

- [1] Aristov V.V., Snigirev A.A., Basov Y.A., Nikulin A.Yu. - AIP Conf. Proc., 1986, v. 147, p. 253-259.
- [2] А р и с т о в В.В., Б а с о в Ю.А., С н и г и р е в А.А. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, в. 2, с. 114-118.
- [3] А р и с т о в В.В., Б а с о в Ю.А., К у л и п а н о в Г.Н., П и н д ю р и н В.Ф., С н и г и р е в А.А., С о к о л о в А.С. - Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, в. 1, с. 3-6.
- [4] А р и с т о в В.В., Е р о х и н Ю.Н., К у з н е ц о в С.М., Н и к у л и н А.Ю., С н и г и р е в А.А. - Первая все-союзная конференция „Физические и физико-химические основы микроэлектроники“, Москва 1987, с. 142-143.
- [5] Aristov V.V., Nikulin A.Yu., Snigirev A.A., Zaumseil P. - Phys. stat. sol. (a), 1986, v. 95, p. 81-86.
- [6] B l e s h I.A., M e i e r a n E.S. - Journal of Applied Physics, 1967, v. 38, N 7, p. 2913-2919.

Институт проблем технологии
микроэлектроники и особочистых
материалов АН СССР

Поступило в Редакцию
26 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЕ ПРИ ВОЛНОВОДНОМ
ПРОХОЖДЕНИИ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВОЙНУЮ
ГЕТЕРОСТРУКТУРУ *AlGaAs*
С КВАНТОВОРАЗМЕРНЫМ СЛОЕМ

Р.П. Сейсян, А.А. Торопов,
В.Р. Ларионов, В.П. Хвостиков,
Т.В. Шубина, И.Л. Апейнер

В ряде работ (см., например, [1-3]) сообщалось о создании электронных приборов нового типа, использующих электрооптические эффекты дискретного экситонного поглощения в многослойных квантоворазмерных структурах на основе *GaAs* и *InGaAs*. Использовались слои толщиной 100 Å или сверхрешетки, выращенные методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ), при этом свет направлялся вдоль [1] или поперек [2, 3] слоев.

Мы сообщаем об исследовании экситонного поглощения и модуляции пропускания при продольном прохождении света через структуру с одиночным квантоворазмерным слоем (КРС) *GaAs*, выращенную жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ).

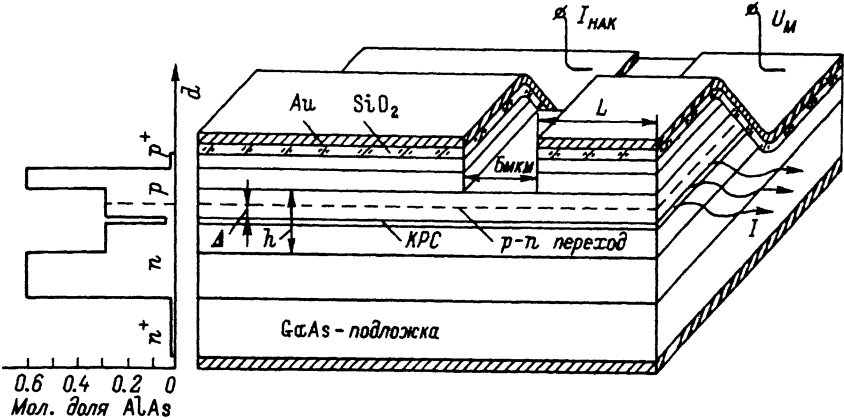


Рис. 1. Схематическое изображение двухсекционной мезоструктуры с КРС и распределение концентрации $AlAs$ по ее толщине.

Применялась методика низкотемпературной ЖФЭ [4-6], когда кристаллизация активной области $AlGaAs$ структур происходит при температурах менее $550^{\circ}C$. При таких температурах, благодаря снижению скорости кристаллизации менее $5 \text{ \AA}/c$, обеспечивается возможность прецизионного контроля толщин выращиваемых слоев. Применение данной методики позволяет получать низкопороговые лазеры [4, 6] и гетероструктуры с толщинами активных областей $50-200 \text{ \AA}$, в которых наблюдаются квантоворазмерные эффекты [5, 6]. Фотолюминесцентные исследования квантоворазмерных слоев в $AlGaAs$ гетероструктурах показали, что метод низкотемпературной ЖФЭ позволяет изготавливать однородные по площади структуры с внутренним квантовым выходом излучательной рекомбинации, близким к 100% при $T=300 \text{ K}$ [6].

Исследуемые в настоящей работе образцы представляли собой двойную гетероструктуру $AlGaAs/GaAs$, подобную лазерной (рис. 1). Толщина оптического волновода изменялась в пределах $0.4-0.9 \text{ мкм}$. КРС толщиной $100-160 \text{ \AA}$ располагался посередине волновода. Вблизи КРС был сформирован р-п-переход, расстояние между ними в различных образцах варьировалось от 0.1 до 0.2 мкм . Контакты к р- и п- областям структуры формировались путем напыления $Au(Ge)$ и $Au(Ni)$ слоев с последующим гальваническим утолщением и вжиганием.

Для исследования электрооптических свойств применялись две методики; в первом случае были использованы четырехсклоутые образцы, во втором - двухсекционные мезоструктуры, полученные методом фотолитографии (рис. 1). В четырехсклоутых образцах волновод возбуждался фокусировкой на торец монохрома-

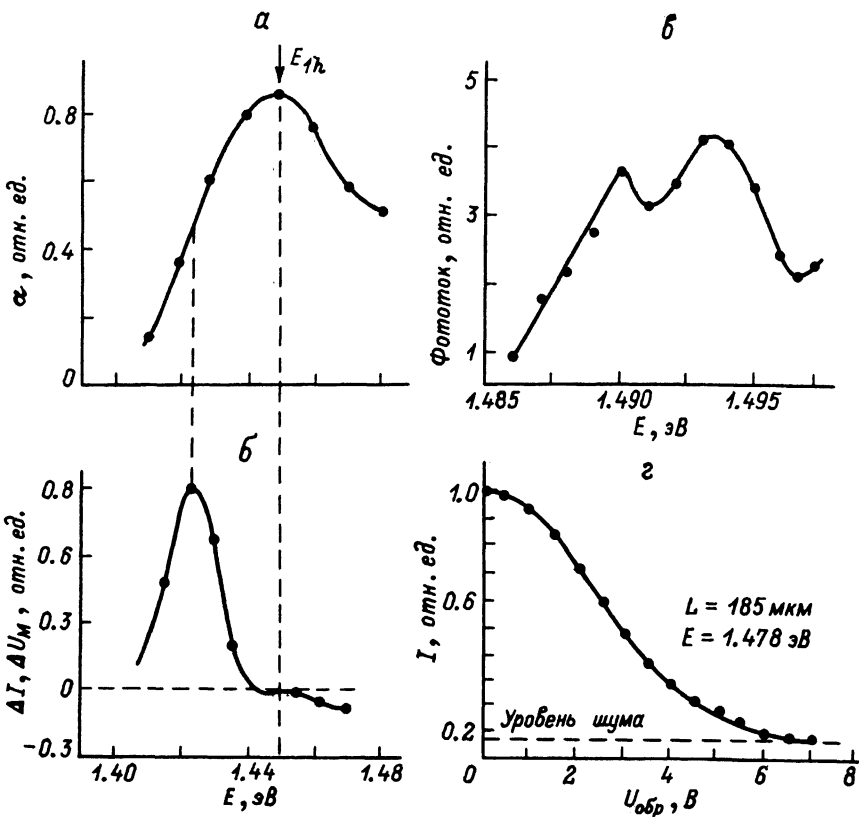


Рис. 2. Спектры поглощения (а), электропоглощения (б) и фототока (в), а также зависимость пропускания от приложенного смещения (г) для двойной гетероструктуры с КРС при волноводном прохождении света. а, б - двухсекционные мезаструктуры, $h=0.4$ мкм, $\Delta=0.2$ мкм; в, г - четырехсклоотые образцы $h=0.9$ мкм, $\Delta=0.1$ мкм.

тического перестраиваемого по длине волны излучения. Источником света служил *InGaAs/InGaAsP* гетеролазер с внешним селективным резонатором-дифракционной решеткой. В мезаструктурах одна из секций служила источником излучения (светодиодом), вторая являлась исследуемым объектом. Секции имели общий волновод шириной 40 мкм, но были разделены электрически селективным травлением 6 мкм зазора в контактном и р-слоях. Электрическое сопротивление между секциями составляло 1.5 кОм. Длина излучательной секции лежала в пределах 0.5–1 мм. Длина исследуемой секции, так же как и четырехсклоотых образцов, варьировалась от 25 до 200 мкм.

Использование внутреннего волноводного источника излучения в мезаструктурах позволяет значительно уменьшить потери при вводе света в исследуемый волновод. Ширина спектра электролюминесценции при достаточных накачках перекрывает область дискретного экситонного поглощения, причем энергетическое расстояние между максимумами поглощения и люминесценции не превышает 10 мэВ. Это позволяет снимать прямые и электромодуляционные спектральные характеристики волновода. Нормировкой спектра излучения, прошедшего через вторую секцию на исходный спектр электролюминесценции светодиода, был получен прямой спектр поглощения (рис. 2, а), показывающий экситонный дискретный характер края поглощения КРС. Максимум электромодуляционного спектра (рис. 2, б) приходится на длинноволновое крыло экситонного пика.

С использованием четырехсклоотых образцов был снят спектр фототока (рис. 2, в), демонстрирующий наличие двух особенностей на краю поглощения. Энергетическое положение этих особенностей соответствует экситонам легкой и тяжелой дырки в КРС толщиной 160 Å состава $Al_{0.04}Ga_{0.96}As$. Наибольшая глубина модуляции наблюдалась в волноводах толщиной 0.9 мкм с р-р-переходом, расположенным на расстоянии 0.1 мкм от КРС. Зависимость интенсивности света, прошедшего через волновод от напряжения на структуре (рис. 2, г) демонстрирует возможность 90 % модуляции при напряжении 6 В.

Нами показан экситонный характер поглощения в КРС $GaAs$, выращенных методом низкотемпературной ЖФЭ. Продемонстрирована перспективность использования волноводных структур с такими слоями для создания эффективных электрооптических модуляторов. Близость спектров электролюминесценции и экситонного поглощения позволяет надеяться на возможность интеграции излучателя и экситонного модулятора в составе оптической интегральной схемы, выполненной с применением одной ЖФЭ.

Л и т е р а т у р а

- [1] Wood T.H., Burrus C.A., Tucker R.S. и др. - Electronics Letters, 1985, v. 21, N 16, p. 693-694.
- [2] Miller D.A.B., Chemla D.S., Dament и др. - IEEE J. of Quantum Electronics, 1985, v. QE-21, N 9, p. 1462-1476.
- [3] Wakita K., Kawamura Y., Yoshikiuni Y. и др. - Electronics Letters, 1985, v. 21, N 13, p. 574-575.
- [4] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Ивентьева О.О., Ларионов В.Р., Румянцев В.Д. - ФТП, 1986, т. 20, в. 2, с. 381-383.
- [5] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребец-

к и й К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. -
Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18, с. 1089-1093.

[6] Андреев В.М., Воднев А.А., Минтаиров А.М.,
Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - ФТП, 1987,
т. 27, в. 7, с. 1212-1216.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
4 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17 12 сентября 1988 г.

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА

А.А. Самохвалов, В.А. Костылев,
Б.А. Гижевский, Л.А. Клинова,
Б.В. Карпенко, Л.Д. Фальковская,
А.В. Кузнецов

Известно, что в ферромагнитных полупроводниках (ФП) взаимодействие дрейфующих носителей заряда со спиновыми волнами приводит к ряду новых явлений - разогреву, усилению и генерации спиновых волн [1, 2]. В результате в сильном электрическом поле меняются многие физические свойства ФП, например, намагниченность, электропроводность и т. д. и, в частности, появляются нелинейные вольтамперные характеристики (ВАХ) [3]. Генерация магнонов возможна и в антиферромагнитных полупроводниках (АФП), где условия для ее реализации даже более благоприятны [4].

В настоящей работе исследованы ВАХ монокристаллов АФП *EuTe* с температурой Нееля $T_N \approx 9$ К. Образцы представляли собой пластинки с размерами $4 \times 1.2 \times 1.2$ мм³, имеющие при 300 К электропроводность $\rho \sim 1 \cdot 10^{-2}$ Ом·см, холловские концентрацию и подвижность носителей заряда $\sim 5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ и ~ 18 см² В⁻¹ с⁻¹ соответственно. При понижении температуры до 30 К ρ почти не меняется, а затем начинает резко возрастать, достигая $\sim 10^6$ Ом·см при 4 К. В области антиферромагнитного упорядочения из-за невозможности разделить обыкновенную и антиферромагнитную части эффекта Холла и, соответственно, рассчитать холловские концентрацию и подвижность, дрейфовая подвижность носителей заряда μ_{gr} была определена прямым путем по времени пролета через образец инжектированных избыточных носителей (метод Шокли). Было получено $\mu_{gr} \sim 160$ см² В⁻¹ с⁻¹. ВАХ были измерены на нескольких образцах 4х-контактным способом по импульсной методике [3] в температурной области 4-300 К без магнитного поля и в поле напряженностью H до 2 Т.