

Ориентированное оргстекло марки ВОС-2АО предназначено для изготовления деталей авиационного остекления, а также остекления наземного, водного транспорта, средств индивидуальной защиты и оборудования в атомной, металлургической и химической промышленности.

Авторы статьи выражают благодарность принимавшим участие в работе сотрудникам ФГУП «ВИАМ» М.К. Айзатулиной, Ю.А. Фролкову, С.С. Тригубу, Ю.А. Хохлову и сотрудникам ООО «Рошибус» В.Х. Розенблюму, ФГУП «НИИ полимеров» Ю.П. Горелову.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов В.А., Тригуб Т.С., Мекалина И.В., Айзатулина М.К. Оценка эксплуатационных характеристик новых теплостойких органических стекол ВОС-1 и ВОС-2 //Авиационные материалы и технологии. 2010. №1. С. 39–42.
2. Гудимов М.М. Трещины серебра на органическом стекле. М.: ЦИПКК АП. 1997. С. 97–102, 203–215.
3. Гудимов М.М., Перов Б.В. Органическое стекло. М.: Химия. 1981. С. 63–95.

УДК 629.7.023.222

В.А. Богатов, С.В. Кондрашов, Ю.А. Хохлов

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ ОКСИНИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Рассмотрен вопрос получения градиентного оптического покрытия оксинитрида алюминия с переменным по толщине показателем преломления методом реактивного магнетронного распыления. Метод позволяет управлять величиной показателя преломления от 1,65 до 2,1 и законом его изменения по толщине покрытия путем регулирования относительного содержания азота и кислорода в процессе реактивного магнетронного распыления алюминиевой мишени.

Приведены результаты измерения спектрального коэффициента отражения градиентного покрытия оксинитрида алюминия на силикатном стекле, которые подтвердили возможность получения покрытия с переменным по толщине показателем преломления.

Ключевые слова: *градиентное оптическое покрытие, переменный показатель преломления, реактивное магнетронное распыление.*

В процессах проектирования и изготовления оптических деталей высокого качества большой интерес представляют градиентные оптические покрытия с переменным по толщине показателем преломления. Такая технология позволяет создавать бесцветные (ахроматические) просветляющие и антиотражающие покрытия, а также значительно расширить спектральный диапазон просветления оптических деталей в инфракрасной области спектра. Применение градиентных оптических покрытий является перспективным для повышения энергетической эффективности светодиодов и элементов солнечных батарей, для создания узкополосных фильтров и высококачественной лазерной оптики.

Одним из широко применяемых методов получения оптических градиентных покрытий является метод совместного вакуумного испарения двух диэлектрических материалов с разными показателями преломления ($n_1 > n_2$) и изменяющейся во времени относительной скоростью испарения этих материалов.

В данной работе рассмотрен метод реактивного магнетронного нанесения градиентного диэлектрического покрытия на основе оксинитридов алюминия с изменяющимся по толщине показателем преломления, величина которого может регулироваться относительным содержанием азота и кислорода в покрытии.

Эксперименты по нанесению оксинитридов алюминия проводили в вакуумной установке ВУ-1, оснащенной планарной системой магнетронного распыления с протяженной мишенью (500×80 мм) и стабилизированным по току источником электропитания. Магнетрон был размещен на стенке вакуумной камеры диаметром 700 мм. Поверхность мишени магнетрона была параллельна оси вращения барабана (диаметр 480 мм), на котором закреплялись подложки. Скорость вращения барабана составляла 1–2 об/мин. Покрытия наносили методом реактивного магнетронного распыления алюминиевой мишени в смеси газов аргона, азота и кислорода, которые подавались в вакуумную камеру с помощью регуляторов расхода газа РРГ-9.

В предварительных экспериментах были определены значения средней скорости нанесения ($V=\delta/t$, нм/мин, где δ – толщина покрытия, t – время нанесения покрытия на вращающийся барабан с подложками) и показателя преломления (n) покрытий, получаемых при разных расходах кислорода. Расход аргона G_{Ar} и азота G_N поддерживали постоянным ($G_{Ar}=50$ см³/мин и $G_N=12$ см³/мин), а расход кислорода G_O задавали равным 1; 3 и 6 см³/мин. Ток разряда магнетрона в процессе нанесения покрытия поддерживали постоянным, при этом увеличение расхода кислорода приводило к уменьшению напряжения разряда.

Толщину δ и показатель преломления n покрытий рассчитывали по результатам измерения спектральных коэффициентов пропускания $\tau(\lambda)$ и отражения $\rho(\lambda)$, которые определяли с помощью спектрофотометра СФ-2000 и приставки отражения СФО-2000.

В таблице приведены значения показателя преломления n материала покрытия на длине волны 550 нм и средней скорости его нанесения V – в зависимости от расхода кислорода.

Зависимость средней скорости нанесения V и показателя преломления n покрытий от величины расхода кислорода

G_O , см ³ /мин	0	1	3	6
V , нм/мин	9,6	8,9	6,5	5,4
n	2,1	2,0	1,8	1,65

Результаты, приведенные в таблице, могут быть использованы для определения зависимости показателя преломления от толщины градиентного покрытия при заданном законе изменения расхода кислорода в процессе нанесения покрытия. На рис. 1 приведена расчетная зависимость показателя преломления в покрытии, полученном при увеличении – в процессе нанесения – расхода кислорода по линейному закону. В расчете использованы экспериментальные результаты таблицы.

Нанесение градиентного покрытия оксинитрида алюминия магнетронным методом проводили по режимам, использованным в предварительных экспериментах: $G_{Ar}=50$ см³/мин, $G_N=12$ см³/мин. В отличие от предварительных экспериментов расход кислорода G_O изменяли во времени от 0 до 6 см³/мин по линейному закону. На рис. 2 показан спектральный коэффициент пропускания образца с градиентным покрытием. Для сравнения на рис. 2 приведены результаты расчета модели градиентного покрытия, представляющей собой покрытие, состоящее из десяти слоев с толщиной каждого слоя 14 нм (0,1 от общей толщины покрытия) и показателями преломления, ступенчато изменяющимися по закону, показанному на рис. 1. Расчет спектрального коэффициента

отражения модели градиентного покрытия проводили рекуррентным методом анализа интерференционных покрытий*.

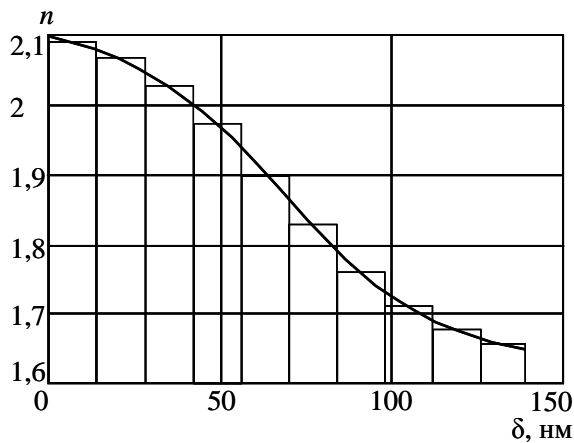


Рис. 1. Расчетная зависимость распределения показателя преломления в покрытии (кривая линия), полученная для линейного закона увеличения расхода кислорода в процессе нанесения покрытия (время нанесения покрытия в расчете принимали равным 20 мин; ступенчатая линия соответствует показателям преломления ступенчато-градиентной модели покрытия)

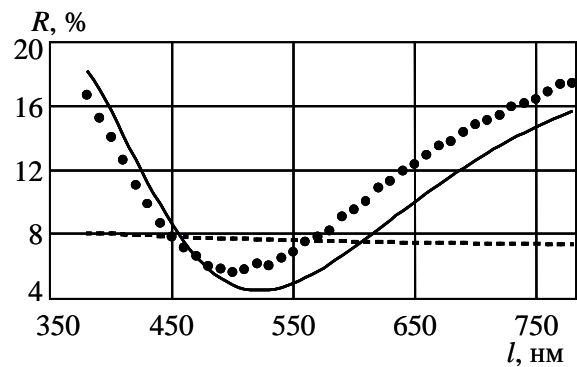


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента отражения органического стекла:

---- без покрытия (расчет); — с градиентным покрытием из оксинитрида алюминия (расчет); ●●● то же (эксперимент)

Незначительное (на 1–2%) расхождение результатов оптических измерений экспериментальных образцов с расчетными данными подтверждает возможность практического применения метода реактивного магнетронного распыления с изменяемым во времени соотношением концентраций азота и кислорода для получения покрытий оксинитрида алюминия с переменным по толщине показателем преломления. На рис. 2 видно, что минимальное значение коэффициента отражения образца органического стекла с градиентным покрытием из оксинитрида алюминия меньше, чем коэффициент отражения чистого органического стекла. Этот факт также указывает на то, что покрытие имеет переменный по толщине показатель преломления, так как коэффициент отражения материала с покрытием, имеющим постоянный показатель преломления, превышающий показатель преломления материала подложки, не может быть меньше, чем коэффициент отражения материала подложки.

*Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия.—Л.: Машиностроение. 1973. 224 с.