

К. ф.-м. н. Д. М. ЁДГОРОВА, Э. Н. ЯКУБОВ

Узбекистан, г. Ташкент, НПО «Физика-Солнце»
E-mail: karimov@physic.uzsci.net

Дата поступления в редакцию
05.05 2005 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ДЕТЕКТОРЫ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ СТРУКТУР Au-nSi-Al, Au-nSi

Получены перспективные для детектирования оптических сигналов двухбарьерные структуры и поверхностно-барьерные структуры с модифицированными охранными высокоомными слоями с перекрытием металла.

Кремниевые поверхностно-барьерные структуры, изготовленные путем напыления сплошных поверхностно-барьерных контактных областей (Au), широко используются в качестве детекторов ионизирующего излучения. При этом они работают в запирающем режиме при обратных смещениях, обеспечивающих обеднение области поверхностного барьера вплоть до 20—30 мкм.

В известных детекторных структурах зачастую появляются дополнительные токи утечки, ухудшающие пороговые характеристики структуры. Одним из способов уменьшения токов утечки является создание охранного кольца, которое представляет собой диффузионную область с типом проводимости, противоположным типу проводимости активной области. К недостаткам таких структур относится большое время восстановления и большая паразитная емкость за счет диффузионного $p-n$ -перехода [1, с. 310—315].

В принципе детекторы ядерного излучения не отличаются от фотоприемников, т. е. при попадании ионизирующего излучения в область объемного заряда образуются неравновесные носители. Обеспечение эффективности разделения генерированных носителей и оптического сигнала путем модифицирования детекторной структуры позволит детектировать оптические сигналы. Это и является целью настоящей работы.

Для решения задачи нами были изготовлены двухбарьерные и поверхностно-барьерные структуры со своеобразными модифицированными охранными высокоомными слоями с перекрытием металла. Своеобразие заключается в том, что так называемое охранное кольцо представляет собой диэлектрический

слой оксида кремния в виде окружности, обрамляющей верхний потенциальный барьер с высокоомным тонким промежуточным слоем (рис. 1).

Двухбарьерная Au-nSi-Al-структура получена путем напыления полупрозрачного слоя из Au толщиной порядка 50 Å и тыльного полупрозрачного слоя из Al (50 Å). Данная структура является частным случаем трехбарьерной фотодиодной структуры [2] и обладает преимуществами по сравнению с обычными в части фоточувствительности и коммуникационности при стыковке с электронными схемами.

Поверхностно-барьерные Au-nSi-структуры с модифицированными охранными высокоомными слоями с перекрытием металла также имеют некоторые преимущества по темновым токам и фоточувствительности. Модернизация структур на основе Al-n⁺-Si-Al с барьером Шоттки в работе [3] осуществлена диффузией из твердотельного источника в сформированных на свободной поверхности кремния окнах SiO₂ при импульсном лазерном облучении.

Нами Au-nSi-структуры изготовлены путем отжига напыленного в окошко из оксида кремния Au при 700°C в потоке водорода, а также с последующим повторным напылением Au для создания барьера. Тыльный омический контакт получен вжиганием Al при 680°C в потоке водорода.

Двухбарьерные Au-nSi-Al-структуры

Двухбарьерные Au-nSi-Al-структуры изготовлены на основе пластин кремния n -типа проводимости с концентрацией носителей $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ толщиной 400 мкм и площадью 1,8 см². Со стороны фотоприемной поверхности из Au потенциальный барьер равен $\phi=0,8 \text{ эВ}$, а с тыльной стороны, где Al, — $\phi=0,6 \text{ эВ}$ [4, с. 188—194]. Эквивалентная схема Au-nSi-Al-структуры состоит из двух встречновключенных барьеров.

В любом из направлений от приложенного напряжения реализуется фотодиодный режим. Вольт-амперная характеристика является симметричной по отношению к центральной оси. При освещении Au-nSi-Al-структуры видимым светом с максимумом излучения 0,55 мкм в обоих направлениях появляется фототок, ход кривой которого повторяет обратную кривую, причем чем больше интенсивность освещения, тем больше фототок (рис. 2). При этом фоточувствительность достигает 0,7 А/Вт. Прямая и обратная ветви представляют собой характеристики двух встречновключенных Шоттки-переходов, один из которых всегда включен в запираемом направлении.

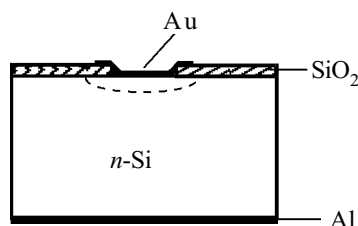


Рис. 1. Геометрия поверхностно-барьерной модифицированной структуры

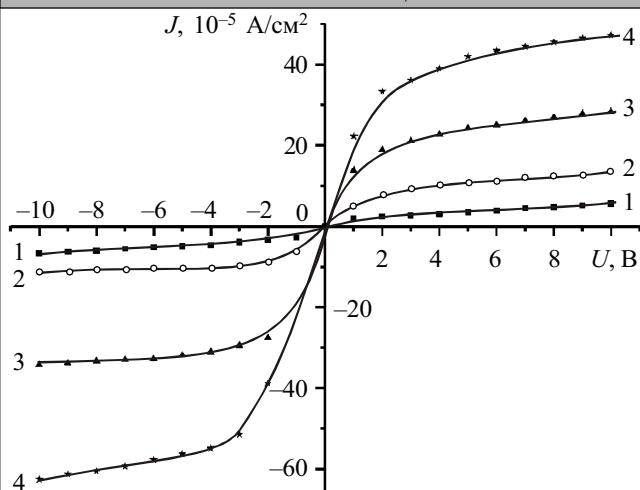


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика двухбарьерной Au-nSi-Al-структуры при различной освещенности: 1 — темновая; 2 — 10^3 лк; 3 — $3 \cdot 10^3$ лк; 4 — $6 \cdot 10^3$ лк

По мере увеличения приложенного обратного напряжения по отношению к барьеру Au-nSi вместе с его высотой возрастает и поле, а в противоположном конце, наоборот, переход nSi-Al входит в режим прямого смещения. Эффект изменения высоты барьера проявляется также с увеличением интенсивности освещения за счет увеличения концентрации генерированных светом носителей. Таким образом, получается семейство характеристик при различной освещенности (кривые 2—4).

Как показали исследования спектральных характеристик двухбарьерных Au-nSi-Al-структур в фотодиодном режиме (рис. 3), максимальная фоточувствительность при комнатной температуре в них достигается в коротковолновой области спектра (0,5 мкм), затем, уменьшаясь по закону, близкому к квадратичному, простирается до 1,2 мкм. Здесь отметим, что величина чувствительности в данной области спектра будет увеличиваться с повышением напряжения, приложенного в обратном направлении к освещаемому переходу.

Фоточувствительность в коротковолновой области почти на порядок больше, чем в видимой области спектра, т. е. данная двухбарьерная структура может

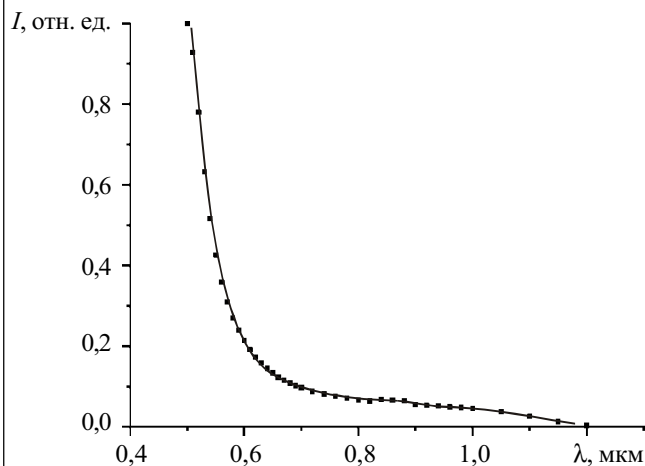


Рис. 3. Спектральная характеристика поверхностно-барьерной Au-nSi-Al-структуры

выполнять роль коротковолнового фотодетектора. Высокая фоточувствительность в коротковолновой области спектра свидетельствует об отсутствии дефектов на границе перехода "металл—полупроводник".

Au-nSi-структуры с модернизированными охранными высокоомными слоями с перекрытием металла

Модernизированные образцы изготовлены на основе монокристаллического кремния n-типа проводимости с удельным сопротивлением 1 кОм. Диаметр исходного кристалла составляет 24 мм при толщине 300 мкм. Омические и выпрямляющие контакты нанесены на обе поверхности в виде малых окружностей. Диаметр контакта, расположенного в центре кристалла, составляет 6—8 мм, и структура представляет собой диод с перекрытием металла, в котором оксидный слой окружает контактную область.

Исследования вольт-емкостных характеристик (рис. 4) показали, что на начальном участке имеется маленькое плато, которое в дальнейшем продолжается в обычном виде $C^2 \sim U$, т. е. по квадратичному закону.

Наличие плато вызывается постоянством зависимости емкости от напряжения за счет наличия поверхностного тонкого высокоомного слоя. В области напряжений от 0 до 2 В толщина слоя объемного заряда W (см. рис. 5) имеет постоянное значение (14,8 мкм),

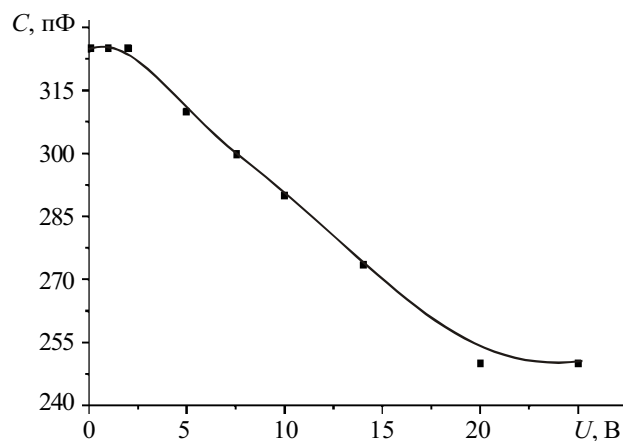


Рис. 4. Вольт-емкостная характеристика Au-nSi-структуры в запирающем режиме

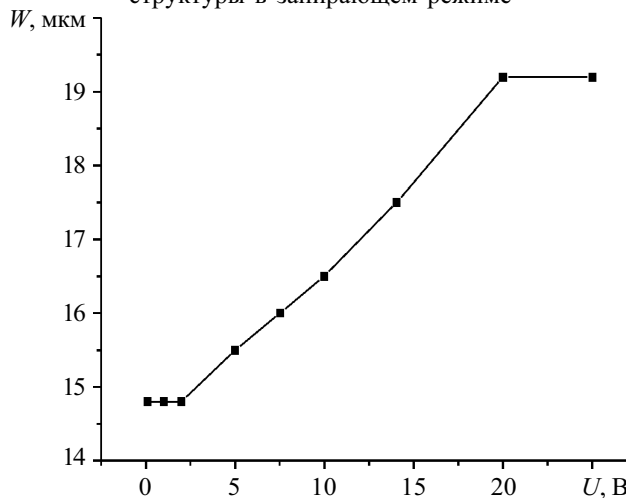


Рис. 5. Зависимость толщины слоя объемного заряда Au-nSi-структуры от запирающего напряжения

далее, по мере увеличения приложенного напряжения до 20 В, она увеличивается линейно и при достижении 20 В вновь становится постоянной (19,2 мкм).

Неизменность толщины слоя обеднения на начальном участке можно объяснить пониженной концентрацией носителей N на границе с металлом. В частности, как показано в таблице, концентрация носителей в диапазоне до 2 В увеличивается в 3,5 раза, далее имеет место более равномерный рост, а при напряжении 20 В опять наблюдается значительное увеличение концентрации носителей.

$U, \text{В}$	0	1	2	5	7,54	10	14	20	25
$N, 10^{12} \text{ см}^{-3}$	4,19	9,3	14,6	27,3	33,4	44,5	54,2	63,7	79

Таким образом, по расчетным данным, концентрация носителей в активной области последовательно возрастает. Потенциальный барьер, равный 0,8 эВ (по данным [4] и определенный из зависимости корня квадратного из фототока от энергии) — единственный и создан на основе Au. Все напряжение, приложенное извне, падает на потенциальном барьере фотоприемной поверхности. Исследуемая структура представляет собой полупроводник с одним выпрямляющим потенциальным барьером с тонким высокоомным поверхностным слоем.

При приложении прямого напряжения (плюс к Au) контактная разность потенциалов уменьшается и переход "металл—полупроводник" смещается в прямом направлении, в результате (рис. 6) имеем первый квадрант вольт-амперной характеристики. При приложении обратного напряжения (минус к Au) к исходной контактной разности потенциалов добавляется приложенное извне напряжение, и переход "металл—полупроводник" будет смещаться в обратном направлении. При этом возрастает поле в потенциальном барьере, а толщина слоя объемного заряда увеличивается (см. рис. 5).

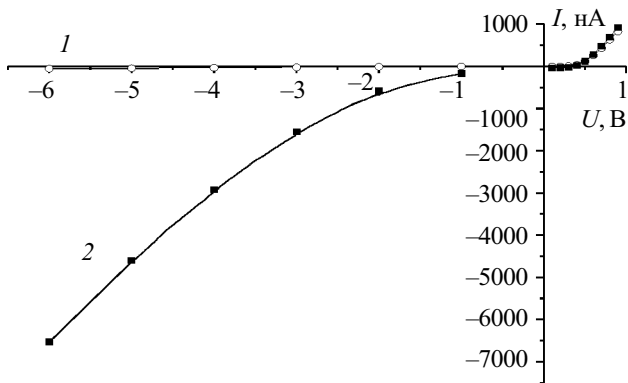


Рис. 6. Вольт-амперная характеристика Au-nSi-структуры: 1 — темновая; 2 — при освещении 1000 лк

Вольт-амперная характеристика исследуемой Au-nSi-структуры с охранным кольцом (рис. 6) описывается зависимостью (q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, T — температура, n — безразмерный коэффициент показателя экспоненты)

$$I = \exp \frac{qU}{nkT},$$

состоящей из двух участков. На первом участке $n_1=4,98$, на втором участке $n_2=8,0$. Данные показате-

ли свидетельствуют о высоких значениях протекающего тока.

Как показано в работе [5], наличие высокоомного промежуточного слоя позволяет управлять высотой потенциального барьера и токопереносом. При наличии высокоомного промежуточного слоя в кремниевых диодных структурах с барьером Шоттки из Pd показатель степени оказался равным 3. В нашем случае этот показатель равен 4,98 и 8,0, что может быть связано не только с промежуточным слоем, но и с влиянием примесных уровней золота, расположенных посередине запрещенной зоны кремния.

Обратная ветвь ВАХ описывается степенной зависимостью $I \approx U^\gamma$ с показателем степени при комнатной температуре $\gamma_1=0,59$ и $\gamma_2=0,88$.

Данная структура при освещении видимым светом (рис. 6, $\lambda \approx 0,55$ мкм) ведет себя как фотодиод. При подсветке изменение тока в прямой ветви незначительно, а в обратной ветви фототок увеличивается нелинейно с ростом приложенного напряжения. Наблюдаемый вид зависимости свидетельствует о наличии внутреннего фотоэлектрического усиления [7, с. 192—195].

В темноте обратный ток с ростом напряжения практически не возрастает, однако при внешних воздействиях (освещении) с ростом напряжения начинает резко возрастать. Ход наблюдаемой кривой можно объяснить полным падением приложенного напряжения в потенциальном барьере, при этом темп роста поля опережает темп увеличения толщины слоя объемного заряда. В результате имеем увеличение фототока с увеличением напряжения. Чем больше напряжение, тем больше носителей заряда генерируется.

Спектральный оптический диапазон данной структуры (рис. 7) является широким. Начинаясь в области 0,4 мкм, fotocувствительность достигает максимума при 0,5 мкм и далее сохраняется на уровне 60% до 1,0 мкм с понижением до минимума при 1,2 мкм. Наблюдаемую зависимость можно объяснить наличием расположенного близко к поверхности более высокоомного тонкого слоя.

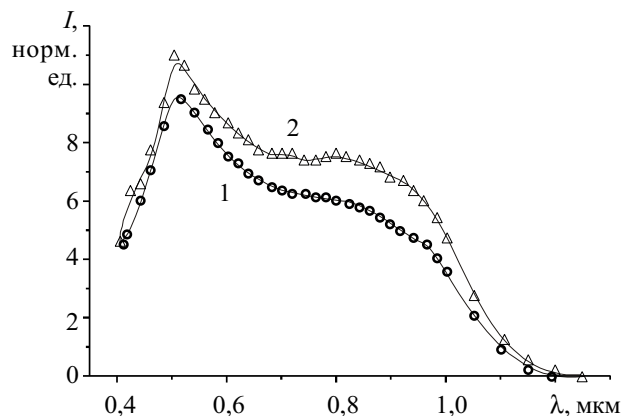


Рис. 7. Спектральная fotocувствительность Au-nSi-структуры: 1 — $U=1,0$ В; 2 — $U=5,0$ В

Расширение спектрального диапазона в длинноволновой области спектра связано с глубоким примесным уровнем, расположенным посередине запрещенной зоны в приповерхностной области крем-

ния. Эти уровни при приложении обратного напряжения являются ионизированными. Так, по мере увеличения рабочего напряжения от 1 до 5 В фототок увеличивается. Характерным является то, что фототок в диапазоне $\lambda=0,92...1,2$ мкм увеличивается синхронно с напряжением.

Таким образом, как световые токи, так и спектральные характеристики модифицированной Au-nSi-структуры с охранными высокоомными слоями с перекрытием металла управляются приложенным напряжением. Создание в приповерхностной области активного слоя из более высокоомного слоя, наряду с расширением спектрального диапазона, повышает фоточувствительность.

Заключение

Получены Au-nSi-Al-структуры с встречновключенными выпрямляющими переходами и Au-nSi-структуры с охранными высокоомными слоями с перекрытием металла. Высокая фоточувствительность в коротковолновой области спектра (0,5—0,6 мкм) обеспечивается высоким полем под барьером благодаря отсутствию дефектов на границе перехода "металл—полупроводник".

В Au-nSi-структуре с охранным высокоомным слоем с перекрытием металла образование тянущего поля для генерированных светом носителей заряда за счет диффузионного распределения носителей позволяет получить высокую фоточувствительность в диапазоне спектра от 0,92 до 1,2 мкм.

Полученные структуры представляют интерес для детектирования оптических сигналов.

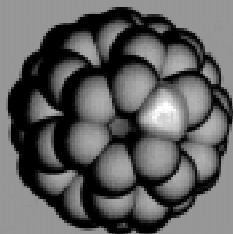
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 1.— М. Мир, 1984.
2. Каримов А. В. Фотоэлектрическое усиление в трехбарьерной структуре // Лазерная техника и оптоэлектроника.— 1993.— № 3.— С. 83—85.
3. Воробец Г. И., Воробец М. М., Стребжев В. Н. и др. Исследование физических механизмов лазерной коррекции и стабилизации параметров структур Al-n⁺-Si-Al с барьером Шоттки // ФТП.— 2004.— Т. 38, вып. 6.— С. 690—692.
4. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл—полупроводник.— М.: Мир, 1975.
5. Слободчиков С. В., Салихов Х. М., Руссу Е. В., Малинин Ю. Г. Гашение тока светом в диодных структурах p-Si-n⁺-ZnO-n-ZnO-Pd // ФТП.— 2001.— Т. 35, вып. 4.— С. 479—481.
6. Аут И., Генцов Д., Герман К. Фотоэлектрические явления.— М.: Мир, 1980.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА НАНО-ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ

1-3 ноября 2005 года



NTMEX - 2005

Москва. Новый Арбат, 36
здание Правительства Москвы

ООО "Компания МММ ПРОФ"
107140, г. Москва, ул. В. Красносельская, д.2/1, стр.1
Тел./факс: (095) 502-19-38, 775-17-20, 502-19-37
E-mail: mikroprof@mail.ru www.mikmexpro.ru

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

- | | |
|--|--|
| ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАНОМАТЕРИАЛОВ | НАДРОБ и оригинальные компоненты
на основе наноматериалов |
| НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ
КОМПОНЕНТОВ И МИКРОСИСТЕМ | НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ |
| УСЛУГИ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ | ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ
ГОРОДСКОГО КОЗЯЙСТВА |

ОРГАНИЗАТОРЫ

Департамент науки и промышленной политики города Москвы
Московский комитет по науке и технологиям

Московский комитет по науке и технологиям
121069, г. Москва, Борокостебловский пер., д.б, стр.3
Тел.: (095) 202-76-91, 201-23-86.
Факс: (095) 201-30-95 e-mail: pas@mika.ru

НОВЫЕ КНИГИ



Каганов В. И. Радиотехнические цепи и сигналы.— М.: Высшая школа, 2004.— 25 л.

Изложен материал по всем разделам вузовской программы одноименного курса. Рассмотрены основы теории по передаче и приему сообщений с помощью радиосигналов, по спектральной теории сигналов и их генерированию, усилению, преобразованию, модуляции, детектированию, демодуляции и обработке. Изложена теория радиоэлектронных линейных, нелинейных и параметрических цепей аналогового и цифрового типов. Приведены 77 программ на основе универсального математического пакета программ «Mathcad» по всем разделам дисциплины, позволяющих с помощью компьютера анализировать и рассчитывать радиотехнические цепи и сигналы.

НОВЫЕ КНИГИ