

УДК. 535.854.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОЛОС ИНТЕРФЕРЕНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЭОП ТИПА ПИМ-3

В.А.Араджони, Н.А.Мещеряков.

В работе рассматривается метод измерения кинетики роста тонких пленок для элементов IV и VI групп таблицы Менделеева. Дано описание электронно-оптической системы по измерению кинетики роста. Описанные метод и аппаратура позволяют исследовать процессы роста в течение 10^{-6} - 10^{-1} сек. при толщинах пленки 10^2 - 10^4 Å.

1. В в е д е н и е

Метод измерения очень тонких пленок до 10^0 Å был описан в ряде работ [1,2,3]. Однако в этих работах рассматривается кинетика малых скоростей роста пленок. Метод измерения этих пленок поляризационный, эллисометрический, и для его применения необходима очень совершенная оптическая аппаратура. Однако на практике в большинстве случаев требуется исследовать кинетику значительных скоростей роста пленок, которые характерны для методов газотранспортного химического наращивания и наращивания из расплавов. Особо следует отметить метод выращивания пленок при условиях импульсных химических реакций в плазме [4]. Во всех таких практических случаях необходимы измерения кинетики роста пленок. В работе [5] рассмотрен интерференционный метод определения времени зарождения тонких диэлектрических и п/п пленок, измерения их толщины до $\frac{\lambda}{4n}$, где

n - показатель преломления пленки. Но, к сожалению, в этом методе отсутствует динамика измерения за малые промежутки времени. Наличие высокой плотности однородных элементов вычислительной среды требует разработки методов определения степени однородности этих элементов, что неизбежно предполагает контроль таких элементов по толщине за возможно малые промежутки времени.

Цель настоящей работы - изложение метода измерения кинетики роста тонких пленок (толщина 10^2 - 10^4 Å) за время 10^{-6} - 10^{-1} сек.

II. Описание метода измерения кинетики роста тонких пленок

В рассматриваемом методе система локализации интерференционных полос имеет линии равной толщины (см. рис.1).

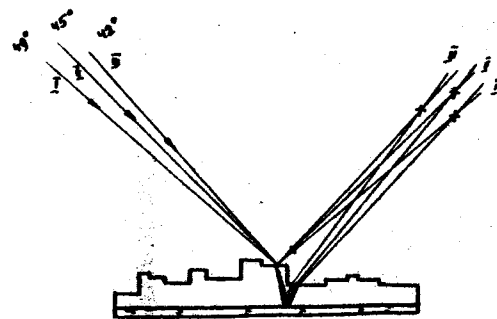


Рис.1. Схема локализации полос равной толщины: XX - показано образование поля локализации.

Каждой точке интерференционного поля соответствует определенная разность хода δ , равная разности оптических путей интерферирующих в этой точке лучей. Интерференционная полоса соединяет точки поля, для которых $\delta = \text{const}$. Вычислив δ для всех точек поля, определим форму полос и их распределение по полю. Расчет ведется по формуле:

$$\delta = 2 \cdot d \cdot n \cdot \cos \tau \left\{ 1 - \frac{\sin i \cdot \cos i}{n^2 - \sin^2 i} \cdot \frac{[1 - \cos(\alpha - i)]}{\sin(\alpha - i)} \right\},$$

где i - угол падения интерферирующего луча;
 τ - угол преломления;
 d - толщина пленки;
 n - коэффициент преломления пленки;
 α - угол отражения интерферирующего луча.

Полученное путем несложных геометрических расчетов значение δ для заданного интервала микронеровностей пленки d приведено в таблице.

Изменение разности хода интерферирующих лучей в зависимости от толщины пленки

$d(\mu)$	0,01	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta(\mu)$	$4 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$	$24 \cdot 10^{-4}$	$32 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	$80 \cdot 10^{-4}$	$160 \cdot 10^{-4}$	$240 \cdot 10^{-4}$	$320 \cdot 10^{-4}$	$400 \cdot 10^{-4}$

Форма полос определяется их направлением в каждой точке поля зависимостью $y' = -\frac{\delta'}{\delta''}$, называемой угловым коэффициентом касательной к интерференционной полосе. Ширина полос определяется зависимостью $e = \frac{\lambda}{\omega}$ (мм), где λ - длина волны луча; ω - угол сходимости интерференционных лучей.

Критическая величина смещения интерференционных полос, при которой контраст интерференционной картины падает до нуля и полосы перестают быть видимыми, определяется соотношением $y_c = \frac{1}{2} e$ (мм). Критическая величина угла исчезновения интерференционных полос определяется соотношением $\omega_{cr} = \frac{y_c}{S}$, где S - расстояние от пленки до локализованного интерференционного поля (ЛИП).

Для описываемого устройства измерения кинетики роста тонких пленок (рис.2) яркость ЛИП определяется освещенностью в светлых полосах и рассчитывается как энергетическая плотность светового потока F в плоскости изображения объектива ТШ-2 с учетом коэффициента отражения от пленки ρ и коэффициента пропускания τ плоскопараллельных пластин Жамена и объектива ТШ-2 по формуле:

$$B_{slf} = F_{slf} = \frac{F \cos \alpha \cdot \rho \cdot \tau}{\omega \cdot l^2}.$$

Яркость ЛИП в нашем конкретном случае $B_{slf} = 160$ лк. Контрастность ЛИП в плоскости объектива ТШ-2 характеризуется значением

$$K = \frac{E_n - E_m}{E_n + E_m},$$

где E_n - максимальное значение освещенности, соответствующее самой яркой светлой интерференционной полосе; E_m - минимальное значение освещенности, соответствующее самой яркой темной полосе.

Расчет проводится по правилу Эри [6] и для нашего случая имеет значение $K=0,96$, отвечающее достаточно хорошей контрастности. Достигается это благодаря использованию умножающей интерферен-

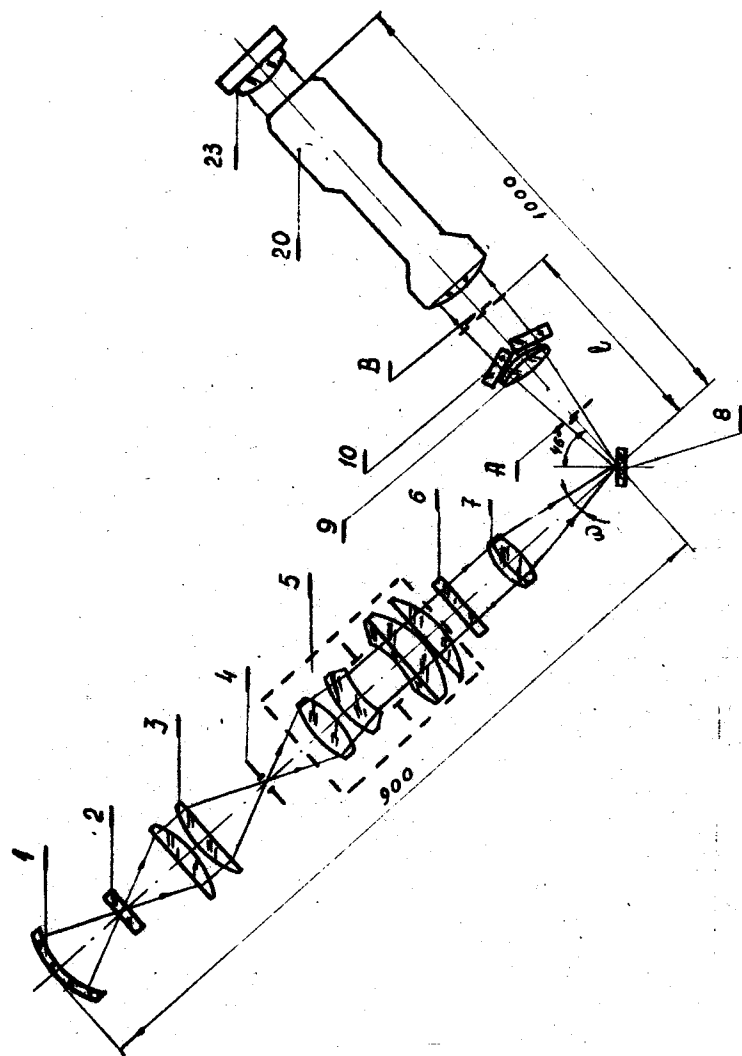


Рис.2. Электронно-оптическая система по измерению кинетики роста тонких пленок.

ции в проходящем свете (пластин Жамена), позволяющих улучшить контрастность ЛИП за счет появления резких полос.

III. Устройство и принцип действия электронно-оптической системы (ЭОС) по измерению кинетики роста тонких пленок

На рис.2 показано устройство системы, состоящее из узлов:

I. оптического, который служит для создания источника монохроматических лучей и локализации интерференционного поля (ЛИП); 2. электронно-оптического, который регистрирует ЛИП импульсным преобразователем типа ПИМ-3.

Работа узлов системы состоит в том, что пучок света от источника (2), расположенного в фокусе вогнутого зеркала (1) и конденсора (3), через диафрагму поля зрения (4), расположенную в фокальной плоскости конденсора и второго фокуса объектива (5), объектив "Телиос-40" (5), интерференционный фильтр SiF, объективом (7) направляется на исследуемую пленку (8) и взаимодействует с ней. В результате взаимодействия получается некоторое пространственное распределение интерференционного поля, называемое ЛИП (А). Полученное ЛИП с помощью линзы (9) и пластин Жамена (10) переносится на экран ЭОП ПИМ-3 путем совмещения фокальной плоскости линзы (9) с ЛИП (В). ЭОП позволяет осуществить многокадровую развертку светового сигнала исследуемого процесса [8] в динамике. Осуществляется это за счет двойного преобразования по аналогии: световое изображение — электронное — световое. Электронная оптика осуществляет развертку изображения в виде кадров по экрану. Изображение кадров, полученное на экране ЭОП, фотографируется на пленку. Такая система позволяет осуществить регистрацию изменения интерференционных полос за время 10^{-6} сек, что характерно для работы ЭОП в этом режиме [8]. По известным формулам [9] определяем кинетику роста пленки, исходя из смещения интерференционных полос.

IV. В ы в о д ы

Предлагаемый метод и описание ЭОС позволяют производить исследования кинетики роста диэлектрических и п/п пленок элементов IV и VI групп таблицы Менделеева за малый промежуток времени 10^{-6} – 10^{-1} сек и могут быть использованы для изучения условий адсорбции гетерополярных молекул на этих пленках.

Л и т е р а т у р а

1. Tronstad, Höverstad. Z. phys. chem. 170. 173. 1934.
2. Tronstad, 1931, Det. Kong. Norske vidensk. selskabs, sk.,
№ 1, Trondheim.
3. П.ДРУДЕ. Оптика. Онти, 1935.
4. Н.А.МЕЩЕРЯКОВ, Р.И.СОЛОУХИН, Т.А.ШАРАПОВА. - ДАН СССР, 177,
1383, 1967.
5. Э.Н.МАЛЬКОВ, А.В.РАКОВ. Оптика и спектроскопия, Том ХУШ,
1965, вып. 4. .
6. А.И.ТУДОРОВСКИЙ. Теория оптических приборов, АН СССР, 1937.
7. А.Н.ЗАХАРЬЕВСКИЙ. Интерферометры, Оборонгиз, 1952.
8. Н.А.МЕЩЕРЯКОВ, П.П.КУШКОВ. ПТЭ, 1967, вып. 4, стр. 214.
9. R.W.Pohl, Einführung in die optik, Berlin. 1940.

Поступила в редакцию
5.VI.1968.