

06.2;12

## ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЕМКОСТИ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО 6H-SiC

© Н.С.Аверкиев, Л.М.Капитонова,  
А.А.Лебедев, А.А.Лебедев

В теоретических работах [1,2] было показано, что емкостная составляющая  $C$  адмитанса структур с наноразмерными элементами зависит от частоты измерительного сигнала  $\nu$ . Если структуры состоят из проводящих пластин с наноразмерной толщиной, то

$$C \sim R \operatorname{Re} \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 - ib\nu}} \ln \left( \frac{1 + \sqrt{1 - ib\nu}}{1 - \sqrt{1 - ib\nu}} \right), \quad (1)$$

где

$$b = \frac{2kT}{q^2 n_2 \sigma_2},$$

$\varepsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость пространства вне проводящей плоскости,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура,  $q$  — заряд электрона,  $n_2$  — двумерная концентрация электронов,  $\sigma_2$  — двумерная проводимость пластин. Формула (1) справедлива при выполнении двух условий. Во-первых, толщина проводящей плоскости должна быть много меньше статического и динамического радиусов экранирования. Во-вторых, если имеется много проводящих областей, то среднее расстояние между ними должно превосходить указанные радиусы экранирования. Если второе условие не выполняется, то совокупность проводящих областей представляет собой некоторую трехмерную среду с эффективной диэлектрической проницаемостью и проводимостью. В этом случае частотная дисперсия емкости будет иметь место на частотах, обратных времени максвелловской релаксации. На рис. 1 представлены рассчитанные по формуле (1) зависимости  $C(\nu)$  при разных значениях  $b$ . Расчеты показали также, что при  $b \gtrsim 1 \cdot 10^{-3}$  с с хорошей точностью выполняется зависимость  $C \sim \nu^{-2}$ .

В случае, когда структуры представляют собой наноразмерные столбики,  $C \sim \nu^{-1/2}$ . Для реализации этого типа дисперсии также необходимы условия, подобные тем, которые имеют место для случая наноразмерных проводящих плоскостей.

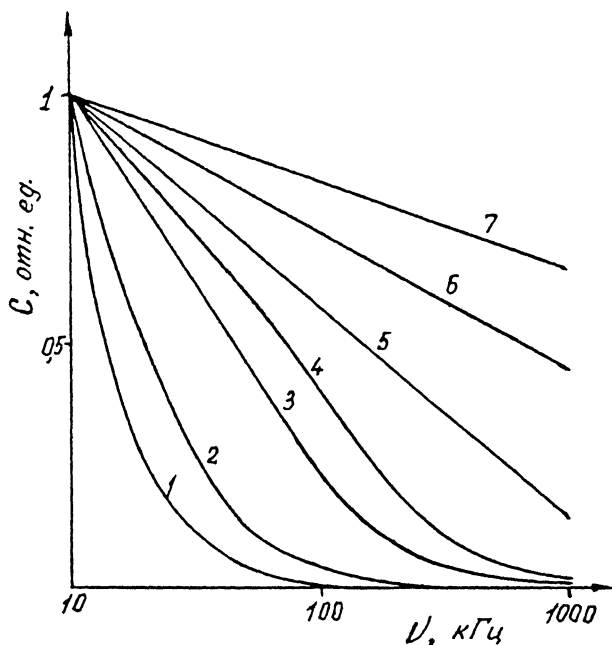


Рис. 1. Нормированные расчетные зависимости  $C = f(b\nu)$  при значениях  $b$ , с: кривая 1 —  $10^{-3}$ , 2 —  $5 \cdot 10^{-5}$ , 3 —  $10^{-5}$ , 4 —  $5 \cdot 10^{-6}$ , 5 —  $10^{-6}$ , 6 —  $10^{-7}$ , 7 —  $10^{-10}$ .

Экспериментально частотная зависимость емкости была обнаружена при исследовании структур на основе пористого кремния [3]. В таких структурах достаточно четко реализовалась зависимость  $C \sim \lg \nu$ , т. е. в пористом кремнии преобладали двумерные проводящие элементы. Данная работа посвящена исследованию структур на основе анодизированного 6H-SiC. Ранее была исследована фотолюминесценция таких слоев и показано, что в них происходит значительное увеличение интенсивности излучения по сравнению с исходными кристаллами [4].

Образцы для исследования частотной зависимости емкости были изготовлены путем анодного травления монокристаллов *n*-6H-SiC с концентрацией свободных электронов  $\approx 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при 300 К и кристаллографической ориентацией (0001). Поверхность пластин до травления была зеркальной. Травление производилось при комнатной температуре в электролите, состоящем из 30–50 объемных частей 48% HF, 20–50 частей 96%  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и 1–2 частей 78%  $\text{HNO}_3$ . Плотность тока  $J$  была 20–70 мА/см<sup>2</sup>, длительность травления  $t$  составляла 15–70 мин. Результаты трав-

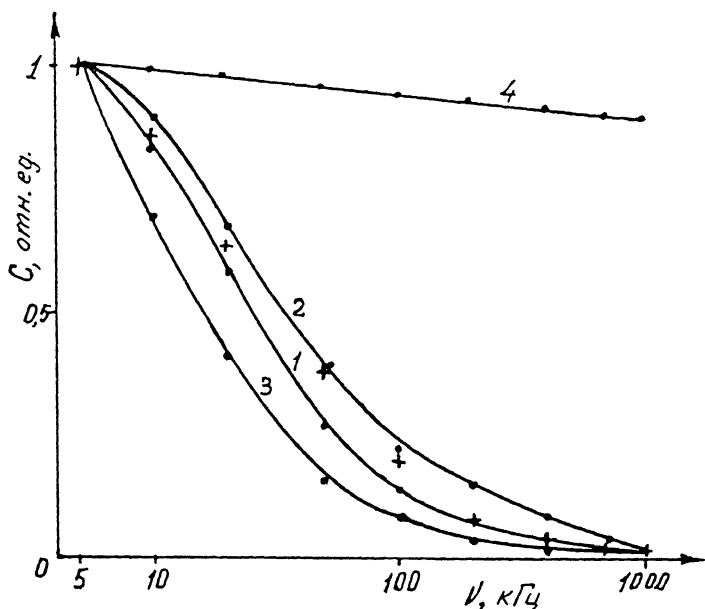


Рис. 2. Нормированные на емкость при 5 кГц экспериментальные значения  $C(\nu)$  структур 6H-SiC при 300 К. Цифры у кривых соответствуют номерам образцов в таблице. Крестиками (+) показаны нормированные значения  $C(\nu)$ , вычисленные по формуле (1) при  $b = 1 \cdot 10^{-5}$  с.

ления зависят от количества прошедшего через систему заряда  $Q = It$ . Предварительные результаты показали, что если  $Q < 20$  Кл/см<sup>2</sup>, то на пластине заметны только слабые следы травления. При  $Q$  в интервале 50–150 Кл/см<sup>2</sup> на зеркальной поверхности пластин 6H-SiC образуется матовый слой обычно желтого цвета. Если же  $Q \gtrsim 150$  Кл/см<sup>2</sup>, то в процессе травления происходит самопроизвольное отслаивание частичек карбида кремния с зеркальными гранями и площадью порядка 1–3 мм<sup>2</sup>.

Структуры для измерения адмитанса были изготовлены путем термического напыления серебра на поверхность анодированного слоя через маску с диаметром отверстий 3 мм. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) некоторых

| № образца          | 1    | 2    | 3     | 4    |
|--------------------|------|------|-------|------|
| При 5 кГц $C$ , пф | 4680 | 1660 | 857.4 | 8820 |
| При 1 кГц $C$ , пф | 70   | 24   | 15.5  | 8350 |

структур (№ 1) были строго линейными с сопротивлением около 3 кОм. Другие структуры имели не совсем линейные, но симметричные ВАХ.

Измерения емкости производились мостовым методом при комнатной температуре в диапазоне частот 5 кГц–1 МГц с помощью мостов МПП-300 и Е7-12. К структурам не прикладывалось внешнее смещение, амплитуда переменного сигнала не превышала 25 мВ.

Измерения показали, что емкость большинства структур при низких частотах большая (см. таблицу) и быстро падает с ростом  $\nu$ . На рис. 2 показана для нескольких образцов частотная зависимость емкости в координатах  $C(\nu)/C(5 \text{ кГц}) - \lg \nu$ . Из рисунка видно, что логарифмическая зависимость удовлетворительно выполняется в образцах № 1–3 при низких частотах, а для образца № 4 — во всем интервале использованных частот. На том же рисунке крестиками обозначены нормированные значения емкости, вычисленные по формуле (1) при  $b = 1 \cdot 10^{-5}$  с. Видно, что теоретические  $I$  и экспериментальные значения  $C(\nu)$  удовлетворительно согласуются между собой, т. е. анодизированные слои 6Н-SiC состоят преимущественно из двумерных проводящих пластин. Некоторые отклонения от теории связаны, по-видимому, с тем, что анодизированные слои SiC, как и в пористом кремнии [5], имеют сложную структуру, которая не всегда полностью удовлетворяет предположениям, заложенным в теорию. В частности, возможна проводимость не только по плоскостям, но и по столбикам. Кроме того, поперечные размеры проводящих областей могут изменяться вдоль их длины.

Работа выполнена в рамках программы “Физика твердотельных наноструктур” и при частичной финансовой поддержке Аризонского университета.

#### Список литературы

- [1] Shik A. // J. Phys.: Condens. Matter. 1992. V. 4. P. 335.
- [2] Аверкиев Н.С., Шик А.Я. // ФТП. 1996. Т. 30. С. 199.
- [3] Аверкиев Н.С., Капитонова Л.М., Лебедев А.А., Ременюк А.Д., Смирнова Н.Н., Шик А.Я. // Тезисы докладов на 2-й Российской конференции по физике полупроводников. 1996. Т. 11. С. 122.
- [4] Лебедев А.А., Лебедев А.А., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 3. С. 64.
- [5] Ben-Chorin M., Moller F., Koch F., Schirmacher W., Eberhard M. // Phys. Rev. 1995. B. V. 51. P. 2199.

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

Поступило в редакцию  
4 июля 1996 г.