

УДК 621.3

ОДНОСЛОЙНЫЕ АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ GaAs

А.С. ОГАНЕСЯН

Центр полупроводниковых приборов и нанотехнологии,
Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 22 февраля 2008 г.)

Методом оптических матриц промоделированы и рассчитаны оптимальные параметры антиотражающих слоев к солнечным элементам на основе GaAs. Показано, что при помощи однослойных антиотражающих покрытий из Ta₂O₅ и ITO можно существенно снизить отражение от поверхности солнечных элементов из GaAs.

1. Введение

Существует множество методов улучшения рабочих характеристик полупроводниковых солнечных элементов (СЭ). Один из них – сокращение отражения с поверхности солнечного элемента. Для этого используются различные тонкопленочные покрытия [1-9].

Направленное изменение оптических свойств поверхности твердых тел с целью получения необходимой селективности в широком интервале спектра достигается, как правило, путем оптимального сочетания характеристик СЭ и покрытия. Управление характеристиками оптических поверхностей путем придания им селективных оптических свойств позволяет повысить КПД преобразования солнечной энергии. Применение антиотражающих покрытий с соответствующими коэффициентами преломления (n) и толщиной (d) ведет к увеличению поглощения солнечного излучения в видимой и ближней ИК областях спектра.

Применение арсенида галлия (GaAs) в солнечных элементах обусловлено прямозонностью этого полупроводника в сочетании со стабильностью, вследствие чего они нашли широкое применение в космической технике и для наземных применений. Как известно из зависимости КПД СЭ от ширины запрещенной зоны полупроводника, GaAs обладает шириной запрещенной зоны, близкой к оптимальному значению для эффективного фотовольтаического преобразования [1].

Вследствие относительно большого показателя преломления GaAs ($n \approx 3.5$), рабочая поверхность фотоэлементов отражает значительную часть падающего излучения во всем интервале спектра. Без нанесения антиотражающих покрытий коэффициент отражения элементов из GaAs составляет как минимум 35%. Эффективным способом

уменьшения потерь на отражение может служить нанесение просветляющих покрытий.

В данной работе рассчитаны спектры отражения однослойных пленок, нанесенных на СЭ из GaAs, для сравнения и последующего выбора антиотражающего покрытия к ним.

2. Результаты и обсуждение

При расчете параметров антиотражающих покрытий применялся метод оптических матриц, детально описанный в [5-9]. Для моделирования использована программа, написанная на основе ПО «Mathematica 6» [5-9], которая позволяет, зная закон дисперсии действительной (реальной) и мнимой частей коэффициента преломления вещества, на основе которого изготовлены СЭ, смоделировать и вычислить такие оптимальные параметры антиотражающих покрытий, как толщина и коэффициент преломления.

Разработанная программа была применена к кремниевым СЭ для моделирования спектров отражения различных антиотражающих покрытий. Полученные результаты сравнивались с известными в литературе экспериментальными данными. Сравнение показало совпадение с большой точностью теоретических результатов с экспериментальными данными.

Следовательно, учитывая тот факт, что к СЭ из GaAs в настоящее время проявляется большой интерес, вышеуказанная программа для расчета спектров отражения была применена для моделирования и расчетов параметров антиотражающих покрытий, нанесенных на СЭ на основе GaAs. Для этого в программе значения для мнимой и реальной частей коэффициента преломления кремния были заменены на известные из литературы данные для GaAs и были рассчитаны соответствующие кривые [10].

Расчет параметров покрытия сводится к нахождению оптической толщины d и показателя преломления просветляющей пленки m , определяемого для непрозрачных подложек соотношением

$$\frac{(n_1 - n_0)^2}{(n_1 + n_0)^2} = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k^2}{(n_2 + n_1)^2 + k^2}, \quad (1)$$

где $n_0 = 1$, n_1 , n_2 – показатели преломления воздуха, просветляющей пленки и подложки, соответственно, $k = \alpha\lambda/4\pi$ и α – коэффициент поглощения подложки.

Легко показать, что для выбора m при условии пренебрежения k^2 можно с достаточной точностью воспользоваться формулой для просветления прозрачных диэлектриков:

$$n_1 = n_2^{1/2}. \quad (2)$$

Однако окончательный расчет m можно провести лишь после определения толщины d просветляющего покрытия (или, что равнозначно, λ_{\min} , поскольку $d = \lambda_{\min}/4$), так как вследствие дисперсии m оптимальный показатель преломления m просветляющего покрытия зависит от выбора точки минимального отражения.

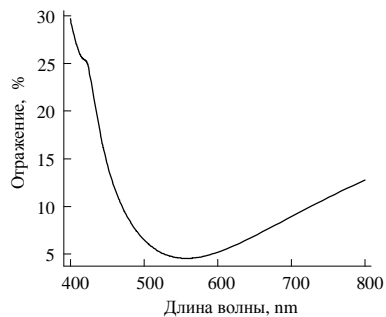


Рис.1. Спектр отражения пленки Si₃N₄.

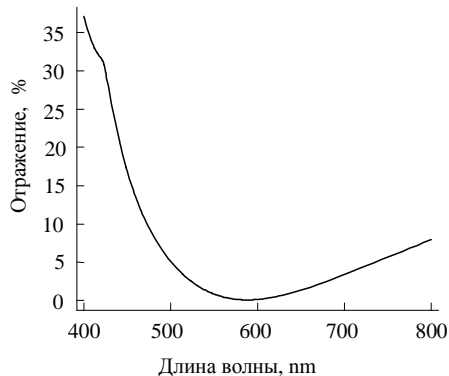


Рис.2. Спектр отражения пленки Ta₂O₅.

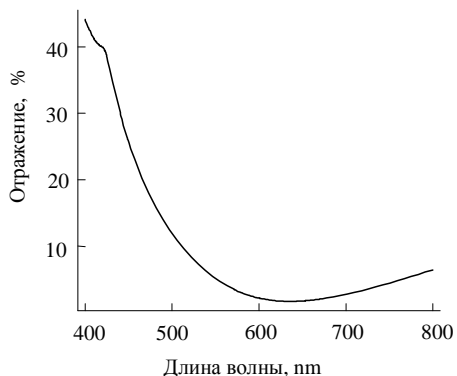


Рис.3. Спектр отражения пленки TiO₂.

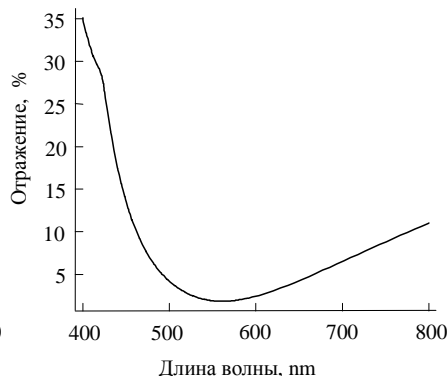


Рис.4. Спектр отражения пленки ZnS.

Из литературы известно, что в СЭ на основе GaAs в качестве антиотражающих применяют покрытия из следующих веществ: Al₂O₃, ITO, Si₃N₄, Ta₂O₅, TiO₂, ZnS. Расчеты проводились нами для толщин пленок от 50 до 100 нм. Наилучшие результаты моделирования были получены при следующих значениях толщин пленок в соответствии со значениями их коэффициентов преломления: Al₂O₃ $n = 1.63$, $d = 82$ нм; ITO $n = 2.3$, $d = 68$ нм; Si₃N₄ $n = 2.1$, $d = 70$; Ta₂O₅ $n = 2.03$, $d = 67$ нм; TiO₂ $n = 2.2$, $d = 65$ нм; ZnS $n = 2.3$, $d = 66$ нм. Полученные результаты графически представлены на рис.1–6.

Как видно из полученных результатов, по сравнению с другими материалами, меньшим коэффициентом отражения характеризуются пленки из Ta₂O₅ и ITO. Особо отметим пленки ITO, поскольку, как известно, они уже нашли широкое применение в различных солнечных элементах: это прозрачные проводящие пленки, применение которых решает сразу две проблемы – нанесение антиотражающего покрытия и токосъемных контактов.

3. Заключение

Используя метод оптических матриц, с помощью программы «Mathematica 6», были промоделированы и рассчитаны оптимальные параметры антиотражающих слоев к СЭ на основе GaAs. Как следует из полученных результатов, при помощи однослойных антиотражающих покрытий из Ta₂O₅ и ИТО можно существенно снизить отражение от поверхности солнечных элементов из GaAs, что в свою очередь может привести к повышению их КПД.

Автор выражает благодарность академику В.М.Арутюняну и к.ф.-м.н. Х.С.Мартirosяну за постановку задачи и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **М.М.Колтун.** Оптика и метрология солнечных элементов. М., Наука, 1985.
2. **N.D. Arora and J.R. Hauser.** J. Appl. Phys., **53**, 8839 (1982).
3. **M.Alone-Alaluf, J.Appelbaum, N.Croituru.** Thin Solid Films, **320**, 159 (1998).
4. **D.Bouhafs, A.Moussi, A.Chikoue, J.M.Ruiz.** Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **52**, 79 (1998).
5. **V.M.Aroutiounian, K.R.Maroutyan, A.L.Zatikyan, K.J.Touryan.** Thin Solid Films, **403-404**, 517 (2002).
6. **V.M.Aroutiounian, K.R.Maroutyan, A.L.Zatikyan, C.Levy-Clement, K.J.Touryan.** Proc. SPIE on Solar and Switching Materials, **4458**, 61 (2001).
7. **V.M.Aroutiounian, Kh.S.Martirosyan, A.S.Hovhannisyann, P.G.Soukiassian.** SPIE Optics & Photonics, 6327OT-1 (2006).
8. **V.M.Aroutiounian, Kh.S.Martirosyan, P.Soukiassian.** Journal of Physics D: Applied Physics, **37**, L25 (2004).
9. **V.M.Aroutiounian, Kh.S.Martirosyan, P.Soukiassian.** Journal of Physics D: Applied Physics, **39**, 1623 (2006).
10. **A.S.Hovhannisyann, Kh.S.Martirosyan, V.M.Aroutiounian, P.G.Soukiassian.** Proc. of the Sixth International Conference on Semiconductor Micro- and Nanoelectronics, Tsakhcadzor, Armenia, 2007, p.97.

ՄԻԱՇԵՐՏ ՀԱՎԱԱՆԴՐԱԴԱՐՁՆՈՂ ԾԱԾԿՈՒՅԹՆԵՐ GaAs-ի ՀԻՍԱՆ ՎՐԱ ԱՐԵԳԱՎՆԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ա.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Օպտիկական մատրիցների մեթոդով մոդելավորված և հաշվարկված են GaAs-ի հիման վրա արեգակնային էլեմենտների համար հակասանդրադարձնող շերտերի օպտիմալ պարամետրերը: Հաշվարկների արդյունքները ցույց են տալիս, որ Ta₂O₅ և ITO միաշերտ հակասանդրադարձնող ծածկույթների կիրառմամբ կարելի է էականորեն նվազեցնել անդրադարձումը GaAs-ի հիման վրա արեգակնային էլեմենտների մակերևույթից:

SINGLE-LAYER ANTIREFLECTION COATINGS FOR GaAs SOLAR CELLS

A.S. HOVHANNISYAN

Optimal parameters of antireflection coatings for GaAs solar cells are calculated. Results of calculations show that by using single-layer Ta_2O_5 and ITO antireflection coatings it is possible to reduce considerably the reflectance from the surface of GaAs solar cells.