

06.12

Особенности вольт-амперных характеристик окисленного пористого кремния

© М.С. Аблова, М.В. Заморянская, В.И. Соколов, Р.И. Хасанов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 15 декабря 2002 г.

В окончательной редакции 24 января 2003 г.

Окисленный пористый кремний является нанокompозитным материалом. Вольт-амперные характеристики МОП-структур на основе окисленного пористого кремния обнаруживают особенности (большое плато, осцилляции), которые можно рассматривать как проявление квантово-размерных эффектов.

Фундаментальной основой современной микроэлектроники являются структуры металл–окисел–полупроводник (МОП), в которых окисел формируется путем окисления монокристаллического кремния. Исследования подобных структур на основе окисленного пористого кремния практически отсутствуют. Рассматривая такой окисел как нанокompозитный материал, можно ожидать в МОП-структурах на окисленном пористом кремнии проявления некоторых квантово-размерных эффектов. Поиску таких эффектов и посвящена наша работа.

Для изготовления экспериментальных образцов использовался кремний *p*-типа марки КДБ-10 с ориентацией поверхности (100). Окисная пленка, содержащая нанокластеры кремния, формировалась следующим способом: пластинка *c*-Si травилась в водном растворе плавиковой (30%) кислоты в течение 5 min при плотности тока 10 mA/cm². Часть этой же пластинки оставалась нетравленной и служила контрольной областью при последующих измерениях. Окисление материала производилось при 1000°C в парах воды в течение 20 min. Толщина окисла на контрольной части образца составляла 190 nm, на пористом кремнии — 300 nm. Условия окисления специально выбирались такими, чтобы в окисел превратился весь слой пористого кремния и некоторая часть подстилающего монокристалла. В нашем распоряжении находились также образцы, изготовленные сторонней организацией, в которых ТЭМ

(трансмиссионная электронная микроскопия) исследования показали наличие нанокластеров кремния. В наших образцах наличие *nc*-Si определялось косвенным методом — измерением спектров катодолуминесценции. Как известно [1,2], появление в этих спектрах зеленой линии отождествляется с наличием в окисле *nc*-Si с размерами примерно 5 nm. Поскольку вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов из обеих партий совпадали, мы рассматриваем это как подтверждение наличия нанокристаллитов в наших образцах.

Вольт-амперные характеристики измерялись в динамическом режиме на синусоидальном напряжении частотой 20 и 400 Hz, в затемненной вакуумной камере. Вакуумная камера позволяла избегать адсорбции и являлась стандартной средой. Чтобы расширить диапазон наблюдений, измерения проводились при сильно различающихся температурах — 300 и 77 К (квантово-размерные эффекты наиболее вероятны при низких температурах). Для удобства анализа кривых и сравнения их с литературными данными измеренные ВАХ приводятся на рисунках в линейных координатах.

Вид вольт-амперных характеристик имеет общие черты для всех образцов (рис. 1 и 2):

- вне зависимости от частоты и температуры все ВАХ нелинейны (имеет мест диодный эффект);
- на всех характеристиках сквозной ток при переходе через напряжение, равное нулю, отличен от нуля и имеет конечное значение;
- на всех характеристиках наблюдался гистерезис.

На контрольных образцах ни диодный эффект, ни конечное значение тока при нулевом напряжении, ни гистерезис не наблюдались. Гистерезисные явления, а также плато на ВАХ (рис. 1), по-видимому, обусловлены образованием заряда на границе окисел–полупроводник при минусе на *c*-Si, обладающих свойствами медленных ловушек. Захват ими носителей тока определяется амплитудой измерительного напряжения. Об этом свидетельствует тот факт, что после кратковременной (12 s) так называемой „обработки полем“ — подачи более высокого измерительного напряжения (40 V) по сравнению с первоначальным (12 V) — происходит расширение плато на ветви ВАХ (пунктир на рис. 1). Существенной особенностью ВАХ для полученных нами образцов является наличие пакета высокочастотных осцилляций, наблюдающихся на одной из их ветвей. Амплитуда осцилляций по току, вероятно, отражает внутренние свойства МОП-структуры, которая модифицируется по-разному при „обработке полем“ и на разных

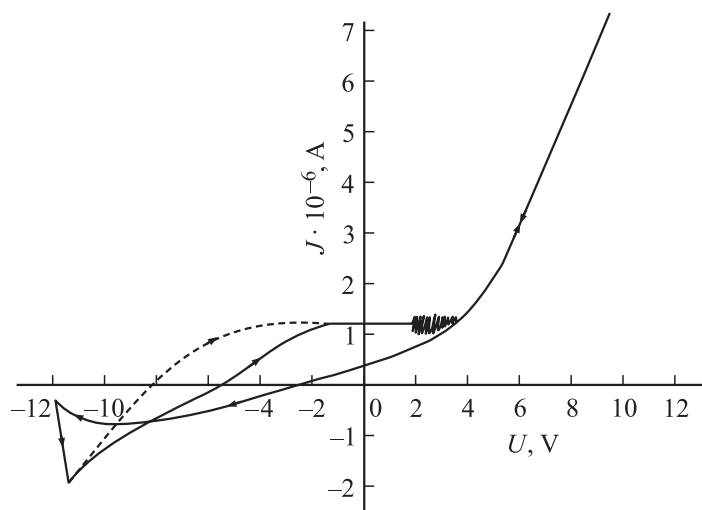


Рис. 1. ВАХ образца № 4 (20 Hz, 12 V, 300 K). Осцилляции в области плато при положительном напряжении на подложке-электроде *c*-Si. Пунктир — ветвь ВАХ после „обработки полем“.

частотах измерительного напряжения. Некоторые из наблюдавшихся типов осцилляций на ВАХ приведены для примера на рис. 1 и 2. Рис. 1 иллюстрирует осцилляции, проявившиеся на плато ВАХ в области положительного напряжения на кремнии для образца № 4. Большинство образцов обнаруживало ВАХ, близкие к изображенной на рис. 1.

На рис. 2 приведена ВАХ другого вида, которую можно назвать „нетипичной“. Она получена при температуре жидкого азота после двухмесячной выдержки образца № 1 в вакуумной камере. На этом образце осцилляции наблюдались на той части ветви, которая относится к случаю минуса на кремнии. Уровень фиксируемых токов на таком образце резко упал по сравнению с их значением при 300 K, но появились невидимые при 300 K осцилляции. Амплитуда осцилляций на образцах рис. 1 и 2 практически одинакова. На всех образцах осцилляции наблюдались только при 20 Hz, при частоте 400 Hz они исчезали. Подчеркнем, что и увеличение частоты, и воздействие белым светом сглаживает тонкую структуру вольт-амперных характеристик.

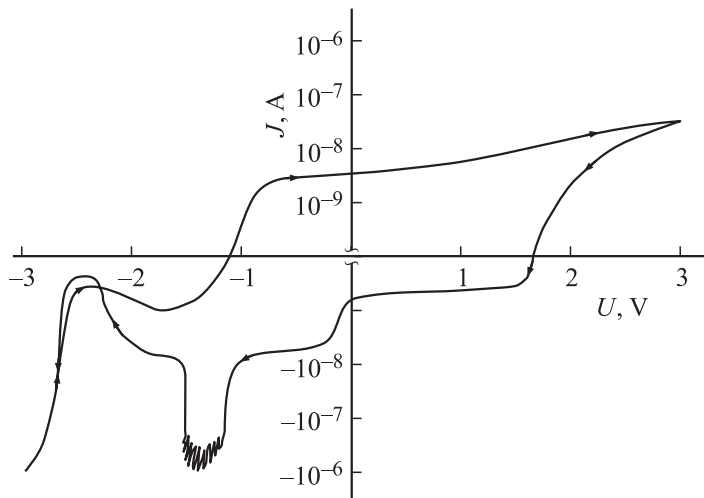


Рис. 2. ВАХ образца № 1 (20 Hz, 3 V, 77 K), выдержанного в течение двух месяцев в вакуумной камере. Осцилляции в области отрицательного напряжения на подложке-электроре *c*-Si. При 300 K и до выдержки в вакууме осцилляции не наблюдались.

Наблюдаемые особенности вольт-амперных характеристик, по-видимому, свидетельствуют о наличии в структурах на основе окисленного пористого кремния неглубоких квантовых ям, связанных структурно с медленными ловушками. Результаты, приведенные на рис. 1 (осцилляции непосредственно на плато), можно трактовать именно таким образом. Детальное исследование этих особенностей — наша задача ближайшего времени.

Список литературы

- [1] Богомолов В.Н., Гуревич С.А., Заморянская М.В. и др. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 2. С. 357–359.
- [2] Бару В.Г., Елинсон М.И., Житов В.А. и др. // Микроэлектроника. 1998. Т. 27. В. 1. С. 45–48.