

# Современные методы решения проблем и задач создания тонкопленочных структур для различных приложений конструкционной и приборной оптики

*А. Н. Исамов, О. Ф. Просовский, Ю. О. Просовский, А. Ю. Буднев, В. А. Смольянинов*

АО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина»,  
Обнинск, Россия

В данной работе рассмотрены современные методы решения проблем и задач, возникающих при создании тонкопленочных структур. Подробно рассмотрены современные технологии получения оптических покрытий. Проанализированы ключевые особенности каждого метода. Показаны возможности каждой из технологий, а также приведены практические результаты применения на реальном производстве.

*Ключевые слова:* Оптика, оптические покрытия, вакуумное напыление.

*Цитирование:* Исамов, А. Н. Современные методы решения проблем и задач создания тонкопленочных структур для различных приложений конструкционной и приборной оптики / А. Н. Исамов, О. Ф. Просовский, Ю. О. Просовский, А. Ю. Буднев, В. А. Смольянинов // НОЛОЕХРО 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 266–269.

## Введение

В современной промышленности сложно найти изделия конструкционной и приборной оптики, которые изготавливаются без использования тех или других покрытий на их поверхности. Прочно вошли в жизнь покрытия, модифицирующие поверхность изделий. Модификация поверхности позволяет сделать изделие более устойчивым к воздействию внешних факторов, на пример истиранию, воздействию агрессивных веществ, улучшить оптические свойства (просветление), придать принципиально новые оптические свойства – поляризация излучения, фильтрация излучения и т.д. В настоящее время существует множество методов нанесения оптических покрытий – электронно-лучевое испарение, магнетронное распыление, ионное распыление, термическое испарение и др. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками, направлен на решение определенного рода задач по напылению оптических покрытий. В рамках данной работы рассмотрены технологии создания оптических покрытий, применяющиеся для решения различных задач на производственной площадке АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» в г. Обнинске

## Электронно-лучевое испарение (ЭЛИ)

Первый метод, который применяется в нашей лаборатории – метод ЭЛИ. ЭЛИ основан на физическом принципе превращения кинетической энергии ускоренного пучка электронов в тепловую. Электронно-лучевой испаритель состоит из катода, эмитирующего в результате термоэмиссии электронное облако, которое вытягивается в электронный пучок ускоряющим

напряжением и фокусируется в пятно необходимой конфигурации магнитной фокусирующей системой [1]. На рисунке 1 приведена структурная схема технологии ЭЛИ.

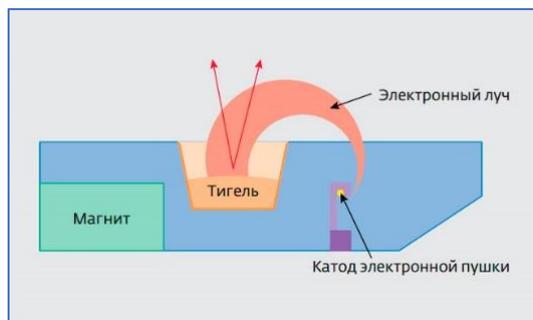


Рис. 1. Принцип ЭЛИ

Метод ЭЛИ благодаря возможности сфокусировать луч в пятно диаметром 3мм позволяет получить крайне высокую плотность энергии на единицу площади – 10 и более  $\text{kW}/\text{cm}^2$ . Это позволяет испарять вещества с температурой плавления  $2500^\circ\text{C}$  и выше. Использование водоохлаждаемого медного тигля позволяет исключить химическую реакцию материала тигля и испаряемого вещества- как чистых металлов так и химических соединений.

Неотъемлемым атрибутом современного напылительного оборудования является ионный источник ассистирования процесса напыления тонкопленочного покрытия. Благодаря процессу бомбардировки тяжелыми ионами инертного газа аргона или молекулами кислорода (реактивного газа) кинетически трамбует только осевшие (еще подвижные в поиске активного центра конденсации) на подложку атомы осаждаемого вещества. В результате удастся получить покрытия с плотностью упаковки  $Q=96-98\%$  [2].

Плотность упаковки:

$$Q = \frac{V_{sk}}{V_{sk} + V_{por}} \quad (1)$$

где  $V_{sk}$  — объем скелета осажденной пленки;  $V_{por}$  — объем пор.

Наличие пор в покрытии приводит к тому, что в процессе эксплуатации в них может сконденсироваться вода, что приведет к изменению спектральной характеристики светофильтра, а благодаря ионному ассистированию удастся получить покрытие без пор (рисунок 2). Также, важным является и тот факт, что кроме уплотнения напыляемого покрытия происходит его доокисление и удастся получать покрытия с нулевым коэффициентом поглощения. На рисунке 2 показан принцип процесса ионного ассистирования.

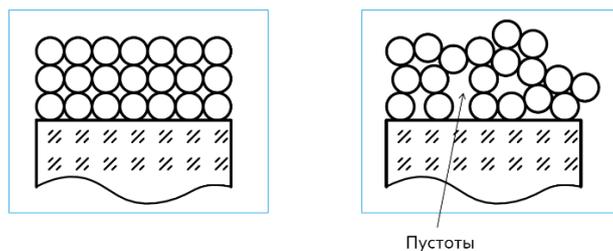


Рис. 2. Структура покрытия с ионным ассистированием (слева) и без него (справа)

### Магнетронное распыление

Еще одним методом напыления оптического покрытия является метод магнетронного распыления. Магнетронное распыление — технология нанесения тонких плёнок на подложку с помощью катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда — диодного разряда в скрещённых полях [3].

Применение дуальной магнетронной распылительной системы позволяет получить крайне высокостабильный технологический источник нанесения тонких пленок в вакууме. Технической особенностью дуальной магнетронной системы является применение рядом установленных двух магнетронов и питание их среднечастотным напряжением. При этом в один полупериод мишень одного магнетрона является распыляемым катодом, а мишень другого — анодом. В следующий полупериод — мишень, бывшая катодом становится анодом, а вторая — распыляемым катодом [4]. Принцип работы дуального магнетрона показан на рисунке 3. Данный принцип напыления позволяет снизить до минимума дуговые разряды в ходе процесса при обеспечении концентрации реактивного газа, обеспечивающей нанесение покрытий с нулевым поглощением.

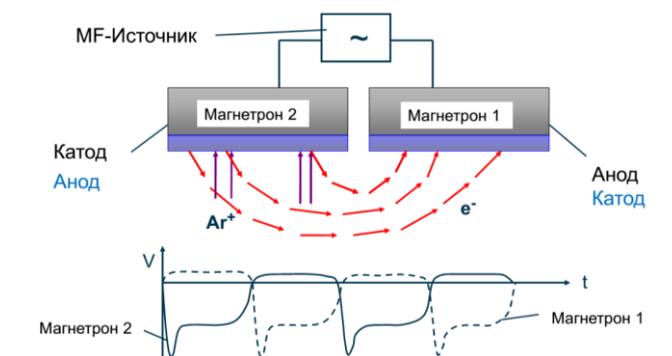


Рис. 3. Принцип напыления с помощью дуального магнетрона

### Выводы

Таким образом, в данной работе были рассмотрены два основных метода нанесения оптических покрытий, применение которых позволяет решать широкий спектр задач для нужд современной оптической промышленности.

Для метода ЭЛИ используется комплекс, включающий в себя систему прямого контроля толщины наносимого оптического покрытия (позволяющий вести процессы в автоматическом режиме, без участия оператора, а также нивелировать ошибки уже

нанесенных слоев оптической конструкции); ионное ассистирование процесса, позволяющее получать качественные плотные многослойные интерференционные структуры, а также средства САПР, позволяющие рассчитывать и оптимизировать оптическую конструкцию, исходя из технологических возможностей вакуумного оборудования и применяемых на нем пленкообразующих материалов. Оптимизация оптической конструкции позволяет находить баланс между целевой функцией и простотой напыляемой конструкции, что существенным образом повышает воспроизводимость оптический покрытий на производстве. Технология ЭЛИ применяется для производства негабаритных изделий, имеющая, к тому же высокую скорость напыления.

Технология магнетронного распыления также включает в себя комплекс технологий и систем, включающий в себя систему контроля толщины наносимых оптических покрытий, ионное ассистирование процесса и средства САПР. Данный метод обеспечивает высокую равномерность покрытия по толщине вдоль всей длины изделия, поэтому наиболее широкое применение он получил для производства крупногабаритных оптических деталейю

Применение указанных методов на производственной площадке АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» позволяет получать воспроизводимые, стабильные от процесса к процессу сложные (с числом слоев >50) интерференционные, защитные и функциональные покрытия.

### Список литературы

- [1] Мовчан Б. А., Туттов Н. Д. Электронно-лучевое испарение и осаждение из паровой фазы материалов в вакууме // Научно-технический журнал. – 2009. – С. 12.
- [2] Kaufman H. R., Harper J. M. E. Ion-assist applications of broad-beam ion sources //Advances in Thin Film Coatings for Optical Applications. – SPIE, 2004. – Т. 5527. – С. 50-68.
- [3] Jakobs S. et al. Characterization of metal-oxide thin films deposited by plasma-assisted reactive magnetron sputtering //Chinese Optics Letters. – 2010. – Т. 8. – №. s1. – С. 73-77.
- [4] Somkhunthot W. et al. Bipolar pulsed-DC power supply for magnetron sputtering and thin films synthesis //Elektrika Journal of Electrical Engineering. – 2007. – Т. 9. – №. 2. – С. 20-26.

## Modern methods for solving problems and creating thin-film structures for various applications in structural and instrumental optics

*A. N. Isamov, O. F. Prosovskii, Y. O. Prosovskii, A. Y. Budnev, V. A. Smolyaninov*  
ORPE «Technologiya», Obninsk, Russia

In this paper, we consider modern methods for solving problems when creating thin-film structures. Modern technologies for obtaining optical coatings were considered in detail. The key features of each method were analyzed. The possibilities of each of the technologies were shown. Practical results of application in real production were shown.

*Keywords:* Optics, Optical coatings, Vacuum deposition.