

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ ВВОДА ЗОНДИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Рассмотрены особенности и границы применимости метода контроля параметров наноразмерных металлических покрытий, основанного на обработке измеренной угловой зависимости коэффициента отражения поляризованного лазерного пучка от тонкопленочной структуры.

Ключевые слова: рефлектометрия, контроль параметров металлических тонких пленок, погрешности измерений.

The features of determination of the parameters of films on the substrates are considered. The technique is based on the measurement of the angular dependence of the energy reflection coefficient of the polarized light beam at thin-film structure.

Keywords: reflectometry technique, testing of metal thin film parameters, measurement errors.

Развитие тонкопленочных технологий стимулирует разработку новых и совершенствование известных методов неразрушающего контроля свойств многослойных структур. При этом актуальна проблема прецизионного определения толщины и показателя преломления слоев, составляющих эти структуры. Методы рефлектометрии, основанные на анализе угловых распределений коэффициента отражения пучков зондирующего излучения, позволяют осуществлять контроль указанных параметров. Однако ее возможности в случае исследования свойств наноразмерных структур исследованы мало, что во многом обусловлено высокими требованиями к точности измерения параметров таких структур. В то же время оптический контроль наноразмерных металлических покрытий представляет определенный интерес для микроэлектроники.

Данная работа посвящена решению задачи оптимизации положения точки ввода зондирующего излучения в оптической рефлектометрии и ана-

лизу его влияния на точность определения параметров тонких металлических слоев на подложке. Принципиальная схема установки для измерения распределения $R(\gamma)$ приведена на рисунке 1.

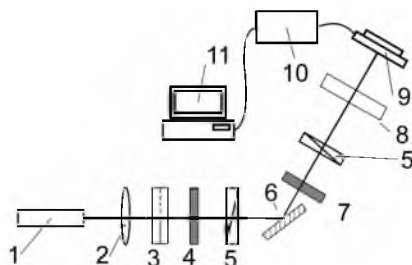


Рис. 1. Схема установки для измерения угловой зависимости коэффициента отражения светового пучка: 1 – источник излучения, 2 – коллиматор, 3 – делитель пучка, 4, 7 – аттенуатор, 5 – поляризатор, 6 – тонкопленочная структура на подложке, 8 – модулятор, 9 – фотоприемник, 10 – аналогово-цифровой преобразователь, 11 – персональный компьютер

В представленной схеме лазерный пучок падает на тонкопленочную структуру 6, установленную на поворотном столике. Угол падения пучка на образец изменяется с помощью шагового двигателя. Зависимость $R(\gamma)$ регистрируется фотоприемником 9, синхронно перемещаемым вторым шаговым двигателем, путем измерения мощности светового пучка, отраженного от образца и мощности падающего пучка, которая контролируется вторым фотоприемником. После цифровой обработки сигнал поступает в оперативную память компьютера. Измерения проводились с использованием лазерного пучка ТМ-поляризации с длиной волны 633 нм, шаг дискретизации угла γ составлял 20 секунд. Результаты измерений $R(\gamma)$ представлены на рис. 2, из которого следует, что указанное распределение имеет высокую чувствительность к толщине наноразмерной металлической пленки.

В то же время при позиционировании образца на поворотном столе были выявлены некоторые проблемы, связанные с установкой поверхности образца в центре стола. При отклонении образца от оси вращения возникает погрешность измерения угла, а следовательно, и зависимости $R(\gamma)$. Последнее приводит к ошибкам в решении обратной задачи и обуславливает погрешности измерения параметров тонкой пленки.

В ходе моделирования с учетом сдвигов, а также поворота образца, были выяснены координаты приёмника, относительно его истинного положения (рис. 3). При этом как следует из анализа рисунков 2 и 3, при регистрации зависимости коэффициента отражения от угла падения пучка, возникает погрешность, связанная с точным позиционированием исследуемого образца. Если точные измерения представлены кривой 1 (рис. 2), то после смещения образца на величину x регистрируется зависимость, представленная на рисунке кривой 2. Решение обратной задачи для такого распределения $R(\gamma)$ приводит к погрешности в определении толщины около 20%. При этом наряду с погрешностью метода, обусловленной применением физической модели (таблица), на точность измерений влияет позиционирование подложки относительно оси вращения.

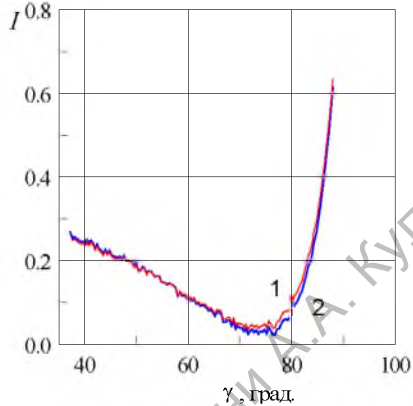


Рис. 2. Результаты измерений $R(\gamma)$ для пленки алюминия 0,025 мкм толщины: кривая 1 – точное позиционирование исследуемого образца в центре поворотного столика, 2 – сдвиг образца относительно оси вращения на 1 мм

Пленка алюминия на подложке

Параметры алюминиевой пленки $\varepsilon_m = \varepsilon'_m + i\varepsilon''_m$ d_m , МКМ	Найденные значения параметров по угловой зависимости коэффициента отражения $\varepsilon_m = \varepsilon'_m + i\varepsilon''_m$ d_m , МКМ	Относительные погрешности определения параметров, в % $ \Delta\varepsilon'_m / \varepsilon'_m $ и $ \Delta\varepsilon''_m / \varepsilon''_m $ $ \Delta d_m / d_m $
-68.07 - i17.29 0.005	-68.07 - i17.29 0.038	43 и 29 24
-37.8 - i19.25 0.01	-37.8 - i19.25 0.0125	20 и 15 25
-47.56 - i16.8 0.02	-45.96 - i18.34 0.021	3.3 и 9 5
-47.15 - i17.97 0.03	-47.15 - i17.97 0.034	1 и 7 13

Окончание таблицы

Параметры алюминиевой пленки $\varepsilon_m = \varepsilon'_m + i\varepsilon''_m$ d_m , МКМ	Найденные значения параметров по угловой зависимости коэффициента отражения $\varepsilon_m = \varepsilon'_m + i\varepsilon''_m$ d_m , МКМ	Относительные погрешности определения параметров, в % $ \Delta\varepsilon'_m / \varepsilon'_m $ и $ \Delta\varepsilon''_m / \varepsilon''_m $ $ \Delta d_m / d_m $
-47.56 - #16.8 0.04	-47.55 - #17.4 0.09	0.02 и 3.6 125

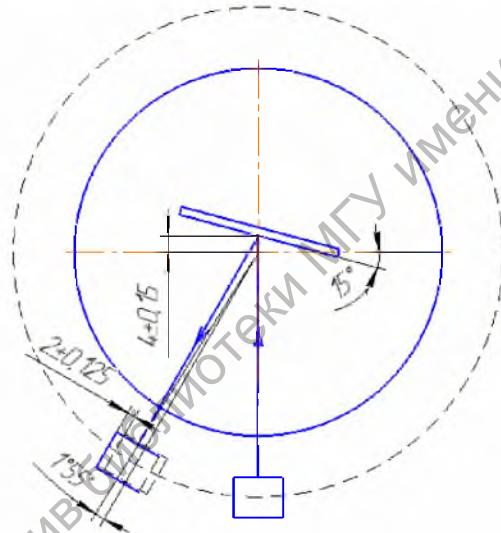


Рис. 3. Схема возникновения погрешности измерения угла γ

По результатам выполненного моделирования построены зависимости углового сдвига фотоприемника при различных отклонениях положения x поверхности исследуемой структуры от центра поворотного столика и различных углах падения зондирующего излучения на поверхность образца φ . Из анализа представленных результатов можно построить массив значений погрешности измерения угла отражения зондирующего излучения от поверхности образца в зависимости от его позиционирования на вращающемся столике.

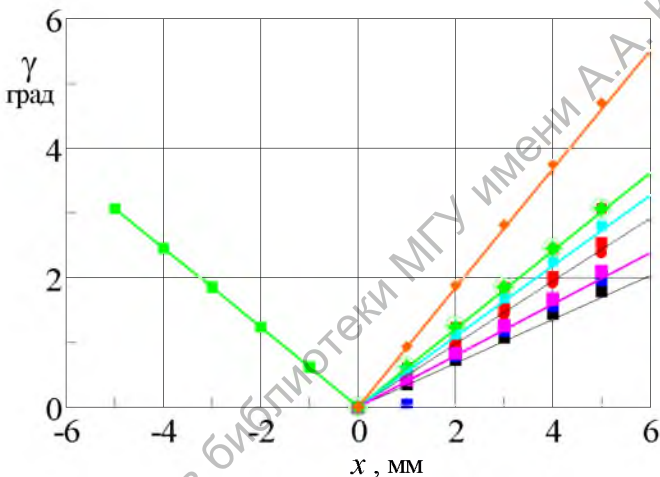


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения угла γ от сдвига образца относительно оси вращения при различных углах падения зондирующего излучения на образец: черная линия – угол падения зондирующего излучения на образец равен 11° , синевая – 13° , голубая – 18° , зеленая – 20° , оранжевая 40°

Таким образом, построенные зависимости позволяют предсказать, где именно должен находиться исследуемый образец для того, чтобы избежать погрешности измерения $R(\gamma)$, а, следовательно, и определения параметров тонкопленочной структуры.