

## ПРОФИЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ ФОРМЫ СПЕКТРОВ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ

Т.Ю. Кулешова, В.А. Миляев, П.А. Салтыков, А.В. Ширков

*Метод анализа составляющих компонентов применен для профильного анализа границы раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  по изменениям формы спектров характеристических потерь энергии электронов. Обнаружен различный состав переходной области в образцах, прошедших различную химическую обработку перед окислением.*

Метод анализа составляющих компонентов (АСК) использован в работах /1 – 3/ в качестве эффективного способа обнаружения химических связей в количественной оже-спектроскопии. В настоящей работе метод АСК применен для исследования границы раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  по изменениям формы линии спектров характеристических потерь энергии электронов (ХПЭЭ). Исследовались потери энергии, вызванные коллективными возбуждениями колебаний электронного газа (плазменная спектроскопия ХПЭЭ). Это область потерь на кривой энергораспределения, которая примыкает к пику упругоотраженных электронов.

Выбор метода был сделан после того, как профильный оже-анализ двух пар образцов, отличающихся по способу подготовки поверхности к окислению, не показал существенных различий в переходной области.

Эксперимент проводили в установке LAS-600 фирмы RIBER ( $p = 5 \cdot 10^{-8}$  Па). Спектры ХПЭЭ изучали с помощью анализатора с цилиндрическим зеркалом с разрешением 0,25%. Энергия первичных электронов составляла 500 эВ. Сигнал записывался в виде первой производной с амплитудой модуляции 1 В в автоматическом режиме /4/, время снятия одного спектра – 0,5 мин. Для травления поверхности использовали растровую ионную пушку CI-50 RB с дифференциальной откачкой ( $p(\text{Ar}) = 4 \cdot 10^{-3}$  Па,  $E = 3$  кэВ,  $j = 50$  мкА/см<sup>2</sup>).

Образцы окислов кремния получали термическим окислением Si (111) в кислороде ( $p(\text{O}_2) = 1100$  Па,  $T = 1050$  °С,  $t = 13$  мин). Отличие образцов заключалось в подготовке поверхности к окислению: одностадийной химической отмывкой (ОХО) ( $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$  при  $T = 70$  °С) и двухстадийной химической отмывкой (ДХО) ( $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$  при  $T = 70$  °С – первая стадия,  $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$  – вторая стадия). Толщины окислов определялись на эллипсомере. Исследовались образцы после ОХО толщиной 250 Å, после ДХО – 240 Å, полученные в одном процессе окисления, и образцы после ОХО и ДХО толщиной 280 Å, полученные в другом процессе окисления.

После сравнения оже-профилей этих образцов удалось определить, что они имеют разную ширину переходной области отличающуюся на 15 – 20% (ширина интерфейса определяется интервалом на профиле, где интенсивность сигнала меняется от 84% до 16% /5/).

Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) является более чувствительной к изменениям электронной структуры вещества /6, 7/ по сравнению с оже-спектроскопией. Время одного шага травления ионами аргона составляло 1 мин. Спектры после каждого шага травления записывались в память ЭВМ. На рис. 1 показано изменение формы линии спектров плазменных потерь, соответствующих границе раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  образца с окислом толщиной 280 Å после ОХО. Форма спектра чистого кремния (линия 5) хорошо согласуется с результатом, полученным в работе /8/. Спектры, записанные в память ЭВМ и тестовые спектры фаз  $\text{SiO}_2$  и Si обрабатывались с помощью ЭВМ по методу АСК. Профильное распределение, полученное этим методом, показало, что сумма составляющих компонентов  $\text{SiO}_2$  и Si в переходной области меньше 100% (рис. 2). Это указывает на присутствие дополнительной фазы, состоящей из одного или нескольких компонентов, причем содержание этой фазы в образцах, полученных после ОХО, в среднем на 30 – 40% больше, чем в образцах, окисленных после ДХО (рис. 3 линии 1 и 2 соответственно). Следовательно структура области в образцах с ДХО более совершенна.

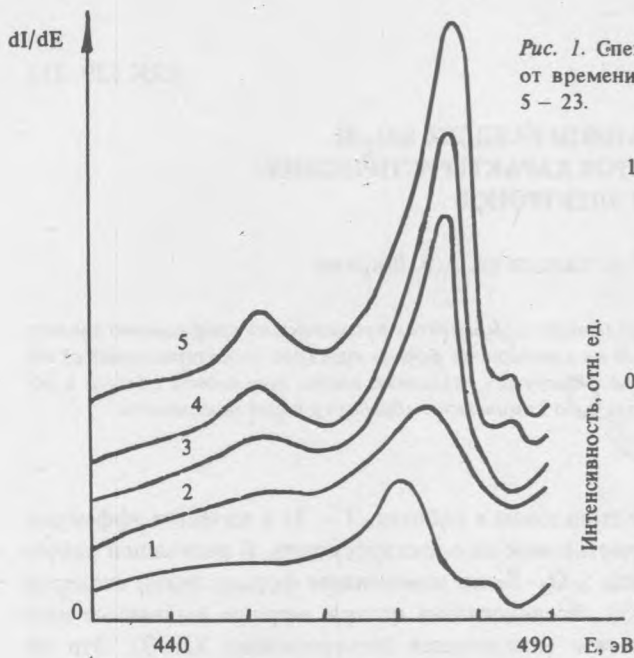


Рис. 1. Спектры ХПЭЭ границы раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  в зависимости от времени травления (мин): 1 – 9, 2 – 17, 3 – 19, 4 – 20, 5 – 23.



Рис. 2. Профильное распределение фаз  $\text{SiO}_2$  (1) и Si (2).



Рис. 3. Содержание фазы  $\text{SiO}_x$  на границе раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  в образцах, окисленных: 1 – после ОХО, 2 – после ДХО.

Этот результат хорошо согласуется с измерением методом СВЧ [9] эффективного времени жизни неравновесных носителей, генерированных лазерным импульсом ( $\lambda = 0,53$  мкм), вблизи границы раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ , которое показало, что скорость рекомбинации носителей на этой границе в образцах с ДХО примерно в 5 раз меньше, чем в образцах с ОХО. Это свидетельствует о лучшем электрофизическом качестве образцов с ДХО.

Таким образом, применение метода СХПЭЭ для профильного анализа с последующей математической обработкой спектров по методу АСК позволило найти на границе раздела  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  присутствие фазы  $\text{SiO}_x$  ( $x$  от 0 до 2), установить ее количественное содержание и корреляцию с электрофизическим качеством переходного слоя.

Авторы благодарны Н.К. Шубиной за приготовление образцов и В.А. Никитину за измерение времени жизни неравновесных носителей методом СВЧ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gaarenstroom S. W. Appl. Surf. Sci., 7, 7 (1981).
2. Atzrodt V. Phys. Stat. Sol. (a), 79, 489 (1983).
3. Белоконов А. В. и др. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции "Физические и физико-химические основы микроэлектроники", М., изд. ВИНТИ, 1987, с. 233.
4. Белоконов А. Н. и др. Препринт ИОФАН № 22, М., 1988.
5. Hofman S. Surface Interface Anal., 2, 148 (1980).
6. Черепин В. Т., Васильев М. А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Справочник, Киев, Наукова думка, 1982.
7. Ли ф ш и ц В. Г. Электронная спектроскопия и атомные процессы на поверхности кремния, М., Наука, 1985.
8. Sharma J. K. N. et. al. Surface Sci., 193, L58 (1988).
9. Заварицкая В. А. и др. ФТП, 18, 2160 (1984).

Поступила в редакцию 10 октября 1988 г.