

Исследование влияния обработки поверхности полупроводника на характеристики $6H$ -SiC диодов Шоттки

© А.А. Лебедев, Д.В. Давыдов, В.В. Зеленин, М.Л. Корогодский

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 8 февраля 1999 г. Принята к печати 15 февраля 1999 г.)

Емкостными методами проведено исследование диодов Шоттки, сформированных на основе эпитаксиальных слоев n - $6H$ -SiC, выращенных методом газовой эпитаксии. Обнаружено, что величина потенциального барьера и ее зависимость от величины работы выхода металла сильно зависят от используемого метода обработки поверхности полупроводника.

Введение

Хорошо известно, что доростовая обработка поверхности полупроводниковой подложки оказывает очень сильное влияние на качество эпитаксиального слоя. Обработка поверхности уже выращенного слоя во многом определяет параметры созданных на его основе поверхностно-барьерных структур (диодов Шоттки).

При исследовании диодов Шоттки (ДШ), сформированных на основе эпитаксиальных слоев $6H$ -SiC, полученных методом сублимации (SE), было обнаружено, что высота потенциального барьера (φ_b) слабо зависит от вида напыляемого металла и определяется главным образом плотностью поверхностных состояний [1,2]. Было также обнаружено, что влияние различных обработок слабо сказывается на величине φ_b . В то же время при исследовании ДШ, сформированных на основе эпитаксиальных слоев SiC, полученных газовой эпитаксией (CVD), было обнаружено сильное (более чем на 3 порядка) изменение обратных токов в зависимости от использования способов обработки полупроводника до напыления металла [3]. В предыдущих работах мы проводили сравнительные исследования спектров глубоких центров в эпитаксиальных слоях проводимости n -типа, выращенных методами газовой и сублимационной эпитаксией [4,5]. Было обнаружено, что в эпитаксиальных слоях обоих типов существуют одни и те же глубокие фоновые центры, однако в образцах, полученных газовой эпитаксией, их концентрация на 2–3 порядка ниже. Полученные результаты объяснялись тем, что меньшие температуры роста, в случае CVD-эпитаксии, не создавали условий для образования глубоких центров, и релаксация возникающих при росте напряжений происходила за счет образования дислокаций, плотность которых в слоях данного типа существенно выше. Настоящая работа продолжает начатые в [4,5] сравнительные исследования спектров CDV и SE эпитаксиальных слоев n - $6H$ -SiC емкостными методами.

Образцы

Были исследованы эпитаксиальные слои $6H$ -SiC, выращенные методом CVD на фирме Cree (США) [6] и в ФТИ им. А.Ф. Иоффе [7]. Для эпитаксии использовались

подложки карбида кремния, выращенные по методу Лэли (ФТИ) либо модифицированным методом Лэли (JM) (Cree). Все эпитаксиальные слои были выращены на грани (0001) Si подложки $6H$ -SiC. Перед напылением металла образцы были промыты деионизованной водой. До этого поверхность эпитаксиальных слоев была подвержена следующей обработке: 1 группа — травление в SF_6 плазме (образцы 3,4); 2 группа — общепринятой чистке органическими растворителями (образцы 2,5); 3 группа — травление в KOH (образец 1).

До создания барьера образцы отжигались в вакууме 10^{-4} Па при 500°C в течении 1–1.5 мин. Напыление было выполнено при температуре образца 100°C . Металлы напылялись резистивным (Au, Al, Cr) или электронно-лучевым (Mo) методом.

Эксперимент

Концентрация нескомпенсированной донорной примеси (Nd–Na), а также высота потенциального барьера φ_b определялись методом вольт-фарядных характеристик. Величина напряжения емкостной отсечки (U_c) определяется экстраполяцией линейной зависимости $C^{-2}-U$ к $C^{-2} = 0$, где C — дифференциальная емкость ДШ, а U — напряжение на структуре. Высота барьера φ_b связана с величиной напряжения емкостной отсечки U_c зависимостью $\varphi_b = U_c - \Delta\Phi + \xi + kT/e$, где $\Delta\Phi$ — понижение барьера за счет сил отображения, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура и e — заряд электрона; $\xi = kT \cdot \ln(n/N_c)$, где n — концентрация электронов в зоне проводимости, N_c — плотность состояний в зоне проводимости.

Было обнаружено, что $C-U$ -характеристики исследованных структур, построенные в координатах C^2-U , были линейны в исследованном интервале напряжений. Типичные $C-U$ -характеристики представлены на рис. 1. Величина N_d-N_a для всех исследованных эпитаксиальных слоев находилась в диапазоне значений $(1-3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Измерения величины φ_b для образцов 1–3 групп показали, что эта величина сильно зависит от метода обработки поверхности и составляет $\sim 1.2-1.4$ эВ для

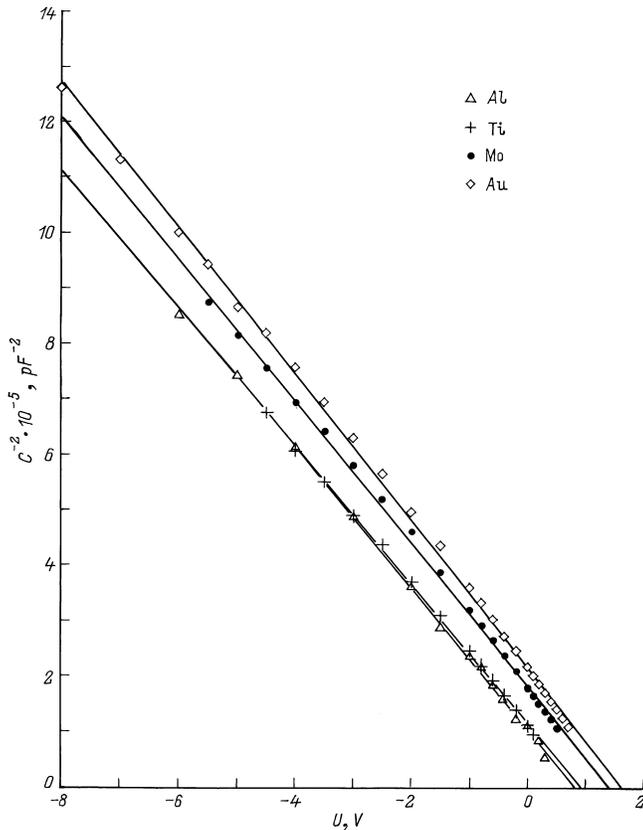


Рис. 1. Вольт-фарадные характеристики образца 4 в случае диодов Шоттки, сформированных при использовании различных металлов.

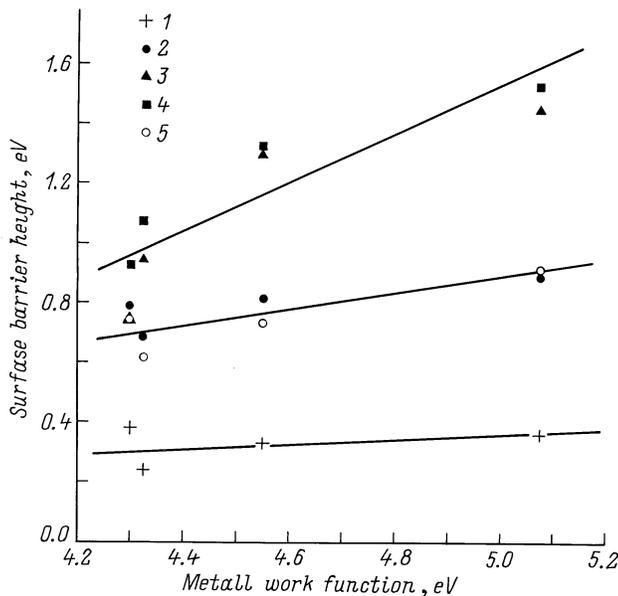


Рис. 2. Зависимость высоты потенциального барьера исследованных образцов от работы выхода металла для различных видов обработки поверхности: 1 — после травления в КОН; 2, 5 — без специальной обработки; 3, 4 — после плазменного травления.

первой группы образцов, ~ 0.7 – 0.8 эВ для второй группы и ~ 0.4 эВ для третьей группы; зависимость φ_b от работы выхода использованных металлов (Ti, Al, Au, Mo) (см. рис. 1 и 2) ослабляется с уменьшением средней величины φ_b . Следует отметить, что диоды Шоттки, созданные на основе CVD эпитаксиальных слоев, выращенных на Лели подложках в ФТИ, имеют практически такие же характеристики, что и диоды, созданные на основе эпитаксиальных слоев CREE, выращенных на подложках МЛ (образцы 5 и 2 соответственно). Это говорит о том, что выбранная технология роста оказывает большее влияние на свойства эпитаксиального слоя, чем тип использовавшейся подложки.

Обсуждение результатов

Ранее [8] рентгеновские исследования SiC p – n -структур, изготовленных различными технологическими методами, показали, что минимум полуширины рентгеновских дифракционных пиков в основном наблюдался в структурах с максимальной интенсивностью "дефектной" электролюминесценции (ДЕЛ) (высокой концентрацией i -центров). В работе было сделано предположение, что центры активации ДЕЛ образовывались в процессе релаксации напряжений, возникших во время роста эпитаксиального слоя. Ранее было также показано, что CVD-эпитаксиальные слои имеют высокую плотность дислокаций ($\sim 10^3$ – 10^4 см $^{-2}$), т.е. на 1–2 порядка выше, чем в эпитаксиальных слоях, полученных сублимационной эпитаксией [9].

CVD слои SiC, выращены при более низких температурах, чем сублимационные, ~ 1500 и $\sim 2000^\circ\text{C}$ соответственно. Таким образом, можно допустить, что при газофазной эпитаксии температура недостаточно высокая, чтобы напряжения в кристаллической решетке релаксировали за счет образования i -центров или других похожих дефектов акцепторной природы. В данном случае релаксация происходит за счет образования дислокаций. Это предположительно объясняет низкую концентрацию глубоких акцепторных центров и высокую плотность дислокаций в CVD слоях SiC по сравнению со слоями, выращенными методом сублимационной эпитаксии. Кроме того, высокая плотность дислокаций, возможно, приводит к меньшей механической и химической прочности в слоях SiC, изготовленных CVD-методом [10]. Меньшая прочность CVD-пленок приводит к тому, что плотность поверхностных состояний изменяется при использовании различных видов химической обработки поверхности, что вызывает сильную зависимость высоты барьеров Шоттки от метода обработки поверхностей SiC.

Заключение

Данная работа показывает, что высота потенциальных барьеров в диодах Шоттки, сформированных на основе CVD эпитаксиальных слоев SiC, сильно зависит от способа обработки полупроводника до напыления металла.

Обнаруженная зависимость определяется скорее всего структурой слоя, а не типом использовавшейся подложки (Лели или модифицированной Лели).

Список литературы

- [1] A.L. Syrkin, A.N. Andreev, A.A. Lebedev, M.G. Rastegaeva, V.E. Chelnokov. *Mater. Sci. Eng. B*, **29**, 198 (1995).
- [2] A.M. Stelchuk, M.G. Rastegaeva. *Mater. Sci. Eng. B*, **46**, 379 (1997).
- [3] M. Frischholz, K. Rottner, A. Schoner, T. Dalibor, G. Pensl. *Diamond and Rel. Mater.*, **6**, 1396 (1997).
- [4] А.А. Лебедев, Д.В. Давыдов, К.И. Игнатьев. *ФТИ*, **30**, 1865 (1995).
- [5] А.А. Лебедев, Д.В. Давыдов. *ФТП*, **31**, 1049 (1997).
- [6] J.W. Palmor, J.A. Edmond, H.S. Kong, C.H. Carter, Jr. *Physica B*, **185**, 461 (1993).
- [7] V.V. Zelenin, A.A. Lebedev, S.M. Starobinets, V.E. Chelnokov. *Mater. Sci. Eng. B*, **46**, 300 (1997).
- [8] А.А. Лебедев, М.П. Щеглов, Т.В. Соколова. *Письма ЖТФ*, **21** (16), 48 (1995).
- [9] А.А. Lebedev, M.P. Tregubova, A.A. Glagovskii, M.P. Scheglov, V.E. Chelnokov. *Abstracts E-MRS Conf.* (Strasbourg, France, 1996, p. A-15).
- [10] Yu.A. Vodakov, E.N. Mokhov. *Inst. Phys. Conf. Ser.* **137**, Chapter 3 (1994) p. 197.

Редактор В.В. Чалдышев

Investigation of the surface treatment influence on 6H-SiC Schottky diodes

A.A. Lebedev, D.V. Davydov, V.V. Zelenin,
M.L. Korogodskii

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St.Petesburg Russia

Abstract The capacitance investigation of Shottky diodes based on n -6H-SiC epilayers grown by chemical vapor deposition (CVD) has been carried out. It was founded that the height of the potential barrier and its dependence on metal work function strongly depends on the type of surface pre-deposition treatment.