

10; 11

© 1991

ЭФФЕКТ ПЕРЕНОСА ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ
АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В РАСТРОВОЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

В.К. Смирнов, В.В. Абрамов

В работах по исследованию состава твердого тела методом растровой электронной оже-спектроскопии (РЭОС) приводятся результаты, обычно относящиеся либо к достаточно гладким поверхностям, либо фактор рельефа поверхности опускается из рассмотрения [1, 2]. Только применительно к растровой электронной микроскопии активно изучается зависимость электронной эмиссии от микроструктуры поверхности [3, 4]. В случае РЭОС информация по влиянию неровностей поверхности носит теоретический характер [5] и ограничивается указанием в первую очередь на существование эффекта затенения потока оже-электронов неровностями поверхности. Увеличение оже-выхода могут вызвать поверхностные наклоны при больших величинах шероховатости и скользящих углах вылета оже-электронов. Практически вопрос об особенностях РЭОС-анализа топографических элементов на поверхности остается открытым.

В то же время именно РЭОС по причине высокой локальности является инструментом элементного анализа различных трехмерных микроструктур. Здесь вполне вероятна ситуация, когда размер области взаимодействия электронного зонда, достигающий нескольких микрон в диаметре [1], будет превышать размер анализируемого элемента. Можно априорно ожидать следующего. С одной стороны уменьшения фактора обратного рассеяния соответственно ослабления оже-сигнала за счет потери вышедших в вакуум высокоэнергетичных обратнорассеянных электронов. С другой стороны, эти электроны, обладая достаточной энергией могут инициировать генерацию оже-электронов в соседних областях поверхности. Экспериментальное подтверждение изложенных выше предположений и явилось предметом настоящей работы.

В исследовании использованы два тест-объекта, описанные ниже. Эксперименты выполнены на РЭОС РН1-660. Энергия электронов первичного пучка варьировалась в диапазоне 3-20 кэВ при токах 10-100 нА. Диаметр электронного зонда при этом составлял 30-40 нм.

На рис. 1 представлена структура объекта 1 и зависимость интегральной интенсивности оже-пиков кремния $N(E)$ при сканировании вдоль заданной линии на поверхности электронным зондом с нормальным падением. Регистрировались оже-электроны кремния с энергией 89 (LMM-линия) и 1614 эВ (KLL-линия). Видно

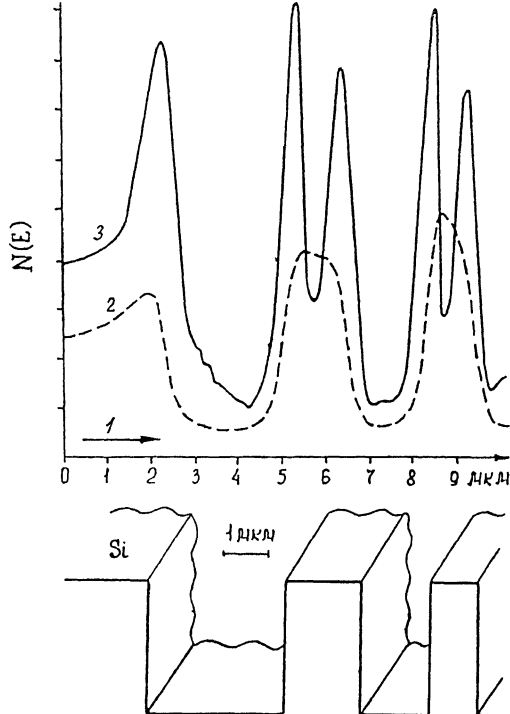


Рис. 1. Одноэлементная кремниевая структура и результат линейного сканирования: 1 - направление сканирования, 2 - низкоэнергетичный пик, 3 - высокоэнергетичный пик. Энергия первичного пучка 20 кэВ.

наличие особенностей и различие в поведении сигналов низко- и высокоэнергетичных электронов. Выход последних резко возрастает на границах ступенек. В то же время наблюдается повышенная эмиссия низкоэнергетичных оже-электронов на ступеньках структуры по сравнению с плоской поверхностью. Отмеченные особенности зависят от энергии первичного пучка и усиливаются при ее увеличении от 3 до 20 кэВ. Их проявление не связано с присутствием на поверхности примеси углерода и естественного окисла. Следует отметить, что при ширине ступеньки 0.5–0.7 μm исчезает провал в выходе высокоэнергетичных электронов.

Поскольку в настоящем случае размеры ступенек структуры сравнимы с размерами области взаимодействия электронного зонда с материалом образца, можно представить объяснение экспериментальных результатов с позиции изложенного выше предположения об иницировании эмиссии оже-электронов вышедшими в вакуум высокоэнергетичными обратнорассеянными электронами, т.е. переносом области генерации аналитического сигнала. Действительно, когда первичный пучок падает на центральную часть ступеньки, вышедшие

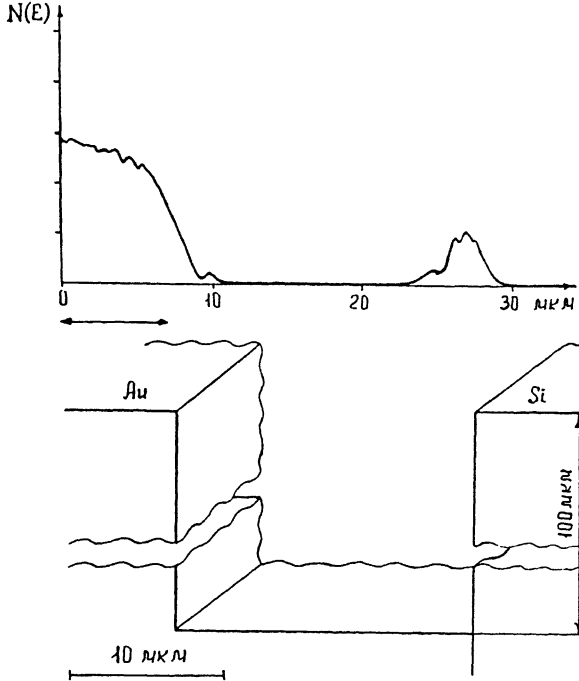


Рис. 2. Двухэлементная $Au - Si$ структура и результат линейного сканирования. Энергия оже-электронов золота 68 эВ. 1 - направление сканирования. Энергия первичного пучка в 10 кэВ.

в вакуум из боковых стенок электроны не обладают энергией, достаточной для возбуждения KLL-перехода, но, по-видимому, способны вызвать более низкоэнергетичный LMM-переход и эмиссию оже-электронов с боковых поверхностей соседних ступенек. Это и приводит к увеличению общего количества низкоэнергетичных электронов, попадающих в энергоанализатор спектрометра. При расположении зонда вблизи края ступеньки доля вышедших в вакуум высокоэнергетичных обратнорассеянных электронов возрастает и на поверхностях соседних ступенек происходит инициирование эмиссии оже-электронов, соответствующих KLL-переходу. Значительный уровень повышения сигнала в данном случае коррелирует с увеличением площади поверхности, эмиттирующей оже-электроны. При определенной ширине ступеньки пики сигнала высокоэнергетичных электронов на их границах должны сливаться, что и наблюдается в эксперименте. Таким образом, результаты описанного эксперимента могут быть объяснены эффектом переноса области генерации аналитического сигнала.

С целью получения прямого доказательства существования данного эффекта были проведены эксперименты с тест-объектом 2.

Результаты линейного сканирования с регистрацией оже-пиков с энергией 68 и 2015 эВ (MNN –переходы) представлен на рис. 2. В данном случае эффект проявляется в виде всплеска интенсивности сигнала для обоих переходов, отвечающих Au, на границе кремниевой пластины. Для исключения поверхностной диффузии золота как возможного объяснения наблюдаемого явления было проведено линейное сканирование поперек границы золотой пленки, напыленной на пластину кремния. Присутствия золота на кремнии не обнаружено.

Итак, оже-сигнал золота на границе кремниевой пластины в структуре 2 – ложный и получено однозначное доказательство регистрации нового артефакта элементного анализа в методе РЭОС – эффекта переноса области генерации аналитического сигнала. Эффект является дальнедействующим. Расстояние между ступеньками Au и Si менялось в пределах 10–40 мкм и во всех случаях присутствовал ложный оже-сигнал Au на границе кремниевой пластины. Следует отметить, что, в свою очередь, ложный сигнал оже-электронов Si регистрировался на границе ступеньки Au, т.е. наблюдается взаимовлияние элементов структуры при их анализе.

Таким образом, результаты элементного анализа методом РЭОС могут искажаться не только за счет электронно-стимулированных процессов [6], но и в результате открытого в настоящей работе эффекта переноса области генерации аналитического сигнала. Не исключено, что проявление данного эффекта не ограничено техникой оже-спектроскопии, а может иметь место и в электронно-зондовом микроанализе, где происходит возбуждение в определенной области характеристического рентгеновского излучения электронным зондом [7]. Необходимы дальнейшие исследования эффекта, как экспериментальные, так и теоретические; с целью разработки способов его подавления.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Анализ поверхности методом оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха. М.: Мир, 1987. 598 с.
- [2] В уд р а ф Д., Д е л ч а р Т. Современные методы исследования поверхности, М.: Мир. 1989. 568 с.
- [3] А р и с т о в В.В., К а з ь м и р у к В.В., У ш а - к о в Н.Г., Ф и р с о в а А.А. // Поверхность. 1989. № 3. С. 138–142.
- [4] А р и с т о в В.В., К а з ь м и р у к В.В., У ш а - к о в Н.Г., Ф и р с о в а А.А. // Поверхность. 1989. № 4. С. 138–145.

- [5] Яковенко А.В. // Поверхность. 1990. № 12. С. 44-51.
- [6] Полонский Б.А., Протопопов О.Д. // Поверхность. 1988. № 8. С. 122-127.
- [7] Количественный электронно-зондовый микроанализ / Под ред. В. Скотта, Г. Лава, М.: Мир. 1986. 351 с.

Поступило в Редакцию
1 июля 1991 г.