

УДК 535.31 + 621.658.011
ОПТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ НЕОДНОРОДНОГО СЛОЯ SiO₂
НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Одной из задач при производстве тонкопленочных оптоэлектронных устройств является контроль качества SiO₂ слоев на кремниевой подложке. Чтобы выявить отклонения в параметрах слоя требуются методы, которые позволяют осуществлять простое в условиях производства, быстрое и одновременно точное измерение распределения толщины слоя на кремниевой пластине. В этом отношении наиболее практичными являются методы оптической рефлектометрии [1, 2]. Ранее, для построения распределения толщины слоя на подложке, мы предложили осуществлять измерение его параметров в различных точках пластины (с помощью методов многоугловой рефлектометрии) с последующей их линейной интерполяцией. Такой подход может быть достаточно точным, если многоугловые измерения производить для большого числа точек. В противном случае погрешности линейной интерполяции параметров слоя могут превысить 1 5%. В результате, многократное проведение многоугловых измерений усложняет и затягивает процесс контроля. В этой связи более простым и эффективным представляется подход, основанный на регистрации двумерного распределения $R(x, y)$ коэффициента отражения света от слоя, расположенной на подложке. При этом, свет может падать на исследуемую структуру как нормально [2], так и под некоторым углом [1].

В этой ситуации распределение толщины $d(x, y)$ строится при решении уравнений

$$R'(d_{j,i}) = R_{j,i}^e, \quad d_{j,i} = d(x_j, y_i), \quad j = \overline{1, n_x}, \quad i = \overline{1, n_y}, \quad (1)$$

где $R_{j,i}^e$ – измеренный коэффициент отражения света в точке (x_j, y_i) ; $R'(d_{j,i})$ – рассчитанный коэффициент отражения света в этой же точке. При этом, показатель преломления должен быть оценен заранее из многоугловых измерений. Такой подход является простым и достаточно точным. Однако он требует значительных затрат времени для решения $n_x \cdot n_y$ уравнений. Кроме того, построенное распределение $d(x, y)$ имеет некоторый “разброс”, вследствие погрешностей регистрации коэффициента отражения. Снизить число уравнений, сгладить построенные зависимости толщины, можно, если их аппроксимировать с помощью ортогональных полиномов Чебышева I рода. В этом случае задача сводится к определению коэф-

коэффициентов линейной комбинации этих полиномов методом наименьших квадратов. Для изучения эффективности такого подхода выполнено численное моделирование отражения нормально падающего света (длина волны $\lambda = 0,6328$ мкм) на подложку со слоем SiO_2 при различных его толщинах. При этом погрешности регистрации коэффициента отражения рассчитывались с использованием генератора случайных чисел. На рис. 1, а, б представлены построенные распределения $R(x)$ и $d(x)$. Расчеты выполнены для распределений $d(x)$, представленных на рис. 1, б непрерывными кривыми 1,3. Кривые 2,4 демонстрируют результаты аппроксимации. На рис. 1, б точками представлены результаты решения уравнений (1), где в качестве экспериментальных значений коэффициента отражения использованы результаты расчетов, представленные соответственно на рис. 1, а. Степень аппроксимирующего полинома равнялась 3 (в этом случае наблюдался минимум остаточной дисперсии). Погрешности аппроксимации не превысили 10 %. Процедура построения полиномов является достаточно простой и быстрой.

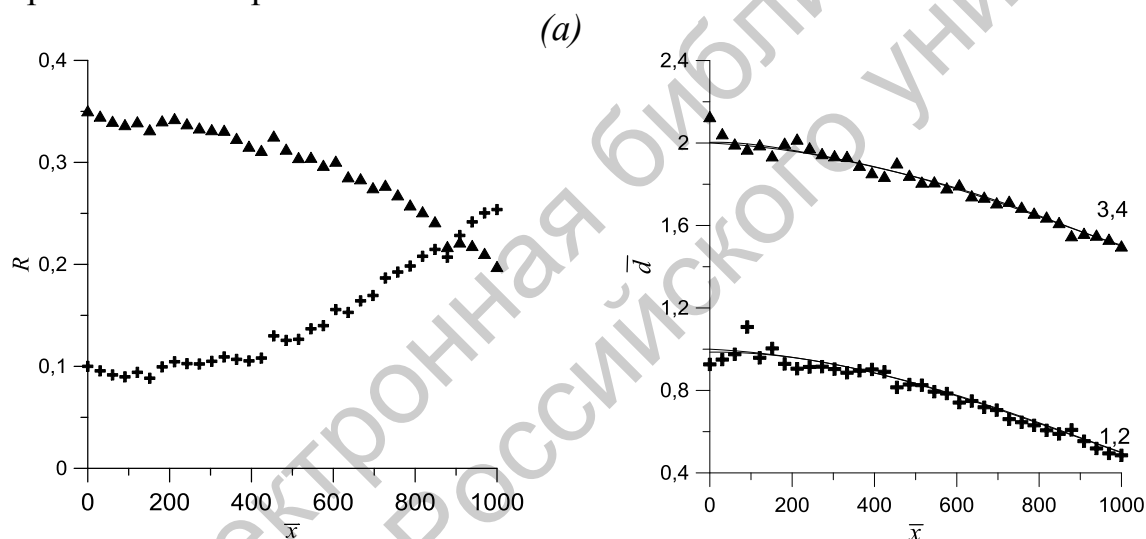


Рис. 1. Распределения коэффициента отражения и толщины пленки. Здесь, $\bar{x} = x/a$ (a - некоторый масштабный фактор); $\bar{d} = k_0 d$ (k_0 – волновое число в вакууме)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение оптических свойств и толщины нанослоев по угловым зависимостям коэффициента отражения / Д. И. Биленко и [др.] // ЖТФ. – 2010. – Т. 80, №10. – С. 89–94.
2. Измерение распределения толщин многослойных пленочных структур методами спектральной рефлектометрии / В. Г. Цепулин [и др.] // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2016. – № 3. – С. 3–12.