

06.2
©1994

СОГЛАСОВАНИЕ РЕШЕТОК КУБИЧЕСКОГО (3С) ГЕКСАГОНАЛЬНОГО (4Н) ПОЛИТИПОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ

А.Ю.Максимов, А.А.Мальцев, Н.К.Юшин

Среди разнообразных политипов карбида кремния кубический 3С (β) SiC выгодно отличается большей подвижностью ($\sim 1000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$) и меньшей шириной запрещенной зоны ($\sim 2.2 \text{ эВ}$). По этой причине большая часть усилий по созданию высокотемпературной и радиационно-стойкой электроники на карбиде кремния направлена на получение монокристаллических слоев и пластин именно этого политипа (см., например, [1-6]). При этом следует принять во внимание и относительно низкую температуру, требуемую для получения β -SiC, по сравнению с температурами роста гексагональных политипов, таких как 6Н и 4Н. Одной из существенных проблем, возникающих при выращивании β -SiC, являются двойники, которые появляются при эпитаксиальном росте β -SiC на (0001) SiC и Si подложках [1-6]. Двойники и межфазные границы существенным образом ухудшают свойства структуры эпитаксиальная пленка — подложка и препятствуют ее применению в реальных электронных приборах. Как показано в [7-9], при выращивании β -SiC на разориентированных подложках политипа 6Н можно добиться роста совершенных, монокристаллических слоев.

Поскольку в настоящее время коммерчески доступными являются не только объемные кристаллы политипа 6Н, но и 4Н, то представляется интересным оценить возможность использования разориентированных относительно базальной плоскости подложек политипа 4Н, для выращивания высококачественных слоев β -SiC. Для удобства сравнения в дальнейшем изложении мы приводим как новые результаты для 4Н так и известные из литературы [7-9] данные для 6Н.

Прежде всего рассмотрим условия, необходимые для согласования решеток кубического (3С) и гексагональных (6Н и 4Н) политипов карбида кремния. Для описания структур различных политипов принято использовать некоторые последовательности, обозначаемые буквами АВС. Ка-

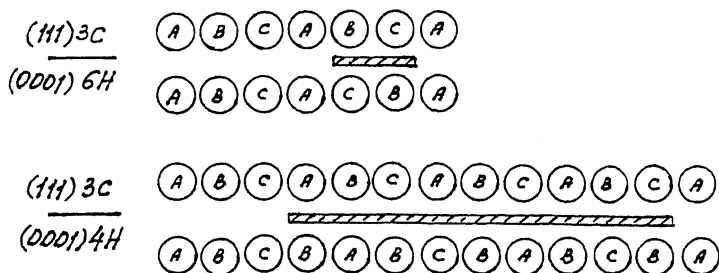


Рис. 1. Структурные элементы на границе кубического (3C) и гексагональных (6H и 4H) политипов карбида кремния. Кристаллографические ориентации слоев указаны на рисунке.

ждый знак этой последовательности соответствует в карбиде кремния паре Si-C и различие между ними состоит в пространственном расположении одного слоя Si-C пар над другим [10]. Так, политип 3C изображается как ABCABC... — последовательность, 6H — как ABCACBABCACB..., а 4H — как ABCBABC... .

В таком случае границу гетерополитипных структур 3C/6H и 3C/4H можно представить как последовательности, изображенные на рис. 1. Видно, что в структуре 3C/6H наблюдается совпадение 4 элементов из 6, в то время как для структуры 3C/4H совпадают лишь 3 элемента из 12. Изображенные на рис. 1 структуры соответствуют случаю, когда ось [0001] гексагонального политипа параллельна направлению (111) кубического (3C) политипа. Однако, как уже отмечалось, при такой ориентации подложки в β -SiC пленке возникают двойники и проявляются межфазные границы. Для получения совершенного эпитаксиального слоя β -SiC целесообразно использовать разориентированную подложку гексагонального политипа.

Анализ элементарных ячеек кубического (3C) и гексагонального (4H) политипов карбида кремния показывает (рис. 2), что условие согласования решеток выполняется для структуры (01 $\bar{1}$ 3)4H и (001)3C, хотя для политипа 6H граница раздела должна совпадать с плоскостью (01 $\bar{1}$ 4) [7-9]. С учетом величин постоянных решетки этих политипов [11] получим, что согласование решеток достигается при угле разориентации от направления [0001] в плоскости (1000), равном 51.52° для политипа 4H. Отметим, что для политипа 6H этот угол составляет 54.74° [7-9].

Соответствующее пространственное распределение структурных элементов на гетерополитипной границе

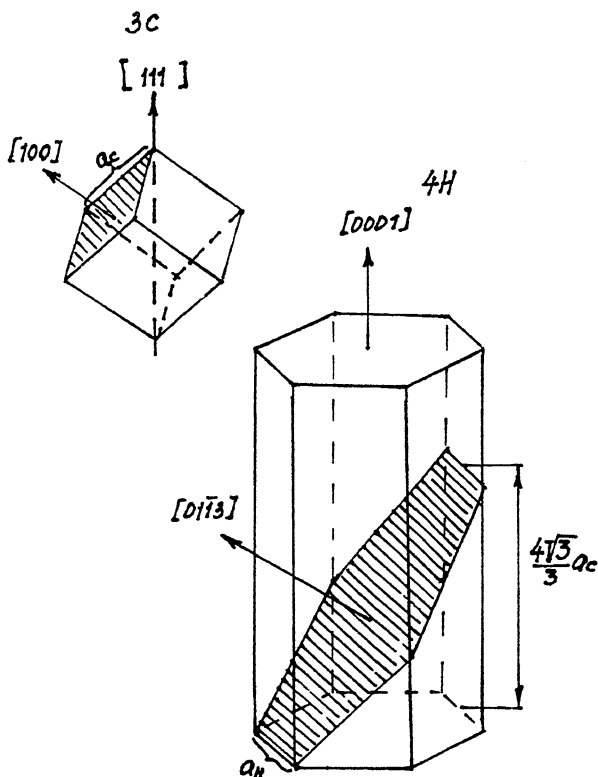


Рис. 2. Элементарные ячейки 3С и 4Н политипов карбида кремния и обоснование выбора углов взаимной ориентации для согласования решеток.

4Н/3С представлено на рис. 3. Видно, что направление (взаимная ориентация) структурных элементов внутри 3С-слоя может занимать только одно-единственное положение, которое изображено на рис. 3, а любое другое направление выстраивания элементов не обеспечивает согласования постоянных решетки с гексагональным политипом. Это обстоятельство и определяет условие невозможности появления двойников в 3С-слое на $(01\bar{1}3)$ 4Н-SiC, т. е. растущий на таком образом разориентированной гексагональной подложке кубический эпитаксиальный слой должен быть монокристаллическим (монокристаллическим).

Экспериментальная проверка сделанных выводов была осуществлена с использованием объемного монокристаллического слитка политипа 4Н, выращенного нами методом сублимации на затравке. Из центральной части слитка диаметром 15 мм со 100% политипной однородностью были вырезаны пластины толщиной 1 мм, ориентированные

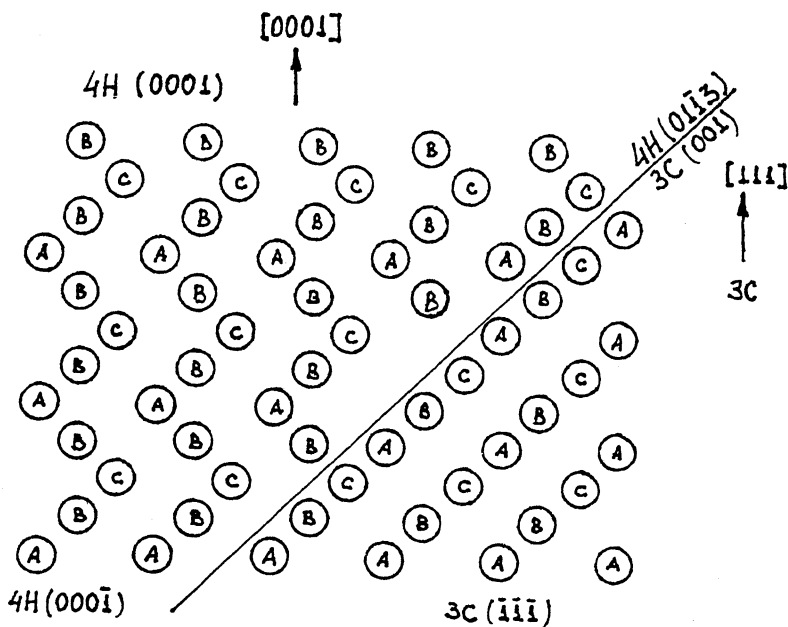


Рис. 3. Пространственное распределение структурных элементов Si-C на границе 3C и 4H политипов карбида кремния для углов взаимной ориентации, соответствующих согласованию решеток.

(с точностью не хуже чем 0.5°) как $(01\bar{1}3)$. После механической шлифовки и мягкой глубокой полировки, очистки и промывки эти пластины применялись в качестве подложек для выращивания эпитаксиального слоя β -SiC. Эпитаксиальный рост осуществлялся методом сублимации в вакууме при остаточном давлении в камере 10 Тор в диапазоне температур 1600 – 1800°C . Перед началом процесса эпитаксиального роста поверхность подложки дополнительно очищалась удалением 10 мкм путем сублимационного испарения в обратном (эпитаксиальному росту) температурном градиенте. В результате были выращены зеркально гладкие эпитаксиальные слои β -SiC толщиной 20–60 мкм. В слоях, полученных в данной работе на $(01\bar{1}3)4H$ подложках, не выявляется при травлении в расплаве щелочи KOH при 450°C на поверхности β -SiC слоя никаких двойниковых ламелей в отличие от β -SiC эпитаксиальных слоев, выращенных на пластинах (0001) ориентации.

Таким образом, в настоящей работе в результате проведенного анализа структур гексагонального (4H) и кубического (3C) политипов карбида кремния найдены углы взаимной ориентации 4H и 3C слоев, обеспечивающие согласование их постоянных решеток, что дает возможность эпитак-

сиального роста монокристаллического слоя β -SiC на гексагональной (4H) подложке. Выполнена экспериментальная проверка сделанных выводов путем сублимационного роста β -SiC слоя на (01 $\bar{1}$ 3)4H-SiC подложке. Это обстоятельство особенно важно, так как до настоящего времени еще никому не удавалось вырастить структурно совершенные слои β -SiC большой площади ($> 2 \text{ мм}^2$) сублимационной эпитаксией. Следует отметить, что найденное условие согласования решеток должно выполняться и при других способах выращивания структуры 3C/4H-SiC. Кроме того, по-видимому, разориентированная гексагональная подложка может использоваться и как затравка для сублимационного роста объемного кристалла политипа 3C.

В заключение авторы хотели бы выразить признательность В.Е. Челвокову за интерес к работе.

Работа была частично поддержана Министерством обороны США.

Список литературы

- [1] Davis R.F., Kelner G., Shur M., Palmour J.W., Edmont J.A. // Proc. IEEE. 1991. V. 79. N 5. P. 677-701.
- [2] Powell J.A., Larkin D.J., Motus L.G., Choyke W.J., Bradshgow J.L., Henderson L., Yoganathan M., Yang J., Zpirouz P. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56. N 14. P. 1353-1355.
- [3] Ueda T., Nishino H., Matsunami H. // J. Cryst. Growth, 1990. V. 104. P. 655-700.
- [4] Powell J.A., Petit J.B., Edgar J.H., Jenkins I.B., Matus L.G., Jang J.W., Pirouz P., Choyke W.J., Clemen L., Yoganathan M. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. N 3. P. 333-335.
- [5] Kong H.S., Glass J.T., Davis R.F. // J. Mater. Res. 1989. V. 4. N 1. P. 204-214.
- [6] Shields V.B., Fekade K., Spencer M.G. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. N 19. P. 1919-1921.
- [7] Yoo W.S., Nishino S., Matsunami H. // J. Cryst. Growth. 1990. V. 99. P. 278-283.
- [8] Yoo W.S., Yamashita A., Kimoto T., Matsunami H. // J. Cryst. Growth. 1991. V. 115. P. 733-739.
- [9] Yoshinobu T., Mitsui H., Izumikawa I., Fuyuki T., Matsunami H. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 60. N 7. P. 824-826.
- [10] Верма А., Кришна П. Полиморфизм и политипизм в кристаллах, (перевод с английского) М., 1969. С. 83.
- [11] Landolt-Bornstein. Numerical data and Functional Relationships in Science and Technology. V. 17a. Berlin, 1982. P. 132-133 & 406-407.

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

Поступило в Редакцию
11 октября 1994 г.