

06;12

Влияние легирования подложки на параметры пористых слоев карбида кремния

© В.Б. Шуман, В.В. Ратников, Н.С. Савкина

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: nata.sav@pop.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 14 декабря 2001 г.

Для 6H-SiC *n*-типа проводимости, изготовленного методом Лели, изучено влияние степени легирования подложки в интервале $4 \cdot 10^{17} \div 4.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ на характеристики пористого слоя: диаметр пор, пористость, концентрацию пор. Установлено, что в сильно легированных подложках, по сравнению со слабо легированными, формируется пористый слой с порами меньшего диаметра и объема, но с большей (в несколько раз) концентрацией пор.

Из полупроводниковых пористых материалов лучше всего изучен кремний. Для него известны зависимости параметров пористого слоя от режимов травления и характеристик исходного материала [1,2]. Изучение пористого карбида кремния (ПКК) началось гораздо позже [3], и аналогичные сведения практически отсутствуют. Изучение характеристик ПКК и установление общих закономерностей его формирования осложняется тем, что SiC, по сравнению с Si, содержит гораздо больше структурных дефектов (дислокаций, межзеренных границ, блоков и т.д.), которые не могут не влиять на результаты. Так, например, при использовании подложек, полученных модифицированным методом Лели (МЛ), в [4] получен диаметр пор 20 nm, а в [5] на более дефектной подложке — 110 nm при одинаковом режиме травления. Вместе с тем в обеих работах отмечен рост диаметра пор с ростом плотности тока.

Цель настоящей работы — изучение зависимости параметров ПКК от степени легирования исходного материала. Учитывая упомянутую выше дефектность подложек, мы использовали в работе только кристаллы, выращенные методом Лели, которые считаются менее дефектными, чем выращенные методом МЛ. В работе использованы 15 полированных подложек *n*-типа, легированных азотом в широком диапазоне концентраций. Концентрация нескомпенсированной примеси Nd-Na определялась

по максимуму поглощения света в области $\lambda = 630 \text{ nm}$. Согласно [6], можно оценить сечение поглощения фотона при указанной длине волны: $\sigma = (5.32 \pm 0.5) \cdot 10^{-18} \text{ cm}^2$. Концентрация примеси определенная таким образом, находилась в интервале $4 \cdot 10^{17} \div 4.2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. После нанесения омического контакта на С-грань подложки на Si-границе формировался ПКК путем электрохимического травления в растворе $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1:1:2$. Травление проводилось с подсветкой ультрафиолетовым светом в течение 15 min при плотности тока 20 mA/cm^2 . Толщина пористого слоя на большей части образцов определялась с помощью сканирующего электронного микроскопа, пористость — гравиметрическим методом. Диаметр пор определялся рентгеновским методом [4]. В отличие от метода анализа изотерм адсорбции газов при низких температурах, использованного в [2], рентгеновский метод не позволяет найти распределение пор по диаметрам на каждой подложке, а дает усредненный результат, зато его можно считать экспресс-методом, не загрязняющим образцы. Рентгеновские измерения проводились на двухкristальном дифрактометре (ДКД) и $\text{CuK}_{\alpha 1}$ излучении. Структурное совершенство слоев ПКК контролировалось по поведению угловой ширины дифракционной кривой на половине максимума (FWHM) для симметричного брэгговского отражения (0006). ДКД кривые качания для всех образцов ПКК на подложке SiC одинаковы по форме и состоят из узкого пика на широком диффузном фоне. Согласно [7], именно эта широкая низкоинтенсивная часть ДКД кривой качания связана с диффузным рассеянием на пористой структуре, и ширина диффузного пика ω_{ds} дает возможность вычислить значение эффективного диаметра пор. Известно, что поры в SiC растут „елочкой“ либо имеют вид цепочки тетраэдров [3,4]. Тем не менее для анализа результатов рентгеновских измерений полезно ввести понятие „эффективного диаметра“ пор d_{ef} , считать их цилиндрическими, а также считать, что выходы пор на поверхность расположены в виде квадратной сетки. Правомерность такого подхода подтверждается данными [4], где вычисленные из значений ω_{ds} величины d_{ef} удовлетворительно согласуются с данными сканирующей электронной микроскопии. Зависимость d_{ef} и толщины слоя ПКК от легирования подложки приведены на рис. 1.

Зная толщину пористого слоя h , пористость и d_{ef} , несложно вычислить объем одной поры и количество пор, приходящееся на 1 cm^2 поверхности ПКК. Поскольку формирование ПКК для всех образцов проходило в одинаковом режиме, вес, а значит, и объем удаленного

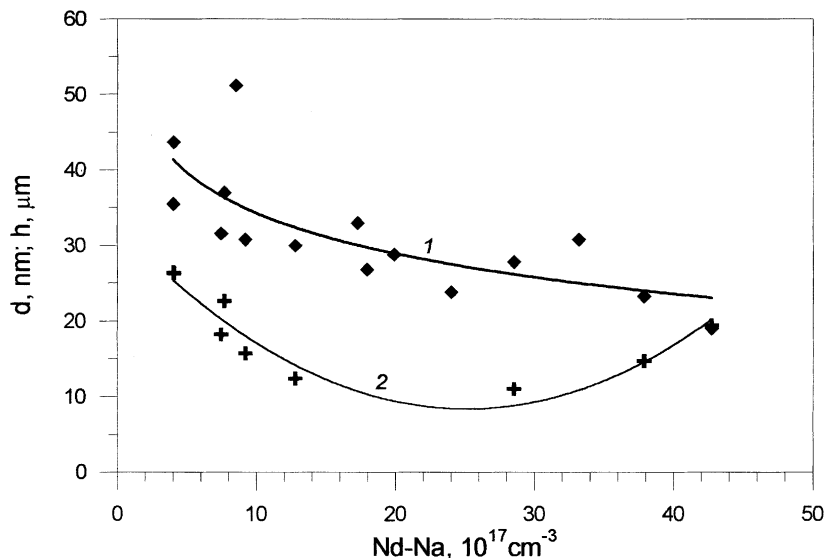


Рис. 1. Зависимость эффективного диаметра пор d (кривая 1) и толщины пористого слоя h (кривая 2) от легирования подложки (плотность тока 20 mA/cm^2 , время травления 15 min).

травлением материала в пересчете на 1 cm^2 был одинаков для всех образцов ($\sim 1 \text{ mg/cm}^2$). Таким образом, полученные результаты должны зависеть только от легирования подложек и их дефектности.

Как видно из рис. 1, с ростом легирования подложек на порядок d_{ef} уменьшается примерно вдвое. При этом величина h имеет минимум, а пористость, которая в данном случае пропорциональна h^{-1} , имеет соответственно максимум, изменяясь в интервале $11.5\text{--}28\%$. С ростом легирования подложек объем одной поры снижается (рис. 2) примерно в 6 раз, а концентрация пор соответственно во столько же раз растет. Таким образом, увеличение легирования подложек приводит к образованию существенно большего количества пор с меньшим диаметром при сравнительно небольшом изменении пористости. Имеющийся разброс данных, видимо, следует отнести за счет неоднородностей легирования и наличия структурных дефектов.

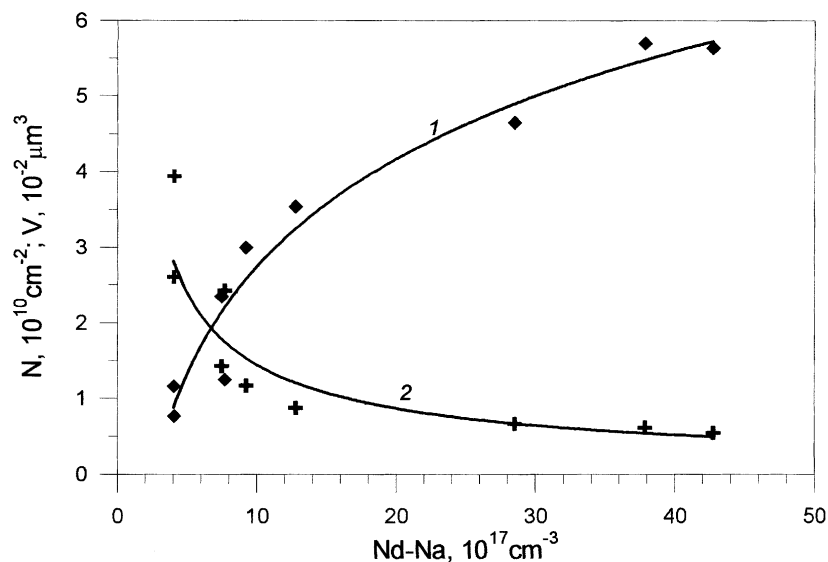


Рис. 2. Зависимость поверхностной концентрации пор N (кривая 1) и объема единичной поры V (кривая 2) от легирования подложки при тех же режимах травления.

Зависимость d_{ef} от плотности тока проверялась на нескольких образцах. При этом ПКК формировался на разных участках одного и того же образца. С ростом плотности тока диаметр пор слабо растет и скорость роста пористого слоя также увеличивается, как и в [4] для МЛ 6Н-SiC.

Интересно сравнить полученные результаты с тем, что известно для пористого Si [1,2]. В кремнии диаметр пор и скорость роста пористого слоя также увеличиваются с ростом плотности тока, но пористость имеет на максимум, а минимум при $Nd \sim 10^{16} \div 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Кроме того, при одинаковых режимах травления диаметр пор в пористом Si в несколько раз меньше, чем в ПКК, а пористость значительно выше. Отсюда следуют выводы: во-первых, нельзя автоматически переносить свойства одного пористого полупроводника на другие и, во-вторых, ПКК требует дальнейшего серьезного изучения.

Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ № 01-02-17907, 00-02-16760 и 01-02-17657.

Список литературы

- [1] *Arita V., Sunohara Y.* // Journ. El. Soc. 1977. V. 124 (2). P. 285–295.
- [2] *Herino R., Bomchil C., Barla C.* et al. // Journ. El. Soc. 1987. V. 134 (8). P. 1994–2000.
- [3] *Shor J.S., Grimberg J., Weiss B.* et al. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62 (22). P. 2836–2838.
- [4] *Савкина Н.С., Ратников В.В., Шуман В.Б.* // ФТП. 2001. Т. 35 (2). С. 159–163.
- [5] *Savkina N.S., Sorokin L.M., Hutchison J.L.* et al. // Appl. Surf. Sci. 2002 (in press).
- [6] *Радованова Е.И.* Автореф. канд. дис. ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР. Л., 1973.
- [7] *Bellet D., Dolino G., Lideon M.* et al. // J. Appl. Phys. 1992. V. 71 (1). P. 145–149.