

ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК p-CdTe В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Н. Э. Алимов, С. М. Зайнолобиддинова, С. М. Отажонов,
М. М. Халилов, Д. А. Юсупова, Ш. Якубова
Ферганский Государственный Университет

Поступила в редакцию 01.02.2016

Изучены спектры тока короткого замыкания в структуре p-CdTe-SiO₂-Si в зависимости от величины внешнего воздействия. Наблюдается смещение спектров в коротковолновую область, вследствие чего в этих структурах изменяются энергии оптической активации глубокого уровня. Предлагается модель для распределения потенциала, деформирующего пространственное и энергетическое распределение носителя.

Ключевые слова: фоточувствительность, ток короткого замыкания, потенциальный барьер, фото-ЭДС, коронный разряд, электропроводность, глубокий уровень, встроенное поле.

ЗМІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ БАР'ЄРІВ НИЗЬКОРОЗМІРНИХ ТОНКИХ ПЛІВОК p-CdTe В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ

Н. Е. Алімов, С. М. Зайнолобіддінова, С. М. Отажонов,
М. М. Халілов, Д. А. Юсупова, Ш. Якубова

Вивчені спектри струму короткого замикання в структурі p-CdTe-SiO₂-Si в залежності від величини зовнішнього впливу. Спостерігається зсув спектрів у короткохвильову область, внаслідок чого в цих структурах змінюються енергії оптичної активації глибокого рівня. Пропонується модель для розподілу потенціалу, що деформує просторовий та енергетичний розподіли носія.

Ключові слова: фоточутливість, струм короткого замикання, потенційний бар'єр, фото-ЕРС, коронний розряд, електропровідність, глибокий рівень, вбудоване поле.

CHANGES OF POTENTIAL BARRIERS OF LOW-DIMENSIONAL THIN FILM p-CdTe CONDITIONS OF EXTERNAL INFLUENCES

N. Alimov, S. Zaynolobiddinova, S. Otajonov,
M. Khalilov, D. Yusupova., Sh. Yakubova

The spectors of short curcuit current in p-CdTe-SiO₂-Si structure according to the magnitude of external crown discharge in static rejime have been investigated. It`s observed the shift of spectors it the short-wave area due to the energy of optic activation of deep level has changed. The model for the distribution of spatial deformulating potential and energetic distribution of carriers is offered.

Keywords: photosensitivity, short circuit current, potential barrier, the photo-emf, corona discharge, electric conductivity deeper level, built-in field.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие микро- и нанoeлектроники, новых технологических возможностей изготовления сложных твердотельных низкоразмерных структур, стимулируют разработки новых неразрушающих диагностических методов. Создание оригинальных оптоэлектронных устройств стимулирует дальнейшее изучение новых

оптических и фотоэлектрических явлений в активных пленочных элементах.

Полупроводниковые плёнки CdTe являются важным материалом для создания фотоприёмных устройств на основе их гетероструктур, работающих в ближнем (0,4–3 мкм) и дальнем (8–14 мкм) инфракрасных диапазонах. Актуальной является также проблема получения гетероструктур на

основе фоточувствительных слоев со слоями разного типа проводимости и зонной структурой в процессе выращивания высокотемпературным термическим испарением. В частности, перспективной примесью для получения материала р-типа является серебро и медь.

Цель данной работы заключается в исследовании внутренней структуры и новых фотоэлектрических свойств активных тонких плёнок и их гетероструктур в условиях внешних воздействий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе изучены низкоразмерные (размеры кристаллических зерен составляют 0,05–0,1 мкм) тонкие пленки р-CdTe полученные на SiO₂-Si. Разработана технология получения тонких пленок и пленочных структур на основе CdTe и установлены оптимальные параметры технологии получения этих пленочных элементов [1]. Полупроводниковый материал CdTe и примеси Ag, Cu наносились в вакууме 10⁻⁵ мм рт. ст. из отдельного алундового тигля на окисленную поверхность кремния легированную бором, прогретую до 500–520 К, толщина плёнок составляла 1,0–2,0 мкм, а скорость напыления CdTe 2,0 нм/с.

Известно, что в процессе выращивания плёнки CdTe примеси серебра и меди встраиваются в объем растущей плёнки в виде комплексов, имеющих акцепторные свойства [2].

При изучении спектров тока короткого замыкания ($I_{кз}$) структуры CdTe-SiO₂-Si в зависимости от величины внешнего коронного разряда в статическом режиме наблюдается смещение спектров в коротковолновую область (рис. 1).

Следует отметить, что при коронном разряде наблюдается явное изменение энергии активации глубокого уровня (0,7 эВ, 1,15 эВ) в зависимости от потенциала коронного разряда. Это свидетельствует, что уровень находится в области объемного заряда, у слоя SiO₂ и проникающее сильное поле встроенного заряда приводит к эффекту Пула-Френкеля — изменению энергии оптической активации глубокого уровня.

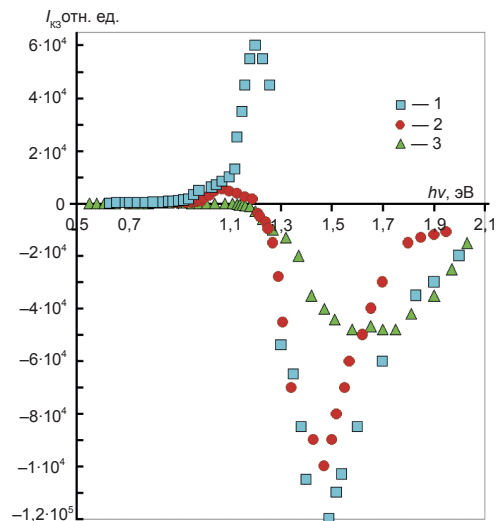


Рис. 1. Спектральные зависимости $I_{кз}$ для структуры CdTe-SiO₂-Si от величины потенциала коронного разряда: $\varphi_{кр} = 80$ В (кривая 1), 50 В (2), 0 В (3)

По нашим оценкам напряженность электрического поля в окрестности дефекта имеет значение $E = 10^5$ В/см. При помощи оценки по классической формуле

$$\Delta W = e\sqrt{eE} / \sqrt{4\pi\epsilon\epsilon_0},$$

где ΔW — энергетическое смещение уровня, E — напряжённость электрического поля в окрестности дефекта, ϵ — диэлектрическая проницаемость CdTe, ϵ_0 — электрическая постоянная, e — заряд электрона.

Ситуация, возникающая в пленке CdTe на базе структуры CdTe-SiO₂-Si под действием встроенного электрического поля в диэлектрике, соответствует модели, разработанной для поликремневого полевого транзистора (см., например, Алимов Н. Э., [3]). Предлагаемая здесь модель аналогична модели [3], если формально идентифицировать слой SiO₂-Si с управляющим электродом полевого транзистора (рис. 2б). Поэтому проведенные ранее численные расчеты для распределения потенциала в поликристаллическом полупроводнике вполне применимы для встроенного заряда пленки CdTe. Из результатов расчета воздействия внешнего электрического поля на потенциальный рельеф поликристаллической структуры следует, что слабое поле только деформирует пространственное и энергетическое распределения носителей, а сильное — приводит к уменьшению высоты межкристаллических

потенциальных барьеров, за счет перекрытия волновых функций электронов соседних кристаллитов в электрическом поле (т. е. как бы за счет объединения объема кристаллита). Эти рассуждения и результаты наших экспериментов показывают, что встроенное поле в диэлектрике SiO₂ может привести к уменьшению высоты потенциального барьера в пленке (при φ_{кр} < 30 В), а в некоторых случаях к исчезновению его (φ_{кр} > 100 В) в одной из ее приповерхностной области, например, тыловой области, и тогда становится преобладающим оставшийся потенциальный барьер в другой — противоположной ее приповерхностной области.

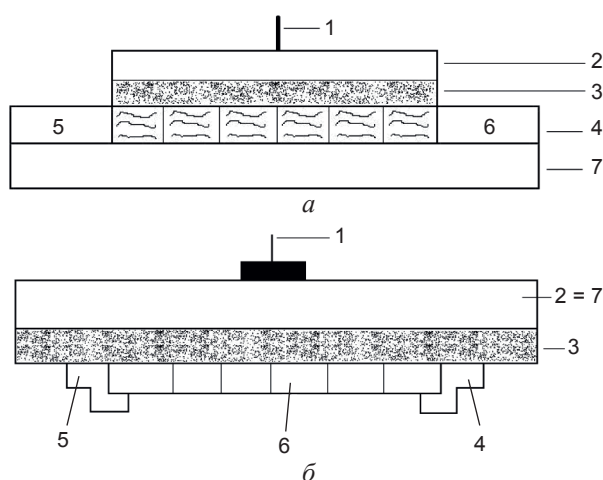


Рис. 2. Поликристаллическая структура на основе кремния (а) [2] и CdTe-пленок (б); а: 1, 2 — управляющий электрод, 3 — SiO₂, 4 — Si, 5 — сток, 6 — исток, 7 — изолятор; б: 1 — управляющий электрод, 2 — Si, 3 — SiO₂, 4 — исток, 5 — сток, 6 — CdTe

Описанная здесь модель качественно хорошо отражает основные особенности кривых на рис. 1. Действительно, если считать, что знаки асимметрии потенциальных барьеров у фронтальной и тыловой приповерхностных областях разные, то вполне естественным является наблюдение инверсии знака $I_{кз}$ в зависимости от эффективной глубины поглощения возбуждающего света.

Включение внешнего коронного разряда в статическом режиме в структуре CdTe-SiO₂-Si подавляет генерации фото-ЭДС в одной из двух противоборствующих систем потенциальных барьеров. Так, в соответствии с кривыми на рис. 1 наблюдается сначала смещение области инверсии знака $I_{кз}$, а затем полное исчезновение ее с ростом напряженности приложенного коронного разряда.

Из результатов расчета (рис. 3а, б) воздействия внешнего поля на поликристаллическую структуру SiO₂-Si видно, что слабое (а) поле только деформирует распределение носителей, а сильное (б) приводит к уменьшению величины межкристаллических барьеров, за счет обеднения объема кристаллита. Эти результаты показывают, что встроенное поле может привести к исчезновению барьеров в пленке (одной ее поверхности), и тогда становится преобладающим оставшийся барьер. Наиболее наглядно эта ситуация видна на рис. 1, на котором явно выражается изменение спектрального распределения фотоЭДС и исчезает источник фотоЭДС, приводящий к инверсии знака сигнала с увеличением приложенного коронного разряда.

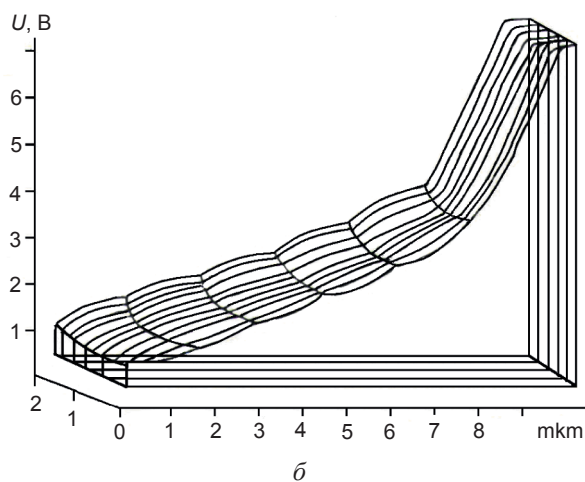
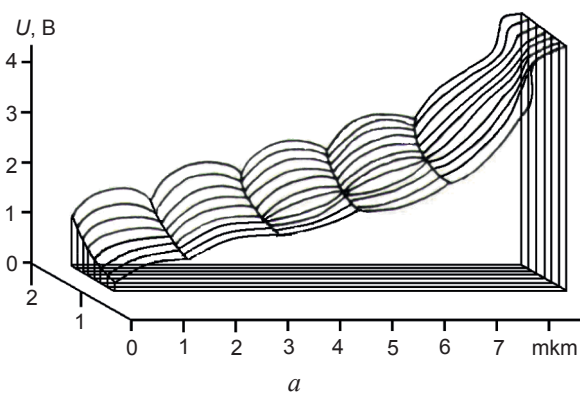


Рис. 3. Модель, разработанная для поликремниевое полевого транзистора [3]

Поля соответствуют модели, разработанной для поликремниевое полевого транзистора [3]. Проведенные численные расчеты распределения потенциала в поликристаллическом полупроводнике вполне применимы для встроенного заряда пленки.

Используем уравнение Пуассона

$$\operatorname{div}(\epsilon_s \operatorname{grad} \phi) = -g(p - n + N_D^+ - N_A^-) \times (1) \\ \times Q_{it} \delta(\vec{r} - \vec{r}_i),$$

и уравнения непрерывности носителей для электронов и дырок соответственно

$$\frac{\partial n}{\partial t} - \operatorname{div}(J_n / q) = (G - R) + (G - R)_i \delta(r - r_i), \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \operatorname{div}(J_p / q) = (G - R) + (G - R)_i \delta(r - r_i), \quad (3)$$

где ϕ — электрический потенциал, n и p — концентрация электронов и дырок соответственно, Q_{it} — плотность захваченного заряда на единицу площади; r_i обозначает области межфазной границы, J_n и J_p — плотности тока электронов и дырок соответственно, $(G - R)$ — чистая суммарная скорость генерации на единицу объема, и $(G - R)_i$ — суммарная скорость рекомбинации на единицу площади.

Плотности токов рассчитываются посредством обычных уравнений дрейфовой диффузии

$$J_n = -q\mu_n n \operatorname{grad}(\phi + \Delta\phi_c) + qD_n \operatorname{grad}n, \quad (4)$$

$$J_p = -q\mu_p p \operatorname{grad}(\phi + \Delta\phi_v) - qD_p \operatorname{grad}p, \quad (5)$$

где μ_n и μ_p — подвижности электронов и дырок, D_n и D_p — коэффициенты диффузии электронов и дырок, относящиеся к подвижностям по соотношению Эйнштейна, и $\Delta\phi_c$, $\Delta\phi_v$ представляют энергетический сдвиг зоны проводимости. Если сужением ширины запрещенной зоны пренебрегается, то $\Delta\phi_c = \Delta\phi_v = 0$, и сила, действующая на носители, вызывается только электрическим полем. В (1) захваченный заряд Q_{it} представлен как

$$Q_{it} = -qN_{it} \frac{S_n n + S_p n_1}{S_n (n + n_1) + S_p (p + p_1)}, \quad (6)$$

если состояния акцепторного типа, и как

$$Q_{it} = qN_{it} \frac{S_n n + S_p p}{S_n (n + n_1) + S_p (p + p_1)} \quad (7)$$

для донорных межфазных состояний. Суммарная скорость генерации на единицу площади $(G - R)_i$ равна

$$(G - R)_i = \frac{n_{ie}^2 - np}{(n + n_1) / S_p + (p + p_1) / S_n},$$

где S_n , S_p — скорости поверхности рекомбинации выражены как $S_n = \delta_n v_{th} N_{it}$; N_{it} — обозначает плотность межфазных состояний, δ_n и δ_p — сечения захвата, v_{th} — тепловая скорость носителей и n_1 , p_1 определены как

$$n_1 = n_{ie} \exp[(E_t - E_i) / kT],$$

$$p_1 = n_{ie} \exp[(E_i - E_t) / kT],$$

где E_i — собственный уровень Ферми i -типа и E_t — энергия ловушки.

Проведенные численные расчёты распределения потенциала в поликристаллических полупроводниках SiO₂-Si применимы для качественного анализа поведения барьеров в поле встроенного заряда плёнки CdTe.

Анализ поведения барьеров в поле встроенного заряда плёнки CdTe будет приведен во второй части работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

а) При легировании CdTe серебром или медью наблюдается небольшое увеличение концентрации электронов и удельной электропроводности, которые приводят к увеличению мощности пленки и тока.

б) Из анализа экспериментальных результатов следует, что слабое внешнее поле деформирует распределение носителей, а сильное приводит к уменьшению величины межкристаллических барьеров, при этом встроенное поле управляет поликристаллическими барьерами, расположенными между кристаллитами, вследствие чего изменяются энергии оптической активации глубокого уровня.

в) При коронном разряде наблюдалось явное изменение энергии активации глубокого уровня, которое объясняется эффектом Пула-Френкеля — изменением энергии оптической активации глубокого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отажонов С. М. // Физическая инженерия поверхности. — 2009. — Т. 2, № 1–2. — С. 28–31.
2. Вайткус Ю. Ю., Расулов Р. Я., Отажонов С. М., Орипов У. // «Поверхность» Рентгеновские синхронные и нейтронные исследования АН Россия. — Москва: «Наука». — 1999. — № 3. — С. 44–49.
3. Guerrieri R., Ciampolini P., Gnidi A., Rudan M., Baccarani G. // JEEE Transactions on Electron Devices. — 1986. — Vol. ED-33, No. 8. — P. 1201–1206.

LITERATURA

1. Otazhonov S. M. // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. — 2009. — Vol. 2, No. 1–2. — P. 28–31.
2. Vajtkus Yu. Yu., Rasulov R. Ya., Otazhonov S. M., Oripov U. // «Poverhnost» Rentgenovskie sinhronnye i nejtronnye issledovaniya AN Rossiya. — Moskva.: «Nauka». — 1999. — No. 3. — P. 44–49.
3. Guerrieri R., Ciampolini P., Gnidi A., Rudan M., Baccarani G. // JEEE Transactions on Electron Devices. — 1986. — Vol. ED-33, No. 8. — P. 1201–1206.