

©1995 г.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛОВ SiC-6H, ВЫРАЩЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛЕЛИ

*А.Н.Андреев, А.С.Трегубова, М.П.Шеглов, В.П.Растегаев,
С.И.Дорожкин, В.Е.Челноков*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 30 января 1995 г. Принята к печати 8 февраля 1995 г.)

Методами рентгеновской дифрактометрии и топографии исследовались подложки SiC-6H, полученные из кристаллов, выращенных модифицированным методом Лели в Санкт-Петербургском электротехническом университете и CREE Research (Вашингтон, США). Показано, что особенности структурного совершенства исследованных подложек обусловлены существенными отличиями в типе и распределении преобладающих в них дефектов.

На основе карбида кремния к настоящему времени созданы практически все типы классических полупроводниковых приборов. Однако получение структурно-совершенных подложек большой площади, в частности подложек политипа 6H, которые наиболее часто используются для создания приборных структур, остается одной из важнейших проблем производства карбид-кремниевых приборов. Параметры приборов во многом определяются структурным совершенством подложек и выращенных на их основе эпитаксиальных слоев. В настоящее время для роста кристаллов SiC используются два метода: метод Лели [1] и модифицированный метод Лели [2,3] и его разновидности. Подложки, полученные методом Лели достаточно совершенны, но их площадь невелика. Управление процессом роста в этом случае практически исключается. Следствием является неконтролируемый рост кристаллов различных политипов, весьма различающаяся степень структурного совершенства и в большинстве случаев значительная неоднородность распределения дефектов по площади подложки. Модифицированный метод Лели, наиболее распространенный в настоящее время, позволяет получать подложки заданного политипа достаточно большой площади (1 дюйм и более). Однако по структурному совершенству они уступают кристаллам, выращенным методом Лели. Технология роста объемных кристаллов модифицированным методом Лели постоянно совершенствуется, и этим определяется постоянный интерес к их исследованию [4,5].

В настоящей работе методами рентгеновской топографии и дифрактометрии исследовались структурные дефекты подложек, полученных из объемных кристаллов, выращенных в Санкт-Петербургском электротехническом университете («подложки ЛЭТИ»), и подложек, производимых на коммерческой основе CREE Research (Вашингтон, США) («подложки CREE»). В обоих случаях для роста использовались разновидности модифицированного метода Лели. Для получения дифракционных характеристик, которые могли бы служить критерием при сравнении структурного совершенства этих подложек, аналогичные исследования были проведены на подложке, полученной методом Лели.

Исследуемые образцы представляли собой пластины, толщиной 0.35–0.40 мм и ориентацией поверхности (0001), вырезанные из кристаллов политипа 6H. Концентрация нескомпенсированной донорной примеси составляла $(7-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $(1-2) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и $(3-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ для подложек ЛЭТИ (диаметр 0.5 дюйма), CREE (диаметр 1 дюйм) и Лели соответственно. Перед исследованием подложки подвергались кратковременному травлению в расплаве КОН для удаления нарушенного механической полировкой приповерхностного слоя. Рентгеновские топограммы получены методом Ланга [6] с использованием MoK_{α_1} -излучения. Полуширины пиков брэгговских отражений регистрировались в двухкристальной схеме дифракции на трехкристальном рентгеновском спектрометре (отражение (0006), CuK_{α_1} -излучение).

На первом этапе работы по рентгеновским топограммам из нескольких подложек, выращенных методом Лели, был отобран образец с характерным для этих кристаллов неравномерным распределением базисных дислокаций по площади. На топограмме этой подложки (рис. 1) обозначены участки, различающиеся по плотности дислокаций (от $N_d \leq 10^1$ до $N_d \sim 10^5 \text{ см}^{-2}$). С этих участков были получены кривые отражения, полуширины которых ($\omega_{\Theta B}$) представлены в таблице. Соответствие между плотностью дислокаций на выделенных участках и величиной $\omega_{\Theta B}$ может служить количественной характеристикой структурного совершенства подложек SiC-6H.

Участок на топограмме рис. 1	Плотность дислокаций N_d , см^{-2}	Полуширина кривой отражения $\omega_{\Theta B}$
A	10^3	35''
B	10^4-10^5	45''
C	10^2	15''
D	$\leq 10^1$	8''-10''

На следующем этапе исследовались подложки, полученные из объемных кристаллов, выращенных модифицированным методом Лели. Для подложек ЛЭТИ, как видно из рентгеновской топограммы (рис. 2), характерна радиальная неоднородность распределения дефектов. На топограмме можно выделить две части: более совершенную — центральную и сильно деформированную — периферийную. В центральной части наблюдается относительно однородное распределение дислокаций с плотностью $\sim 10^3-10^4 \text{ см}^{-2}$. Исключение составляет не-

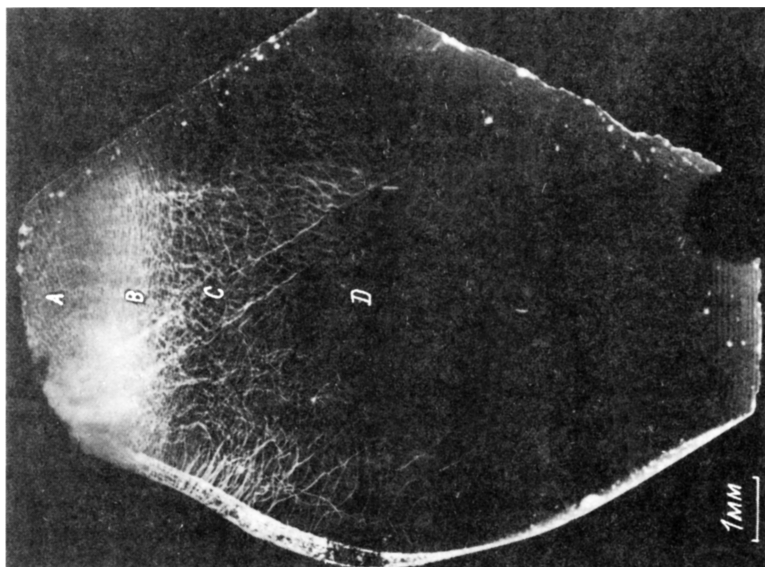


Рис. 1. Топограмма подложки SiC-6H, выращенной методом Леди. Выделены участки A, B, C, D с различной плотностью дислокаций (таблица). Метод Ланга, MoK_{α1}-излучение, отражение 1120.

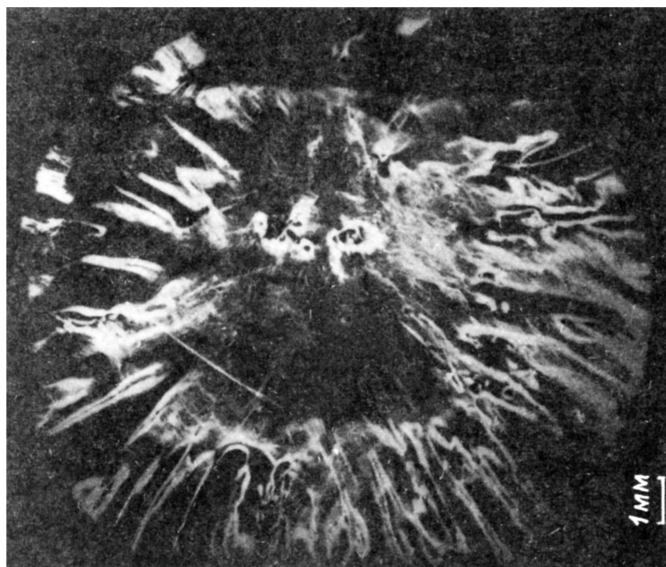


Рис. 2. Топограмма подложки ЛЭТИ (SiC-6H). Метод Ланга, MoK_{α1}-излучение, отражение 1120.

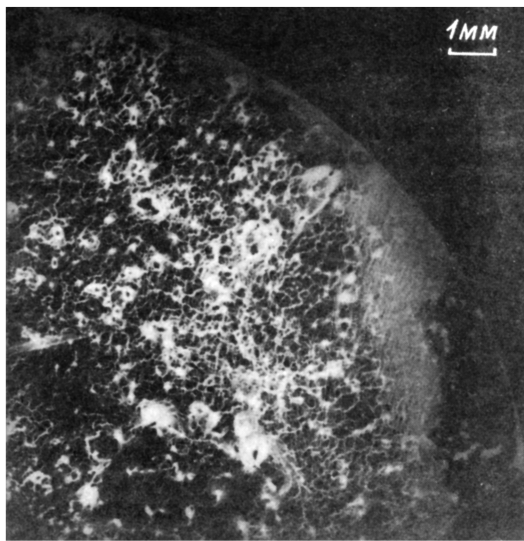


Рис. 3. Топограмма подложки CREE (SiC-6H). Метод Ланга, $MoK_{\alpha 1}$ -излучение, отражение 1120.

большой участок вблизи крупных дефектов, на границах которых имеются зоны с повышенной $N_d \geq 10^5 \text{ см}^{-2}$. По данным дифрактометрии полуширины кривых отражения, полученные в различных местах центральной части, составили $17''-30''$. Анализ уширений этих кривых трехкристалльным методом [7] позволил установить наличие слабо разориентированных ($10''-20''$) областей. Вблизи крупных дефектов $\omega_{\Theta B}$ увеличивается до $60''$. В периферийной части подложки наблюдается значительный деформационный изгиб, приводящий к более сильной разориентации отдельных участков кристалла, о чем свидетельствует наличие на топограмме областей, вышедших из отражения.

Для подложек CREE характерно относительно равномерное распределение дефектов по всей площади (рис. 3). На границах более крупных из них (0.1–0.3 мм) наблюдаются значительные макронапряжения и локальные области с плотностью дислокаций $\geq 10^5 \text{ см}^{-2}$. По мере удаления от границ этих дефектов плотность дислокаций быстро падает до величины $\sim 10^3 \text{ см}^{-2}$. Более мелкие дефекты преобладают в подложках CREE, дислокации вокруг них имеют ячеистый характер распределения ($N_d \sim 10^2-10^3 \text{ см}^{-2}$). В [5] эти дефекты идентифицированы как винтовые супердислокации. Полуширины кривых отражения на этих участках $\omega_{\Theta B} \sim 15''-18''$, в областях, где преобладают дефекты с сильными макронапряжениями, величина $\omega_{\Theta B} \sim 20''-26''$. По данным анализа уширения кривых отражения присутствие блоков и включений других политипов не обнаружено. Незначительный изгиб подложек CREE свидетельствует о наличии остаточных напряжений.

Из полученных данных следует, что наиболее совершенные области подложек ЛЭТИ и CREE характеризуются практически одинаковыми значениями полуширины кривых отражения $15''-17''$, которым соответствует плотность дислокаций $N_d \sim 10^2 \text{ см}^{-2}$ (см. таблицу). Однако в большинстве случаев, уширения кривых отражения связаны не только с дислокационной структурой, но и с существованием более сложного типа дефектов. Уширения брегговских пиков в подложках ЛЭТИ

вызваны деформациями, приводящими к образованию слабо разориентированных областей в центральной части и изгибу кристалла в периферийной, что указывает на возникновение значительных напряжений при росте кристалла. В подложках CREE одним из факторов, способных обеспечивать отсутствие ростовых напряжений, по всей видимости, является наличие равномерно распределенных по площади винтовых супердислокаций.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства обороны США.

Список литературы

- [1] J.A. Lely. Ber. Deut. Keram. Ges., **32**, 229 (1955).
- [2] Yu.M. Tairov, V.F. Tsvetkov. J. Cryst. Growth, **43**, 209 (1978).
- [3] Yu.M. Tairov, V.F. Tsvetkov. J. Cryst Growth, **52**, 146 (1981).
- [4] R.C. Glass, C.I. Harris, V.F. Tsvetkov, P.F. Fewster, J.E. Sungren, E. Janzen. *Silicon Carbide and Related Materials* (Institute of Physics Publishin, Bristol and Philadelphia, 1994) v. 137 p. 165.
- [5] S. Wang, M. Dudley, C. Carter, D. Asbury, C. Fazi. In: *Materials Research Society, Symposium Proceedings* (1993) с. 307, p. 249.
- [6] А.Р. Ленг. *Дифракционные и микроскопические методы в материаловедении*, под ред. С. Амелинка (М., 1984 Наука).
- [7] Р.Н. Кютт, Л.М. Сорокин, Т.С. Аргунова, С.С. Рувимов. ФТТ, **36**, 2700 (1994).

Редактор В.В. Чалдышев

The structure perfection features of SiC-6H crystals grown by modified Lely method

*A.N. Andreev, A.S. Tregubova, M.P. Scheglov, V.P. Rastegaev,
S.I. Dorozshkin, V.E. Chelnokov*

SiC-6H substrates from bulk crystals grown by modified Lely method in S.-Petesburg Electro-Technical University and in CREE Research (Washington D.C., USA) have been investigated by X-ray diffractometry and topography. It has been shown that the structure perfection features of this substrates are connected with substantial differences in the type and distribution of the predominant defects.