

АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ФИЛЬТРОВ

Артамонов А.М., Хохлов Е.А.

ООО «ИЗОВАК Технологии»

Минск, Республика Беларусь

Линейные перестраиваемые фильтры (Linear Variable Filter) представляют собой класс полосовых фильтров на основе сложных многослойных интерференционных покрытий, обладающие линейной анизотропией оптических свойств по одной из геометрических осей, которая позволяет перестраивать выделяемую (фильтруемую) длину волны оптического излучения [1].

Анизотропия оптических свойств, как правило, осуществляется за счет создания управляемой неравномерности вдоль оси по которой происходит перестроение длины волны. При этом основным параметром является величина спектрального градиента, определяющая изменение оптической характеристики на единицу длины фильтра.

Одним из способов управления неравномерностью осаждаемой пленки в PVD процессах, является вакуумное маскирование [2], которое, в основном, применяется для формообразования оптических поверхностей, а также для повышения степени равномерности PVD (Physical Vapor Deposition) покрытий сверх той, которая обусловлена геометрией расположения технологических устройств и подложки [3].

Цель работы состояла в определении параметров геометрии вакуумной маски, а также ее расположению в пространстве вакуумной камеры, для получения линейного перестраиваемого фильтра с величиной спектрального градиента равной 20 нм/мм в диапазоне длин волн 400-700 нм.

Для математического расчета вакуумных масок и их влияния на распределение материала на поверхности детали необходимо обратиться к модели Кнудсена (рисунок 1), следующей из молекулярно-кинетической теории. Данная модель описывает распределение потока эмитированных частиц из элемента площади источника dS и подчиняется косинусному распределению и может быть описана следующим выражением:

$$J_{\theta} = \frac{Q}{\pi r^2} \cdot \cos \theta, \quad (1)$$

где Q - скорость эмиссии частиц из элемента площади источника, r - расстояние от элемента площади источника, θ - угол от нормали элемента площади источника.

Для определения плотности частиц конденсирующихся на произвольно расположенном элементе площади поверхности подложки dA из (1) следует следующее выражение:

$$J = \frac{Q}{\pi r^2} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

где φ - угол от нормали элемента площади поверхности подложки.

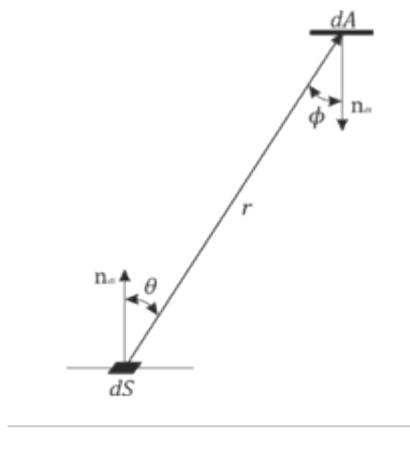


Рисунок 1 – Модель распределения частиц из точечного источника

В работах [3], [4] и [5] вычисление распределения сконденсировавшегося материала на поверхности подложки выполняется аналитическим интегрированием. При этом для системы источник-подложка выводится частная подынтегральная функция из уравнения (2) с учетом всех особенностей системы, таких как: геометрия подложки, геометрия источника, движение подложки относительно источника и др. При внедрении в математическую модель геометрии маски сложность подынтегральной функции значительно возрастает, что применение аналитических методов интегрирования становится затруднительным при проведении моделирования с вариативностью геометрии маски. Для расчета было разработано программное обеспечение, которое вычисляет распределение материала на поверхности численными методами интегрирования. В основу геометрической модели для расчета легла геометрия вакуумного технологического оборудования Advanced Optical Coater (ВТО АОС) производства ООО «ИЗОВАК» [6].

Оптический дизайн был рассчитан в программном комплексе OptiLayer. Формула покрытия описывается следующим выражением: 3(HL)+2H+3(LH)+L+3(HL)+2H+3(LH), где в качестве материала с высоким уровнем показателя преломления (H) выступает Nb_2O_5 , а с низким уровнем показателя преломления (L)- SiO_2 . Для

расчета геометрии вакуумной маски были получены распределения физических толщин материалов для требуемого диапазона перестроения путем сдвига расчетной длины волны покрытия.

Установлено, что для достижения требуемого спектрального градиента требуется обеспечить неравномерность слоев Nb_2O_5 на уровне 48,1%, а SiO_2 на уровне 42,9%. Данные значения свидетельствуют о линейности (рисунок 2) зависимости относительной неравномерности от координаты подложки, а полученное различие объясняется различными характеристиками дисперсии показателя преломления для материалов. Таким образом был получен общий вид геометрии вакуумной маски, представляющий собой в фронтальной проекции равнобедренную трапецию. Изменением угла наклона боковых граней можно управлять распределением материала по поверхности подложки в поперечной оси. Для простоты описания геометрии маски, а также ввиду того что держатель-барабан имеет форму цилиндра геометрия маски во время проведения расчета задавалась в цилиндрических координатах (r, φ, z) (рисунок 3).

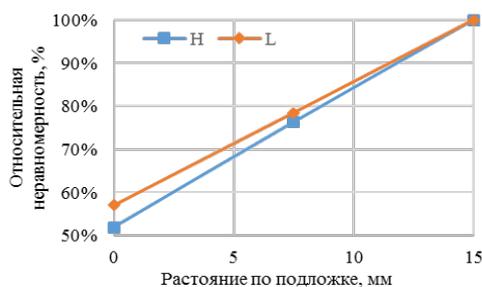


Рисунок 2 - Зависимость относительной неравномерности от расстояния по подложке

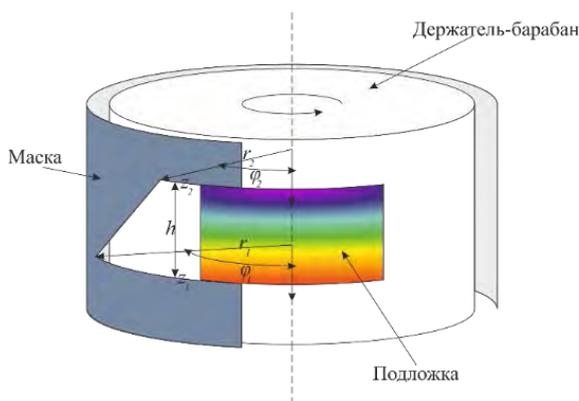


Рисунок 3 – Геометрия маски в цилиндрических координатах

После установки граничных условий на геометрию маски были проведены численные моделирования процессов конденсации пленки с учетом геометрии вакуумной маски. При этом значение полярных углов φ_1 и φ_2 для нижнего и верхнего оснований трапеции задавались для

получения максимального значения коэффициента линейной корреляции r_{XY} (рисунок 4) между расчетной относительной неравномерностью и относительными неравномерностями, полученными в ходе анализа спектральной характеристики при заданном спектральном градиенте. Для нижнего основания трапеции были получены следующие координаты $(210, \pm 15^\circ, 0)$ для H и L, а для верхнего основания $(210, \pm 7^\circ, 30)$ для H и $(210, \pm 6^\circ, 30)$ для L. Величины коэффициентов линейной корреляции для H и L составили $r_{XY}=0,99956$ и $r_{XY}=0,99934$ соответственно.



Рисунок 4 – Зависимость коэффициента линейной корреляции от полярных углов φ_1 - φ_2

Таким образом в ходе работы была показана возможность получения линейных перестраиваемых фильтров на ВТО АОС. Были определены начальные цилиндрические координаты размеров вакуумных масок с минимальным коэффициентом линейной корреляции для материалов с учетом дисперсии показателей преломления для заданного спектрального градиента. Дальнейшим продолжением работы планируется проверка данных полученных в ходе данной работы.

1. Wolfe William L. Introduction to Imaging Spectrometers - Bellingham : SPIE, 1997. – Т. 25.
2. Каширин В. И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
3. Oliver JB и Talbot D Optimization of deposition uniformity for large-aperture National Ignition Facility substrates in a planetary rotation system // Applied Optics. - 2006 г.. - 13 : Т. 45. - стр. 3097-3105.
4. Cunding Liu [и др.] Theoretical design of shadowing masks for uniform coatings on spherical substrates in planetary rotation systems // Optics express. - 2012 г. – 21 : Т. 20.
5. Сенюк Б. Н. Метод определения площади функциональной маски для вакуумной асферизации // Прикладная физика. - 2007 г. –3. - стр. 129-135.