

©1995 г.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЛОЕВ GaAs, ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ Ga-Vi РАСТВОРОВ-РАСПЛАВОВ

А.Е.Кунницын, С.В.Новиков, В.В.Чалдышев, М.Панек,
Р.Пашкевич*, Б.Пашкевич*, М.Тлакзала**

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия

*Institute of Electron Technology, Technical University of Wroclaw,
Wroclaw, Poland

(Получена 24 мая 1995 г. Принята к печати 31 мая 1995 г.)

Выращены слои GaAs методом жидкофазной эпитаксии в открытой системе из Ga-Vi растворов-расплавов. Проведены исследования слоев методом низкотемпературной фотолюминесценции (при 4.2 К). Проанализированы изменения спектров фотолюминесценции в зависимости от содержания висмута в растворе-расплаве.

Жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ) арсенида галлия из смешанных Ga-Vi растворов-расплавов представляет большой интерес как с научной, так и с практической точек зрения в силу целого ряда физических явлений, происходящих при изменении состава растворителя [1-4]. Прежде всего следует отметить эффект «очистки» эпитаксиальных слоев при изменении содержания Vi от 90 до 100 ат% [1], позволяющий на несколько порядков снизить концентрацию фоновых примесей в выращиваемых слоях GaAs. Природа этого явления была подробно исследована в работах [2,3].

Другой интересной особенностью роста из Ga-Vi растворов-расплавов является нелинейная зависимость скорости роста слоев от состава растворителя [4]. В области концентраций Vi в жидкой фазе порядка 10-15 ат% наблюдается существенное увеличение скорости роста. При некоторых условиях реализации процесса ЖФЭ скорость роста из этих растворов-расплавов в 2-3 раза превышает скорость роста из традиционного растворителя Ga [4]. При больших концентрациях Vi в жидкой фазе скорость роста GaAs уменьшается, достигая минимума в области $x_{Vi} \sim 80-90$ ат% [2]. В этом случае она может быть в несколько раз меньше, чем в традиционных условиях [2]. Основной причиной рассматриваемых эффектов является немонотонная зависимость

растворимости As от состава растворителя Ga-Bi [5]. Определенную роль в этих эффектах, возможно играет изменение коэффициента диффузии при переходе от растворителя Ga к растворителям Ga-Bi и Bi, что, по-видимому, особо существенно в области концентраций Bi более 80 ат%.

В данной работе проведено исследование слоев GaAs, выращенных из растворителей Ga-Bi с содержанием Bi от 0 до 80 ат%

Слой GaAs выращивались в открытой системе в потоке водорода 2 л/мин в графитовой кассете. Объем раствора-расплава (высота 2 мм) поддерживался постоянным во всех экспериментах при различных составах жидкой фазы. Рост проводился на полуизолирующих легированных подложках GaAs с ориентацией (100). Раствор-расплав гомогенизировался при температуре 1073 К в течение 2 ч., после чего рост слоя GaAs проводился при охлаждении системы со скоростью 0.25 К/мин. Начальная температура роста — 1073 К.

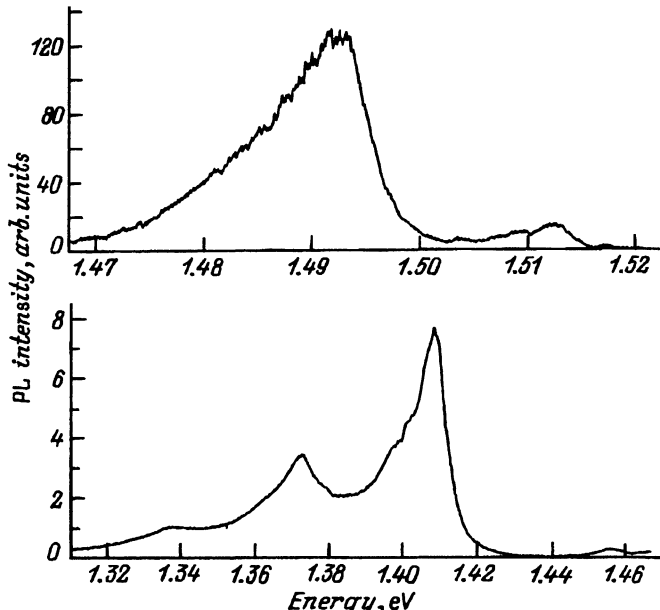
Исследования фотолюминесценции (ФЛ) проводились при температуре 4.2 К в диапазоне длин волн 0.8–1.2 мкм. Источником возбуждения служил Ag⁺-лазер мощностью 0.5 Вт (длина волны 0.488 мкм). Излучение регистрировалось с помощью охлаждаемого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ-62). Спектры регистрировались с разрешением не хуже 0.5 мэВ.

Толщина слоев GaAs, измеренная по изменению веса образца, по мере увеличения содержания висмута в растворителе менялась не монотонно. В частности, скорость роста из растворов-расплавов с $x_{Bi} = 15\%$ вдвое превышает соответствующее значение для случая роста из чисто галлиевого растворителя. При дальнейшем увеличении содержания Bi в жидкой фазе скорость роста монотонно уменьшается и при $x_{Bi} = 76.4\%$ была в 4 раза меньше, чем при выращивании растворителя из Ga. Полученные результаты качественно согласуются с данными предшествующих работ [2,4,5].

Спектры ФЛ всех исследованных образцов были качественно подобны. На рисунке представлен спектр ФЛ слоя GaAs, выращенного из растворителя с содержанием висмута 15 ат%. В спектре наблюдаются несколько линий, типичных для GaAs, выращиваемого методом жидкофазной эпитаксии. Наиболее коротковолновая полоса (1.513–1.514 эВ) обусловлена излучательной рекомбинацией на мелких донорах. При энергии 1.493 эВ расположена линия, соответствующая рекомбинации на мелком акцепторе углерода. В образцах, выращенных из растворов-расплавов с большим содержанием Bi, отчетливо проявлялась линия, связанная с мелким акцептором Si (1.485 эВ). В длинноволновой области спектров всех образцов наблюдалась полоса с бесфонным максимумом при 1.41 эВ, сопровождаемая ярко выраженной серией фонных повторений. Эта полоса является типичной для слоев GaAs, выращиваемых ЖФЭ [6], и, по-видимому, обусловлена специфическими точечными дефектами, образующимися при росте из растворов-расплавов при низких температурах.

Все слои характеризовались высокой интенсивностью ФЛ и весьма большой шириной всех линий. Это указывает на высокую концентрацию фоновых примесей в эпитаксиальных слоях GaAs, обусловленную спецификой ЖФЭ в открытых системах.

Известно, что углерод является типичной мелкой акцепторной примесью в слоях, выращиваемых ЖФЭ. В исследованных нами слоях



Спектры фотолуминесценции при 4.2 К эпитаксиального слоя выращенного из раствора-расплава с $x_{\text{Bi}} = 15$ ат%.

интенсивность ФЛ этой линии и, следовательно, концентрация углерода не зависели от состава растворителя. Поскольку С в GaAs не проявляет амфотерных свойств, можно полагать, что чистота использованных нами исходных компонентов Ga и Bi близка и идентична по крайней мере по содержанию углерода, а изменения соотношения As и Ga в жидкой фазе не влияют на вхождение С в растущий слой.

В случае кремния имеет место иная ситуация. Известно, что кремний проявляет в GaAs амфотерные свойства. В связи с этим изменения содержания As и Ga в растворе-расплаве должно приводить к соответствующим изменениям захвата кремния в различные подрешетки кристалла. В частности, при уменьшении растворимости As должна увеличиваться концентрация акцептора Si_{As} , что наблюдалось нами в эксперименте. Таким образом, данные по изменению скорости роста слоев GaAs в зависимости от состава растворителя находятся в качественном соответствии с результатами исследования ФЛ.

В отличие от мелких акцепторов Si и С поведение глубокого центра, ответственного за полосу 1.41 эВ, является сложным. Мы не обнаружили однозначной корреляции между интенсивностью этой линии и содержанием Bi в жидкой фазе или растворимостью As. Этот факт свидетельствует о сложной структуре данного центра, являющегося, по-видимому, комплексом собственных дефектов решетки и примесей.

Таким образом, можно заключить, что захват примесей и формирование дефектов структуры в GaAs, выращиваемом жидкофазной эпитаксией из растворителей Ga-Bi, зависит как от кинетики роста, так и от их химической и физической природы. Установлено, что изменение состава растворителя приводит к немонотонному изменению скорости роста слоев, существенному изменению концентрации акцептора Si и отсутствию подобной зависимости для акцептора С.

- [1] Н.В. Ганина, В.В. Уфимцев, В.И. Фистуль. Письма ЖТФ, **8**, 620 (1982).
- [2] Ю.Ф. Бирюлин, В.В. Воробьева, В.Г. Голубев, Л.В. Голубев, В.И. Иванов-Омский, С.В. Новиков, А.В. Осутин, И.Г. Савельев, В.В. Чалдышев, Ю.В. Шмарцев, О.В. Ярошевич. ФТП, **21**, 2201 (1987).
- [3] N.A. Yakusheva, K.S. Zhuravlev, S.I. Chikichev, O.A. Shegaj. Cryst. Res. Technol., **24**, 235 (1989).
- [4] M. Panek, M. Ratuszek, M. Tlaczala. Mater. Sci., **21**, 3977 (1986).
- [5] Н.А. Якушева, С.И. Чикичев. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **23**, 1607 (1987).
- [6] Ю.Ф. Бирюлин, Н.В. Ганина, М.Г. Мильвидский, В.В. Чалдышев, Ю.В. Шмарцев. ФТП, **17**, 108 (1983).

Редактор В.В. Чалдышев

Photoluminescence characterization of GaAs layers, grown from Ga-Bi solutions.

V.V. Chaldyshev, A.E. Kunitsyn, S.V. Novikov, M. Panek, R. Paszkiewicz*, B. Paszkiewicz*, M. Tlaczala*.*

Ioffe Physical-Technical Institute, 194021 St.Petersburg, Russia

*Institute of Electron Technology, Technical University of Wroclaw, Wroclaw, Poland

GaAs layers have been grown by the liquid-phase epitaxy in an open system from Ga-Bi solutions. The layers were characterized using low-temperature photoluminescence (PL) technique at 4.2 K. Changes of the PL spectra with Bi content in the liquid solution have been analyzed.
