

УДК 537.533

Простая методика определения состава и размерных параметров слоистых структур

Н. Н. Дремова

ФГУП "Научно-производственное объединение "Орион" — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Растровый электронный микроскоп, оснащенный приставкой EDAX, может служить анализирующим устройством для диагностики структур микроэлектроники, не последнее место среди которых занимают многослойные объекты. Источниками информации об исследуемом образце в таком микроскопе являются три регистрируемых сигнала: вторичные электроны, обратноотраженные электроны и кванты рентгеновского излучения.

Низкоэнергетичные вторичные электроны (ВЭ) в основном используются для визуализации поверхности с хорошим разрешением и большой глубиной фокуса, их легко собрать небольшим вытягивающим полем и зарегистрировать обычным детектором Эверхарта-Торнли. Однако значительная часть ВЭ несет информацию и о подповерхностных слоях, так как порождаются ВЭ не только первичным пучком электронов, но и обратноотраженными электронами (ООЭ), которые рассеиваются в глубине образца, а значит, несут информацию об изменении коэффициента отражения с изменением глубины проникновения и выхода, соответственно. Изображения многослойных структур, полученные в РЭМ при различных ускоряющих напряжениях, приведены на рис. 1.

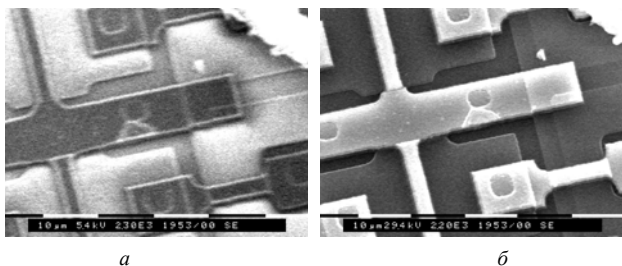


Рис. 1. Изображения многослойных структур во вторичных электронах при ускоряющем напряжении, кэВ:
а — 5,4; б — 29,4

Инверсия контраста слоев наглядно демонстрирует возможность метода. Если убрать "первичные" (порожденные входящим в образец первичным пучком) ВЭ₁, то, как показано в работах [1, 2], вольтконтрастные характеристики позволяют определять глубину залегания слоя, его толщину и состав. Вольтконтрастная характеристика в данном случае — это зависимость количества "третичных" ВЭ₃ от ускоряющего первичный пучок напряжения. В свою очередь "третичные" ВЭ₃ — суть ВЭ, порожденные ООЭ на стенках камеры (остальные ВЭ запираем на образце с помощью потенциала либо на столике объектодержателя, либо на сетке вокруг него).

Количество ООЭ непосредственно можно определить исходя из величины поглощенного тока и величины тока первичного пучка электронов. Цилиндр Фарадея и встроенный в микроскоп усилитель поглощенного тока позволяют решить поставленную задачу, а вариации ускоряющего напряжения демонстрируют изменения

коэффициента обратного отражения (КОО), являющегося характеристикой состава образца, с изменением глубины выхода ООЭ.

Наконец, спектральный анализ рентгеновских квантов (X-ray) с помощью приставки EDAX дает подробную информацию о составе облученного электронным пучком объекта. Если пройти весь диапазон ускоряющих напряжений, то будет осуществлен послойный спектральный анализ вплоть до глубины проникновения электронов при 30 кэВ.

Два первых метода регистрации ВЭ и ООЭ идентичны и показывают изменение КОО при вариациях ускоряющего напряжения, что позволяет определить количество слоев, их толщины и глубину залегания. Ограничения накладываются величиной ускоряющего напряжения, близостью КОО различных элементов, минимальной толщиной слоя, регистрируемой таким способом для конкретного элемента на заданной глубине. Как показано в работе [3], обратная задача восстановления многослойной структуры по КОО выполнима не для всех случаев, однако следует отметить достоинства, простоту и быстроту этого метода. Так, к достоинствам, несомненно, относятся малый ток первичного пучка ($\sim 10^{-10}$), неразрушающий образец и в то же время достаточный для регистрации ООЭ и ВЭ, возможность работы при малых ускоряющих напряжениях и возможность определения легких элементов. КОО от одного слоя на подложке описывается в работе [4] формулой

$$\eta_{tot} = \eta_s \eta_{tr}(D) + \eta_f [1 - \eta_{tr}(D)],$$

где $\eta_{tr}(D)$ — КОО от свободной пленки;

$$(\eta_{tr} = I_{tr}/I_0);$$

η_s и η_f — КОО материала подложки и пленки, соответственно.

Для двух слоев различных элементов, нанесенных на подложку из третьего элемента, в работе [3] предлагается формула, связывающая КОО с величиной ускоряющего напряжения

$$\eta_{tot} = \eta_{f1}(U) + (1 - \eta_{f1}(U)/\eta_1) \eta_{f2} + \\ + (1 - \eta_{f1}(U)/\eta_1)(1 - \eta_{f2}(U)/\eta_2) \eta_3,$$

где $\eta_{f1}(U)$, $\eta_{f2}(U)$ — КОО от свободных пленок;

η_1 , η_2 , η_3 — КОО материала пленок и подложки, соответственно.

Таким образом, имеется возможность воспроизведения слоистой структуры по тому, какова отражательная способность образца и как она меняется с изменением глубины проникновения электронов, т. е. с вариацией ускоряющего напряжения.

Спектральный анализ рентгеновских квантов в сочетании с зависимостью от ускоряющего напряжения (при работе на одном ускоряющем напряжении нет возможности различить слоистую структуру и однородную смесь) дает, казалось бы, более полную картину объекта. На рис. 2 приведены зависимости от ускоряющего напряжения содержания каждого из составляющих элементов, измеренные с помощью приставки EDAX на многослойных образцах. Однозначное определение состава характерно для этого метода. КОО для близких по атомному номеру элементов практически

неразличим, в то время как характеристическое излучение мгновенно дает ответ на вопрос о составе объекта.

Из рис. 2 видно, что можно определить состав слоя, его толщину и глубину залегания по изменениям спектров при смене ускоряющего напряжения. Неоднозначность и артефакты в данном методе возникают по двум основным причинам. Во-первых, легкие элементы приставка EDAX не чувствует, и определить, например, присутствует ли слой углерода как на поверхности, так и в глубине нельзя. Во-вторых, с уменьшением ускоряющего напряжения многие из линий характеристических спектров перестают возбуждаться, что приводит к невозможности определения некоторых элементов, necessarily легких.

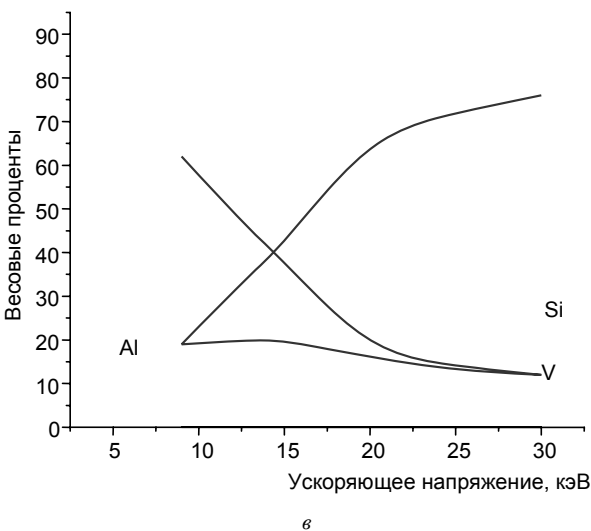


Рис. 2. Зависимости от ускоряющего напряжения содержания каждого из составляющих элементов многослойных образцов (а, б, в — различные точки на поверхности образца)

Таким образом, видно, что два метода со своими достоинствами и недостатками во многом дополняют друг друга. Достоверную информацию о многослойной структуре для большинства случаев можно получить при совмещении РСА и регистрации поглощенного тока. В первом случае разделяются элементы с близкими атомными номерами, во втором — идентифи-

цируются составляющие с низким атомным номером.

Л и т е р а т у р а

1. Дремова Н. Н., Рау Э.И., Ху Вэнь Го. Энергетический анализ обратнорассеянных электронов в РЭМ для исследования многослой-

ных микроструктур// Поверхность. 1995. № 1. С. 45—51.

2. *Aristov V. V., Dreomova N. N., Firsova A. A., Kazmiruk V. V., Samsonovich A. V., Ushakov N. G., Zaitsev S. I.* Signal Formation of Backscattered Electrons by Microinhomogeneties and Surface Relief in a SEM// Scanning. 1991. V. 13. P. 15—22.

3. *Дремова Н. Н.* Растровая электронная микроскопия многослойных структур в обратноотраженных электронах: Дис. ... на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. — Черноголовка, 1996.

4. *Niedrig H.* Electron backscattering from thin films// J. Appl. Phys. 1982. № 53(4). R15—R49.

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2005 г.

Simple technique for determination of structure and dimensional parameters of layered system

N. N. Dreomova

ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Scanning electron microscope, equipped EDAX system, can serve as an analyzing device for diagnostics of structures of microelectronics, especially multilayer objects. The authentic information about multilayer structure can be received by combination of X-ray energy spectrometry and signal of absorbed current with varying of accelerating voltage.