



УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-11-11

**ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
НА СВОЙСТВА ИТО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО НА  
ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО  
МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ**

Ю.А. Хохлов

*кандидат технических наук*

В.А. Богатов

*кандидат технических наук*

А.Г. Крынин

**Декабрь 2014**

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.

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-11-11

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

## **ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СВОЙСТВА ИТО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО НА ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ**

*Исследовано распределение индукции магнитного поля над поверхностью мишени планарного магнетрона и его влияние на однородность свойств ИТО покрытия, получаемого методом реактивного магнетронного осаждения на полимерную подложку шириной 600 мм. Показано, что выравнивание распределения индукции магнитного поля в зоне распыления мишени магнетрона позволяет повысить однородность толщины и электрических свойств ИТО покрытия на полимерной пленке большого размера. Предложены направления исследований по совершенствованию технологии реактивного магнетронного осаждения на полимерные подложки большого размера.*

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

Y.A. Khokhlov, V.A. Bogatov, A.G. Krynin

## **AN INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION ON PROPERTIES OF ITO COATING DEPOSITED ON A POLYMER FILM BY REACTIVE MAGNE- TRON SPUTTERING METHOD**

*Distribution of magnetic field induction over the surface of a planar magnetron target and its influence on properties uniformity of ITO coating produced by reactive magnetron deposition on polymer substrate with a width of 600 mm is hereby investigated. It was shown that the distribution alignment of the magnetic field induction in the sputtering zone of magnetron target allows to increase uniformity of thickness and electric properties of ITO coating deposited on a large-sized polymer film. Research trends to improve the technology of reactive magnetron deposition on the large-sized polymer*

*substrate are hereby described.*

**Keywords:** *reactive deposition, planar magnetron, magnetic field distribution, 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**

Композиционные материалы с многофункциональными покрытиями широко применяются в разных областях науки и техники, включая энергетику, строительство, микроэлектронику, авиацию и другие [1–7]. В частности, полимерные пленки с прозрачным электропроводящим покрытием оксида индия, легированного оловом (indium tin oxide – ИТО), применяются в устройствах индикации, электрообогреваемых и электрохромных полимерных материалах остекления, оптоэлектронике, солнечной энергетике и т. п., что стимулирует разработку низкотемпературных процессов нанесения ИТО покрытий [8–10].

В последнее время все большее распространение для производства оксидных тонкопленочных покрытий оптического качества на полимерных подложках находят магнетронные методы [11–16], включая реактивное [11–13] и высокочастотное [9, 14, 15] магнетронное осаждение. Реактивное магнетронное осаждение в смеси газов аргона с кислородом, при котором оксидное покрытие формируется на подложке в результате химической реакции распыленных атомов металлической мишени с атомами кислорода, в отличие от метода высокочастотного магнетронного распыления керамической мишени, обладает рядом преимуществ – низкая энергоемкость процесса, высокая скорость распыления, низкая цена металлических мишеней по сравнению с керамическими и др.

К недостаткам реактивного магнетронного распыления обычно относят эффект так называемого «отравления» металлической мишени [17–19], который проявляется в образовании на ее поверхности неоднородного по толщине оксидного диэлектрического слоя. Толщина и состав диэлектрического слоя влияет на коэффициент вторичной ион-электронной эмиссии с поверхности мишени и соответственно на концентрацию электронов над поверхностью мишени, а также на коэффициент распыления материала мишени магнетрона. Как правило, коэффициент распыления оксидов металлов в несколько раз меньше коэффициента распыления чистого металла.

Указанный эффект (в случае неравномерного распределения магнитного поля над поверхностью мишени) может привести к существенной разнице в скорости распыления на разных участках мишени. В результате при реактивном магнетронном осаждении на подложке большой площади может наблюдаться значительная неравномерность толщины покрытия.

Цель данной работы состояла в исследовании влияния распределения магнитного поля над поверхностью мишени на равномерность толщины и физических свойств (коэффициент пропускания, удельное сопротивление) ИТО покрытия, получаемого методом реактивного магнетронного осаждения на полимерной подложке большой площади (характерный размер ~600 мм).

### **Материалы и методы**

Исследования проводили с помощью установки УНИП-900П (рис. 1). Экспериментальная вакуумная установка оснащена двухканальным регулятором расхода газа, обеспечивающим контролируемый напуск смеси аргона и кислорода, несбалансированным планарным магнетроном с мишенью из сплава состава, % (по массе): 90 индия+10 олова, размером 730×70×8 мм, и источником ионов холловского типа для подготовки поверхности подложки. Смесь рабочих газов подавали в вакуумную камеру через систему газораспределения источника ионов. 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. Расстояние между поверхностью титановой мишени магнетрона и поверхностью подложки составляло 120 мм.

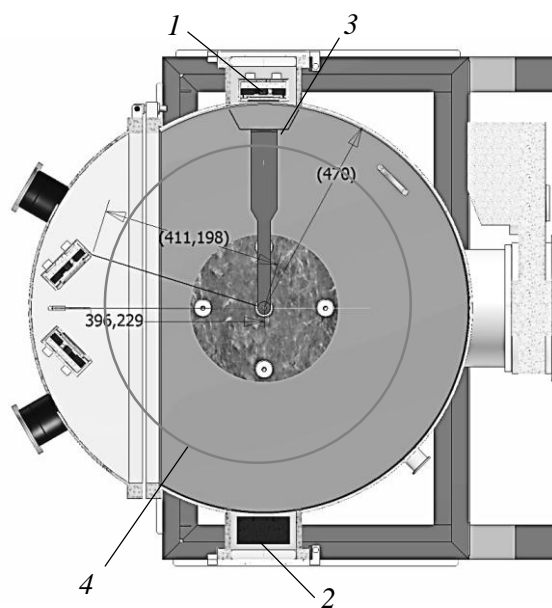


Рисунок 1. Схема экспериментальной вакуумной установки: 1 – несбалансированный планарный магнетрон; 2 – источник ионов; 3 – заслонка; 4 – подложка

Реактивное осаждение ИТО покрытия проводили с использованием двух вариантов магнитной системы. Первый вариант собирали из произвольно выбранных постоянных магнитов из сплава системы Ne–Fe–В по традиционной схеме (рис. 2, а). Во втором варианте (рис. 2, б) для выравнивания распределения индукции магнитного поля в зазоре магнитной системы выполнена предварительная сортировка магнитов и использованы шунты из магнитомягкой стали, установленные на поверхность магнитов. Индукцию магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона определяли с помощью тесламетра ЭМ4305.

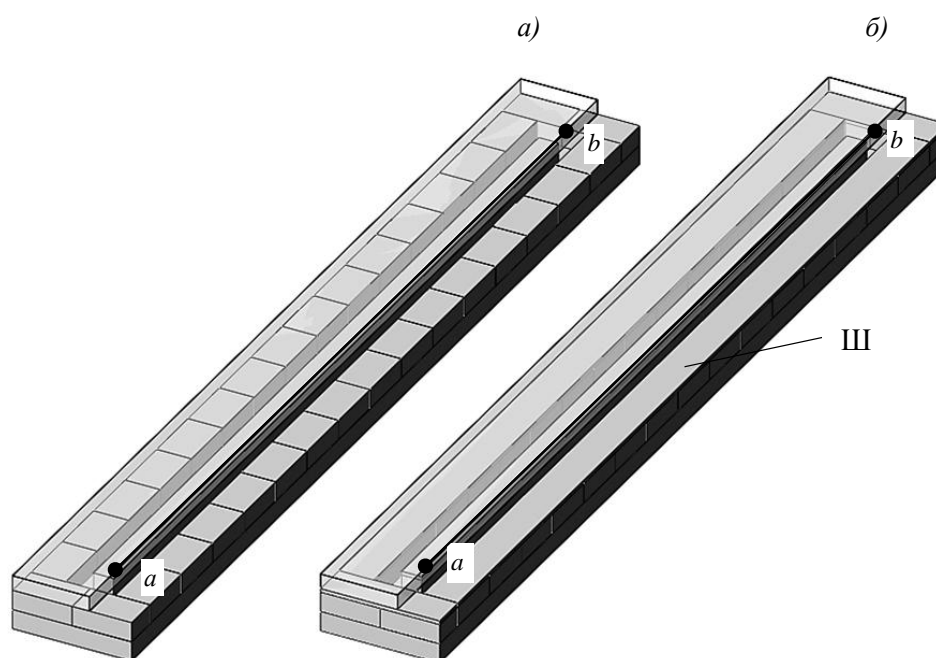


Рисунок 2. Магнитная система планарного магнетрона и схема измерения распределения магнитного поля по традиционной системе (а) и с магнитным шунтом Ш (б)

Распределение касательной составляющей индукции магнитного поля измеряли в середине магнитного зазора над поверхностью мишени на линии  $ab$  (см. рис. 2).

Эксперименты по нанесению ИТО покрытий проводили в следующей последовательности. Перед нанесением покрытия при закрытой заслонке проводили очистку поверхности мишени магнетронным разрядом в среде аргона при напряжении 450–470 В и токе разряда 6 А. Поверхность подложки (ПЭТФ пленки) подвергали плазмохимической обработке [20] в аргонокислородной плазме, создаваемой источником ионов, при напряжении 2000 В и токе разряда 0,5 А. Затем проводили реактивное нанесение ИТО покрытия на поверхность подложки, закрепленной на барабане, вращающемся со скоростью 10 об/мин.

В предварительной серии экспериментов определяли «оптимальный» рабочий режим (расход аргона  $G_{Ar}$ , расход кислорода  $G_{O_2}$ , рабочее давление в вакуумной камере  $P$ , напряжение  $U_p$  и ток  $I_p$  разряда), при котором на всей поверхности подложки за 10 мин осаждалось ИТО покрытие с поверхностным сопротивлением 40–80 Ом/□ и интегральным коэффициентом пропускания видимого света не менее 70%.

Установленный в предварительной серии экспериментов режим характеризуется следующими значениями технологических параметров:

- расход аргона  $G_{Ar}=200$  см<sup>3</sup>/мин;
- расход кислорода  $G_{O_2}=33$  см<sup>3</sup>/мин;

- рабочее давление в вакуумной камере  $P=0,22$  Па;
- напряжение разряда  $U_p=430$  В;
- ток разряда  $I_p=5$  А;
- продолжительность осаждения покрытия  $\tau=10$  мин.

Покрытия с интегральным коэффициентом пропускания видимого света  $>70\%$  практически не поглощали излучение в диапазоне длин волн 650–1400 нм, что проверяли относительным измерением коэффициентов отражения от чистой поверхности образца и от поверхности с нанесенным покрытием. Если коэффициенты отражения, измеренные с разных сторон образца, одинаковы, то коэффициент поглощения покрытия можно считать равным нулю. Отсутствие поглощения и наличие максимума коэффициента отражения в диапазоне длин волн 650–1400 нм позволяли определять толщину покрытия по результатам измерений спектральных коэффициентов пропускания на спектрофотометре Cary-5000.

Используемая в качестве подложки ПЭТФ пленка прозрачна в видимой и ближней инфракрасной области спектра [21] и имеет показатель преломления  $n_s \approx 1,6$ .

В соответствии с известными соотношениями [22], если показатель преломления покрытия больше показателя преломления подложки, то можно воспользоваться формулой

$$n_2(\lambda_m) = \sqrt{n_0 \cdot n_s \cdot \frac{1 + \sqrt{R_{f\max}}}{1 - \sqrt{R_{f\max}}}}, \quad (1)$$

где  $n_0=1$  – показатель преломления воздуха;  $n_s$  – показатель преломления подложки;  $R_{f\max}$  – максимальная величина коэффициента отражения от поверхности с покрытием;  $\lambda_m$  – длина волны излучения, соответствующая максимальной величине коэффициента отражения.

Коэффициент отражения  $R_f$  от поверхности подложки с покрытием можно определить по результатам измерения коэффициента пропускания чистой подложки  $T_s$  и коэффициента пропускания  $T_0$  подложки, на одну поверхность которой нанесено покрытие:

$$R_f = \frac{T_s(2-T_0)-T_0}{T_s(2+T_0)-T_0}. \quad (2)$$

Значение длины волны  $\lambda_m$ , на которой величина коэффициента отражения максимальна, использовалось для определения толщины покрытия. Оптическая  $n_2 \cdot \delta$  и физическая  $\delta$  толщина покрытия определялись из условия:

$$\lambda_m = 4 \cdot n_2 \cdot \delta, \quad (3)$$

если на спектральной зависимости наблюдается один максимум коэффициента отраже-

ния (минимум коэффициента пропускания).

Если количество максимумов коэффициента отражения на спектральной зависимости больше одного, то толщина покрытия может быть определена по положению двух соседних максимумов с помощью системы уравнений:

$$\lambda_{m1} = \frac{4 \cdot n_2(\lambda_{m1}) \cdot \delta}{2 \cdot x - 1}; \quad \lambda_{m2} = \frac{4 \cdot n_2(\lambda_{m2}) \cdot \delta}{2 \cdot x + 1}; \quad \lambda_{m1} > \lambda_{m2}, \quad (4)$$

$\lambda_{m1}$  и  $\lambda_{m2}$  – длины волн, соответствующие положению двух соседних минимумов коэффициента пропускания;  $x$  – порядок интерференции. Решая систему уравнений (4), можно рассчитать толщину покрытия:

$$\delta = \frac{\lambda_{m1} \cdot \lambda_{m2}}{2(\lambda_{m1} \cdot n_2(\lambda_{m2}) - \lambda_{m2} \cdot n_2(\lambda_{m1}))}. \quad (5)$$

При выбранном режиме осаждения покрытия порядок интерференции  $x=1$ , поэтому для определения толщины покрытия использовали формулу (3). Величину поверхностного сопротивления покрытия определяли методом «квадрата» [12].

### Результаты

В магнитных системах магнетронов, собранных из покупных магнитов, причиной возникновения неоднородности магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона является недостаточная стабильность свойств выпускаемых постоянных магнитов. Так, для магнитов из сплава системы Ne–Fe–B в ТУ 6391-004-59990452–2003 в зависимости от марки магнита допускается отклонение остаточной индукции магнита на 4–5% и оговаривается только минимальное значение коэрцитивной силы без указания допустимого отклонения. В ТУ 3498-002-18785310–2003 в зависимости от марки магнита допускается отклонение остаточной индукции магнита и коэрцитивной силы на 4–5%.

На рис. 3 показаны примеры распределения радиальной составляющей индукции магнитного поля  $B_r$  на симметричном относительно центра мишени магнетрона участке протяженностью 600 мм в середине магнитного зазора над поверхностью мишени – линия  $ab$  на рис. 2. Кривая 1 (см. рис. 3) соответствует магнитной системе, показанной на рис. 2, *a*, собранной без предварительной сортировки магнитов; кривая 2 (см. рис. 3) соответствует магнитной системе, показанной на рис. 2, *б*, собранной с предварительной сортировкой магнитов и дополнительным выравниванием магнитного поля с помощью пластин из магнитомягкой стали толщиной 2 мм. В процессе предварительной сортировки для установки в магнитную систему магнетрона отбирали магниты, у которых величина индукции магнитного поля на поверхности полюсов различалась не более чем на 3%.

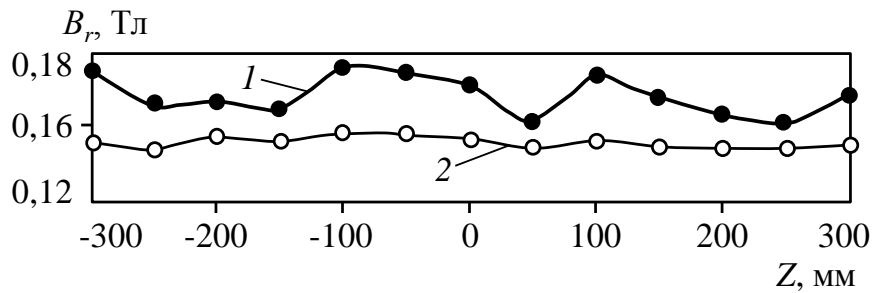


Рисунок 3. Распределение радиальной составляющей индукции магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона в середине магнитного зазора при произвольном расположении магнитов (1) и после предварительной сортировки магнитов с магнитным шунтом (2)

Измерения магнитного поля показали, что в первом случае разница между максимальным и минимальным значениями касательной составляющей индукции магнитного поля в середине магнитного зазора над поверхностью мишени превышает 12%, а во втором случае составляет ~5%.

При выполнении экспериментов по сборке магнитных систем было отмечено, что разброс значений индукции над поверхностью свободных магнитов часто оказывается меньше, чем над поверхностью тех же магнитов, установленных на магнитопровод. Это может быть связано с тем, что два магнита с одинаковыми значениями величины средней индукции магнитного поля на поверхности полюса могут обладать разными значениями остаточной индукции и коэрцитивной силы, что приводит к перераспределению магнитного поля при установке таких магнитов на магнитопроводе рядом друг с другом.

С использованием двух рассмотренных вариантов магнитной системы по установленному в предварительных экспериментах режиму осаждения были получены образцы ИТО покрытия на ПЭТФ пленке шириной 600 мм.

На рис. 4, а приведен пример распределения толщины ИТО покрытия по ширине подложки для первого варианта магнитной системы (см. рис. 2, а). Максимальная разница в толщине покрытия на поверхности подложки шириной 600 мм составила 35 нм.

Если в качестве параметра, характеризующего неравномерность толщины покрытия, принять величину

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

где  $\delta_{\max}$  и  $\delta_{\min}$  – соответственно максимальная и минимальная толщина покрытия, то неравномерность толщины в этом случае равна 24%.

Для сравнения отметим, что неравномерность толщины металлических покрытий алюминия и титана, полученных с использованием первого варианта магнитной системы, составила 6%. Причем положения максимумов и минимумов толщины покрытия и величины индукции магнитного поля при осаждении металлов, также как и при реактивном осаждении ИТО покрытий, приблизительно совпадают.

На рис. 4, б приведен пример распределения толщины ИТО покрытия по ширине подложки для второго варианта магнитной системы (см. рис. 2, б).

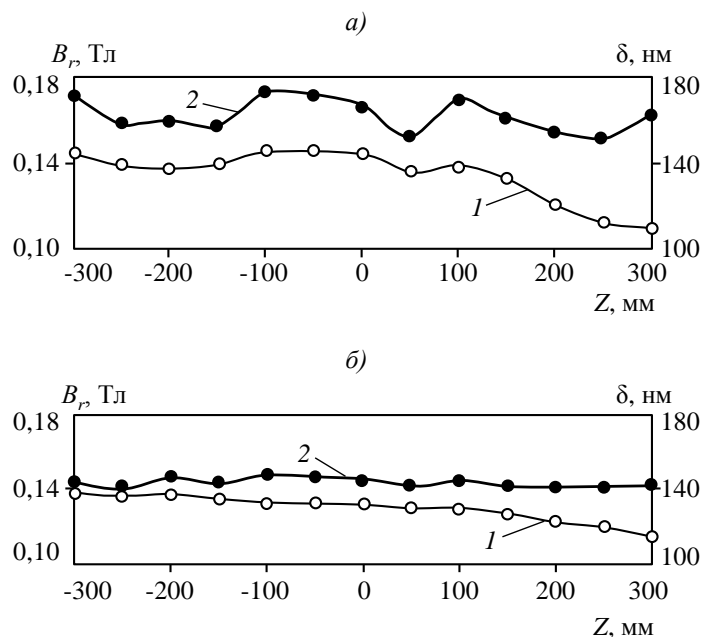


Рисунок 4. Распределение толщины ИТО покрытия (1) по ширине подложки по первому (а) и второму (б) вариантам магнитной системы и радиальной составляющей индукции магнитного поля в середине магнитного зазора над поверхностью мишени (2)

Максимальная разница в толщине покрытия на поверхности подложки шириной 600 мм составила 23 нм или 16,5%. На графике распределения толщины покрытия нет четко выраженных экстремумов, но наблюдается плавное изменение толщины по ширине подложке, что не может быть связано с распределением индукции магнитного поля над поверхностью мишени.

На рис. 5, а и б приведены графики распределения величины поверхностного сопротивления ИТО покрытий, полученных на первом и втором вариантах магнитной системы соответственно.

Из анализа графиков, приведенных на рис. 5, а и б, следует, что величина поверхностного сопротивления сильно зависит от скорости осаждения ИТО покрытия. Сравнительно небольшое изменение толщины (скорости осаждения) приводит к значительно более выраженному изменению поверхностного сопротивления. Уменьшение толщины

ITO покрытия на 24% приводит к изменению поверхностного сопротивления в 2,2 раза (см. рис. 5, а). Это связано с отклонением стехиометрии полупроводника от оптимального состава.

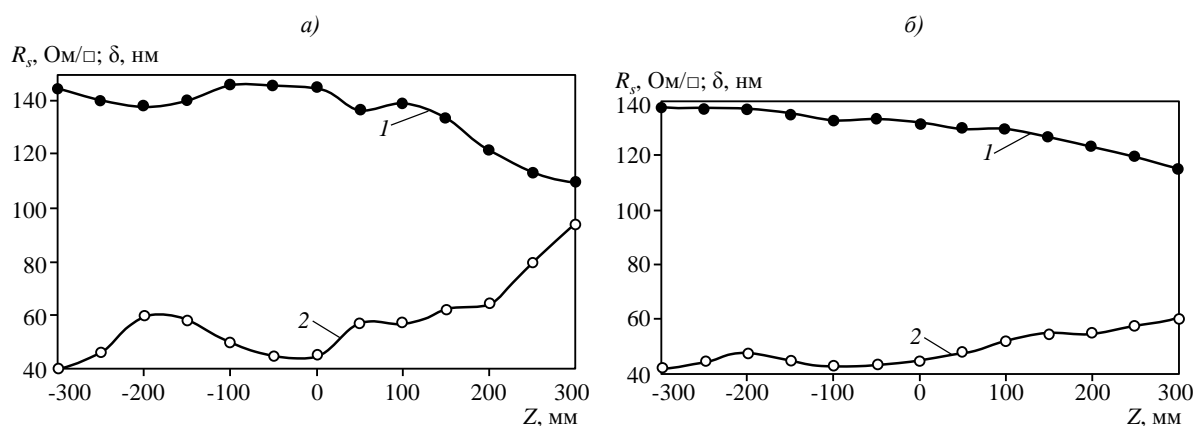


Рисунок 5. Распределение толщины (1) и величины поверхностного сопротивления (2) ITO покрытия по ширине подложки по первому (а) и второму (б) вариантам магнитной системы

На распределении величины коэффициента пропускания по ширине подложки не наблюдалось однозначной связи с распределением индукции магнитного поля и толщины покрытия, что можно объяснить эффектом интерференции света в покрытии.

### Обсуждение и заключения

Выполненные в данной работе исследования показали, что в зонах с повышенной индукцией магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона распыление идет более интенсивно как в случае распыления металлов ионами инертного газа, так и в случае реактивного распыления. Однако при реактивном магнетронном распылении зависимость скорости распыления от величины индукции магнитного поля существенно усиливается из-за эффекта «отравления» мишени реактивным газом.

Выравнивание величины индукции над поверхностью мишени в зоне распыления мишени магнетрона позволило снизить неравномерность толщины ITO покрытия, получаемого методом реактивного магнетронного осаждения на подложке шириной 600 мм, – с 24 до 16,5%.

В то же время экспериментальное исследование показало, что даже при хорошей равномерности распределения магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона может возникать значительная разница толщины покрытия в верхней и нижней частях подложки. В данных исследованиях толщина покрытия в верхней части подложки была меньше, чем в нижней части как для первого, так и для второго варианта исполнения

магнитной системы. Наблюдаемая в экспериментах разница толщины покрытия в верхней и нижней частях подложки, по-видимому, возникает из-за неравномерного распределения концентрации кислорода в области между катодом магнетрона и подложкой. Причиной этого может быть неравномерный поток рабочих газов (особенно – кислорода) в вакуумной камере, возникающий из-за асимметрии расположения технологической оснастки внутри рабочего объема. Таким образом, проблема равномерности толщины и физических свойств покрытий, получаемых методом реактивного магнетронного осаждения на подложках больших габаритов, не может быть полностью решена путем оптимизации конструкции магнетрона. Необходим комплексный подход к конструированию вакуумной камеры, включая расположение элементов технологической оснастки и оптимизацию системы подачи рабочих газов.

#### 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. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
3. 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.
4. 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).
5. Богатов В.А., Кондрашов С.В., Хохлов Ю.А. Многофункциональные оптические покрытия и материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 343–348.
6. Хохлов Ю.А., Крынин А.Г., Кисляков П.П., Юрков Г.Ю. Проектирование стеклопакетов, экранирующих радиочастотное излучение //Жилищное строительство. 2013. №12. С. 34–36.
7. Богатов В.А., Хохлов Ю.А. Многофункциональные оптические покрытия, получаемые методами плазменной технологии, и способы контроля их оптико-физических характеристик //Авиационные материалы и технологии. 2001. №1. С. 93–99.
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. Gorjanca T.C., Leonga D., Py C., Rotha D. Room temperature deposition of ITO using r.f. magnetron sputtering //Thin Solid Films. 2002. V. 413. P. 181–185.
  10. Mientus R., Ellmer K. Reactive magnetron sputtering of tin-doped indium oxide (ITO): influence of argon pressure and plasma excitation mode //Surface and Coatings Technology. 2001. V. 142–144. P. 748–754.
  11. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. К.: Аверс. 2008. 244 с.
  12. Хохлов Ю.А., Крынин А.Г., Богатов В.А., Кисляков П.П. Оптические константы тонких пленок оксида индия, легированного оловом, осажденных на полиэтилен-терефталатную пленку методом реактивного магнетронного распыления (ближняя инфракрасная область спектра) //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 24–28.
  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. Jeong S.H., Lee J.W., Lee S.B., Boo J.H. Deposition of aluminum-doped zinc oxide films by RF magnetron sputtering and study of their structural, electrical and optical properties //Thin Solid Films. 2003. V. 435. P. 78–82.
  16. Богатов В.А., Захаров С.С., Кисляков П.П. и др. Влияние режимов магнетронного напыления на оптико-физические свойства медных нанопокровов //Наноматериалы и нанотехнологии. 2011. №4. С. 45–53.
  17. 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.
  18. 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.
  19. 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.

20. 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.
21. 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.
22. Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение. 1973. 224 с.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
2. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace Materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.
3. Kablov E.N. Aviacionnoe materialovedenie v XXI veke. Perspektivy i zadachi [Aeronautical Materials in the XXI century. Prospects and Challenges] /V kn. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2002. M.: MISiS–VIAM. 2002. S. 23–47.
4. Krynin A.G., Hohlov Ju.A., Bogatov V.A., Kisljakov P.P. Prozrachnye interferencionnye pokrytija dlja funkcional'nyh materialov osteklenija [Transparent interference coatings for functional materials glazing] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 05 (viam-works.ru).
5. Bogatov V.A., Kondrashov S.V., Hohlov Ju.A. Mnogofuncional'nye opticheskie pokrytija i materialy [Multifunctional optical coatings and materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 343–348.
6. Hohlov Ju.A., Krynin A.G., Kisljakov P.P., Jurkov G.Ju. Proektirovanie steklopaketov, jekranirujushhij radiochastotnoe izluchenie [Design of double-glazed windows, radio-frequency radiation shielding] //Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2013. №12. S. 34–36.
7. Bogatov V.A., Hohlov Ju.A. Mnogofuncional'nye opticheskie pokrytija, poluchaemye metodami plazmennoj tehnologii, i sposoby kontrolja ih optiko-fizicheskij harakteristik [Multifunctional optical coatings produced by plasma technology, and how to control their optical and physical characteristics] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2001. №1. S. 93–99.
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,

- legirovanog olovom [Preparation and use of a polymer film coated with a transparent conductive indium oxide doped with tin] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 06 (viam-works.ru).
9. Gorjanca T.C., Leonga D., Py C., Rotha D. Room temperature deposition of ITO using r.f. magnetron sputtering //Thin Solid Films. 2002. V. 413. P. 181–185.
  10. Mientus R., Ellmer K. Reactive magnetron sputtering of tin-doped indium oxide (ITO): influence of argon pressure and plasma excitation mode //Surface and Coatings Technology. 2001. V. 142–144. P. 748–754.
  11. Kuz'michev A.I. Magnetronnye raspylitel'nye sistemy. Kn. 1. Vvedenie v fiziku i tehniku magnetronnogo raspylenija [Magnetron sputtering system. Vol. 1. Introduction to the physics and technology of magnetron sputtering]. K.: Avers. 2008. 244 s.
  12. Hohlov Ju.A., Krynin A.G., Bogatov V.A., Kisljakov P.P. Opticheskie konstanty tonkih plenok oksida indija, legirovanog olovom, osazhdennyh na polijetilentereftalatnuju plenkku metodom reaktivnogo magnetronnogo raspylenija (blizhnjaja infrakrasnaja oblast' spektra) [The optical constants of thin films of indium oxide doped with tin deposited on PET film by reactive magnetron sputtering (NIR)] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 24–28.
  13. Bogatov V.A., Kondrashov S.V., Hohlov Ju.A. Poluchenie gradientnogo pokrytija oksinitrida aljuminija metodom reaktivnogo magnetronnogo raspylenija [Getting gradient coating aluminum oxynitride by 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. Jeong S.H., Lee J.W., Lee S.B., Boo J.H. Deposition of aluminum-doped zincoxide films by RF magnetron sputtering and study of their structural, electrical and optical properties //Thin Solid Films. 2003. V. 435. P. 78–82.
  16. Bogatov V.A., Zaharov S.S., Kisljakov P.P. i dr. Vlijanie rezhimov magnetronnogo napylenija na optiko-fizicheskie svojstva mednyh nanopokrytij [Influence of magnetron sputtering on the optical and physical properties of nano-copper] //Nanomaterialy i nanotehnologii. 2011. №4. S. 45–53.
  17. Marchenko V.A. Processy na poverhnosti misheni pri reaktivnom raspylenii V v Ar–O<sub>2</sub> sredah [Processes on the target surface during reactive sputtering V in Ar–O<sub>2</sub> environments] //Izvestija RAN. Serija fizicheskaja. 2009. T. 73. №7. S. 920–923.

18. Hohlov Ju.A., Bogatov V.A., Berezin N.M. Stabilizacija reaktivnogo magnetronnogo osazhdenija magnitnym polem [Stabilization of reactive magnetron sputtering magnetic field] //Fizika i himija obrabotki materialov. 2012. №5. S. 46–50.
19. Komlev A.E., Shapovalov V.I., Shutova N.S. Magnetronnyj razrjad v srede argona i kisloroda pri osazhdenii plenki oksida titana [Magnetron discharge in argon and oxygen in the deposition of titanium oxide films] //ZhTF. 2012. T. 82. №7. S. 134–136.
20. Bogatov V.A., Hohlov Ju.A., Sytyj Ju.V., Zhadova N.S. Vlijanie obrabotki v razrjade s zamknutym drejfom jelektronov na adgezionnye svoystva i prochnost' kleevyh soedinenij po-limerov [The effect of treatment in the discharge with closed electron drift on the adhesive properties and bonding strength polymers] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2011. №9. S. 27–31.
21. Krynin A.G., Hohlov Ju.A. Opticheskie harakteristiki termostabilizirovannoj polijetilentereftalatnoj plenki, ispol'zujemoj dlja funkcional'nyh materialov osteklenija [Optical characteristics thermostabilized polyethylene terephthalate film used for functional materials glazing] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №4. S. 31–34.
22. Krylova T.N. Interferencionnye pokrytija [Interference coatings]. L.: Mashinostroenie. 1973. 224 s.