

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$

© Г.К.Сафаралиев, Ю.М.Таиров, Н.В.Официрова,
Я.В.Морозенко, Н.А.Абилова

Дагестанский государственный университет,
367025 Махачкала, Россия
(Получена 11 января 1995 г. Принята к печати 10 июля 1995 г.)

Исследованы спектры катодолюминесценции эпитаксиальных структур SiC-AlN. Анализ спектров подтверждает предположение об образовании твердых растворов в этой системе с ростом концентрации AlN. Обнаружены также две полосы, обусловленные рекомбинацией на дефектах и на донорно-акцепторных парах.

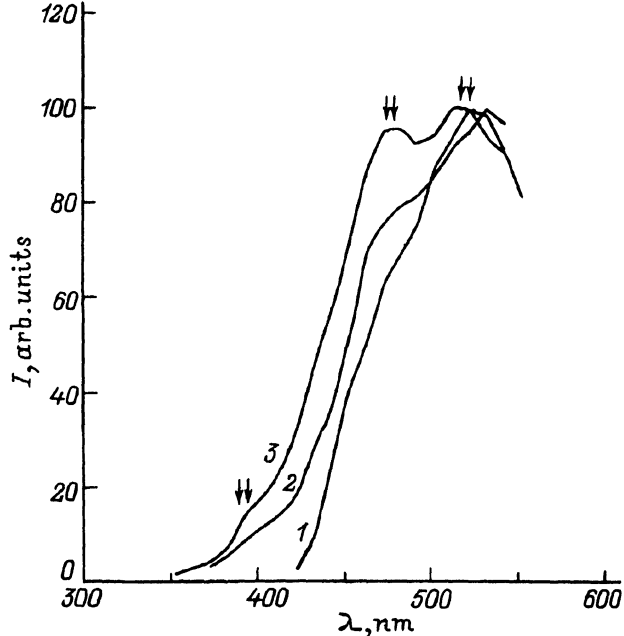
Введение

Разработанные к настоящему времени структуры на основе карбида кремния перекрывают весь диапазон видимого спектра излучения. Твердые растворы на основе SiC позволяют расширить область применения приборов оптоэлектроники. В частности, весьма перспективно создание фиолетовых и ультрафиолетовых светодиодов и инжекционных лазеров, так как они, с одной стороны, могут наследовать уникальные свойства карбида кремния, а с другой — приобретать свойства, присущие второму компоненту твердого раствора.

Исследованию оптических свойств эпитаксиальных слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ посвящен ряд работ [1-3]. В них рассматривается оптическое поглощение, фотолюминесценция и влияние на нее лазерного отжига твердых растворов. Что касается катодолюминесценции (КЛ), то приводится лишь один спектр для $x = 0.75$ [3]. Настоящая работа посвящена исследованию катодолюминесценции эпитаксиальных структур твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.

Результаты и обсуждение

Спектры КЛ измерялись при температурах жидкого азота и энергиях возбуждения 15 кВ (см. рисунок). Анализ спектров показал, что независимо от способа возбуждения в спектрах сохраняются характерные для гетероэпитаксиального слоя полосы, что указывает на одинаковую природу излучения. При температуре жидкого азота в спектрах КЛ структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ наблюдается интенсивная полоса



Спектры катодолуминесценции эпитаксиальных структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ для различных значений x : 1 — 0.05, 2 — 0.43, 3 — 0.51.

$\lambda = 520$ нм (энергия порядка 2.4 эВ). С увеличением процентного содержания AlN полосы КЛ плавно смещаются в коротковолновую область, на кривых возникает второй пик с $\lambda = 480$ нм (энергия порядка 2.6 эВ) и на спектрах наблюдается ультрафиолетовый «хвост», в котором обозначается еще один пик с $\lambda = 390$ нм (энергия порядка 3.2 эВ). Цвет свечения изменяется от желто-зеленого (кривая 1) до сине-голубого (кривая 3). При длительном воздействии пучка электронов на образец цвет свечения изменялся (максимум свечения сдвигался в длинноволновую область), что по-видимому, связано с тем, что под действием электронного пучка увеличивается концентрация дефектов, которые создают дополнительные центры излучательной и безызлучательной рекомбинации.

Спектры основных видов люминесценции представляют собой широкие полосы, имеющие более или менее выраженную структуру. Это является следствием, во-первых, сложного характера центров люминесценции, во-вторых, значительного электрон-фононного взаимодействия при излучательной аннигиляции и, в-третьих, наличия неэквивалентных положений примесей во всех политапах SiC, кроме типа 3C. Поэтому наблюдаемую структуру полос можно интерпретировать следующим образом. Межзонные переходы могут давать заметный вклад в люминесценцию лишь в материалах с прямой структурой зон. Так как карбид кремния, а также твердые растворы $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ вплоть до $x \approx 0.7$ являются непрямозонными [4], основными центрами эффективной люминесценции, согласно [5] (не считая центров, создаваемых радиационным облучением), являются донорно-акцепторные пары и одиночные акцепторные атомы. При этом за синюю полосу люми-

несценции ответственные пары азот-алюминий и одиночные атомы Al. Энергия, соответствующая длинноволновому максимуму КЛ, несколько меньше ширины запрещенной зоны SiC. По-видимому, излучательная рекомбинация в этом случае не связана с межзонными переходами, а определяется переходами зона-(примесный уровень), либо представляет собой зеленую полосу люминесценции, определяемую дефектами в кристаллической решетке^[6]. Она возникает вследствие излучательной рекомбинации экситонного типа через точечный комплекс дефектов, в котором одной из компонент, наиболее вероятно, является углеродная вакансия. Такая природа этой полосы вполне согласуется с данными из работы ^[2] о влиянии лазерного отжига на спектры фотолюминесценции твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$.

Поскольку в нашем случае твердый раствор содержит самое малое две группы центров, способных захватывать носители заряда противоположного знака, и концентрация их при больших x достаточно велика, межпримесные расстояния сравнительно малы и излучательная рекомбинация может идти за счет межпримесных переходов. В этом случае излучательная рекомбинация осуществляется через донорно-акцепторные пары алюминий-азот, и при достаточно низких температурах такая рекомбинация является единственным значительным релаксационным процессом. Вероятно, именно этот процесс и определяет возникновение второго пика на спектрах КЛ. При $x = 0.51$ на спектрах обозначается третий пик в ультрафиолетовой области, появление которого связано с изменением структуры запрещенной зоны. Поскольку в полупроводниках с непрямой структурой зон, каковым и являются SiC и твердые растворы $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ вплоть до $x = 0.7$, конкурирующие процессы безызлучательной рекомбинации при прочих равных условиях будут оказывать достаточно большое влияние на люминесценцию, становится ясна природа этого пика. Она связана с уменьшением энергетического зазора Δ между прямым и непрямым минимумами зоны проводимости по мере приближения к точке перехода к прямозонному состоянию и с вытекающими отсюда «эффектами зонной структуры», проявляющимися в оптических свойствах твердых растворов с непрямой структурой ^[7]. По мере приближения к точке перехода роль процессов безызлучательной рекомбинации будет уменьшаться, в свою очередь растет вероятность прямых переходов зона-зона, что и объясняет возникновение третьего пика в ультрафиолетовой области спектра КЛ.

Вероятно, при больших концентрациях AlN, когда твердый раствор становится прямозонным ^[4], спектр излучения сместится в ультрафиолетовую область, что делает твердые растворы $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ весьма перспективными для создания инжекционных лазеров в этом интервале длин волн.

Лазерный отжиг на спектры КЛ твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ в отличие от спектров фотолюминесценции ^[2] влияния не оказывает.

Заключение

Исследованы спектры катодолюминесценции твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$. Обнаружено, что на спектрах наблюдаются две полосы с $\lambda = 520$ и 480 нм, обусловленные рекомбинацией на дефектах

и донорно-акцепторных парах. С ростом концентрации AlN в твердых растворах в ультрафиолетовой области обозначается третий пик с $\lambda = 390$ нм, свидетельствующий об образовании твердого раствора и изменении структуры запрещенной зоны в этой системе. Установлено, что лазерный отжиг на спектры катодolumинесценции влияния не оказывает.

Список литературы

- [1] R.F.Rutz. US pat. N 4 382 837 (1983).
- [2] А.Х. Абдуев, Б.М. Атаев, С.А. Ашурбеков, М.К. Курбанов, Ш.А. Нурмагомедов, Г.К. Сафаралиев. Письма ЖТФ, **14**, 1095 (1988).
- [3] Ш.А. Нурмагомедов, А.Н. Пихтин, В.Н. Разбегаев, Г.К. Сафаралиев, Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. ФТП, **23**, 162 (1989).
- [4] Г.К. Сафаралиев, Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. ФТП, **25**, 1437 (1991).
- [5] Ю.А. Водаков, Г.А. Ломакина, Е.Н. Мохов, В.Г. Одинг, В.В. Семенов, В.И. Соколов. В сб.: *Проблемы физики и технологии широкозонных полупроводников* (Л., Изд-во ЛИЯФ, 1979) с. 164.
- [6] Ю.А. Водаков, Г.А. Ломакина, Е.Н. Мохов. В сб.: *Широкозонные полупроводники* (Махачкала, Изд-во ДГУ, 1988) с. 23
- [7] А.Н. Пихтин. ФТП, **11**, 425 (1977).

Редактор Т.А. Полянская

Cathodoluminescence of $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ solid solutions

G.K. Safaraliev, Yu.M. Tairov, N.V. Ofitserova, Ya.V. Morozenko, N.A. Abilova

Dagestanian State University, 367025 Makhachkala, Russia
