

06.2;06.3

©1994

## ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ФТОРИДОВ ИТТРИЯ, ЦЕРИЯ И ТЕРБИЯ ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

*В.А.Рожков, А.И.Петров, М.Б.Шалимова*

Значительный коэффициент отражения света (35–40 %) от чистой полированной поверхности кремния в области спектральной чувствительности 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 фториды редкоземельных элементов (РЗЭ), которые обладают высокой прозрачностью в рабочей области спектра. Однако оптические и просветляющие свойства этих соединений в тонкопленочном состоянии до настоящего времени не изучены [2].

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

Пленки фторидов РЗЭ толщиной  $d = 120\text{--}130$  нм изготавливались на полированных кремниевых, кварцевых и стеклянных подложках методом термического распыления порошкообразного фторида на подогретую до температуры 573 К подложку. Распыление материала производилось из молибденовой лодочки в вакууме  $10^{-5}$  Тор на установке типа ВУП-5. Для измерения спектров пропускания света пленочный фторид РЗЭ формировался на половине кварцевой или стеклянной подложки. Исследование свойств просветляющих покрытий из фторидов РЗЭ на поверхности кремния проводилось, когда в качестве подложек использовались кремниевые  $n^+ - p - p^+$  структуры с толщиной  $n^+$ -слоя, лежащей в пределах 0.45–0.5 мкм, и концентрацией донорной примеси на поверхности  $n^+$ -слоя, равной  $6 \cdot 10^{19}$  см $^{-3}$ .

Спектральные зависимости коэффициента пропускания света пленок фторидов РЗЭ исследовались на спектрофотометре СФ-26, спектральные зависимости коэффициента отражения света от системы просветляющая пленка фторида РЗЭ–кремний измерялись с помощью фотометра от-

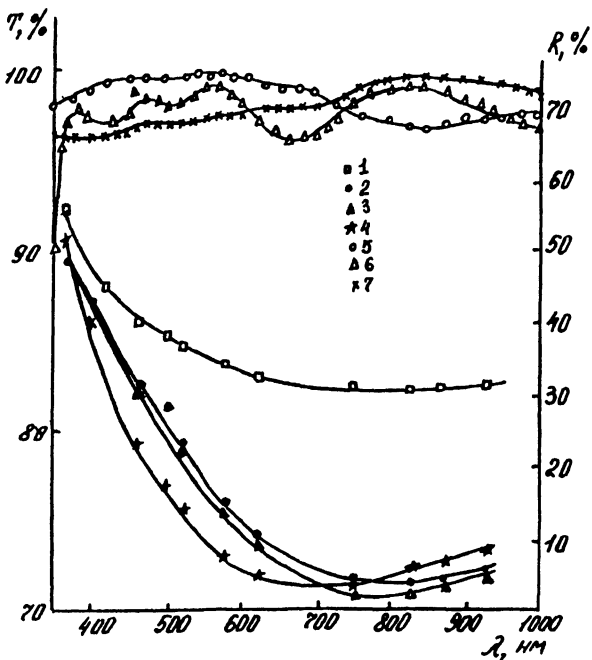


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициентов пропускания пленок фторидов РЗЭ на кварцевых подложках (5-7) и отражения света от поверхности кремния (1) и пленки фторида РЗЭ на кремниевой подложке (2-4).  $\text{YF}_3$  (2, 5),  $\text{CeF}_3$  (3, 6),  $\text{TbF}_3$  (4, 7).

ражения ФО-1. Для исследования просветляющих свойств пленок фторидов РЗЭ на кремниевой поверхности измерялись спектральные зависимости тока короткого замыкания  $n^+ - p - p^+$  кремниевых структур. Спектры фототока короткого замыкания измерялись при освещении образцов узким потоком монохроматического излучения, получаемым с помощью монохроматора МДР-3, и записывались на ленте потенциометра типа КСП-4. Фототоки короткого замыкания регистрировались при уровнях освещения, соответствующих линейной области световой характеристики структуры. Исследования проводились на  $n^+ - p - p^+$  кремниевых структурах, на половину поверхности которых наносилась пленка фторид РЗЭ. Характеристики фототока измерялись при освещении области структуры с просветляющим слоем и без него.

Пленки исследованных фторидов обладают высокой механической прочностью, хорошей адгезией к поверхности кремния и кварца и не царапаются стальной иглой. Спектры пропускания пленок фторидов РЗЭ, нанесенных на

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

материал	$\lambda$ , нм										$n$ ( $\lambda = 750$ нм)
	400	457	490	520	582	620	750	832	874	927	
	$R$ , %										
Si	44.3	39.7	38.8	37	34.7	33.4	31.7	30.6	31.8	31.4	3.55
CeF <sub>3</sub>	44	30.8	30.4	23.3	14.4	10.1	2.0	2.9	3.5	4.8	1.64
TbF <sub>3</sub>	40.3	22.7	20.2	14.2	7.3	4.8	3.8	5.4	6.2	8.8	1.55
YF <sub>3</sub>	44.2	31.1	29.3	24.2	15.1	11.2	4.9	4.1	4.5	5.7	1.52

кварцевые и стеклянные подложки, и спектры отражения света от поверхности кремния и системы пленка фторида РЗЭ-кремний приведены на рис. 1. Значения коэффициента отражения света от поверхности кремния и системы пленка фторида РЗЭ-кремний при различных длинах волн и рассчитанные из этих зависимостей величины показателя преломления  $n$  пленок РЗЭ предоставлены в таблице. 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 рис. 1 пленки фторидов РЗЭ в спектральном диапазоне 400–1100 нм обладают высокой прозрачностью, коэффициент пропускания света в максимумах составляет 99.5 %. Коэффициент отражения монохроматического света в спектральной области 750–832 нм равен 30.6–32 % для чистой поверхности кремния и уменьшется до 2.0–4.1 % при нанесении пленки фторида РЗЭ, что указывает на наличие эффекта просветления. Следует отметить, что экспериментальные минимальные значения спектрального коэффициента отражения света являются несколько завышенными из-за неполной монохроматизации излучения в спектрофотометре ФО-1, а также вследствие неполного соответствия длины волны измерения и минимума отражения света. Наилучший эффект просветления наблюдается для пленки фторида церия. Измеренный интегральный коэффициент отражения белого света от системы пленка фторида РЗЭ-кремний составлял 10.1, 12.4 и 18.6 % для фторида тербия, церия и иттрия соответственно.

На рис. 2 представлены спектральные зависимости фототока короткого замыкания для  $n^+ - p - p^+$  кремниевой структуры с просветляющим слоем из фторида РЗЭ и без него. Как видно, все спектральные зависимости качественно подобны между собой и имеют максимум фототока на длине

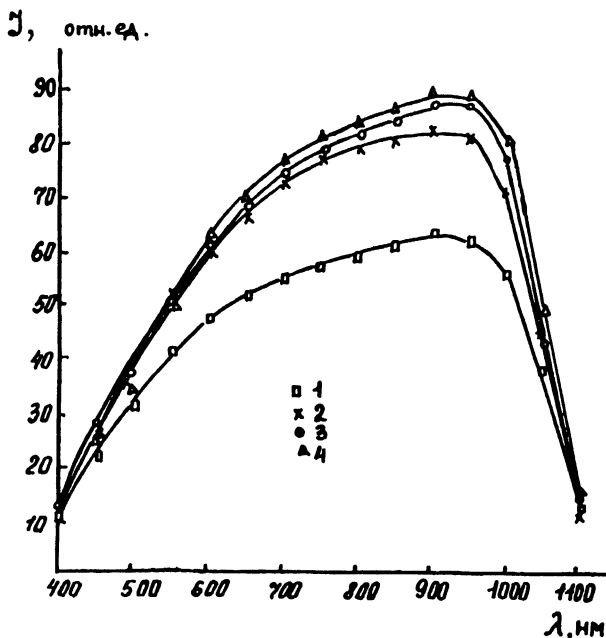


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока короткого замыкания кремниевой  $n^+ - p - p^+$  структуры без покрытия (1) и с пленкой фторида РЗЭ (2-4). ТбF<sub>3</sub> (2), YF<sub>3</sub> (3), CeF<sub>3</sub> (4).

волны излучения, близкой к 900 нм. Характерно, что использование покрытия из фторида РЗЭ вызывает увеличение фоточувствительности всех образцов в диапазоне длин волн излучения от 400 до 1100 нм. Рассчитанные из этих характеристик значения относительного увеличения фототока, определяемые соотношением

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

где  $J_{\phi}$  и  $J_{\phi}^*$  — фототоки короткого замыкания структур с просветляющим слоем и без него соответственно показывают, что применение пленок фторидов РЗЭ позволяет увеличить спектральное значение фототока фотоэлектрического преобразователя более чем на 40%. Наибольший эффект просветления наблюдается для пленки фторида церия, использование которой приводило к увеличению спектрального значения фототока на 44%. Интегральная чувствительность фотоэлектрических преобразователей в спектральном диапазоне 400–1100 нм возрастает более чем на 35–40% при нанесении просветляющей пленки фторида РЗЭ.

Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность использования пленок фторида РЗЭ в ка-

честве просветляющих покрытий кремниевых фотоэлектрических приборов.

### Список литературы

- [1] Колтун М.М. Солнечные элементы. М., 1987. 191 с.
- [2] Риттер Э. Пленочные диэлектрические материалы для оптических применений. В кн. Физика тонких пленок. Т. 8. / Под ред. Г. Хасса, М. Франкомба, Р. Гофмана. М., 1987. С. 7-60.

Самарский государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
25 октября 1993 г.  
В окончательной редакции  
25 марта 1994 г.

