

УДК 621.7.043, 621.317.727.1

Оптические характеристики тонкопленочных покрытий, полученных с помощью струйной плазмы высокочастотного индукционного разряда пониженного давления

Р. Т. Галяутдинов, Н. Ф. Кашапов

Казанский государственный технологический университет, г. Казань, Россия

Исследованы тонкопленочные покрытия оксидов кремния, алюминия и титана с регулируемым поглощением, полученные с помощью струйной неравновесной плазмы пониженного давления. Предложен метод конструирования интерференционных систем, основанный на варьировании комплексной части высокочастотной диэлектрической проницаемости, позволяющий реализовывать системы с требуемыми спектральными характеристиками.

Достижения в области вакуумной техники и тонкопленочных технологий позволяют создавать сложные и эффективные интерференционные системы. Исследование материалов, пригодных для получения тонкопленочных оптических покрытий, имеет большое значение для промышленного производства надежных оптических приборов. Количество таких материалов весьма ограничено. Существующий набор пленкообразующих материалов не всегда удовлетворяет разработчиков интерференционных систем.

поскольку в результате решения “обратных” задач синтеза интерференционных конструкций часто требуются слои с такими оптическими постоянными, которые не входят в существующий набор пленкообразующих материалов. Потребность в стабильных пленках, работающих в жестких условиях эксплуатации, стимулирует развитие технологии изготовления пленок с заданными оптическими постоянными (заданной диэлектрической проницаемостью).

Тонкопленочные покрытия (ТПП), полученные с помощью высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда в условиях динамического вакуума имеют ряд новых свойств по сравнению с покрытиями, изготовленными традиционными методами. Метод получения ТПП с помощью струйного ВЧИ-плазмотрона при пониженном давлении позволяет совмещать процесс испарения пленкообразующего материала с ионизацией и возбуждением атомов, а также формировать направленный поток частиц и транспортировать их на поверхность подложки. Наличие протяженного транспортного участка дает возможность управлять физико-химическими процессами и составом осаждаемого вещества. Поэтому плазмохимические технологии, позволяющие управлять оптическими постоянными наносимых покрытий, являются перспективными в процессах изготовления тонкопленочных оптических покрытий.

Цель работы — получение с помощью струйного ВЧИ-разряда пониженного давления оптических покрытий с заданным поглощением из оксидов кремния, алюминия и титана. Тонкопленочные оптические покрытия из этих материалов, наряду с высокими эксплуатационными характеристиками, имеют наименьший, промежуточный и наибольший показатели преломления, соответственно, среди группы оксидов в видимой области спектра, что особенно важно для решения конкретных прикладных задач.

Спектральные исследования струйного ВЧИ-разряда пониженного давления в процессах напыления оптических покрытий

Спектральные исследования струйного ВЧИ-разряда проводились на экспериментальной плазменной установке (рис. 1). В состав установки входят: ВЧ-генератор, ВЧИ-плазмотрон, системы откачки и газоснабжения, вакуумная камера, в которой находится карусельное устройство с подложками, диагностическое оборудование. Плазмотрон крепится в отверстии базовой плиты. Рабочий газ или смесь подается в плазмотрон из системы газоснабжения. Нагрев и ионизация рабочего газа в нем осуществляются высокочастотным электромагнитным полем индуктора, подключенного к ламповому ВЧ-генератору. Обработываемая деталь крепится в карусельном устройстве так, что плазменная струя, выходящая из плазмотрона в вакуумную камеру, омывает ее поверхность. Система откачки удаляет отработанные газы из вакуумной камеры и обеспечивает необходимое в ней давление.

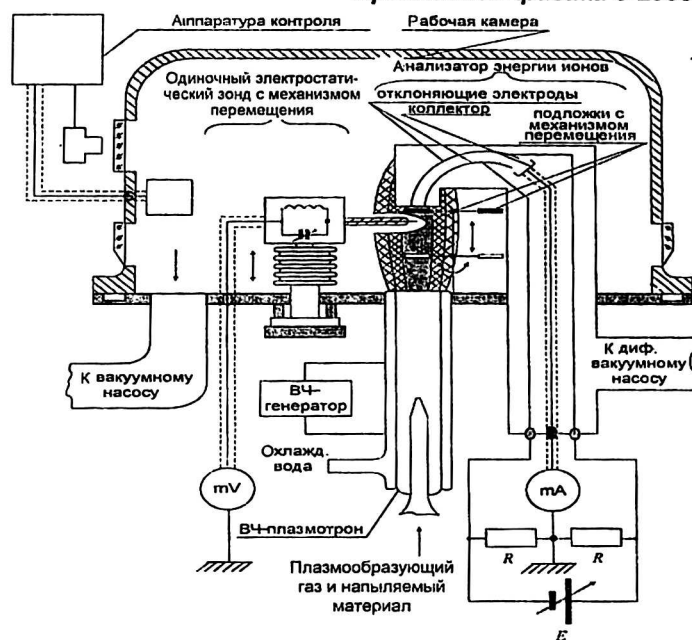


Рис. 1. Схема экспериментальной ВЧ-плазменной установки

Для спектральных исследований состава плазмы низкого давления использовался спектрограф СТЭ-1 с кварцевой оптикой (рабочий диапазон длин волн 220—450 нм). Выбор спектрального диапазона обусловлен пропускной способностью материала разрядной камеры. Для сопоставления спектров в камере и в вакуумном объеме окна в последнем выполнены также из кварца.

Регистрация спектров — фотографическая на фотопластинках типа «Панхром» (ГОСТ 10691—63). Определение длины волны и полос производилось с помощью атласа спектральных линий [1] на спектропроекторе ПС-18. Для съемки спектров использован источник ДГ-1 с разрядником ПС-364-16. Необходимые для отождествления данные взяты из таблиц и атласа атомных и молекулярных спектров [2, 3].

Интенсивность спектральных линий определялась методом монохромного или гетерохромного фотометрирования [4]. В качестве эталонного источника применяли лампу СИ-8-200. Для построения характеристической кривой использовался девятиступенчатый ослабитель. Плотность почернения измеряли регистрирующим микрофотометром ИФО-451.

В результате спектральных исследований плазмы ВЧИ-разряда в процессах напыления установлено, что качественный состав спектров излучения плазмы существенно изменяется по длине потока и зависит от давления газа в камере и подводимой к разряду мощности. В спектре плазмы присутствует большое количество линий нейтрального и ионизированного аргона, интенсивность и число которых определяются расходом газа, мощностью в разряде и расстоянием от

индуктора. Съемка спектров плазмы производилась над срезом индуктора ($l = 0,015$ м) в области, где отсутствует конденсация пара на стенках камеры и в вакуумном объеме ($l = 0,2$ м).

Интенсивность линий и полос растет по всей длине струи с увеличением мощности в разряде и давления, что характерно для газовых разрядов в постоянном и переменном электрическом поле при любых давлениях (рис. 2, 3). Изменение интенсивности излучения компонентов плазмы определяется концентрацией пара в потоке, расходом аргона и мощностью в разряде.

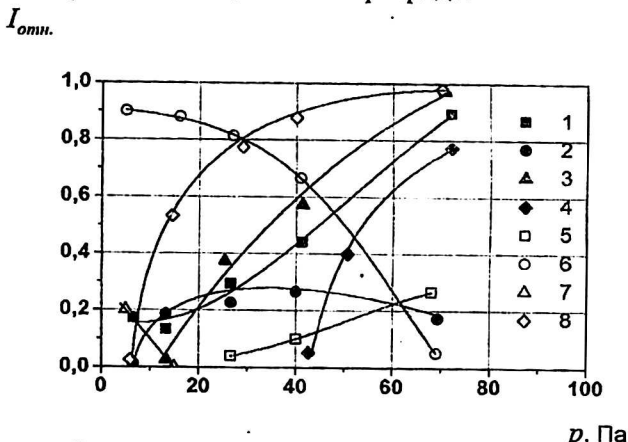


Рис. 2. Зависимость изменения относительной интенсивности излучения линий отдельных компонентов плазмы при испарении SiO_2 от давления p (мощность, выделяемая в высокочастотном разряде $P_p = 2,5$ кВт. Область разряда, располагающаяся на расстоянии $l = 0,2$ м от распыляемого материала: 1 — Ar-1 — 420,067 нм; 2 — O_2 — 306,28 нм; 3 — Si-1 — 390,62 нм; 4 — SiO_2 — 383,29 нм; SiO — 256,38 нм. Область разряда, располагающаяся на расстоянии $l = 0,02$ м от распыляемого материала: 6 — Ar-1 — 420,067 нм; 7 — O_2 — 306,28 нм; 8 — Si-1 — 390,62 нм

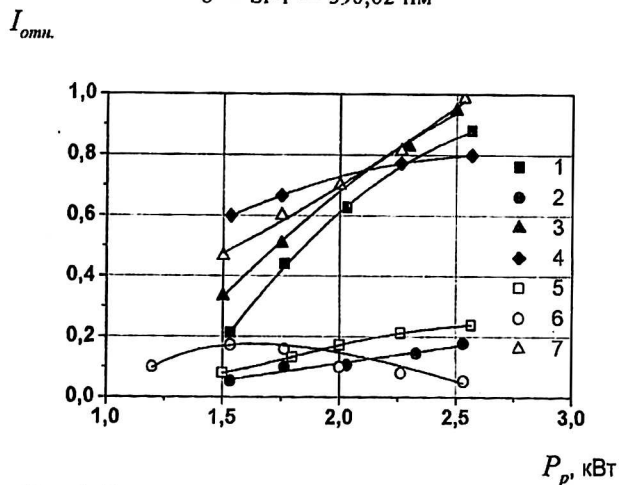


Рис. 3. Зависимость изменения относительной интенсивности излучения линий отдельных компонентов плазмы при испарении SiO_2 от мощности, выделяемой в высокочастотном разряде ($P_p = 70$ Па). Область разряда, располагающаяся на расстоянии $l = 0,2$ м от распыляемого материала: 1 — Ar-1 — 420,067 нм; 2 — O_2 — 306,28 нм; 3 — Si-1 — 390,62 нм; 4 — SiO_2 — 383,29 нм; SiO — 256,38 нм. Область разряда, располагающаяся на расстоянии $l = 0,02$ м от распыляемого материала: 6 — Ar-1 — 420,067 нм; 7 — Si-1 — 390,62 нм

При низких давлениях (< 10 Па), независимо от мощности в разряде, спектральный состав плазмообразующего газа не изменяется при введении испаряемых материалов. Сохраняется и зависимость интенсивного излучения I отдельных линий и молекулярных полос от давления аргона и мощности разряда. Изменение абсолютного значения величины I также мало, поэтому можно полагать, что параметры плазмы (концентрация и температура электронов) в этих режимах изменились незначительно по сравнению с параметрами чистого аргона.

Скорость испарения как металлов, так и оксидов при таких давлениях очень низкая. В отсутствие конвективного потока преобладает диффузионный механизм распространения паров. В результате практически весь испарившийся материал оседает на стенках разрядной камеры в области индуктора. Чувствительность спектрографа не позволяет установить присутствие пара в объеме у поверхности подложек.

При давлениях > 10 Па отмечена диссоциация оксидов SiO_2 , Al_2O_3 и TiO_2 непосредственно над поверхностью испарения. Стенка разрядной камеры покрывается в этих режимах тонким проводящим слоем. С возрастанием давления аргона в камере скорость испарения материалов резко увеличивается, что сопровождается ростом интенсивности излучения компонентов пара и одновременным ослаблением излучения атомов аргона. На спектрах исчезают полосы молекул азота и кислорода, в атомарном же состоянии эти элементы не зафиксированы ни при каких режимах испарения.

По мере удаления от испаряемого материала доля оксидной фазы в потоке увеличивается, и на расстояниях $l \sim 0,2$ м интенсивность излучения молекул SiO , AlO , TiO_2 , O_2 становится соизмеримой с интенсивностью спектральных линий атомов металла. С увеличением мощности в разряде и давления плазмообразующего газа интенсивность линии и полос пара увеличивается.

Таким образом, анализ качественного состава спектров при напылении различных материалов показывает:

- увеличение скорости испарения материалов при постоянном давлении аргона p_{Ar} приводит к увеличению интенсивности излучения компонентов пара с одновременным ослаблением интенсивности излучения атомов аргона по всей длине потока;
- с увеличением расстояния от поверхности испарения происходит относительное увеличение интенсивности молекулярных полос оксидов по сравнению с интенсивностью атомарных линий.

Результаты исследования показали, что состав паровой фазы при напылении SiO_2 , Al_2O_3 и TiO_2

различен в зависимости от длины транспортного участка. Состав получаемых оксидных пленок регулируется в зависимости от расстояния между испаряемым материалом и образцом. На расстояниях $l < 0,05-0,07$ м в составе пленки присутствовали в основном чистые Si, Al и Ti, а также низшие оксиды. По мере удаления от области индуктора доля окисленной фазы увеличивалась, и для расстояния $l = 0,18-0,25$ м состав пленки соответствовал составу испаряемого материала. Таким образом, плазмохимические реакции являются определяющими на транспортном участке.

Связь между составом паровой фазы и составом конденсата, установленная экспериментально, дает возможность управлять величиной поглощения наносимых покрытий и, таким образом, регулировать величину диэлектрической проницаемости пленок (комплексного показателя преломления). Такой подход упрощает решение проблемы синтеза интерференционной системы, когда задаются спектральные характеристики системы и требуется найти состав пленки и толщины слоев покрытия.

Оптические характеристики тонкопленочных покрытий

Формирование пленок, полученных с помощью ВЧИ-плазмотрона в условиях динамического вакуума, происходит при следующих характерных условиях [5]:

высокая концентрация инертного газа у поверхности подложки;

наличие вязкостного потока, осуществляющего доставку пара к подложке и отвод неконденсирующихся продуктов;

в процессе роста поверхность пленки подвергается непрерывной бомбардировке ионами с энергией 1–30 эВ;

температура поверхности подложки в процессе конденсации составляет 470–650 К;

высокие температуры испарения материалов и энергии заряженных частиц в потоке способствуют диссоциации сложных молекул на транспортном участке, причем диссоциация преобладает над синтезом.

В связи с этим состав и строение пленок SiO_x и TiO_x ($0 < x < 2$), полученных с помощью струйного ВЧИ-плазмотрона низкого давления, описываются моделью макроскопической смеси [6]. Тонкопленочные покрытия SiO_x и TiO_x , полученные напылением с помощью неравновесной струйной плазмы пониженного давления, являются перспективными материалами для синтеза интерференционных систем. Применение струйного газового ВЧ-разряда изменяет

степень окисления, таким образом управляя поглощением этих покрытий.

На основании модели макроскопической смеси рассчитаем оптические характеристики конденсата в зависимости от состава. Оптические свойства пленок характеризуются комплексным показателем преломления, зависящим от длины волны λ , $\tilde{n}(\lambda) = n(\lambda) - ik(\lambda)$, где $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$ — действительная (показатель преломления) и мнимая (показатель поглощения) части комплексного показателя преломления, соответственно. Комплексный показатель связан с диэлектрической проницаемостью ϵ следующим соотношением:

$$\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2 = \tilde{n}^2,$$

где ϵ_1 и ϵ_2 — действительная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости, соответственно.

Степень окисления синтезируемых пленок описывается фактором заполнения $q = 4\pi Na^3/3$ — частью объема, который занимают поглощающие кластеры, где N — число хаотически распределенных в единице объема однородных поглощающих сфер радиусом a . Если поглощающие частицы и диэлектрическая проницаемость ϵ находятся в среде и диэлектрической проницаемостью ϵ_d , то имеет место соотношение Гарнетта [7]:

$$\frac{(\epsilon_c - \epsilon_d)}{(\epsilon_c + 2\epsilon_d)} = q \frac{(\epsilon - \epsilon_d)}{(\epsilon + 2\epsilon_d)}. \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует прежде всего то, что диэлектрическая постоянная смеси ϵ_c зависит от фактора заполнения q , диэлектрической проницаемости металла ϵ и диэлектрика ϵ_d . Это дает возможность получать требуемую величину комплексного показателя преломления пленок оксидов в зависимости от степени окисления.

Спектральные характеристики оптических покрытий на подложках из оптического стекла К-8, полученные струйным ВЧИ-плазмотроном пониженного давления, представлены на рис. 4. Пленки SiO_2 , Al_2O_3 и TiO_2 обладают низким поглощением, поскольку в спектрах пропускания наблюдаются интерференционные максимумы и минимумы. Наличие поглощения в пленке TiO_x ($0 < x < 2$) приводит к исчезновению экстремумов и уменьшению пропускания. На основании спектральных кривых были вычислены показатели преломления n и геометрические толщины d (SiO_2 — $n = 1,45$; $d = 0,47$ мкм; Al_2O_3 — $n = 1,70$; $d = 0,5$ мкм; TiO_2 — $n = 2,4$; $d = 0,27$ мкм; TiO_x — $\tilde{n} = 2,5 - i0,17$ на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм; $d = 0,04$ мкм). Оптические постоянные слоев SiO_x и TiO_x в зависимости от степени

окисления вычислялись в рамках модели Гарнетта. Степень окисления синтезируемых пленок описывается фактором заполнения q .

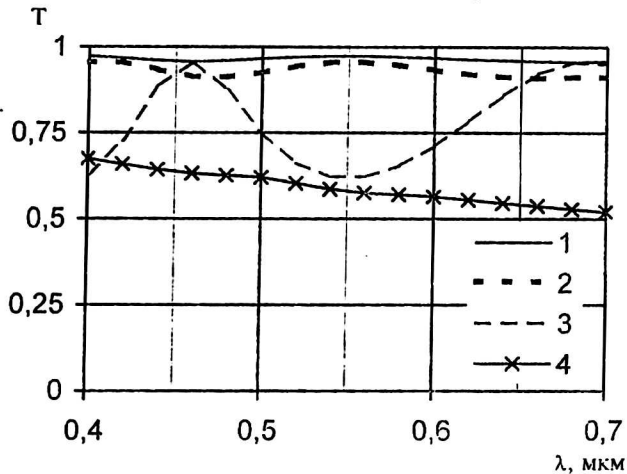


Рис. 4. Спектральные коэффициенты пропускания оптических покрытий: 1 — SiO₂; 2 — Al₂O₃; 3 — TiO₂; 4 — TiO_x

Численные решения уравнения Гарнетта (1) относительно q для показателей преломления и поглощения пленок SiO_x и TiO_x представлены на рис. 5, а, б.

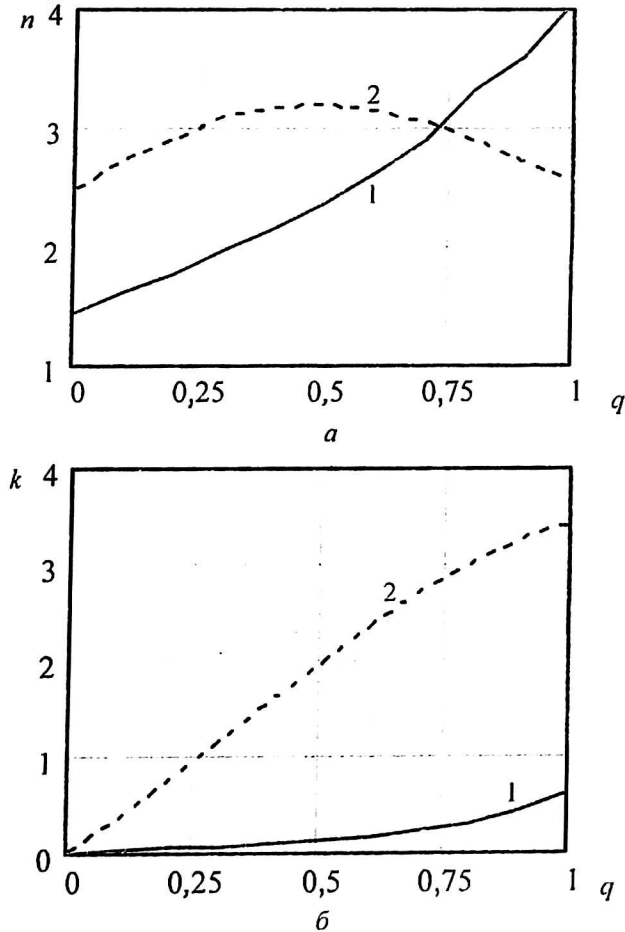


Рис. 5. Зависимость показателей от фактора заполнения q (степени окисления): а — преломления пленок; б — поглощения пленок: 1 — SiO_x; 2 — TiO_x, где $(0 \leq x \leq 2)$

Изменение величины q приводит к изменению комплексного показателя преломления \tilde{n} . Чтобы получить требуемое значение \tilde{n} , необходимо изготовить пленку с заданной степенью окисления (или заданным фактором заполнения q). Наличие протяженного транспортного пути у струйного ВЧИ-плазмотрона пониженного давления позволяет точно контролировать величину поглощения покрытия. Таким образом, струйная плазменная технология напыления пленок в динамическом вакууме дает возможность изготавливать покрытия с требуемыми оптическими характеристиками для реализации многослойных интерференционных систем.

Способ конструирования интерференционных систем

Многослойное оптическое интерференционное покрытие представляет собой систему из некоторого числа плоскопараллельных тонких слоев различных веществ. Эта система ограничена с двух сторон полубесконечными средами. Ограничивающие среды, а также вещества слоев полагаются однородными и изотропными в каждой плоскости, перпендикулярной к фиксированному направлению, например оси z в декартовой системе координат.

Общепринятой моделью тонкой пленки является плоскопараллельный бесконечно протяженный слой, толщина которого сравнима с длиной волны света. Основными характеристиками слоя являются: комплексный показатель преломления $\tilde{n}(z)$ и его толщина d .

Согласно Борну и Вольфу [8], комплексные амплитудные коэффициенты отражения r и пропускания второго рода t [9], определяющие связь между амплитудами падающей, отраженной и прошедшей через мультислой плоской электромагнитной волны в направлении z , вычисляются по следующим формулам:

$$r = \frac{n_0 M_{11} - n_s M_{22} + (n_0 n_s M_{12} - M_{21})}{n_0 M_{11} + n_s M_{22} + (n_0 n_s M_{12} + M_{21})}; \quad (2)$$

$$t = \frac{2\sqrt{n_0 n_s}}{n_0 M_{11} + n_s M_{22} + (n_0 n_s M_{12} + M_{21})}, \quad (3)$$

где n_0, n_s — показатели преломления ограничивающих сред (исходной среды и подложки);

M_{ij} — элементы матрицы интерференции [8]:

$$\begin{bmatrix} M_{11} & iM_{12} \\ iM_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = \prod_{j=1}^N \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_j d_j\right) & \frac{i}{\tilde{n}_j} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_j d_j\right) \\ i\tilde{n}_j \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_j d_j\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_j d_j\right) \end{bmatrix},$$

N — число пленок;

\tilde{n} — комплексный показатель преломления j -го слоя;

d_j — его геометрическая толщина.

Энергетические коэффициенты отражения R и пропускания T многослойной системы определяются из выражений (2) и (3). Так, если ограничивающие среды прозрачны и углы падения и преломления вещественны, то имеют место соотношения

$$R = r r^*,$$

$$T = t t^*,$$

где $*$ — означает комплексное сопряжение.

Приведенные выше формулы являются основными для расчета спектральных характеристик многослойных интерференционных систем. В случае задания состава пленки (т. е. числа слоев, их толщин и показателей преломления) проблема анализа пленок или расчета спектральных характеристик решается относительно просто. Более сложной является обратная проблема или проблема синтеза, когда задаются спектральные характеристики пленки и требуется определить такой ее состав, при котором она имела бы эти заданные характеристики. Не всегда существует точное решение. В случае приближенного решения возникает проблема нахождения выбора оптимального решения. Решение обычно ищется для конкретной частной задачи.

Многослойные оптические покрытия широко используются для реализации разнообразных спектральных характеристик. Одна из важных задач в производстве оптических систем — синтез широкополосных фильтров. В тех случаях, когда требуемые спектральные характеристики покрытия должны иметь широкую область низкого отражения при заданном пропускании, использование поглощающих материалов позволяет значительно уменьшить число слоев в синтезируемых системах по сравнению с чисто диэлектрическими системами. Это существенно упрощает техническую реализацию таких систем. Возможность управления поглощением пленок позволяет довести количество требуемых покры-

тий до двух для некоторых конкретных систем. Это подтверждается теоремой Эрпина (при заданных оптических постоянных обрамляющих сред любая комбинация пленок может быть для данного угла падения и фиксированной длины волны имитирована двухслойным покрытием с соответствующими оптическими постоянными и толщинами) [10].

На основе выбранной физической и построенной математической моделей комплексного показателя преломления синтезируемых покрытий разработан способ синтеза неотражающих покрытий, основанный на варьировании величины показателя поглощения пленок с помощью струйного ВЧИ-плазматрона в динамическом вакууме.

Задача подавления отраженного электромагнитного сигнала от высокоотражающих поверхностей в заданном спектральном диапазоне является актуальной, в том числе в технологиях, связанных с обнаружением объектов методами электромагнитного зондирования. Известно, что осаждение диэлектрического покрытия поверх непрозрачного металлического слоя уменьшает отражение. Для достижения нулевого отражения необходимо, чтобы показатель преломления диэлектрика удовлетворял следующему соотношению:

$$n_1 = \sqrt{n_2 + \frac{k_2^2}{|n_2 - 1|}}.$$

Следовательно, чтобы получить нулевое отражение на длине волны $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-6}$ м для алюминиевого зеркала (комплексный показатель преломления которого равен $0,6 - i 5,01$), необходим диэлектрик с показателем преломления 7,95. Это нереализуемо из-за отсутствия оптических материалов с таким высоким показателем преломления в видимой области спектра.

Наличие протяженного транспортного участка струйного ВЧИ-плазматрона пониженного давления дает возможность при получении тонкопленочных покрытий управлять физико-химическими процессами и составом осаждаемого вещества. Это, в свою очередь, обеспечивает контроль параметров процесса изготовления покрытия в целях получения требуемого комплексного показателя преломления. Воспроизводимость требуемой величины показателя поглощения существенно упрощает синтез интерфе-

ренционных покрытий с заданными спектральными характеристиками. Информация о структуре поглощающего слоя в зависимости от условий изготовления покрытий позволяет предсказывать оптические характеристики слоя и выбирать необходимые параметры процесса изготовления. Синтез неотражающих интерференционных конструкций демонстрирует преимущества струйного ВЧИ-плазмотрона пониженного давления в процессах нанесения оптических покрытий.

Методом варьирования мнимой частью комплексного показателя преломления одного верхнего слоя значительно упрощается задача подавления отражения. Кроме того, решение достигается при нанесении одного слоя с заданными оптическими характеристиками.

Для оценки близости спектральных характеристик получаемого покрытия к требуемым характеристикам был введен оценочный функционал

$$F = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [R_c(\lambda) - R(\lambda)]^2 d\lambda, \quad (4)$$

где $[\lambda_1, \lambda_2]$ — диапазон длин волн, в котором проводился синтез;

$R_c(\lambda)$ — вычисленный энергетический коэффициент отражения синтезируемого покрытия. В данном случае $\lambda_1 = 0,4$ мкм, $\lambda_2 = 0,7$ мкм, $R(\lambda) = 0$.

Задача синтеза рассматривалась в вариационной постановке и свелась к минимизации функционала по толщине и значению комплексного показателя преломления \tilde{n}_2 поглощающего верхнего слоя. В качестве начального приближения было найдено решение $R(\tilde{n}_2, d_2) = 0$ в одной центральной спектральной точке $\lambda = 0,55$ мкм и определена требуемая толщина поглощающего покрытия d_2 , которая при полученном комплексном показателе преломления поглощающего слоя \tilde{n}_2 удовлетворяла заданному нулевому коэффициенту отражения в этой точке. При этом состав требуемого поглощающего покрытия учитывался из соотношения (1) через фактор заполнения q . С учетом дисперсионных свойств покрытий решение находилось минимизацией оценочного функционала (4). Однослойное покрытие TiO_x с комплексным показателем преломления $2,6 - i0,544$ и толщиной $d_2 = 0,04$ уменьшило отражение от высокоотражающей поверхности алюминия с 90 % до величины ~1,5 % во всей видимой области спектра (оценочный функционал равен $F \approx 10^{-5}$).

Предложенный способ изготовления оптических покрытий с помощью ВЧИ-плазмотрона в условиях динамического вакуума [11] позволяет реализовать требуемые спектральные характеристики на основе варьирования комплексной части высокочастотной диэлектрической проницаемости.

Приведенный метод получения тонкослойных оптических покрытий позволил уменьшить количество пленкообразующих материалов и сократить число слоев до одного при подавлении отражения от алюминиевой высокоотражающей поверхности до интегральной величины 1,5 % в видимой области спектра. Синтез неотражающих нейтральных оптических фильтров демонстрирует преимущества струйного ВЧИ-плазмотрона пониженного давления.

Заключение

Исследованы спектральные характеристики струйной плазмы ВЧИ-разряда пониженного давления в процессах распыления оксидов кремния, алюминия, титана. В результате анализа состава паровой фазы на транспортном участке струйного ВЧИ-плазмотрона установлена возможность управления составом осаждаемых пленок. Это в свою очередь дало возможность контролировать физико-химические параметры процесса изготовления покрытия с требуемым комплексным показателем преломления. Информация о составе поглощающего слоя в зависимости от условий изготовления дает возможность предсказывать оптические характеристики покрытия и выбирать необходимые параметры процесса изготовления.

Разработан и с помощью струйного ВЧИ-плазмотрона пониженного давления реализован способ конструирования интерференционных систем, основанный на варьировании комплексного показателя преломления синтезируемых оксидных пленок. Синтезировано однослойное неотражающее покрытие из оксида титана и решена задача подавления отражения от высокоотражающих алюминиевых поверхностей.

Литература

1. Атлас спектральных линий для дифракционного спектрографа. — А. А.: Наука, 1967.
2. Пирс Ф., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров. — М.: ИЛ, 1949.
3. Касабов Г. А., Елисеев В. В. Спектроскопические таблицы для низкотемпературной плазмы: Справочник. — М.: Атомиздат, 1973.

4. Нагибина И. М., Прокофьев В. К. Спектральные приборы и техника спектроскопии. — М. — Л.: Машгиз, 1963.
5. Абдуллин И. Ш., Галютдинов Р. Т., Кашапов Н. Ф. // Вестник МАИ. 2001. Т. 8. № 1. С. 17.
6. Гриценко В. А. Структура и электронная структура аморфных диэлектриков в кремниевых МДП-структурах. — Новосибирск: ВО "Наука", 1993.
7. Мейксин З. Г. Несплошные и керментные пленки // В кн.: Физика тонких пленок. — М.: Мир, 1978. Т. 8. С. 106—179.

8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973.
9. Кард П. Г. Анализ и синтез многослойных интерференционных пленок. — Таллин: Валгус, 1971.
10. Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. — М.: ГИФМЛ, 1958.
11. Пат. 2186414. Способ получения неотражающего нейтрального оптического фильтра / Абдуллин И. Ш., Галютдинов Р. Т., Кашапов Н. Ф., 2002.

The optical characteristics of the thin-film coatings, received with the help of the jet plasma high-frequency discharge of lowered pressure

R. T. Galiaoutdinov, N. F. Kashapov
The Kazan state technological university, Kazan, Russia

The thin-film coatings of oxides silicon, aluminium and titanium with the adjustable absorption received with the help of jet nonequilibrium plasma of lowered pressure are investigated. The method of designing of interference's systems based on a variation of a complex part of dielectric constant, allowing is offered to realise systems with the required spectral characteristics.