

Ф И З И К А

УДК 53.082.53

СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Левченко А. С.¹, Серёгина Н. Н.²

A SENSOR SYSTEM FOR THE SCANNING OF PARAMETERS OF THIN METAL FILMS

Levchenko A. S., Seryogina N. N.

A concept of scanning Surface Plasmon Resonance sensor system is presented. It has been shown that the analysis method and construction features of the sensor system make it possible to obtain information about the dielectric permittivity and thickness of a thin metal film on every its elementary section. The description of data operations is given for thin films measurements. The possibility of the system application in the chemical kinetic research is also pointed out.

Введение

Развитие нанoeлектроники и нанофотоники предъявляет новые требования к методам измерения параметров тонких пленок, как диэлектрических, так и проводящих. Практические нужды производства стимулируют разработки новых сенсорных устройств, в основе работы которых лежат надежные, оптимальные по сложности и стоимости методы таких измерений. В работе [1] описаны различные методы измерения оптических параметров пленок в зависимости от заданных условий. Наиболее точными являются методы, использующие рентгеновское и β -излучение, не всегда удобные для контроля параметров пленок при их производстве.

Определенные перспективы в области таких измерений имеют интегрально-оптические методы [2], а также метод измерения, основанный на возбуждении поверхностных плазмонов — метод поверхностного плазмонного резонанса. Поверхностный плазмонный резонанс [3] имеет место в структуре диэлектрик-металл-диэлектрик при возбуждении поверхностных плазмонов на одной из границ раздела сред. Чаще всего используется призмный метод возбуждения (рис. 1), позволяющий снять угловую зависимость коэффициента отражения света от границы раз-

дела призма-металл. Зависимость имеет ярко выраженный резонансный провал (рис. 2), его положение характеризует угол возбуждения поверхностной плазмонной волны. Условия резонанса в значительной степени зависят от длины волны излучения, диэлектрических проницаемостей сред слоистой структуры, а также толщины металлического слоя. Известно, что благодаря этим свойствам поверхностный плазмонный резонанс является чрезвычайно перспективным для сенсорных применений вообще и исследования тонких пленок в частности.

1. Принцип работы сенсорной системы

В ситуации, продиктованной практическими нуждами времени, использование некоторой универсальной сенсорной системы, позволяющей измерять значения диэлектрической проницаемости и толщины тонких пленок, а также распределение данных параметров по всей площади пленки представляется весьма удобным. В основу сенсорной системы такого рода может быть положен метод поверхностного плазмонного резонанса.

Угловая зависимость коэффициента отражения (резонансная кривая на рис. 2) имеет три важных для метода параметра: положение минимума (резонансный угол θ_p), величи-

¹Левченко Антон Сергеевич, аспирант кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета.

²Серёгина Наталья Николаевна, аспирантка кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета.

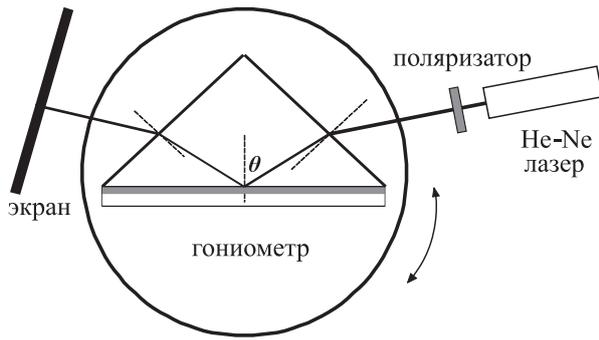


Рис. 1. Схема эксперимента для измерения зависимости поверхностного плазмонного резонанса от угла падения луча

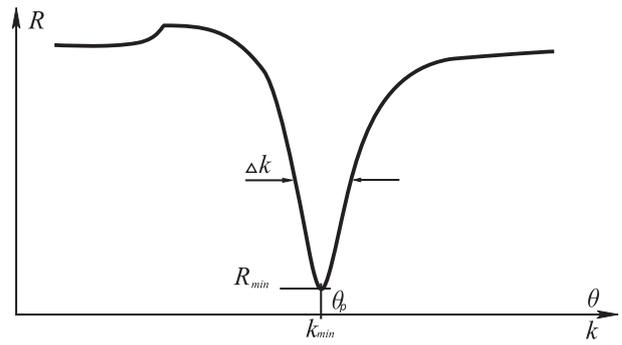


Рис. 2. Угловая зависимость коэффициента отражения света от границы раздела призма-металл

на минимума (минимальный коэффициент отражения R_{min}), ширина кривой на уровне полуминимума Δk . Используя уравнения Френеля для металлодиэлектрической стопы и проводя необходимую аппроксимацию [4, 5], из значений данных параметров можно получить величины действительной ε_r и мнимой части диэлектрической проницаемости ε_i металлической пленки, а также ее толщины d

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_3 k_{min}^2}{k_{min}^2 - \varepsilon_3 (\omega/c)^2},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta k}{4A} \left(1 \pm \sqrt{R_{min}} \right),$$

$$d = -\frac{1}{\phi} \ln \left[\frac{\Delta k}{4B} \left(1 \mp \sqrt{R_{min}} \right) \right],$$

где $A(\omega, \varepsilon_r, \varepsilon_3)$, $B(\omega, \varepsilon_r, \varepsilon_i, \varepsilon_3, n_1, \varepsilon_2)$, $\phi(\omega, \varepsilon_r, \varepsilon_i)$ — функции параметров ε_r , ε_i , диэлектрической проницаемости внешней среды ε_3 , показателя преломления призмы n_1 , диэлектрической проницаемости подложки ε_2 ; k — волновой вектор.

Пределы измеряемых толщин металлических пленок лежат в интервале от 10–15 нм до 100 нм с точностью, типичной для данного способа, равной 8% для толщины и мнимой части диэлектрической проницаемости и 1–2% для действительной части диэлектрической проницаемости металлической пленки.

Схема конструкции предлагаемой сенсорной системы представлена на рис. 3. Монохроматическое ТМ поляризованное излучение с помощью системы линз фокусируется в прямую на поверхности тонкой металлической пленки таким образом, что на каждую точку этой прямой падает набор лучей с различными углами падения. Интенсивность све-

та, падающего под резонансным углом, после отражения уменьшится за счет перекачки энергии в поверхностную волну. Элементы матрицы фотоприемников, соответствующие этим лучам, зафиксируют их ослабление. Таким образом, для каждой точки прямой на поверхности металлической пленки исследуются параметры резонанса. Информация о прямой записывается в виде двумерной матрицы значений коэффициента отражения, графически представляемой поверхностью, показанной на рис. 4. Продольное сканирование осуществляется «скольжением» подложки с металлической пленкой по поверхности призмы с шагом Δy . В результате имеется информация о множестве прямых на поверхности пленки, которая образует совокупность значений элементов трехмерной матрицы (рис. 5). Математическая обработка каждого столбца указанной матрицы по методу, изложенному в [4, 5], дает значения параметров d , ε_r , ε_i для элементарного участка пленки с координатами (x, y) . Обработка всей матрицы приводит к получению трех матриц значений ξ_{jxy} , где $j = 1, 2, 3$, соответствует покоординатному распределению величин d , ε_r , ε_i в пленке.

Очевидно, что при изучении распределения конкретного параметра сопоставление данных в разных элементарных участках пленки оказывается более эффективным и точным, нежели исследование абсолютных значений измеренной величины.

Заключение

Предложенная измерительная система позволяет анализировать распределение оптических и геометрических параметров тонких металлических пленок, т. е. выполнять требо-

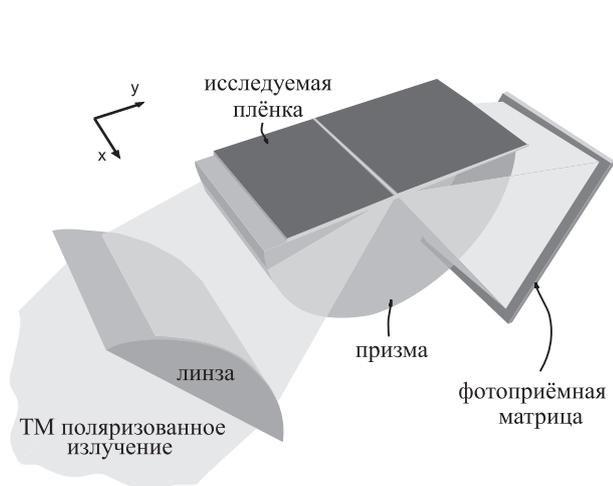
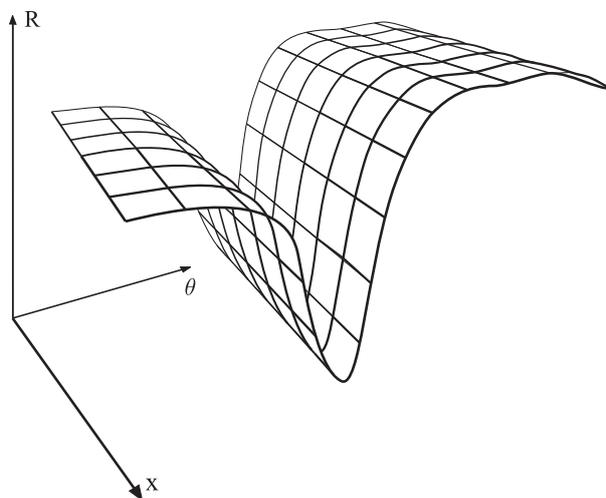
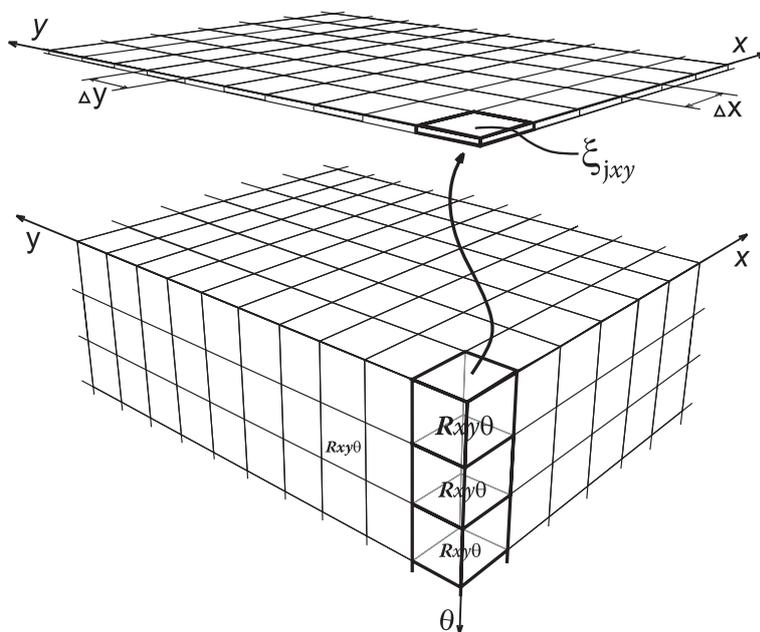


Рис. 3. Схема конструкции сенсорной системы

Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения вблизи плазмонного резонанса для точек вдоль прямой x Рис. 5. Совокупность значений элементов трехмерной матрицы, математическая обработка которой дает распределение величин $\xi_{1xy} = \varepsilon_r$, $\xi_{2xy} = \varepsilon_i$, $\xi_{3xy} = d$ в пленке

вания высокоточного контроля абсолютных значений параметров пленки и ее однородности в процессе промышленного производства.

Незначительное изменение конструкции системы и применение модифицированного метода обработки данных описанного в [5], позволяет исследовать параметры наноразмерных диэлектрических пленок. Такая система также может найти применение в химических лабораториях для сложного анализа кинетики различных реакций в объеме раствора [6].

Литература

1. Андреев С. В., Губанова Л. А. Определение оптических постоянных металлических слоев. Оптические и лазерные технологии / Сб. статей под редакцией В. Н. Васильева. СПб. 2001. С. 198–203.
2. Хомченко А. В., Сотский А. Б., Романенко А. А., Глазунов Е. В., Шульга А. В. Волноводный метод измерения параметров тонких пленок // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 6. С. 98–105.
3. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. В. М. Аграновича, Д. М. Миллса. М.: Наука, 1985. 525 с.
4. Bruijn, de H. E., Kooyman R. P. H., Greve J. Determination of dielectric permittivity and thickness of a metal layer from a surface plasmon resonance experiment // Applied optics. 1990. V. 29. No. 13. P. 1974–1978.
5. Bruijn, de H. E., Altenburg B. S. F., Kooyman R. P. H., Greve J. Determination of thickness and dielectric constant of thin transparent dielectric layers using Surface Plasmon Resonance // Optics communications. 1991. V. 82. No. 5,6. P. 425–432.
6. Серегина Н. Н., Романова Л. И., Векшин М. М. Микрооптические биосенсоры: методы практической реализации / Кубанский гос. университет. Краснодар, 2003. 42 с. Деп. в ВИНТИ 3.04.2003, № 610-В2003.