

С. О. ПАРАШКОВ, Н. И. СТАСЬКОВ, * А. В. ХОМЧЕНКО,
 * Л. И. СОТСКАЯ, А. В. ШИЛОВ, ** Н. А. КРЕКОТЕНЬ
 УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. А. А. Кулешова»
 *ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 **НТЦ «БЕЛМИКРОСИСТЕМЫ» ОАО «ИНТЕГРАЛ»
 Могилев, Минск, Беларусь

Широкое применение в электронной промышленности находит кремниевая двухслойная ПДП структура «поликристаллический кремний (pSi) – диоксид кремния (SiO₂) – монокристаллический кремния (cSi)». На рабочие параметры приборов, созданных на основе таких структур, существенное влияние оказывают переходные области между слоями и подложкой (рис. 1, а) [1].

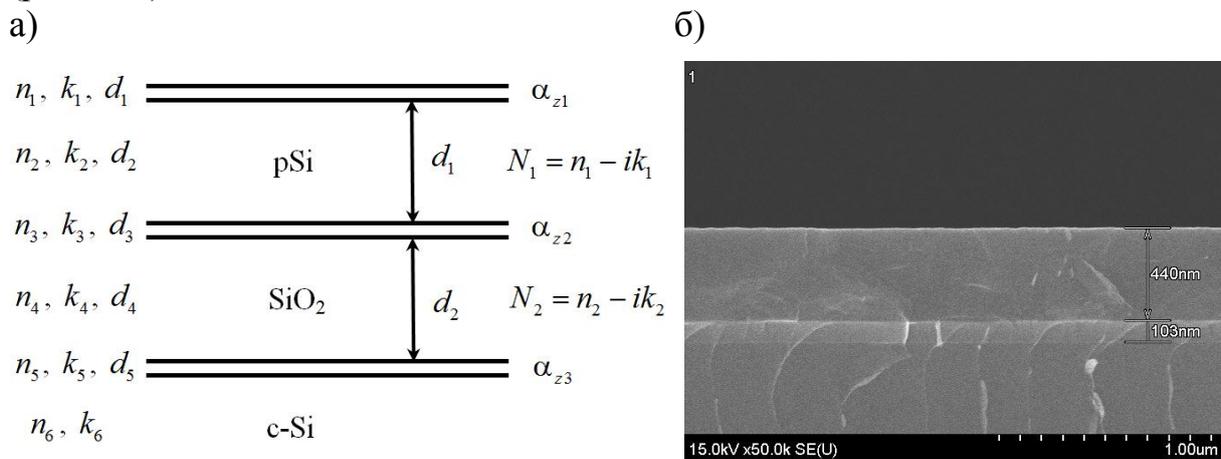


Рис. 1. Оптическая модель отражающей системы (а) и фотография скола структуры pSi – SiO₂ – cSi (б) на растровом электронном микроскопе РЭМ S-4800 фирмы Hitachi

В данной работе обсуждаются решения обратных оптических задач при исследовании серийно изготовленной pSi – SiO₂ – cSi структуры методами спектрофотометрии и многоугловой эллипсометрии, допускающих наличие переходных слоев. Рассматривались две модели слоев - плоский слой с параметрами d, n, k и слой диполей с поляризуемостью α_{zj} [2]. Вторая модель использовалась для исключения влияния переходных слоев без детализации их внутренней структуры. Это позволяет сократить количество рассчитываемых параметров при численном решении обратных оптических задач. В качестве подложки использовался кремний КДБ 12 с кристаллографической ориентацией (111). Из рис. 1, б можно оценить толщины слоев pSi (0,44 μm) и SiO₂ (0,10 μm).

Спектры $R_s(\lambda)$, $R_p(\lambda)$ и $R_p(\lambda)/R_s(\lambda)$ образцов при углах падения от 8° до 60° измеряли на спектрофотометре «Photon RT» (ООО «ЭссентОптикс») в области от $0,4$ до $0,8 \mu\text{m}$ (рис. 2, кривые 1, $\varphi_{01} = 60^\circ$). Шаг изменения λ составлял $0,5 \text{ nm}$ по углу $\varphi_{01} - 10^\circ$. Точность измерения коэффициентов R – не ниже $0,1 \%$.

а)

б)

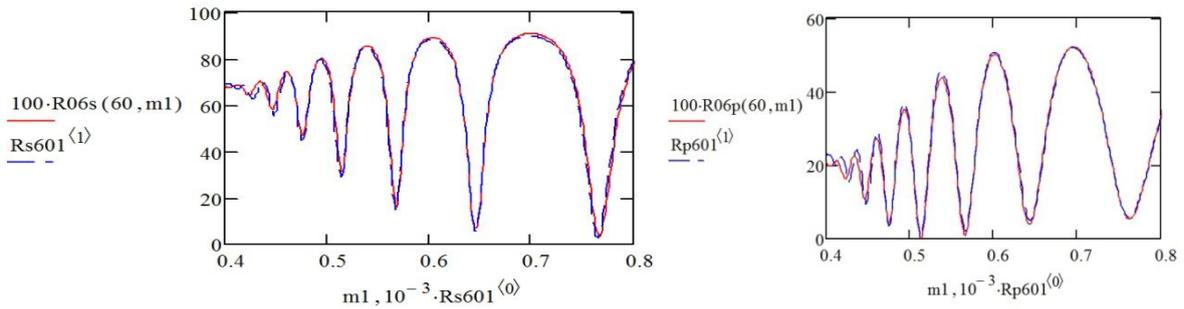


Рис. 2. Измеренные и рассчитанные спектры структуры pSi – SiO₂ – cSi для s- и p-поляризации света

По положению максимумов и минимумов методом огибающих интерференционных спектров была определена толщина слоя pSi

$$d_{pSi} = \frac{(2p\pi + \alpha_{13}(\lambda_v) - \alpha_{13}(\lambda_{v+p}) - \alpha_{01}(\lambda_v) + \alpha_{01}(\lambda_{v+p}))\lambda_v\lambda_{v+p}}{4\pi(\lambda_{v+p}n_1(\lambda_v) - \lambda_v n_1(\lambda_{v+p}))},$$

которая оказалась равной $0,425 \mu\text{m}$.

При этом спектры $R_e(\lambda)$ структуры pSi – SiO₂ – cSi измеряли в воздухе на спектрофотометре «MPV – SP» (Leica, Германия) в диапазоне длин волн от $0,4$ до $0,8 \mu\text{m}$.

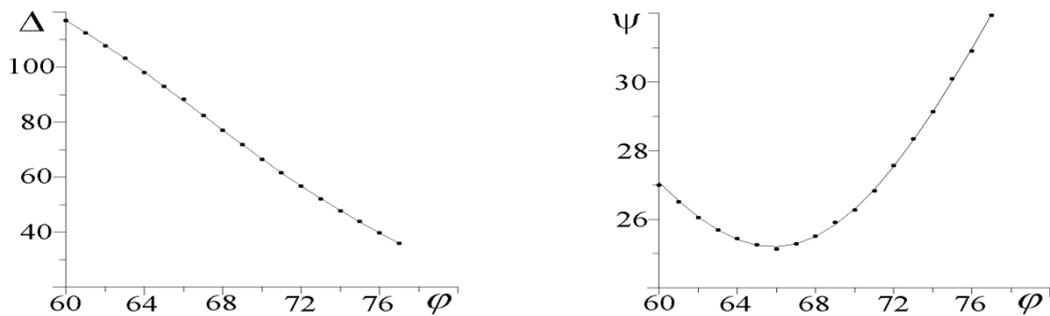


Рис. 3. Измеренные и рассчитанные спектры $\Delta(\varphi)$, $\psi(\varphi)$ структуры

Эллипсометрические углы Δ_e и Ψ_e для образцов измерялись на стандартном эллипсометре ЛЭФ- 2 ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) при углах падения от 60° до 77° с достаточным шагом для каждой структуры (рис. 3, дискретные точки).

В табл. 1 и 2 приведены результаты решения обратных оптических задач, по которым рассчитаны соответствующие кривые на рис. 2 и 3. При этом учитывалась дисперсия оптических характеристик пленок и подложки, а переходные области имели постоянные параметры.

Табл. 1. Результаты решения обратных оптических задач

Спектрофотометрия		
i	$d_i, \mu\text{m}$	$n_i(0,0.6328)$
1	0,011	1,63–0,2 <i>i</i>
2	0,411	4,028–0,02 <i>i</i>
3	$8 \cdot 10^{-3}$	2,65–0,26 <i>i</i>
4	0,1	1,451
5	0,012	2,7–0,25 <i>i</i>
6	-	3,841–0,041 <i>i</i>

Табл. 2. Результаты решения обратных оптических задач

Многоугловая эллипсометрия					
1	-0,190	10^{-4}	7	$1,68 \cdot 10^{-6}$	10^{-9}
2	-1,027	10^{-6}	8	3,89	10^{-4}
3	-0,974	10^{-6}	9	0,031	10^{-4}
4	3,974	10^{-4}	10	0,421	10^{-3}
5	0,0289	10^{-5}	11	0,104	10^{-3}
6	1,457	10^{-5}	-	-	-

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что серийно изготовленные структуры pSi – SiO₂ – cSi содержат неоднородные переходные области, параметры которых зависят от условий получения пленок pSi и SiO₂. Спектральные методы более чувствительны к наличию переходных областей и для их учета необходимо определять дисперсионные функции материалов всех слоев в структуре. При этом однопараметрическая модель переходного слоя с поляризуемостью α_{zj} позволяет исключить его влияние на результаты определения толщины и оптических параметров структуры «полупроводник – диэлектрик – полупроводник».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беляева, А. И.** Границы раздела слоев и шероховатость в многослойной кремниевой структуре / А. И. Беляева, А. А. Галуза, С. Н. Коломиец // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38. Вып. 9. – С. 1050–1055.
2. Учет влияния естественного поверхностного слоя при исследовании кремниевых пластин методом спектральной эллипсометрии / Н. И. Стаськов [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – № 1(10). – С. 1–5.