

ТОНКИЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.М. Назаров, С.В. Ковешников, Ш.З. Курбанбаев, А.Б. Жабборов, Б.Х. Очилов
Ташкентский государственный технический университет,
ул. Университетская 2, Ташкент, Узбекистан, nazarov_58@rambler.ru

Разработана технология изготовления просветляющих покрытий малой толщины для солнечных элементов с использованием «искусственных» диэлектриков. Достигнуто уменьшение поглощения в «искусственном» диэлектрике в три раза. Используется двухслойное покрытие с общей толщиной около $\lambda/6$, аналогичное СВЧ несинхронному трансформатору сопротивлений. Толщина сильно поглощающего слоя не более $\lambda/12$.

Введение

В просветляющих покрытиях для солнечных элементов уменьшение отражения происходит вследствие интерференции лучей, отраженных от границ пленка-воздух и пленка-подложка. Для нормального падения показатель преломления просветляющей пленки n_2 должен быть равен корню квадратному из произведения значений показателей преломления n_3 и n_1 двух сред, граничащих с пленкой (подложка и покровный материал) $n_2 = (n_3 \cdot n_1)^{1/2}$. Вторым условием уничтожения отражения является определенная толщина пленки. Разность хода лучей Δ при нормальном падении света равняется удвоенной оптической толщине пленки: $\Delta = 2n_2h_2$, где h_2 — геометрическая толщина пленки. Взаимное уничтожение интенсивности отраженных лучей при нормальном падении возможно, если: $\Delta = 2n_2h_2 = \lambda/2$, отсюда $n_2h_2 = \lambda/4$. Разность хода Δ может быть равна также любому целому числу $\lambda/2$, однако, ее увеличение приведет к усилению спектральной и угловой зависимости коэффициента отражения. Учитывая неизменность n_2h_2 уничтожение отражения возможно только на одной длине волны. На рис. 1 показаны результаты расчета спектральных зависимостей коэффициента отражения поверхности раздела воздух — кремний для однослойного просветляющего покрытия оптимальной толщины при нормальном падении.

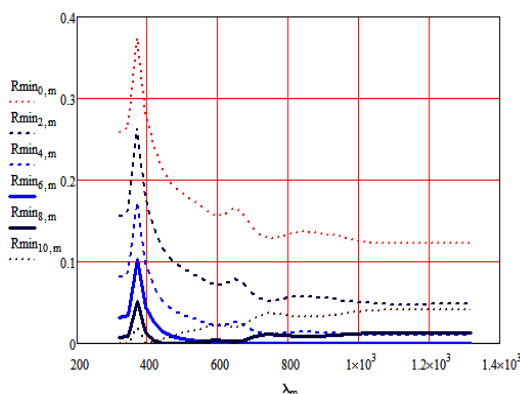


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента отражения поверхности раздела воздух — кремний для однослойного просветляющего покрытия оптимальной толщины (коэффициенты преломления просветляющего покрытия $N_2=1.3$, $N_2=1.5$, $N_2=1.7$, $N_2=1.9$, $N_2=2.1$, $N_2=2.3$)

В расчетах учитывалась реальная спектральная зависимость коэффициента преломления и

показателя поглощения кремния, что приводит к наличию локальных минимумов коэффициента отражения, не учитываемых элементарной теорией. Из графиков видно, что для этих условий оптимальный показатель преломления просветляющей пленки находится в диапазоне $n_2 = 1.9 - 2.1$. Увеличение n_2 до 2.3 ухудшает эффект просветления.

Использование покровного материала для герметизации солнечных элементов с $n_1 = 1.49$ (стекла и клеящего компаунда) приводит к необходимости использования пленок с показателем преломления n_2 выше 2.3, что резко ограничивает круг возможных материалов. Результаты расчетов для такого случая показаны на рис. 2.

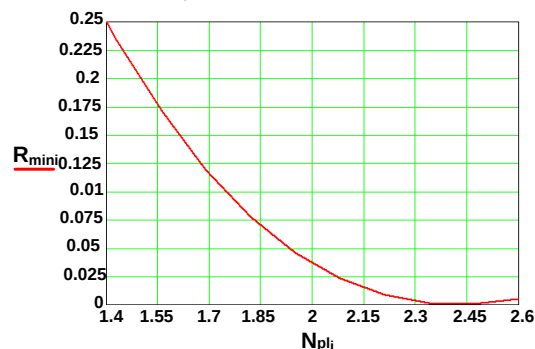


Рис. 2. Усредненная по спектру зависимость коэффициента отражения поверхности раздела клеящий компаунд ($N = 1.49$) — кремний для однослойного просветляющего покрытия оптимальной толщины в зависимости от коэффициента преломления просветляющего покрытия

Требуемый коэффициент преломления можно получить только в высококачественных пленках оксида титана, тантала, гафния, циркония, карбида кремния или алмаза. В то же время для случая широкой полосы спектральной чувствительности, характерной для солнечных элементов, использование даже оптимального материала и толщины пленки не дает необходимого результата.

Основная часть

Расширить спектральный диапазон просветления и уменьшить угловую зависимость позволяют многослойные покрытия. Например, для кремниевой подложки и покровного материала с показателем преломления $n_0=1.5$ оптимальная широкополосная просветляющая структура состоит из слоя с $n_1=2.3$, оптической толщиной $\lambda/5$ и слоя с $n_2=1.7$, оптической толщиной $\lambda/3$.

Значительного уменьшения поглощения можно добиться, используя двухслойные покрытия общей толщиной около $\lambda/6$, образующие известный из СВЧ техники несинхронный трансформатор сопротивлений [1]. В такой конструкции толщина сильно поглощающего слоя не более $\lambda/12$, и поглощение уменьшается в три раза. Такой трансформатор, приведенный на рис. 3, состоит из двух секций, сопротивления которых равны сопротивлениям (входного и выходного - волноводов). Длина всего трансформатора составляет менее $1/6$ длины волны, а его характеристика примерно такая же, как и у односекционного четвертьволнового трансформатора. Основное применение этот трансформатор находит в случаях, когда трудно изготовить линию с произвольным сопротивлением.

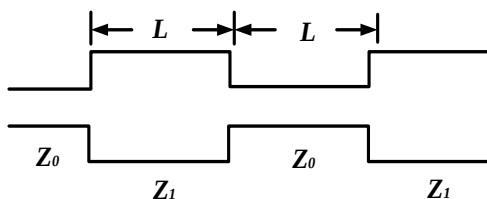


Рис. 3. Несинхронный трансформатор

Для создания технологии получения пленок с регулируемым показателем преломления нами были проанализированы возможности газоразрядных и других вакуумных методов получения прозрачных пленок широкозонных полупроводниковых материалов с применением существующего оборудования вакуумного напыления. Выделены три возможных направления:

Нанесение алмазоподобных покрытий на кремниевые структуры в вакууме с использованием источника ионов с холодным катодом и рабочих веществ типа органических растворителей. Металлические кластеры напыляются термически.

Нанесение покрытий типа оксидов и оксинитридов титана, циркония, тантала толщиной 0.05-1 мкм с металлическими нанокластерами с помощью эффективных устройств магнетронного распыления в сочетании с источниками ионов для обработки поверхности и реактивного осаждения. Схема установки показана на рис. 4. Нанесение оксидных просветляющих покрытий металлов как титан (сплав ВТ-1-00) или цирконий (сплав Э-110) в среде аргон-кислород [2]. Давление устанавливалось путем независимой регулировки натекающих газов по показаниям вакуумметра ВИТ-3. Давление кислорода составляло 15-20% от давления аргона.

Нанесение покрытий проводилось при «стартовой» степени вакуума не менее 10^{-2} Па при давлении рабочего газа $\text{Ar} + \text{O}_2$ $(2.0-3.5) \cdot 10^{-1}$ Па с

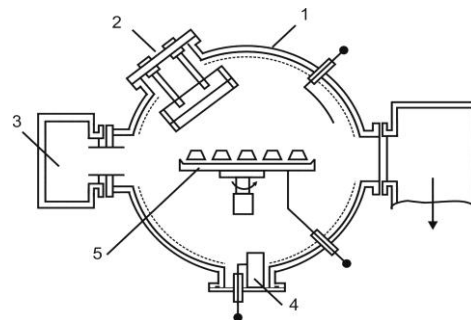


Рис. 4. Схема установки: 1 - корпус рабочей камеры, 2 - устройство магнетронного распыления, 3 - источник ионов с холодным катодом, 4 - устройство термического испарения, 5 - оснастка

предварительной обработкой поверхности образцов источником ионов или без предварительной обработки. Предварительная обработка осуществлялась в режиме воздействия на образцы потока плазмы при напряжении разряда до 4 кВ и токе разряда до 100 мА.

Распыление катодов (формирование покрытий) осуществлялось в следующих режимах: давление рабочего газа - $(2.0-3.5) \cdot 10^{-1}$ Па, напряжение на охлаждаемом катode - 420-5200 В, ток разряда при распылении - 2.5-3.5 А. Расстояние катод - вращающаяся оснастка с образцами - 100-150 мм, температура образцов при обработке - не более 150 °С.

Скорость осаждения покрытий Ti, Zr при распылении чистым аргонem составляла 3-4 нм/с. При осаждении оксидов скорость осаждения падала до значений порядка 0.5-0.7 нм/с. Неравномерность нанесения покрытий по площади образца 100x100 мм составляла примерно 5 %.

В зависимости от режима напыления и обработки состав пленок колебался от чисто металлической до оксида.

Заключение

Эллипсометрическим методом измерялись показатели преломления и толщина пленок на кремниевой и стеклянной подложках. Подобраны режимы напыления слоев с показателями преломления 1.49 и 3.9. Получены двухслойные покрытия с коэффициентом отражения не более 2% на длине волны 0.6328 мкм.

Список литературы

1. Маттей Д.П., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Перевод с англ. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнера. М.: Связь, 1971.
2. Radjabov T.D., Leiderman R.Yu., Djamaletdinova I.E. To models of the ion-assisted deposition of multicomponent coatings and related processes, 16th International Conference on Ion Implantation Technology, Marseille, France, June 11-16, 2006.

THIN ANTIREFLECTION COATINGS FOR SOLAR CELLS

A.M. Nazarov, S.V.Koveshnikov, Sh.Z.Kurbanbaev, A.B.Zhabbarov, B.Kh.Ochilov
Tashkent State Technical University, 2 University str., Tashkent, Uzbekistan, nazarov_58@rambler.ru

To create a technology for obtaining films with adjustable refractive index of the possibilities of vacuum methods for obtain-

ing transparent films of wide bandgap semiconductor materials. Highlighted three possible areas: Application of diamond coatings on silicon structures using ion source with a cold cathode and working substances such as organic solvents. The coating type oxide and oxynitrides titanium, zirconium, tantalum with metal nanoclusters using magnetron sputtering in combination with ion sources for surface treatment and reactive deposition. The application of oxide antireflective coating of metals such as titanium or zirconium, in an environment of argon-oxygen.

The developed technology for producing antireflective coatings of small thickness for solar cells with the use of «artificial dielectrics». Reduced absorption in «artificial dielectric» three times. Ellipsometric method of measuring refractive index and thickness of films on silicon and glass substrates. Selected modes of deposition of layers with refractive indices of 1.49 and 3.9. The obtained two-layer coating with a reflectance less than 2% at the wavelength of 0.6328 microns.

ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ РОСТА ВОДОРАСТВОРИМЫХ КРИСТАЛЛОВ α -LiIO₃. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА РОСТ КРИСТАЛЛОВ α -LiIO₃

А.Н. Севрюкова, В.И. Рубаха, А.П. Прохоров

Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

anna_13.08@mail.ru, prokhorov.artem@ipfran.ru

В ходе исследований разработана методика по оценке качества растворов на основе измерения «мертвой зоны» ($\Delta T_{м.з.}$) растворов α -LiIO₃. Величина «мертвой зоны» растворов является параметром, характеризующим содержание примесей в растворе, отравляющих грань призмы кристалла α -LiIO₃. По аналогии с измерением «мертвой зоны» для роста кристаллов группы KDP [1] для кристаллов α -LiIO₃ величина $\Delta T_{м.з.}$ также определяет пригодность растворов для роста [2]. Особый интерес представляют сравнительные исследования влияния ростовых параметров и примесей на кинетику роста граней и движения ступеней на двух разных кристаллах – KDP и α -LiIO₃. В работе представлены данные по действию некоторых примесей (Fe(IO₃)₂, AgIO₃, CsOH, метилметакрилат) на рост грани (100) кристалла α -LiIO₃.

Введение

Кристаллы иодатной группы - α -HIO₃, KIO₃, α -LiIO₃ известны как нелинейные оптические материалы. Наиболее перспективным среди них является кристалл α -LiIO₃, имеющий большую нелинейную восприимчивость, сравнимую с восприимчивостью ниобата лития (LiNbO₃). Известно, что выращивание крупногабаритных кристаллов иодата лития, размерами 120×120×150 мм³ с хорошими оптическими свойствами из раствора – процесс менее сложный, чем выращивание кристаллов ниобата лития из расплава.

Совершенство кристаллов, а также их выращивание тесно связаны с качеством сырья, на базе которого идет как экспериментальная работа, так и рост крупногабаритных кристаллов (120×120×150 мм³). Это объясняется тем, что наличие в сырье, а, соответственно, и в приготовляемом растворе, микроконцентраций определенных примесей влияет на кинетику роста граней призмы и бипирамиды кристаллов. Так, некоторые примеси приводят к заметному снижению скорости роста граней призмы и межсекториальным напряжениям, что неприемлемо для конкретных способов выращивания [1]. Величина $\Delta T_{м.з.}$ показывает пригодность растворов для выращивания монокристаллов α -LiIO₃, так как она является интегральным параметром, характеризующим содержание примесей в растворе, отравляющих грань призмы (100). Эта задача стала особенно актуальна в связи с работами по скоростному росту кристаллов α -LiIO₃ ведущимися в ИПФРАН [2].

Результаты и их обсуждение

В процессе изучения растворимости, кинетики

и морфологии роста кристаллов α -LiIO₃ в термостатированной кювете [3] был обнаружен эффект, названный «генерацией одиночных ступеней» - (ГОС) и представлен в изобретении [4]. Визуально наблюдаемая одиночная ступень является хорошим экспериментальным объектом для измерений кинетических зависимостей реальных макроступеней с индивидуальным диффузионным полем при росте крупных кристаллов и для проверки теоретических расчетов. Представляя интерес сам по себе, этот эффект позволил получить инструмент определения «мертвой зоны» для растворов α -LiIO₃ с достаточной точностью. Ранее трудности измерения $\Delta T_{м.з.}$ для растворов α -LiIO₃ были связаны с очень слабой температурной зависимостью растворимости от температуры и сложной морфологией регенерации и травления кристаллов α -LiIO₃. Именно сложная морфология растворения-регенерации грани (100) кристалла α -LiIO₃ пока не позволила применить лазерно-интерференционную методику с достаточной надежностью и точностью. Предварительно, по наблюдаемым признакам роста и растворения микрокристалла определяется температура насыщения раствора T_0 . Для этого измеряют температуру T_1 , при которой на микрокристалле появляются признаки растворения (ямки травления, скругления вершинки и ребер и т.д.), затем плавно изменяют температуру раствора до момента исчезновения признаков растворения и регистрируют температуру T_2 , соответствующую этому процессу. За температуру насыщения принимают среднее значение температуры из интервала T_1 - T_2 . Затем в кювете устанавливают пересыщение ΔT раствора ($\Delta T = T - T_0$, где T -рабочая температура раствора), которое