

УДК 535.51

МНОГОУГЛОВАЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ
 ТЕРМИЧЕСКИХ ДИОКСИДНЫХ СЛОЕВ
 НА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИНАХ КДБ-12

Н. И. СТАСЬКОВ¹, С. О. ПАРАШКОВ², А. Н. ПЕТЛИЦКИЙ³,
 В. А. ПИЛИПЕНКО³, С. А. МЕЛЬНИКОВ³, Д. В. ШЕСТОВСКИЙ³
¹Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова
²Белорусско-Российский университет
 Могилев, Беларусь
³ГЦ «Белмикрoанализ», ОАО «Интеграл»
 Минск, Беларусь

Ультратонкие ($d_f \approx 0,01\lambda$) диоксидные (SiO_2) пленки на кристаллическом кремнии КДБ-12 представляют интерес для современной микроэлектроники. Такие структуры, полученные при температуре выше 1000°C , по данным ожеспектроскопии, имеют переходный слой (d_2) на границе раздела «пленка – подложка», слой диоксида кремния (d_f) и очень тонкий поверхностный слой на границе раздела «пленка – воздух» ($d_1 \approx 0$) [1]. Рост пленки SiO_2 при термическом отжиге пластины происходит из-за окисления кремния. При этом происходит рекристаллизация кремния. Для определения характеристик пленок SiO_2 использовали монохроматическую многоугловую ($60^\circ \leq \theta \leq 76^\circ$) эллипсометрию (ЛЭФ-3М-1) на длине волны $\lambda = 632,8\text{ нм}$ и установку ВИМС TOF.SIMS-5. Ранее было показано [2], что толщины переходных слоев, которые окружают ультратонкие пленки SiO_2 , изменяются в небольших пределах. Известно, что численное решение обратных задач эллипсометрии упрощается, если заранее определены n_s и k_s подложки, найдены области определяемых параметров слоев и пленки и их начальные приближения. Для решения обратной задачи эллипсометрии используем двухслойную модель наложке КДБ-12 с известными характеристиками [3]. Переходный слой d_2 учтем с помощью модели эффективной среды Бруггемана

$$\sum (f_i (\varepsilon_i - \varepsilon_{eff}) (\varepsilon_i - 2\varepsilon_{eff})^{-1}) = 0,$$

где f_i и ε_i – доля и значение диэлектрической проницаемости i -го компонента слоя; ε_{eff} – эффективное значение его диэлектрической проницаемости. Безразмерные параметры f_i в случае $i=1,2$ для слоя «пленка – подложка» (SiO_2 f_1 , $\varepsilon_1 = 2,123$ и КДБ-12 f_2 , $\varepsilon_2 = 14,937 - i0,255$) удовлетворяют условию $f_1 + f_2 = 1$ и тем самым могут косвенно характеризовать изменение плотности материала переходного слоя. Выбранная модель отражающей структуры «пленка – переходный слой – подложка» характеризуется тремя неизвестными параметрами f_i , d_f и d_2 , величины которых ограничены определенными пределами. Алгоритм решения указанной задачи построен с учетом экспериментальной погрешности измерения углов θ , ψ и Δ , равной 8 угл. мин.

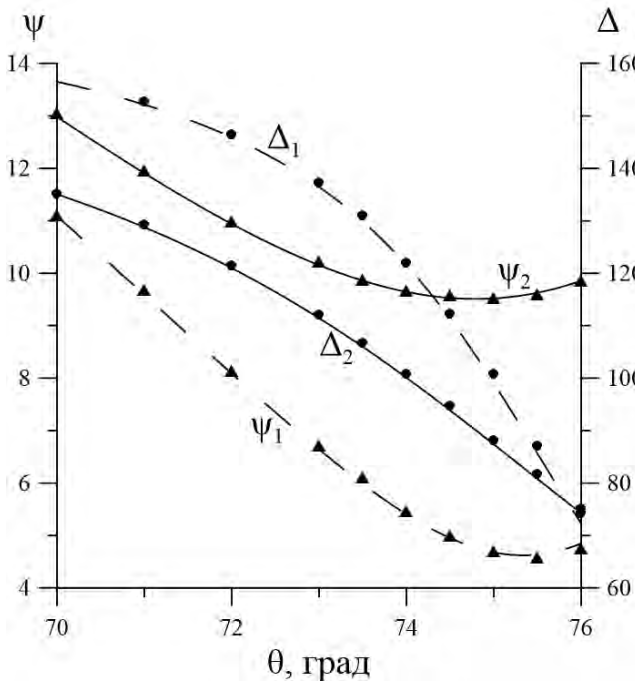


Рис. 1. Эллипсометрические углы пленок SiO₂ на пластине КДБ-12

В данном докладе представлены результаты решения обратных задач (рис. 1) брестерской монохроматической эллипсометрии ($70^\circ \leq \theta \leq 76^\circ$) для двух образцов, полученных при меньшем (образец 1) и большем (образец 2) времени отжига [2]. Для чистой подложки ($n_s = 3,865$ и $k_s = 0,033$) главный угол падения совпадает с псевдобрестерским углом ($75,494^\circ$). Для образцов 1 и 2 эти углы сдвинуты в область меньших углов на величину $d\theta = \text{atan } n_s - \theta_{\min}$ [4], которая позволяет судить об увеличении толщины пленки SiO₂ от 9,86 до 17,77 нм с увеличением времени отжига пластин КДБ-12 (табл. 1).

Табл. 1. Параметры пленок SiO₂ при отжиге пластин КДБ-12

Образец	d_f , нм	d_2 , нм	f_2	$d\theta^\circ$
1	6,82	3,04	0,85	0,035
2	12,26	5,51	0,42	0,167

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стаськов, Н. И.** Трехкомпонентная модель эффективной среды для определения состава слоев на кремниевых пластинах / Н. И. Стаськов, Л. И. Сотская // ЖПС. – 2017. – Т. 84, № 5. – С. 703–709.
2. **Понкратов, Д. В.** Монохроматическая эллипсометрия оксидных слоев на кремниевых пластинах, сформированных быстрым термическим отжигом / Д. В. Понкратов, В. А. Пилипенко, Н. И. Стаськов // Квантовая электроника: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 нояб. 2025 г. – Мн.: Бел. гос. ун-т, 2025. – С. 301–305.
3. **Стаськов, Н. И.** Оптические характеристики легированных бором кремниевых пластин после быстрого термического отжига / Н. И. Стаськов, А. А. Сергейчик, А. Б. Сотский // Оптика и спектроскопия. – 2025. – Т. 133, вып. 8. – С. 874–880.
4. **Ильина, С. Г.** Определение параметров поверхностного слоя чистых жидкостей по данным эллипсометрии / С. Г. Ильина, Е. А. Алексеева // ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2016. – № 2. – С. 68–73.