

ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ОКСИДОВ ГОЛЬМИЯ И СКАНДИЯ¹

© 2005 В.А.Рожков, М.А.Родионов,² А.М.Гурьянов, А.В.Пашин³

Исследованы спектральные зависимости коэффициентов пропускания и отражения света пленок оксидов гольмия и скандия и эффект просветления поверхности кремниевого фотоэлектрического преобразователя с использованием этих материалов. Установлено, что пленки оксидов гольмия и скандия обладают высокой прозрачностью в спектральной области 400–930 нм и позволяют уменьшить спектральный коэффициент отражения света от кремниевой поверхности до 1–4%. Показано, что просветляющий слой из оксидов гольмия и скандия увеличивает спектральное значение фототока короткого замыкания кремниевого фотоэлектрического преобразователя на 40–70%.

Значительный коэффициент отражения света (35–40%) от поверхности кремния в области спектральной чувствительности фотоэлектрических приборов (400–1100 нм) вызывает необходимость просветления рабочей поверхности кремниевого фотоэлектрического преобразователя [1, 2]. Среди материалов, перспективных для использования в качестве просветляющих покрытий кремниевых приборов, выгодно выделяются оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ), которые обладают высокой прозрачностью в рабочей области спектра, химической и термической стойкостью и имеют оптимальный для этих целей показатель преломления [3]. Просветляющие покрытия из фторидов и оксидов некоторых РЗЭ (иттрия, иттербия, гадолиния, диспрозия и эрбия) рассматривались в работах [4–8]. Однако оптические и просветляющие свойства оксидов РЗЭ в тонкопленочном состоянии до настоящего времени все еще изучены не достаточно полно.

Целью данной работы являлось изучение оптических характеристик пленок оксидов гольмия и скандия и эффекта просветления с использованием этих материалов на кремниевой поверхности и фотоэлектрическом пре-

¹Представлена доктором физико-математических наук профессором В.А.Салеевым.

²Рожков Виктор Аркадьевич, Родионов Максим Александрович, кафедра электроники твердого тела Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

³Гурьянов Александр Михайлович (gurjanov@ssaba.smr.ru), Пашин Алексей Владимирович (Pashin@ssaba.smr.ru), кафедра физики Самарского государственного архитектурно-строительного университета, 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194.

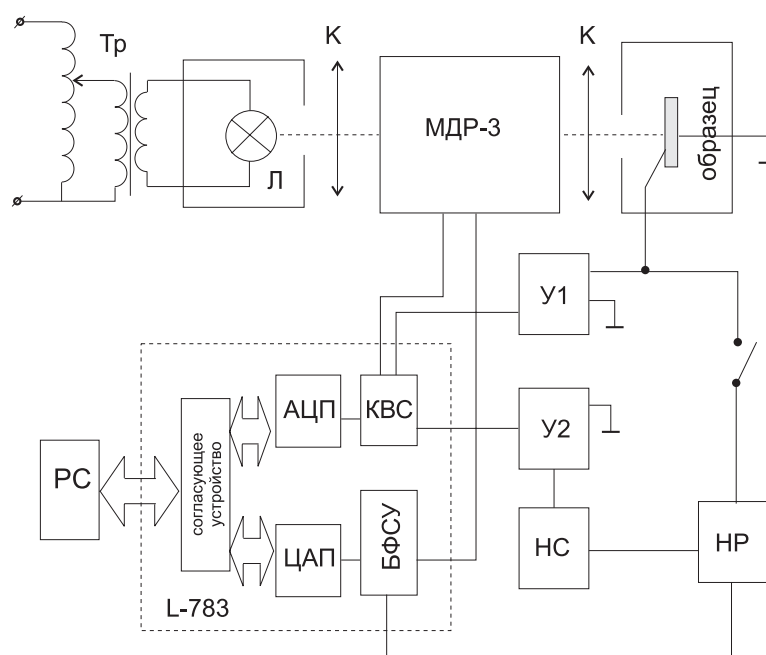


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: У1, У2 — усилители постоянного тока У5-9; КВС — коммутатор входных сигналов; БФСУ — блок формирования сигналов управления; НС — источник напряжения смещения; НР — блок напряжения развертки

образователе. Пленки оксидов гольмия и скандия изготавливались на полированных кремниевых и кварцевых подложках методом термического окисления на воздухе при температуре $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ предварительно нанесенного слоя редкоземельного металла. Напыление пленки РЗЭ проводилось путем термического распыления из молибденовой лодочки в вакууме $(2 - 3) \cdot 10^{-5}$ Тор на установке типа ВУП-5. Пленки оксидов гольмия и скандия обладают высокой механической прочностью, хорошей адгезией к поверхности кремния и кварца и не царапаются стальной иглой. Как показали рентгеноструктурные и электронографические исследования, оксидные пленки, полученные термическим окислением металлического зеркала РЗЭ, имеют мелкокристаллическую структуру с размером кристаллитов порядка 10^{-7} см. Термообработка металлических пленок в кислороде или на воздухе приводит к образованию полуторных оксидов РЗЭ, структура которых в основном совпадает со структурой порошков [2].

Исследование эффекта просветления поверхности кремния проводилось, когда в качестве подложки использовалась кремниевая $n^+p\text{-}p^+$ -структура с толщиной n^+ -слоя, равной $0,2\text{--}0,5$ мкм. Величина удельного сопротивления базовой области р-типа составляла $10\text{ Ом}\cdot\text{см}$, слой p^+ -типа проводимости с концентрацией примеси $8 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ формировался ионной имплантацией бора при напряжении 30 кВ и плотности тока, равной $2\text{ мКл}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$. Об-

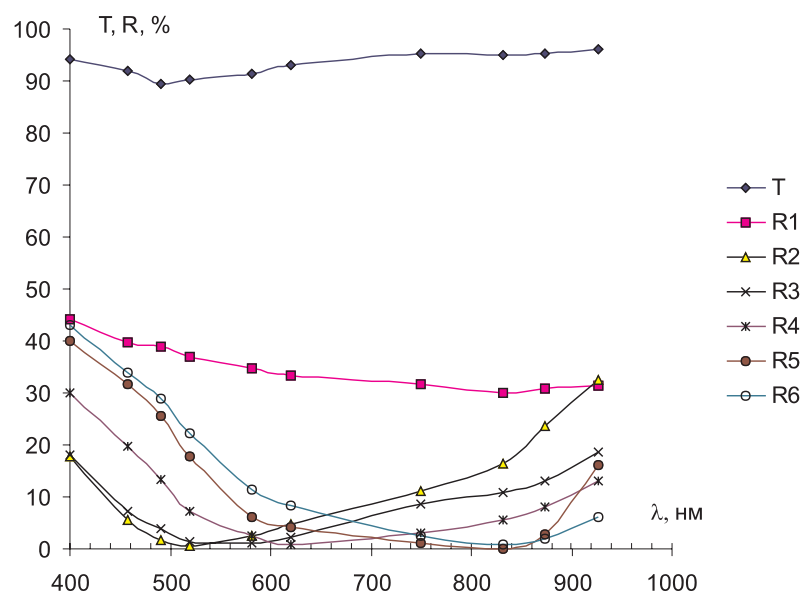


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента пропускания (Т) пленки H_2O_2 на кварцевой подложке и коэффициента отражения от кремния с пленкой H_2O_2 (R2–R6) и без пленки (R1)

ласть n^+ -типа создавалась диффузией атомов фосфора из PCl_3 при температуре 860–900°C. Концентрация донорной примеси на поверхности n^+ -слоя составляла $6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Токосъемный контакт к n^+ -слою формировался в виде пленочной полоски из алюминия, создаваемой путем термического напыления в вакууме через маску.

Спектральная зависимость коэффициента пропускания света пленок оксидов гольмия и скандия исследовалась на спектрофотометре типа СФ-26. Спектральные характеристики коэффициента отражения света измерялись с помощью фотометра отражения ФО-1. Исследование просветляющих свойств пленок оксидов гольмия и скандия проводилось путем измерения спектральных зависимостей вольтамперных характеристик и фототоков короткого замыкания n^+ - p - p^+ -кремниевой структуры на установке, изображенной на рис. 1. В качестве источника света использовалась светоизмерительная лампа с ленточным телом накала СИ-200, запитываемая от стабилизированного источника напряжения. После монохроматора МРД-3 свет необходимой длины волны направлялся на образец. Усилитель У1 работал в режиме усиления постоянного тока. При снятии вольтамперной характеристики в цепь включался усилитель У2, который работал в режиме усиления напряжения. Сигналы, пропорциональные измеряемым величинам, подавались на аналого-цифровой преобразователь L-783 и обрабатывались с помощью персонального компьютера. Для автоматического снятия вольтам-

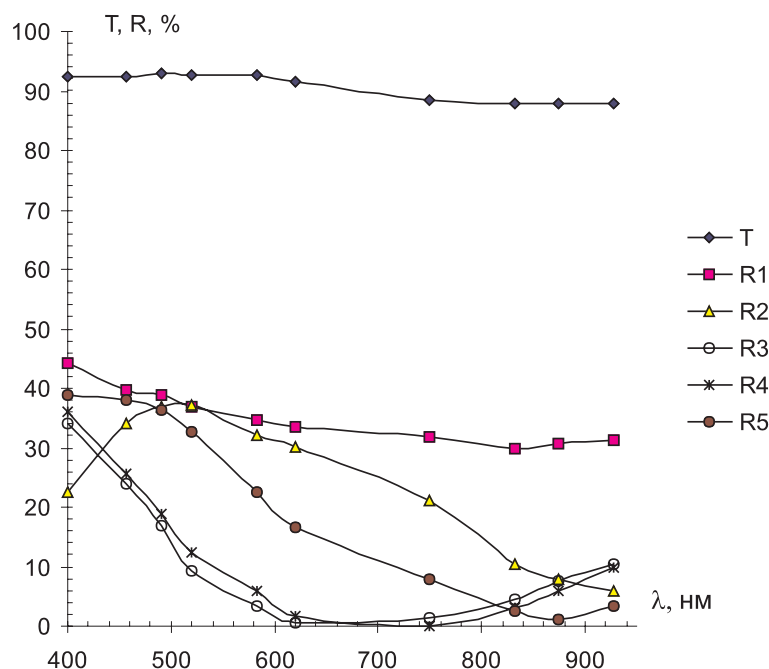


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента пропускания (Т) пленки Sc_2O_3 на кварцевой подложке и коэффициента отражения от кремния с пленкой Sc_2O_3 (R2–R5) и без пленки (R1)

перной характеристики на образец подавалось напряжение развертки, формируемое с помощью цифро-аналогового преобразователя.

На рис. 2 и 3 приведены спектральные зависимости коэффициента пропускания Т пленок оксидов гольмия и скандия на кварцевой подложке и спектральные зависимости коэффициента отражения света R от поверхности кремния и системы пленка оксида РЗЭ-кремний. Для компенсации искажений, связанных с потерями излучения при поглощении и отражении света от противоположной стороны кварцевой подложки, излучение, прошедшее через чистую подложку, принималось за 100%. Как видно из рис. 2 и 3, пленки из оксидов гольмия и скандия обладают высокой прозрачностью в спектральном диапазоне 250–1050 нм. Коэффициент пропускания света в максимумах составляет более 94%. Изменение коэффициента пропускания света пленки в зависимости от длины волны падающего излучения связано с интерференционными явлениями в пленке.

Как видно из рис. 2 и 3, нанесение просветляющей пленки из оксидов гольмия и скандия на поверхность кремния дает возможность снизить коэффициент отражения монохроматического света от 32–34% для чистой поверхности кремния до 1–4% и практически исключить отражение света от поверхности полупроводника. Расчет показывает, что при применении просветляющей пленки из оксидов гольмия и скандия интегральный коэф-

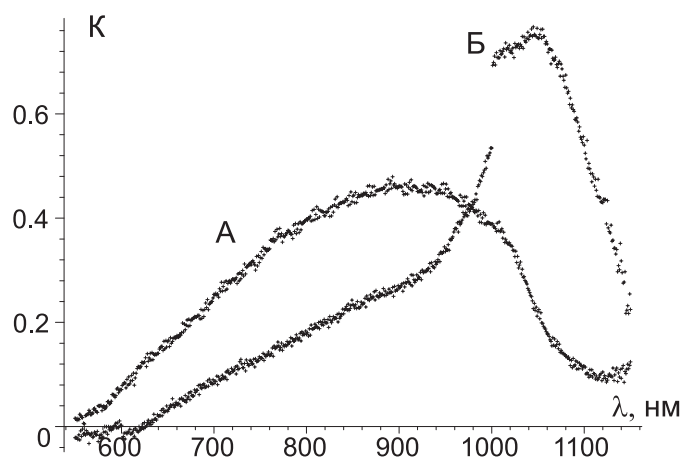


Рис. 4. Спектральная зависимость относительного изменения тока короткого замыкания на n^+-p-p^+ -структуре с пленкой оксида скандия (А) и гольмия (Б)

коэффициент отражения света от кремниевой поверхности в области длин волн излучения от 400 до 930 нм уменьшается с 34 до 7%.

На рис. 4 представлены спектральная зависимость относительного изменения фототока короткого замыкания (K) на n^+-p-p^+ -структуре с пленкой оксида скандия (А) и гольмия (Б). Коэффициент K рассчитывался из соотношения:

$$K = \frac{I_2 - I_1}{I_1},$$

где I_2 и I_1 — фототоки короткого замыкания n^+-p-p^+ -структуры с просветляющим слоем и без него соответственно. Из рис. 4 видно, что использование пленок оксидов гольмия и скандия позволяет увеличить спектральное значение фототока кремниевого фотоэлектрического преобразователя на длине волны излучения 1050 нм более чем на 70% для пленки Ho_2O_3 и на длине волны излучения 900 нм более чем на 40% для пленки Sc_2O_3 . При этом интегральная чувствительность кремниевого фотоэлектрического преобразователя в области длин волн излучения от 400 до 1100 нм увеличивается на 30–32%.

Таблица

Относительное увеличение максимальной мощности фотоэлектрического преобразователя

Длина волны, нм	С пленкой Ho_2O_3	С пленкой Sc_2O_3
600	1,05	1,16
700	1,11	1,47
800	1,20	1,73
900	1,30	1,94
1024	1,42	1,82

В таблице приведены отношения максимальной выходной мощности фотоэлектрического преобразователя с просветляющей пленкой из оксида РЗЭ (P_{Ho} , P_{Sc}) к максимальной мощности этого же преобразователя без пленки (P_{Si}). Из таблицы видно, что нанесение просветляющей пленки оксида РЗЭ позволяет увеличить спектральную мощность фотоэлектрического преобразователя более чем в 1,4 раза.

Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность использования пленок оксидов гольмия и скандия в качестве просветляющих покрытий кремниевых фотоэлектрических преобразователей.

Литература

- [1] Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. 592 с.
- [2] Колтун М.М. Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. 192 с.
- [3] Вдовин О.С., Кирьяшкина З.И., Котелков В.Н. и др. Пленки оксидов редкоземельных элементов в МДМ- и МДП-структурах. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1983. 160 с.
- [4] Рожков В.А., Родионов М.А. Просветляющие свойства пленок оксида эрбия // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. Вып. 2. С. 67–71.
- [5] Rozhkov V.A., Rodionov M.A., Shalimova M.B. et al. Antireflection and passivating coatings on the basis of rare earth element oxides for silicon devices // Вестник СамГУ. 2004. №4(34). С. 112–123.
- [6] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. и др. Просветляющие и пассивирующие свойства пленок оксидов и фторидов редкоземельных элементов // ЖТФ. 1994. Т. 64. Вып. 10. С. 118–123.
- [7] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. и др. Просветляющие покрытия из оксидов редкоземельных элементов для кремниевых фотоэлектрических приборов // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 10. С. 54–58.
- [8] Рожков В.А., Петров А.И., Шалимова М.Б. Просветляющие покрытия из фторидов эрбия, неодима и гадолиния для кремниевых фотоэлектрических приборов // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 19. С. 10–14.

Поступила в редакцию 6/ХII/2004;
в окончательном варианте — 24/I/2005.

ANTIREFLECTION PROPERTIES OF HOLMIUM OXIDE AND SCANDIUM OXIDE FILMS⁴

© 2005 V.A. Rozhkov, M.A. Rodionov,⁵ A.M. Guryanov, A.V. Pashin⁶

The spectral dependence of the transmission factor of a holmium and scandium oxide films and the antireflection effect of a silicon photoelectric transducer covered by these films were studied in this research. The investigations have shown that the deposition of holmium and scandium oxide films on the silicon surface decreases the spectral light reflection index from the surface of silicon down to 1–4.5% and increases the spectral value of short-circuit photocurrent in a silicon photoelectric transducer more than by 55%.

Paper received 6/*XII*/2004.

Paper accepted 24/*I*/2005.

⁴Communicated by Dr. Sci. (Phys. & Math.) V.A. Saleev.

⁵Rozhkov Victor Arkad'evich, Rodionov Maksim Alexandrovich (rodionow@rambler.ru), Dept. of Solid State Electronics, Samara State University, Samara, 443011, Russia.

⁶Guryanov Alexandr Michaylovich (gurjanov@ssaba.smr.ru), Pashin Alexey Vladimirovich (Pashin@ssaba.smr.ru), Dept. of Physics, Samara State Architecture Building University, Samara, 443001, Russia.