

УДК 535.51  
 ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕТЕРОПЛАНАРНОГО СЛОЯ  
 ДИЭЛЕКТРИКА НА ОСНОВЕ ОКСИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ

А. В. ШУЛЬГА<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>ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
 Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Могилёвский государственный университет имени А. А. Кулешова  
 Могилев, Беларусь

Производство элементов опто- и микроэлектроники (МОНОП-элементы) выдвигает задачи совершенствования оптических методов исследования наноразмерных гетеропланарных диэлектрических слоев на основе нитрида и оксида кремния [1]. Спектры эллипсометрических углов имеют высокую чувствительность к параметрам таких слоев. Корректное решение обратных оптических задач может быть достигнуто выбором рабочих углов падения света, начальными приближениями рассчитываемых параметров и, главное, соответствием электродинамической и дисперсионной моделей реальному образцу [2].

В данной работе предложена электродинамическая модель, которая обеспечивает наименьшую невязку  $\chi^2$  между измеренными и рассчитанными эллипсометрическими параметрами (рис. 1), для спектроэллипсометрического контроля толщины и вещественного состава гетеропланарного диэлектрического слоя ОНО на кремниевой подложке. Для приготовления образцов высокоочищенные подложки КДБ12 окисляли в течение двух минут при температуре 800 °С в атмосфере газов N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> на установке Arogee фирмы Kokusai. Слой Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> осаждали на оксидном слое в течение 24 мин при температуре 700 °С в атмосфере газов SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> на установке Arogee Type G. Третий слой SiO<sub>2</sub> был получен путем 15-минутного пирогенного окисления структуры при температуре 850 °С в атмосфере газов N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> на установке Arogee фирмы Kokusai.

Спектры поляризационных параметров Is(E) и Ic(E) образцов измеряли на спектральном эллипсометре UVISEL2 Horiba в области энергии фотонов (E) от 0,6 до 6 эВ при углах падения 60...75° с шагом 5°. Эти же образцы исследовались на сканирующем рентгеновском фотоэлектронном спектрометре. По спектрам XPS установили непрерывное распределение концентрации атомов Si, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub> и связей Si-O по толщине слоя ОНО. По этим данным неоднородный слой имеет толщину 9 нм. Для определения толщин и вещественного состава гетерогенного слоя ОНО методом эллипсометрии использовали семислойную электродинамическую модель: бруггемановский поверхностный слой толщиной  $d_1$

(50 % воздуха и 50 % SiO<sub>2</sub>), пленка SiO<sub>2</sub> толщиной  $d_2$ , бруггемановский переходный слой толщиной  $d_3$  (50 % SiO<sub>2</sub> и 50 % Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), пленка Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> толщиной  $d_4$ , бруггемановский переходный слой толщиной  $d_5$  (50 % Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и 50 % SiO<sub>2</sub>), пленка SiO<sub>2</sub> толщиной  $d_6$ , бруггемановский переходный слой толщиной  $d_7$  (50 % SiO<sub>2</sub> и 50 % cSi), cSi подложка. В таблице указаны толщины слоев трехслойной (строка 2) и семислойной (строка 3) моделей ОНО. Уменьшение величины  $\chi^2$  при усложнении модели показывает, что по параметрам семислойной модели можно охарактеризовать неоднородность слоя ОНО. На начальной стадии получения гетероструктуры на подложке образуется неоднородный слой оксида кремния, толщина которого больше толщины слоя нитрида кремния. На заключительной стадии поверхность слоя Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> оказывается практически не окисленной. Толщина всего неоднородного слоя ОНО ( $\sum d_i$ ) хорошо согласуется с величиной, определенной методом XPS.

Табл. 1. Толщины слоев ОНО на подложке КДБ12

| d <sub>1</sub> , нм | d <sub>2</sub> , нм | d <sub>3</sub> , нм | d <sub>4</sub> , нм | d <sub>5</sub> , нм | d <sub>6</sub> , нм | d <sub>7</sub> , нм | $\chi^2$ |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|
|                     | 4,23                |                     | 2,45                |                     | 2,32                |                     | 0,32     |
| 2,07                | 0,01                | 0,02                | 2,13                | 0,17                | 4,19                | 1,06                | 0,25     |

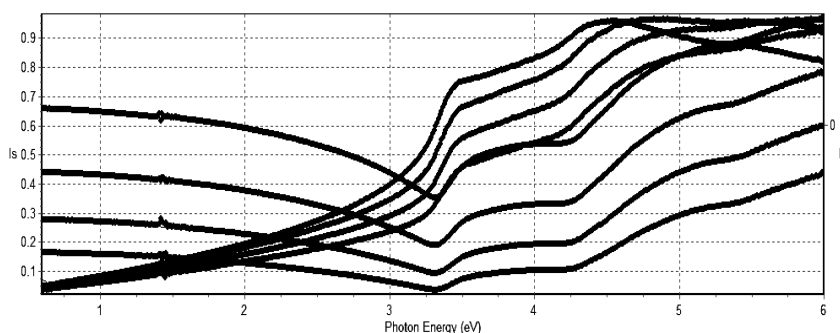


Рис. 1. Параметры Is и Ic неоднородного слоя ОНО на подложке ДБ12

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nucleation of chemical vapor deposited silicon nitride on silicon dioxide / M. Copel, P. R. Varekamp, D. W. Kisker, F. R. McFeely, K. E. Litz, M. M. Banaszak Holl // Applied physics Letters. – 1999. – Vol. 74, № 13. – P. 1830–1832.
2. Аззам, Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам, Н. Башара. – Москва: Мир, 1981. – 311 с.