

A. GETMAN, postgraduate student

D. OLEFIRENKO, student

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

**INFLUENCE CARRIER LIFETIME ON CHARACTERISTICS OF SOLAR ENERGY CONVERTERS FOR SPACE APPART**

*In that paper were presented results of the development and research of the silicon space solar cells. Nowadays the  $A^3B^5$  multilayer solar cells is actively developed in the sphere of constructing of the spacecraft power supply systems, as well as for the low-orbit applications the silicon solar cells usage is still expedient.*

*Research was performed on the solar cells with the  $n^+ - p - p^+$  structure. Silicon solar cells were exposed to the electron flux with energy 7 MeV. The accelerated electron flux density was  $3 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in the atmosphere. Absorbed radiation dose was up to 100 krad (Si).*

**Key words:** solar cell, photo-voltaic converter, radiation hardness, carrier lifetime.

1. Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. England: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, 2003.
2. Tom Markvart, Luis Castaner, Photovoltaics Fundamentals and Applications, Oxford: Elsevir, 2003.
3. Masafumi Yamaguchi, Radiation resistance of compound semiconductor solar cells, Journal of Applied Physics 78, pp.1476-1480, 1995.
4. Datasheet Silicon Solar Space Cell S32, Heilbronn: Azur Space Solar Power GmbH, 2006.

УДК 621.383.51

А.В. ГЕТЬМАН, аспірант

Д.В. ОЛЕФІРЕНКО, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**ВПЛИВ ЧАСУ ЖИТТЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА КОСМІЧНИХ АПАРАТАХ**

*У цій роботі були представлені результати розробки і дослідження кремнієвих космічних сонячних батарей. У наші дні  $A^3B^5$  багатосарові сонячні батареї активно розвиваються в сфері конструювання систем електроживлення космічних апаратів, але для низькоорбітальних космічних апаратів використання сонячних батарей з кремнію ще доцільно. Дослідження проводили на сонячних елементах з  $n^+ - p - p^+$  структури. Кремнієві сонячні елементи піддавали дії потоку електронів з енергією 7 MeV. Щільність потоку прискорених електронів була  $3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  в атмосфері. Поглинена доза опромінення була до 100 крад (Si).*

**Ключові слова:** сонячний елемент, фотоелектричний перетворювач, радіаційна стійкість, час життя носіїв.

УДК 535.015

Д.С. САЛИМОН, студент, А.В. ГЕТЬМАН, аспірант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**ЗАЩИТНЫЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ФЭП КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*В данной статье описан принцип, положенный в основу получения двухслойного покрытия, обладающего высокими просветляющими и теплорегулирующими свойствами, использующийся для универсальной системы покрытий. Экспериментально было показано, что просветляющее покрытие, состоящее из двух слоев, позволяет расширить область низкого отражения и снизить последовательное сопротивление элементов благодаря высокой электропроводности пленки. В результате исследования оптических свойств различных антисоляризаторов, выбран оптимальный вариант, позволяющий улучшить в защитном покрытии срез УФ-излучения и увеличить концентрацию ионов. Рассмотрен механизм протекторного действия, который предотвращает образование центров окрашивания в видимой области спектра. Также представлено сравнение различных одно-, двух- и трехслойных просветляющих покрытий на кремниевой подложке с последующим определением оптимальной толщины и показателя преломления каждого слоя.*

**Ключевые слова:** солнечная батарея, антиотражающее покрытие, защитное покрытие, коэффициент преломления, антисоляризатор, просветляющее покрытие.

**Вступление**

На космический аппарат (КА) за время вывода на орбиту и пребывания на ней воздействует в различной мере множество факторов окружающего пространства. Большинство из них уже изучены, проведены лабораторные исследования по определению влияния отдельных факторов на материалы и элементы КА, построены математические модели отдельных процессов. Однако совместное воздействие нескольких факторов исследовано недостаточно[1].

При работе солнечных батарей (СБ) в космосе в течение длительного времени происходит деградация их основных параметров из-за воздействия различных факторов космического пространства .

На геостационарных орбитах наибольшую опасность для СБ представляют ионизирующие излучения (ИИ) - электроны и протоны радиационных поясов Земли, протоны солнечных вспышек, а также электромагнитное излучение Солнца, особенно УФ-излучение и мягкий рентген солнечных вспышек.

На низких околоземных орбитах основными агрессивными факторами являются атомарный кислород (АК) и УФ-излучение.

Традиционным методом защиты СБ от ИИ является пассивная защита, основанная на поглощении материалом защитного покрытия (ЗП) энергии излучения любого типа[2].

В настоящее время в качестве основных защитных покрытий СБ используются стеклянные пластины (СП) различной толщины, изготовленные из многокомпонентного силикатного стекла. В зарубежных СБ основным защитным покрытием с тыльной стороны служит, как правило, сотовая подложка. К вспомогательным защитным слоям можно отнести адгезивы между СП и солнечным элементом (СЭ), а также между СЭ и подложкой, сплошной тыльный контакт, слой припоя и все покрытия на СП. Помимо высокой эффективности поглощения ИИ ЗП должны обладать высокой радиационно-оптической устойчивостью, чтобы в процессе полёта СБ ухудшение их оптических свойств не привело к оптической деградации СБ[2].

**Анализ литературных данных**

Рассмотрим 2 вида деградации солнечной батареи (СБ): радиационную и оптическую деградацию под воздействием собственной внешней атмосферы КА.

Радиационная деградация может быть вызвана несколькими факторами, для каждого из которых характерны свои высоты орбит: плазма межпланетного пространства, горячая магнитосферная плазма, электроны и протоны радиационных поясов Земли (РПЗ), протоны солнечных вспышек, потоки ядер высоких энергий. Рассмотрим воздействие протонов на фотоэлемент. Радиационному воздействию в фотоэлементе подвергаются в первую очередь защитное стекло, просветляющее покрытие и сам полупроводник.

1. Под действием УФ-излучения и плазмы космоса происходит радиационное объёмное окрашивание кварцевого защитного стекла, что приводит к снижению его прозрачности и фото-ЭДС.

2. Протоны создают в кремниевых ФЭП радиационные дефекты, уменьшающие время жизни неосновных носителей заряда, вызывают увеличение скорости поверхностной рекомбинации и увеличивают токи утечки, что влияет на напряжение холостого хода, ток короткого замыкания и максимальную мощность.

Собственная внешняя атмосфера (СВА), окружающая КА, преимущественно образована испарением неметаллических материалов: клеев, полимерных плёнок и покрытий, а так же продуктами распыления материалов внешних поверхностей КА при попадании на них ускоренных ионов, формируемых при работе электроракетных двигателей (ЭРД)[1].

Воздействие ионизирующих излучений на ЗП может вызвать при определенных поглощенных дозах объёмное окрашивание стекла связанное с образованием центров окрашивания в видимой области спектра, что приводит к снижению пропускания и, следовательно, к оптической деградации СБ. Для предотвращения образования этих центров в ЗП вводят протекторы - элементы с активными донорно-акцепторными свойствами, которыми обладают поливалентные элементы - сурьма, висмут, церий, олово, железо. Механизм протекторного действия состоит в следующем. Радиационные повреждения в стекле под воздействием ионизирующих излучений создают перемещающиеся и захватываемые электроны, а также положительные дырки, возникающие при перемещении электронов. В результате возникают зоны поглощения в видимой области спектра с положительными дырками, имеющими доминирующий эффект. Когда в стекле присутствует протектор, например церий, то его ионы в низшей валентной форме ( $Ce^{+3}$ ) поглощая дырки, устраняют их, в то время как ионы в высшей форме ( $Ce^{+4}$ ) улавливают электроны. В результате в матрице стекла предотвращается образование собственных центров окрашивания.

В стеклах К-208 и К-215М применяется протектор  $CeO_2$ . Церий легко изменяет валентность в стекле, оба его иона  $Ce^{+3}$  и  $Ce^{+4}$  имеют широкие полосы поглощения с максимумами около 314 и 240 нм соответственно. И только при довольно больших концентрациях  $Ce O_2$  полоса поглощения  $Ce^{+4}$  заходит в видимую область, т.к. коэффициент поглощения ионов  $Ce^{+4}$  в 7 раз выше коэффициента поглощения  $Ce^{+3}$ , что ухудшает пропускание СП в этой области. Для повышения радиационно-оптической стойкости

ЗП целесообразно переводить часть ионов  $\text{Ce}^{+4}$  в  $\text{Ce}^{+3}$ , что также повысит прозрачность ЗП в видимой области спектра. Следует отметить, что максимально возможное отношение  $\text{Ce}^{+3}/\text{Ce}^{+4}$  в нейтральных условиях не может быть более 50 %. На равновесие  $\text{Ce}^{+3}/\text{Ce}^{+4}$  влияют такие факторы, как концентрация  $\text{CeO}_2$  в стекле и технологические факторы варки стекла - окислительно-восстановительные условия, температура и продолжительность варки. Применение восстановительных условий варки стекла позволяет увеличить соотношение  $\text{Ce}^{+3}/\text{Ce}^{+4}$  в зависимости от исходной концентрации  $\text{CeO}_2$  в стекле на 20 % и более. При уменьшении концентрации  $\text{CeO}_2$  отношение  $\text{Ce}^{+3}/\text{Ce}^{+4}$  увеличивается, но при этом ухудшается эффективность поглощения ионов и радиационно-оптическая стойкость самого стекла, поэтому при выборе концентрации  $\text{CeO}_2$  приходится идти на компромисс.

В стекле К-215М удалось перевести половину ионов  $\text{Ce}^{+4}$  в трёхвалентное состояние за счет увеличения температуры варки стекла и времени осветления. В нем была установлена оптимальная концентрация  $\text{CeO}_2$  в количестве от 3,5 до 4 %, при которой при толщине СП 0,25 мм достигается достаточная эффективность поглощения ИИ и радиационно-оптическая стойкость ЗП[2].

$\text{CeO}_2$  обеспечивает не только радиационно-оптическую устойчивость боросиликатных стекол и эффективность поглощения ИИ, но и отсекает вредное УФ-излучение, вызывающее потемнение адгезивов. Высокое поглощение в УФ-области обеспечивается соответствующими концентрациями ионов  $\text{Ce}^{+3}$  и  $\text{Ce}^{+4}$ , а также других антисоляризаторов, например  $\text{TiO}_2$  в стекле К-215М

Выбор антисоляризаторов и их концентрации в стекле определяется жесткими требованиями к пропусканию ЗП и чувствительностью к УФ-излучению адгезивов, применяемых для приклеивания стекол к солнечным элементам. Например, кремнийорганические адгезивы с метильными и винильными группами более устойчивы к УФ-излучению по сравнению с адгезивами, в составе которых имеются фенильные и фенантренильные группы. Однако, последние более радиационно устойчивы, поэтому при поглощении больших доз радиации они темнеют в меньшей степени, чем адгезивы с металлическими и винильными группами. Следовательно, они могут быть рекомендованы для СБ, работающих на геостационарных орбитах.

Таким образом, для уменьшения потемнения адгезивов необходимо, чтобы УФ-излучение полностью срезалось СП в более активной области от 50 до 320 нм и значительно снижалось в области 320-360 нм, где кремнийорганические соединения имеют еще довольно значительное поглощение, а также при  $\lambda = 418$  нм, где они имеют максимальное поглощение. Стекло К-215М имеет главное преимущество перед стеклом К-208 по своим антисоляризационным свойствам, особенно в области длин волн 320-360 нм. Пропускание стекла К-215 толщиной 0,2 мм при  $\lambda = 350$  нм - в 2 раза меньше, чем у стекла К-208. Стекло К-215М полностью отсекает УФ-излучение до  $\lambda = 320$  нм, а стекло К-208 до  $\lambda = 280$  нм. Однако в начале видимой области пропускание стекла К-215М на 4-5 % меньше, чем у стекла К-208. Повысить пропускание стекла К-215М в этой области возможно только уменьшением количества  $\text{CeO}_2$ , но при этом увеличивая концентрацию бария, чтобы радиационные свойства стекла не ухудшились. Оптимизация антисоляризационных свойств стекла К-215М возможна путём выбора соответствующего антисоляризатора[2].

Как уже отмечалось, кроме обычных оптических стекол, существуют радиационно-стойкие оптические стекла, т.е. стекла, способные сохранять высокую пропускающую способность в видимой области спектра в условиях их облучения ионизирующим излучением. Понятно, что каталог радиационно-стойких стекол не должен уступать каталогу обычных стекол по числу марок, чтобы на их основе можно было рассчитывать и создавать оптические приборы специального назначения с высоким качеством формирования и передачи оптического изображения. Поскольку расчет оптической схемы прибора всегда был и остается делом трудоемким и дорогим, было заманчивым использовать одни и те же схемы в приборах как обычного, так и специального назначения. В этом случае простая замена оптических элементов прибора, выполненных из обычных стекол, геометрически точно такими же элементами, изготовленными из радиационно-стойких стекол, переводила бы прибор из первого разряда во второй. Для реализации такой замены требуются, однако, не просто радиационно-стойкие стекла, а стекла, которые, с одной стороны, обладали бы более высокой радиационно-оптической устойчивостью, чем обычные стекла, а с другой стороны, были бы их оптическими аналогами. Под оптическими аналогами понимаются стекла с одинаковым ходом дисперсионной кривой, т.е. зависимости показателя преломления от длины волны. Только в этом случае оптические постоянные - показатель преломления и коэффициенты дисперсии - обычных и радиационно-стойких стекол-аналогов будут одинаковыми, только в этом случае возможно создание двух типов прибора по одной и той же оптической схеме.

Роль протекторной добавки, заметно повышающей радиационно-оптическую устойчивость стекол, играет церий, вводимый в стекло в виде его диоксида. При этом следует иметь в виду, что появление в составе стекла диоксида церия с неизбежностью изменяет ход дисперсионной кривой. Поэтому от разработчиков радиационно-стойких аналогов обычных оптических стекол требуется таким образом изменить их основной состав, чтобы отклонение оптических постоянных от исходных

значений, вызванное введением в стекло диоксида церия, было скомпенсировано их изменениями противоположного знака, возникшими за счет небольших изменений концентрации основных компонентов. С этой целью для каждой марки стекол обычного каталога вначале определяются значения изменения показателя преломления,  $\Delta n_e$ , и средней дисперсии,  $\Delta(n_F - n_C)$ , обусловленные введением диоксида церия в состав стекла. Затем исследуется зависимость этих величин от типа компонентов стекла при изменении их концентрации на 1 мас. % и выбираются компоненты, изменением массовой доли которых следует произвести корректировку состава обычного стекла для его перевода в разряд радиационно-стойких стекол. После этого рассчитываются поправки на массовые доли таких компонентов, которые должны привести к изменению показателя преломления и средней дисперсии на уже упоминавшиеся значения  $\Delta n_e$  и  $\Delta(n_F - n_C)$ , соответственно[3].

Хорошее антиотражающее покрытие ( АОП ) является жизненно важным для производительности солнечных батарей , так как оно обеспечивает высокий фототок , а также минимизирует отражение . В отличие от многих других оптоэлектронных приборов , солнечные батареи работают в диапазоне длин волн от 300 - 1200 нм , а это означает, что они нуждаются в широкополосном АОП . В промышленном производстве кремниевых солнечных батарей это делается путем однослойного АОП.

Наиболее стабильной конфигурацией относительно изменений в толщине пленки были признаны конструкции с высоким показателем преломления (n) на подложке и низким n по отношению к температуре окружающей среды .

Хорошо известно, что применение одного или нескольких антибликовых слоев на передней поверхности фотоэлектрических элементов и оптико-электронных приборов ( лазеры, ИК диоды , и т.д.) снижает отражение падающего света , что улучшает производительность устройства . Керн и Трейси наблюдали увеличение КПД примерно на 44 % после распыления  $TiO_2$  . Грин использовал два слоя  $MgF_2/ZnS$  на кремниевых элементах с эффективностью 19,1% . Использование для кремниевых солнечных элементов более чем двух слоев на практике ограничено. Теория антибликовых покрытий рассматривается многими авторами для определения оптимальной толщины материалов , которые будут использоваться на полированном или текстурированном кремнии. Матричный метод обычно используется для расчета коэффициента отражения[4].

**Полученные результаты и их анализ**

Исследование различных антисоляризаторов показало, что самым слабым из них является  $TiO_2$  (табл. 1), тем не менее реальным оксидом, способным его заменить, оказался только  $Nb_2O_5$ , который к тому же положительно влияет на радиационно-оптическую стойкость. Другие же антисоляризаторы оказались нетехнологичными или слишком дорогими.

Таблица 1

Пропускание СП толщиной 1 см при  $\lambda = 350$  нм с различными антисоляризаторами

Анτισоляризатор	$WO_2$	$Nb_2O_5$	$Ta_2O_5$	$MoO_2$	$Bi_2O_2$	$CeO_2$	$ZrO_2$	$TiO_2$
Пропускание Т при $\lambda = 350$ нм СП толщиной 1 см, %	17,6	19,5	19,5	22	39	40	79	84

Как показали предварительные исследования, замена  $TiO_2$  на  $Nb_2O_5$  в стекле К-215М позволяет не только улучшить срез УФ-излучения при  $\lambda = 350$  нм до 8,5-14 % . но и значительно увеличить содержание ионов  $Se^{+3}$ [2].

Были проведены экспериментальные измерения для 3 видов покрытия : одно- и двухслойные покрытия на основе SiN, а также комбинированный двойной слой SiN и  $SiO_2$  .

Для однослойного покрытия SiN можно добиться минимального коэффициента отражения 0,104 при  $n = 1,95$  и  $d = 81$  нм. Это довольно высокое значение отражения и оно будет меньше для солнечного элемента из текстурированного кремния .

Для данного покрытия, длина волны может быть найдена по формуле :

$$\lambda_{min} = 4 \cdot n_{SiN} \cdot d_{SiN} \tag{1}$$

где  $\lambda_{min}$  — длина волны в минимуме

47% и 53% отраженного потока отражены на длине волны короче и длиннее, чем минимум в 640 нм, соответственно.

Двухслойные АОП работают по принципу создания двух минимумов отражения довольно близко друг к другу. Пояснения минимумов и максимумов для двойных слоев являются более сложными, чем для отдельных слоев и не будут обсуждаться более подробно.

Для двойного слоя, содержащего только нитрид кремния, самое низкое отражение было достигнуто со структурой  $n_1 = 2,99$ ,  $n_2 = 1,82$  и  $d_1 = 42$  нм,  $d_2 = 87$  нм. Спектр отражения приводит к общему коэффициенту отражения 0,055.

Для решение вышеупомянутой проблемы должны были быть использованы пленки SiO<sub>2</sub>, поскольку у них регулируемый n ниже, чем у SiN. Была создана структура в n<sub>1</sub> = 2,67, n<sub>2</sub> = 1,55 и d<sub>1</sub> = 49 нм, d<sub>2</sub> = 94 нм. Ни один из этих n не сложно получить в системах PECVD. По сравнению с однослойным покрытием отражение на длинах волны короче и длиннее, чем 640 нм было уменьшено на 70% и 47%, соответственно, приводя к коэффициенту отражения 0,044 . В ходе исследований было показано, что лучшая структура сочетает SiN и SiO<sub>2</sub>, что приводит к отражательной способности на уровне 0,044 . Моделирование солнечных элементов показывают, что увеличение плотности тока короткого замыкания на 6,4% удалось путем замены оптимизированного однослойного SiN с вышеупомянутым двойным слоем[4].

В этом разделе представлены также результаты вычислений для одно-, двух - и трехслойных покрытий на кремниевой подложке.

В некоторых приборах ( лазеры, фотодиоды и т.д. ) нулевое отражение необходимо на одной длине волны или по всей узкой полосе спектра. Для этой цели используются однослойные АОП. Для определения оптимальной толщины и показателя преломления с минимальным коэффициентом отражения , выводятся следующие уравнения :

$$n = (n_o n_s - (n_o k_s)) / (n_o - n_s)^{1/2}, \tag{2}$$

$$d = (\lambda / 2\pi) \cdot \arctg[n_o (n_o - n_s) / n_o k_s], \tag{3}$$

где n<sub>o</sub> — показатель преломления падающего среды , n<sub>s</sub> — показатель преломления подложки и k<sub>s</sub> — коэффициент затухания подложки. На Рис. 1 представлены кривые оптимальных значений n и d .

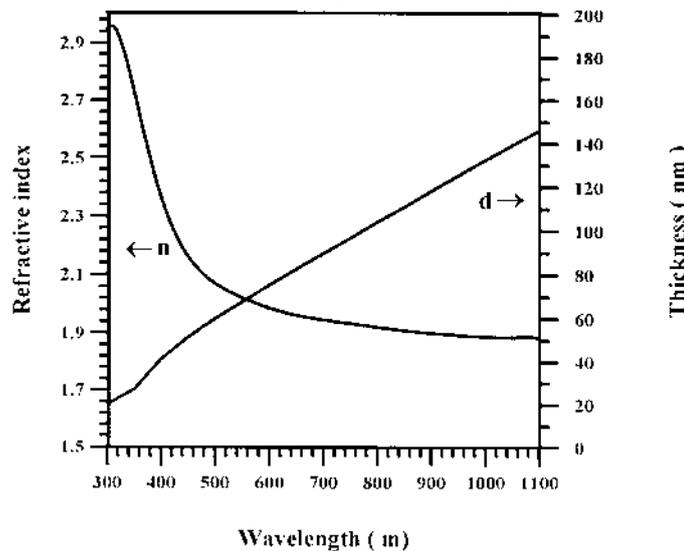


Рисунок 1 – Оптимальные значения пар (n, d) для однослойного антибликового покрытия для кремния. Каждая пара (n,d) дает нулевой отражение на определенной длине волны.

Схема Шустера для кремниевой подложки позволяет выбрать оптимальный показатель преломления внутреннего и внешнего слоев. Это схема , в которой показатель преломления внутреннего слоя n<sub>2</sub> представлено в зависимости от показателя преломления наружного слоя n<sub>1</sub> . Это иллюстрирует условия , которые дают нулевое отражение :

$$AB/CD > 0, \tag{4}$$

где  $A = (n_o - n_s) \quad B = n_o n_2^2 - n_1^2 n_s;$  (5)

$$C = n_o n_s - n_2^2 \quad D = n_1^2 - n_o n_s; \tag{6}$$

Используется конструкция с высоким индексом преломления кремниевой подложки , в котором наружный слой имеет низкий показатель преломления, а внутренний слой имеет высокий показатель преломления . Этот выбор основан на спектральной устойчивости покрытия и его низкой отражательной способности. Это означает, что спектр низкого отражения меняется очень незначительно с толщиной . Наиболее стабильными покрытиями являются те, которые имеют внутренний слой, в котором показатель преломления близок к подложке и наружный слой , показатель преломления которого близок к падающей среде. Такие системы покрытий используются в фотодиодах ( лазерах) и других оптоэлектронных устройствах, которые нуждаются в оптимизации системы спектров отражения покрытий . Результаты показаны на рис . 2 . Минимум проявляется при λ = 600 нм.

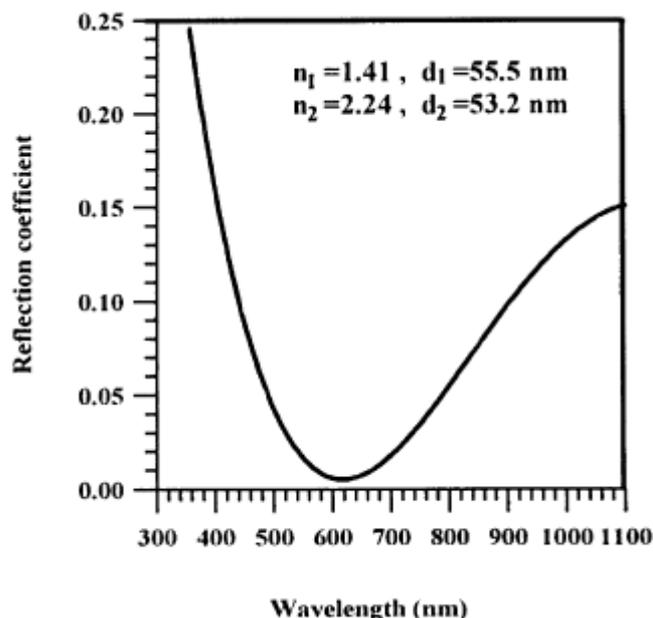


Рисунок 2 – Спектры отражения волны для двухслойного покрытия SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> на кремниевой подложке.

Конструкция трехслойных покрытий на кремнии оптимизирована с учетом того, что оптимальный показатель преломления каждого слоя рассчитывается по формуле :

$$n_2^2 = n_o n_s = n_1 n_2, \tag{7}$$

где  $n_2$  является показателем преломления среднего слоя. Показатель преломления уменьшается от наивысшего значения ( $n_2$ ) к наименьшему значению ( $n_{воз} = 1$ ) в следующем порядке:  $n_{воз} < n_1 < n_2 < n_3 < n_5$  [5].

**Выводы**

В данной статье были рассмотрены защитные просветляющие покрытия для кремниевых ФЭП космического назначения. Показано, что лучшая структура антибликовых покрытий сочетает SiN и SiO<sub>2</sub>, что приводит к хорошей отражательной способности. Моделирование солнечных элементов показывает увеличение плотности тока на 6,4%. Максимального увеличения КПД удастся добиться при использовании TiO<sub>2</sub>. Пленка ZnS (или Ta<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>Ni<sub>4</sub>) может успешно сочетаться со второй просветляющей пленкой из смеси оксидов индия и олова (ITO). Просветляющее покрытие, состоящее из двух слоев, позволяет расширить область низкого отражения от поверхности солнечных элементов, получить кривую отражения с двумя минимумами и, кроме того, снизить последовательное сопротивление элементов.

**Литература**

1. А.С. Китаева. Построение модели деградации солнечной батареи в космических условиях, Московский авиационный институт
2. Защитные покрытия солнечных батарей космических аппаратов с большим ресурсом. Автономная энергетика : технический прогресс и экономика № 24-25, 2008-2009
3. В. И. Арбузов . Основы радиационного оптического материаловедения - СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008. - 284 с.
4. Daniel N. Wright, Erik S. Marstein and Arve Holt. Double layer anti-reflective coatings for silicon solar cells, Institute for Energy Technology, Norway
5. D. Bouhafs, A. Moussi, A. Chikouche, J.M. Ruiz. Design and simulation of antireflection coating systems for optoelectronic devices: Application to silicon solar cells, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Spain, 1997

A. GETMAN, postgraduate student,  
D. SALIMON, student

**National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"**  
**PROTECTIVE ANTIREFLECTION COATINGS FOR PHOTOVOLTAIC CONVERTER IN  
SPACE APPLICATIONS**

*This article describes the principle which underlies the receiving two-layer coating having a high antireflection and heat regulating properties, used for the universal coating system . It has been experimentally shown that the anti-reflection coating , consisting of two layers , expands the range of low reflection and reduce the series resistance of the elements due to the high electrical conductivity of the film. As a result, the optical properties of various antisolarizators selected the best option that will improve the cut in the protective coating of UV radiation and increase the concentration of ions. The mechanism of protective action , which prevents the formation of color centers in the visible region of the spectrum . Also provides a comparison of the various one-, two - and three-layer antireflection coatings on silicon substrates with subsequent determination of the optimum thickness and refractive index of each layer.*

**Keywords** : solar battery , antireflection coating , protective coating , the refractive index , antisolarizator , antireflection coating.

1. Kitaeva, A.S. Building a model of the solar cell degradation in space conditions, Moscow Aviation Institute .
2. Protective coatings solar panels spacecraft with a great resource. Autonomous power: technological progress and the economy № 24-25, 2008-2009
3. Arbuzov. V.I. (2008). Radiation Basics of Optical Materials - St. Petersburg: St. Petersburg State University of Information Technologies., - 284 p.
4. Daniel N. Wright, Erik S. Marstein and Arve Holt. Double layer anti-reflective coatings for silicon solar cells, Institute for Energy Technology, Norway
5. D. Bouhafs, A. Moussi, A. Chikouche, J.M. Ruiz. Design and simulation of antireflection coating systems for optoelectronic devices: Application to silicon solar cells, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Spain, 1997

**А.В. ГЕТЬМАН**, аспірант,  
**Д.С. САЛІМОН**, студент

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**  
**ЗАХИСНІ ПРОСВІТЛЮЮЧІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ФЕП КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*У даній статті описаний принцип, покладений в основу отримання двошарового покриття, що володіє високими просвітлюючим і теплорегулюючими властивостями, що використовується для універсальної системи покриттів. Експериментально було показано, що просвітлююче покриття, що складається з двох шарів, дозволяє розширити область низького відбиття і знизити послідовний опір елементів завдяки високій електропровідності плівки. У результаті дослідження оптичних властивостей різних антисоларизаторів, вибраний оптимальний варіант, що дозволяє поліпшити в захисному покритті зріз УФ- випромінювання і збільшити концентрацію іонів. Розглянуто механізм протекторної дії, який запобігає утворенню центрів фарбування у видимій області спектра. Також представлено порівняння різних одно-, двох - і тришарових просвітлюючих покриттів на кремнієвій підкладці з наступним визначенням оптимальної товщини та показника заломлення кожного шару.*

**Ключові слова:** сонячна батарея, антивідбиваюче покриття, захисне покриття, коефіцієнт заломлення, антисоларизатор, просвітлююче покриття.