

- [4] Пидильковский И.М., Шенников В.В., Глузман Н.Г. // ФТП. 1983. Т. 16. № 5. С. 958-960.
- [5] Шенников В.В. // Расплавы. 1988. Т. 2. № 2. С. 33-40.
- [6] Шенников В.В. // ФММ. 1989. Т. 67. № 1. С. 93-96.
- [7] Шенников В.В., Штрапенин Г.Л. // Расплавы. 1990. № 6. С. 103-106.
- [8] Narita S., Egawa M., Suiro K., Katayama M., Mizukami S. // J. Appl. Phys. 1973. V. 2. N 3. P. 151-156.
- [9] Азоу С.А., Кульбачинский В.А., Миронова Г.А., Скипидаров С.Я. // ФТП. 1990. Т. 24. № 2. С. 283-286.
- [10] Ильина М.А., Ицкевич Е.С. // ФТТ. 1971. Т. 13. № 8. С. 2496-2499.

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию  
9 августа 1993 г.

УДК 535.375

© Физика твердого тела, том 36, № 2, 1994  
Solid State Physics, vol. 36, N 2, 1994

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА 6H-SiC, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ

*В.Н.Макаров, Д.А.Плоткин, А.В.Суворов*

Возможность исследования структурного разупорядочения и фазовых трансформаций в имплантированных ионами материалах методом комбинационного рассеяния света (КРС) показана во многих работах, например [1-2]. В ряде случаев удается характеризовать не только качественные изменения в имплантированных слоях, но и дать некоторые количественные оценки [3].

Алюминий является важной акцепторной примесью для SiC, и легирование, в частности, осуществляется методом ионной имплантации. Условия имплантации оказывают большое влияние на свойства слоев, поэтому в настоящей работе методом КРС были исследованы структурные особенности 6H-SiC, имплантированного Al<sup>+</sup> при различных температурах мишени  $T_M$  ( $300 \leq T_M \leq 1800$  К). Имплантация проводилась в С грань (0001) пластин 6H-SiC с эпитаксиальными слоями *n*-типа проводимости, легированными азотом ( $N_d - N_a \sim 10^{18}$  см<sup>-3</sup>), толщиной порядка 10 мкм. Энергия ионов Al<sup>+</sup> составляла 90 кэВ, доза  $\Phi = 5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>.

Спектры КРС снимались при комнатной температуре на спектрометре ДФС-24 с возбуждением линией  $\lambda_0 = 514.5$  нм Ar<sup>+</sup> лазера. 6H-SiC является широкозонным материалом с  $E_g = 3.06$  эВ ( $T = 300$  К), прозрачным для видимого света. Однако в имплантированном SiC коэффициент поглощения света возрастает вследствие разупорядочения решетки и в аморфном SiC достигает значения  $4 \cdot 10^4$  см<sup>-1</sup> для  $\lambda = 514.5$  нм [4].

Спектр КРС исходного 6H-SiC приведен на рис. 1 (спектр 1). Полосы первого порядка имеют частоты 768, 791, 797 и 967 см<sup>-1</sup>. В диапазоне 1450-1700 см<sup>-1</sup> наблюдается ряд полос, обусловленных процессами второго порядка (спектр 1а). На рис. 1 приведены также спектры имплантированных слоев (2-5).

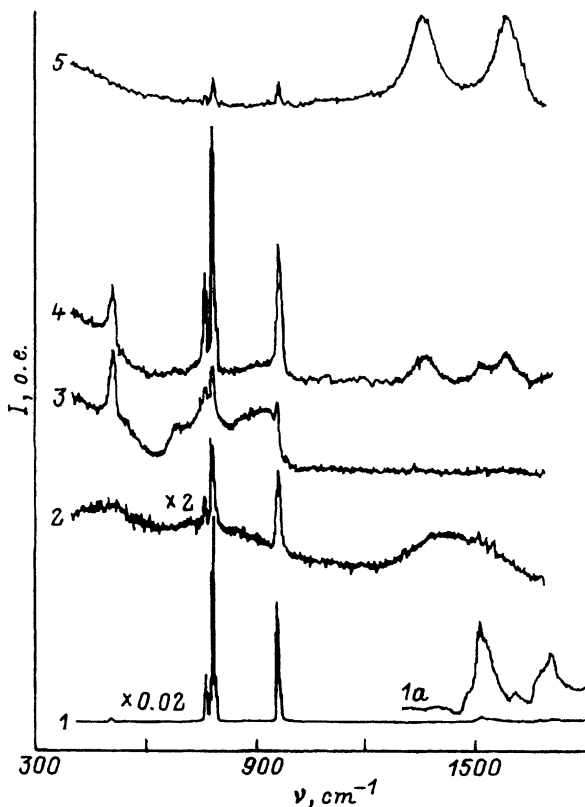


Рис. 1. Спектры КРС 6H-SiC, имплантированного при различных температурах мишени.

1 и 1a — исходный спектр.  $T_M$  (К): 2 — 300, 3 — 1300, 4 — 1600, 5 — 1800.

На спектре 2 ( $T_M = 300$  К) наблюдаются три широкие полосы, характерные для спектра аморфного стехиометричного (или близко к этому) SiC [5], где полоса 400–600  $\text{см}^{-1}$  обусловлена Si-Si связями, полоса в диапазоне 700–1000  $\text{см}^{-1}$  — Si-C связями и в диапазоне 1250–1700  $\text{см}^{-1}$  — C-C связями. Три узкие линии — это полосы подложки, вызванные тем, что часть возбуждающего света проникает на глубину, превышающую толщину аморфизированного слоя.

На спектре 3 ( $T_M = 1300$  К) наблюдается ряд перекрывающихся полос, по-видимому обусловленных значительным разупорядочением решетки SiC, которое приводит к ослаблению правил отбора вследствие нарушения трансляционной симметрии. В области колебаний Si-Si связей видна довольно узкая полоса.

Повышение  $T_M$  до 1600 К (спектр 4) приводит к появлению интенсивных полос SiC. Это указывает на то, что степень разупорядочения в данном случае меньше. Новой особенностью является ряд полос в области C-C связей. Имплантация при  $T_M = 1800$  К приводит к ослаблению линий SiC и возрастанию интенсивности полос с  $\nu = 1360$  и 1582  $\text{см}^{-1}$ .

На рис. 2 приведены спектры 6H-SiC, имплантированного при 1600 К (спектр 1), и монокристаллического Si (спектр 2). Спектр 1 смещен

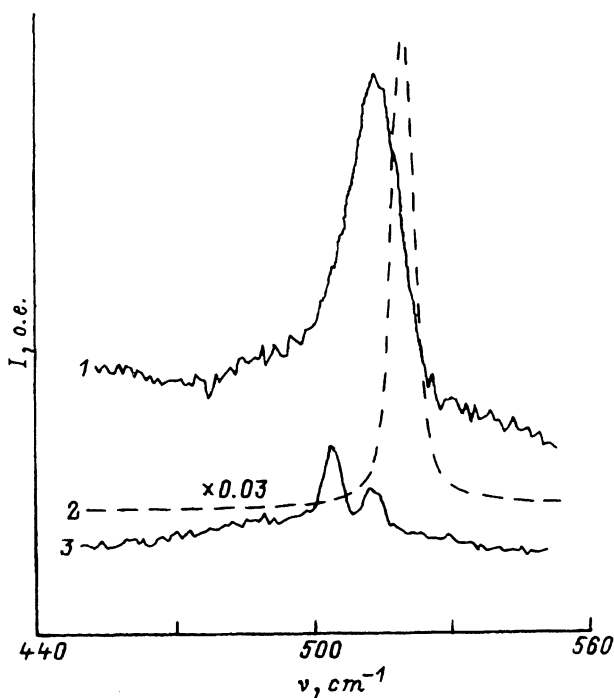


Рис. 2. Фрагменты спектров КРС  $6H$ -SiC, имплантированного при  $T_M = 1300$  К (1), исходного (3) и спектр монокристаллического Si (2).

в сторону меньших частот на  $5 \text{ см}^{-1}$  и уширен на  $12 \text{ см}^{-1}$  по сравнению со спектром 2. Он также не совпадает со спектром исходного SiC (спектр 3), который является дублетом и приписан переходам  $1S(A_1) - 1S(E_2)$  между донорными уровнями азота, расщепленными долино-орбитальным взаимодействием [6]. Мы полагаем, что наблюдаемая нами полоса обусловлена преципитатами кристаллического  $c$ -Si. Ее уширение и смещение можно объяснить на основе модели «пространственной корреляции» фононов, которая использовалась для интерпретации «размерных» эффектов в спектрах КРС микрокристаллического Si [7]. Параметр модели  $L$  («длина корреляции») характеризует упорядоченные области, локализирующие волновые функции фононов. Оценка дает значение  $L \approx 2$  нм. Следует отметить, что значение  $L$  не следует отождествлять с размерами кристаллитов. Фактически — это параметр, используемый в расчетах, который зависит от выбора огибающей функции, локализуемой фононы, и аппроксимации формы микрокристаллитов [8]. В процессе имплантации при высокой температуре одновременно происходят разупорядочение решетки и ее рекристаллизация — ионы  $Al^+$  вытесняют Si из узлов решетки в междоузельные положения и происходит обеднение имплантированного слоя атомами Si (в результате испарения) в приповерхностной области.

Полоса с  $\nu = 1582 \text{ см}^{-1}$  на рис. 1 — это разрешенная  $E_{2g}$ -мода графита (полоса  $G$ ). Вместе с тем в спектрах КРС графита присутствует также полоса с частотой  $1360 \text{ см}^{-1}$  (полоса  $D$ ), обусловленная микро-

кристаллической структурой графита. Известно, что отношение интенсивностей  $\eta = I(D)/I(G)$  обратно пропорционально средним размерам кристаллитов  $L_a$  в плоскости слоев [9]. Для спектров 4 и 5 (рис. 1)  $\eta \approx 1$ , что дает  $L_a \approx 5$  нм. Дополнительные особенности на спектре 4 — это полосы SiC второго порядка.

Таким образом, в зависимости от температуры мишени можно характеризовать имплантированные слои 6H-SiC как: 1) аморфные при  $T_M = 300$  К, 2) состоящие из значительно разупорядоченного SiC с преципитатами c-Si при  $T_M = 1300$  К, 3) композицию поликристаллического SiC с преципитатами c-Si и графита при  $T_M = 1600$  К, 4) графитизированные в приповерхностной области при  $T_M = 1800$  К.

Наши дальнейшие исследования, в частности дозовой зависимости, позволяет предложить более детальную модель.

Настоящая работа частично поддержана Аризонским университетом (США).

### Список литературы

- [1] Nakamura T., Katoda T. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 11. P. 5870–5872.
- [2] Новак И.И., Баптизманский В.В., Смирнова Н.С., Суворов А.В. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 7. С. 2134–2138.
- [3] Ashokan R., Jain K.P., Mavi H.S., Balkanski M. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 5. P. 1986–1993.
- [4] Bohn H.G., Williams J.M., Machargue C.J., Begun G.M. // J. Mater. Res. 1987. V. 2. N 1. P. 107–116.
- [5] Gorman M., Solin S.A. // Sol. St. Commun. 1974. V. 15. N 6. P. 761–765.
- [6] Golwell P.J., Klein V.M. // Phys. Rev. B. 1972. V. 6. N 1. P. 498–504.
- [7] Richter H., Wang Z.P., Ley L. // Sol. St. Commun. 1981. V. 39. N 5. P. 625–629.
- [8] Cambell I.H., Fauchet P.C. // Sol. St. Commun. 1986. V. 58. N 10. P. 739–741.
- [9] Tuinstra F., Koenig J.L. // J. Chem. Phys. 1970. V. 53. N 3. P. 1126–1137.

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

Поступило в Редакцию  
8 сентября 1993 г.