

УДК 535.51

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ  
ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ОКИСЛЕНИИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИНЛ. И. СОТСКАЯ<sup>1</sup>, А. А. ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>2</sup>, Н. И. СТАСЬКОВ<sup>3</sup><sup>1</sup>Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

<sup>2</sup>ГЦ «Белмикроанализ» ОАО «Интеграл»

Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

В данном сообщении обсуждаются результаты расчётов оптических характеристик слоя оксид-нитрид-оксид (ОНО), который образуется при высокотемпературном окислении в атмосфере газов  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $SiH_2Cl_2$  и  $NH_3$  кристаллической кремниевой подложки, очищенной быстрым термическим отжигом. Для проведения расчётов были измерены эллипсометрические углы  $\psi$  и  $\Delta$  окисленных пластин с использованием спектрального эллипсометра UVISEL2 при углах падения от  $60$  до  $75^\circ$  ( $\Delta\theta = 5^\circ$ ) и монохроматического эллипсометра ЛЭФЗМ ( $\lambda = 632,8$  нм) при углах падения от  $60$  до  $77^\circ$  ( $\Delta\theta = 1^\circ$ ). Вещественный состав этих же образцов исследовался с помощью сканирующего рентгеновского фотоэлектронного спектрометра (XPS). Спектры XPS позволили исследовать распределение концентрации атомов Si,  $Si_3N_4$ ,  $SiO_2$  и связей Si-O по толщине слоя ОНО. При обработке эллипсометрических измерений использовали трёхслойную и семислойную электродинамические модели. В трёхслойной модели слоя ОНО не учитывались поверхностные и переходные слои. Семислойная модель включала: бруггемановский поверхностный слой толщиной  $d_1$  (50 % воздуха и 50 %  $SiO_2$ ); пленку  $SiO_2$  толщиной  $d_2$ ; бруггемановский переходный слой толщиной  $d_3$  (50 %  $SiO_2$  и 50 %  $Si_3N_4$ ); пленку  $Si_3N_4$  толщиной  $d_4$ ; бруггемановский переходный слой толщиной  $d_5$  (50 %  $Si_3N_4$  и 50 %  $SiO_2$ ); пленку  $SiO_2$  толщиной  $d_6$ ; бруггемановский переходный слой толщиной  $d_7$  (50 %  $SiO_2$  и 50 % cSi) с Si-подложкой. В [1] показано, что комплексную диэлектрическую проницаемость неоднородного слоя, который появляется при физико-химической обработке кремниевых пластин, можно описать суммой функций Ферми:

$$\varepsilon(y) = \varepsilon_1 + \sum_{i=1}^m (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i) [1 + \exp(-\alpha_i(y - y_i))]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = (n - ik)^2$ ;  $\varepsilon_1$  – диэлектрическая проницаемость подложки,  $\varepsilon_1 = \varepsilon_s$ ;  $\varepsilon_i$  – диэлектрическая проницаемость материала, из которого состоит  $i$ -й неоднородный слой;  $y_i$  – условные границы слоёв.

Для расчета углов  $\psi$  и  $\Delta$  использовали метод стратификации, в котором слой  $l$  разбивается на большое число однородных слоев. Зависимости показателей преломления  $n(y)$  1–3 и поглощения  $k(y)$  4 для трёхслойной модели 1, семислойной модели 2 и модели Ферми 3, 4 слоя ОНО приведены на рис. 1.

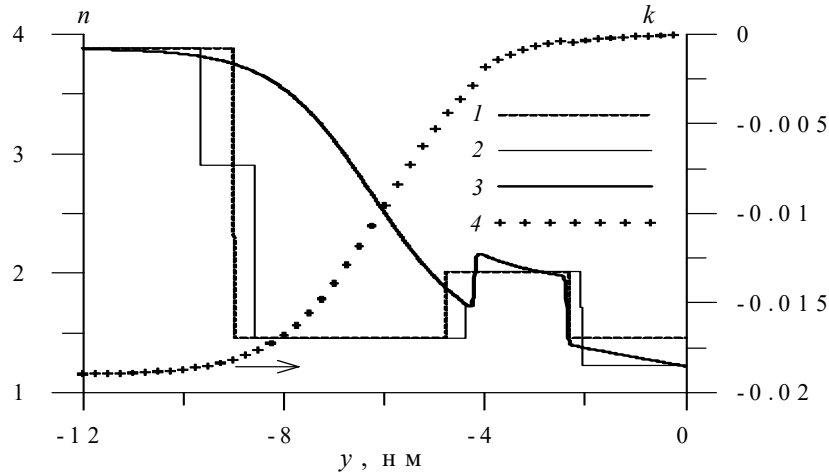


Рис. 1. Показатели преломления слоя ОНО

Кривые 3 и 4 на этом рисунке получены при решении обратной задачи монохроматической эллипсометрии ( $\lambda = 632,8$  нм) для неоднородного слоя  $l$ . Невязка  $\chi^2$  рассчитанных и измеренных эллипсометрических параметров в этом случае на порядок меньше такой же величины при определении параметров ОНО структуры методом спектральной эллипсометрии для моделей 1 и 2. На наличие трех неоднородных областей в слое ОНО указывает кривая 3. Функция  $n(y)$  приповерхностного слоя ( $d_1 = 2,4$  нм) увеличивается от 1,22 до величины показателя преломления  $\text{SiO}_2$ , а затем достигает показателя преломления  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . В средней области ( $d_2 = 1,8$  нм) слоя ОНО  $n(y)$  увеличивается до 2,136 и резко уменьшается до 1,736. На протяжении третьей области слоя ОНО ( $d_3 = 6,6$  нм)  $n(y)$  увеличивается до величины показателя преломления кристаллического кремния 3,881. Толщина всего слоя ОНО, рассчитанная с использованием всех электродинамических моделей и спектров XPS, около 10 нм.

Таким образом, на начальной стадии получения слоя ОНО на кремниевой подложке образуется неоднородный недоокисленный слой оксида кремния, толщина которого больше толщины слоя нитрида кремния. На заключительной стадии поверхность слоя нитрида кремния оказывается также не полностью окисленной.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптические характеристики естественного поверхностного слоя на кремниевой подложке / Н. И. Стаськов [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2006. – №. 6-2. – С. 60–62.