

Технические науки

**Муродов Музафар Хабибуллаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»  
Наманганский инженерно-педагогический институт

**Муродов Бобур Ҳакимжон угли**

студент Наманганский инженерно-педагогический институт

**Murodov M.Kh**

Ph.D., assistant professor of "Power Engineering" Namangan Engineering  
Pedagogical Institute

**Murodov B. Khakimjon ugli**

student of the Namangan Engineering Pedagogical Institute

**ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПАРАМЕТРЫ  
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТОНКИМИ ФРОНТАЛЬНЫМИ  
ДИФФУЗИОННЫМИ СЛОЯМИ**

**INFLUENCE OF PROPERTIES OF THE PROTECTING COVER ON  
PARAMETERS OF SOLAR CELLS WITH THIN FRONTAL DIFFUSION  
LAYERS**

**Аннотация:** В коротковолновой области спектральной характеристики солнечных элементов (СЭ), где является ответственным фронтальный слой структуры, наблюдается более резкий спад чувствительности. В статье приведены результаты исследования процесса диффузии примесей в монокристаллический кремний через окисных покрытий  $\text{SiO}_x$  и влияние их на трансформацию характеристик структур СЭ.

**Ключевые слова:** солнечные элементы, коротковолновая часть, защитное покрытие, эффективная толщина, спектральная характеристика.

**Summary:** In the short-wave area of a spectral characteristic of solar cells (SC) where the frontal layer of structure is responsible, sharper recession of sensitivity is observed. In article results of research of process of diffusion of impurity are given to single-crystal silicon through oxide coverings of  $\text{SiO}_x$  and their influence on transformation of characteristics of structures of SC.

**Key words:** solar cells, short-wave part, protecting cover, effective thickness, spectral characteristic.

В современных эффективных структурах солнечных элементов (СЭ) на основе кристаллического кремния диапазон спектральной чувствительности охватывает основную часть спектра солнечного излучения и находится в пределах 0,3-1,2 мкм. Максимум спектральной

чувствительности СЭ приходится в зависимости от качества исходного кремния в области диапазона волн 0,75-0,95 мкм. Зачастую в коротковолновой области спектральной характеристики СЭ, где является ответственным фронтальный слой структуры, наблюдается более резкий спад чувствительности. Несмотря на относительно небольшие значения протяженности (порядка 2-3 мкм), по сравнению с общим размерами всей структуры СЭ (~300 мкм), максимальная расчетная величина вклада суммарного фото отклика от фронтального слоя и области р-п перехода составляет более 30 % от величины полного коэффициента собирания всей структуры [1].

В работе [2] нами были приведены результаты исследования процесса диффузии примесей в монокристаллический кремний через окисных покрытий  $\text{SiO}_x$  и влияние их на трансформацию характеристик структур СЭ. Основными определяющими свойствами, наносимых окисных покрытий должны быть, на наш взгляд, возможность варьирования толщиной, пористостью и составом.

Во всех случаях наличие заблаговременно полученного окисного слоя  $\text{SiO}_x$  на поверхности пластины приводит к уменьшению глубины диффузии примеси. Причем, примесное распределение благоприятствует смещению спектрального максимума чувствительности в коротковолновую часть спектра и увеличению тока короткого замыкания структуры СЭ. С уменьшением глубины р-п перехода увеличивается фото отклик в коротковолновой части спектра, например для случая предварительно нанесенного слоя  $\text{SiO}_x$  толщиной около 1000 Å при длине волны излучения,  $\lambda=0,4$  мкм увеличение фото отклика составляет более чем в 2,5 раза. Кроме того в [2] было выявлено тенденция смещения максимума спектральной чувствительности структуры в длинноволновую область спектра с одновременным расширением области максимума. Смещение чувствительности в длинноволновую часть спектра связывалась с очисткой объема базы СЭ от неконтролируемых примесей, то есть их геттерированием и выходом к поверхности структуры, и таким образом улучшением электрофизических параметров, например, времени жизни неосновных носителей заряда.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния состава покрытий на основе композита Si/SiO<sub>x</sub> и толщины его, приводящее на наш взгляд, к изменению плотности покрытия, на свойства структур СЭ. Технология изготовления СЭ аналогична как в работе [2]. В качестве исходного материала для изготовления СЭ выбран монокристаллический кремний n-типа проводимости КЭФ-2. Просветляющие покрытия из  $\text{SiO}_x$  с толщиной 950-1050 Å получены методом вакуумного напыления. Нагрузочные ВАХ СЭ измерены в условиях АМ 1,5 ( $E_{\text{пад}} = 900 \text{ Вт/м}^2$ ,  $T = 25$  °С).

Покрyтия на основе смеси кремний-окись кремния наносили на вакуумной установке УВН-71П-3 при остаточном давлении  $P = 5 \cdot 10^{-5}$  торр. В процессе напыления покрyтия структура СЭ не подвергалась какой-либо обработке. Регулирование толщиной формируемого покрyтия проводилось по весу навески, определенной по предварительным или контрольным экспериментам.

На структурах СЭ из монокристаллического кремния были нанесены покрyтия  $Si/SiO_x$  трех различных толщин с целью определения влияния толщины на свойства структур. Мы предполагаем, что в данном случае более подходящим является термин «эффективная толщина», так как смесь на основе Si и SiO очевидно не представляет собой структуру частиц кремния, равномерно распределенных в структуре матрицы окиси кремния SiO (условная плотность смеси и другие свойства просветляющего покрyтия рассчитываются именно в этом предположении). При строгом подходе необходимо учесть, что часть кремния вступает во взаимодействие с остаточными газами при относительно высокой температуре испарения, некоторая часть кремния неизбежно вступает во взаимодействие с материалом испарителя. Таким образом, структуру покрyтия можно представить в виде смеси Si-SiO<sub>x</sub>-SiO. Для более точного определения микроструктуры данного покрyтия требуется естественно, дополнительные исследования.

Для сравнения характеристик на одном из пластин структура СЭ изготовлена согласно [2] с применением в качестве защитного покрyтия только слоев SiO<sub>x</sub>.

На рис.1 показана зависимость спектральной чувствительности  $p^+n^+$ - структуры, толщиной базы 300 мкм на основе КЭФ-2, полученная с применением защитного покрyтия из слоев SiO<sub>x</sub>.

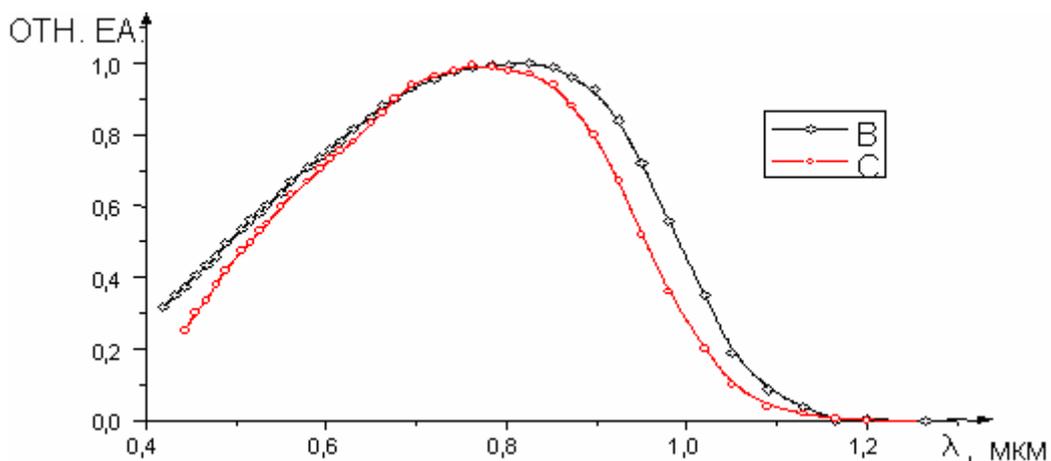


Рис.1. Спектральная характеристика  $p^+n^+$ - структуры, толщиной базы 300 мкм на основе КЭФ-2. В -толщина предварительно полученного SiO<sub>x</sub> 1000 Å, С - без предварительно полученного окисла.

На рис.2. приведена спектральная характеристика  $p^+np^+$ - структуры, толщиной базы 300 мкм на основе КЭФ-2. Структура СЭ получена с применением композитной пленки на основе  $Si/SiO_x$  различной толщины и состава в качестве защитного покрытия в процессе диффузии примеси бора в пластину кремния. Технология получения композитного материала и некоторые его свойства приведены в работе [3-4].

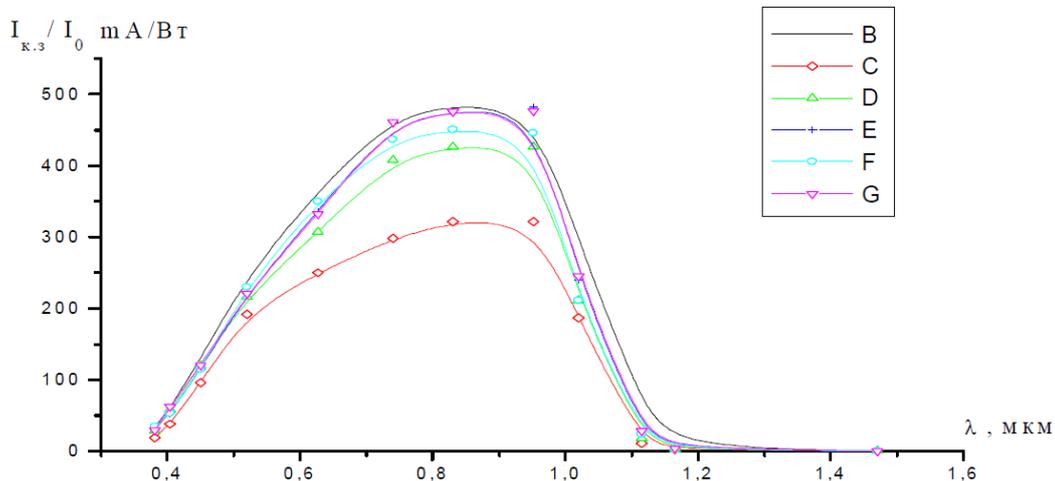


Рис.2. Спектральная характеристика  $p^+np^+$ - структуры, толщиной базы 300 мкм на основе КЭФ-2.

В - образец с защитным слоем из  $SiO_x$ , C, D, E, F, G - образцы с защитным слоем из  $Si/SiO_x$ ; C -  $f=0,5$ ;  $d_2=1000 \text{ \AA}$ , D -  $f=0,5$ ;  $d_3=750 \text{ \AA}$ , E -  $f=0,3$ ;  $d_1=750 \text{ \AA}$ , F -  $f=0,3$ ;  $d_2=1000 \text{ \AA}$ , G -  $f=0,3$ ;  $d_3=500 \text{ \AA}$ , f - объемное содержание Si в  $SiO_2$

Выявлена, что при применении композитной пленки на основе  $Si/SiO_x$  в качестве защитного покрытия в процессе диффузии примеси бора в структуру СЭ из пластин КЭФ-2 привело к смещению спектральной чувствительности в основном в коротковолновую область спектра. Причем, с увеличением доли кремния в  $Si/SiO_x$  и ростом толщины чувствительность структуры уменьшается. Эффект геттерирования примесей в данном случае не наблюдается. Видимо, это объясняется относительно большой плотностью пленок  $Si/SiO_x$ , обуславливающее создание большого барьера на пути потока диффундирующих атомов фосфора, по сравнению с результатами рис. 1.

Таким образом, разработанная технологии изготовления мелкозалегающих p-n переходов структур СЭ на основе кристаллического кремния с предварительным нанесением защитных слоев из окисных покрытий приводит к возможности трансформации спектральной чувствительности структур в конечном итоге к изменению эффективности СЭ на 10-12 % относительно первоначального [5].

### Литература

1. Hovel H.J, vol 11 Solar cells /Ed. R.K. Willardson, A.G. Beer New York; London : Acad. Press, 1975, p.254.
2. Турсунов М.Н., Дадамухамедов С, Муродов М., Якубова М.С., Кремниевые солнечные элементы с тонкими фронтальными диффузионными слоями, «Гелиотехника», 2003, №2, с.
3. Турсунов М. Н. и др. Влияние свойств защитного покрытия на параметры солнечных элементов с тонкими фронтальными диффузионными слоями.
4. Gaziev U., Djanklich M., Diskin V., Muminov R., Settarova Z., Tursunov M., Effective antireflection covers for photoconvertors on the base of polycrystalline silicon, Applied Solar Energy, New-York, 2003, №1
5. Муродов М. Х., УГЛИ М. Б. Х. Фотоэлектрическая станция с автоматическим управлением мощностью 20 кВт для учебного заведения //Science Time. – 2015. – №. 12 (24).