



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
İyun  
June 2005  
Июнь

səhifə  
page 134-136  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## СУБЛИМАЦИОННАЯ ЭПИТАКСИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$

КУРБАНОВ М.К., САФРАЛИЕВ Г.К., БИЛАЛОВ Б.А., ГУСЕЙНОВ М.К.

*Дагестанский госуниверситет, Махачкала, Россия  
E-mail: kurbanov\_malik@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований процессов эпитаксиального роста полупроводниковых твердых растворов карбида кремния с нитридом алюминия  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  – перспективных материалов для экстремальной электроники из газовой фазы методом сублимационной эпитаксии. Приведены результаты исследований химического состава, скорости роста, типа проводимости от технологических параметров, а также температурной зависимости электропроводности в области примесной проводимости.

Карбид кремния (SiC) и нитрид алюминия (AlN) образуют непрерывный ряд твердых растворов  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  с шириной запрещенной зоны от 3 до 6эВ, которые при содержании AlN свыше 60 мол.% имеют прямозонную структуру [1]. Незначительное различие параметров решеток и коэффициентов температурного расширения SiC и  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  позволяет получать гетеропереходы на их основе с малым количеством дефектов на границе. Твердые растворы  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  очень устойчивы к высокотемпературным, радиационным, химическим и механическим воздействиям, поэтому перспективны для создания приборов твердотельной электроники, работающих в экстремальных условиях.

Из известных и распространенных методов выращивания полупроводниковых монокристаллов в настоящее время наибольшие подходы для получения объемных кристаллов твердых растворов  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  является метод сублимационной эпитаксии [2]. Поэтому представляет интерес исследование процессов эпитаксиального роста  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  из газовой фазы методом сублимационной эпитаксии, изучение их структурных и электрических свойств в зависимости от условий роста.

Эпитаксию твердых растворов  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  проводились на подложках SiC политаипа 6H при температуре 2250-2550K в среде смеси газов азота и аргона ( $2 \cdot 10^4$  -  $8 \cdot 10^4$  Па) из поликристаллических источников SiC-AlN.

Непосредственно перед процессом эпитаксии проводилось сублимационное травление поверхности подложки в избыточных парах Si, что позволило решить проблему дефектности переходных слоев на

границе подложка-пленка, возникающих вследствие пассивации поверхности подложки углеродом при диссоциации SiC в режиме дегазации арматуры камеры при  $1200^\circ\text{C}$ .

С целью совершенствования и оптимизации процесса выращивания  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  определены зависимости скорости роста, состава пленок от технологических параметров.

Зависимость состава ЭС  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  от концентрации AlN в источнике SiC-AlN при прочих равных технологических условиях ( $T_p = 2500\text{K}$ ,  $P_{N_2} + P_{Al_2} = 7 \cdot 10^4$  Па,  $V_p \sim 1,5$  мкм/мин.) представлена на рисунке 1. Эта кривая указывает на однозначную зависимость состава ЭС от состава источника вида  $x = ay + b$ , где  $x$  – содержание AlN в ЭС,  $y$  – концентрация AlN в поликристаллическом источнике SiC-AlN, а  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты, которые позволяют управлять составом выращиваемых ЭС, задавая состав источника.

Обнаружено, что значительное влияние на состав  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  при сублимационной эпитаксии оказывает соотношение парциальных давлений азота и аргона. С увеличением парциального давления азота  $P_{N_2}$  (при постоянном суммарном давлении  $\sim 7 \cdot 10^4$  Па) концентрация AlN в ЭС увеличивается до некоторого предельного значения для данного источника (рис.2). Вероятно, это связано с тем, что с увеличением  $P_{N_2}$  все больше атомов Al,

образующихся при диссоциации AlN в источнике и достигнувших растущей грани ЭС связываются с атомами азота и в виде комплексов AlN встраиваются в кристаллическую решетку ЭС, увеличивая в нем

концентрацию AlN. Поскольку при диссоциации источника образуется конечное число атомов Al, при дальнейшем увеличении  $P_{N_2}$  наступает насыщение

состава ЭС (предельные концентраций AlN в ЭС) для данного источника при данной температуре.

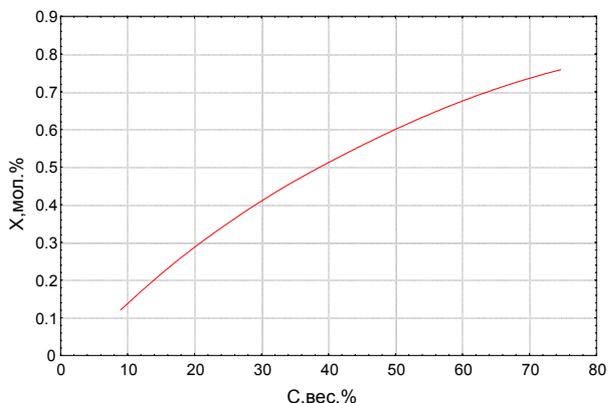


Рис.1 Зависимость состава ЭС  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  от содержания AlN в поликристаллическом источнике SiC-AlN

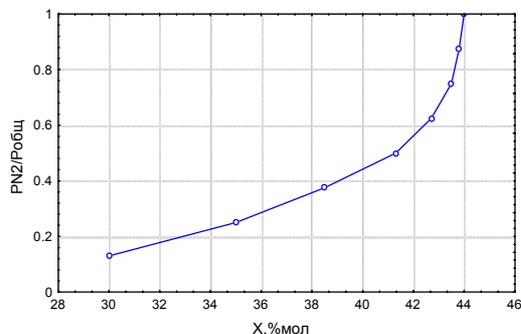


Рис. 2 Зависимость состава ЭС (x-концентрация AlN) от соотношения парциальных давлений азота  $P_{N_2}$  и аргона  $P_{Ar}$  (Источники с 40% весовым содержанием AlN).

Нами также установлено, что и скоростью роста ЭС  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  в некоторых пределах можно управлять изменяя соотношение парциальных давлений рабочих газов в камере роста. На рис. 3 представлена зависимость скорости роста ЭС от соотношения парциальных давлений  $P_{N_2}$  и  $P_{Ar}$ . При

этом все остальные параметры роста придерживались постоянными. Как видно с увеличением  $P_{N_2}$  скорость роста уменьшается. На наш взгляд

наблюдаемая зависимость можно объяснить исходя из следующих соображений: Как известно свободный Al является эффективным активатором процесса роста кристаллов SiC [3]. Однако, как следует из термодинамического анализа системы SiC-C-Al-N<sub>2</sub>, алюминий связывается с азотом еще при  $T < T_{роста}$  и образуют комплексы Al-N. Поэтому, при выращивании в инертной среде азота, разорванные связи Al быстро восстанавливаются, препятствуя соединению Al с продуктами разложения SiC. Таким образом, Al перестает быть эффективным транспортером продуктов разложения SiC. Уменьшение скорости роста также объясняется

большими временами релаксации, характеризующими переход комплексов Al-N, Al-C в приповерхностный слой ЭС.

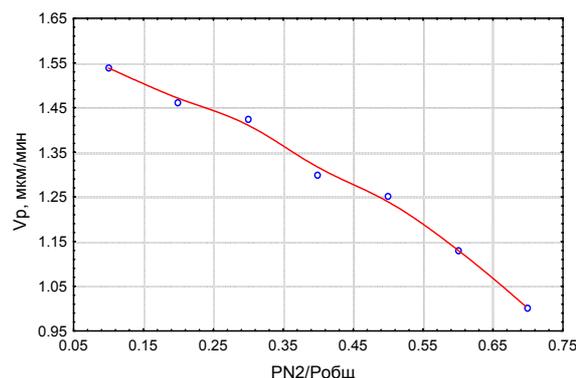


Рис.3. Зависимость скорости роста ЭС от соотношения парциальных давлений  $P_{N_2}$  и  $P_{Ar}$ . ( источники 40% AlN вес.)

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что при выращивании твердых растворов  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  методом сублимационной эпитаксии в газовой среде наибольшее влияние на состав растущих слоев оказывает соотношение парциальных давлений азота и аргона. Наименьшее влияние на состав оказывает время роста. Незначительное влияние времени роста на состав связан с постепенным истощением AlN в источнике. Заметное влияние на состав слоев оказывает температура роста. С увеличением температуры обнаружено увеличение содержания AlN в ЭС. При этом улучшается также структура и морфология слоев. Однако, во избежание эффектов перекрестного легирования, приводящего к размывости гетерограницы или даже образованию нежелательного гомоперехода в n-SiC - подложке за счет диффузии Al из ЭС и перекомпенсации N (поскольку диффузия является сильно меняющейся функцией температуры), выращивание ЭС твердых растворов  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  проводится при возможно более низкой температуре (~2250K), совместимой с хорошим качеством.

Исследования показывают, что в зависимости от условий роста твердые растворы  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$  имеют как n, так и p- тип электропроводности. Причем тип электропроводности коррелируется с парциальным давлением азота в зоне роста. На рисунке 4 приведена зависимость типа проводимости ЭС от соотношения парциальных давлений азота и аргона, при использовании партии источников с 40% вес. AlN.

При соотношении  $P_{N_2} / P_{общ} < 0,5$  (прочих равных технологических условиях) полученные слои обладают как p- так и n- типом электропроводности в зависимости от состава источника. При  $P_{N_2} / P_{общ} > 0,5$  ЭС преимущественно имеют n-тип проводимости. Вероятно, p- тип электропроводность обусловлена недостатком азота в зоне роста из-за его низкого парциального давления по сравнению с парциальным давлением паров алюминия при разложении источника и, как следствие - наличием у растущей поверхности ЭС избыточного свободного Al.

Недостаток азота приводит к росту слоев с низким содержанием AlN, легированных Al, который является в твердом растворе  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  акцепторной примесью. Увеличение  $P_{\text{N}_2}$  приводит к уменьшению свободного Al за счет связывания в комплексы Al-N, которые, переходя из газовой фазы в ЭС, увеличивает в нем концентрацию AlN. Это приводит одновременно к уменьшению степени легирования слоев алюминием. Дальнейшее увеличение азота в зоне роста приводит к почти полному уменьшению свободного Al у поверхности роста и перекомпенсации его азотом, который является донорной примесью в твердом растворе. Таким образом, варьируя составом и давлением газов  $\text{N}_2$  и Ar, можно получить  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  с заданным типом электропроводности.

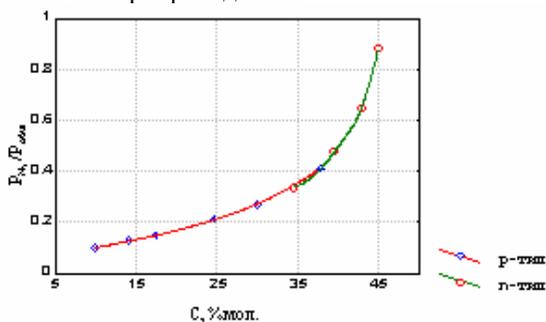


Рис. 4 Зависимость типа электропроводности от от соотношения парциальных давлений  $P_{\text{N}_2}$  и  $P_{\text{Ar}}$  (источники 40% AlN вес.)

Ниже представлены результаты исследований температурной зависимости удельной электропроводности  $\sigma$  твердых растворов  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ . Для измерения  $\sigma$  (Т) нами был применен 4-х зондовый метод, который имеет высокие метрологические показатели. Кроме этого, для его применения не требуется создания омических контактов к образцу, изготовления образцов специальной геометрической формы. Единственным условием применимости этого метода является наличие плоской поверхности, линейные размеры которой превосходят линейные размеры системы зондов[4].

На рис.унке 5 представлены температурные зависимости удельной электропроводности  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  для 2-х образцов. Максимальная температура ( $\sim 700^\circ\text{C}$ ) при которой проводили измерения огранивалась конструкцией и возможностями измерительной установки и погрешностью, равной или меньшей 5%. Учитывая что собственная электропроводность SiC наблюдается начиная с

температуры примерно  $1400^\circ\text{C}$ , измеренная электропроводность является однозначно примесной.

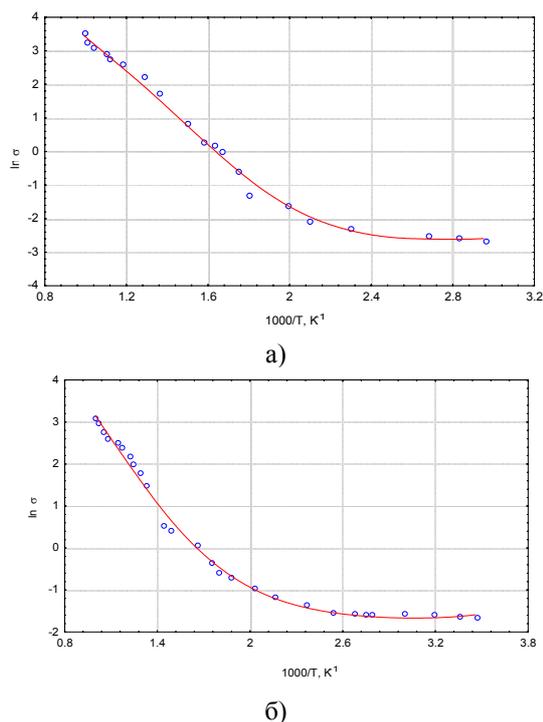


Рис.5 Температурная зависимость удельной электропроводности  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ : а)  $x=0,033$ ; б)  $x=0,042$ .

Вид кривых  $\ln \sigma = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  обусловлен сложным составом твердого раствора, состоящего из четырех компонентов и наличием нескольких видов примесных дефектов, с различными энергиями ионизации и соответствует разупорядоченным полупроводникам. До температуры 500К кривые имеют слабый наклон с энергией активации  $0,1 \div 0,25 \text{ эВ}$ . Электропроводность при этих температурах обусловлена с наличием в  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  мелких примесей, в основном азот и алюминий. Следует отметить, что наблюдается сильный разброс в величинах удельной электропроводности от образца к образцу, даже с близкими составами. Вероятно, это связано с разбросом технологических параметров роста, что приводит к различной степени загрязненности, дефектности и т.д.

- [1]. Дмитриев А.П., Евлахов Н.В., Фурман А.С. Расчет зонной структуры твердых растворов SiC-AlN методом псевдопотенциала // ФТП. Т.30. В.1. 1996.- С.106-116.
- [2]. Офицерова Н.В., Курбанов М.К., Никитина И.П., Сорокин Н.Д., Сафаралиев Г.К., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Особенности получения гетероэпитаксиальных структур на основе твердых растворов  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  // Изв. РАН. Неорг. Мат.-лы. 1992. Т. 28. N9.- С.2011-2012
- [3]. Мохов Е.Н., Усманов М.М., Юлдашев Г.Ф., Махмудов Б.С. Легирование карбида кремния элементами третьей подгруппы при росте кристаллов из паровой фазы // Изв. АН СССР. Сер. Неорг. Мат.-лы. Т. 20.N8.1984. -С.1383-1386.
- [4]. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов // -М.. Высшая школа, 1987.-С. 235.

