

06.2; 06.3

© 1992

ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ОКСИДОВ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Ю.А. Аношин, А.И. Петров, В.А. Рожков,
Н.Н. Романенко, М.Б. Шалимова

Потери при отражении света от поверхности полупроводника, существенно снижающие чувствительность и коэффициент полезного действия фотоэлектрических полупроводниковых приборов, могут быть уменьшены путем покрытия рабочей поверхности прибора слоем просветляющего материала. Среди материалов, перспективных для использования в качестве просветляющих слоев кремниевых фотоэлектрических приборов, выгодно выделяются оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ). Представляя значительный класс соединений, пленки оксидов РЗЭ обладают высокой прозрачностью, оптимальным для просветления кремниевых приборов значением показателя преломления и характеризуются высокой химической и термической стойкостью [1, 2]. Однако просветляющие свойства этих материалов до настоящего времени не изучены.

В настоящей работе исследуются оптические свойства пленок оксидов РЗЭ и эффект просветления с использованием этих материалов на кремниевых поверхностях и фотоэлектрических преобразователях.

Пленки оксидов РЗЭ изготавливались на полированных кремниевых и кварцевых подложках методом термического окисления на воздухе при температуре ~ 500 °С предварительно нанесенного слоя редкоземельного металла. Поскольку для фотоэлектрических преобразователей, работающих в космическом пространстве, максимальный эффект просветления должен наблюдаться на длине волны излучения 600 нм, толщина наносимой пленки оксида РЗЭ составляла 750 Å. Напыление пленки редкоземельного металла проводилось путем термического распыления из молибденовой лодочки в вакууме $\sim 10^{-5}$ Тор на установке типа ВУП-5. Для измерения спектров пропускания света пленочный оксид РЗЭ формировался на половине кварцевой подложки. Исследование свойств просветляющих покрытий из оксидов РЗЭ на поверхности кремния проводилось, когда в качестве подложек использовались кремниевые $p^+ - p - p^+$ структуры.

Спектральные зависимости пропускания света пленок оксидов РЗЭ исследовались на спектрофотометре типа СФ-26, спектральные зависимости коэффициента отражения света от системы просветляющая пленка оксида РЗЭ - кремний измерялись с помощью

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициента отражения света для различных длин волн излучения от поверхности кремния и пленок оксидов РЗЭ на кремниевой подложке

λ , нм	364	400	457	490	520	582	620	750	832	847	927
Материал											
Si	57.1	44.3	39.7	38.8	37	34.7	33.4	31.7	30.6	31.8	31.4
Y_2O_3	48.15	36.14	14.6	9.1	4.2	1.4	0.9	4.6	7.7	9.6	12.05
Gd_2O_3	44.4	21.15	9.8	5.1	1.6	0.7	0.9	5.8	9.7	11.3	13.1
Dy_2O_3	51.8	40.98	16.8	11.0	5.2	0.7	0.01	2.2	5.3	6.6	9.29
Yb_2O_3	46.9	31.69	14.7	10.0	4.8	1.0	0.7	5.1	9.2	10.7	13.8

фотометра отражения ФО-1. Для исследования просветляющих свойств пленок оксидов РЗЭ на кремниевой поверхности измерялись спектральные зависимости тока короткого замыкания $p^+ - p - p^+$ кремниевых структур.

Пленки исследованных оксидов РЗЭ 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 поликристаллическую структуру с малым размером кристаллитов ($\sim 10^{-7}$ см). Термообработка металлических пленок в кислороде или на воздухе приводит к образованию полугорных оксидов РЗЭ, структура которых в основном совпадает со структурой порошков [1].

Типичные зависимости спектров пропускания пленок оксидов РЗЭ, нанесенных на кварцевые подложки, и спектры отражения света от поверхности кремния и системы пленка оксида РЗЭ - кремний приведены на рис. 1 и в таблице 1. Для компенсации искажений, связанных с потерями излучения при поглощении и отражении света от противоположной стороны кварцевой подложки, излучение, прошедшее через чистую кварцевую пластину, принималось за 100%. Как видно из рисунка, пленки оксидов РЗЭ в спектральном диапазоне 400-1200 нм обладают высокой прозрачностью, коэффициент пропускания для различных длин волн излучения меняется от 85% до 98%.

Максимальные и минимальные значения коэффициента отражения R и пропускания T света для системы пленки оксида РЗЭ на кварцевой подложке, обладающей показателем преломления $n_k = 1.5$, рассчитанные теоретически с учетом многолучевой интерференции, представлены в таблице 2. В этой же таблице приведены значения показателя преломления оксидных пленок РЗЭ, измеренные для длины волны 0.6328 мкм, и отклонения экспериментальных минимальных значений пропускания света $T_3 \min$, скорректированные с учетом потерь излучения от верхней поверхности кварцевой пластины, от теоретически рассчитанной величины $T_T \min$.

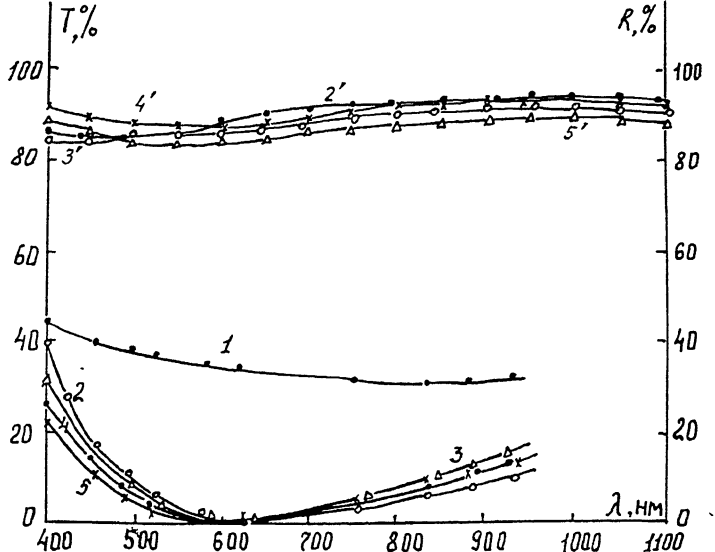


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициентов пропускания пленок оксидов РЗЭ на кварцевых подложках (2' - 5') и отражения света от поверхности кремния (1) и пленки оксида РЗЭ на кремниевой подложке (2-5). 2.2' - Dy_2O_3 ; 3.3' - Yb_2O_3 ; 4.4' - Y_2O_3 ; 5.5' - Gd_2O_3 .

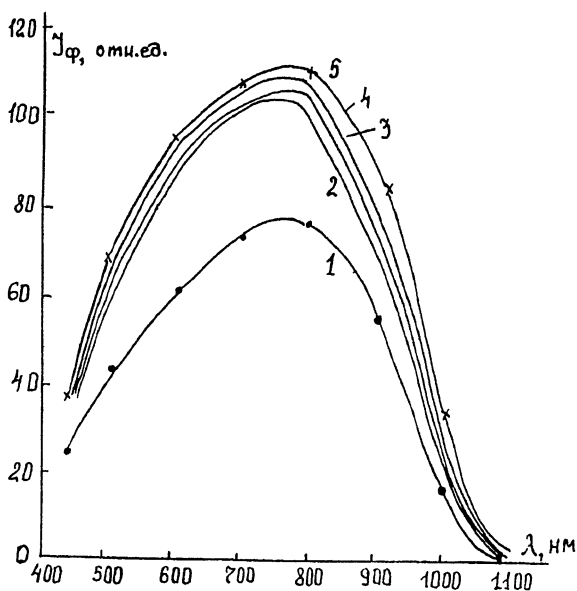


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока короткого замыкания кремниевой $p^+ - p - p^+$ структуры без покрытия (1) и с пленкой оксида РЗЭ (2-5). 2 - Lu_2O_3 ; 3 - Gd_2O_3 ; 4 - Yb_2O_3 ; 5 - Dy_2O_3 .

Т а б л и ц а 2

Показатель преломления пленок оксидов РЗЭ и теоретически рассчитанные максимальные и минимальные значения коэффициентов пропускания и отражения света от системы пленка оксида РЗЭ – кварцевая подложка

Оксид	Gd_2O_3	Dy_2O_3	Yb_2O_3	Y_2O_3
$n, R, T, \%$				
n	1.977	1.974	1.947	1.77
$R_{r\ min}$	4.0	4.0	4.0	4.0
$R_{r\ max}$	19.8	19.7	18.7	12.4
T_{min}	80.2	80.3	81.3	87.6
T_{max}	96.0	96.0	96.0	96.0
$\Delta T_{min}/T_{min}$	+1.3	+2.3	+1.1	-1.7

Как видно из таблицы, экспериментальные величины коэффициента пропускания исследуемых систем в пределах точности эксперимента совпадают с теоретическими значениями. Данный результат свидетельствует о высокой прозрачности пленок оксидов РЗЭ в области длин волн 400–1200 нм, которые практически не поглощают световую энергию. Этот вывод подтверждается литературными данными [3, 4], согласно которым коэффициент поглощения оксидов РЗЭ в области длин волн 0.22–2 мкм имеет низкие значения 10^2 – 10^3 см⁻¹.

Как видно из рис. 1, нанесение просветляющей пленки из оксида РЗЭ на поверхность кремния дает возможность снизить коэффициент отражения монохроматического света от 34.7–37% на чистой поверхности кремния до 0.01–0.7% и практически исключить отражение света от поверхности полупроводника. Наилучшими просветляющими свойствами обладают покрытия из оксида диспрозия, использование которого позволяет снизить спектральный коэффициент отражения до 0.01%. Анализ показывает, что при применении просветляющей пленки из оксида РЗЭ интегральный коэффициент отражения света от кремниевой поверхности в области длин волн излучения от 400 до 1000 нм уменьшается с 34.2% до 7.5–10% для различных оксидов РЗЭ.

На рис. 2 представлены спектральные зависимости фототока короткого замыкания для $p^+ - p - p^+$ кремниевой структуры без просветляющего слоя и с просветляющим покрытием из различных оксидов РЗЭ. Рассчитанные из этих экспериментальных спектральных характеристик значения относительного увеличения фототока короткого замыкания, определяемые соотношением:

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

где J_{ϕ} и J_{ϕ}^* - фототоки короткого замыкания p^+-p-p^+ -структуры с просветляющим слоем и без него соответственно, показывают, что использование пленок оксидов РЗЭ позволяет увеличить спектральное значение фототока на длине волны излучения 600 нм кремниевых фотоэлектрических преобразователей более чем на 50%. Наибольшая величина просветляющего эффекта наблюдалась для слоев из оксида диспорозия, использование которого увеличивает фототок на 59,4% при длине волны излучения равной 600 нм.

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

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В д о в и н О.С., К и р ь я ш к и н а З.И., К о т е л ь к о в В.Н., Н о в и ч к о в В.В., Р о ж к о в В.А. Пленки оксидов редкоземельных элементов в МДМ- и МДП - структурах. Саратов: СГУ, 1983. 159 с.
- [2] Р о ж к о в В.А., П е т р о в А.И., // Электрон. техн. Сер.2. Полупроводниковые приборы. 1984. В. 1 (167). С. 13-16.
- [3] Ж у з е В.П., Ш е л ы х А.И. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 3. С. 293-315.
- [4] С а м с о н о в Г.В., Г и л ь м а н А.Н., А н д р е е в а А.Ф. // Изв. АН СССР (Неорганич. материалы). 1974. Т. 10. № 9. С. 1945-1948.

Поступило в Редакцию
6 февраля 1992 г.
В окончательной редакции
23 апреля 1992 г.