

УДК 534:535

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ ВВОДА ЗОНДИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

К. О. ГЕЛЬФАНД, А. С. ЧИЧУК

Научный руководитель А. В. ХОМЧЕНКО, д-р физ.-мат. наук, доц.
Белорусско-Российский университет

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 изучены мало, что во многом обусловлено высокими требованиями к точности при исследовании таких структур. Данная работа посвящена решению задачи оптимизации положения точки ввода зондирующего излучения в оптической рефлектометрии и анализу его влияния на точность восстановления параметров тонких металлических слоев на подложке.

Оптический контроль наноразмерных металлических покрытий представляет определенный интерес для микроэлектроники. Принципиальная схема установки для измерения распределения $R(\gamma)$ приведена на рис. 1.

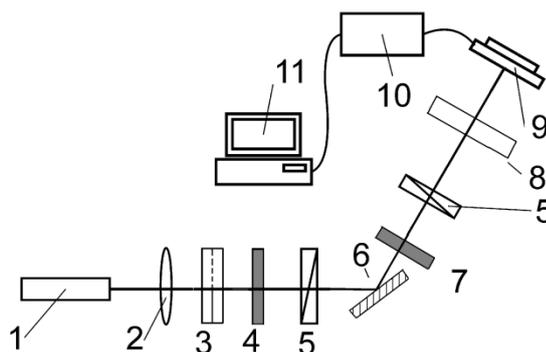


Рис. 1. Схема установки для измерения угловой зависимости коэффициента отражения светового пучка: 1 – источник излучения; 2 – коллиматор; 3 – делитель пучка; 4, 7 – аттенюатор; 8 – модулятор; 5 – поляризатор; 6 – тонкопленочная структура на подложке; 9 – фотоприемник; 10 – аналогово-цифровой преобразователь;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

В ней 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 с. Результаты измерений $R(\gamma)$ представлены на рис. 2, из которого следует, что указанное распределение имеет высокую чувствительность к толщине наноразмерной металлической пленки.

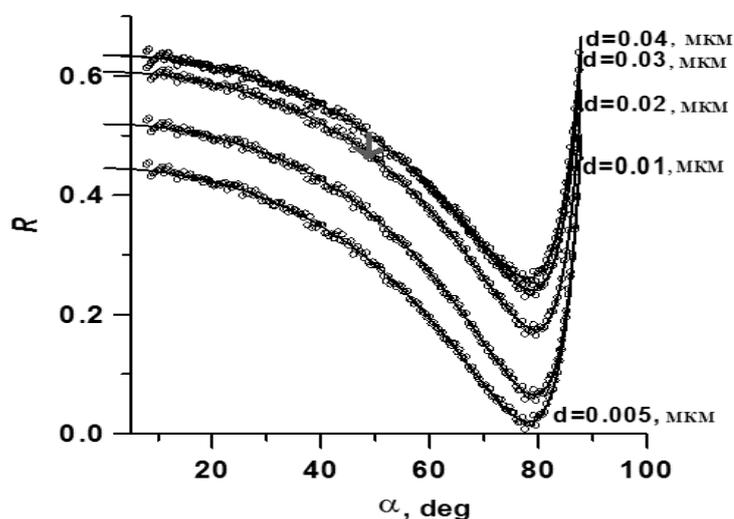


Рис. 2. Результаты измерений $R(\gamma)$ для пленок алюминия разной толщины

В то же время при позиционировании образца на поворотном столе были выявлены некоторые трудности, связанные с установкой поверхности образца в центр стола. При отклонении образца от оси вращения возникает погрешность определения 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 учётом сдвигов, а также поворота на определённые углы образца, были выяснены расчетные расположения приёмника относительно его истинного положения (рис. 3). При этом, как следует из анализа рис. 2 и 3, при регистрации зависимости коэффициента отражения от угла падения пучка возникает погрешность, связанная с точным позиционированием исследуемого образца. Если точные измерения представлены верхней кривой (см. рис. 2), то после смещения образца происходит переход от верхней кривой к нижней (на рисунке

показано стрелкой) и погрешность в определении толщины может достигать 30 %.

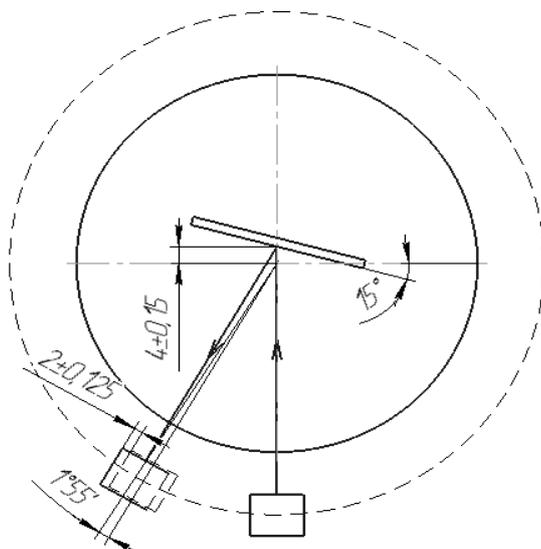


Рис. 3. Схема возникновения погрешности измерения угла γ

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 (результаты представлены в табл. 1).

Табл. 1.

Отклонение от центра стола x , мм	Угол падения φ , град				
	11	12	13	14	15
	Погрешность измеряемого угла γ , град				
1	0,35	0,383	0,417	0,45	0,483
2	0,717	0,783	0,833	0,9	0,95
3	1,067	1,167	1,25	1,35	1,433
4	1,433	1,55	1,667	1,8	1,917
5	1,783	1,95	2,1	2,25	2,383

Из анализа представленных результатов можно построить матрицу значений погрешности измерения угла отражения излучения от поверхности образца в зависимости от его позиционирования на вращающем столе.

Построенная матрица позволяет предсказать, где именно должен находиться фотоприемник, чтобы избежать погрешности измерения $R(\gamma)$, а следовательно, и параметров тонкопленочной структуры.