

УДК 621.382

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ БАРЬЕРОВ ШОТТКИ «Au — ОКСИД — *n*-Si» В УФ-ОБЛАСТИ СПЕКТРА

К. ф.-м. н. Д. Мелебаев¹, А. Х. Гурбанова¹, В. М. Саркисова¹,
К. А. Ходжанепесов¹, д. ф.-м. н. М. К. Бахадырханов², С. Б. Исамов²

¹Институт солнечной энергии АНТ, г. Ашхабад, Туркменистан;

²Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан
dmelebay@yandex.ru

*Фоточувствительные наноструктуры Au—SiO₂(Fe)—*n*-Si созданы методом химического осаждения. Установлено, что ферромагнитное железо обладает проникающей способностью по отношению к кремнию и при 300 К формирует nanoоксидный слой Fe₂O₃, что способствует появлению у наноструктуры специфических свойств. При энергии фотонов $h\nu > 5,0$ эВ в структуре обнаружен фототок, обусловленный фотовозбуждением электронно-дырочных пар в диэлектрике и разделением их полем барьера. Обнаруженные явления позволяют создать новые типы фотоприемников, имеющие большое практическое значение.*

Ключевые слова: фоточувствительность, наноструктура, кремний, оксид железа, фотоприемники.

В последние годы интенсивно исследуются наноструктуры «металл — диэлектрик — полупроводник» (МДП) с барьером Шоттки на основе монокристаллического кремния. При этом на поверхности пластинки Si предварительно создается тонкий слой пористого кремния, который позволяет существенно улучшить электрические и оптические параметры структур и увеличить эффективность преобразования фотоприемника или солнечного элемента [1, 2]. При изготовлении такого типа поверхностно-барьерных структур особый интерес представляет метод химического осаждения слоя металла из раствора [2,3].

Настоящая работа посвящена исследованиям фоточувствительности МДП-структур «Au — оксид — *n*-Si» в области энергии фотонов $h\nu = 1,1—6,1$ эВ с целью определения ширины запрещенной зоны собственного оксида кремния (SiO₂) и выяснению влияния оксида железа (Fe₂O₃) на спектр фототока (I_{f0}) наноструктур Au—SiO₂(Fe)—*n*-Si. Технология изготовления и основные параметры фоточувствительных барьеров Шоттки на основе *n*-Si описаны в [4].

Для получения наноструктурированных барьеров Шоттки использовались пластины Si *n*-типа с ориентацией (100) и удельным сопротивлением 1—4 Ом·см толщиной ≈ 350 мкм. Сначала на одной стороне поверхности кремния химическим осаждением создавался двухслойный омический контакт (ОК) Ni+Au, а затем на другой — барьерный контакт (БК) Au. Поверхность пластины Si очищалась химическим раствором HF:H₂O (1:8). Для улучшения качества ОК между Si и Au был создан тонкий слой Ni. Этот слой в процессе отжига омического контакта может выполнять функцию барьера для предотвращения диффузии Au в сторону Si и способствовать улучшению качества границы раздела. После создания ОК, непосредственно перед осаждением БК Au, очищенная поверхность Si обрабатывалась этаноловым раствором бромида железа (FeBr₂·6H₂O) и промывалась этиловым спиртом.

Для выяснения влияния Fe₂O₃ на спектр фототока барьеров Шоттки были созданы два типа фоточувствительных МДП-структур на основе *n*-Si: с оксидом железа и без него. Ферромагнитное железо хорошо проникает в полупроводник и при комнатной температуре формирует nanoоксидный слой Fe₂O₃, что способствует возникновению в структуре Au—SiO₂(Fe)—*n*-Si специфических свойств [5].

Площадь барьерного контакта исследуемых структур составляла от 0,03 до 0,5 см². К омическому и барьерному контактам индием припаивали серебряные провода. Измерялись спектр фототока ($I_{f0} - h\nu$), вольт-емкостные ($C-U$) и вольт-амперные ($I-U$) характеристики при 300 К.

Полученные научные результаты показаны на рис. 1 и 2, а в таблице приведены основные па-

раметры созданных кремниевых МДП-фотоприемников. В УФ-области величина токовой чувствительности S_I фотодиода Шоттки достигала 0,030—0,041 А/Вт ($h\nu=4,88$ эВ; или $\lambda=254$ нм при 300 К).

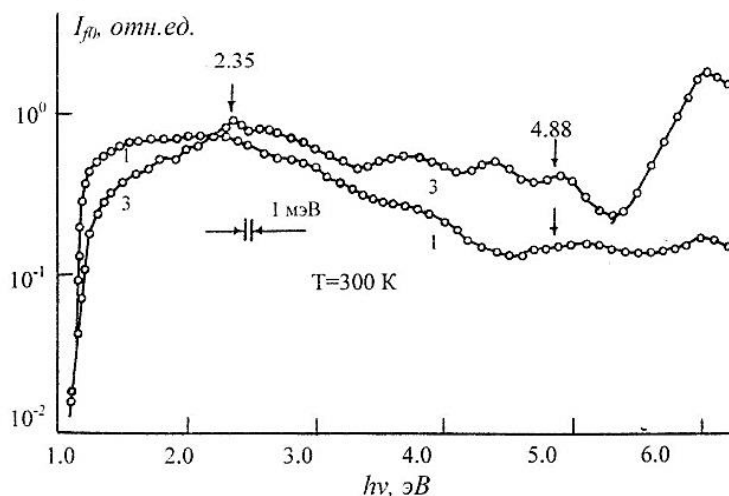


Рис. 1. Типичные спектры фоточувствительности барьеров Шоттки «Au — оксид — n-Si», не содержащих Fe_2O_3 (1) и содержащих Fe_2O_3 (3)

В структурах, содержащих железо, в видимой (1,5—3 эВ) и УФ (3,2—6,1 эВ) областях спектра обнаружены новые закономерности (рис. 1, кривая 3). В длинноволновой части спектра наблюдается максимум фототока при $h\nu_m=2,35$ эВ. Это связано с образованием на границе раздела «полупроводник—металл» оксида железа Fe_2O_3 . В УФ-части спектра в интервале $h\nu=3,2—5,2$ эВ кривая имеет несколько локальных максимумов. При $h\nu > 5,5$ эВ наблюдается резкий рост фоточувствительности и ее значение превышает величину всех локальных максимумов в исследуемой области спектра. В коротковолновой части УФ-спектра в интервале 5—6,1 эВ наблюдается рост фоточувствительности с увеличением $h\nu$. В структурах, не содержащих оксид железа, такая закономерность не обнаружена (рис. 1, кривая 1).

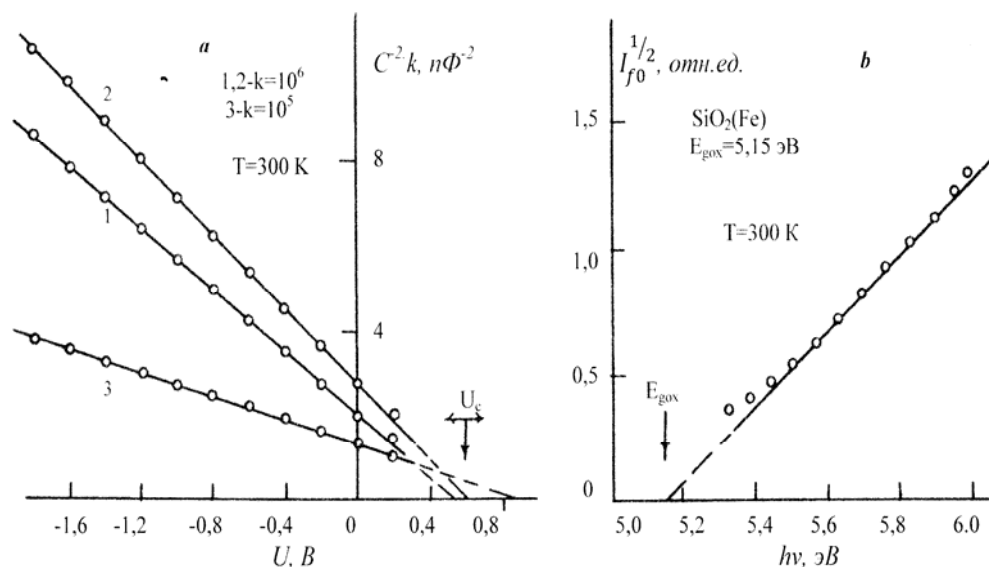


Рис. 2. Характеристики барьеров Шоттки «Au — оксид — n-Si»

Влияние особенностей структуры на фотоэлектрические свойства проявилось и в вольт-фарадных характеристиках $C^{-2}=f(U)$, измеренных при $f=1$ МГц (рис. 2, а). При увеличении толщины оксидного слоя δ в пределах от 10 до 45 Å высота потенциального барьера $q\phi_{B0}$ не уменьшается, а на-

пряжение отсечки U_c увеличивается (рис. 2, а). Высота барьера Шоттки зависит от физико-химических свойств границы раздела «оксид — кремний». Разный характер взаимодействия химически активного оксида железа на поверхности кремния приводит к различному поведению при образовании барьеров Шоттки (см. рис. 2, а; таблицу).

Параметры Si-нанодиодов с барьером Шоттки при 300 К

№	Структура	$N_d - N_a$, см ⁻³	U_c , В	E_{m0} , В/см	$q\Phi_{B0}$, эВ		δ , Å	S_f , А/Вт (4,88 эВ)
					$C-U$	$I_{f0} - hv$		
1	Au—n-Si (κ)	$2,7 \cdot 10^{15}$	0,56	$2,2 \cdot 10^4$	0,82	0,81	10	0,030
2	Au—SiO ₂ —n-Si	$3,0 \cdot 10^{15}$	0,62	$2,4 \cdot 10^4$	0,87	0,83	20	0,035
3	Au—SiO ₂ (Fe)—n-Si	$2,1 \cdot 10^{14}$	0,90	$7,0 \cdot 10^3$	1,20	—	45	0,041

При освещении структуры Au—SiO₂(Fe)—n-Si (рис. 1, кривая 3) со стороны Au оксидный слой SiO₂, легированный Fe, и нанослой Au находятся под влиянием высокого внутреннего электрического поля ($E_{m0} \approx 7 \cdot 10^3$ В/см, см. таблицу) объемного заряда, и под действием квантов высоких энергий $hv > 5$ эВ в диэлектрике возникает фототок, обусловленный фотозабросом носителей заряда из контакта и последующим их перемещением по разрешенным зонам [6]. Таким образом, слой диэлектрика (оксида) участвует в создании дополнительного фототока.

Зависимость фототока I_{f0} от hv в интервале 5—6,1 эВ оказалась экспоненциальной (рис. 1, кривая 3). Важно подчеркнуть, что экспериментальная зависимость $I_{f0}^{1/2}$ от hv в интервале $hv = 5,4—6,1$ эВ оказывается линейной (рис. 2, б), что позволяет по методике [7] определить ширину запрещенной зоны E_{gox} оксида SiO₂(Fe), образованного на поверхности Si. В полученных нами результатах значение E_{gox} для SiO₂(Fe) оказалось равным $5,15 \pm 0,05$ эВ при 300К. Таким образом, образованные на поверхности Si наноксидного слоя железа создает в наноструктуре Au—SiO₂—n-Si специфические свойства, имеющие важное практическое значение.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А. и др. Электрические и фотоэлектрические свойства наноструктур, полученных неэлектролитическим травлением кремния // ФТП.— 2011.— Т. 45, № 7.— С. 984—987.
2. Шевченко О.Ю., Горячев Д.Н., Беляков Л.В., Сресели О.М. Оптические свойства нанопористого кремния, пассированного железа // ФТП.— 2010.— Т. 44, № 5.— С. 669—673.
3. Мелебаев Д., Мелебаева Г.Д., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Фоточувствительность и определение высоты барьеров Шоттки в структурах Au-n-GaAs // ЖТФ.— 2008.— Т. 78, №1.— С. 137—142.
4. Мелебаев Д., Саркисова В.М., Гурбанова А.Х. Спектр фоточувствительности барьеров Шоттки золото-кремний, полученного методом химического осаждения // Тр. VI Межд. конф. «Аморфные и микрокристаллические полупроводники».— Россия, г. Санкт-Петербург.— 2008.— С. 281—282.
5. Мелебаев Д., Гурбанова А.Х., Акмаммедова А.Х. Фоточувствительность и определение высоты барьера Шоттки в структурах Au-n-Si, изготовленных химическим методом // Тр. XIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-2012»).— Украина, г. Одесса.— 2012.— С. 289.
6. Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноворов П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии.— Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1988.
7. Мелебаев Д., Ташлиева А.М., Рудь Ю.В., Рудь В.Ю. Исследование спектра фоточувствительности Au-Ga₂O₃-n-GaP для определения ширины запрещенной зоны оксида Ga₂O₃ // Тр. XIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-2012»)— Украина, г. Одесса.— 2012.— С. 288.

D. Melebayev, A. H. Gurbanova, V. M. Sarkisova, K. A. Hodjanepesov, M. K. Bahadirhanov, S.B.Isamov
Photosensitivity of Au—oxide—n-Si nanostructured Shottki barriers in ultraviolet spectrum.

Photosensitive Au-SiO₂(Fe)-n-Si nanostructures were obtained by chemical deposition It is found that the ferromagnetic iron has penetrating ability with respect to silicon and forms Fe₂O₃ nanooxide layer at 300 K, which contributes to specific properties to appear. At photon energy of $hv > 5.0$ eV in the structure a photocurrent was found, caused by photoexcitation of electron-hole pairs in dielectric and their separation by the barrier field. The discovered properties will make it possible to create new types of photodetectors for practical use.

Keywords: *photosensitivity, nanostructure, silicon, iron oxide, photodetectors.*