ПОЛОСОВЫЕ ФИЛЬТРЫ, ПРОИЗВЕДЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ НАПЫЛЕНИЯ EOSS® – УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

BANDPASS FILTERS PRODUCED WITH AN EOSS® SPUTTERING SYSTEM – ENHANCED SPUTTER-UP PRODUCTION TOOLS FOR HIGH QUALITY OPTICAL COATINGS

Б.Бончев¹, М.Шнайдер¹, И.Фель¹, Д.Никулин², В.Васильев²
B.Bontschew¹, M.Schneider¹, J.Fell¹, D.Nikulin², V.Vasilyev²

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.2.136.139

Получено: 22.03.2019 г.

В данной статье представлены результаты напыления различных полосовых фильтров, таких как инфракрасный фильтр и тройной полосовой фильтр, полученные в установке для нанесения высокоточных оптических покрытий Star.EOSS, производства компании FHR. Концепция системы для нанесения покрытий основана на нескольких вдвоенных магнетронных распылительных системах с вращаемыми цилиндрическими катодами, источнике ВЧ-плазмы и вращающемся поворотном столе в качестве держателя образцов. Тонкие пленки наносятся путем ионного распыления металлов в магнетронном разряде с высокой однородностью покрытия. Неравномерность пленок по толщине составила менее 0,25% (3 сигма) на подложках с диаметром от 200 до 300 мм.

Different bandpass filters are presented in this article, like infrared light and triple bandpass filters, produced with a high precision optical coater, which concept is based on multiple dual cylindrical sputtering sources, an RF plasma source, and a rotating turntable as sample holder. Thin films were prepared by metallic mode sputtering with layer uniformities of better than 99.75 % precision.

ВВЕДЕНИЕ

В современных технических решениях в области нанесения прецизионных оптических покрытий распространено использование планарных протяженных магнетронов, мишени которых подвержены неоднородной эрозии поверхности. Это приводит к ухудшению однородности и равномерности покрытий, снижению

характеристик самих мишеней с течением времени, высокой стоимости расходных материалов (низкий процент полезного расходования материала мишени). В случае реактивного распыления увеличивается вероятность возникновения дуговых микроарзрядов, ведущих к появлению микро- и макрочастиц.

¹ ООО «ФНР Анлагенбау» (Ам Хюгел 2, Оттендорф-Окрилла, D-01458, Германия)/ FHR Anlagenbau GmbH (Am Hugel 2, D-01458 Ottendorf-Okrilla, Germany).

² ООО «ЗЭНКО ПЛАЗМА» (105318 г. Москва ул. Ибрагимова, д.31, кор.47 кабинет 215)/ «ZENCO PLASMA» Ltd. (215, building 31k47, Ibragimova str. Moscow, 105318, Russia).

Рис.1. Система магнетронного распыления FHR.Star.500-EOSS®

Fig.1. Magnetron spraying system FHR.Star.500-EOSS®

Системы магнетронного распыления FHR.Star.500-EOSS® и FHR.Star.600-EOSS® позволяют исключить выше указанные недостатки плоских магнетронов, возникающих в процессе напыления [1]. Системы оснащены двояными магнетронами с вращаемыми цилиндрическими катодами, обеспечивающими нанесения пленки снизу вверх.

Описание системы нанесения покрытия

Все системы из модельного ряда FHR.Star-EOSS® были разработаны для нанесения прецизионных многослойных оптических покрытий в полностью автоматическом режиме, удовлетворяющих самым высоким требованиям к качеству покрытия и высокой равномерности толщины, даже на прямоугольных подложках с размером 280×330 мм.

Система состоит из кассетного автоматического шлюза загрузки, транспортной системы с вакуумным роботом-манипулятором и технологического модуля с поворотным столом, вмещающим до 12 нагреваемых подложкодержателей при полной загрузке. Держатели приспособлены для круглых подложек диаметром до 300 мм или прямоугольных подложек с размерами до 280×330 мм и толщиной до 50 мм, что позволяет обрабатывать различные кремниевые и керамические пластины для

микроэлектроники, призмы и линзы для оптики с весом до 10 кг.

Рабочая камера оснащена тремя или четырьмя (600-EOSS®) двояными магнетронами и одним или двумя источниками высокочастотной плазмы, предназначенных для очистки поверхности и окисления металлических пленок.

Загрузка и выгрузка подложкодержателей проводится в автоматическом режиме.

С помощью программного обеспечения МОССА + ® [2] производится непрерывный контроль процесса нанесения каждого покрытия и всей гетероструктуры в целом. Контроль осуществляется оптическим методом *in situ* на просвет или отражение контрольного образца, размещенного в одном из подложкодержателей.

Высокотехнологичные оптические покрытия с крайне низким уровнем дефектов

Тонкие пленки наносятся методом магнетронного распыления вращаемых цилиндрических мишеней в режиме постоянного тока (DC) либо в импульсном среднечастотном режиме (MF). Расположение подложек рабочей поверхностью вниз способствует снижению дефектности и улучшению качества пленок. Используемые магнетроны с цилиндрическими

Рис.2. Примеры произведенных длинноволновых пропускающих фильтров для мультиплексирования, используемых в микроскопии
Fig.2. Examples for Microscopy Longpass filter for multiplexing

мишенями отличаются высокой стабильностью ввиду их простого устройства, интенсивного охлаждения и многочисленных возможностей оптимизации процесса [3].

Приведенные ниже три примера демонстрируют применение моделей линейки Star.EOSS для формирования сложных структур длинноволновых пропускающих фильтров для мультиплексирования, (рис.2). Образец LP395 состоит из 58 слоев общей толщиной 5,6 мкм, образец LP415 – 65 слоев и 6,0 мкм и LP435 – 65 слоев и 5,6 мкм соответственно, а также антиотражающего покрытия на обратной стороне [4].

Другой пример применения системы для получения покрытий с высокими технологическими требованиями – это инфракрасные полосовые фильтры. Представленный ниже фильтр (рис.3) с центральной длиной волны 945 нм состоит из 137 слоев (материалы Ta_2O_5 и SiO_2 , одностороннее покрытие) общей толщиной 14 мкм и обладает высокой пропускной способностью [4]. Широкий диапазон поглощения излучения составляет 300–1100 нм с пропусканием диапазона эффективных длин волн от 900–1000 нм со

смещением краев спектра менее 0,3% между различными подложками.

На рис.3 представлены спектры пропускания полосовых фильтров с двусторонним покрытием и центральной длиной волны 830 нм, полученных на партии подложек из 12 шт. с диаметром 200 мм. Максимальный сдвиг спектра в пределах партии не превышал 0,25% ($\pm 0,125\%$) [4]. Спектры приведены для трех выборок из нескольких партий с трех разных подложкодержателей в камере напыления.

Новая сфера применения оптических фильтров ориентирована на 3D-технологии.

На рис.4 показан тройной полосовой фильтр для трехмерной лазерной проекции, состоящий из 60–80 слоев, а также 940 нм полосовой фильтр (материалы $\alpha\text{-Si:H}$ и SiO_2) для распознавания жестов и трехмерного восприятия.

Однородное покрытие из 80 диэлектрических и ультрафиолетовых (УФ) антиотражающих слоев на линзах для прецизионной оптики является еще одним ярким примером технологических возможностей представленной системы EOSS® для получения высокоточных оптических покрытий.

ВЫВОДЫ

В работе были показаны некоторые результаты применения систем магнетронного напыления FHR. Star.EOSS® с вращающимися катодами (цилиндрическими) для получения многослойных покрытий, позволяющих создавать фильтры в широком диапазоне длин волн. Как показывают приведенные результаты, магнетронные распылительные системы FHR.Star.EOSS® являются мощным

Таблица 1. Модели линейки образцов Star.EOSS

Table 1. Models of Star.EOSS sample series

Образец	Кол-во слоев	Толщина, мкм
LP395	58	5,6
LP415	65	6,0
LP	65+1	5,6

Рис.3. Примеры инфракрасных полосовых фильтров с односторонним и двусторонним покрытием

Fig.3. Examples for single side and double side coated infrared bandpass filters

инструментом для нанесения тонких пленок и гетероструктур для оптического применения, в том числе для высококачественных оптических покрытий. Держатели систем FHR.Star.EOSS® приспособлены для 12 круглых подложек диаметром до 300 мм или 12 прямоугольных подложек с размерами до 280×330 мм и толщиной до 50 мм. Равномерность составляет более 99,75%.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Vergöhl Michael, Pflug Andreas, Rademacher Daniel. Towards ultra-precise optical interference filters on large area: Computational and experimental optimization of the homogeneity of magnetron-sputtered precision optical coatings// Modern Technologies in Space- and Ground-based Telescopes and Instrumentation II, Proc. of SPIE Vol. 8450-80. 2012.
2. Registered trade mark of Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST, Bienroder Weg 54E, 38108 Braunschweig, Germany.
3. Bruns Stefan, Vergöhl Michael, Zickenrott Tobias. Recent developments in optical coatings prepared by cylindrical magnetron sputtering // Optical Systems Design 2015: Advances in Optical Thin Films V, Proc. of SPIE Vol. 9627, p.5., 2015.
4. In collaboration with of Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST.

Рис.4. Примеры спектров полосовых фильтров для приборов распознавания жестов и трехмерного восприятия

Fig.4. Examples for bandpass filter for 3D laser projection and 3D sensing