

УДК 535.361.2

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ GaAs ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ V^+ МЕТОДОМ ФОТООТРАЖЕНИЯ

Л. П. Авакянц, В. С. Горелик, А. Б. Коршунов,
Э. М. Темпер¹, А. В. Червяков

Исследованы спектры фотоотражения в области края фундаментального поглощения E_g эпитаксиальных пленок n -GaAs, имплантированных ионами V^+ с энергией 100 кэВ в диапазоне доз $3 \cdot 10^{11} - 6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. В интервале доз $(1.2 - 2.4) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ обнаружено изменение величины E_g , связанное с n - p конверсией проводимости пленок в процессе имплантации. Уменьшение E_g для образцов p -типа объясняется образованием примесной акцепторной зоны, расположенной над потолком валентной зоны.

Методы модуляционной спектроскопии широко используются для исследования полупроводниковых структур и поверхности полупроводников [1 – 3]. Наибольшее распространение получили методы фото- и электроотражения (ЭО), основанные на регистрации изменения коэффициента отражения R исследуемого образца под воздействием электрического поля. В случае фотоотражения (ФО) модуляция R осуществляется изменением электрического поля в области поверхностного заряда при генерации электронно-дырочных пар лазерным излучением. Преимуществами этого неразрушающего метода являются бесконтактность и высокая пространственная локальность. В данной работе этот метод используется для изучения процесса компенсации проводимости низкоомных эпитаксиальных пленок арсенида галлия при имплантации ионами V^+ .

¹Московский государственный университет.

Исследовались эпитаксиальные n^+n структуры толщиной 0.5 мкм , на полуизолирующем $GaAs$ с ориентацией (100) . Максимальная концентрация свободных носителей в проводящем слое составляла $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Имплантация проводилась на ускорителе с энергией ионов B^+ 100 кэВ в диапазоне доз $3 \cdot 10^{11} - 6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Плотность ионного тока составляла 0.01 мкА/см^2 .

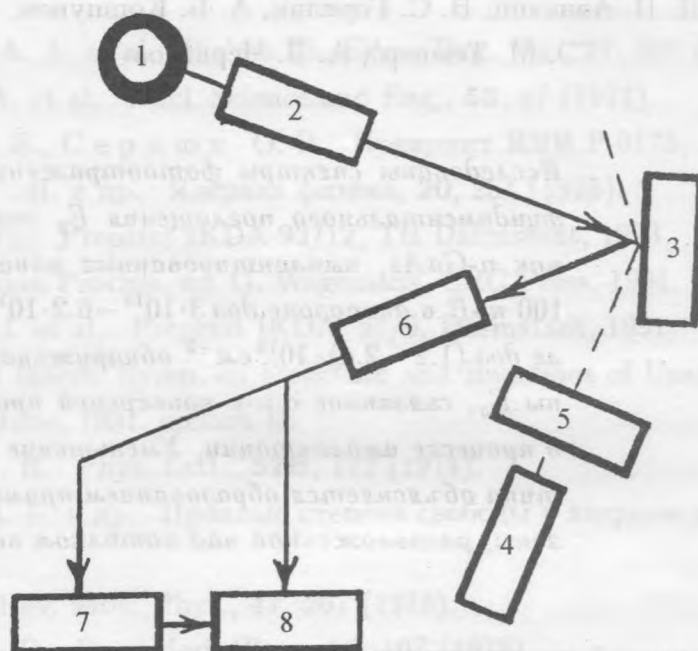


Рис. 1. Блок-схема установки для регистрации спектров фотоотражения.

Для регистрации спектров ФО использовалась автоматизированная установка, блок-схема которой представлена на рисунке 1. Свет от полосковой лампы 1, прошедший через монохроматор МДР-23 2, отражался образцом 3 и поступал на фотоприемник 6 – фотодиод ФД-24. В качестве источника модулирующего излучения применялся $He-Ne$ лазер 4 с механическим прерывателем 5, работающим с частотой 3 Гц . Плотность мощности лазерного излучения на образце составляла менее 1.5 мВт/см^2 . Это обеспечивало линейную зависимость амплитуды регистрируемого сигнала от величины модулирующего излучения и соответствовало условию низкополевого линеаризованного ЭО. Сигнал с фотодиода разделялся на постоянную и переменную составляющие, которые

усиливались и поступали через интерфейсный микропроцессорный блок на персональный компьютер 8, где программно осуществлялось формирование сигнала dR/R . Для регистрации сигнала на частоте модуляции использовался селективный усилитель 7 с синхронным детектором УНИПАН-232В.

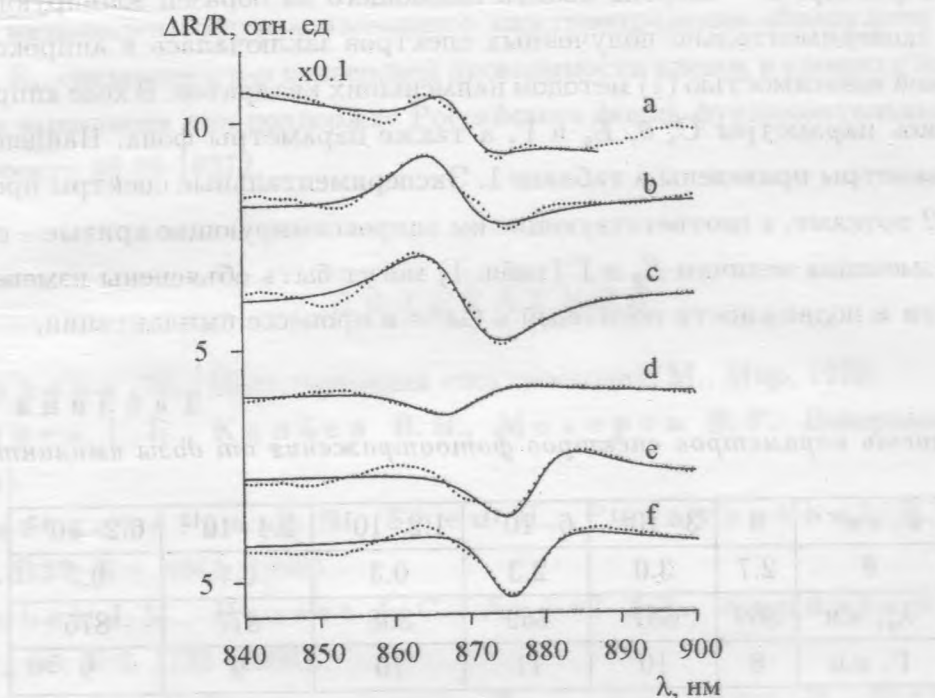


Рис. 2. Спектры фотоотражения эпитаксиальных пленок $n\text{-GaAs}$, имплантированных ионами B^+ с дозой $a - 0$, $b - 3 \cdot 10^{11}$, $c - 6 \cdot 10^{11}$, $d - 1.2 \cdot 10^{12}$, $e - 2.4 \cdot 10^{12}$, $f - 6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Точки - эксперимент, сплошные линии - теория.

Регистрация спектров фотоотражения производилась в области края фундаментального поглощения E_g . При дозах имплантации до $6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ в спектрах ФО (рис. 2, кривые a-c) доминирует пик с положительными значениями dR/R в области длин волн 850 - 870 нм. С увеличением дозы имплантации в спектрах наблюдается изменение амплитуды и полярности пика, а также его смещение в длинноволновую область (рис. 2, кривые d - f).

Для количественного анализа полученных результатов воспользуемся теорией электроотражения [4], считая, что спектры фото- и электроотражения описываются одинаковыми зависимостями [3]. Тогда относительное изменение коэффициента отражения

может быть представлено в следующем виде [4]:

$$\frac{dR}{R} = \operatorname{Re}[C e^{i\theta} (E_g - E + i\Gamma)^{-5/2}], \quad (1)$$

где Γ – феноменологический параметр уширения, C – амплитуда наблюдаемого спектра, θ – фазовый фактор, E – энергия кванта падающего на образец зондирующего света. Обработка экспериментально полученных спектров заключалась в аппроксимации их теоретической зависимостью (1) методом наименьших квадратов. В ходе аппроксимации варьировались параметры C , θ , E_g и Γ , а также параметры фона. Найденные таким образом параметры приведены в таблице 1. Экспериментальные спектры представлены на рисунке 2 точками, а соответствующие им аппроксимирующие кривые – сплошными линиями. Изменения величин E_g и Γ (табл. 1) могут быть объяснены изменением типа проводимости и подвижности носителей в GaAs в процессе имплантации.

Т а б л и ц а 1.

Зависимость параметров спектров фотоотражения от дозы имплантации Φ

Φ , см^{-2}	0	$3 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{11}$	$1.2 \cdot 10^{12}$	$2.4 \cdot 10^{12}$	$6.2 \cdot 10^{12}$
θ	2.7	3.0	2.3	0.3	6.1	0.7
λ_g , нм	869	867	869	868	877	875
Γ , нм	8	10	11	10	9	9

Электрофизические измерения показали, что при имплантации происходит компенсация проводимости GaAs, что связано, по-видимому, с образованием радиационных дефектов, имеющих глубокие уровни в запрещенной зоне GaAs [5] и являющихся ловушками для электронов. Согласно знаку коэффициента Холла, в интервале доз $(1.2 - 2.4) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ имеет место *n-p* конверсия. При этих же дозах наблюдается изменение длины волны λ_g (табл. 1), соответствующей краю фундаментального поглощения E_g . Исследования образцов методом комбинационного рассеяния света показали, что вплоть до дозы имплантации $\sim 10^{13} \text{ см}^{-2}$ аморфизации образца не происходит. Поэтому можно считать, что регистрируемое изменение E_g обусловлено не аморфизацией образцов при имплантации, а изменением типа проводимости. Это изменение E_g нельзя объяснить и эффектом Бурштейна – Мосса, т.к. величина E_g остается постоянной в пределах точности измерений для всех образцов с *n*-типом проводимости при дозах имплантации до $2.4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Значение E_g при этом совпадает с шириной запрещенной зоны для чистого GaAs. Уменьшение E_g для образцов *p*-типа объясняется, по-видимому,

образованием примесной акцепторной зоны, расположенной над потолком валентной зоны [6].

Таким образом, исследованы спектры фотоотражения в области края фундаментального поглощения E_g эпитаксиальных пленок $n\text{-GaAs}$, имплантированных ионами B^+ с энергией 100 кэВ в диапазоне доз $3 \cdot 10^{11} - 6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Из анализа спектров на основе теории низкополевого линеаризованного электроотражения обнаружено уменьшение величины E_g , связанное с $n\text{-}p$ конверсией проводимости пленок в процессе имплантации.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 98-09-18372.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кардона М. Модуляционная спектроскопия, М., Мир, 1972.
- [2] Галиев Г. Б., Капаев В. В., Мокеров В. Г. Поверхность, N 7, 143 (1986).
- [3] Bhattacharya R. N., Shen H., Parayanthal P., et al. Phys. Rev., **B37**, N 8, 4044 (1988).
- [4] Wrobel J. M., Basset L. C., Aubel J. L., Sundaram S. J. Appl. Phys., **60**, N 3, 1135 (1986).
- [5] Favennec P. M., Gauneau M., L'Haridon H., Deveaud B. Appl. Phys. Lett., **38**, N 4, 271 (1981).
- [6] Pankove J. I. Phys. Rev., **140**, N 6A, A2059 (1965).

Поступила в редакцию 8 октября 1998 г.