ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

OPTICAL, OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

УДК 81.411.1Я 73

РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Я. И. Лепих[1], В. А. Мокрицкий[2], С. В. Ленков[3], О. В. Банзак[4], Ю. А. Гунченко[1]

[1] Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова
[2] Одесский национальный политехнический университет
[3] Военный институт Киевского национального университета им. Тараса Шевченко
[4] Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
E-mail: mokrickiy@mail.ru

РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Я. И. Лепих, В. А. Мокрицкий, С. В. Ленков, О. В. Банзак, Ю. А. Гунченко

Аннотация. В работе обнаружены изменения электрических параметров слоев, полученных с использованием облучения гамма-квантами в процессе эпитаксии. Дано объяснение полученных результатов образованием комплексов первичных радиационных дефектов с атомами примеси. Исследованы спектры фотолюминесценции слоев арсенида галлия, полученных с начальной температурой эпитаксии 1023 К.

Ключевые слова: арсенид галлия, эпитаксия, гамма-кванты, электроны, радиационные дефекты, спектры фотолюминесценции

РАДІАЦІЙНА МОДИФІКАЦІЯ СПЕКТРІВ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ АРСЕНІДУ ГАЛЛІЯ

Я. І. Лепіх, В. А. Мокрицький, С. В. Лєнков, О. В. Банзак, Ю. О. Гунченко

Анотація. У роботі виявлені зміни електричних параметрів шарів, отриманих з використанням опромінення гамма-квантами в процесі епітаксії. Дано пояснення отриманих результатів утворенням комплексів первинних радіаційних дефектів з атомами домішки. Досліджені спектри фотолюмінесценції шарів арсеніду галію, отриманих з початковою температурою епітаксії 1023 К.

Ключові слова: арсенід галію, епітаксія, гамма-кванти, електрони, радіаційні дефекти, спектри фотолюмінесценції

RADIATING UPDATING OF SPECTRA PHOTOLUMINESCENCE ARSENIDE OF GALLIUM

Ya. I. Lepikh, V. A. Mokritsky, S. V. Lenkov, O. V. Banzak, Yu. A. Gunchenko

Abstract. In work changes of electric parameters of layers received with use scale-quantums during epetaseya are found out. The explanation of received results by formation of complexes primary radi-

 © Я. И. Лепих, В. А. Мокрицкий, С. В. Ленков, О. В. Банзак, Ю. А. Гунченко, 2010

ating defects with atoms of impurity is given this assumption spectra of photoluminescence of layers of arsenide of the gallium, received with reference temperature epetaseya 1023 K.

Keywords: arsenide of gallium, scale-quantums, electrons, radiating defects, spectra of photoluminescence

Вступление

В арсениде галлия облучение быстрыми электронами и нейтронами создает большое количество уровней в запрещенной зоне [1]. Нестационарная емкостная спектроскопия позволила определить спектр уровней дефектов в $n-GaAs$, облученном при комнатной температуре электронами с энергией 1 МэВ [2]. Обнаружены пять ловушек для электронов и одна для дырок. Их концентрация увеличивается линейно с ростом дозы облучения в интервале от $5 \cdot 10^{17}$ до $5 \cdot 10^{19}$ м$^{-2}$.

Было установлено, что скорость удаления носителей заряда в $n-GaAs$ при облучении электронами с энергиями 2,5 и 28 МэВ при комнатной температуре не зависит от начальной концентрации носителей заряда и химической природы доноров [3]. При облучении $n-GaAs$ электронами с энергией 1 МэВ наблюдаются вариации скорости удаления носителей заряда в диапазоне от 50 до 500 м$^{-1}$ [1]. Этот параметр имеет слабую температурную зависимость в интервале от 77 до 300 K [2]. Анализ экспериментальных данных показывает также, что в условиях облучения электронами при 300 K в арсениде галлия образуются собственные дефекты структуры.

Исследования

В работе обнаружены изменения электрических параметров слоев, полученных с использованием гамма-квантами в процессе эпитаксии. Их можно объяснить образованием комплексов первичных радиационных дефектов с атомами примеси. Для изучения этого предположения были исследованы спектры фотолюминесценции слоев арсенида галлия, полученных с начальной температурой эпитаксии 1023 K [4].

В спектрах фотолюминесценции слоев арсенида галлия, полученных без облучения, наблюдается две полосы с энергиями 1,52 и 1,20 эВ (рис. 1). Первая может быть обусловлена рекомбинацией экситонов или электронов, находящихся в связанном состоянии хвоста зоны проводимости, со свободными дырками. Известно, что широкая полоса свечения с максимумом 1,20 эВ наблюдается в арсениде галлия, легированном элементами 4 группы, независимо от метода его получения, в том числе, и при жидкофазной эпитаксии из раствора в расплаве галлия [5]. Центрами люминесценции при этом могут быть комплексы типа $(V_{Ga}+3Se)$ или $(V_{Ga}+3Te)$, которые возникают за счет образования в арсениде галлия включений твердых растворов Ga_2Se_3 либо Ga_2Te_3. В нашем случае атомы Te служат легирующей примесью в источнике арсенида галлия.

Облучение гамма-квантами в процессе эпитаксии приводит к изменению спектров фотолюминесценции (рис. 2). Интенсивность краевой полосы и полосы с энергией 1,20 эВ увеличивается.

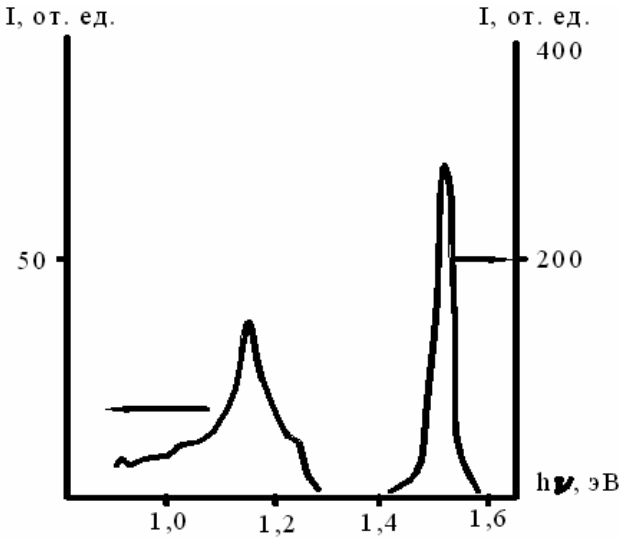

Рис. 1. Спектр фотолюминесценции эпитаксиального слоя арсенида галлия, полученного из его раствора в расплаве галлия без облучения

Уменьшение соотношения интенсивности этих полос позволяет предполагать уменьшение числа уровней в запрещенной зоне арсенида галлия. Таким образом, применение облучения создает более равновесные условия роста и тем самым уменьшает число комплексов вакансия — атом примеси, существующих в слоях в виде включений твердых растворов.

Влияние облучения электронами с энергией 2,3 МэВ на свойства арсенида галлия изучалось на примере слоев, выращенных из его раствора в расплавах галлия и олова как в поле гамма-излучения, так и без него при прочих равных условиях. Измерение электрических параметров слоев проводилось по методу Ван-дер-Пау.

Под влиянием облучения электронами в слоях арсенида галлия изменяется спектр фотолюминесценции (рис. 3). С ростом дозы облучения уменьшается интенсивность полосы с энергией 1,52 эВ (рис. 4). Это говорит о снижении эффективности излучающих центров. В исходных спектрах фотолюминесценции слоев наблюдалась полоса с энергией 1,20 эВ, обусловленная рекомбинацией на центрах $V_{Ga}Te_{As}$. Облучение электронами приводит к появлению в спектре фотолюминесценции новой полосы с энергией 1,34 эВ (рис. 3 б).

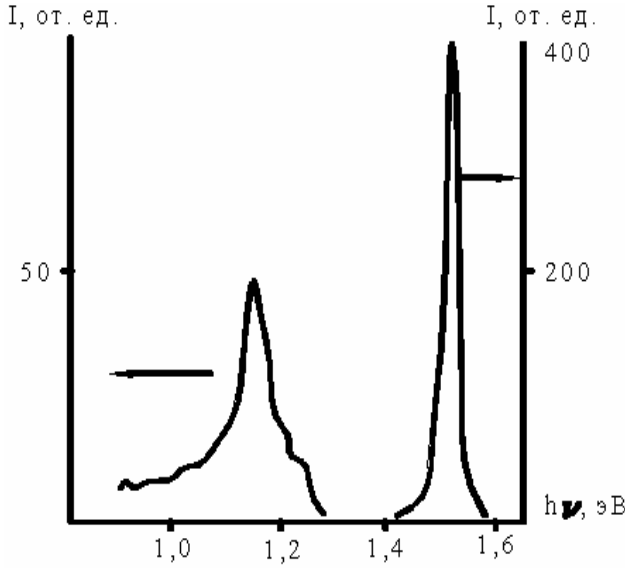

Рис. 2. Спектр фотолюминесценции эпитаксиального слоя арсенида галлия, полученного из его раствора в расплаве галлия в поле гамма-излучения интенсивностью 3500 Р/с

По аналогии с известными спектрами фотолюминесценции объемных монокристаллов арсенида галлия, облученных электронами, полосу с энергией 1,34 эВ можно связать с центром рекомбинации типа $Cu_{Ga}D_{As}$, а 1,09 эВ — с центром $Cu_{Ga}V_{As}$. Появление полосы с энергией 1,34 эВ вместо 1,20 эВ можно объяснить переходом атомов меди под действием облучения из межузлий в узельное положение с образованием комплекса $Cu_{Ga}D_{As}$ [9]. Возникновение центров типа $Cu_{Ga}V_{As}$ объясняется образованием при дозе $3{,}5\cdot10^{21}$ м$^{-2}$ такого количества вакансий в подрешетке мышьяка, что образование их комплексов с атомами меди в подрешетке галлия начинает конкурировать с центрами $Cu_{Ga}D_{As}$.

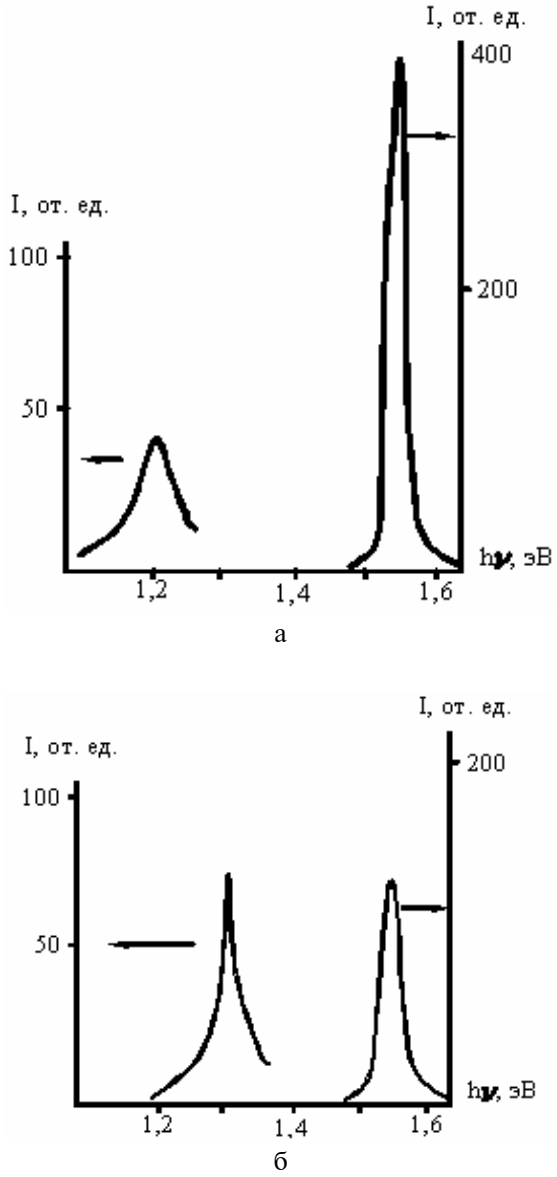

Рис. 3. Спектры фотолюминесценции слоев арсенида галлия, полученных жидкофазной эпитаксией в поле гамма-излучения: а — до облучения электронами; б — облучение электронами дозой $5\cdot10^{19}$ м$^{-2}$

Выводы

Исследование зависимости стойкости слоев арсенида галлия к облучению электронами с энергией 2,3 МэВ от условий их получения позволяет сделать следующие выводы.

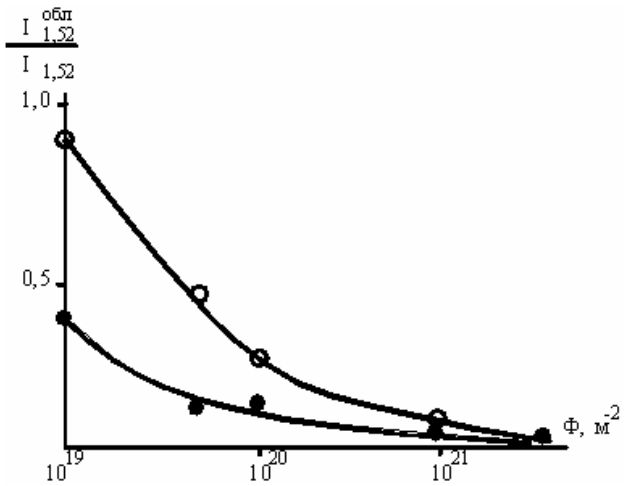

Рис. 4. Дозовая зависимость относительного изменения интенсивности полосы фотолюминесценции с энергией $I = 1,52$ эВ при облучении слоев арсенида галлия электронами с энергией 2,3 МэВ. Условия эпитаксии: • – в поле гамма-излучения; ◦ — без облучения.

1. Эпитаксия под действием гамма-излучения позволяет получать слои, изменение свойств которых под облучением электронами описывается достаточно простыми закономерностями.

2. В слоях, полученных без гамма-излучения, наблюдается более сложная зависимость изменения электрических и люминесцентных параметров от дозы облучения.

3. Это можно объяснить сложным составом примесей, по-разному взаимодействующих с радиационными дефектами.

4. Прогнозирование свойств таких слоев и применение их в изделиях, подвергающихся действию приникающей радиации, существенно затрудняется. Данные слои являются менее стойкими к облучению электронами, чем слои, полученные в поле гамма-излучения.

Литература

1. С.В. Ленков, В.А. Мокрицкий, А.С. Гаркавенко, В.В. Зубарев, В.А. Завадский. Радиационное управление свойствами материалов и изделий опто — и микро-электроники: Монография. — Одесса: Астропринт, 2002 — 297 с.
2. Lang P.V., Kimerling L.C. A new technique for defect spectroscopy in semiconductors: application to Mev electron-irradiated n-GaAs // In: Lattice Defecta in Semiconductors-1974, Conf. ser. N23. — London-Bristol. — 1975. — P. 581-588.
3. Мокрицкий В.А., Курицын Е.М. Жидкофазная эпитаксия слоев арсенида галлия в радиационном поле // Электронная техника. Сер. Материалы. — Вып. 4 (153). — 1981. — С. 22-23.
4. Мокрицкий В.А., Курицын Е.М. Особенности роста эпитаксиальных слоев арсенида галлия в поле гамма-излучения // YI конференция по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок. — Новосибирск: СО АН СССР. — 1982. — С. 117-118.
5. Стельмах В.Ф., Ткачев В.Д. Исследование радиационных нарушений в арсениде галлия методом фотопроводимости // Радиационная физика неметаллических кристаллов. — К.: Наукова думка, 1967. — С. 212-213.