

УДК 621.372.8:535  
КОНТРОЛЬ НАНОРАЗМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ  
НА ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ ВОЛНОВОДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А. Б. СОТСКИЙ, П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, \* Л. И. СОТСКАЯ  
Учреждение образования  
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.А. Кулешова»

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

Волноводная спектроскопия относится к наиболее эффективным неразрушающим оптическим методам контроля волноводных диэлектрических слоев. Однако в современной микроэлектронике имеется потребность в диагностике диэлектрических слоев наноразмерной толщины на поверхности полупроводника. Эти слои не могут направлять волноводных мод. В такой ситуации стандартная волноводная спектроскопия не применима. Ниже изложен новый метод обработки углового распределения энергетического коэффициента отражения светового пучка в схеме призмного устройства связи, который расширяет применимость техники волноводной спектроскопии на указанный случай без изменения ее приборной базы.

Предлагаемый метод основан на минимизации целевой функции

$$I = \sum_{j=1}^n [f(x_i, \beta_j) - \varphi(\beta_j)]^2 \quad (1)$$

где  $n$  – число отсчетов энергетического коэффициента отражения  $\varphi$  светового пучка, получаемых вращением призмы связи;  $f(x_i, \beta)$  – теоретическая модель коэффициента отражения;  $x_i$  ( $x_1 = g$ ,  $x_2 = h$ ,  $x_3 = n_f$ ;  $g$  – толщина воздушного буферного слоя,  $h$  – толщина диэлектрического слоя,  $n_f$  – его показатель преломления) – параметры модели структуры, подлежащие определению;  $\beta$  – продольная составляющая волнового вектора возбуждающего пучка. Ключевую роль при решении рассматриваемой обратной задачи играет выбор степени связи призмы с исследуемой средой и выбор поляризации излучения. Естественным критерием при этом является минимизация среднеквадратичной ошибки измерения толщины покрытия  $\sigma(h)$ . Она может быть представлена в форме  $\sigma(h) = k_0^{-1} \sigma(\varphi) J(g)$ , где  $\sigma(\varphi)$  – среднеквадратичное отклонение отсчетов  $\varphi$ ,  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  – волновое число вакуума,  $J(g)$  – коэффициент чувствительности измерений, который при заданных параметрах призмы связи допускает аналитический расчет.

Графики функции  $J(g)$  представлены на рис. 1. Они соответствуют возбуждению пленки двуоксида кремния с параметрами  $n_f = 1,47$ ,  $h = 0,01$  мкм, находящейся на кремниевой подложке с показателем преломления  $n_s = 3,882 - i0,019$ , посредством равнобедренной призмы связи с углом при основании  $50,1^\circ$  и показателем преломления  $n_p = 1,9652$ . Расчет выполнен для случая использования волн ТЕ- и ТМ-поляризации с  $\lambda_0 = 0,6328$  мкм.

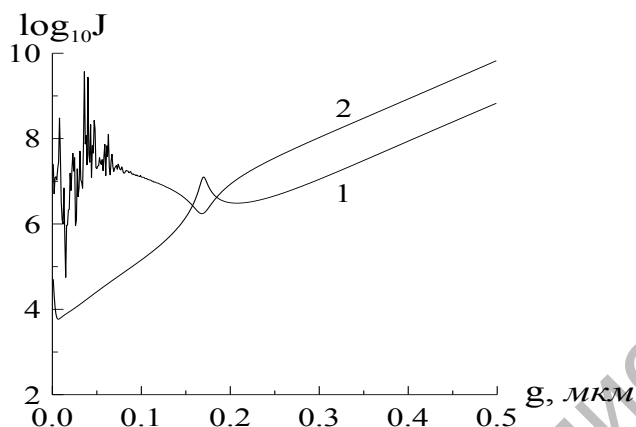


Рис. 1. Зависимость  $J(g)$  при использовании ТМ- (1) и ТЕ- (2) волн

Согласно рис. 1, для рассматриваемых измерений предпочтителен выбор волн ТМ-поляризации. Отметим также необходимость плотного оптического контакта призмы связи с исследуемой структурой (оптимальное значение  $g = 0,01$  мкм).

Результаты решения обратной оптической задачи представлены в табл. 1. Они получены путем численной минимизации функции (1) методом, исключая локальные минимумы. В качестве  $\varphi(\beta_j)$  использованы строго рассчитанные зависимости в  $n = 180$  точках; их погрешности моделировались путем округления значений  $\varphi$  до трех значащих цифр в мантиссе.

Табл. 1. Восстановление окисной пленки на кремнии

Точные значения			Восстановленные значения					
$g, \text{ мкм}$	$h, \text{ мкм}$	$n_f$	ТМ-поляризация			ТЕ-поляризация		
			$g, \text{ мкм}$	$h, \text{ мкм}$	$n_f$	$g, \text{ мкм}$	$h, \text{ мкм}$	$n_f$
0,01	0,001	1,47	0,0100	0,00100	1,4702	0,001	0,00133	1,4818
0,01	0,01	1,47	0,00998	0,00993	1,4664	0,001	0,00989	1,4511
0,01	0,1	1,47	0,00999	0,10001	1,4700	0,00808	0,10269	1,4648

Как видно из табл. 1, при использовании волн ТМ – поляризации предлагаемый метод обеспечил прецизионное восстановление параметров наноразмерной диэлектрической пленки на кремниевой подложке.