

Системы автоматического оптического контроля для стабильного производства оптических структур с числом слоев до 150 в согласованном стеке

А.А. Турбан, А.М. Артамонов, Е.А. Хохлов, А.С. Мысливец
Минск, ООО «Изовак», ул. Селицкого, 7 – 202. turban@izovac.com

Уже свыше 20 лет группа компаний «Изовак» работает в области создания высоко-точных оптических покрытий. Накопленный опыт позволил создать уникальный по своим характеристикам комплекс оптического контроля и управления, который позволяет воспроизводимо получать сложные многослойные оптические стэки. Комплекс оптического контроля OCP Broadband является легко интегрируемым решением и позволяет контролировать процессы нанесения всех видов оптических покрытий на различных типах вакуумного технологического оборудования в полностью автоматическом режиме в широком оптическом диапазоне с разрешением до 0.3 нм. Программа управления анализирует реальный спектр покрытия в тесной связке с рассчитанным рецептом и определяет точку останова для каждого слоя. Интеграция с напылительными контроллерами вакуумной установки позволяет реализовать процесс напыления покрытия от начала и до конца полностью автоматически. Также, при необходимости, программа может проводить оптимизацию расчета последующих слоев и изменять рецепт в режиме «онлайн» для получения наилучшего совпадения финального покрытия с расчётным.

Automatic optical control systems for stable production of optical structures with coherent stack up to 150 layers. A.A.Turban, A.M.Artamonov, E.A. Khokhlov, A.S.Myslivets. The IZOVAC group has been working in the area of precision thin film optical coatings deposition for more than 20 years. Accumulated experience allowed us to create an optical monitoring complex with unique parameters to obtain sophisticated multilayer optical stacks. The developed OCP (Optical Coating Provider) Broadband is an easily integrated hardware and software solution which provides fully automatic control over all types of optical coatings deposition for different vacuum equipment in a wide optical range with spectral resolution up to 0.3nm. A software algorithm analyzes measured spectrum based on the optical design of required coating and computes a breakpoint for each layer. Close integration with various PLC and Deposition Controllers of vacuum equipment makes it possible to realize optical deposition process automatically from the beginning to the end. Moreover, to obtain high level quality and manufacturing yield of the desired coating OCP Broadband performs design optimization for all remaining layers and applies changes online if necessary.

Системы оптического контроля применяются в вакуумном технологическом оборудовании для контроля процесса напыления тонких пленок уже более 40 лет [1]. В настоящее время разработано и внедрено в производство множество различных систем, отличающихся как принципом действия, так и степенью участия системы оптического контроля в процессе управления всем напылительным комплексом, или проще говоря, в автоматизации. Наряду с этим, множество вакуумных установок по-прежнему используют методы кварцевого контроля [2] и контроля по времени. Точность таких методов значительно хуже, но этого бывает достаточно для создания простых структур. Когда поставленная задача требует напыления в одном процессе 20-30 и более слоев, неравнотолщинных слоев, слоев с переменным показателем преломления, оптический контроль становится неотъемлемой частью вакуумного напылительного комплекса [3] и от точности его работы зависит суммарная ошибка попадания в конечное целевое покрытие, а также воспроизводимость процесса от раза к разу.

В настоящей статье описывается принцип работы, некоторые технические характеристики и варианты исполнения новейшей полностью автоматизированной системы широкополосного контроля OCP (OpticalCoatingProvider) Broadband производства компании «Изовак». Комплекс оптического контроля OCP Broadband является легко интегрируемым решением и позволяет контролировать процессы нанесения всех видов оптических покрытий на различных типах вакуумного технологического оборудования в полностью автоматическом режиме в ши-

роком оптическом диапазоне с разрешением до 0.3 нм. OCP Broadband может работать как по пропусканию, так и по отражению, а также с неподвижным или перемещающимся свидетелем. Основной тип контроля – на пропускание непосредственно по детали или свидетелю, расположенному на движущемся по кругу подложкодержателе. Спектрометры измеряют реальную спектральную характеристику тестового образца каждый оборот подложкодержателя. Таким образом, после каждого цикла из трёх измерений (пустое окно калибровки, окно с тестовым стеклом, измерение фона при перекрытии пучка) мы вычисляем реальную спектральную характеристику (спектр) тестового стекла в данный момент времени процесса напыления во всем диапазоне работы системы. Также возможны реализации классических методов контроля по неподвижному свидетелю: прямое отражение от свидетеля, пропускание по свидетелю, обратное отражение от свидетеля. На рис.1. схематически показаны все возможные методы контроля. Программа управления анализирует реальный спектр покрытия в тесной связке с рассчитанным рецептом и определяет точку остановки для каждого слоя. Интеграция с напылительными контроллерами вакуумной установки позволяет реализовать процесс напыления покрытия от начала и до конца полностью автоматически. Также, при необходимости, программа может проводить оптимизацию расчета последующих слоев и изменять рецепт в режиме «онлайн» для получения наилучшего совпадения финального покрытия с расчётным.

Широкополосная система автоматизированного оптического контроля OCPBroadband может быть установлена как на любые новые оптические напылительные установки производства «Изовак», так и на уже работающие, а также на вакуумную технику других производителей со стандартными протоколами обмена данными типа OPC server, Inficon IC6, Modbus и др. Наличие всего пакета программного обеспечения и непосредственное участие специалистов ООО «Изовак» в интеграции системы в комплекс оборудования значительно ускоряет процесс и избавляет Заказчика от необходимости разрабатывать программное обеспечение самостоятельно.

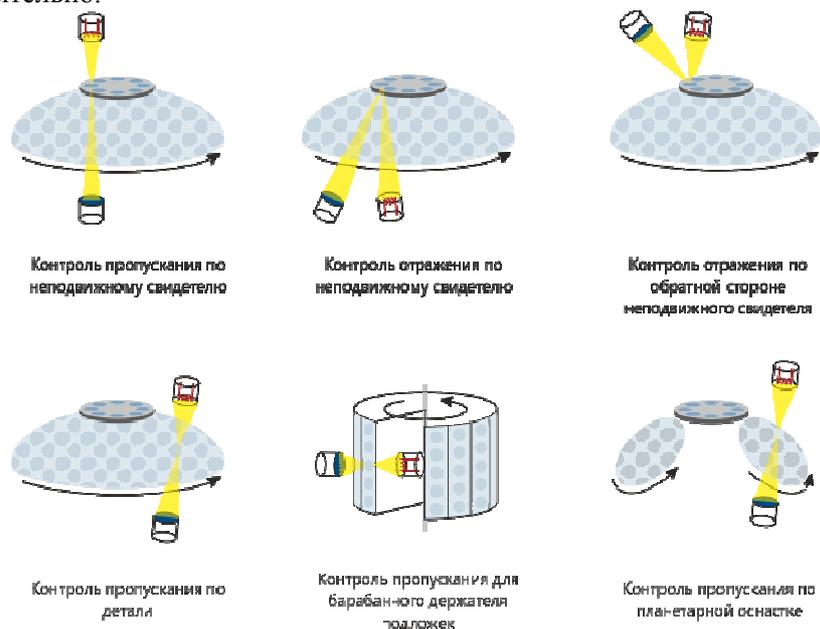


Рис.1. Возможные варианты исполнения контроля: прямое отражение от свидетеля, пропускание по свидетелю, обратное отражение от свидетеля, прямой контроль на пропускание по детали на подложкодержателе.

Базовым спектральным диапазоном системы OCP Broadband является 370-1050 нм, в котором во всем диапазоне обеспечивается спектральное разрешение не хуже 0.5 нм при точности выставления длины волны не хуже 0.2 нм и воспроизводимости 0.1 нм. На сегодняшний день это самое высокое разрешение в своем классе систем широкополосного контроля, что позволяет без искажений контролировать сложные структуры типа ультратонких узкополосных фильтров с полушириной вплоть до 1 нм, отрезающих фильтров с крутизной нарастания или

спада до 1 нм. Диапазон контроля можно расширить в ультрафиолетовую область до 220 нм либо в инфракрасную область спектра до 1650 нм, причем в УФ области 220-370 нм спектральное разрешение достигает 0.3 нм. В ИК применяются спектрометры на базе IGA-линеек и они не могут обеспечивать высокого разрешения, поэтому разрешение ограничено 3 нм.

На рис.2 и 3 представлены результаты напылений узкополосного фильтра на длине волны 532 нм с полушириной не более 2 нм и пропусканием в максимуме больше 70%, а также лазерного зеркала с коэффициентом отражения более 99,9% в диапазоне 630-780 нм для перестраиваемых лазеров. Использовалась напылительная установка Лидиз производства «Изовак» и широкополосная система оптического контроля ОСР Broadband 370-1050 нм, работающая в автоматическом режиме. Метод контроля – прямой на пропускание по движущемуся тестовому стеклу. Представленные графики получены непосредственно с монитора напылительной установки в конце напыления.

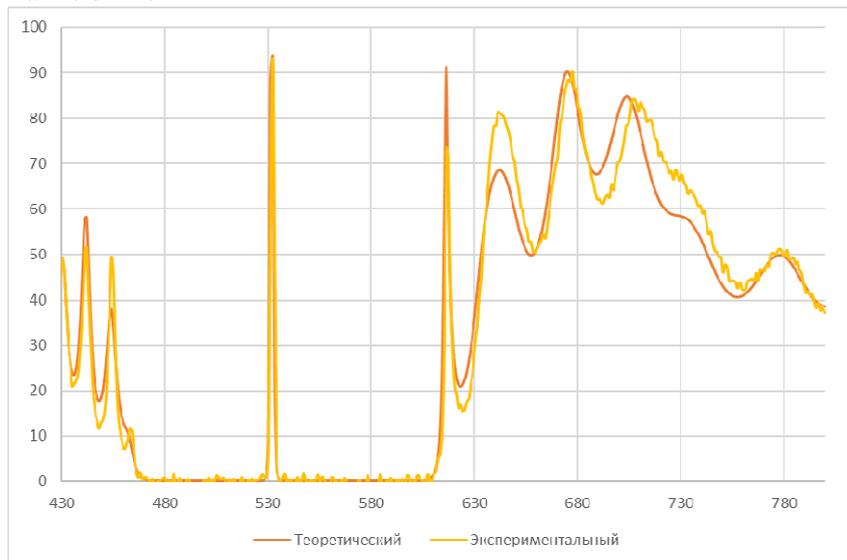


Рис.2. Узкополосный фильтр $\lambda=532$ нм, Полуширина 2нм, $T_{max}>80\%$. Расчетный и реальный спектры пропускания, прямой контроль по детали.

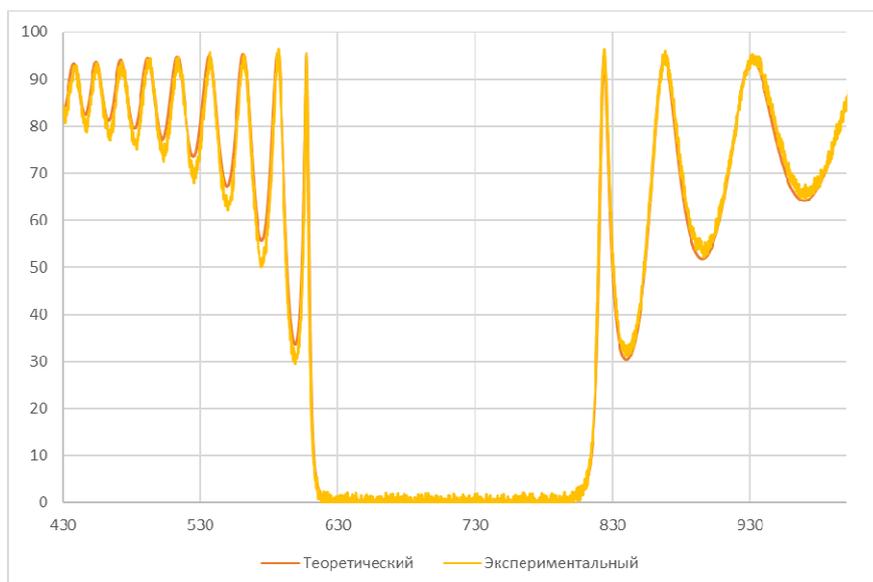


Рис.3. Интерференционное лазерное зеркало $R>99,9\%$ в диапазоне 630-780 нм. Расчетный и реальный спектры пропускания, прямой контроль по детали.

Литература

1. Н. А. Macleod, Monitoring of optical coatings, Appl. Opt. 20 (1981) 82– 89.

2. C. Buzeal, K. Robbie, State of the art in thin film thickness and deposition rate monitoring sensors, Rep. Prog. Phys. 68 (2005) 385– 409.
3. K.Lewis, International Trends in Applied Optics, SPIE Press vol.5 (2002) 204-205.

Вакуумное оборудование компании «ООО Изовак» для оптических применений, основанное на технологии ионно-лучевого нанесения

*Е.А. Хохлов, А.А. Турбан, А.М. Артамонов, А.С. Мысливец
Минск, ООО «Изовак», ул. Селицкого, 7 – 202 e-khokhlov@izovac.com*

Уже свыше 40 лет специалисты группы компаний «Изовак» разрабатывают системы на основе ионно-лучевых технологических устройств. Накопленный опыт позволил создать уникальную продуктовую линейку вакуумного технологического оборудования для оптических применений. Представленное оборудование позволяет решать задачи по изготовлению уникальных оптических покрытий для различных отраслей промышленности. Показаны примеры покрытий и сложнейшие оптические изделия, применяемые в аэрокосмической, лазерной, станкостроительной сферах.

***Vacuum equipment of Izovac ltd for deposition of optical coating based on ion-beam sputtering. E.A. Khokhlov, A.A.Turban, A.M.Artamonov, A.S.Myslivets.** For more than 40 years experts of the Izovac group of companies have been developing systems based on ion-beam technological devices. The accumulated experience made it possible to create a unique product line of vacuum technological equipment for optical applications. The presented equipment allows one to solve the problems of manufacturing unique optical coatings for various industries. Examples of coatings and the most sophisticated optical products used in aerospace, laser, machine tool industries are shown.*

Требования к точности прецизионных оптических покрытий повышаются в связи с жесткими допусками на характеристики современных приборов. Необходимые параметры покрытий достигаются в за счет нанесения пленок методом ионно-лучевого распыления. В настоящее время ряд ведущих мировых производителей, представляют вакуумную технику позволяющие достигать высокой воспроизводимости и равномерности на подложках диаметром до 150-200 мм. Наиболее известными примерами такого оборудования являются установки Navigator, компании Cutting Edge Coating и Spector, компании Veeco. Компетенции группы компаний «Изовак» зародились в 70-х годах в лаборатории минского радиотехнического института, где были разработаны одни из первых ионных источников на территории бывшего СССР. Данные разработки легли в основу ионных источников успешно зарекомендовавших себя при эксплуатации на производственных площадках бывшего СССР, а также юго-восточной Азии. Например, технологический комплекс Аспира-150 уже более 10 лет используется для нанесения многослойных фильтров для дистанционного зондирования Земли. Следующее поколение оборудование – Аспира-200 позволяет решать сложнейшие задачи по нанесению многослойных прецизионных покрытий на ведущих оптических предприятиях пост советского пространства.