»

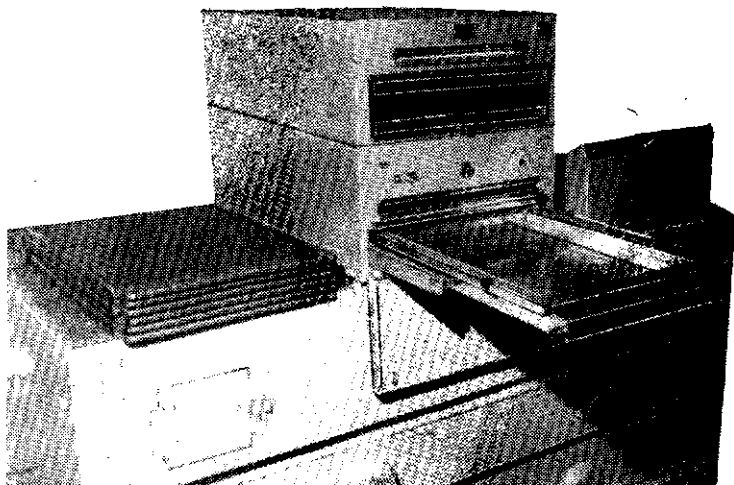


Рис. 73. Устройство для электризации и проявления электрофотографических пластин аппарата «ЭРА-1»

исследовательским институтом электрографии. С 1960 г. начато серийное производство этих аппаратов.

Аппарат «ЭРА-1» предназначен для получения копий с прозрачных и непрозрачных оригиналов, имеющих размер от 144×203 мм (формат А5) до 576×814 мм (формат А1). Максимальный размер копии, который может быть получен на аппарате, равен 288×407 мм.

Оригиналами могут служить печатный, рукописный и машинописный тексты, чертежи, выполненные карандашом или тушью на ватмане, кальке или других сортах бумаги, диазкопии (синьки), различные штриховые и полутонные изображения. Копии могут воспроизводиться на различных сортах прозрачных и непрозрачных бумаг, на диэлектрических пленках, на металлических листах и фольге.

В комплект «ЭРА-1» входит горизонтальный репродукционный фотоаппарат облегченного типа (рис. 72), устройство для электризации и проявления электрофотографических пластин (рис. 73) и устройство для закрепления порошковых изображений (рис. 74). Аппарат комплектуется шестью электрофотографическими пластинами в деревянных кассетах с выдвижными металлическими шторками. Пластина представляет собой полированную дюралюминие-

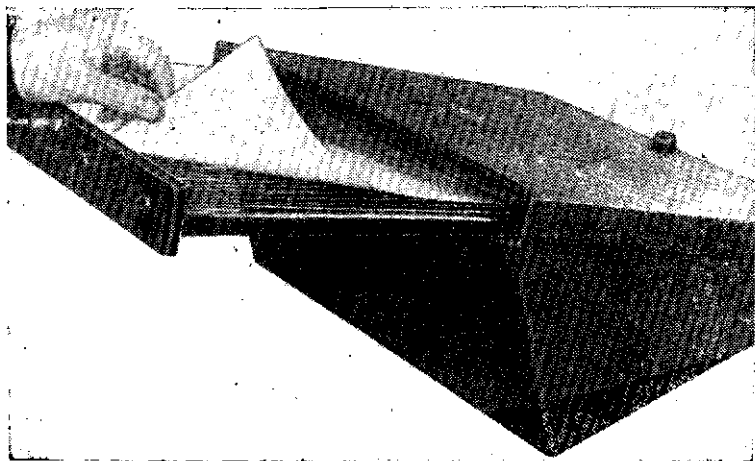


Рис. 74. Устройство для закрепления изображения к аппарату «ЭРА-1»

вую подложку, на которой путем напыления в вакууме нанесен фотополупроводниковый селеновый слой.

Необходимый масштаб репродуцирования устанавливают, перемещая стойку объектива вдоль штативной рамы. Резкость изображения контролируют по матовому стеклу.

Процесс изготовления электрофотографического отпечатка на аппарате «ЭРА-1» схематично изображен на рис. 75. Оригинал 1 закрепляют на оригиналодержателе 2, устанавливают репродукционный аппарат 3. Электрофотографическую пластину в кассете 4 извлекают из отсека устройства для электризации и проявления 5 и задвигают в электризационный отсек этого устройства. Затем чувствленную пластину устанавливают в коробку матового стекла репродукционного аппарата. После экспонирования пластину помещают в выдвижную поворотную проявляющую камеру 6. Последняя содержит 300—400 г проявляющей смеси, состоящей из стеклянных шариков диаметром 0,3—0,5 мм и красителя, размер частиц которого не превышает 5—10 мк. Кассету с экспонированной электрофотографической пластиной накладывают на проявляющую камеру, шторку кассеты выдвигают и после закрепления кассеты особыми защелками камеру несколько раз поворачивают, чтобы проявляющая смесь имела возможность перекачаться по поверхности фотополупроводникового слоя.

Кассету с проявленной электрофотографической пластиной снимают с проявляющей камеры. На порошковое изображение осторожно накладывают лист бумаги 7, после чего кассету вдвигают в электризационный отсек устройства 5. На коронирующие электроды при этом подается положительный потенциал. Осаждаемые на бумагу положительные ионы, взаимодействуя с отрицательно заряженными частицами красителя, переносят их на бумагу.

Бумажный лист с перенесенным на него порошковым изображением помещают в закрепляющее устройство 8. Пары

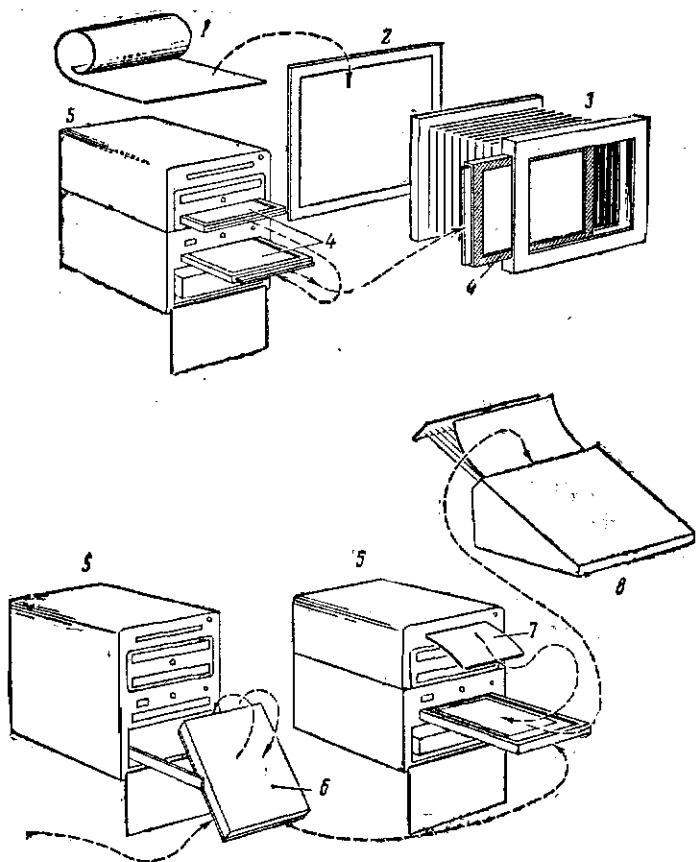


Рис. 75. Процесс изготовления электрофотографического отпечатка на аппарате «ЭРА-1»

растворителя, налитого в контейнер устройства, адсорбируются на частицах красителя, растворяют их и в течение нескольких секунд прочно закрепляют изображение на бумажной подложке.

Процесс получения электрофотографической копии на аппарате «ЭРА-1» занимает 2,5—3 мин.

Электрофотографические копировально-множительные аппараты. Электрофотографические репродукционные аппараты осуществляют воспроизведение изображений на электрофотографических селеновых пластинах с последующим переносом на обычную бумагу. Множительные аппараты, характерным представителем которых служит аппарат «ЭМА-1А», производят копии на электрофотографической бумаге. Перенос изображения здесь излишен.

Принципиальная схема аппарата дана на рис. 76.

Фотополупроводниковое бумажное полотно 1, сматываясь с рулона 2, проходит через коронный электризатор 3 и поступает в камеру экспонирования 4, где фотослой контактирует с прозрачным оригиналом 5. При вспышке лампы 6 на фотополупроводниковом покрытии формируется скрытое электростатическое изображение, которое проявляется жидким способом в проявляющем устройстве 7. В процессе перемещения фотополупроводниковой бумаги от проявляющего устройства к приемной катушке 8 проявленное изображение высыхает и закрепляется на поверхности слоя. Внешний вид аппарата «ЭМА-1А» показан на рис. 77.

Конструкция аппарата «ЭМА-1А» позволяет установить в нем рулон фотополупроводниковой бумаги (шириной 300 мм) весом около 4,5 кг, который обеспечивает получение 500—600 электрофотографических копий в формате 203×288 мм. Аппарат работает от электрической сети напряжением 127 или 220 в. На клеммах электризатора напряжение регулируется в пределах 6—12 кв. Экспонирование производится путем вспышки импульсной лампы.

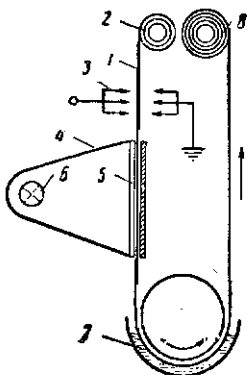


Рис. 76. Электрофотографический множительный аппарат «ЭМА-1А»

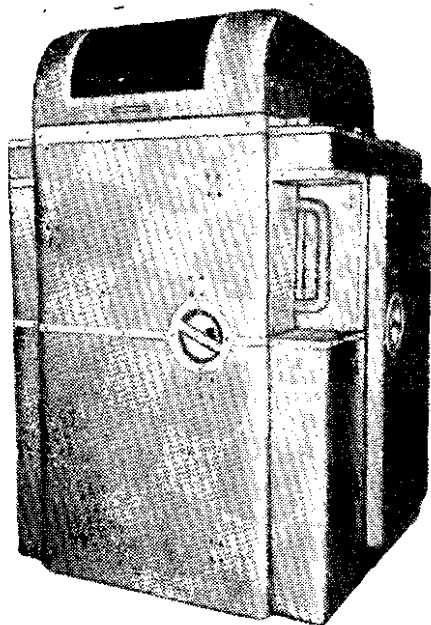


Рис. 77. Электрофотографический множительный аппарат «ЭМА-1А»

Аппарат «ЭМА-1А», сконструированный Научно-исследовательским институтом электрографии, в будущем предполагается снабдить дополнительной приставкой для проекционной печати с диапозитивных микрофильмов. Применение этой приставки сделает аппарат универсальным. Приставка позволяет сочетать проекционное копирование с контактным. В результате появляется возможность впечатывать в копируемые контактным способом чертежи, например бланки, предварительно заснятые на фотопленку.

В качестве проявителя используется суспензия черной типограф-

ской краски в четыреххлористом углероде. Ввиду того что материал этот обладает некоторой токсичностью, приняты меры для отсоса паров проявляющего состава, а корпус аппарата выполнен герметичным. Уровень проявителя в корытце поддерживается постоянным при помощи автоматического поплавкового устройства.

Проявленное изображение высыхает в течение 2—5 сек. Скорость движения бумажного полотна составляет 0,105 м/сек, что обеспечивает производительность порядка 1800 отпечатков в час. Привод аппарата «ЭМА-1А» осуществляется от электродвигателя мощностью 0,7 квт. Аппарат снабжен блокировочными устройствами для выключения привода при окончании подающего рулона, для прекращения питания генератора высокого напряжения при откидывании верхнего блока электризатора и др. Устройства эти обеспечивают надежную и безопасную эксплуатацию аппарата. «ЭМА-1А» используется для размножения технической и ведомственной документации — чертежей, техно-

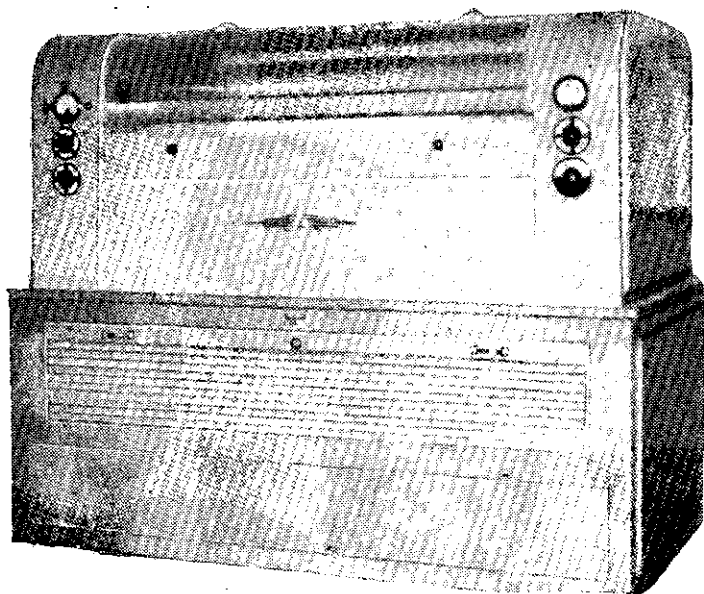


Рис. 78. Электрофотографический крупноформатный множительный аппарат

логических карт, спецификаций, паспортов изделий, инструкций, информационных материалов. Все эти документы в настоящее время воспроизводятся главным образом светокопированием, что не может обеспечить сколько-нибудь высокого качества, или же на обычных фотобумагах, что дорого и не всегда доступно. Электрофотографический процесс в этом случае позволяет решить проблему малотиражного репродуцирования наиболее рационально.

«ЭМА-1А» репродуцирует изображения на фотополупроводниковом бумажном полотне шириной 300 мм. Для размножения документации более крупных форматов — шириной до 600 мм — предназначен электрофотографический множительный аппарат, созданный в Научно-исследовательском институте электрографии на основе венгерского светокопировального аппарата «UF-4» (рис. 78). Принципиальная схема аппарата дана на рис. 79. Основой аппарату служит стеклянный цилиндр 1, внутри которого помещен источник света 2. Фотополупроводниковое бумажное полотно 3, сматываясь с рулона 4, проходит между несколь-

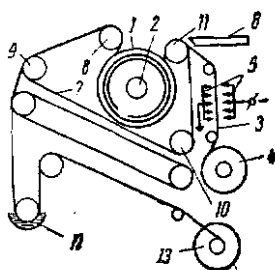


Рис. 79. Крупноформатный множительный аппарат

кими рядами коронирующих биполярных электризаторов 5 и электризуется. Кальки, которые необходимо скопировать, подаются в аппарат по столу 6. Прижим кальки к фотополупроводниковому слою осуществляется бесконечным полотном 7, огибающим валики 8, 9, 10 и 11. Скрытое электростатическое изображение, сформированное на фотополупроводнике в процессе экспонирования, проявляется жидким способом в устройстве 12.

Готовые отпечатки поступают на приемную катушку 13.

Необходимо отметить, что крупноформатные электрофотографические множительные аппараты с жидкостным проявлением в настоящее время не могут быть признаны экономически эффективными в силу большого расхода жидкого проявителя. Поэтому они используются редко. Однако не исключено, что дальнейшее развитие электрофотографической техники внесет в этот вопрос свои коррективы.

Электрофотографический увеличитель. Известно, какое большое значение имеет в наше время микрофильмирование книг, журналов, архивных материалов, всевозможной технической документации. При воспроизведении изображений с микрофильмов обычно пользуются бромосеребряными бумагами, применение которых для этой цели растет буквально с каждым месяцем. Использование электрофотографического процесса в микрофотокопировании имеет большие перспективы, ибо позволяет получить большой экономический эффект.

Научно-исследовательский институт электрофотографии сконструировал и построил на базе фотоувеличителя «П-10» портативный электрофотографический увеличитель (рис. 80). Принципиальная схема этого аппарата дана на рис. 81. Фотополупроводниковое бумажное полотно 1 непрерывно сматывается с рулона 2 со скоростью около 20 мм/сек. Ширина полотна 120 мм. Униполярный коронный электризатор 3, питаемый от источника высокого напряжения 4, сообщает фотослою равномерно распре-

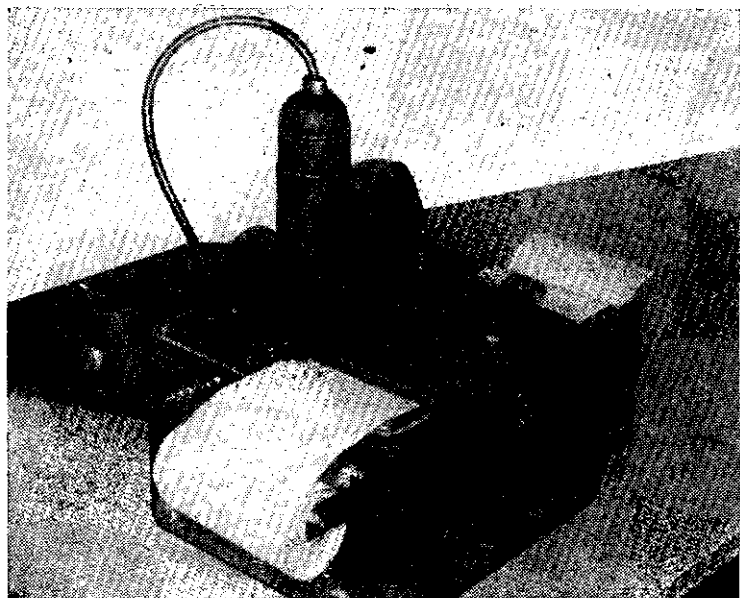


Рис. 80. Электрофотографический увеличитель

деленный отрицательный заряд. Перемещаясь далее, электрофотографическая бумага подвергается непрерывному экспонированию через щель 5 с помощью оптической системы, состоящей из осветителя 6, конденсора 7, объектива 8 и зеркал 9 и 10. Микрофильм 11 перемещают синхронно с бумажным полотном, учитывая масштаб увеличения. Так при пятикратном увеличении, которое обеспечивает аппарат типа «П-10», пленка перемещается в пять раз медленнее, чем бумажное полотно. Если это условие выполнено, изображение можно репродуцировать при непрерывном перемещении пленки и полотна, не опасаясь, что копия выйдет смазанной.

После экспонирования фотополупроводниковая бу-

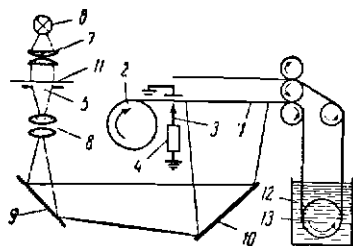


Рис. 81. Электрофотографический увеличитель. Схема

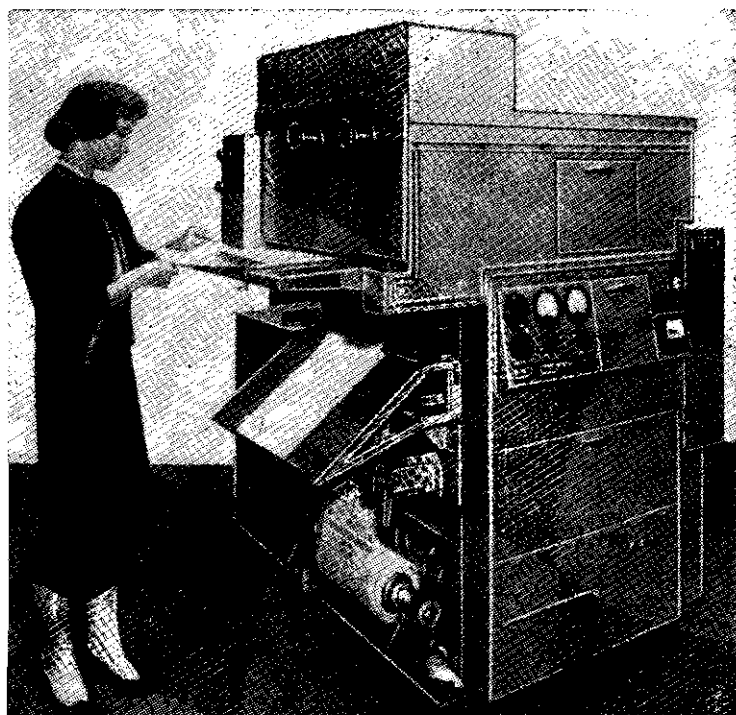


Рис. 82. Электрофотографическая машина «Колифло»

мага поступает в бачок 12 с жидким проявителем. Натяжной ролик 13, который свободно висит в петле, образуемой бумажным нолотном, устраняет возможность прикосновения фотослоя к стенкам бачка.

Так как все электрофотографические устройства расположены внутри корпуса аппарата, работа на нем может вестись в незатемненном помещении. Электрофотографические увеличители в ближайшем времени несомненно найдут широкое применение в библиотеках, архивохранилищах, научно-исследовательских институтах. Их удобно использовать для увеличения электрокардиограмм и осциллограмм в лечебных исследовательских учреждениях.

Скоростные электрофотографические машины. В настоящее время за рубежом выпускается несколько различ-

ных моделей скоростных электрофотографических машин, осуществляющих воспроизведение копий как прозрачных, так и непрозрачных оригиналов на обычной бумаге. Перемещение бумажного полотна осуществляется со скоростью до 6 м/мин. Наиболее распространенная серия таких машин известна под наименованием «Копифло» (рис. 82). Принципиальная схема машины дана на рис. 83.

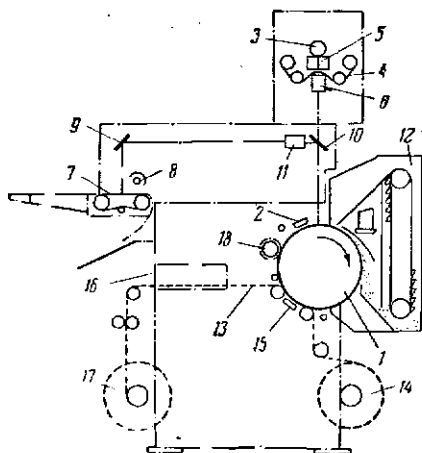


Рис. 83. Машина «Копифло». Схема

Скрытое электростатическое изображение формируется на барабане 1, поверхность которого покрыта слоем селена. Фотослой электризуется коронным разрядником 2. На чувствительную поверхность фотополупроводника в проходящем свете лампы 3 с фотопленки 4 проецируется изображение микрофотокопии. Для фокусирования изображения на поверхности барабана предназначена оптическая система, состоящая из конденсора 5 и объектива 6. При необходимости репродуцирования непрозрачных оригиналов последние укладывают на стол 7 и освещают лампой 8. Проецирование изображения на фотослой в этом случае осуществляется с помощью зеркал 9 и 10 и объектива 11. Скрытое электрофотографическое изображение, сформированное на слое в процессе экспонирования, проявляется каскадным способом в камере 12. Затем осуществляется электростатический перенос порошкового изображения на бумажное полотно 13, сматываемое с рулона 14. Перенос производится под воздействием электризатора 15.

Бумажное полотно с порошковым изображением проходит через закрепляющую камеру 16 и поступает на приемный рулон 17. Остатки порошка счищаются с поверхности барабана при помощи щетки 18.

В качестве микрофильма используется 16- или 35-мм негативная или позитивная фотопленка. Диапазон увеличения — от 7 до 24-кратного в пятнадцати различных разме-

рах. Ширина бумажного полотна, на котором воспроизводятся электрофотографические отпечатки, 660 мм.

Лабораторные образцы электрофотографических машин с селеновым барабаном в 1960 г. были созданы Ленинградским электротехническим институтом связи им. М. А. Бонч-Бруевича (формат 203×288 мм) и одним из предприятий Ленинградского совнархоза (формат 288×407 мм).

В настоящее время ведется разработка конструкции оригинальных отечественных электрофотографических скоростных печатных машин.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Новое изобретение нередко изображают панацеей от всех недостатков и бед ранее известных методов. В полурекламных статьях, опубликованных на страницах зарубежной печати, такая роль зачастую отводилась и электрофотографии. Между тем этот процесс ни в коей мере не призван заменить и полностью вытеснить обычную фотографию и всевозможные полиграфические способы. Значение его, по крайней мере сегодня, значительно уже.

Однако не следует и преуменьшать возможности электрофотографии. Во многих специальных областях она уже теперь успешно конкурирует со старой техникой, и есть все основания предполагать, что вскоре этот метод станет здесь преобладающим. Области применения электрофотографии с каждым годом расширяются. И каждый новый успех этого способа завоевывает ему все новых и новых сторонников.

Два замечательных качества электрофотографического процесса — оперативность и простота — залог того, что применение метода в науке и технике будет расти из года в год. О некоторых областях применения электрофотографии и рассказывается ниже.

Изготовление печатных форм. Полиграфия была первой областью, в которой электрофотография получила более или менее широкое применение. Поначалу нередко высказывались мнения, что электрофотографический процесс формирования изображения с последующим электростатическим переносом краски на бумагу призван заменить все существующие способы печати. Вскоре, однако, выяснилось, что электрофотография не может соперничать

с современными полиграфическими методами ни по тиражестойчивости печатных форм, ни по качеству воспроизведения. Поэтому электрофотографии отвели не столь всеобъемлющую, но не менее почетную роль формного процесса — одного из методов изготовления печатных форм.

В настоящее время новый процесс используется в полиграфии главным образом для изготовления форм плоской печати. Сущность способа плоской печати состоит в том, что печатающим и пробельным элементам печатной формы сообщают различные физико-химические свойства, в результате чего первые становятся олеофильными, т. е. приобретают способность хорошо воспринимать жирную краску и не смачиваться водой, а вторые — гидрофильными, т. е., наоборот, приобретают способность смачиваться водой и отталкивать краску.

Электрофотографический способ изготовления форм плоской печати состоит в следующем. Электрофотографическую пластину очувствляют одним из известных методов, после чего копируют на нее изображение, которое необходимо репродуцировать. Потенциальный рельеф, образованный на фотополупроводниковом слое в процессе экспонирования, проявляют жирным красителем. Порошковое изображение переносят с фотополупроводника на формную пластину, в качестве которой может быть использована специально подготовленная бумажная подложка, алюминиевая фольга, листовой цинк и др. Перенос осуществляют обычно электростатическим путем, для чего накладывают формную пластину на слой, несущий изображение, и сообщают пластине заряд, полярность которого противоположна полярности заряда изображения. Перед переносом можно сообщить порошковому изображению заряд того же знака, который был сообщен полупроводниковому слою перед экспонированием. Это позволяет облегчить перенос и улучшить качество воспроизведения. После вторичной электризации слоя формную пластину, которой сообщен заряд, противоположный по знаку заряду пластины, укладывают на последнюю и прокатывают сверху резиновым валиком. Перенесенное на формную пластину изображение закрепляют известным образом, после чего обрабатывают пробельные участки пластины с целью сообщения им гидрофильных свойств. Изготовленные электрофотографическим путем формы плоской печати на бумажных подложках выдерживают до 20 тыс. оттисков.

Тиражеустойчивость форм на металлических подложках во много раз больше.

Для изготовления форм плоской печати описанным выше методом может быть с успехом использован электрофотографический репродукционный аппарат «ЭРА-1». Процесс изготовления формы в этом случае занимает 2—3 мин. Эффективность изготовления печатных форм с помощью аппарата «ЭРА-1» по сравнению с существующими фотомеханическими способами характеризуется следующими цифрами. Форма удешевляется в 10—15 раз. Время изготовления сокращается в 15—20 раз. Расход электроэнергии сокращается в 4 раза. Комплект электрофотографического оборудования по сравнению с фотомеханическим оборудованием для изготовления форм плоской печати в 20 раз легче и в 5—6 раз меньше по занимаемой площади.

Аппарат «ЭРА-1» в сочетании с малоформатной офсетной печатной машиной, например типа «Ромаер-2» (Чехословакия), и с портативной наборно-пишущей машиной образует весь комплекс оборудования оперативной типографии, для размещения которой необходима площадь всего в 25—30 м². Создание таких типографий в библиотеках, научно-исследовательских институтах, высших учебных заведениях, проектных и конструкторских организациях позволит оперативно и дешево издавать научные труды и информационные материалы, техническую документацию и всевозможные бланки.

При массовом размножении информационных материалов и другой печатной продукции тиражом 3000—5000 экз. один аппарат «ЭРА-1» может обслуживать 15—20 малоформатных офсетных печатных машин с общей производительностью до 100 тыс. оттисков в час.

В современной полиграфии достаточно широко применяют также электрофотографические методы изготовления печатных форм для спиртового или гектографского копировально-множительного процесса. Суть этих способов состоит в том, что изображение или текст, которые необходимо репродуцировать, воспроизводят анилиновым красителем, например на эластичной массе или другой поверхности. Предварительно смоченные бумажные листы прикапывают к формной пластине. При этом какая-то часть красителя переходит на бумагу и образует на ней изображение. Таким образом можно изготовить до ста оттисков. Электрофотографический метод изготовления таких форм состоит

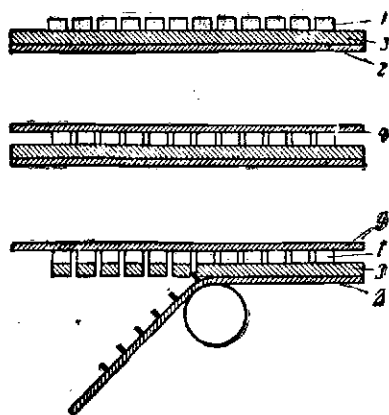


Рис. 84. Электрофотографический способ изготовления гектографских форм

в следующем. Порошковое изображение 1 (рис. 84), сформированное электрофотографическим путем, переносят на копирующий лист 2, несущий слой красителя 3. Затем поверх порошкового изображения накладывают формную пластину 4 и подвергают весь комплект давлению (около 1 кг на см^2) при температуре около 40°C . При этом порошковое изображение со слоем красителя переходит на поверхность формной пластины.

Электрофотографический процесс в принципе может быть применен и для изготовления форм высокой и глубокой печати, широко используемых в современной полиграфии. В этом случае скрытое электростатическое изображение проявляют красителем, который при нагревании образует прочную кислотоупорную пленку. Порошковое изображение переносят на металлическую формную пластину, нагревают последнюю и после образования пленки протравливают поверхность пластины до образования печатающего рельефа.

Полумерой в этом случае является изготовление электрофотографическим путем диапозитива, который впоследствии известными фотомеханическими методами копируют на формную пластину. Для изготовления диапозитива электрофотографическое порошковое изображение переносят на прозрачную подложку, например на фотопленку, отмытую от светочувствительного покрытия. На пленку предварительно наносят тонкий слой какого-либо клеящего вещества. В качестве последнего можно успешно использовать желатину с небольшим содержанием влаги.

Электрорентгенография. Электропроводность фотополупроводниковых слоев повышается не только при облучении лучами видимой части спектра, но и тогда, когда слой подвергается действию рентгеновского излучения или дру-

гих видов проникающей радиации. Это свойство положено в основу электрофотографического способа, получившего название *электрорентгенографии*, или *ксерорентгенографии*. Электризация фотослоя, проявление, перенос и закрепление изображения в этом случае производятся, как и в обычной электрофотографии. Экспонирование производят в рентгеновых лучах или в γ -лучах, источником которых может служить радиоактивный кобальт-60.

В качестве проявителя нередко используют белый краситель, рельефно выступающий на темной поверхности селеновой пластины. Проводились опыты проявления электрорентгенографических изображений люминесцирующими порошками, которые светятся под действием ультрафиолетового излучения.

Электрорентгенография уже получила достаточно широкое применение в промышленной рентгеновской дефектоскопии и в меньшей степени в медицинской рентгенографии. Основным преимуществом этого метода является то, что рентгеновский снимок может быть получен через 30—40 сек после окончания просвечивания. При этом нет необходимости в затемненном помещении и в применении дорогостоящих химических реактивов. С помощью одной и

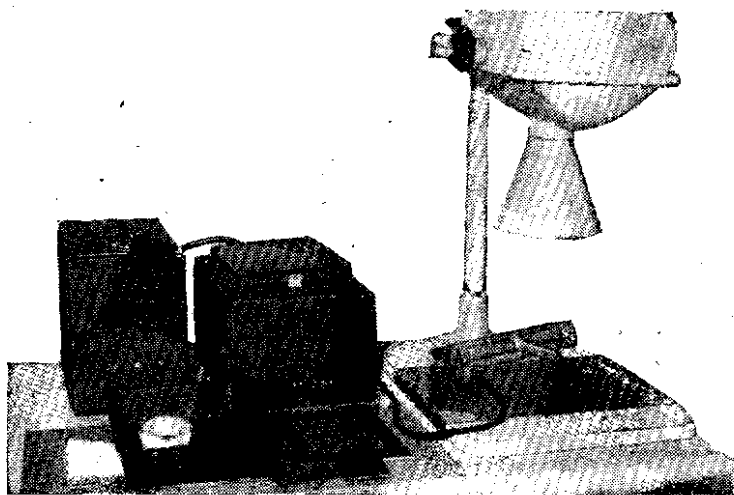


Рис. 85. Электрорентгенографическая установка

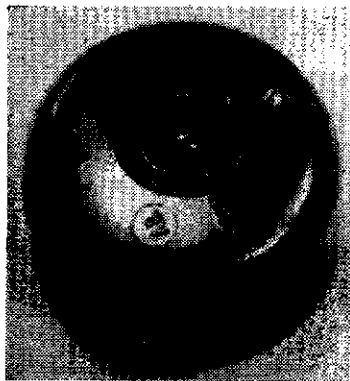


Рис. 86. Электрический выключатель и его электрорентгенография

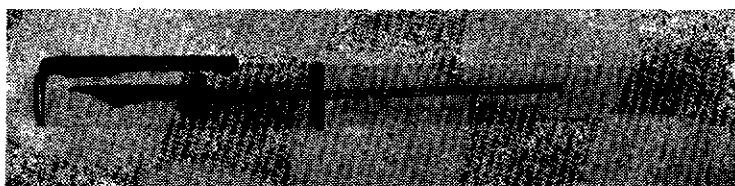


Рис. 87. Электрорентгенография автоматической ручки

той же селеновой электрофотографической пластины могут быть получены несколько тысяч рентгеновских снимков. Если снимки эти необходимо сохранить, их переносят с фотополупроводникового слоя на обычную бумагу. Важным преимуществом электрорентгенографии является ее способность контрастно выявлять особенности строения мягкой ткани, что делает этот метод незаменимым в диагностике различных заболеваний. Электрорентгенографическая установка малогабаритна (рис. 85). Возможности электрорентгенографии позволяют оценить приведенные на рис. 86 и 87 фотографии электрического выключателя и его электрорентгенографический снимок, а также электрорентгенографический снимок автоматической ручки.

Регистрирование выходных данных счетно-решающих машин. Быстрота и гибкость электрографического про-

цесса способствовали тому, что он был использован для создания удобного и практического способа регистрации показаний счетно-решающих машин. В этом случае скоростная электрофотографическая машина типа «Конифло» применяется совокупно со специальными электронно-лучевыми трубками, на экранах которых воспроизводятся результаты вычислений. Значительно упрощенная схема одного из таких устройств дана на рис. 88.

Знаки, воспроизведенные на экране электронно-лучевой трубки 1, проецируются объективом 2 на селеновую поверхность барабана 3. Селеновый слой предварительно электризуется коронным разрядником 4. Скрытое электростатическое изображение, сформированное на слое в процессе экспонирования, проявляется с помощью устройства 5. Затем порошковое изображение переносят на бумажное полотно 6, сматываемое с рулона 7. Перенос осуществляется электростатическим путем под действием электризатора 8. Закрепление изображения происходит в то время, когда полотно проходит над электронагревателем 9.

В действительности электрофотографические регистрирующие установки для счетно-решающих машин значительно сложнее. Они содержат большое количество всевозможных электронных устройств, преобразующих информацию, поступающую из машины, в импульсы, управляющие электронно-лучевой трубкой. Одно из таких устройств,

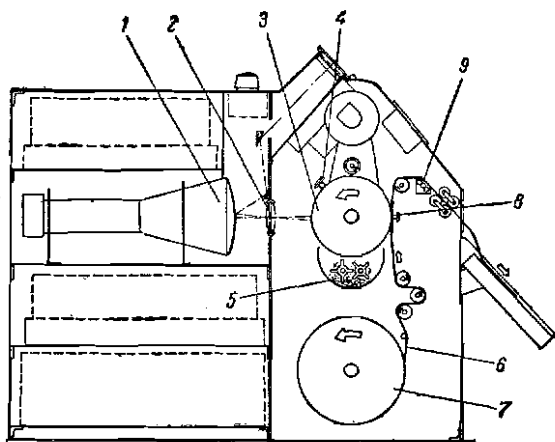


Рис. 88. Электрофотографическая установка с электронно-лучевой трубкой

сконструированное и изготовленное американской фирмой «Стромберг-Карлсон», рекламируется как «самый быстродействующий печатающий аппарат в мире». Это устройство воспроизводит результаты вычислений счетно-решающих машин со скоростью около 4500 строк в минуту. Такая скорость недоступна современным электромеханическим печатающим аппаратам. Она стала возможной лишь с применением электрофотографического процесса.

Электрофотографическое воспроизведение изображений с экрана электронно-лучевой трубки находит применение и в фототелеграфии. Исследования в этой области в настоящее время производятся Научно-исследовательским институтом городской и сельской телефонной связи.

Электрофотоосциллографы. Электрофотография позволила разработать простой и практический метод регистрации показаний осциллографов. Научно-исследовательским институтом электрографии совместно с Институтом физики Земли Академии наук СССР сконструирована электрофотографическая приставка «ЭПО-1» к магнитоэлектрическому осциллографу типа ПОБ-14М». Серийное изготовление таких приставок (рис. 89) в 1961 г. начато Кншиневским заводом электронизмерительных приборов. Световой луч с зеркальца осциллографа регистрируется на покрытой

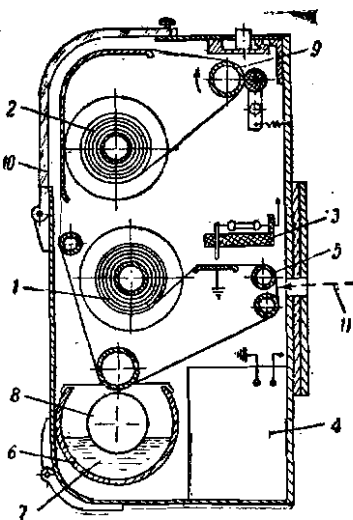
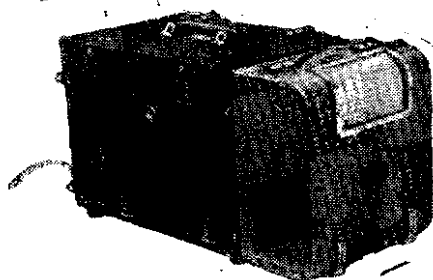


Рис. 89. Электрофотографическая приставка к осциллографу
 а — общий вид, б — принципиальная схема

сенсibilизированной окисью цинка бумажной ленте с частотой до 50 гц при амплитуде до 25 мм. Ширина ленты 120 мм, длина 18 м. Запись может производиться на трех различных скоростях — 1; 4 или 16 см/сек.

Габариты приставки 120×220×240 мм, вес—около 3,5 кг.

Принципиальная схема приставки дана на рис. 89, б. Корпус приставки выполнен из дюралюминия и снабжен откидным прозрачным угольником, позволяющим просматривать изображение, зафиксированное на фотополупроводниковой ленте, и делать на ней необходимые отметки. Лента сматывается с рулона 1, расположенного в центральной части корпуса. Электризация фотополупроводникового слоя осуществляется коронным разрядником 3, подключенным к источнику напряжения 4. Лучи, отраженные зеркальным рамочным гальванометром осциллографа, проходят через щель 11 и образуют на ленте, поддерживаемой валками 5 скрытое электростатическое изображение. Затем полотно проходит над ванночкой 6 с жидким проявителем 7. Валик 8, вращающийся со скоростью 180 об/мин, набрызгивает проявляющую жидкость на фотополупроводниковый слой и проявляет изображение. Емкость ванночки рассчитана на такое количество проявителя, которого хватит, чтобы проявить все 18 м ленты. По выходе ленты из проявляющего устройства изображение быстро высыхает и мимо смотрового окна 10 проходит уже совершенно сухим. Затем лента огибает ведущий валик 9 и поступает на приемную катушку 2.

Питание осциллографа и приставки осуществляется от источника постоянного или переменного тока напряжением 24 в. Для питания электризатора предусмотрен миниатюрный высоковольтный генератор, собранный на полупроводниковых триодах. Мощность, потребляемая приставкой, не превышает 10 вт.

Электрофотографическая приставка «ЭПО-1» в 1959 г. экспонировалась на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

По сравнению с осциллографами, работающими на обычных фотопленках, электрофотоосциллографы имеют ряд серьезных преимуществ, среди которых необходимо упомянуть возможность регистрации на свету, быстрое получение готовой осциллограммы, дешевизну, отсутствие необходимости в специальном помещении и оборудовании для обработки осциллограмм.

Аналогичные устройства в самом ближайшем будущем несомненно найдут широкое применение во всевозможных оптических самописцах, сейсмических приборах и др.

Бескопировочное размножение технической документации. Ежедневно многотысячная армия конировщиц на заводах и фабриках, в научно-исследовательских институтах и конструкторских бюро затрачивает массу времени и сил на копирование чертежей. С изготовленной конировщицей кальки на светокопировальной машине могут быть получены десятки копий-синек оригинального чертежа, которые непосредственно используются в производственном процессе. Издавна предлагались различные методы бескопировочного черчения, призванного освободить конировщиц от малопродуктивного и неблагоприятного труда. Однако ни один из этих методов не нашел сколько-нибудь широкого применения. Электрофотография предлагает новое, весьма практичное решение проблемы. Чертеж, выполненный карандашом на ватмане, может быть непосредственно скопирован электрофотографическим путем, например с помощью аппарата «ЭРА-1». При этом на скорости копирования естественно не отражаются ни размеры чертежа, ни степень его сложности. Копировщица средней квалификации копирует сложный чертеж в течение 10—12 часов. Копия того же чертежа на аппарате «ЭРА-1» может быть получена через 1,5—2 мин. Каждая из последующих 5—6 копий изготавливается в течение 20—30 сек.

Таким образом процесс копирования ускоряется в 50—100 раз, причем полностью исключаются ошибки и связанные с ними контрольные сверки и исправления.

В некоторых случаях целесообразно переносить порошковое изображение с электрофотографической пластины не на обычную бумагу, а на прозрачную кальку, которую затем используют для размножения изображений на обычных светокопировальных аппаратах или же на электрофотографических множительных аппаратах типа «ЭМА-1А».

Другие области применения электрофотографии. Рассмотренные нами области практического применения электрофотографического процесса далеко не исчерпывают возможностей этого нового, по-настоящему еще не оценен-

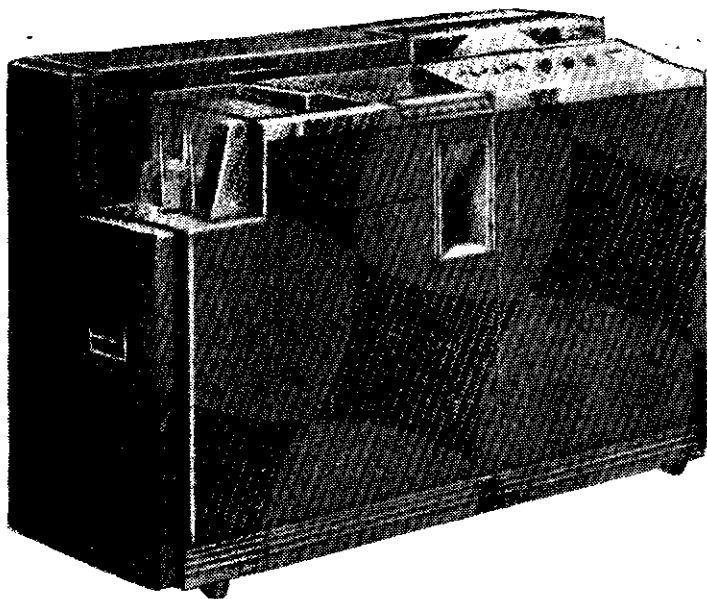


Рис. 90. Электрофотографическая адресовальная машина

ного метода репродуцирования и регистрирования. Уже сегодня можно назвать не менее десятка других отраслей науки и техники, в которых успешно используется электрофотография.

Электрофотографические методы изготовления печатных электросхем находят применение в радиотехнике. Электрофотография используется и для изготовления мозаичных экранов электронно-лучевых трубок.

Тесно связан с электрофотографией основанный, по сути дела, на тех же принципах метод электролюминесценции, т. е. свечения полупроводниковых материалов при наложении на них большого внешнего электрического поля. Метод этот находит применение в телевидении, в счетно-вычислительной технике, в рекламном деле.

Электрофотография используется в геодезии и картографии для воспроизведения аэрофотоснимков и в некоторых других специальных целях.

В настоящее время за рубежом серийно выпускаются электрофотографические адресовальные машины (рис. 90), позволяющие сравнительно просто и удобно решить пробле-

му адресования периодической литературы газет и журналов с целью как можно более скорой доставки их подписчикам.

В области электрофотографии в настоящее время работает большое количество исследовательских учреждений и организаций самого различного профиля. Опыт создания искусственных спутников Земли, исследования в области ядерной физики, атомной и ракетной техники убедительно показывают, что успешное разрешение кардинальных вопросов современной науки и техники достижимо лишь при условии комплексной разработки их соединенными усилиями ученых и практиков — специалистов в разных отраслях знания.

Коллективные исследования советских ученых, новаторов и изобретателей являются залогом того, что в течение ближайших лет электрофотографические методы найдут самое широкое применение.

ЛИТЕРАТУРА

Литература по вопросам электрофотографии достаточно разнообразна и обширна. Она насчитывает около 500 наименований. Более или менее подробный свод ее см.:

Е. Л. Н е м и р о в с к и й, Литература по вопросам электрографии. 1935—1958. Библиографический указатель, Вильнюс, ЦБТИ, 1958.

Оригинальные работы советских исследователей по интересующему вас вопросу опубликованы в следующих сборниках:

«Электрофотография и магнитография». Труды научно-технической конференции по вопросам электрографии». Под ред. И. И. Жилевича, Вильнюс, Республиканский институт научно-технической информации и пропаганды, 1959. 384 стр.

«Электрофотография. Сборник статей». Под ред. проф. Н. Б. Зелигера, Ленинград, ЦБТИ, 1958. 60 стр.

Вопросы теории электрофотографического процесса рассматриваются в работах:

В. М. Ф р и д к и н, И. С. Ж е л у д е в, Фотоэлектреты и электрофотографический процесс, Изд-во АН СССР, 1960. 208 стр.

И. В. А и ф и л о в, В. М. Ф р и д к и н, К теории проявления скрытого электрофотографического изображения. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 1959, т. 4, № 1, стр. 32, 34.

Среди работ обзорного характера упомянем книгу и статьи:

Е. Л. Н е м и р о в с к и й, Новые способы печати, М., «Искусство», 1956. 160 стр.:

К. С. Л я л и к о в, Ксерография (электрофотография). Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 1956, т. 1, вып. 2 стр. 138—139; К. С. Л я л и к о в, Развитие ксерографии. Там же, вып. 3, стр. 226—230.

К. И. М а р х и л е в и ч, В. И. Ш е б е р с т о в и др., Современное развитие фотографических процессов. Под общ. ред. проф. Н. И. Кириллова, «Искусство», 1960. 342 стр.

Работы зарубежных авторов:

«Вопросы электрографии». Сборник переводов из иностранной периодической литературы. Под общей редакцией А. Н. Чернышева. Составление и предисловие Е. Л. Немнровского, М., ИЛ, 1960. 260 стр.

Отдельным практическим приложениям электрофотографического процесса посвящены следующие работы:

К. И. К о р н и ш и н, Ксерографический метод получения изображений при рентгеновской дефектоскопии, М., 1959. 40 стр. (Филнап Всесоюзного института научной и технической информации. Серия «Передовой научно-технический и производственный опыт».)

«Электронная фототелеграфия». Информационный сборник, М., Связьиздат, 1958. 132 стр.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

ДАННЫЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Железо Ш=28×37 мм; I—1000 витков ПЭ \varnothing 0,25; II—2100 витков ПЭ \varnothing 0,16; III—25 витков ПЭ \varnothing 0,6; IV—32 витка ПЭ \varnothing 0,5.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

ДАННЫЕ ОБМОТОК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

I—250 витков ПЭШО \varnothing 0,25; II—300 витков ПЭШО \varnothing 0,1; III—VII—по 360 витков ПЭШО \varnothing 0,1.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3

ДАННЫЕ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА ТИПА ТВС-А

I—2×65 витков ПЭЛ \varnothing 0,6; II—2×12 витков ПЭШО \varnothing 0,15; III—2500 витков ПЭЛ \varnothing 0,07; IV—8 витков ПЭЛ \varnothing 0,35; V—9 витков ПЭЛ \varnothing 0,35.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4

ДАННЫЕ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

I—1000 витков ПЭ \varnothing 0,3; II—2760 витков ПЭ \varnothing 0,16.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Что такое электрофотография	5
История электрофотографии	10
Электрофотографические пластины	19
Электрофотографические бумаги	31
Электризация электрофотографических слоев	43
Экспонирование электрофотографических слоев	62
Проявление и закрепление электрофотографических изображений	74
Электрофотографическая аппаратура	95
Применение электрофотографии в науке и технике	113
Литература	125
Приложения	127

Иван Иосифович Жилевич
Евгений Львович Немировский
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

Редактор *Н. Д. Панфилов*

Оформление художника *И. Д. Стилидзана*.

Художественный редактор *Э. В. Воронцова*.

Технический редактор *Р. Ф. Тумановский*. Корректор *Г. И. Сопова*.

Сдано в набор 5/X 1960 г. Подп. в печ. 12/I 1961 г. Форм. бум. 84×108¹/₃₂.

Печ. л. 4,0 (условных печ. л. 6,56). Уч.-изд. л. 6,16. Тираж 80 000 экз.

A01477. «Искусство», Москва, И-51, Цветной бульвар, 25.

Изд. № 16309. Зак. тип. № 1055.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Московского городского
совнархоза. Москва, Ж-54, Валуевая, 28.

Цена 22 коп.