

УДК 681.7.026.6

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

В. С. ТОМАЛЬ¹, Н. К. КАСИНСКИЙ¹⁺, И. В. ИВАНОВ²

¹ РУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», ул. Филимонова, 25, 220114 г. Минск, Беларусь.

² УО «Белорусский национальный технический университет», ул. Франциска Скорины, 25, корп. 3, 220114 г. Минск, Беларусь.

Проанализированы факторы воспроизводимости свойств оптических вакуумных покрытий, оценено их влияние на оптическую толщину покрытия. Установлена зависимость воспроизводимости при нанесении покрытий на ненагретые и нагретые детали, а также от положения детали на приемной поверхности.

Введение

Воспроизводимость свойств оптических вакуумных покрытий (ОВП) является важной характеристикой современной вакуумной установки. Обычно эту величину количественно не определяют.

Процесс нанесения ОВП определяется рядом контролируемых или заданных и неконтролируемых факторов.

К контролируемым факторам относятся:

- 1) давление;
 - 2) температура;
 - 3) скорость напыления;
 - 4) толщина покрытия;
 - 5) геометрические размеры напыляемой детали;
 - 6) характеристики пленкообразующих материалов;
 - 7) форма и геометрические размеры приемной поверхности;
 - 8) взаимное геометрическое расположение источников испарения, нагревателя и приемной поверхности;
 - 9) движение детали;
 - 10) мощность испарителя и нагревателя;
 - 11) технологические газы;
 - 12) качество поверхности детали;
 - 13) коррекция потока испаряемого вещества.
- Неконтролируемые факторы:
- 1) плотность пленки;
 - 2) концентрация дефектов;
 - 3) угол падения потока пара на деталь;
 - 4) размеры кристаллов, текстура;
 - 5) отклонение от стехиометрии;

- 6) профиль покрытия;
- 7) остаточная атмосфера;
- 8) термообработка пленки;
- 9) адгезия;
- 10) конденсация;
- 11) показатель преломления.

И в итоге все эти факторы влияют на спектральные характеристики, механическую и лучевую прочность, повторяемость процесса формирования ОВП и на коэффициент полезного действия солнечных элементов.

Анализ и влияние факторов на воспроизводимость оптической толщины вакуумных покрытий

Известно, что конденсированные пленки состоят из столбчатых кристаллитов, оси которых направлены перпендикулярно плоскости подложки [1, 2].

При нанесении покрытий изменяется угол падения потока пара пленкообразующего материала на подложку, т.е. реализуется наклонное падение, в этом случае возникает эффект самозаменения [1], увеличивается концентрация пор в пленке. Таким образом, плотность пленки является величиной переменной и относится к неконтролируемым параметрам. Пленки получают в условиях значительного переохлаждения, что определяет особенности кристаллической структуры пленок.

Размеры кристаллитов, их ориентация относительно плоскости подложки, плотность пор и термообработка пленок относятся к неконтролируемым факторам.

Кристаллизация пленок является вероятностным процессом, в связи с этим воспроизводимость можно определить как доверительную вероятность [3].

Для оценки случайной погрешности определяют среднеквадратичную погрешность.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}},$$

где \bar{x} – среднееарифметическое значение измеряемой величины; x_i – текущее значение измеряемой величины; n – количество точек в интервале.

При нанесении ВОП важно знать воспроизводимость оптической толщины как в одном технологическом процессе в разных местах приемной поверхности, так и от процесса к процессу.

Оптическую толщину покрытия определяли по положению λ_{\max} узкополосного фильтра. На детали диаметром 40 мм наносили 13-слойный узкополосный фильтр 2-го порядка на основе оксидов ZrO_2 и SiO_2 .

Оптическую толщину определяли в 5 точках сферической приемной поверхности (рис. 1).

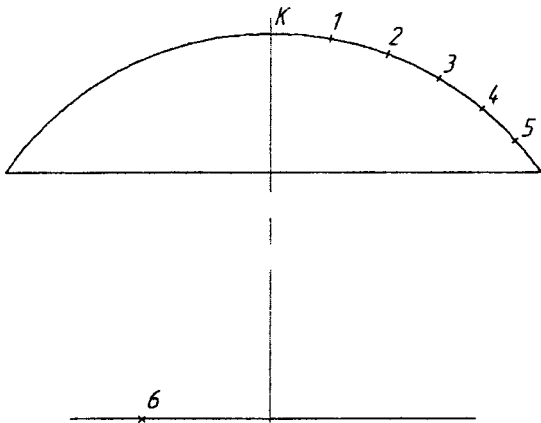


Рис. 1. Условное изображение вакуумной камеры: К – вершина купола; 1, 2, 3, 4, 5 – места расположения деталей; б – испаритель

Фильтры напыляли на ненагретые и нагретые до 300 °С детали. Воспроизводимость свойств ВОП определялась для одного технологического процесса и от процесса к процессу для разных значений доверительного интервала изменения оптической толщины: $\pm 1,5\%$; $\pm 2\%$; $\pm 3\%$ [4].

Для деталей, расположенных на сферической приемной поверхности, воспроизводимость свойств в одном процессе при напылении на нагретые детали составляет – 84%, а при напылении на ненагретые – 99%.

При определении воспроизводимости от процесса к процессу следует отметить, что воспроизводимость зависит от положения детали на приемной поверхности и уменьшается последовательно от образца к образцу при напылении на ненагретые детали (рис. 2, а), при напылении на

нагретые детали характер изменяется на противоположный (рис. 2, б).

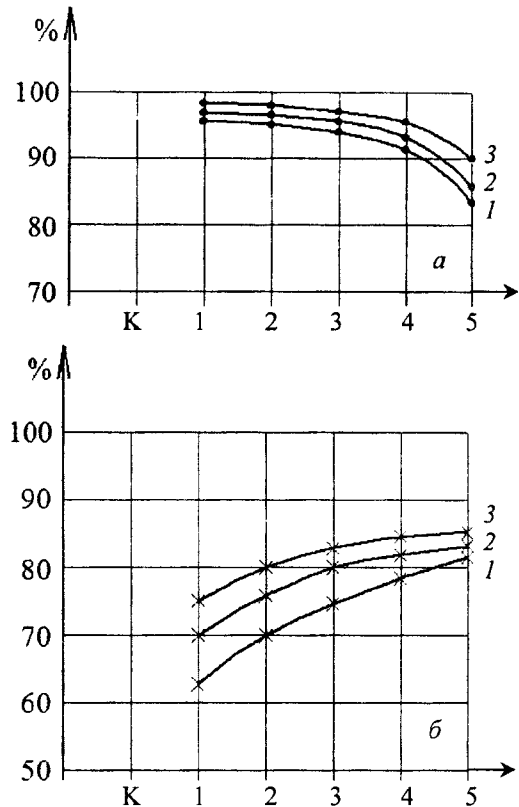


Рис. 2. Зависимость воспроизводимости от положения детали на сферической приемной поверхности при напылении на ненагретые (а) и нагретые детали (б): 1 – $\pm 1,5\%$; 2 – $\pm 2\%$; 3 – $\pm 3\%$

Эксперименты проводились на современной вакуумной установке модели ВУ-3 (рис. 3).

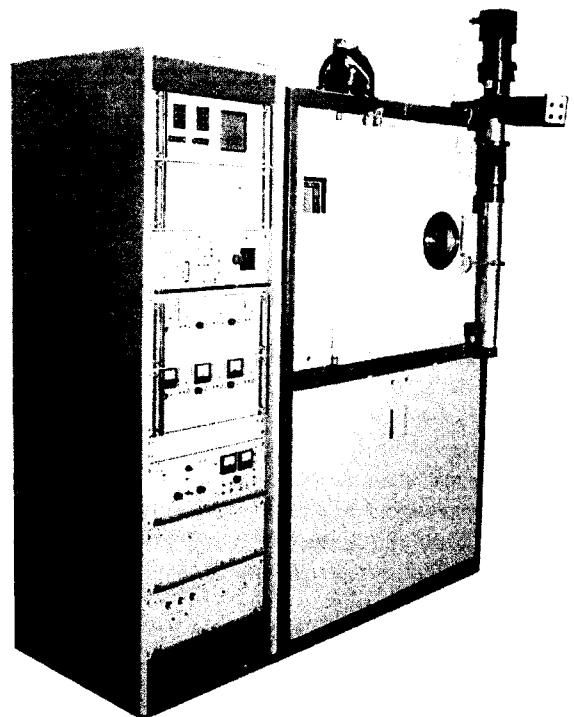


Рис. 3. Общий вид вакуумной установки ВУ-3

Заключение

Таким образом, проведена экспериментальная оценка воспроизводимости оптической толщины вакуумных покрытий и установлено, что она уменьшается при переходе к нагревной технологии. Это вполне закономерный процесс, так как трудно учитывать характер превращений в пленке при термообработке, т.е. добавляется еще один фактор неопределенности в технологическом процессе. Введена количественная мера воспроизводимости, что позволяет ее учитывать в реальном технологическом процессе.

Литература

1. Martin, P.J. Vacuum / P.J. Martin. – 1986. – № 10. – С. 36.
2. Тонкие поликристаллические и аморфные пленки. Физика и применение / Под ред. Л. Казмерски. – М: Мир, 1987. – С. 218.
3. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А.Н. Зайдель. – 1985. – С. 39.
4. Горелик, Г.Е. Особенности нагрева деталей в вакуумной камере / Г.Е. Горелик, Т.И. Демидович, В.Т. Лейцина, О.М. Лексакова, Ж.П. Трофимова, В.М. Холодов // Оптико-механическая промышленность. – 1989. – № 8. – С. 38–40.

Tomal V. S., Kasinsky N. K., and Ivanov I. A.
Precision optical properties vacuum coatings.

The analysis factors affecting reproducibility of optical vacuum coating, to assess their impact on the optical thickness of the coating. The dependence of the reproducibility of the coating of the heated and unheated parts as well as the position of the parts on the receiving surface.

Поступила в редакцию 05.02.2013.

© В. С. Томаль, Н. К. Касинский, И. В. Иванов, 2013.