



УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-7-7

**РЕАКТИВНОЕ МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИТО  
ПОКРЫТИЯ НА ПОЛИМЕРНУЮ ПЛЕНКУ С ПРИМЕ-  
НЕНИЕМ СЕКЦИОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАПУС-  
КА ГАЗОВ**

Ю.А. Хохлов

*кандидат технических наук*

В.А. Богатов

*кандидат технических наук*

Н.М. Березин

А.Г. Крынин

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Ю.А. Хохлов<sup>1</sup>, В.А. Богатов<sup>1</sup>, Н.М. Березин<sup>1</sup>, А.Г. Крынин<sup>1</sup>

## РЕАКТИВНОЕ МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИТО ПОКРЫТИЯ НА ПОЛИМЕРНУЮ ПЛЕНКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕКЦИОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАПУСКА ГАЗОВ

*Исследовано распределение толщины и свойств (коэффициент пропускания, поверхностное сопротивление) ИТО покрытия, полученного методом реактивного магнетронного осаждения на поверхность полимерной пленки, с использованием секционированной подачи реактивного газа.*

*Показана возможность увеличения зоны равномерности толщины и свойств покрытия путем оптимизации расхода кислорода через разные секции системы подачи газа.*

**Ключевые слова:** реактивное осаждение, планарный магнетрон, ИТО покрытие.

Yu.A. Khokhlov, V.A. Bogatov, N.M. Berezin, A.G. Krynin

## REACTIVE MAGNETRON DEPOSITION OF ITO COATING ON THE POLYMER FILM USING A SECTIONALIZED GAS FEED SYSTEM

*The distribution of thickness and properties (transmission coefficient, surface resistance) of an ITO coating fabricated by the reactive magnetron deposition on a polymer film using a sectionalized reactive gas feed system was investigated. It was shown that the uniformity of coating thickness and properties can be enhanced by optimizing the oxygen flow rate through different sections of the gas feed system.*

**Keywords:** reactive deposition, planar magnetron, ITO coating.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

### Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) играют важную роль в современной авиационной технике [1–6]. Особенный интерес представляют функциональные ПКМ, в частности полимерные материалы с прозрачными электропроводящими покрытиями для приборных панелей, экранирующего, электрообогреваемого и других специальных видов остекления [7–10].

Перспективным методом низкотемпературного получения керамических функциональных оптических покрытий на полимерных материалах является реактивное магнетронное осаждение [11–16], которое обладает существенными преимуществами по сравнению с высокочастотным распылением, такими как низкая энергоемкость процесса, высокая скорость распыления, низкая цена металлических мишеней.

К недостаткам реактивного магнетронного осаждения относят эффект «отравления» металлической мишени [17–19], который проявляется в образовании на ее поверхности неоднородного по толщине оксидного диэлектрического слоя. В работе [20] показано, что при реактивном осаждении керамического покрытия эффект «отравле-

ния» мишени увеличивает неравномерность толщины покрытия на протяженной подложке (по сравнению с осаждением металлического покрытия). В работе даны рекомендации по изготовлению магнитной системы планарного магнетрона и отмечено, что одной из причин неравномерности толщины покрытия может быть неоднородность концентрации реактивного газа в зоне магнетронного разряда.

Цель данной работы состояла в исследовании возможности использования секционированной подачи реактивного газа для повышения равномерности толщины и физических свойств (коэффициента пропускания, удельного сопротивления) ИТО покрытия, получаемого методом реактивного магнетронного осаждения на полимерной подложке большой площади (характерный размер ~600 мм).

### Материалы и методы

Исследования проводили с помощью вакуумной установки УНИП-900П, схема которой приведена в работе [20]. Установка оснащена четырехканальным регулятором расхода газа (один канал для напуска аргона и три канала для напуска кислорода), несбалансированным планарным магнетроном с мишенью из сплава состава, в % (по массе): 90 индия+10 олова, протяженностью 730 мм, и источником ионов холловского типа для подготовки поверхности подложки. Распределение магнитного поля над поверхностью мишени оптимизировано с целью уменьшения неравномерности толщины покрытия [20]. Смесь рабочих газов подавали в вакуумную камеру через систему газораспределения источника ионов, разделенную на три секции (рис. 1). В качестве подложки использовали полиэтилентерефталатную (ПЭТФ) пленку. Электропитание магнетрона осуществляли от блока питания ИВЭ-145 при работе в режиме стабилизации тока, а источника ионов – от блока питания ИВЭ-343.

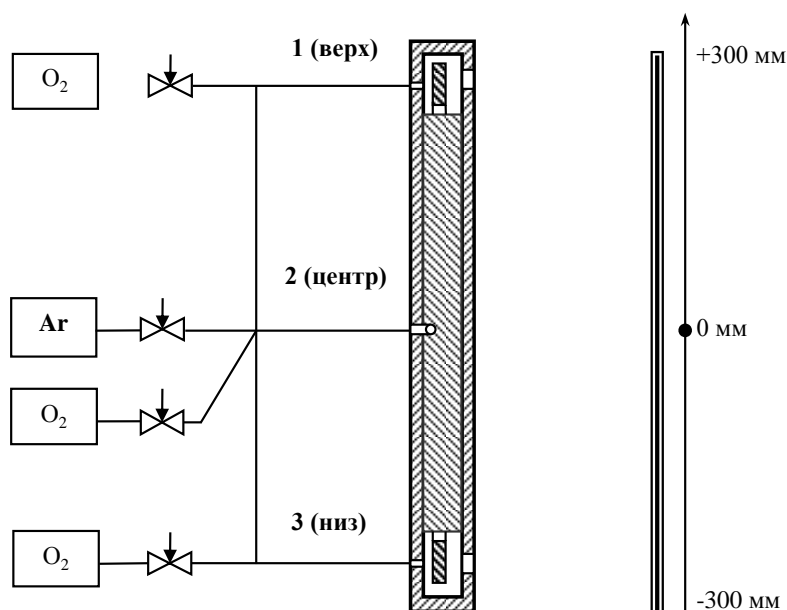


Рис. 1. Схема системы подачи рабочих газов в комбинированной системе ионно-стимулированного реактивного магнетронного распыления

Перед нанесением покрытия проводили очистку поверхности мишени магнетроном на магнетронным разрядом в среде аргона при напряжении 450–470 В и токе разряда 6 А. Поверхность подложки (ПЭТФ пленки) подвергали плазмохимической обработке [21] в аргонокислородной плазме, создаваемой источником ионов, при напряжении 2000 В и токе разряда 0,5 А. Затем проводили реактивное осаждение ИТО покрытия при скорости вращения барабана с подложками 10 об/мин.

Осаждение ИТО покрытия проводили с использованием результатов оптимизации распределения магнитного поля над поверхностью мишени по технологическим режимам, полученным в работе [20], которые обеспечивали осаждение не поглощающих в диапазоне длин волн 650–1400 нм ИТО покрытий с поверхностным сопротивлением 40–80 Ом/□ и интегральным коэффициентом пропускания видимого света – не менее 70%.

Отсутствие поглощения и наличие максимума коэффициента отражения в диапазоне длин волн 650–1400 нм позволяло определять толщину покрытия по результатам измерений спектральных коэффициентов пропускания.

Толщину покрытия определяли в соответствии с известными соотношениями [22], используя данные по показателю преломления подложки [23] и метод расчета, описанный в работе [20].

Величину поверхностного сопротивления покрытия определяли методом «квадрата» [24].

В качестве характеристик неравномерности свойств покрытия использовали следующие величины:

– для толщины покрытия

$$\Delta\delta = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\max}} \cdot 100\% ,$$

где  $\delta_{\max}$  и  $\delta_{\min}$  – максимальная и минимальная толщина покрытия на исследуемом участке поверхности соответственно;

– для величины поверхностного сопротивления

$$\Delta R_S = \frac{R_{S\max} - R_{S\min}}{R_{S\max}} \cdot 100\% ,$$

где  $R_{S\max}$  и  $R_{S\min}$  – максимальное и минимальное значение величины поверхностного сопротивления на исследуемом участке поверхности соответственно.

## Результаты

Распределение толщины и величины поверхностного сопротивления покрытия определяли по результатам измерений на образцах размером 20×30 мм, вырезанных из полосы ПЭТФ пленки с шагом 50 мм, соответствующих «контрольным» точкам: -300, -250, ... 0, ..., +250, +300 мм на подложке шириной 600 мм.

На рис. 2 показаны экспериментально измеренные распределения толщины и величины поверхностного сопротивления на образце при одинаковых расходах кислорода через три секции  $G_{\text{O}_2} = G_{2\text{O}_2} = G_{3\text{O}_2} = 11 \text{ см}^3/\text{мин}$ , полученные по технологическому режиму [19]:

- расход аргона  $G_{\text{Ar}} = 200 \text{ см}^3/\text{мин}$ ;
- расход кислорода  $G_{\text{O}_2} = 33 \text{ см}^3/\text{мин}$ ;
- рабочее давление в вакуумной камере  $P = 0,22 \text{ Па}$ ;
- напряжение разряда магнетрона  $U_p = 430 \text{ В}$ ;
- ток разряда магнетрона  $I_p = 5 \text{ А}$ ;
- продолжительность осаждения покрытия  $\tau = 10 \text{ мин}$ .

Выполненные измерения показали, что в верхней части подложки толщина и скорость осаждения ИТО покрытия меньше, а величина поверхностного сопротивления больше, чем в нижней и центральной частях. Это свидетельствует о том, что в верхней части подложки степень «отравления» поверхности мишени, а следовательно, концентрация кислорода больше, чем в нижней. Характеристики неравномерности толщины и величины поверхностного сопротивления покрытия на ПЭТФ пленке шириной 600 мм в этом случае составили соответственно:  $\Delta\delta = 15\%$ ,  $\Delta R_s = 40\%$ .

С целью увеличения скорости осаждения и уменьшения величины поверхностного сопротивления в верхней части подложки проведена серия экспериментов по реактивному осаждению ИТО покрытия с постепенным уменьшением расхода кислорода через верхнюю секцию системы газораспределения. На каждом этапе серии экспериментов расход кислорода через верхнюю секцию системы газораспределения уменьшали на  $0,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ . При этом расходы  $G_{2\text{O}_2}$  и  $G_{3\text{O}_2}$  поддерживали равными, а суммарный расход кислорода поддерживали равным  $G_{\text{O}_2} = 33 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

На рис. 2 приведены примеры распределения толщины и поверхностного сопротивления по ширине подложки.

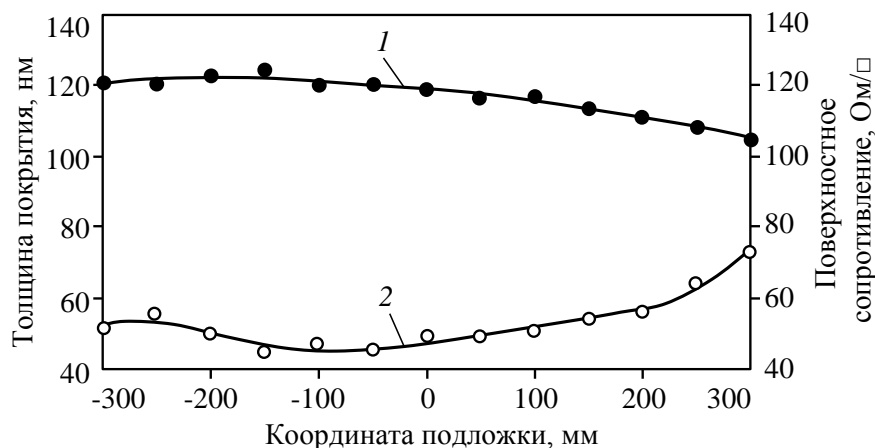


Рис. 2. Распределение толщины (1) и величины поверхностного сопротивления (2) покрытия по ширине подложки при расходе кислорода через три секции  $G_{1_{O_2}} = G_{2_{O_2}} = G_{3_{O_2}} = 11 \text{ см}^3/\text{мин}$

В проведенной серии экспериментов минимальная неравномерность толщины и величины поверхностного сопротивления покрытия получена при следующих значениях расхода кислорода через верхнюю, центральную и нижнюю секции системы распределения газа:  $G_{1_{O_2}} = 9,8 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{2_{O_2}} = 11,6 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{3_{O_2}} = 11,6 \text{ см}^3/\text{мин}$  соответственно. На рис. 3 приведены зависимости распределения толщины и величины поверхностного сопротивления покрытия по ширине подложки толщиной 600 мм.

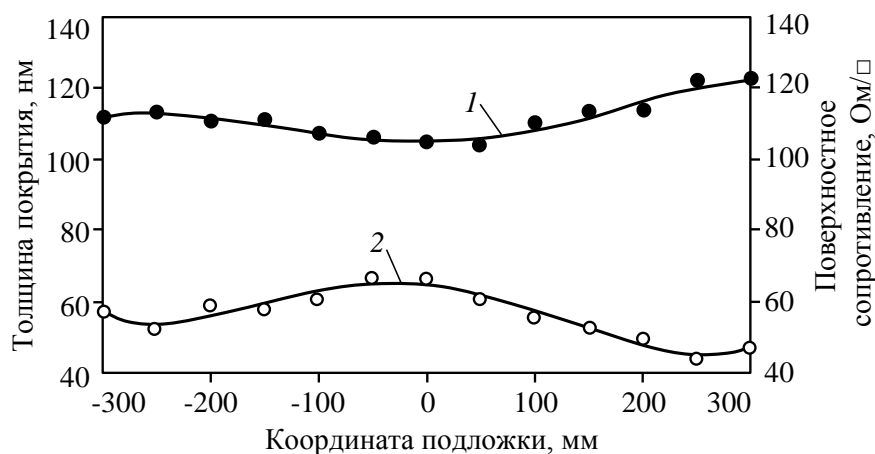


Рис. 3. Распределение толщины (1) и величины поверхностного сопротивления (2) покрытия по ширине подложки при расходе кислорода через три секции  $G_{1_{O_2}} = 9,8 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{2_{O_2}} = 11,6 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{3_{O_2}} = 11,6 \text{ см}^3/\text{мин}$

Характеристики неравномерности свойств покрытия для этого случая составили:  $\Delta\delta = 13\%$ ,  $\Delta R_S = 32\%$  соответственно.

Анализ результатов определения свойств покрытия в «контрольных» точках подложки шириной 600 мм показал, что изменение соотношения расходов через разные секции системы газораспределения позволяет существенно изменять распределение толщины и величины поверхностного сопротивления по ширине подложки.

В следующей серии экспериментов постепенно увеличивали расход кислорода через верхнюю секцию и подбирали расходы кислорода через центральную и нижнюю секции системы газораспределения. Шаг изменения расхода кислорода в каждой секции составлял  $0,2 \text{ см}^3/\text{мин}$ , а суммарный расход поддерживали равным  $G_{\text{O}_2} = 33 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Для каждого эксперимента данной серии исследовали распределение толщины и величины поверхностного сопротивления по ширине подложки.

В этой же серии экспериментов определено соотношение расходов кислорода в секционированной системе распределения газа, обеспечивающее минимальную неоднородность распределения свойств ИТО покрытия ( $\Delta\delta=8\%$ ,  $\Delta R_S=15\%$ ) по поверхности подложки шириной 600 мм (рис. 4), для исследованной конфигурации реактивного магнетронного осаждения.

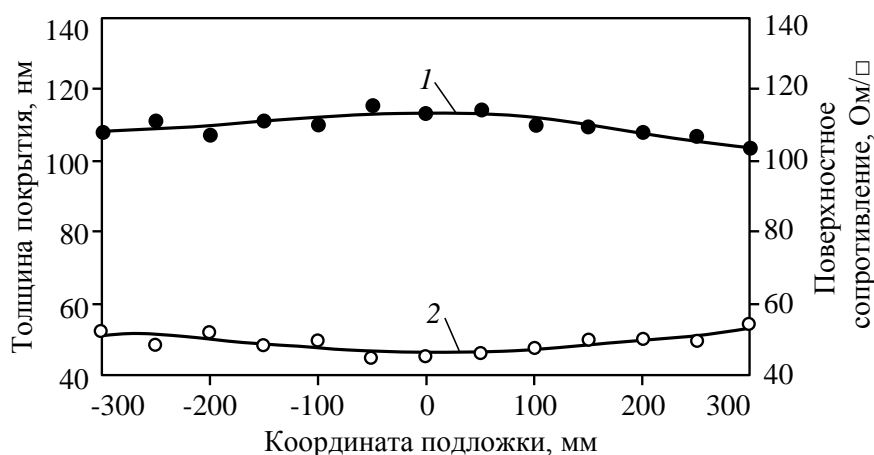


Рис. 4. Распределение толщины (1) и величины поверхностного сопротивления (2) покрытия по ширине подложки при расходе кислорода через три секции  $G_{\text{O}_2} = 10,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{2\text{O}_2} = 11,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{3\text{O}_2} = 11,2 \text{ см}^3/\text{мин}$

Оптимальные расходы кислорода через верхнюю, центральную и нижнюю секции системы распределения газа составили  $G_{\text{O}_2} = 10,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{2\text{O}_2} = 11,4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $G_{3\text{O}_2} = 11,2 \text{ см}^3/\text{мин}$  соответственно.

### Обсуждение и заключения

Экспериментальное исследование распределения свойств ИТО покрытий, полученных методом реактивного магнетронного осаждения с использованием секционированной системы подачи кислорода, подтвердило возможность повышения равномерности распределения толщины и величины поверхностного сопротивления по поверхности подложки путем оптимизации распределения концентрации кислорода в зоне разряда планарного магнетрона.

В результате подбора оптимального соотношения расхода кислорода через три секции системы подачи газов неравномерность толщины и величины поверхностного сопротивления ИТО покрытия, полученного методом низкотемпературного реактивного магнетронного осаждения на полимерную подложку из ПЭТФ пленки шириной 600 мм, удалось снизить с  $\Delta\delta=15\%$ ,  $\Delta R_S=40\%$  до  $\Delta\delta=8\%$ ,  $\Delta R_S=15\%$ .

Дальнейшее уменьшение неравномерности свойств ИТО покрытий, получаемых на полимерных подложках большой площади методом реактивного магнетронного осаждения, может быть достигнуто путем оптимизации количества и расположения секций системы подачи газа относительно зоны распыления мишени магнетрона, а также благодаря оптимизации конструкции и взаимного расположения технологической оснастки внутри рабочей камеры вакуумной установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад //Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
4. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
5. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи /В кн. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002. М.: МИСиС–ВИАМ. 2002. С. 23–47.
6. Давыдова И.Ф., Каблов Е.Н., Кавун Н.С. Термостойкие негорючие полиимидные стеклотекстолиты для изделий авиационной и ракетной техники //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2009. №7. С. 2–11.
7. Богатов В.А., Кондрашов С.В., Хохлов Ю.А. Многофункциональные оптические покрытия и материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 343–348.

8. Кисляков П.П., Хохлов Ю.А., Крынин А.Г., Кондрашов С.В. Получение и применение полимерной пленки с прозрачным электропроводящим покрытием на основе оксида индия, легированного оловом //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 06 (viam-works.ru).
9. Крынин А.Г., Хохлов Ю.А., Богатов В.А., Кисляков П.П. Прозрачные интерференционные покрытия для функциональных материалов остекления //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 05 (viam-works.ru).
10. Богатов В.А., Хохлов Ю.А. Многофункциональные оптические покрытия, получаемые методами плазменной технологии, и способы контроля их оптико-физических характеристик /В сб. Авиационные материалы и технологии. Вып. «Методы испытаний и контроля качества металлических и неметаллических материалов». М.: ВИАМ. 2001. С. 93–99.
11. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. К.: Аверс. 2008. 244 с.
12. Комлев А.Е., Шаповалов В.И., Шутова Н.С. Магнетронный разряд в среде аргона и кислорода при осаждении пленки оксида титана //ЖТФ. 2012. Т. 82. №7. С. 134–136.
13. Богатов В.А., Кондрашов С.В., Хохлов Ю.А. Получение градиентного покрытия оксинитрида алюминия методом реактивного магнетронного распыления //Авиационные материалы и технологии. 2010. №3. С. 19–21.
14. Kurdesau F., Khripunov G., da Cunha A.F. et al. Comparative study of ITO layers deposited by DC and RF magnetron sputtering at room temperature //Journal of Non-Crystalline Solids. 2006. V. 352. №19–20. P. 1466–1470.
15. Марченко В.А. Процессы на поверхности мишени при реактивном распылении V в Ar–O<sub>2</sub> средах //Известия РАН. Серия физическая. 2009. Т. 73. №7. С. 920–923.
16. Хохлов Ю.А., Крынин А.Г., Богатов В.А., Кисляков П.П. Оптические константы тонких пленок оксида индия, легированного оловом, осажденных на полиэтилентерефталатную пленку методом реактивного магнетронного распыления (ближняя инфракрасная область спектра) //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 24–28.
17. Хохлов Ю.А., Богатов В.А., Березин Н.М. Стабилизация реактивного магнетронного осаждения магнитным полем //Физика и химия обработки материалов. 2012. №5. С. 46–50.
18. Хохлов Ю.А., Березин Н.М., Богатов В.А., Крынин А.Г. Реактивное магнетронное осаждение оксида индия, легированного оловом, с контролем рабочего давления //Авиационные материалы и технологии. 2015 (в печати).
19. Хохлов Ю.А., Березин Н.М., Богатов В.А., Крынин А.Г. Контроль реактивного осаждения ITO покрытия по эмиссионному спектру плазмы магнетронного разряда //Авиационные материалы и технологии. 2015 (в печати).
20. Хохлов Ю.А., Богатов В.А., Крынин А.Г. Влияние распределения магнитного поля на свойства ITO покрытия, получаемого на полимерной пленке методом реактивного магнетронного осаждения //Труды ВИАМ. 2014. №12. Ст. 11 (viam-works.ru).

21. Богатов В.А., Хохлов Ю.А., Сытый Ю.В., Жадова Н.С. Влияние обработки в разряде с замкнутым дрейфом электронов на адгезионные свойства и прочность клеевых соединений полимеров //Клеи. Герметики. Технологии. 2011. №9. С. 27–31.
22. Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение. 1973. 224 с.
23. Крынин А.Г., Хохлов Ю.А. Оптические характеристики термостабилизированной полиэтилентерефталатной пленки, используемой для функциональных материалов остекления //Авиационные материалы и технологии. 2013. №4. С. 31–34.
24. Технология тонких пленок /Под ред. Л. Майссела, Р. Гленга. М.: Советское радио. 1977. С. 305–344.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 7–17.
2. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Ros-sijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
3. Kablov E.N. Shestoj tehnologicheskij uklad [Sixth technological way] //Nauka i zhizn'. 2010. №4. S. 2–7.
4. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials science] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.
5. Kablov E.N. Aviacionnoe materialovedenie v XXI veke. Perspektivy i zadachi [Aviation materials science in the XXI century. Perspectives and tasks] /V kn. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2002. M.: MISiS–VIAM. 2002. S. 23–47.
6. Davydova I.F., Kablov E.N., Kavun N.S. Termostojkie negopjuchie poliimidnye steklotekstolity dlja izdelij aviacionnoj i paketnoj tehniki [Heat-resistant nonflammable polyimide glass fiber laminate for products of aviation and rocket engineering] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2009. №7. S. 2–11.
7. Bogatov V.A., Kondrashov S.V., Hohlov Ju.A. Mnogofunkcional'nye opticheskie pokrytija i materialy [Multifunction optical coatings and materials] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 343–348.
8. Kisljakov P.P., Hohlov Ju.A., Krynin A.G., Kondrashov S.V. Poluchenie i primenenie polimernoj plenki s prozrachnym jelektroprovodjashhim pokrytiem na osnove oksida indija, legirovannogo olovom [Receiving and application of polymer film with transparent electroconducting coating on the basis of the indium oxide alloyed by tin] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 06 (viam-works.ru).

9. Krynin A.G., Hohlov Ju.A., Bogatov V.A., Kisljakov P.P. Prozhachnye interferencionnye pokrytija dlja funkcional'nyh materialov osteklenija [Transparent interferential coatings for functional materials of glazing] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 05 (viam-works.ru).
10. Bogatov V.A., Hohlov Ju.A. Mnogofunkcional'nye opticheskie pokrytija, poluchaemye metodami plazmennoj tehnologii, i sposoby kontrolja ih optiko-fizicheskikh harakteristik [The multifunction optical coatings received by methods of plasma technology, and ways of control of their optiko-physical characteristics] /V sb. Aviacionnye materialy i tehnologii. Vyp. «Metody ispytanij i kontrolja kachestva metallicheskih i nemetallicheskih materialov». M.: VIAM. 2001. S. 93–99.
11. Kuz'michev A.I. Magnetronnye raspylitel'nye sistemy. Kn. 1. Vvedenie v fiziku i tehniku magnetronnogo raspylenija [Magnetronnye spraying systems. Book 1. Introduction in physics and equipment of magnetron sputtering]. K.: Avers. 2008. 244 s.
12. Komlev A.E., Shapovalov V.I., Shutova N.S. Magnetronnyj razrjad v srede argona i kisloroda pri osazhdenii plenki oksida titana [Magnetronny discharge in the environment of argon and oxygen at titanium oxide film deposition] //ZhTF. 2012. T. 82. №7. S. 134–136.
13. Bogatov V.A., Kondrashov S.V., Hohlov Ju.A. Poluchenie gradientnogo pokrytija oksinitrida aljuminija metodom reaktivnogo magnetronnogo raspylenija [Receiving gradient covering oksinitrida aluminum method of reactive magnetron sputtering] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2010. №3. S. 19–21.
14. Kurdesau F., Khripunov G., da Cunha A.F. et al. Comparative study of ITO layers deposited by DC and RF magnetron sputtering at room temperature //Journal of Non-Crystalline Solids. 2006. V. 352. №19–20. P. 1466–1470.
15. Marchenko V.A. Processy na poverhnosti misheni pri reaktivnom raspylenii V v Ar–O<sub>2</sub> sredah [Processes on target surface at reactive spraying of V in Ar–O<sub>2</sub> Wednesdays] //Izvestija RAN. Serija fizicheskaja. 2009. T. 73. №7. S. 920–923.
16. Hohlov Ju.A., Krynin A.G., Bogatov V.A., Kisljakov P.P. Opticheskie konstanty tonkih plenok oksida indija, legirovannogo olovom, osazhdennyh na polijetilentereftaltnuju plenku metodom reaktivnogo magnetronnogo raspylenija (blizhnjaja infrakrasnaja oblast' spektra) [Optical constants of thin films of the indium oxide alloyed by tin, besieged on polietilentereftalatny film method of reactive magnetron sputtering (near infrared region of range)] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 24–28.
17. Hohlov Ju.A., Bogatov V.A., Berezin N.M. Stabilizacija reaktivnogo magnetronnogo osazhdenija magnitnym polem [Stabilization of reactive magnetronny sedimentation by magnetic field] //Fizika i himija obrabotki materialov. 2012. №5. S. 46–50.
18. Hohlov Ju.A., Berezin N.M., Bogatov V.A., Krynin A.G. Reaktivnoe magnetronnoe osazhdenie oksida indija, legirovannogo olovom, s kontrolem rabocheho davlenija [Reactive magnetronny sedimentation of the indium oxide alloyed by tin, with control of working pressure] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015 (v pečati).

19. Hohlov Ju.A., Berezin N.M., Bogatov V.A., Krynin A.G. Kontrol' reaktivnogo osazhdenija ITO pokrytija po jemissionnomu spektru plazmy magnetronnogo razrjada [Control of reactive sedimentation of ITO of covering on emission spectrum of plasma of magnetronny discharge] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015 (v pečati).
20. Hohlov Ju.A., Bogatov V.A., Krynin A.G. Vlijanie raspredelenija magnitnogo polja na svojstva ITO pokrytija, poluchaemogo na polimernoj plenke metodom reaktivnogo magnetronnogo osazhdenija [Influence of distribution of magnetic field on ITO properties of the covering received on polymer film by method of reactive magnetronny sedimentation] //Trudy VIAM. 2014. №12. St. 11 (viam-works.ru).
21. Bogatov V.A., Hohlov Ju.A., Sytyj Ju.V., Zhadova N.S. Vlijanie obrabotki v razrjade s zamknutym drefom jelektronov na adgezionnye svojstva i prochnost' kleevyh soedinenij polimerov [Processing influence in discharge with the closed drift of electrons on adhesive properties and durability of glued joints of polymers] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2011. №9. S. 27–31.
22. Krylova T.N. Interferencionnye pokrytija [Interferential coverings]. L.: Mashinostroenie. 1973. 224 s.
23. Krynin A.G., Hohlov Ju.A. Opticheskie karakteristiki termostabilizirovannoj polijetilentereftalatnoj plenki, ispol'zuemoj dlja funkcional'nyh materialov osteklenija [Optical characteristics of the thermostabilized polietilentereftalatny film used for functional materials of glazing] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №4. S. 31–34.
24. Tehnologija tonkih plenok [Technology of thin films] /Pod red. L. Majssela, R. Glenga. M.: Sovetskoe radio. 1977. S. 305–344.