

©1994 г.

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ГЕТЕРОГРАНИЦЫ (SiC)_{1-x}(AlN)_x-SiC

Ю.Н.Эмиров, Г.К.Сафаралиев, С.А.Ашурбеков, М.К.Курбанов

(Институт физики им. Х.И. Амирханова Российской академии наук,
367003, Махачкала, Россия)

(Получена 22 апреля 1994 г. Принята к печати 10 мая 1994 г.)

Изучено влияние лазерного отжига на фотолюминесценцию гетерограницы (SiC)_{1-x}(AlN)_x-SiC. Показано, что в процессе отжига наблюдается диффузия атомов Al из пленки (SiC)_{1-x}(AlN)_x в SiC-подложку и образование акцепторов замещения Al_{Si}, обуславливающих в приграничной области SiC фотолюминесценцию $\lambda_{\max} = 470$ нм.

SiC и структуры на его основе являются перспективными материалами оптоэлектроники, исследования которых позволяют расширять возможности их практического применения. Однако изготовление и использование этих материалов связано с рядом трудностей, например монотонным изменением состава эпитаксиальной пленки (SiC)_{1-x}(AlN)_x по ее глубине [1], несоответствием параметров кристаллических решеток пленки и подложки, сокращающим срок службы соответствующих устройств и др. В ряде случаев указанные недостатки могут быть устранены различными видами обработок [2,3].

Настоящая работа посвящена изучению влияния лазерного отжига на гетерограницу (SiC)_{1-x}(AlN)_x-SiC, при котором эпитаксиальный слой служит диффузионным источником атомов в SiC-подложку. Представлены результаты исследований фотолюминесценции (ФЛ) структур, представляющих собой SiC-подложку с осажденной на нее эпитаксиальной пленкой (SiC)_{1-x}(AlN)_x таким образом, что пленка покрывала лишь среднюю часть подложки (см. рисунок, вставка). Такая конфигурация позволяла изучать ФЛ, возбуждаемую светом азотного лазера ЛГИ-21 ($\lambda = 337$ нм), как в области, где выращен эпитаксиальный слой (средняя часть структуры), так и подложки (край структуры или ее обратная сторона). Для представленных исследований подбирались образцы с таким составом пленок (SiC)_{1-x}(AlN)_x ($x > 0.7$), для которых свет азотного лазера ($h\nu = 3.68$ эВ) лежит в области прозрачности ($E_g = 4.8$ эВ) и поэтому не может эффективно возбуждать их свечение.

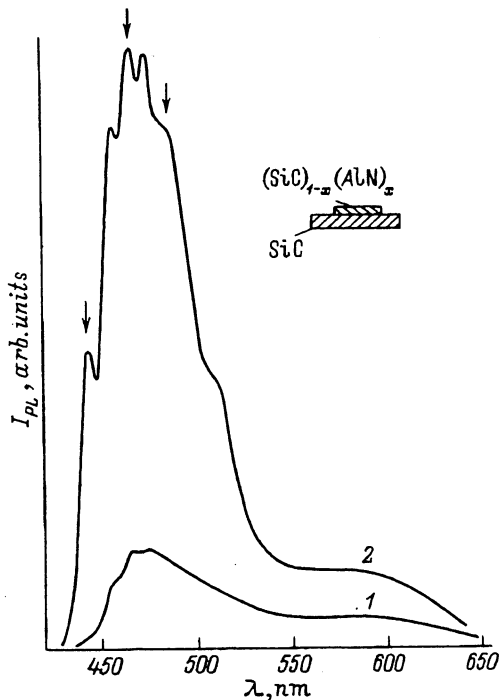


Рис. 1. Спектр ФЛ структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x\text{-SiC}$ ($x = 0.73$ и 0.85) при 77 К до (1) и после (2) лазерного отжига.

ФЛ исследовалась с помощью спектрального комплекса СДЛ-2.

На рисунке (кривая 1) представлен типичный спектр ФЛ структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x\text{-SiC}$ ($x = 0.73$ и 0.85), состоящий из двух полос с $\lambda_{\text{max}} = 470$ и 570 нм при 77 К. Видно, что на фоне высокоэнергетической полосы наблюдается тонкая структура. Важно отметить, что вид спектра существенно не меняется при изменении состава пленки от 0.73 до 0.85. идентичный спектр имеет и SiC-подложка.

Для изучения влияния лазерного отжига на ФЛ структур SiC, последние при 300 К были подвергнуты строчно-кадровому сканированию поверхности сфокусированным излучением импульсного (длительность 10 нс) азотного лазера большой мощности ($\lambda = 337$ нм, $P_i = 5\text{--}25$ кВт) как со стороны пленки, так и со стороны SiC-подложки.

Оказалось, что после лазерного отжига интенсивность высокоэнергетической полосы с $\lambda_{\text{max}} = 470$ нм, возбуждаемой со стороны пленки, существенно возрастала (в 8–12 раз) (рисунок, кривая 2) по сравнению с полосой с $\lambda_{\text{max}} = 570$ нм. В то же время преимущественного роста полос ФЛ со стороны подложки не обнаружено.

Анализ полученных данных приводит к выводу, что источником излучения структуры является SiC-подложка, в то время как эпитаксиальная пленка не вносит вклада в ФЛ. Об этом свидетельствуют следующие факты: во-первых, идентичные спектры ФЛ были получены как из области пленки, так и у края образца, где пленки нет; во-вторых, возбуждающий свет ($\lambda = 337$ нм) с энергией квантов ($h\nu = 3.68$ эВ), превышающей ширину запрещенной зоны SiC ($E_g = 3.09$ эВ [4]), сильно поглощается и эффективно возбуждает ФЛ в приповерхностной области SiC. В то же время для пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ с $x \geq 0.7$ этот свет на-

ходится в области прозрачности ($h\nu < E_g$) и поэтому, проходя сквозь пленку, эффективно возбуждает приповерхностный слой SiC-подложки на границе с пленкой. В пользу вывода об источнике ФЛ свидетельствует и тот факт, что спектр ФЛ существенно не меняется после сошлифовывания пленки.

Известно, что полоса ФЛ с $\lambda_{\max} = 470$ нм в SiC связана с акцепторными замещениями Al_{Si} [5]. В рамках этой модели излучение обусловлено рекомбинацией свободных электронов на уровне Al_{Si} в SiC-подложке. Карбид кремния — непрямозонный полупроводник и излучательные переходы в нем проявляются, как правило, с поглощением или испусканием фононов. Наблюдаемая тонкая структура полосы с $\lambda_{\max} = 470$ нм, вероятно, связана с фоннными повторениями бесфононной полосы свечения. В пользу этого утверждения свидетельствует тот факт, что энергетические расстояния между некоторыми пиками структуры (448, 465 и 484 нм), обозначенными стрелками на рисунке составляют 0.104 эВ и соответствуют энергии продольного оптического фонона в SiC [4]. Положение остальных пиков структуры может быть связано с аналогичными эквидистантными сериями полос ФЛ, связанных с теми же дефектами Al_{Si} , но находящихся в двух других неэквивалентных положениях в кристаллической решетке SiC и отличающихся энергетической глубиной уровней [4,5].

Полученные данные можно было бы объяснить и моделью донорно-акцепторных пар N- Al_{Si} [4,5], которым также свойственны структурные полосы ФЛ, обусловленные парами с различными межатомными расстояниями. Однако наличие трех неэквивалентных положений Al_{Si} и двух для атома N означает, что в излучении должны участвовать шесть видов пар, различающихся энергетическими положениями уровней и распределением по дискретным межатомным расстояниям. Наложение серий таких полос в интегральном спектре ФЛ приведет, скорее всего, к широкой бесструктурной полосе, в отличие от наблюдаемой (см. рисунок). Таким образом, вывод о связи полосы ФЛ с $\lambda_{\max} = 470$ нм с одиночными атомами Al_{Si} представляется довольно убедительным.

Поскольку после лазерного отжига существенно возрастает полоса ФЛ (см. рисунок, кривая 2), связанная с Al_{Si} , можно полагать, что отжиг приводит к увеличению концентрации Al_{Si} в приповерхностной области SiC в результате их миграции из пленки $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$.

Действительно, плотность мощности ($5 \cdot 10^{11}$ Вт/м²) лазерного излучения, проходящего через пленку и поглощаемого подложкой, была меньше мощности, вызывающей локальное плавление ($2 \cdot 10^{13}$ Вт/м²), но достаточна для значительного локального разогрева поверхности SiC и приграничной области пленки, при котором процессы отрыва атомов Al и их миграция в подложку достаточно эффективны [4]. Результатом такого процесса может быть, с одной стороны, уменьшение концентрации атомов Al и N в приграничной области пленки $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ и, как следствие, уменьшение монотонного изменения концентрации AlN по глубине пленки [1], а с другой — уменьшение несоответствия параметров кристаллических решеток пленки и подложки [6].

Авторы выражают благодарность Ю.М. Таирову за обсуждение результатов данной работы.

Список литературы

- [1] Г.К. Сафаралиев. *Закономерности формирования и физические свойства полупроводниковых твердых растворов на основе карбида кремния* (Баку, 1988).
- [2] А.П. Здебский, В.Л. Корчная, Т.В. Торчинская, М.К. Шейнкман. Письма в ЖТФ, **12**, 76 (1986).
- [3] Г.К. Сафаралиев, А.Х. Абдуев, Б.М. Атаев, С.А. Ашурбеков, Ш.А. Нурмагомедов, М.К. Курбнов. Письма в ЖТФ, **14**, 1095 (1988).
- [4] *Справочник по электротехническим материалам* (Л., Энергоатомиздат, 1988) т. 3, с. 728.
- [5] Ю.А. Водаков, Г.А. Ломакина, Е.Н. Мохов. В сб.: *Широкозонные полупроводники* (М., 1988) с. 23.
- [6] Г.К. Сафаралиев, Ю.М. Таиров и др. Неорг. матер., **28**, 2011 (1992).

Редактор В.В. Чалдышев
