

УДК 535.51

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В ОБЛАСТИ ТОЧЕК СЕНГУЛЯРНОСТИ ВАН ХОВА

Н. И. СТАСЬКОВ¹, А. А. ОМЕЛЬЧЕНКО³, С. О. ПАРАШКОВ²

¹Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

³ГЦ «БЕЛМИКРОАНАЛИЗ» ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Беларусь

Состояние поверхности, совершенство кристаллической структуры и оптические характеристики кремниевых пластин – фундаментальные факторы, определяющие качество и надежность интегральных планарных схем. В сравнении с чистым кремнием (сSi) практическое применение находят кремниевые пластины, легированные бором (КДБ12, рсSi). Важнейшими оптическими параметрами пластин являются: ширина запрещенной зоны E_g ; спектры показателей преломления $n(E)$, поглощения $k(E)$ (экстинкция) и коэффициента поглощения $\alpha(E)$, которые рассчитывают в видимой и УФ-спектральной области методом спектральной эллипсометрии. Неоднозначность представленных в литературе результатов можно объяснить несоответствием выбранных дисперсионных функций $\varepsilon(E) = [n(E) - ik(E)]^2 = \varepsilon_1(E) - i\varepsilon_2(E)$ и электродинамических моделей для исследуемых пластин КДБ. Чаще всего определяются псевдодиэлектрическая функция $\varepsilon(E)$, соответствующая простой границе раздела «воздух – объемный КДБ». Особое внимание уделяется измерению спектров углов $\Delta(E)$ и $\psi(E)$ в УФ-области, где находят две G -точки зоны Бриллюэна. Эти точки называют точками сингулярности Ван Хова. Энергия E_1 в первой точке составляет 3,43 эВ [1, 2], а во второй – $E_2 = 4,25$ эВ [2]. В работе обсуждаются результаты решения обратной задачи спектральной эллипсометрии для подложки КДБ12 с поверхностным слоем Бруггемана, цель которого – установить влияние процесса легирования на оптические характеристики кристаллического кремния.

Спектры ($1,5 \leq E \leq 6,2$ эВ) углов $\Delta(E)$ и $\psi(E)$ пластин измеряли на эллипсометрах UVISEL 2 при углах падения $60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 73^\circ \dots 80^\circ$ ($\Delta\theta = 1^\circ$) и монохроматическом ЛЭФЗМ ($E = 1,96$ эВ) при углах падения от 60° до 77° ($\Delta\theta = 1^\circ$). На рис. 1 для $\theta = 70^\circ$ представлены экспериментальные спектры $\psi_e(E)$ и $\cos\Delta_e(E)$ пластины КДБ12 и рассчитанные идеальные пластины сSi ($\psi_i(E), \cos\Delta_i(E)$), $n(E)$ и $k(E)$, которые взяты из [3]. Для слоя диоксида кремния $d = 2,9$ нм спектры $\cos\Delta_e(E)$ и $\cos\Delta_i(E)$ практически совпадают. Два максимума в спектрах $\psi(E)$ приходятся на энергии фотонов 3,43 и 4,25 эВ, соответствующих точкам сингулярности Ван Хова. Ранее установлено, что тонкие

поверхностные слои можно учесть при решении обратных оптических задач без детализации их структуры. При решении обратной задачи эллипсометрии выбрана четырехосцилляторная функция $\epsilon(E)$ аморфных материалов и учтен поверхностный слой на пластине КДБ12 (ЛЭФЗМ, $d = 1,8$ нм).

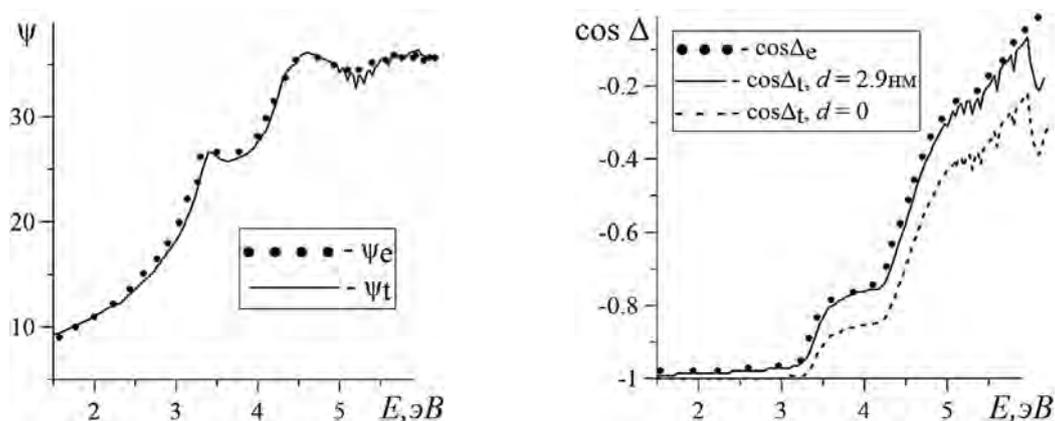


Рис. 1. Спектры эллипсометрических углов кремниевых пластин

На рис. 2 представлены спектры $\epsilon_2(E)$ и $\epsilon_1(E)$ чистого кремния и КДБ12. Энергии фотонов, на которые приходятся максимумы спектров $\epsilon_2(E)$ для КДБ12, равны $E_1 = 3,46$ эВ, $E_2 = 3,73$ эВ, $E_3 = 4,28$ эВ. Причем $k_1(3,46) = 1,738$, $k_2(3,73) = 1,664$, $k_3(4,28) = 4,195$. Полосы поглощения $k_1(E)$ и $k_3(E)$ вызваны переходами между зонами в точка сингулярности Ван Хофа. Их максимумы сдвинуты относительно соответствующих максимумов чистого Si.

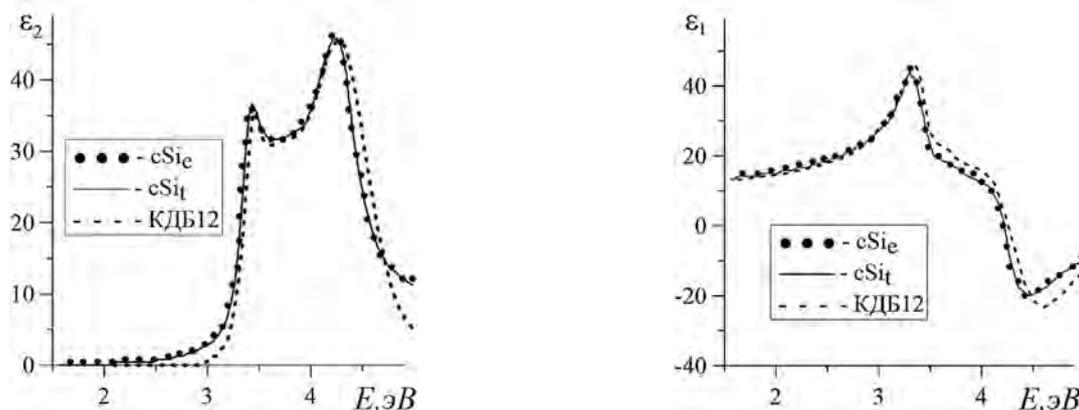


Рис. 2. Диэлектрические проницаемости чистого кремния [3] и КДБ12

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменение оптических параметров кремния после быстрой термической обработки / В. М. Анищик [и др.] // Журнал Белорус. гос. ун-та. Физика. – 2021. – № 3. – С. 81–85.
2. Vica, L. Effect of heavy doping on the optical properties and the band structure of silicon / L. Vica, M. Cardona // Physical Review B. – Vol. 29, № 12. – P. 6739–6751.
3. Palik, E. D. Handbook of Optical Constants of Solids / E. D. Palik. – Academic Press, 1988.