

06.2;07

## Просветляющие свойства пленок оксида эрбия

© В.А. Рожков, М.А. Родионов

Самарский государственный университет

E-mail: rozhkov@ssu.samara.ru

Поступило в Редакцию 9 июля 2004 г.

Исследованы спектральная зависимость коэффициента пропускания света пленки оксида эрбия и эффект просветления поверхности кремниевого фотоэлектрического преобразователя с использованием этого материала. Установлено, что пленка оксида эрбия обладает высокой прозрачностью в спектральной области 250–1050 нм и позволяет уменьшить спектральный коэффициент отражения света от кремниевой поверхности до 1–4.5%. Показано, что просветляющий слой из исследованного материала увеличивает спектральное значение фототока короткого замыкания кремниевого фотоэлектрического преобразователя более чем на 38%.

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]. 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 [2]. Однако оптические и просветляющие свойства этих материалов в тонкопленочном состоянии до настоящего времени изучены не достаточно полно. Целью данной работы являлось изучение оптических характеристик пленок оксида эрбия и эффекта просветления с использованием этого материала на кремниевой поверхности и фотоэлектрическом преобразователе.

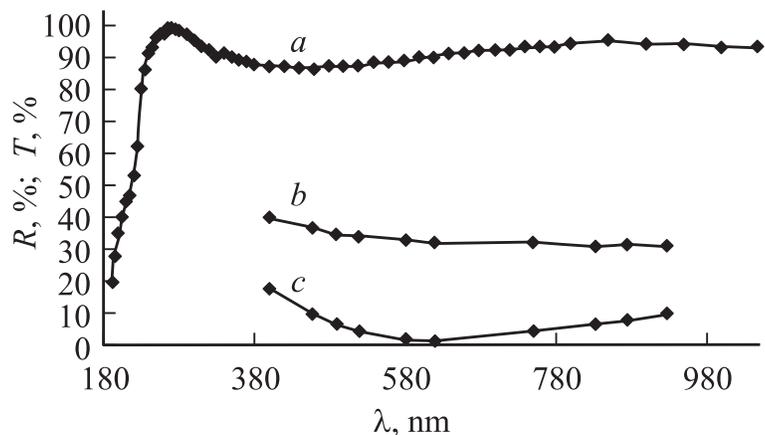
Пленки оксида эрбия изготавливались на полированных кремниевой и кварцевой подложках методом термического окисления на воздухе при температуре 600°С предварительно нанесенного слоя

редкоземельного металла. Напыление пленки редкоземельного металла проводилось путем термического распыления из молибденовой лодочки в вакууме  $(2-3) \cdot 10^{-5}$  Торр на установке типа ВУП-5. Исследование эффекта просветления поверхности кремния проводилось, когда в качестве подложки использовалась кремниевая  $n^+ - p - p^+$ -структура с толщиной  $n^+$ -слоя, равной  $0.2-0.5 \mu\text{m}$ . Величина удельного сопротивления базовой области  $p$ -типа составляла  $10 \Omega \cdot \text{cm}$ , слой  $p^+$ -типа проводимости с концентрацией примеси  $8 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$  формировался ионной имплантацией бора при напряжении  $30 \text{keV}$  и плотности тока, равной  $2 \text{mC/s} \cdot \text{cm}^2$ . Область  $n^+$ -типа создавалась диффузией атомов фосфора из  $\text{PCl}_3$  при температуре  $860-900^\circ\text{C}$ . Концентрация донорной примеси на поверхности  $n^+$ -слоя составляла  $6 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$ . Токосъемочный контакт к  $n^+$ -слою формировался в виде пленочной полоски из алюминия, создаваемой путем термического напыления в вакууме через маску.

Спектральная зависимость коэффициента пропускания света пленки оксида эрбия исследовалась на спектрофотометре типа СФ-26, спектральные характеристики коэффициента отражения света измерялись с помощью фотометра отражения ФО-1. Для исследования просветляющих свойств пленки оксида эрбия на кремниевой поверхности измерялись спектральные зависимости фототока короткого замыкания кремниевой  $n^+ - p - p^+$ -структуры.

Пленки оксида эрбия 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  $10^{-7} \text{cm}$ . Термообработка металлических пленок в кислороде или на воздухе приводит к образованию полуторных оксидов РЗЭ, структура которых в основном совпадает со структурой порошков [2].

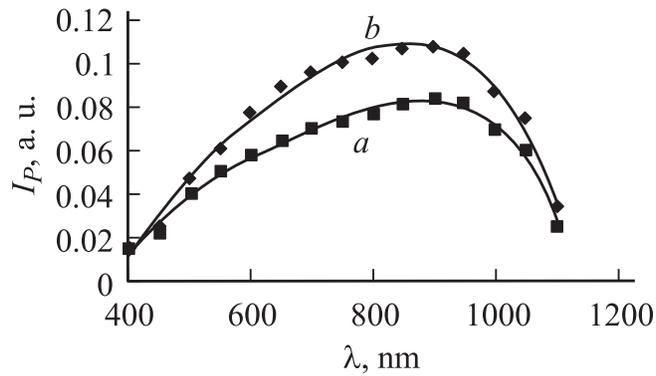
На рис. 1 приведены спектральная зависимость коэффициента пропускания  $T$  пленки оксида эрбия на кварцевой подложке и спектральные зависимости коэффициента отражения света  $R$  от поверхности кремния и системы пленка оксида эрбия-кремний. Для компенсации искажений, связанных с потерями излучения при поглощении и отражении света от противоположной стороны кварцевой подложки, излучение, прошедшее через чистую подложку, принималось за 100%. Как видно



**Рис. 1.** Спектральные зависимости коэффициентов пропускания пленки оксида эрбия на кварцевой подложке (*a*) и отражения света от поверхности кремния (*b*) и пленки оксида эрбия на кремниевой подложке (*c*).

из рис. 1, пленка обладает 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. Сильное поглощение излучения в области энергий квантов света, больших 5.2 eV, обусловлено фундаментальным поглощением света, которое соответствует межзонным переходам. Высокая прозрачность пленки оксида эрбия в видимой области спектра и резкий край фундаментального поглощения указывают на близость состава пленки к стехиометрическому.

Как видно из рис. 1, нанесение просветляющей пленки из оксида эрбия на поверхность кремния дает возможность снизить коэффициент отражения монохроматического света от 32–34% для чистой поверхности кремния до 1–4.5% и практически исключить отражение света от поверхности полупроводника. Анализ показывает, что при применении просветляющей пленки из оксида эрбия интегральный коэффициент



**Рис. 2.** Спектральные зависимости фототока короткого замыкания кремниевой  $n^+ - p - p^+$ -структуры без покрытия (а) и с пленкой оксида эрбия (b).

отражения света от кремниевой поверхности в области длин волн излучения от 400 до 927 nm уменьшается с 34 до 7%.

На рис. 2 представлены спектральные зависимости фототока короткого замыкания для  $n^+ - p - p^+$ -кремниевой структуры без просветляющего слоя и с просветляющим покрытием из оксида эрбия, нормированные по мощности падающего на структуру излучения. Рассчитанные из этих экспериментальных характеристик значения относительного увеличения фототока короткого замыкания, определяемые соотношением

$$K = \frac{I_p - I_p^*}{I_p^*} \cdot 100\%,$$

где  $I_p$  и  $I_p^*$  — фототоки короткого замыкания  $n^+ - p - p^+$ -структуры с просветляющим слоем и без него соответственно, показывают, что использование пленки оксида эрбия позволяет увеличить спектральное значение фототока кремниевого фотоэлектрического преобразователя на длине волны излучения 650 nm более чем на 38%. Применение просветляющей пленки из оксида эрбия позволяет увеличить интегральную чувствительность кремниевого фотоэлектрического преобразователя в области длин волн излучения от 400 до 1100 nm на 30–32%.

Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность использования пленок оксида эрбия в качестве просветляющих покрытий кремниевых фотоэлектрических приборов.

## Список литературы

- [1] Колтун М.М. Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. 191 с.
- [2] Вдовин О.С., Кирьяшкина З.И., Котелков В.Н. и др. Пленки оксидов редкоземельных элементов в МДМ- и МДП-структурах. Саратовский университет, 1983. 160 с.