

06.1

© 1991

## ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ $SiC - AlN$ , ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ БЕСКОНТЕЙНЕРНОЙ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

В.А. Д м и т р и е в, Л.Б. Е л ф и м о в,  
И.Ю. Л и н ь к о в, Я.В. М о р о з е н к о,  
И.П. Н и к и т и н а, В.Е. Ч е л н о к о в,  
А.Е. Ч е р е н к о в, М.А. Ч е р н о в

Согласно [1], в псевдобинарной системе  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  существует непрерывный ряд твердых растворов. Величина запрещенной зоны  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  меняется в зависимости от состава примерно от 3 до 6 эВ, причем в области  $x > 0.7$  твердый раствор переходит из непрямозонного в прямозонный [2].

Возможность гетероэпитаксии  $SiC - AlN$  на  $SiC$  - подложках методом сублимации из паровой фазы была показана в [3, 4], температура роста составляла около 2000 °С. В [4] отмечается, что твердые растворы могут иметь как п-, так и р-тип проводимости. Однако попытки создания р-п-переходов в этой системе нам не известны.

Возможными областями применения таких твердых растворов являются полупроводниковые излучатели в УФ-области, широкозонные эмиттеры для карбидкремниевых приборов, высокотемпературная электроника.

В настоящем письме мы сообщаем о разработке метода жидкостной эпитаксии твердых растворов  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  на подложках  $SiC$  -6Н.

За основу взят метод бесконтейнерной жидкостной эпитаксии [5]. В качестве подложек использовались монокристаллы  $SiC$  -6Н с ориентацией базовых плоскостей (0001). Эпитаксия проводилась из раствора углерода в расплаве кремний-алюминий в атмосфере азота. Диапазон температур эпитаксии - 1400-1600 °С. Толщины эпитаксиальных слоев составляли от 1 до 40 мкм. Выращенные слои имели как п-, так и р-тип проводимости.

Для исследования состава, структурных и оптических характеристик выращенных слоев применялись методы электронной Оже-спектроскопии, рентгеновской дифрактометрии и катодоллюминесценции.

При исследовании слоев методом Оже-спектроскопии проводилась регистрация спектров  $C, Si, Al, N, O$  (KLL -спектры). Разрешение анализатора по координате при сканировании вдоль поверхности составляло 10 мкм, энергетическое разрешение - 0.75 %. Количественный анализ проводился по методике [6],

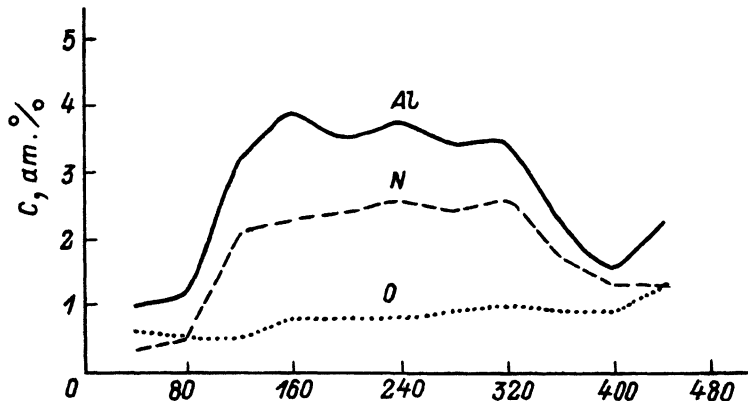


Рис. 1. Распределение концентрации  $Al$ ,  $N$  и  $O$  вдоль косошлифа эпитаксиальной структуры  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x - SiC$  (6Н), ат. %.

коэффициенты относительной чувствительности взяты из [7]. Для оценки пространственной неоднородности распределения элементов по слою Оже-измерения проводились на „косых шлифах“ (угол  $\approx 1^\circ$ ).

Анализ Оже-спектров показал присутствие всех регистрируемых элементов ( $Si$ ,  $C$ ,  $Al$ ,  $N$ ,  $O$ ) на поверхности „косых шлифов“, причем установлено, что Оже-пики  $Si$ ,  $Al$  и  $N$  смещены по энергии относительно их энергетического положения в спектрах чистых элементов. Сопоставление положения Оже-спектров  $Al$  в эпитаксиальном слое  $SiC - AlN$  со спектрами алюминия в металлической фазе, в эпитаксиальных слоях чистого  $AlN$  и в образцах  $Al_2O_3$  показало, что  $Al$ , вероятнее всего, связан с  $N$ , при этом процентное содержание  $Al$  коррелирует с содержанием  $N$ . Энергетическое положение пиков  $Si$  и  $C$  соответствует положению этих элементов в монокристаллическом  $SiC$ .

Оже-измерения показали, что содержание компоненты  $AlN$  в эпитаксиальных слоях, выращенных при различных технологических режимах, составляет от 2 до 7%. При этом слои сравнительно однородны по содержанию  $AlN$  (рис. 1). Все слои содержали также небольшое количество кислорода (до 1 ат. %).

Кристаллическую структуру выращенных слоев исследовали на двухкристальном рентгеновском спектрометре, собранном по бездисперсионной схеме. На кривых качания, полученных на отражении  $(00012) CuK\alpha$  присутствуют два максимума: от  $SiC$ -6Н подложки и от эпитаксиального слоя. Рассчитанные значения рассогласования параметров решеток и слоя  $\Delta c/c$  изменяются от  $-7.8 \cdot 10^{-5}$  до  $-1.1 \cdot 10^{-3}$  для различных эпитаксиальных слоев. Наличие узкого пика от слоя (его полуширина изменяется в разных слоях от единиц угловых секунд до нескольких десятков угловых секунд) свидетельствует о монокристаллическости эпитаксиально-

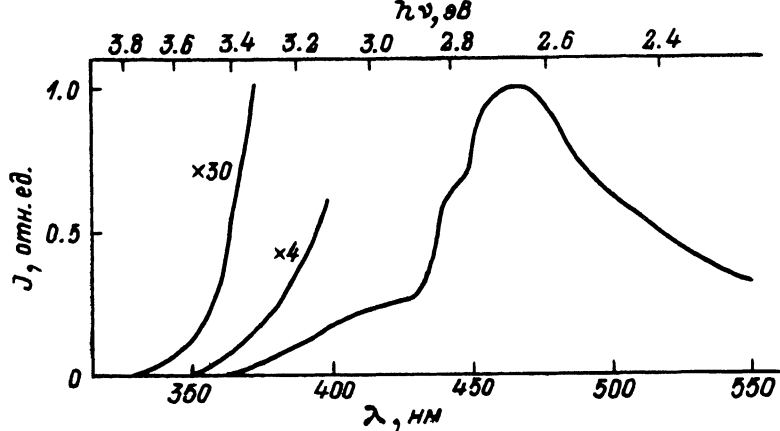


Рис. 2. Спектр катодолуминесценции твердого раствора  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ ;  $x=0.07$ ,  $T=85$  К.

го слоя, а отрицательное значение  $\Delta c/c$  - о том, что решетка слоя сжата по отношению к решетке  $SiC-6H$ .

Спектры катодолуминесценции возбуждались потоком электронов с энергией 15 кэВ. Катодолуминесценция исследовалась на „косых шлифах“ эпитаксиальных слоев. При  $T=85$  К слои имеют довольно эффективную люминесценцию, которая представляет полосу с максимумом в голубой области спектра (рис. 2). По спектральному положению и полуширине эта полоса практически совпадает с полосой донорно-акцепторной рекомбинации  $N-Al$  в  $SiC-6H$ , однако, в отличие от  $SiC-6H$  спектра, полоса люминесценции эпитаксиального слоя имеет ярко выраженное коротковолновое крыло, простирающееся вплоть до энергии 3.6 эВ.

Поскольку содержание  $AlN$  в наших слоях не превышает 7%, ширина запрещенной зоны  $SiC-AlN$ , согласно [2], такая же, как у  $SiC$ . Поэтому совпадение положения полосы люминесценции  $SiC-AlN$  с наиболее характерной для  $SiC-6H$  полосой донорно-акцепторной рекомбинации  $N-Al$  представляется естественной. Ярко выраженное коротковолновое крыло в  $SiC-AlN$  обусловлено, по-видимому, разупорядоченностью решетки, характерной для твердых растворов.

Таким образом, методом эпитаксии из жидкой фазы из раствора-расплава  $Si-C-Al-N$  выращены эпитаксиальные слои  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ . Слои монокристаллические и имеют эффективную люминесценцию в глубокой области спектра.

Максимальная концентрация компоненты  $AlN$  в слоях равна 7%.

Мы выражаем благодарность И.Д. Коваленко за техническую помощь при выполнении работы. Авторы признательны также Н.В. Айбабиной за подготовку образцов.

- [1] Z a n g v i l A., R u h R. // J. Amer. Ceram. Soc. 1988. V. 17. N 10. P. 884-890.
- [2] Н у р м а г о м е д о в Ш.А., П и х т и н А.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 17. С. 1043-1045.
- [3] Н у р м а г о м е д о в Ш.А., П и х т и н А.Н. и др. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 1. С. 162-164.
- [4] С а ф а р а л и е в Г.К. В кн.: Широкозонные полупроводники. Махачкала, 1988. С. 34-44.
- [5] Д м и т р и е в В.А., И в а н о в П.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 4. С. 238-241.
- [6] H a l l P.M., M o r a b i t o J.M. // Surf. Sci. 1979. V. 83. P. 391.
- [7] D a v i s L.E., M a s D o n a l d N.C. et al.// Handbook of Auger Electron Spectroscopy. 2nd ed.

Поступило в Редакцию  
7 февраля 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 6

26 марта 1991 г.

05.1; 10

© 1991

## УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ, ПРОШЕДШИХ ТОНКИЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ КРЕМНИЯ

В.И. С о р о к а, М.В. А р ц и м о в и ч,  
И.Ф. М о г и л ь н и к

Угловые распределения каналированных ионов, прошедших тонкие монокристаллические мишени, проявляют очень сложную зависимость от многих взаимосвязанных параметров. В данном эксперименте выделяется один из них, угол наклона пучка по отношению к определенному кристаллографическому направлению. Измерения зависимости угловых распределений от этого параметра, кроме общего интереса к исследованию динамики прохождения, имеют частный, практический интерес, а именно в связи с обсуждением в работе [1] возможности самофокусировки пучка частиц в кристалле. Эффект самофокусировки получается из анализа рассеяния частиц неканализованной фракции, падающих на кристалл под углами от одного до нескольких критических углов каналирования, и сводится к тому, что для толщин кристалла, меньших длины деканализования, угловая плотность частиц после кристалла может быть повышена из-за „пленения” рассеянных частиц в канал.