

#### **2.1.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПЛЕНОК**

**Цель лабораторной работы:** изучение способов контроля и измерения геометрических (толщина) и физических (адгезия) характеристик тонкопленочных покрытий, сформированных различными методами.

##### **Задание по лабораторной работе**

1. Изучить на практике общую конструкцию интерференционного микроскопа МИИ-4М с фотоэлектрическим микрометром и адгезиметра Elcometer.

2. Изучить базовые принципы работы с автоматизированной программой вычисления микроинтерферометра МИИ-4М в режиме измерения толщины тонкопленочного покрытия.

3. На полученных в лабораторной работе № 3 образцах провести измерения толщины и адгезии тонкопленочного покрытия.

4. Выполнить анализ полученных результатов адгезии и толщин, сравнение с расчетными значениями, полученными в лабораторной работе № 3.

5. Сформулировать краткие выводы по лабораторной работе, оформить отчет и представить его к защите.

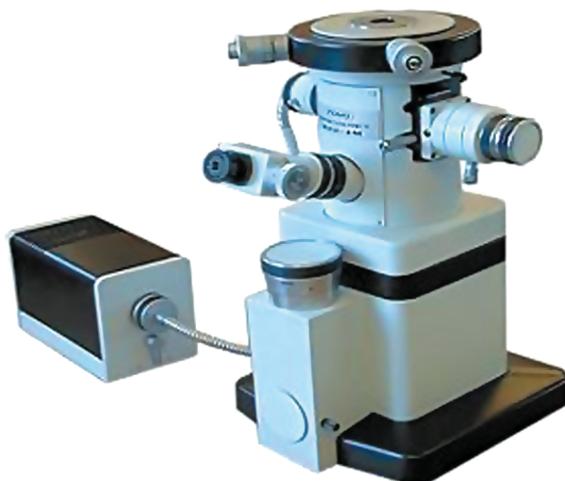
##### **Теоретическая часть**

##### **Изучение принципов работы интерференционного микроскопа МИИ-4М**

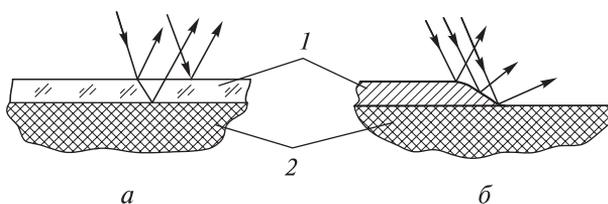
Интерференционный метод позволяет оценить толщину прозрачных и непрозрачных пленок, нанесенных на подложку в диапазоне 100...1000 нм. Интерференционный метод реализуется с помощью микроскопа МИИ-4М (рис. 2.11). Действие прибора основано на многолучевой интерференции света, получаемой разделением пучка лучей, исходящего из одной точки источника света, на два пучка (рис. 2.12). В точках поля, где разность хода кратна половине длины волны, в результате сложения двух систем волн в фокальной плоскости окуляра наблюдаются интерференционные полосы в виде темных линий. Пучок интерферируемого света, попадая на прозрачный слой, приводит к появлению двух групп полос, а попадая на ступеньку из непрозрачного слоя — вызывает искривление системы полос (рис. 2.13).

Толщина прозрачного тонкопленочного покрытия

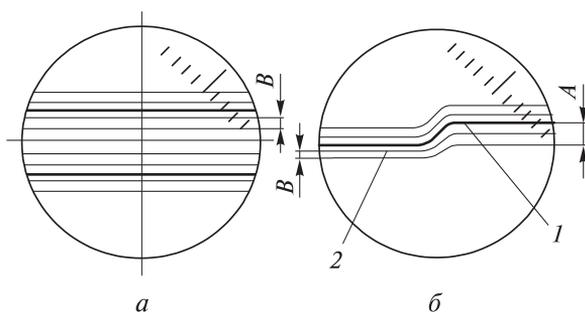
$$D = k \frac{\lambda}{2n}, \quad (2.9)$$



**Рис. 2.11.** Внешний вид интерференционного микроскопа МИИ-4М



**Рис. 2.12.** Схема измерения толщины пленок:  
*a* — прозрачных; *б* — непрозрачных; 1 — пленка;  
 2 — подложка



**Рис. 2.13.** Поле зрения окуляра микроскопа МИИ-4 при измерении толщины пленок:  
*a* — прозрачных; *б* — непрозрачных; 1 — пленка;  
 2 — подложка

где  $A$  — расстояние между двумя системами полос;  $B$  — расстояние между отдельными полосами;  $k$  — коэффициент, зависящий от длины волны света;  $n$  — показатель преломления пленки.

Толщина непрозрачного тонкопленочного покрытия

$$D = k \frac{A}{B}, \quad (2.10)$$

где  $A$  — значение искривления системы полос.

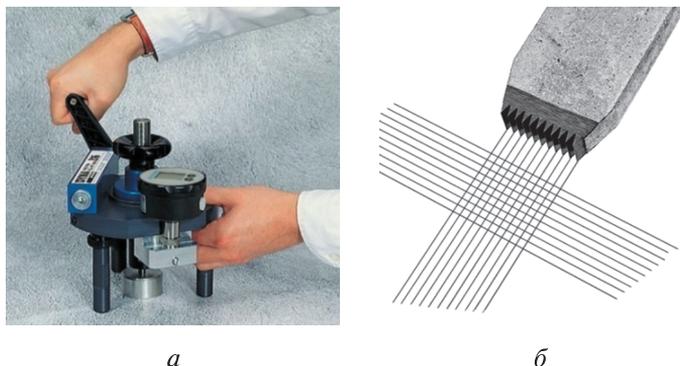
Коэффициент  $k = 0,27$  для белого света,  $0,295$  — для желтого,  $0,265$  — для зеленого.

### Методы измерения адгезии

Наиболее распространенные способы контроля адгезии: метод отрыва и метод скрайбирования. Метод отрыва выявляет количественное значение адгезии в МПа, а скрайбирование дает качественную оценку адгезионной прочности.

При исследовании покрытия методом отрыва на образец с пленкой наклеивают специальные элементы — грибочки, которые впоследствии отрывают адгезиметром (рис. 2.14, *а*), в результате чего регистрируют приложенную для отрыва силу.

Метод скрайбирования заключается в нанесении на поверхность пленки серии поперечных насечек движущейся иглой, на которую действует вертикальная нагрузка (рис. 2.14, *б*). Далее на зону с насечками плотно приклеивают клейкую ленту и быстро удаляют. Оставшиеся после отклеивания ленты сегменты пленки показывают качественную картину проведенного



**Рис. 2.14.** Приспособления для оценки адгезионной прочности покрытий методами отрыва (*а*) и скрайбирования (*б*)

контроля, которую оценивают по классификации ISO. Поскольку метод скрайбирования качественный, для оценки адгезии необходимо провести серию экспериментов, чтобы оценить, в каком случае адгезия выше.

### Измерение адгезии

Адгезия измеряется качественным методом скрайбирования адгезиометром Elcometer 107 (рис. 2.15).

Измерение проводится в следующей последовательности.

1. При измерении следует поместить режущую кромку адгезиометра перпендикулярно на образец, аккуратно надавить и потяните инструмент к себе одним плавным движением, чтобы сделать серию параллельных насечек длиной примерно 20 мм (рис. 2.16). Необходимо приложить достаточное усилие, чтобы прорезать покрытие до подложки.



Рис. 2.15. Адгезиометр Elcometer 107

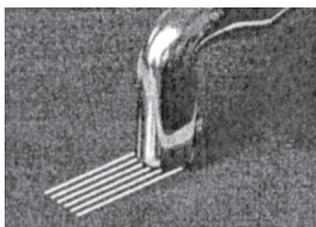


Рис. 2.16. Параллельные насечки

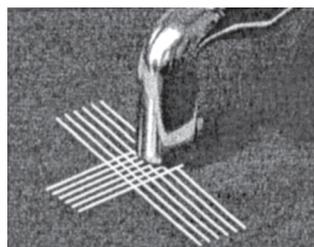


Рис. 2.17. Решетчатый узор на образце

2. Затем поместить режущий инструмент на образец под углом  $90^\circ$  к первому разрезу и создать решетчатый узор на покрытии (рис. 2.17).

3. Далее очистить поверхность щеткой, и удалить мусор, проверьте, чтобы насечки были нанесены насквозь до подложки (рис. 2.18).

4. Выбрать подходящую клейкую ленту, отрезать кусок длиной примерно 75 мм.

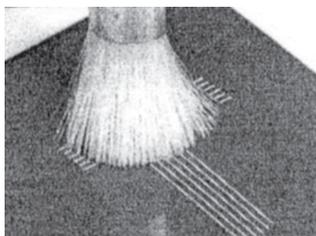


Рис. 2.18. Очистка поверхности образца

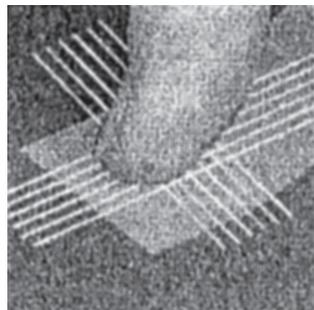
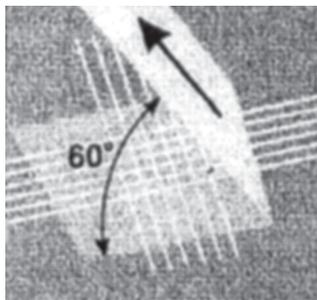


Рис. 2.19. Наклеивание и разглаживание ленты на образец



**Рис. 2.20.** Отклеивание ленты

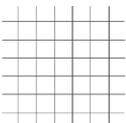
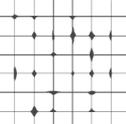
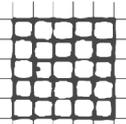
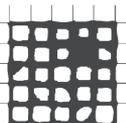
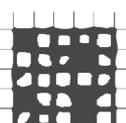
Отцентрировать отрезанный кусок ленты над решеткой и разгладить на месте пальцем (рис. 2.19).

5. Удалить ленту, плавно потянув под углом  $60^\circ$  (рис. 2.20).

6. Оценить адгезию покрытия, сравнив решетку разрезов с классификацией адгезии ISO (табл. 2.1).

*Таблица 2.1*

**Классификация адгезии ISO**

Поверхность	Описание	ISO
	Покрытие полностью осталось на подложке	0
	Не более 5 % покрытия было удалено	1
	5–15 % покрытия было удалено	2
	15–35 % покрытия было удалено	3
	35–65 % покрытия было удалено	4
—	Более 65 % покрытия было удалено	5

## Контрольные вопросы

**1. В каком диапазоне толщин тонких пленок возможно измерено интерференционным микроскопом?**

- а) от 100 до 1000 нм;
- б) от 10 до 100 нм;
- в) от 10 до 1000 нм.

**2. Какой характеристикой является адгезия?**

- а) энергетической;
- б) геометрической;
- в) математической.

**3. Какой метод дает численное (количественное) значение показателя адгезии?**

- а) метод отрыва;
- б) метод скрайбирования;
- в) оба метода.