

Ваганов Сергей Анатольевич

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ КАК ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА ЭКСИТОННЫХ
ПОЛЯРИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ, ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ И
МНОЖЕСТВЕННЫХ КВАНТОВЫХ ЯМАХ

специальность 01.04.10 - физика полупроводников

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург

2007

Работа выполнена в Физико-Техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Р.П. Сейсян

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор А.В. Селькин

кандидат физико-математических наук,
доцент И. В. Игнатъев

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет.

Защита состоится 8 ноября 2007 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного
совета К002.205.02 при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН по адресу:
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-технического института
им. А.Ф. Иоффе РАН.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по
вышеуказанному адресу ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан 3 октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К002.205.02

кандидат
физико-математических наук
Г.С. Куликов



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

В работе выполнено комплексное сравнительное исследование температурно-зависимого интегрального поглощения в сверхтонких образцах высокосовершенных полупроводниковых кристаллов, твердых растворов и гетероструктур с множественными квантовыми ямами.

Актуальность темы. С момента предсказания экситона Френкелем [1] прошло 76 лет. В течение 50 лет созданная Пекаром “теория электромагнитных волн в кристалле, в котором возникают экситоны” [2], привлекает внимание исследователей.

Слово экситоника давно включено в толковые словари, но только в последнее десятилетие технологические возможности науки позволили реализовать первые прототипы экситонных приборов [3]. Для управления экситонными приборами требуется значение энергии, сравнимое со значением экситонной энергии связи, что существенно меньше разницы энергий соответствующих уровней электронно-дырочных переходов.

Для управления экситон-поляритонными приборами требуется еще меньшее значение энергии, сравнимое со значением энергии продольно-поперечного расщепления. Экситонный поляритон является собственным элементарным возбужденным состоянием кристалла, возникающим в результате взаимодействия распространяющейся в кристалле световой волны с экситонной поляризацией.

Свойства экситонных поляритонов являются определяющими в физике полупроводниковых микрорезонаторов. Смешанная экситон-фотонная природа поляритонов делает перспективным создание на их основе низкопороговых “поляритонных лазеров” и сверхбыстрых оптических переключателей.

Несомненно, существование в полупроводниковых кристаллах добавочных световых волн, возникающих из-за наличия неоднозначности в дисперсионных соотношениях, связанной с пространственной дисперсией, подтверждено многочисленными разнообразными экспериментальными методами [4].

Данная работа выделяет интегральное поглощение как наиболее информативную функцию отклика экситонных поляритонов, и как метод экспериментального подтверждения и исследования экситон-поляритонной природы светопереноса вблизи края фундаментального поглощения и определения материальных параметров полупроводниковых кристаллов.

Интегральная спектроскопия традиционно используется для определения силы осциллятора в системах с диссипацией, в которых энергия, поглощаемая системой в максимуме, обратно пропорциональна параметру затухания (осциллятор Лоренца).

Нарушение постоянства интегрального поглощения свидетельствует об изменении закона поглощения энергии, и связано либо с изменением дисперсионных характеристик осцилляторов, либо с появлением между ними взаимодействия. В случае экситон-поляритонного светопереноса интегральное поглощение не является постоянной величиной, что объясняется эффектом пространственной дисперсии для полупроводниковых кристаллов, и резонансным взаимодействием экситонов, локализованных в квантовых ямах для структур пониженной размерности.

Экситонные поляритоны распространяются без истинного поглощения света, поглощение энергии происходит только при нерадиационном распаде экситонов в результате взаимодействия с диссипативной подсистемой. Интегральное поглощение позволяет обнаружить свидетельства поляритонной природы светопереноса без детального рассмотрения кинетических процессов диссипативного рассеяния экситонов.

Объектом исследования в настоящей работе были сверхтонкие образы высокосовершенных полупроводниковых кристаллов, твердых растворов и образцы с множественными квантовыми ямами.

Целью работы было исследование методами оптической спектроскопии интегрального поглощения как функции отклика экситонных поляритонов в области экситонных резонансов края фундаментального поглощения и теоретический анализ результатов исследований.

В настоящей работе были поставлены следующие задачи:

- исследование и анализ зависимости интегрального поглощения высокосовершенных полупроводниковых кристаллов, полупроводниковых твердых растворов и структур с множественными квантовыми ямами от параметра затухания,
- исследование и анализ температурной зависимости ширины линии поглощения соответствующей экситонным резонансам и температурной зависимости параметра нерадиационного затухания,
- определение параметров экситонных поляритонов в исследуемых образцах полупроводниковых кристаллов и твердых растворов.

Для решения поставленных задач были выбраны следующие методы:

- Использование температуры в качестве фактора, изменяющего параметр затухания экситонных поляритонов,
- Изучение температурно-зависимого поглощения стандартными методиками спектрального анализа, измерением пропускания и отражения,

- Использование для измерения пропускания сверхтонких образцов высокого кристаллофизического совершенства и применение специальной техники их свободной упаковки,
- Совместная регистрация и обработка спектров пропускания и отражения для устранения модуляции спектров осцилляциями интерференции Фабри-Перо,
- Использование методов контурного анализа для выделения интересующих линий поглощения из общего спектра,
- Выделение истинного параметра нерадиационного затухания исключением вклада неоднородного уширения из наблюдаемой ширины линии поглощения.

Научная новизна настоящей работы заключается в том, что большинство экспериментальных данных получено впервые:

- Впервые исследовано температурно-зависимое поглощение образцов полупроводниковых кристаллов GaAs в интервале температур 4.2-400К,
- Впервые исследовано температурно-зависимое интегральное поглощение образцов полупроводниковых кристаллов InP,
- Впервые исследовано температурно-зависимое поглощение образцов короткопериодных сверхрешеток с множественными квантовыми ямами GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As,
- Впервые исследовано температурно-зависимое поглощение образцов длиннопериодных структур с различным числом квантовых ям In_xGa_{1-x}As/GaAs,
- Впервые получены экспериментальные подтверждения соответствия интегральных характеристик поглощения экситон-поляритонному светопереносу с участием механизма локализованных экситонов.

Научная и практическая значимость настоящей работы заключается:

- в установлении критерия существования экситонных поляритонов в полупроводниковых кристаллах, твердых растворах и структурах с множественными квантовыми ямами,
- в формировании процедуры выделения истинного нерадиационного затухания путем исключения из наблюдаемой ширины линии поглощения вклада неоднородного уширения, для последующего анализа взаимодействия экситонов с рассеивателями в рамках основных диссипативных механизмов,
- в экспериментальном определении значений энергии продольно-поперечного расщепления и критического параметра затухания,
- в экспериментальном определении диапазона рабочих температур, в котором могут использоваться приборы на экситонных поляритонах.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Температурная зависимость интегрального поглощения линии основного экситонного состояния в полупроводниковых кристаллах GaAs и InP количественно и качественно описывается теорией экситон-поляритонного светопереноса с участием механизма свободных экситонов. Максимальное значение интегрального поглощения при температурах выше критической позволяет экспериментально определить значение энергии продольно-поперечного расщепления.
2. Температурно-зависимое интегральное поглощение в короткопериодных сверхрешетках GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As имеет низкотемпературную особенность характерную для полупроводниковых кристаллов. При отклонении направления светопереноса от нормали структуры, эта особенность может быть интерпретирована как экситон-поляритонный светоперенос в модели эффективной среды, учитывающей эффект пространственной дисперсии, аналогично поглощению в полупроводниковых кристаллах.
3. При низких температурах светоперенос в области края фундаментального поглощения в полупроводниковых твердых растворах Al_{0.15}Ga_{0.85}As высокого кристаллофизического совершенства имеет поляритонный характер. Критерием существования экситонных поляритонов является наличие участка “аномального” роста интегрального поглощения в области низких температур, соответствующих значениям параметра затухания ниже критического.
4. Низкотемпературная особенность интегрального поглощения линии основного состояния экситона уровня тяжелой дырки HH1E1 в длиннопериодных структурах с множественными квантовыми ямами In_xGa_{1-x}As/GaAs может быть интерпретирована как экситон-поляритонный светоперенос с участием механизма переизлучения локализованных в квантовых ямах экситонов без их “механического” переноса.
5. В полупроводниковых кристаллах GaAs, InP и твердых растворах Al_{0.15}Ga_{0.85}As наблюдаемая при низких температурах ширина линии поглощения основного экситонного состояния преимущественно определяется вкладом неоднородного уширения. Неоднородное уширение не влияет на проявление механизмов интегрального поглощения и может быть исключено из рассмотрения при выделении истинного нерадиационного затухания и определении материальных параметров.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в научных журналах, а также в материалах 4 научных конференций.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Работа содержит 170 страниц, 59 рисунков, 79 библиографических ссылок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Во введении обоснована актуальность темы, определены объекты исследования, сформулирована цель и задачи работы, перечислены методы их достижения, отмечена новизна, научная и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту. Указаны ссылки на материалы конференций, на которых проводилась апробация работы, и ссылки на статьи в научных журналах, в которых опубликованы результаты диссертационной работы, указан объем, изложена структура работы.

В главе 1 приведены положения теории экситонных поляритонов, необходимые для дальнейшего изложения. Отмечена важность корректного учета толщины экситонного “мертвого слоя” при рассмотрении дополнительных граничных условий. Кратко обсуждены особенности традиционных экспериментальных спектроскопических методик изучения экситон-поляритонного оклика. Рассмотрена теория интегрального поглощения в полупроводниковых кристаллах.

Для изотропного негиротропного полупроводникового кристалла с диэлектрической проницаемостью, описывающей экситонное поглощение света с учетом пространственной дисперсии

$$\varepsilon(\omega, k) = \varepsilon_b \left(1 + \frac{2\omega_{LT}\omega_0}{\omega_0^2 + \frac{\hbar k^2}{M_{ex}}\omega_0 - \omega^2 - i\omega\gamma} \right),$$

значение интегрального поглощения, определяемого как $K = \int_0^{\infty} \alpha(\omega) d\omega$, равно [5]

$$K = K_{\max} \frac{2}{\pi} \left(\arctan \frac{\frac{\Gamma}{\Gamma_c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_c}\right)^2}} + \frac{\Gamma}{\Gamma_c} \sqrt{1 - \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_c}\right)^2} \right), \text{ при } \Gamma < \Gamma_c$$

$$K = K_{\max}, \text{ при } \Gamma > \Gamma_c,$$

где $K_{\max} = \hbar\omega_{LT} \frac{\pi\sqrt{\varepsilon_b}\omega_0}{c}$ - значение интегрального поглощения при $\Gamma > \Gamma_c$,

$\hbar\Gamma_c = 2\hbar\omega_0 \sqrt{2\varepsilon_b \frac{\hbar\omega_{LT}}{M_{ex}c^2}}$ - критическое значение параметра затухания, $\Gamma = \hbar\gamma$

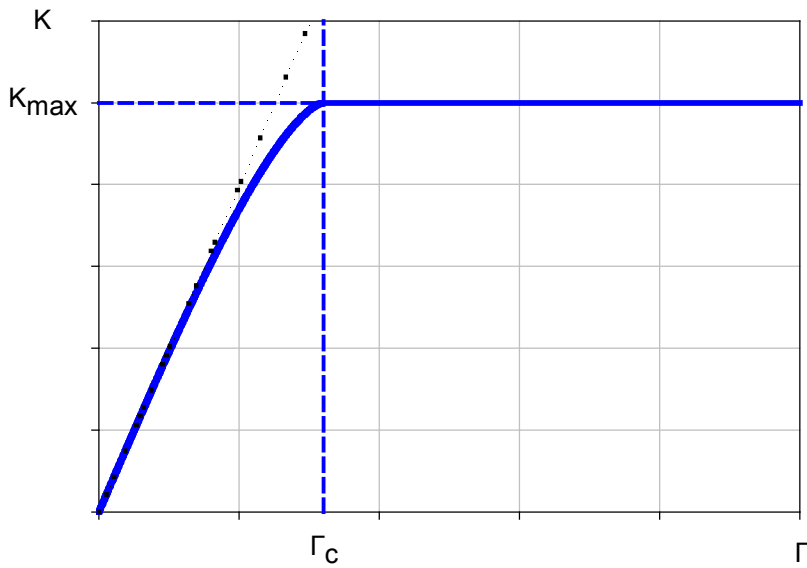


Рис. 1. Теоретическая зависимость интегрального поглощения K от параметра затухания Γ . Штриховыми линиями показаны значения критического затухания Γ_c и максимальное значение интегрального поглощения K_{\max} . Пунктиром показана асимптотика интегрального поглощения при малых значениях параметра затухания

$$K \approx \frac{4}{\pi} \frac{\Gamma}{\Gamma_c} K_{\max}.$$

сти используемых методов измерений и обработки экспериментальных данных.

В главе 2 приведены экспериментальные данные температурно-зависимого поглощения в образцах полупроводниковых кристаллов GaAs и InP. Рассмотрена процедура выделения истинного диссипативного затухания путем исключения из наблюдаемой ширины линии поглощения вклада неоднородного уширения. Проведен анализ экспериментально наблюдаемой ширины линии поглощения и истинного параметра затухания от температуры с учетом основных диссипативных механизмов, обусловленных взаимодействием экситонов с нейтральными, ионизованными, заряженными примесями, акустическими и оптическими фононами. Определены температурно-независимые вклады. Показана определяющая роль вклада неоднородного уширения в экспериментально наблюдаемую ширину линии.

Отмечено существенное различие экспериментальных констант взаимодействия с акустическими и оптическими фононами, описывающих температурную зависимость истинного диссипативного затухания, и соответствующих констант, описывающих наблюдаемую ширину линии. На рис. 2 показаны экспериментальные температурные зависимости интегрального поглощения $K(T)$ в полупроводниковых кристаллах GaAs и InP, допол-

Зависимость интегрального поглощения от параметра затухания проиллюстрирована на рис. 1.

Приведены характеристики толщин образцов, описана техника и методика изготовления и подготовки сверхтонких образцов. Описана экспериментальная техника спектрального анализа, способы получения спектров поглощения. Отмечены особенности процедур выделения линии поглощения из общего спектра с использованием методов контурного анализа, формирования интегральных характеристик поглощения, оценены погрешности

ненные данными работ [6] и [7] в которых исследовалось температурно-зависимое интегральное поглощение в CdTe, ZnTe, ZnSe. Экспериментально определенные значения продольно-поперечного расщепления, критического параметра затухания, максимального интегрального поглощения и критической температуры сведены в табл. 1.

В главе 3 рассмотрены особенности экситонов в квантоворазмерных структурах, изложена теория экситонного поглощения в модели эффективной однородной среды.

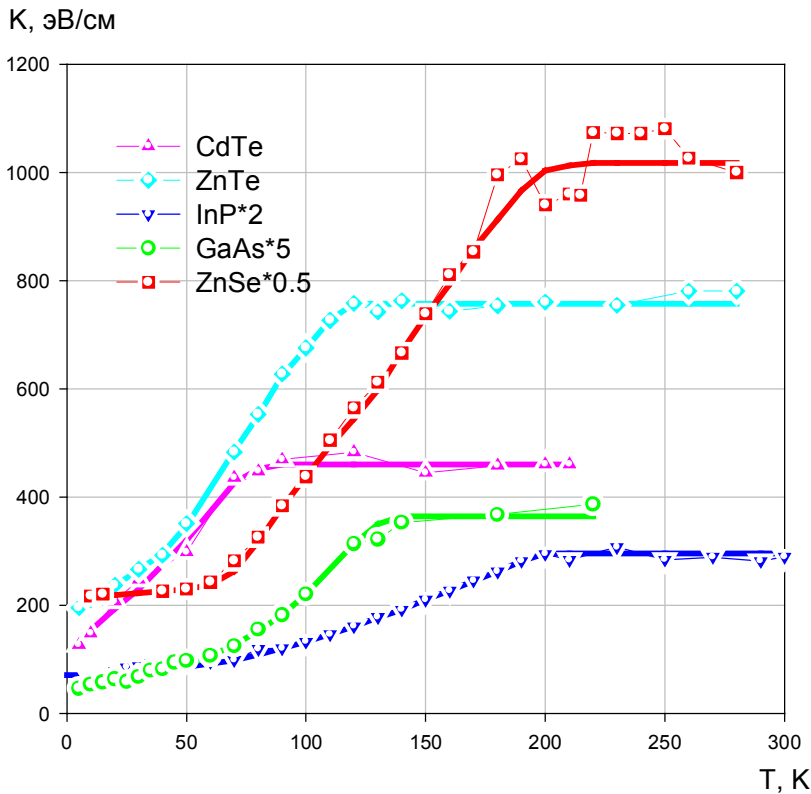


Рис. 2. Температурно-зависимое интегральное поглощение в кристаллических полупроводниках InP, CdTe, ZnTe, ZnSe. Зависимость интегрального поглощения в ZnSe изображена уменьшенной в два раза, в InP увеличенной в два раза, в GaAs увеличенной в пять раз.

отклонении направления светопереноса от нормали. Случай строго нормального направления светопереноса соответствует бесконечной эффективной трансляционной массе экситона в квантовой яме, при котором поляритонные эффекты, связанные с пространственной дисперсией, отсутствуют - аналогично случаю бесконечной эффективной трансляционной массе экситона в полупроводниковых кристаллах.

Приведены экспериментальные данные температурно-зависимого поглощения в короткопериодных сверхрешетках GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных.

Низкотемпературная особенность интегрального поглощения (рис. 3) исследованных короткопериодных сверхрешеток объясняется в рамках модели однородной (полубесконечной) среды, учитывающей

эффект пространственной дисперсии аналогично поглощению в полупроводниковых кристаллах. Данный эффект возможен при

отклонении направления светопереноса от нормали. Случай строго нормального направления светопереноса соответствует бесконечной эффективной трансляционной массе экситона в квантовой яме, при котором поляритонные эффекты, связанные с пространственной дисперсией, отсутствуют - аналогично случаю бесконечной эффективной трансляционной массе экситона в полупроводниковых кристаллах.

Таблица 1. Значения максимального интегрального поглощения основного состояния дискретного экситонного спектра полупроводниковых кристаллов и определенные по ним параметры экситонных поляритонов

	$R_{ex}, мэВ$	$T_c, К$	$K_{max}, \frac{эВ}{см}$	$\hbar\omega_{LT}, мэВ$	$\Gamma_c, мэВ$
GaAs	4.1	135	73	0.082 экпер. 0.08 [37], [26]	0.25 экпер. 0.24 [26]
InP	5	200	149	0.175 экпер. 0.14 [26] 0.17 [41]	0.324 экпер. 0.29 [26]
CdTe	10.7	80	415	0.45 экпер. 0.4 [26]	0.34 экпер. 0.3 [26]
ZnTe	12.8	110	675	0.65 экпер. 0.8 [26]	0.75 экпер. 0.92 [26]

На вставке рис. 3 изображено зарегистрированное изменение критической температуры интегрального поглощения образца сверхрешетки с 20 до 30К при увеличении угла падения света на образец.

Изложена теория экситон-поляритонного светопереноса с участием механизма локализованных экситонов в структурах с конечным числом квантовых ям [8], [9], [10]. Рассмотрены характеристики поглощения структур с множественными квантовыми ямами, определены интегральные характеристики поглощения. Рассмотрена особая роль радиационного затухания в квантоворазмерных структурах

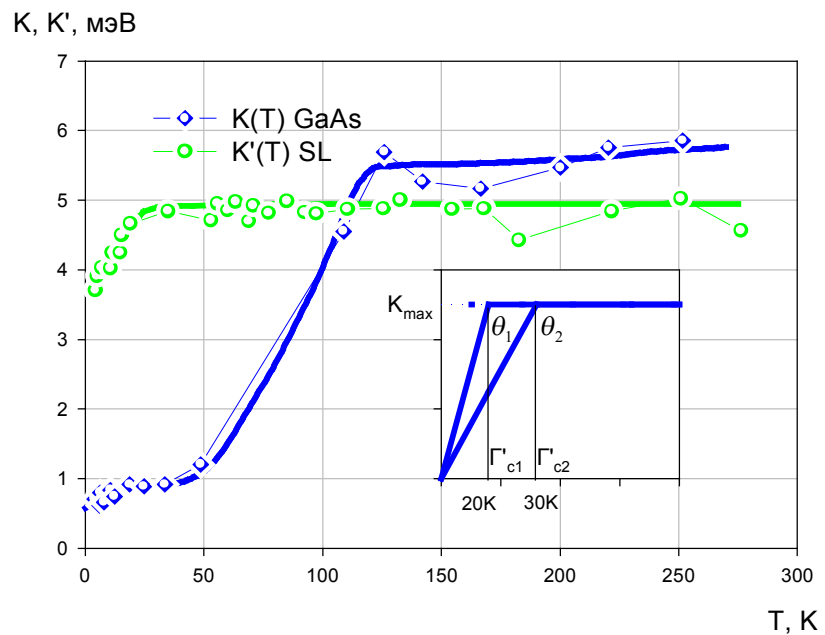


Рис. 3. Сравнительные температурные зависимости интегрального поглощения $K(T)$ линии, соответствующей основному состоянию экситонного дискретного спектра кристаллического полупроводника GaAs и величины $K'(T)$, пропорциональной интегральному поглощению, представляющей произведение оптической плотности образца на ширину линии поглощения экситона, связанного с уровнем перехода HH1E1 в сверхрешетке.

с конечным и бесконечным числом квантовых ям.

Благодаря конечному времени излучательной рекомбинации экситонов, локализованных в квантовых ямах, светоперенос осуществляется резонансным переизлучением без “механического” переноса экситонов. Такой перенос интерпретируется как экситон-поляритонный и, при отсутствии связи с диссипативной подсистемой, происходит без истинного поглощения света. Отмечен коллективный характер экситон-поляритонного светопереноса с участием механизма локализованных экситонов в ограниченных средах.

В главе 4 рассмотрены особенности локализации экситонов в случайном поле флуктуации состава в твердых растворах. Обсуждены две различные модели экситон-поляритонного светопереноса с участием квазисвободных и локализованных экситонов. Продемонстрирована процедура совместной обработки спектров пропускания и отражения

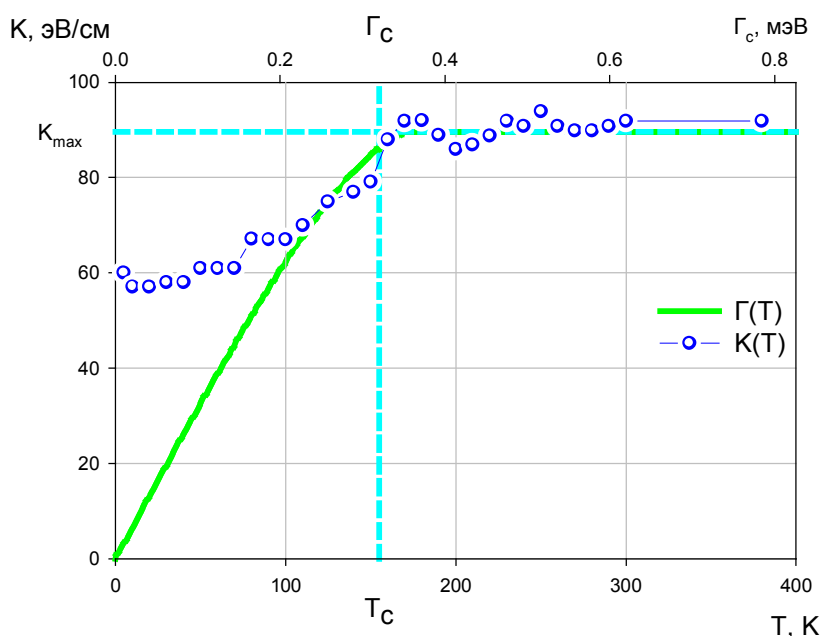


Рис. 4. Экспериментальная температурная зависимость интегрального поглощения линии соответствующей, основному состоянию дискретного экситонного спектра $K(T)$ образца $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$, и расчетная зависимость интегрального поглощения от параметра

затухания со значениями $K_{\max} = 89.5 \frac{\text{эВ}}{\text{см}}$ и $\Gamma_c = 0.32 \text{ мэВ}$

для устранения модуляции спектров осцилляциями интерференции Фабри-Перо. Приведены экспериментальные данные температурно-зависимого поглощения образца полупроводникового твердого раствора $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$. Исключен и оценен вклад неоднородного уширения, связанный с флуктуирующим потенциалом в твердом растворе. Проведен анализ экспериментально наблюдаемой ширины линии поглощения и истинного параметра нерадикационного затухания от температуры с учетом основных диссипативных механизмов. Отмечен вклад в нерадикационное затухание дополнительного механизма рассеяния экситонов на флуктуациях случайного потенциала.

На рис. 4 изображена экспериментальная температурная зависимость интегрального поглощения исследованного образца. Критерием существования экситонных поляритонов

для устранения модуляции спектров осцилляциями интерференции Фабри-Перо. Приведены экспериментальные данные температурно-зависимого поглощения образца полупроводникового твердого раствора $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$. Исключен и оценен вклад неоднородного уширения, связанный с флуктуирующим потенциалом в твердом растворе. Проведен анализ экспериментально наблюдаемой ширины линии поглощения и истинного параметра нерадикационного затухания от температуры с учетом основных диссипативных механизмов. Отмечен вклад в нерадикационное затухание дополнительного механизма рассеяния экситонов на флуктуациях случайного потенциала.

является наличие участка монотонного роста интегрального поглощения в области низких температур, соответствующих значениям параметра затухания ниже критического. В исследуемых образцах вид зависимости интегрального поглощения качественно аналогичен виду зависимости интегрального поглощения “основного” полупроводника. Отделить возможный вклад механизма с участием локализованных экситонов не представляется возможным, поэтому оценки материальных параметров сделаны только с учетом теоретической зависимости интегрального поглощения в модели квазисвободных экситонов.

В главе 5 приведены экспериментальные данные температурно-зависимого поглощения в длиннопериодных структурах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ с различным числом квантовых

$K_N\Gamma_0$, мэВ

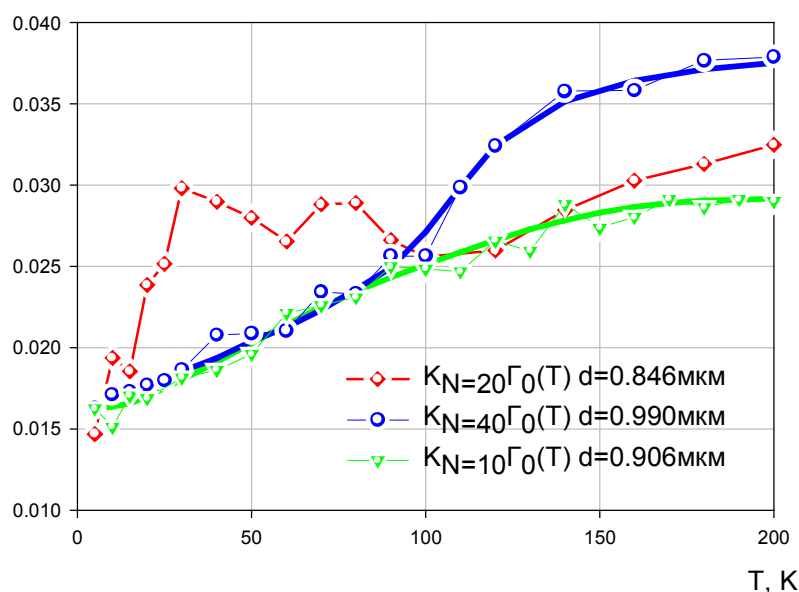


Рис. 5. Экспериментальные температурные зависимости интегральной характеристики поглощения образцов $\text{InGaAs}/\text{GaAs}$ с множественными квантовыми ямами с близким значением периода структуры d , но различным количеством периодов N . Сплошными линиями показаны интерпретации экспериментальных зависимостей.

ямам с близким составом, шириной ям и периодом структуры.

Продемонстрирована процедура получения спектров поглощательной способности и эффективного коэффициента поглощения. Совместная регистрация и обработка спектров пропускания и отражения позволяет практически полностью исключить модулирующее влияние осцилляций интерференции Фабри-Перо.

Проведен анализ экспериментально наблюдаемой ширины линии поглощения соответствующей основному ($1s$) состоянию экситона, связанного с переходом тяжелой дырки HH1E1 , учитывающий температурно-независимый вклад и вклад обусловленный взаимодействием экситонов с оптическими фононами. Оценено значение радиационного затухания на основании экспериментальных данных для интегрального поглощения одиночной квантовой ямы. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с данными по интегральному поглощению для одиночных и двойных квантовых ям [11]. Проведен сравнительный анализ инте-

гральных характеристик поглощения образцов с различным числом квантовых ям и сравнение экспериментальных зависимостей с теоретическими расчетами. На рис. 5 показаны экспериментальные температурные зависимости интегральной характеристики поглощения линии, соответствующей основному ($1s$) состоянию экситона, связанного с уровнями перехода тяжелой дырки HH1E1 образцов InGaAs/GaAs с множественными квантовыми ямами с различным количеством периодов N . Участок монотонного роста интегральной характеристики поглощения при низких температурах теоретически интерпретируется механизмом светопереноса, возникающим при резонансном переизлучении квазидвумерных экситонов, локализованных в квантовых ямах без “механического” переноса экситонов [8], [9], [10].

В заключении приведены основные результаты работы, которые можно сформулировать следующим образом.

1. Проведенные экспериментальные исследования интегрального поглощения образцов полупроводниковых кристаллов демонстрируют качественное и количественное соответствие экспериментальных данных с теоретическими расчетами и свидетельствуют об экситон-поляритонном характере светопереноса в области края фундаментального поглощения. Экспериментально определенные значения продольно-поперечного расщепления и критического параметра затухания имеют высокую точность, так как их расчет производится на основании большого значения интегрального поглощения при высоких температурах.
2. Экспериментальная регистрация спектров пропускания полупроводниковых кристаллов с большим коэффициентом поглощения оказалась возможной при использовании сверхтонких, свободно упакованных образцов.
3. Для исследованных образцов определены критические температуры экситон-поляритонного светопереноса. Полученные значения могут быть использованы при создании экситон-поляритонных приборов.
4. Показано что экспериментально наблюдаемая ширина линии поглощения не соответствует истинным значениям параметра нерадиационного затухания, а определяется неоднородным уширением и существенно превышает значение энергии продольно-поперечного расщепления. Значение истинного параметра нерадиационного затухания может быть выделено исключением из наблюдаемой ширины линии вклада неоднородного уширения. При этом продемонстрировано, что при учете основных диссипативных механизмов экспериментально определенные значения констант, описывающих температурные зависимости наблюдаемой ширины линии, и истинного параметра затухания существенно отличаются. Неоднородное уширение не препятствует

проявлению экситон-поляритонных эффектов и не вносит вклад в интегральное поглощение.

5. Примененная совместная регистрация спектров пропускания и отражения позволила произвести реконструкцию спектров поглощения, в которых практически полностью отсутствует модулирующее влияние осцилляций интерференции Фабри-Перо.
6. Применение методики контурного анализа является необходимым условием адекватного выделения контуров исследованных линий поглощения из общего спектра. Большинство экспериментальных результатов не может быть получено методом непосредственного вычитания базовой линии из общего спектра.
7. Впервые низкотемпературная особенность интегрального поглощения, соответствующая экситон-поляритонному светопереносу, экспериментально обнаружена в квантоворазмерных структурах. В короткопериодных структурах квантовых ям эта особенность может быть объяснена в рамках модели однородной среды, учитывающей эффект пространственной дисперсии при отклонении направления светопереноса от нормали. Впоследствии, для объяснения обнаруженной экситон-поляритонной особенности поглощения, была создана теория экситон-поляритонного светопереноса с участием механизма локализованных экситонов для структур с конечным числом квантовых ям. Определяемая данной теорией зависимость интегрального поглощения в длиннопериодных структурах впервые экспериментально подтверждена исследованием, проведенным в настоящей работе.
8. Впервые исследованное температурно-зависимое поглощение в полупроводниковых твердых растворах показало экситон-поляритонный характер светопереноса в области края фундаментально поглощения. В полупроводниковых твердых растворах возможно существование двух различных механизмов экситон-поляритонного светопереноса. В исследуемых образцах вид зависимости интегрального поглощения качественно аналогичен виду зависимости интегрального поглощения “основного” полупроводника.
9. Впервые методом интегрального поглощения были исследованы объекты с различными механизмами распространения экситонных поляритонов. Обобщение результатов исследования позволяет считать интегральное поглощение эффективным методом экситон-поляритонной спектроскопии и экспериментальным критерием подтверждения существования экситон-поляритонного характера светопереноса.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. *V.A. Kosobukin, R.P. Seisyan and S.A. Vaganov.* Exciton-polariton light absorption in bulk GaAs and semiconductor superlattices // *Semicond. Sci. Technol.* – Jul., 1993. - 8. - P. 1235-1238.
2. *R.P. Seisyan, V.A. Kosobukin, S.A.Vaganov, G.N. Aliev, O.S. Coschug.* Exciton-polariton resonances in light absorption spectra of semiconductor superlattices and crystals // *International Symposium on Physical Concepts and Materials for Novel Optoelectronic Device (Trieste, Italy, 1993).*
3. *R.P. Seisyan, V.A. Kosobukin, S.A.Vaganov, G.N. Aliev, O.S. Coschug.* Exciton-polaritons in light absorption spectra of semiconductor crystals and superlattices // *3-th International Conference on Optics of Excitons in Confined Systems (Montplllier, France, 1993).*
4. *G.N. Aliev, O.S. Coschug-Toates, V.A. Kosobukin, R.P. Seisyan, S.A. Vaganov.* Exciton-polariton resonances in light absorption spectra of semiconductor superlattices and crystals // *Proc. SPIE.* - 1993. - V. 1985. - P. 794-801.
5. *R.P. Seisyan, V.A. Kosobukin, S.A. Vaganov.* High-temperature efficiency of exciton-polariton processes in semiconductors and 2D systems // *International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter (Darwin, Australia, July 1994).*
6. *G.N. Aliev, O.S. Coschug-Toates, V.A. Kosobukin, R.P. Seisyan, S.A. Vaganov.* High-temperature efficiency of exciton-polariton processes in semiconductors and 2D systems // *Proc. SPIE.* - 1995. - V. 2362. - P. 561-568.
7. *Р. П. Сейсян, В.А. Кособукин, С.А. Ваганов, М.А. Маркосов, Т.С. Шамирзаев, К.С. Журавлев, А.К. Бакаров, А.И. Торопов.* Экситонные поляритоны в полупроводниковых твердых растворах $Al_xGa_{1-x}As$ // *IV Международная конференция по физике взаимодействия света с веществом в наноструктурах (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия, 29 июня – 3 июля, 2004).*
8. *R.P. Seisyan, V.A. Kosobukin, S.A. Vaganov, M.A. Markosov, T.A. Shamirzaev, K.S. Zhuravlev, A.K. Bakanov and A.I. Toropov.* Exsitonic polaritonis in semiconductor solid solutions $Al_xGa_{1-x}As$ // *Phys. Stat. Sol. C.* – 2005. - V. 2. - P. 900-905.

Цитируемая литература:

1. *J. Frenkel.* // *Phys. Rev.* –1931. – 37. - 17.
2. *С. И. Пекар.* Теория электромагнитных волн в кристалле, в котором возникают экситоны // *ЖЭТФ.* - 1957. - Т. 33. - Вып. 4 (10). - С. 1022-1036.
3. *David W. Snoke.* Excitonic Circuit: New Tools for manipulation Photons // *Photonic Spectra.* - Jan., 2006.

4. Excitons / Ed. E.I. Rashba, M.D. Sturge. - North-Holland, Amsterdam, 1982.
5. *Н.Н. Ахмедиев*. Роль пространственной дисперсии в поглощении света экситонами // ЖЭТФ. – 1980. - Т. 79. - Вып. 4 (10). - С. 1534-1543.
6. *Г.Н. Алиев, О.С. Коцуг, Р.П. Сейсян*. Высокотемпературная граница эффективности экситон-поляритонных процессов в кристаллах теллуридов кадмия и цинка // ФТТ. – 1994. - Т. 36. - № 2. - С. 373-388.
7. *R.M. Datsiev, V.A. Kosobukin, N.V. Luk'yanova, R.P. Seisyan, M.R. Vladimirova*. Exciton-polaritonic absorption in II-VI and III-V semiconducting “pre-quantum” layers and quantum wells // Electrochemical Society Proceedings. V. 98-25. – P. 228-233.
8. *V.A. Kosobukin*. Theory of Exciton-Polariton Absorption in Multiple Quantum Wells // Phys. Stat. Sol. B. – 1998. - 108. - P. 271-283.
9. *В.А. Кособукин, М.М. Мусеева*. Оптика квазидвумерных экситонов в ограниченных периодических структурах. Поляризационные эффекты // ФТТ. – 1995. - Т. 37. - № 12. - С. 3694-3703.
10. *В.А. Кособукин*. Пропускание и отражение света полупроводниковыми сверхрешетками в области экситонных резонансов // ФТТ. - 1992. - Т. 34. - №10. - С. 3107-3118.
11. *W.S. Shen, S.C. Shen, W.G. Tang, S.M. Wang, and T.G. Anderson, J.* Observation of excitonic polariton and broadening of room-temperature exciton in strained InGaAs/GaAs quantum wells // Appl. Phys. – 1995. – 78.- P. 1178-1182.