

- С. 1-9. DOI:10.7463/0414.0707391. Режим доступа:
<https://technomagelpub.elpub.ru/jour/article/view/564> (дата обращения 27.02.2019)
20. Духопельников Д.В., Кириллов Д.В., Марахтанов М.К., Воробьев Е.В., Булычёв В.С. Вакуумная дуга на поликристаллическом кремниевом катоде // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2014. № 11. С. 188-197. Режим доступа: http://engineering-science.ru/file/749851.html?__s=1 (дата обращения 27.02.2019).

Исследование морфологии эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, полученных методом магнетронного распыления

Г.К.Сафаралиев, Г.Д.Кардашова

Махачкала, Дагестанский государственный университет, ул. Гаджиева, д. 43-а

E-mail: gulya-kal1@yandex.ru

В данной работе приведены результаты исследования свойств эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ полученных магнетронным распылением составных мишеней SiC-AlN. Представлены результаты исследований методами рентгенодифрактометрии и атомно-силовой микроскопии и $I(V)$ спектроскопии слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ для определения оптимальных параметров роста. Начальная стадия поверхности пленок характеризуются аморфной структурой, с ростом толщины формируются монокристаллические островки с гексагональной структурой. $I(V)$ спектры туннельного тока зонд-пленка имеют сложный характер с несколькими изломами.

The study of the morphology of epitaxial films $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ obtained by the method of magnetron sputtering. G.K.Safaralie, G.D. Kardashova. This paper presents the results of studying the properties of epitaxial $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ films obtained by magnetron sputtering of SiC-AlN composite targets. The results of X-ray diffraction and atomic-force microscopy studies and $I(V)$ spectroscopy of $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ solid solution layers to determine the optimal growth parameters are presented. The initial stage of the film surface is characterized by an amorphous structure. Single-crystal islands with a hexagonal structure are formed with the thickness growth, The $I(V)$ spectra of the probe-film tunnel current are of complicated character with several kinks.

В настоящее время наиболее совершенными методами исследования строения поверхности твердых тел являются зондовые методы. Применение для изучения поверхности сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и спектроскопии, обладающей пространственным разрешением на уровне 0.1 \AA , исключает усреднение данных и позволяет измерять физико-химические характеристики единичных адсорбированных частиц, дефектов и наноструктур.

В работе представлены результаты исследований методами рентгенодифрактометрии (XRD) и АСМ и $I(V)$ спектроскопии слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, полученных ионно-плазменным распылением поликристаллической мишени, для определения оптимальных параметров роста.

Пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ толщиной до 2 мкм формировались на подложках – пластинах монокристаллического SiC методом ионно-плазменного магнетронного распыления поликристаллических мишеней SiC-AlN [1]. Основные технологические параметры роста пленок твердых растворов: температура подложки в диапазоне $1300 \div 1620 \pm 5\text{K}$; время распыления, в диапазоне $0.5 \div 4$ часов; скорость в диапазоне $10 \div 30 \text{ nm/min}$. Для получения кристаллоориентированных слоёв был проведен отжиг полученных гетероструктур в нейтральной среде при температуре 1200°C .

Морфологию полученных слоев определяли с помощью АСМ «Интегра». Результаты по получению наноразмерных слоев показали, что после их формирования наблюдаются отдельные конусообразные выступы высотой $50\text{-}100 \text{ nm}$ (рис.1).

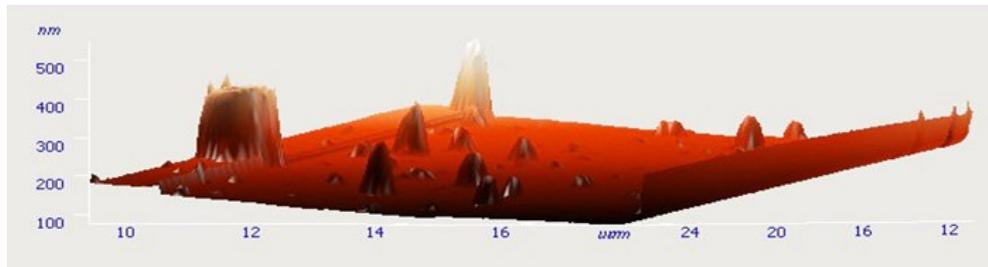


Рис. 1. АСМ изображение поверхности плёнки $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.

Наименьшая плотность конусообразных выступов отмечается в середине подложек, что может быть связано с неравномерностью плотности потока распылённых ионов и частиц по диаметру подложки. Попытка снизить концентрацию конусообразных выступов путём ионного травления показала принципиальную возможность достижения цели (рис.2). Последующий отжиг поликристаллических наноразмерных слоёв позволяет утверждать, что неоднородность микрорельефа уменьшается до 5-10 нм, а структура пленки становится более крупнокристаллической (рис. 3).

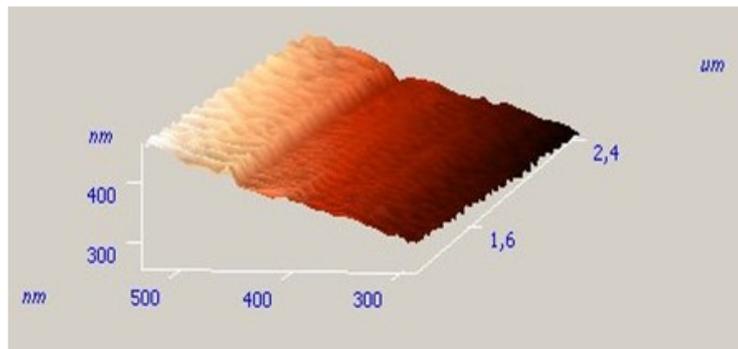


Рис. 2. Увеличенная поверхность «склона» в области травления плёнки $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.

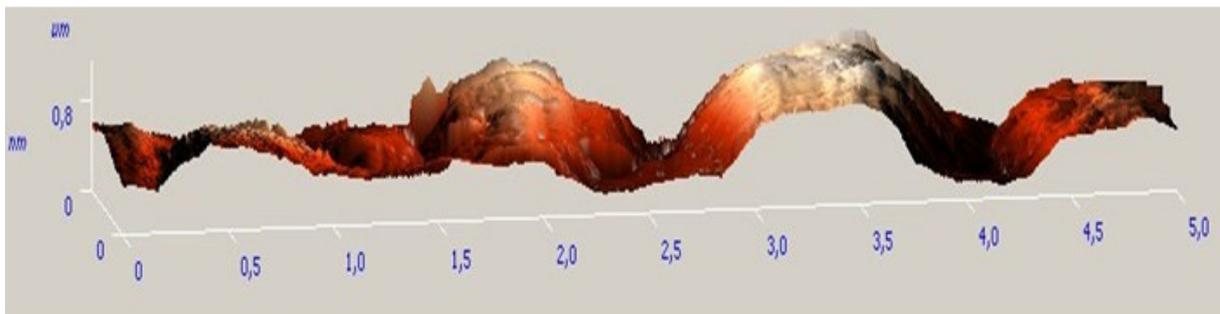
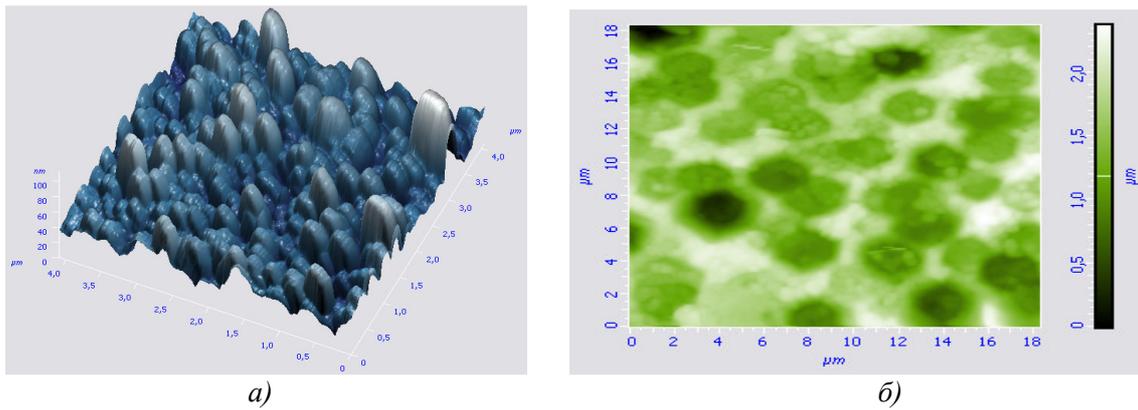


Рис. 3. Поверхность плёнки $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ после отжига.

Изучение морфологии пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ было осуществлено с помощью сканирующего зондового микроскопа Ntegra Prima, с термостолком с нагревом до 450К и низкоточковой сканирующей туннельной головкой ST020NTF. Результаты исследования морфологии пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с $x = 0,64$ приведены на рис. 4. Как видно, пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ изначально растут равномерно по поверхности до 300-400 нм (рис.4,а), не имеют определенную кристаллическую структуру. В более толстых пленках формируются островки с гексагональной структурой (рис.4,б). Эти исследования подтверждают закономерности формирования гексагональной структуры в пленках $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.



*Рис. 4. АСМ изображение пленки твердого раствора $(SiC)_{0,36}(AlN)_{0,64}$:
а) в 3D, б) в 2D.*

На рис. 5 представлено СТМ-изображение поверхности пленки твердого раствора $(SiC)_{0,36}(AlN)_{0,64}$.

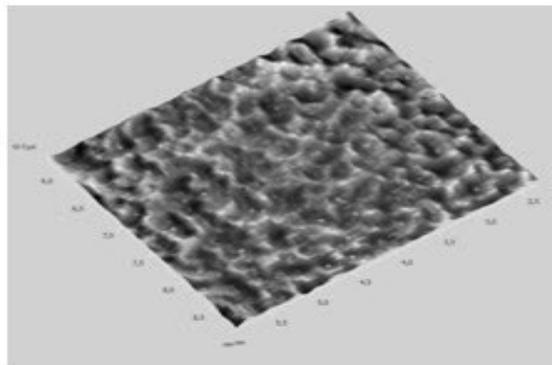


Рис. 5. СТМ-изображение поверхности пленки $(SiC)_{0,36}(AlN)_{0,64}$ при 450 К.

Сложный профиль поверхности пленки объясняется многокомпонентностью состава пленки, ее поликристалличностью, а также возможным наличием на поверхности оксидных пленок, адсорбированных атомов и др.

Полупроводниковые твердые растворы $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ имеют сложную структуру энергетического спектра электронов. Измерение туннельных спектров позволяют определить положения краев зоны проводимости и валентной зоны относительно уровня Ферми [3], а также идентифицировать спектральные пики, связанные с примесными состояниями внутри запрещенной зоны полупроводников.

Однако, наличие запрещенной зоны и примесных уровней в спектре полупроводниковых материалов делает ВАХ туннельного контакта металл-полупроводник сильно нелинейной. Кроме этого, существенный вклад в туннельный ток дают также поверхностные состояния и уровни энергии, связанные с адсорбированными на поверхности чужеродными атомами. Поэтому исследования локальных туннельных спектров полупроводниковых материалов необходимо проводить в условиях высокого вакуума.

Неконтролируемое присутствие на поверхности адсорбированных атомов сильно усложняет интерпретацию получаемых в эксперименте туннельных спектров. Кроме того, тепловые возбуждения приводят к значительному уширению дискретных уровней энергии, соответствующих локализованным состояниям, а также сильно размывают положение краев зоны проводимости и валентной зоны.

На рис. 6 представлены результаты $I(V)$ спектроскопии $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$.

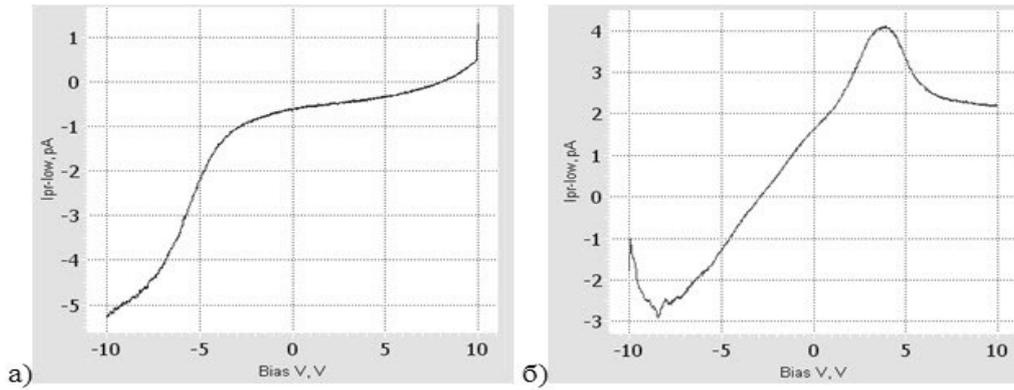


Рис. 6. ВАХ пленки $(\text{SiC})_{0,36}(\text{AlN})_{0,64}$ при температуре 400 К (а - при возрастании напряжения, б - при убывании напряжения).

Нагревание образца приводит к росту термоэмиссии электронов с поверхности образца, при этом задача измерения тока упрощается. Как видно на ВАХ наблюдаются изломы при 4, 7, 10В. Природа такого поведения ВАХ еще не изучена.

Для оценки степени кристалличности и состава был проведен рентгеноструктурный анализ пленок с применением дифрактометра марки Shimadzu XRD – 7000 на излучении $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda=1.5418\text{\AA}$). Состав пленок определяли по полученным из рентгенограмм данным межплоскостных расстояний d путем сопоставления их с известными табличными данными параметра кристаллической решетки c для твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с различным значением x . На рис. 7 приведены рентгенограмма от подложки 6H-SiC (вверху) и от пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ (внизу) при $x=0,2$.

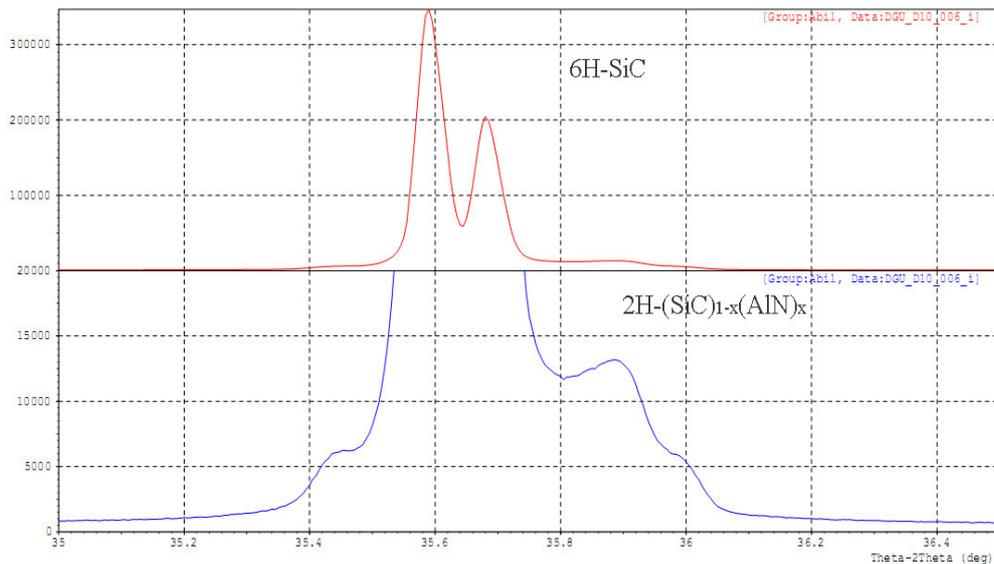


Рис.7. Рентгенограмма от подложки 6H-SiC (вверху), от пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ (внизу).

Твердые растворы $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ имеют прямозонную структуру при значениях $x \geq 0,4$. Рассчитанные значения рассогласования параметров решеток подложки и слоя $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ ($\Delta c/c$) изменяются от $-7,8 \cdot 10^{-3}$ до $-1,1 \cdot 10^{-3}$ для эпитаксиальных слоев различного состава.

Полученные результаты подтверждают возможность получения структурно совершенных слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, перспективных для создания оптоэлектронных приборов нового поколения, эффективных в фиолетовой и ультрафиолетовой области спектра излучения.

Выводы.

Методами XRD и СТМ исследованы пленки твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, полученные магнетронным осаждением на подложках SiC. Начальная стадия пленок характеризуется аморфной структурой, с ростом толщины формируются монокристаллические островки с гексагональной структурой.

I (V) спектры туннельного тока зонд-пленка имеют сложный характер с несколькими изломами. Требуется дальнейшее их изучение.

Литература

1. Билалов Б.А., Кардашова Г.Д., Ахмедов А.С., Мутаев Н.Х. Получение пленок SiC и твердых растворов на его основе $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$. // В сборнике: Неделя науки-2018. Сборник материалов XXXIX итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. – 2018. С.236-238.
2. Сафаралиев Г.К., Билалов Б.А., Нурмагомедов Ш.А., Кардашова Г.Д., Махмудов Р.Г., Билалов А.Б. Процессы сублимации и конденсации твердых растворов на основе карбида кремния. // Мониторинг. Наука и технологии. –2014. № 1 (18). С. 45-47.
3. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. // Российская академия наук, Институт физики микроструктур. Нижний Новгород, 2004 г. – 110 с.