ФИЗИКА

УДК 621.315.592

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-1-34–38

З.И. Шахбанова¹, М.К. Гусейнов², М.А. Магомедов²

Исследование оптических и электрических свойств твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$

¹ Дагестанский государственный университет; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а; zag16@yandex.ru;

² Дагестанский государственный технический университет; Россия, Республика Дагестан, 367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70; m_guseynov@mail.ru

Приведены результаты исследований оптических и электрических свойств твердых растворов карбида кремния с нитридом алюминия $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.

Установлено, что с увеличением содержания AlN в пленках $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ спектры оптического пропускания смещаются в коротковолновую область. Показано, что пленки, полученные при высоких температурах, имеют относительно хорошую проводимость, и в зависимости от температуры подложки в диапазоне от 800 до 1300 К удельная электропроводность может изменяться в широком интервале. Электропроводность увеличивается примерно на 5–6 порядков.

Ключевые слова: карбид кремния, нитрид алюминия, твердые растворы карбида кремния с нитридом алюминия, оптические и электрические свойства твердых растворов карбида кремния с нитридом алюминия.

Приборы на основе твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ способны обеспечить стабильность параметров и высокую надежность при экспериментальных условиях эксплуатации. В этой связи получение твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с необходимыми электрическими и оптическими свойствами имеет большое значение [1–5]. Данная статья посвящена исследованию оптических и электрических свойств пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, полученных методом магнетронного распыления при различных технологических параметрах.

Анализ спектров пропускания и поглощения позволяет определить изменения в зонной структуре получаемого материала. Изменение спектра оптического поглощения может являться также критерием образования твердого раствора, так как только при образовании твердого раствора меняются зонные параметры полупроводника, влияющие на его оптические свойства.

Измерения оптических характеристик проводились с помощью спектрометра СДЛ-2 по стандартной методике измерений, описанной в работе [6].

Спектральная зависимость оптического пропускания T пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с составами $x = 0,3$; $x = 0,46$ приведена на рис. 1. Из спектров оптического пропускания рассчитывались значения коэффициента поглощения исследуемых образцов. Рассчитанные значения коэффициента оптического поглощения приведены на рис. 2.

Смещение спектральных кривых коэффициента оптического поглощения $\alpha(\lambda)$ в область коротких волн по мере увеличения содержания AlN является основной особенностью спектров, оно связано с ростом ширины запрещенной зоны твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, что свидетельствует об образовании твердого раствора в системе SiC-AlN.

Рис. 1. Край спектров оптического пропускания $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$: 1) $x = 0,46$; 2) $x = 0,3$

Коэффициент поглощения в области края поглощения меняется на 3–4 порядка. Значения оптической ширины запрещенной зоны E_g для пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с содержанием $x = 0,3$ и $x = 0,46$, полученные из спектров края поглощения, составляют 3,4 эВ и 3,8 эВ соответственно.

Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента поглощения пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$: 1) $x = 0,3$; 2) $x = 0,46$

Для измерения удельной электропроводности применялись методы контроля физических параметров полупроводниковых материалов, широко используемые в производственной и лабораторной практике [7–9]. В частности, были применены 4- и 2-зондовые методы.

Исследования электропроводности различных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, выращенных при разных температурах подложки, показали, что электропроводность пленок увеличивается с ростом температуры выращивания, при этом энергия активации электропроводности уменьшается. Типичные температурные зависимости удельной электропроводности образцов с содержанием AlN около 30 мол. %, выращенных при температурах 1) $T_{\text{п}} \sim 800$ К; 2) $T_{\text{п}} \sim 1100$ К; 3) $T_{\text{п}} \sim 1300$ К, представлены на рис. 3. Для пленок, выращенных при $T_{\text{п}} \sim 800$ К, энергия активации электропроводности E_a составляет 0,49 эВ; при $T_{\text{п}} \sim 1100$ К E_a составляет 0,33 эВ и при $T_{\text{п}} \sim 1300$ К E_a равна 0,18 эВ. Видно, что изменение температуры подложки в диапазоне от $T \sim 800$ до 1300 К приводит к росту электропроводности на 5–6 порядков.

Такое изменение электропроводности, вероятно, связано с изменением совершенства структуры пленок. Если в структуре пленок имеются мелкие кристаллические образования и ограничивающие их поверхности в сумме сравнительно велики, то влияние уровней Тамма на электропроводность может быть существенным. Согласно [10] поверхность кристаллов можно рассматривать как своеобразные дефекты в решетке, которые могут образовывать локальные энергетические уровни, на 1 см^2 образуется примерно $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ добавочных уровней. Этим можно объяснить увеличение проводимости в поликристаллических пленках.

Таким образом, в поликристаллических пленках электропроводность в значительной степени зависит от размеров кристаллитов: чем больше размер кристаллитов, тем меньше сопротивление, что наглядно демонстрируют полученные нами зависимости удельной электропроводности от температуры осаждения пленок.

Рис. 3. Температурная зависимость электропроводности пленок $(\text{SiC})_{0.7}(\text{AlN})_{0.3}$, выращенных при 1) $T \sim 800$ К; 2) $T \sim 1100$ К; 3) $T \sim 1300$ К

Для определения E_g из температурной зависимости σ для таких широкозонных материалов, как $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, требуется проводить измерения при высоких температурах порядка 2000 К. Проведение таких измерений является сложной задачей.

Литература

1. Гусейнов М.К., Темиров А.Т., Магомедов М.А., Курбанова А.М. Исследование элементного состава и морфологии пленок твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ // Мониторинг. Наука и технологии. – 2020. – № 2 (44). – С. 75–78.
2. Гусейнов М.К., Темиров А.Т., Магомедов М.А., Курбанова А.М. Исследование кристаллической структуры пленок растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, выращенных методом магнетронного распыления // Мониторинг. Наука и технологии. – 2020. – № 3 (45). – С. 6–9.
3. Рамазанов Ш.М. Получение и исследование эпитаксиальных пленок твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ и поверхностно-барьерных структур на их основе: дис. ... к. физ.-мат. н. – Махачкала: Издательство ДГУ, 2015.
4. Гусейнов М.К., Магомедов А.М. Исследование свойств нанопленок твердого раствора карбида кремния с нитридом алюминия // Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ (г. Махачкала, 21–25 апреля 2015 г.). – Махачкала: Изд-во КИТ, 2015. – С. 173–174.
5. Гусейнов М.К., Курбанов М.К., Билалов Б.А., Сафаралиев Г.К. Магнетронное осаждение тонких пленок твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44, вып. 6. – С. 841–844.
6. Голубев В.И., Нурмагомедов Ш.А., Пихтин А.Н., Разбегаев В.Н., Сафаралиев Г.К., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Оптические свойства эпитаксиальных слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ // Тез. док. III Всесоюзн. совещ. «Физика и технология широкозонных полупроводников». – Махачкала: Изд-во ДГУ, 1986. – С. 46–47.
7. Павлов Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. – М.: Высшая школа, 1987. – 239 с.
8. Батавин В.В., Коцевой Ю.А., Федорович Ю.В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. – М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
9. Батвин В.В. Контроль параметров полупроводниковых материалов и эпитаксиальных слоев. – М.: Советское радио, 1976. – 104 с.
10. Tamm I.E. Über eine Möglich Art der Elektronenbindungen an Kristalloberflächen // Physikal. Zeitschr. Der Sowjetunion. – 1932. – B. 1, h. 6. – S. 733–746.

Поступила в редакцию 4 декабря 2020 г.

UDC 621.315.592

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-1-34–38

Research of the Optical and Electrical Properties of Solid Solutions $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$

Z.I. Shakhbanova¹, M.K. Guseynov², M.A. Magomedov²

¹Dagestan State University; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; zag16@yandex.ru;

²Dagestan State Technical University; Russia, 367015, Makhachkala, Imam Shamil Av., 70; m_guseynov@mail.ru

The results of studies of the optical and electrical properties of solid solutions of silicon carbide with aluminum nitride $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ are presented.

It was found that with an increase in the AlN content in the $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ films, the optical transmission spectra shifts to the short-wavelength region. It is shown that films obtained at high temperatures have good conductivity; it is also shown that, depending on the substrate temperature, in the range from 800 to 1300 K, the specific electrical conductivity can vary over a wide range. The electrical conductivity increases by about 5–6 orders of magnitude.

Keywords: *silicon carbide, aluminum nitride, solid solutions of silicon carbide with aluminum nitride, optical and electrical properties of solid solutions of silicon carbide with aluminum nitride.*

Received 4 December 2020