

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА СОБСТВЕННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Э. Н. Метоледи, Я. Д. Стародубов, Г. П. Ковтун

Исследовано влияние термоциклирования на структуру края собственного поглощения в электронно-проводящем GaAs. Обнаружен сдвиг края фундаментальной полосы поглощения в сторону меньших энергий. Показано, что величина этого сдвига зависит от режима термоциклирования. Определены значения энергии наблюдаемого порога поглощения в исходных и термоциклированных образцах GaAs.

Изучению физических свойств полупроводниковых материалов, в том числе GaAs, оптическими методами в настоящее время уделено большое внимание. Это обусловлено, в частности, тем, что исследования оптических свойств в широком интервале длин волн позволяют получить информацию об основных электрофизических параметрах полупроводников [1, 2].

В связи с тем что GaAs занимает особое место в ряду полупроводниковых кристаллов, обусловленное свойствами его запрещенной зоны, представляет отдельный интерес исследовать оптические свойства этого материала в области края фундаментальной полосы поглощения, что позволяет получить сведения о характере и величине запрещенной зоны, концентрации носителей тока и величине проводимости [1-3].

Различные нарушения кристаллического строения изменяют энергетический спектр и состояние электронной подсистемы, что проявляется в оптических спектрах кристаллических материалов, в том числе и полупроводников [4]. Такие изменения могут быть вызваны легированием и компенсацией примесей [5, 6], а также различными видами механико-термического воздействия [4, 7]. Влияние легирования на край собственного поглощения GaAs детально рассмотрено в ряде работ с точки зрения изменения состояния запрещенной зоны за счет образования в ней примесного «хвоста» функции плотностей состояний [5, 6]. Экспериментальные результаты о формирующихся изменениях края фундаментальной полосы поглощения и состояния запрещенной зоны полупроводниковых кристаллов (в том числе GaAs) при различных режимах механико-термического воздействия в литературе представлены весьма слабо [8].

В настоящей работе изучалось влияние термоциклирования на структуру края собственного поглощения в электронно-проводящем GaAs.

Исследовали образцы электронно-проводящего GaAs марки АГЧПХ с удельным электросопротивлением  $10^6$  Ом·см и исходной плотностью дислокаций  $3 \cdot 10^4$  см<sup>-2</sup>. Толщина образцов при оптических измерениях составляла 0,46 мм.

Измерения спектров пропускания осуществляли на спектрометре ИКС-21 с использованием призмы Ф-1 в интервале длин волн  $\lambda = 0,546 \div 2,5$  мкм при комнатной температуре в исходном состоянии и после термоциклирования. Направление пучка ИК-излучения при всех измерениях спектров было перпендикулярно плоскости (100) исследуемых образцов GaAs. Разрешение по энергиям составляло менее  $10^{-3}$  эВ.

Спектральная зависимость коэффициента поглощения арсенида галлия при термоциклировании.

1 — исходное состояние; 2, 3 — после пяти циклов термоциклирования по режиму I и II соответственно.

Термоциклирование образцов осуществляли в специальной печи в ампулах из плавленного кварца, в вакууме  $4 \cdot 10^{-3}$  Па. Цикл нагревание—охлаждение осуществляли по двум режимам: в температурном интервале  $273 \text{ K} \rightleftharpoons 473 \text{ K}$  (I режим) и  $77 \text{ K} \rightleftharpoons 473 \text{ K}$  (II режим). Количество циклов менялось от 1 до 6. Скорость охлаждения и нагрева составляла 10 град/мин.

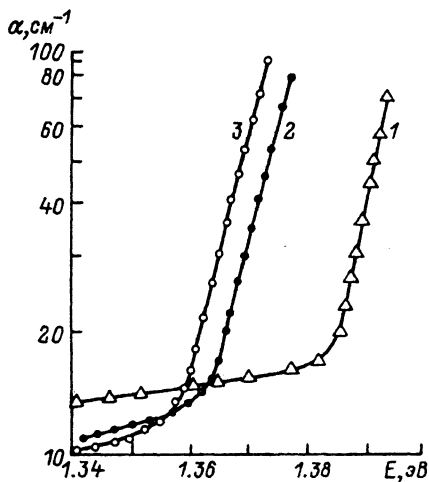
Оптическим измерениям подвергали образцы с плоской зеркальной поверхностью. Качество состояния поверхности контролировали на микроинтерферометре МИИ-4 как в исходных образцах, так и в термоциклированных.

По данным измерения спектров пропускания образцов проводили расчет коэффициента поглощения  $\alpha$  и определяли величину энергии наблюдаемого порога поглощения  $E_n$  [эВ] образцов в исходном состоянии и после термоциклирования.

На рисунке приведены спектры поглощения образцов GaAs в исходном состоянии (кривая 1) и после пяти циклов термоциклирования в режиме I (кривая 2) и в режиме II (кривая 3).

Как видно из этого рисунка, в исходных образцах GaAs вблизи порога поглощения обнаружен так называемый «хвост» поглощения. Коэффициент поглощения  $\alpha$  в области «хвоста» имеет величину, равную  $10\text{--}15 \text{ см}^{-1}$ . При этом величина энергии  $E_n$  для исследуемых образцов GaAs в исходном состоянии составляет 1.38 эВ.

Термоциклирование образцов приводит к заметному изменению спектров поглощения образцов GaAs, начиная с третьего цикла. Край поглощения в термоциклированных образцах сдвигается в длинноволновую область спектра (т. е. в сторону меньших энергий). Причем этот сдвиг края поглощения обнаруживается после третьего цикла как для первого, так и для второго режима термоциклирования и увеличивается при увеличении числа циклов. При этом поглощение в области «хвоста» заметно уменьшается. Величины сдвига края собственного поглощения  $\Delta\lambda$  и значения энергии наблюдаемого порога поглощения  $E_n$  для исследуемых образцов GaAs после различных режимов термоциклирования приведены в таблице.



Количество циклов	I режим термоциклирования		II режим термоциклирования	
	$E_n$ , эВ	$\Delta\lambda$ , мкм	$E_n$ , эВ	$\Delta\lambda$ , мкм
Исходное значение	1.38	—	1.38	—
1	1.38	—	1.38	—
2	1.38	—	1.38	—
3	1.37	$7 \cdot 10^{-3}$	1.37	$7 \cdot 10^{-3}$
4	1.37	$7 \cdot 10^{-3}$	1.365	$1 \cdot 10^{-2}$
5	1.36	$1.4 \cdot 10^{-2}$	1.355	$1.7 \cdot 10^{-2}$
6	1.36	$1.4 \cdot 10^{-2}$	1.355	$1.7 \cdot 10^{-2}$

Приведенные результаты свидетельствуют об уменьшении величины  $E_n$  в термоциклированных образцах на 0.01–0.02 и 0.01–0.025 эВ при изменении числа циклов от 3 до 6 по режиму I и II соответственно.

Полученные нами результаты (рост коэффициента поглощения в области края фундаментальной полосы и уменьшение величины  $E_n$ ) свидетельствуют о повышении плотности дефектов из-за создания больших полей внутренних напряжений при термоциклировании GaAs.

Согласно существующим представлениям, дефекты кристаллической решетки приводят к изменению энергетического спектра кристаллов. При наличии дефектов возникают дополнительные энергетические уровни в запрещенной зоне кристалла [9], что позволяет электронам под действием электромагнитного излучения совершать переходы с энергией, меньшей величины энергии запрещенной зоны. Так, например, ширина дислокационной зоны в новых областях электронного спектра с разрешенными значениями энергий и плотность состояний в этом случае рассчитаны в работе [10]. Показано, что дислокационная зона равна по порядку величины  $\Lambda b\rho^{1/2}$ , где  $\Lambda$  — константа деформационного взаимодействия,  $b$  — величина вектора Бюргерса,  $\rho$  — плотность дислокаций. Максимальная плотность состояний в этом случае пропорциональна  $\rho^{3/4}$ . Из приведенных оценок видно, что чем выше плотность дислокаций, тем большие изменения наблюдаются в электронном спектре, а следовательно, в спектре поглощения, тем при меньших энергиях совершаются переходы.

Данные представления аналогичны представлениям, соответствующим примесным зонам в GaAs, которые при большой концентрации примесей сливаются с собственными зонами и образуют «хвост» плотности состояний в запрещенной зоне полупроводника [6]. Наблюдаемый порог поглощения, вероятно, соответствует поглощению в области «хвоста» плотности состояний, имеющих в запрещенной зоне. Смещение порога поглощения в термоциклированных образцах может быть обусловлено изменением структуры «хвоста» плотности состояний.

Отметим, что электрофизические свойства полупроводниковых соединений в сильной степени зависят от наличия электрически активных центров, связанных, согласно данным люминесцентного анализа, с локальными нарушениями кристаллической решетки, количество которых можно регулировать различными видами термомеханического воздействия [7].

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что при соответствующих режимах термоциклирования меняется состояние энергетического спектра и электронной подсистемы в образцах GaAs, а следовательно, изменяются и их электрофизические характеристики. Таким образом, подтверждается возможность воздействовать на электрофизические свойства полупроводниковых соединений путем изменения их дефектной структуры.

#### Список литературы

- [1] Уханов Ю. И. Оптические свойства полупроводников. М., 1977. С. 147—149, 164—174.
- [2] Уханов Ю. И. Оптика полупроводников. Конспект лекций по курсу «Физика полупроводников». Ч. I. Л., 1970. С. 57—70.
- [3] Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1978. С. 790.
- [4] Гиндин И. А., Чиркина Л. А., Метелиди Э. Н. Оптические свойства и дефектная структура кристаллических тел. Обзор. М., ЦНИИатоминформ, 1989. 28 с.
- [5] Гуров Е. И., Кравченко А. Ф., Махаров Е. А., Мардѣжев А. С., Скок Э. М. // Сб. «Арсенид галлия». 1969. В. 2. С. 107—111.
- [6] Юнович А. Э., Елисеев П. Г. // Сб. «Арсенид галлия». Томск, 1968. С. 129—159.
- [7] Мартовицкая Н. А., Пендюр С. А., Голенский О. Н. // Труды ФИАН. 1987. Т. 177. С. 212—220.

- [8] Кравченко А. Д., Макаров Е. А., Мардѣжев А. С. // Сб. «Арсенид галлия». Томск, 1970. С. 103—111.
- [9] Лифшиц И. М., Пушкарев Х. И. // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т. 11. № 9. С. 456—460.
- [10] Канер Э. А., Фельдман Э. П. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. № 1 (7). С. 419—432.

Харьковский физико-технический институт  
АН Украины

Поступило в Редакцию  
26 февраля 1992 г.  
В окончательной редакции  
11 сентября 1992 г.

---