

ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.382.6.011.222.61

УПРАВЛЯЕМЫЙ РЕЗИСТОР С ФУНКЦИЯМИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА И ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА ХОЛЛА

© 1998 г. А. Г. Акимов*, М. Ю. Барабаненков, М. Л. Бараночников*,
А. В. Леонов, А. Д. Мокрушин, В. Н. Мордкович, Н. М. Омеляновская
Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН
Россия, 142432, Черноголовка Московской области
факс 962-8047, e-mail: barab@ipmt-hpm.ac.ru

Поступила в редакцию 22.04.98 г.

Описаны конструкция и свойства управляемого кремниевого резистивного элемента, сочетающего функции полевого транзистора (п.т.) и полевого датчика Холла (п.д.Х.). Управление параметрами прибора осуществляется с помощью двухзатворной системы металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл, сформированной на базе структуры “кремний на изоляторе” с тонким (200 нм) слоем кремния. Прибор может функционировать как п.т. и как магнитотранзистор с нормально открытым и нормально закрытым каналом. П.д.Х. имеет существенно более высокую удельную чувствительность по напряжению при значительном (более чем на порядок) уменьшении рабочего тока, чем типичные д.Х. на основе GaAs.

В данной статье рассмотрен новый тип управляемого кремниевого резистора (у.к.р.), сочетающего функции полевого транзистора и датчика Холла. В качестве резистивного элемента использован тонкий слой Si в системе металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл. Особенность структуры прибора состоит в том, что толщина слоя Si сопоставима с шириной областей объемного заряда, возникающих при приложении напряжения к металлическим затворам. Изменение знака и величины потенциала на затворах позволяет изменять как толщину канала переноса носителей тока от значения, равного толщине Si-слоя, практически до нуля, так и расположение проводящего канала по отношению к границам раздела Si–диэлектрик. Это, в свою очередь, определяет возможность управления протекающим по слою Si током и значением э.д.с. Холла.

У.к.р. изготавливались на основе структур “кремний на изоляторе”, в которых методом имплантации ионов кислорода и последующего отжига был сформирован скрытый слой диэлектрика SiO₂ толщиной 400 нм. Слой SiO₂ отсекал от кремниевой подложки слой Si толщиной 200 нм. Толщина подложки составляла 0.46 мм. Концентрация носителей заряда в Si изменялась в диапазоне $0.5\text{--}5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Приборы (рис. 1) размещались на кристаллах размером 0.7×0.7 мм и имели форму креста, образованного двумя полосами Si длиной 80 и шириной 30 мкм. Для формирования омических контактов прилегающие к концам полос участки длиной 10 мкм были легированы фосфором до концентрации $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Весь кремний вокруг

креста был преобразован в SiO₂ методом термического окисления. На поверхность креста пиролизом была нанесена пленка SiO₂, толщиной 100 нм, поверх которой над перекрестьем был сформирован Al-затвор (далее будем условно называть его первым или верхним затвором). В качестве второго (нижнего) затвора использовалась непосредственно подложка Si с нанесенной на ее поверхность пленкой Al.

Обращает на себя внимание, что конструкция у.к.р. сочетает в себе основные элементы м.о.п.-транзистора и полевого (униполярного) транзистора с *p-n*-переходом [1, 2]. Как и в м.о.п.-транзисторах, управление проводимостью канала осуществляется здесь с помощью полевых затворов. Однако в у.к.р. отсутствуют *p-n*-переходы истока и стока, а канал ограничен омическими контактами, что характерно для униполярных транзисторов.

На рис. 2 и 3 представлены типичные вольт-амперные и затворные характеристики у.к.р. Видно, что изменение знака и величины потенциалов на затворах позволяет варьировать ток насыщения, пороговое напряжение и крутизну характеристики прибора.

Данные, приведенные на рис. 2, 3, были получены при следующей схеме включения: нижний затвор присоединялся к плюсу источника питания. Изменение характеристик в этом случае было обусловлено величиной и знаком потенциала верхнего затвора. Изменение схемы включения также влияет на характеристики у.к.р., что показано на рис. 4. Кривая *I* получена при постоянном напряжении питания, равном 9.6 В, присоединении нижнего затвора к плюсу источника питания и

* ЗАО ЛБС, Москва.

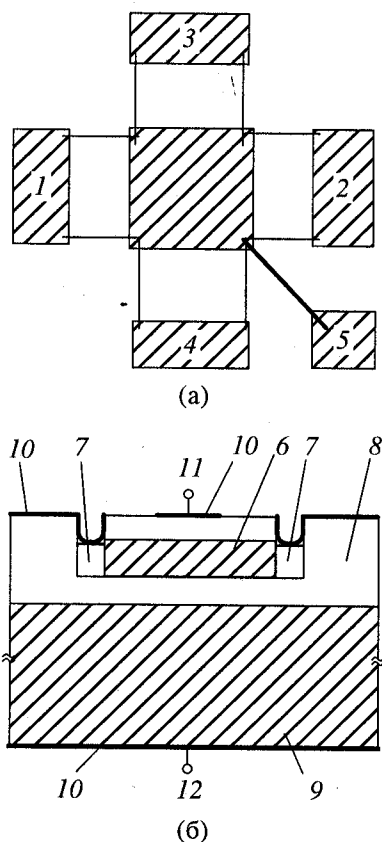


Рис. 1. Конструкция управляемого резистора. а – вид сверху: 1, 2 – токовые контакты, 3, 4 – холловские контакты, 5 – электрод верхнего затвора; б – поперечное сечение: 6 – проводящий слой (n -Si); 7 – омические контакты (n^+ -Si); 8 – SiO₂; 9 – подложка (n -Si); 10 – Al-пленка; 11 – электрод верхнего затвора; 12 – электрод нижнего затвора.

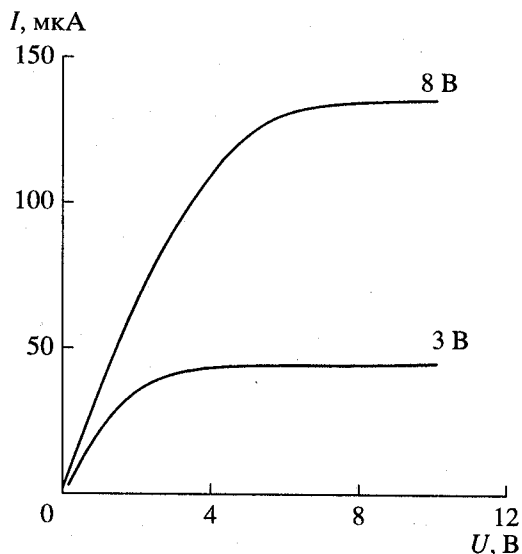


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика управляемого резистора для разных значений напряжения на первом затворе. Нижний затвор соединен с плюсом источника питания.

изменении потенциала верхнего затвора от -9 до $+18$ В. Кривая 2 соответствует схеме включения, согласно которой электроды верхнего и нижнего затворов соединены с плюсом источника питания, а напряжение питания изменяется в том же диапазоне, что и потенциал верхнего затвора в предыдущем случае. Из рис. 4 видно, что в зависимости от схемы включения у.к.р. проявляет себя либо как нормально открытый (кривая 1), либо как нормально закрытый (кривая 2) транзистор. Таким образом, двухзатворная вертикальная структура прибора дает возможность широко варьировать его основные характеристики.

При помещении у.к.р. в магнитное поле на паре электродов, перпендикулярных токовым, появляется электрический сигнал. Таким образом, этот прибор можно называть полевым датчиком Холла (п.д.Х.). Изменяя потенциал затворов, можно прежде всего существенно уменьшить остаточное напряжение в п.д.Х., т.е. разность потенциалов между холловскими контактами, возникающую при протекании тока через датчик в отсутствие магнитного поля. Это связано с тем, что в п.д.Х. величина остаточного напряжения существенно зависит от неоднородности заряда в подзатворном диэлектрике, влияние которой на проводимость канала можно минимизировать, изменив потенциал затвора. Указанное обстоятельство выгодно отличает п.д.Х. от традиционных датчиков Холла (д.Х.).

Поскольку толщина рабочего слоя Si в данной структуре в несколько раз меньше, чем у стандартных кремниевых д.Х., изготавливаемых по эпитаксиальной технологии [3], то и чувствительность п.д.Х. по напряжению пропорционально

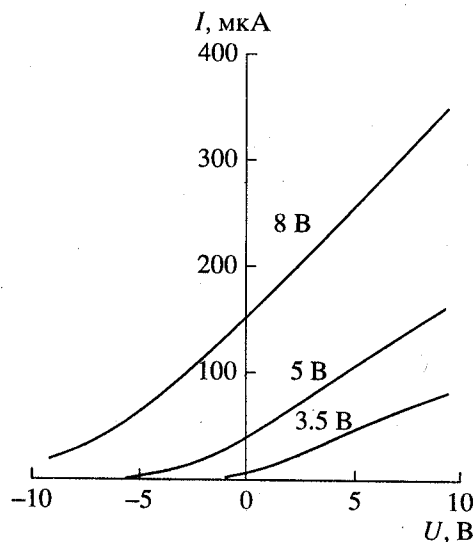


Рис. 3. Зависимость тока управляемого резистора от потенциала первого затвора для разных значений напряжения питания. Нижний затвор соединен с плюсом источника питания.

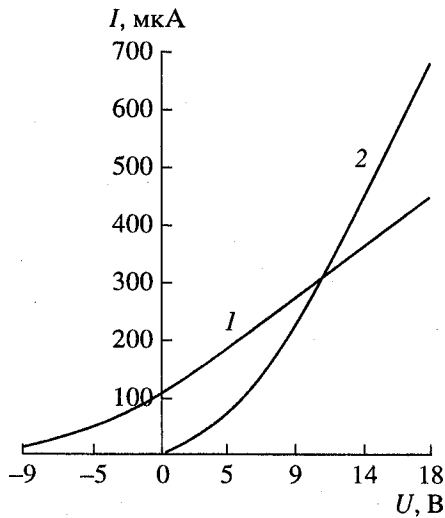


Рис. 4. Зависимость тока управляемого резистора от напряжения на верхнем затворе (1) и напряжения питания (2) при различных способах включения.

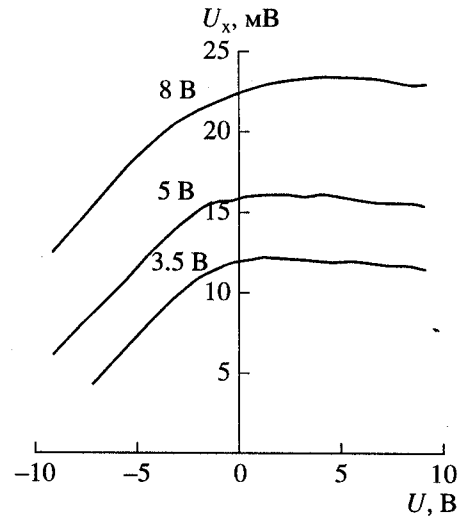


Рис. 5. Зависимость холловской разности потенциалов U_x от напряжения на затворе при разных напряжениях питания. $B = 40$ мТл.

выше. Изменение толщины проводящего канала с помощью полевого эффекта позволяет управлять чувствительностью п.д.Х. (рис. 5), величина которой сопоставима с чувствительностью д.Х. на основе GaAs.

Омическое сопротивление канала п.д.Х. составляет $\sim 10\text{--}100$ кОм, что при традиционных значениях напряжения питания датчика (5 или 9 В) определяет весьма низкое потребление тока (по крайней мере, на порядок меньшее, чем у обычных полупроводниковых д.Х.).

В таблице приведены основные параметры п.д.Х. в сопоставлении с типичными серийно выпускаемыми GaAs-датчиками фирмы Siemens (ФРГ).

Холловская разность потенциалов (рис. 5) была измерена при вариации потенциала верхнего затвора и постоянном смещении нижнего затвора, соединенного с плюсом источника питания. Если же изменить схему включения (так же как при измерениях в.а.х. и затворных характеристик у.к.р.), то можно получить различный вид зависимости холловского сигнала U_x от приложенного напряжения.

Кривая 1 на рис. 6 показывает зависимость U_x от напряжения на верхнем затворе, когда другой затвор соединен с плюсом источника питания, напряжение которого (9.6 В) в процессе измерений сохраняется постоянным (эта ситуация соответствует кривой 1 на рис. 4). Кривая 2 на рис. 6 получена в тех же условиях, что и кривая 2 на рис. 4, а именно: U_x измерялось при изменении напряжения питания, а соединенные друг с другом затворы были присоединены к плюсу источника питания. Из рис. 6 следует, что п.д.Х. может выпол-

нять функции нормально открытого и нормально закрытого магнитотранзистора.

Отметим также, что конструкция п.д.Х. позволяет проводить измерения э.д.с. Холла в режиме модуляции потенциала на полевых электродах, что существенно облегчает возможность регистрации слабых сигналов. Эксперименты показали, что п.д.Х. позволяют уверенно регистрировать магнитные поля напряженностью $\sim 10^{-7}$ Тл.

Основные характеристики датчиков Холла

Прибор	п.д.Х.	KSY-10
Изготовитель	ЗАО ЛБС, Россия	Siemens, ФРГ
Материал	Si	GaAs
Магниточувствительная область, мм	0.03×0.03	0.2×0.2
Напряжение питания, В	9	9
Рабочий ток, мА	≤ 0.3	5
Удельная чувствительность, В/(А · Тл)	1000–5000	170–230
Остаточное напряжение*, мВ	≤ 10	≤ 25
Внутреннее сопротивление, кОм	10–100	0.9–1.2

* Напряжение на холловских электродах в отсутствие магнитного поля при включенном напряжении питания.

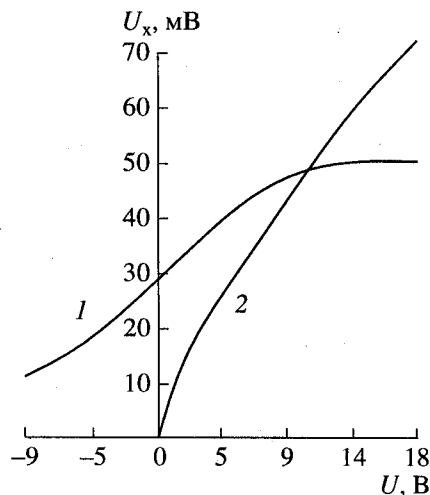


Рис. 6. Зависимость холловской разности потенциалов от напряжения на верхнем затворе (1) и напряжения питания (2) при различных способах включения управляемого элемента. $B = 60$ мТл.

В настоящее время фирма ЛБС освоила опытное производство п.д.Х., выполненных как в различных стандартных металлокерамических и пластмассовых корпусах, так и в бескорпусном варианте.

Работа выполнена при частичной поддержке программы “Физика твердотельных наноструктур” Миннауки РФ (проект 97-1062).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. С. 327.
2. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 2. С. 7.
3. *Маллер Р., Кейминс Т.* Элементы интегральных схем. М.: Мир, 1989. С. 66.