

Созданию крупных инерционных накопителей сопутствуют следующие трудности: сложность повышения удельной энергоемкости маховика; обеспечение безопасности вращающихся маховиков, поскольку осколки разорвавшегося маховика обладают большой убойной силой; необходимость максимального снижения внутренних потерь путем применения специальных подвесок маховиков.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Матюнин С.А., Барынкин В.В.

Вопросам технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей посвящено большое количество работ. При разработке тонкопленочных оптических элементов (спектроформирующих элементов) особый интерес представляет вопрос нанесения многослойных диэлектрических покрытий /1-3/. Среди всего многообразия конструктивных вариантов спектроформирующих элементов наиболее перспективными являются интерференционные.

В ближней инфракрасной и видимой областях спектра спектроформирующие элементы изготавливаются из систем тонких пленок, получаемых осаждением испаряемых в вакууме материалов. Технология изготовления таких систем имеет ряд особенностей. К ним относятся: методы получения высокого вакуума, способы испарения материалов; методы контроля толщины пленок и их оптических постоянных во время осаждения и др. На рисунке 1 приведена схема установки вакуумного осаждения

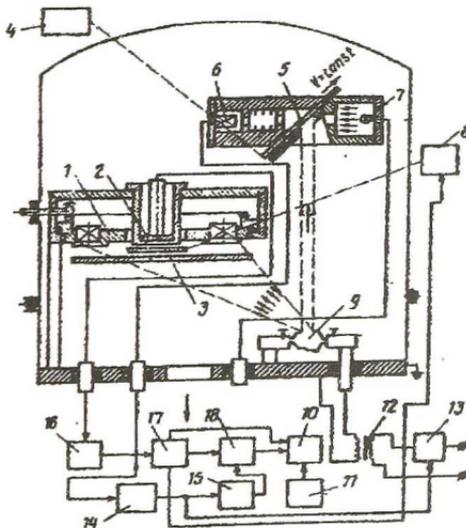


Рисунок 1 – Схема установки вакуумного осаждения оптических пленок

Установка содержит поворотный столик 1, кварцевый резонатор 2 с подвижной заслонкой 3, регулятор движения свидетеля 4, прозрачный подвижный свидетель 5, фотоприемник 6, источник оптического излучения 7, реле заслонки кварцевого резонатора 8, испаритель 9, счетчик маркировочного сдвига частот 10, задатчик 11, блок питания испарителя 12, тиристор 13, усилитель фотоприемника 14, масштабный усилитель 15, измеритель частоты кварцевого резонатора 16, задатчик маркировочного сдвига частот 17 и реле времени 18. Поворотный столик 1 с кварцевым резонатором 2, закрыт подвижной заслонкой 3 и подвергается запылению потоком материала формируемой пленки. Часть этого потока оседает на прозрачный свидетель 5, оптическая плотность которого контролируется с помощью фотоприемника 6. Перед началом формирования пленок включают блок питания испарителя 12. Нагревающийся испаритель 9 разогревает помещенный в него материал до температуры кипения. Пары материала образуют поток частиц, нестабильный в начальной стадии процесса напыления. В это время измерительная часть устройства выключена, а подвижная заслонка 3 кварцевого резонатора 2 находится в закрытом положении. Затем включается источник оптического излучения 7, фотоприемник 6 с усилителем 14 и с помощью регулятора движения свидетеля 4 задается равномерное перемещение свидетеля 5. После стабилизации режима испарения, определяемого постоянством сигнала с усилителя фотоприемника 14, устанавливают оптимальную скорость движения свидетеля 5 с помощью регулятора движения свидетеля 4. Оптимальной для проведения процесса измерения скоростью является скорость, при которой сигнал, регистрируемый усилителем фотоприемника 14, является минимальным.

После этого включается измерительная часть устройства, открывается подвижная заслонка кварцевого резонатора 2, и начинается процесс измерения толщины пленки. В процессе осаждения пленки на кварцевом резонаторе 2 изменяется его масса, возникает сдвиг резонансной частоты, который регистрируется измерителем частоты 16. Величина сдвига резонансной частоты передается измерителем частоты 16 на задатчик маркировочного сдвига частот 17. При достижении оптимальной для измерения заранее заданной величины маркировочного сдвига частот задатчик 17 посылает через реле заслонки 8 команду на привод заслонки 3, и заслонка 3 перекрывает кварцевый резонатор от дальнейшего запыления. Параллельно с этим, задатчик 17 маркировочного сдвига частот посылает команду на реле времени 18, которое было включено одновременно с задатчиком маркировочного сдвига частот. При этом реле времени 16 фиксирует период, требуемый для получения маркировочного сдвига частот. Одновременно с этим реле времени 18, подключенное к масштабному усилителю 15, воспринимает сигнал от усилителя фотоприемника 14 через масштабный усилитель 15. При наличии нестабильности, которая мо-

жет возникнуть от тепловой инерционности испарителя 9, реле времени 16 воспринимает сигнал, нестабильность которого обратно пропорциональна нестабильности сигнала усилителя 14. При этом изменяется период работы реле времени. В результате этого погрешности в измерении, вызванные нестабильностью сигнала усилителя фотоприемника 14, не возникают. Счетчик маркировочного сдвига частот 10, воспринимая команды от задатчика 17 и реле 16, считает число циклов, требуемых для получения маркированного сдвига частот и измеряет толщину пленки. Задатчик счетчика 11 снабжен устройством для установки толщины пленки. При получении заданной толщины задатчик 11, подключенный к счетчику 10, выдает команду на завершение процесса напыления.

Большое влияние на погрешность формирования спектральных характеристик СФЭ оказывает равномерность наносимых на поверхность подложки интерференционных слоев.

Известно, что по закону Кнудсена-Ламберта количество частиц, попадающих на подложку при испарении из точечного источника прямо пропорционально косинусу угла отклонения потока частиц от нормали и обратно пропорционально квадрату расстояния от испарителя до подложки (реальные испарители отличаются от точечных источников и каждый из них характеризуется своей диаграммой направленности) /2/.

Согласно /3/, толщина пленки вещества, получаемого от точечно испарителя, определяется выражением:

$$h(x,y) = I_0 H^2 t / \rho ( (x-X)^2 + (y-Y)^2 + H^2 )^2, \quad (1)$$

где  $I_0$  — интенсивность потока вещества,  $H$  — расстояние между испарителем и подложкой,  $t$  — время,  $\rho$  — плотность вещества,  $X$ ,  $Y$  — пространственное смещение центров испарителя и подложки. На рисунке 2 изображен график функции (1).

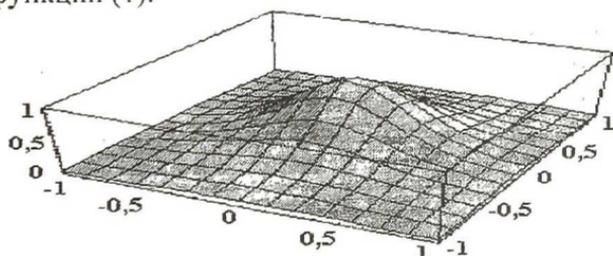


Рисунок 2 - Профиль пленки, получаемой из точечного испарителя

Из рисунка видно, что диаграмма направленности точечного испарителя резко неравномерная. Очевидно, что требуется применение специальных мер для ее выравнивания.

Известны различные приемы, позволяющие обеспечить требуемую равномерность пленочных покрытий /2, 3/. На рисунке 3 изображена

схема установки вакуумного нанесения покрытий с подвижными выравнивающими заслонками.

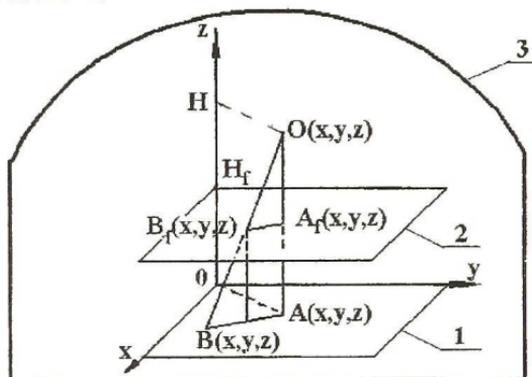


Рисунок 3 - Схема установки с подвижным профилированным экраном :  
1 – плоскость подложки; 2 – плоскость заслонки; 3 – колпак; 0 – испаритель

В установке использованы две профилированных заслонки, совершающие поочередно равномерное движение вдоль осей  $X, Y$ .

Время, в течение которого путь от испарителя до подложки открыт можно определить через скважность – отношение времени  $t_{откр}$ , в течение которого заслонка не перекрывает поток к периоду  $T$  движения заслонки:

$$Q(x) = 1 - f(x) / VT, \quad Q(y) = 1 - f(y) / VT,$$

где  $V$  - линейная скорость движения заслонки,  $f(x)$ ,  $f(y)$  – профили заслонок вдоль осей  $X, Y$ .

Тогда толщина пленки, получаемая при движении заслонок  $h(x,y)$ , выражается через толщину пленки, получаемой в отсутствии заслонок  $h_u(x,y)$ , следующим образом:

$$h(x,y) = h_u(x,y)(Q(x) + Q(y)).$$

С учетом независимости движения заслонок несложно определить необходимую форму профиля заслонок для заданного закона изменения толщины пленки:

$$f(x) = VT(1 - h(x) / 2 h_u(x)), \quad f(y) = VT(1 - h(y) / 2 h_u(y)) \quad (2)$$

Положив в (2)  $h(x) = Const$ ,  $h(y) = Const$ , получим выражение для профиля заслонки, выравнивающей неравномерность точечного источника:

$$f(x) = VT(1 - h_0 \rho((x-X)^2 + Y^2 + H^2) / 2 I_0 H^2), \\ f(y) = VT(1 - h_0 \rho(X^2 + (y-Y)^2 + H^2) / 2 I_0 H^2).$$

На рисунке 4 а) изображен профиль заслонки, выравнивающей диаграмму направленности точечного испарителя.

Положив в (2)  $h(x) = h_0 + h_1 x$ ,  $h(y) = h_0 + h_1 y$ , получим выражение для профиля заслонки, выравнивающей неравномерность точечного

источника и реализующей линейную зависимость толщины напыляемой пленки:

$$f(x) = VT(1 - (h_0 + h_1x) \rho( (x-X)^2 + Y^2 + H^2 )^2 / 2 I_0 H^2,$$

$$f(y) = VT(1 - (h_0 + h_2y) \rho( X^2 + (y-Y)^2 + H^2 )^2 / 2 I_0 H^2$$

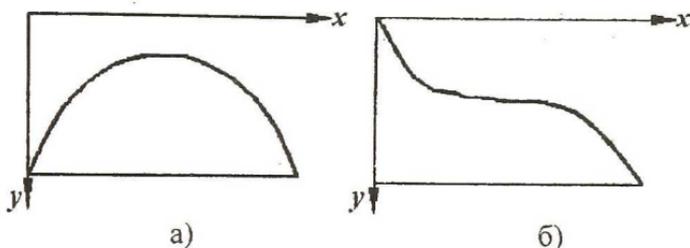


Рисунок 4 – Профили заслонок

На рисунке 4 б) изображен вид профиля заслонки, выравнивающей диаграмму направленности точечного испарителя и одновременно реализующий линейную зависимость толщины напыляемой пленки.

Для реальных испарителей диаграмма направленности может существенно отличаться от диаграммы точечного испарителя. Однако, выше рассмотренным методом неравномерность диаграммы можно легко исправить.

#### Список использованных источников

1. Хансперджер Р. Интегральная оптика: теория и технология. –М.: Мир. –1992
2. Зернике Ф. Технология изготовления и измерения параметров элементов интегральной оптики. –М.: Наука. –1989.
3. Фурман Ш.А. Тонкослойные оптические покрытия. –Л.: Машиностроение. 1977.-263с.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ЖИДКОСТЯХ

Строгонов С. И.

В авиационной и космической технике широко распространены гидросистемы различного назначения. В процессе эксплуатации в рабочих жидкостях происходит накопление твердых частиц, вследствие чего снижается надежность и долговечность техники. Контроль содержания дисперсной фазы в жидкости позволяет осуществлять диагностику состояния узлов гидросистемы в процессе эксплуатации гидросистем.

Наиболее распространенным методом анализа является анализ проб жидкости при помощи микроскопа. Этот метод обладает целым рядом существенных недостатков: на осуществление анализа тратится большое количество времени, необходим персонал с высокой квалификацией, невозможно произвести анализ большого объема жидкости, отбор пробы также представляет трудности, особенно в системе с высоким давлением и является источником дополнительной погрешности. Одним из перспек-