

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР С ВСТРОЕННЫМ  
ЭКСИТОННЫМ ШТАРКОВСКИМ МОДУЛЯТОРОМ  
ДОБРОТНОСТИ НА ОСНОВЕ  $AlGaAs$  ДГС  
С ОДИНОЧНОЙ КВАНТОВОЙ ЯМОЙ  $GaAs$

Ж.И. А л ф е р о в, И.Л. А л е й н е р,  
В.М. А н д р е е в, В.С. К а л и н о в с к и й,  
Г.Л. С а н д л е р, Р.П. С е й с я н,  
А.А. Т о р о п о в, Т.В. Ш у б и н а,  
В.П. Х в о с т и к о в

Полупроводниковые лазеры с внутриврезонаторной управляемой поглощающей ячейкой активно исследуются с целью получения коротких световых импульсов с большой частотой повторения в режимах модуляции добротности и синхронизации мод. Для эффективного управления поглощением ячейки модуляции добротности в ряде работ [1-3] использовался экситонный Штарк-эффект в квантовых ямах, выращенных методом МПЭ.

Целью данной работы является изучение параметров генерации лазера с экситонным модулятором добротности (ЛЭМД), изготовленного на основе  $AlGaAs$  ДГС с одиночной квантовой ямой  $GaAs$ , выращенной методом низкотемпературной жидкофазной эпитаксии. Данный метод позволяет получать лазерные структуры с пороговыми плотностями тока  $j_0 = 175 \text{ A/cm}^2$  при длине резонатора 1400 мкм [4]. Подробное описание используемой структуры приведено в [5].

ЛЭМД представлял собой двухсекционную мезаполосковую конструкцию (см. вставку к рис. 1, б), формируемую фотолитографией. Секции объединены общим волноводом, но разделены электрически с помощью селективно вытравленного зазора шириной 4-6 мкм. Электрическое сопротивление между секциями было не менее 1.5 кОм. Резонаторы изготавливались скалыванием. В пределах одной секции осуществлялась инжекционная накачка. Подавая на вторую секцию запирающее напряжение, можно было прикладывать к квантовой яме электрические поля напряженностью до  $10^4 \text{ В/см}$ .

Используя светодиодный режим работы излучающей секции по методике, описанной в [5], были измерены спектральные электрооптические характеристики волновода с одиночной квантовой ямой в пределах модуляторной секции. Характерные спектры поглощения ТЕ и ТМ волноводных мод для разных напряжений на модуляторе при комнатной температуре приведены на рис. 1. Край поглощения представляет из себя дискретные пики, разнесенные для ТЕ и ТМ волноводных мод на несколько мэВ. Такой вид края поглощения хорошо согласуется с правилами отбора оптических переходов в состоянии экситонов с тяжелой и легкой дырками [6]. Величина энергетического расщепления близка к наблюдавшейся ранее в спектрах

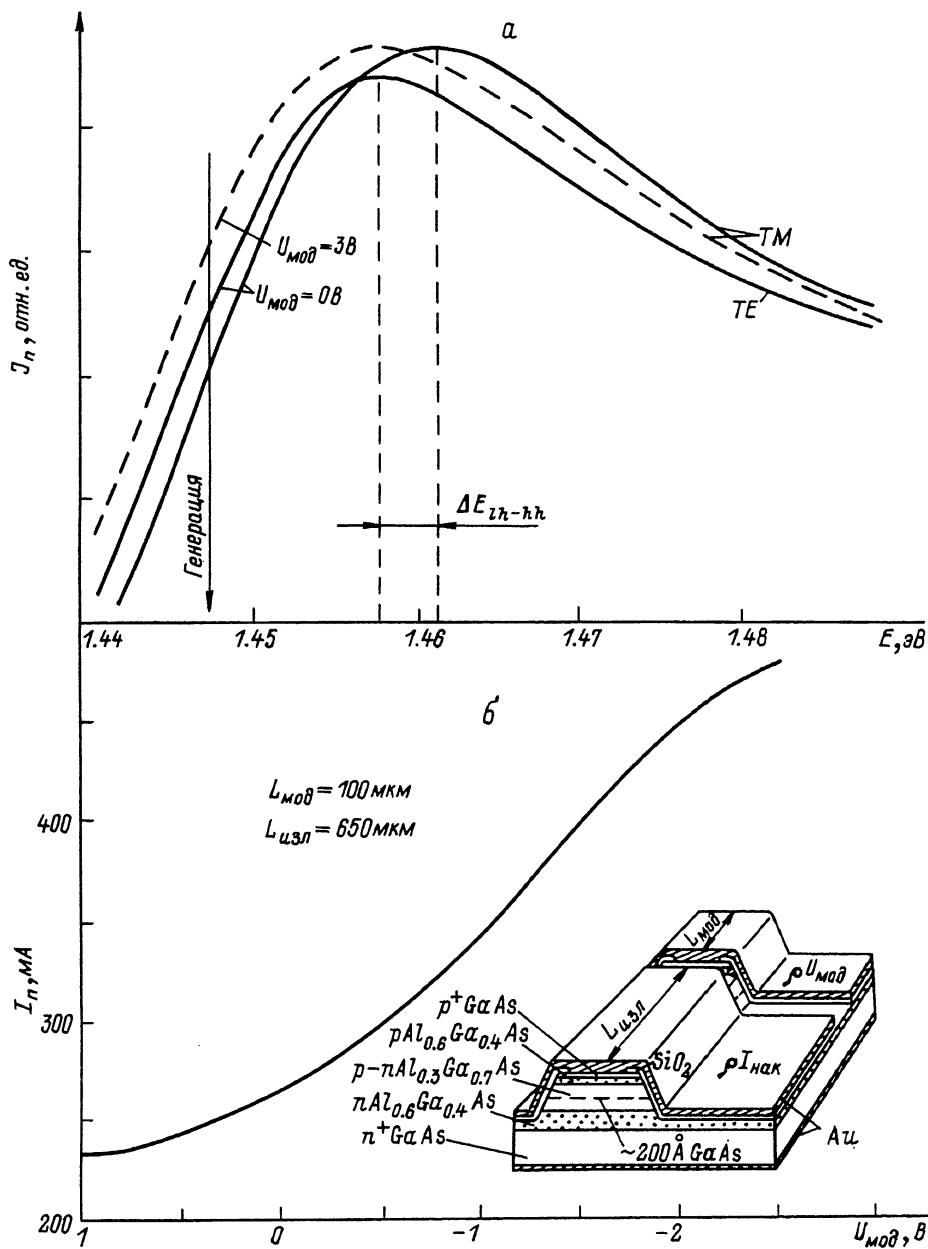


Рис. 1. Спектры поглощения ТМ и ТЕ мод ( $T=300 \text{ К}$ ) при приложении внешнего электрического поля и без него (а) и зависимость порогового тока накачки от напряжения на модуляторе (б).

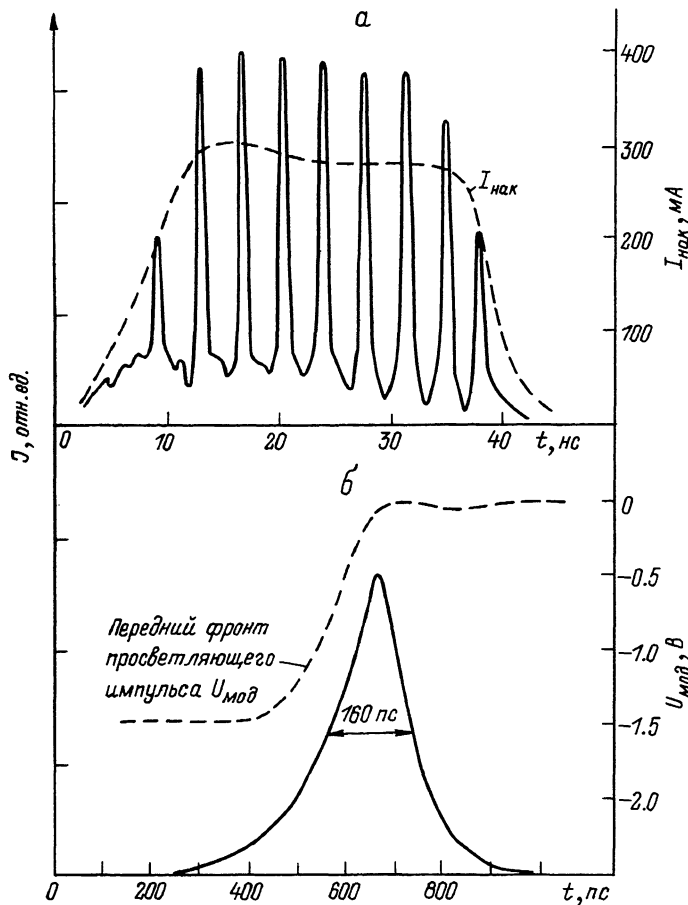


Рис. 2. Режимы пассивной (а) и активной (б) модуляции добротности ЛЭМД ( $T=300$  К): а – импульсная накачка  $\tau_{\text{нак}} \sim 40$  нс, постоянное напряжение на модуляторе  $U_{\text{мод}} = 0$  В (длина ЛЭМД = 1 мм); б – однопиковый режим активной модуляции добротности (полуширина просветляющего импульса = 1 нс, длина ЛЭМД = 725 мкм).

фототока и электромодуляционных спектрах, полученных в четырехсклоотых образцах [5]. Приложение электрического поля приводит к практически параллельному сдвигу наблюдаемой экситонной структуры в сторону меньших энергий. Наблюдаемое поведение спектра укладывается в рамки модели экситонного квантово-размерного Штарк-эффекта [7].

При плотностях тока  $\sim 1.5 j_0$  в ЛЭМД возникает лазерная генерация. Спектральное положение линии генерации находится на длинноволновом крыле экситонного пика (рис. 1, а) и совпадает с областью максимума электропоглощения. Сдвиг линии генерации в эту область объясняется в [8] сужением ширины запрещенной зоны вследствие интенсивной накачки носителей заряда в активную область и образования электронно-дырочной плазмы высокой концентрации. Смещение края поглощения в модуляторе при увеличении запирающего напряжения приводит к двукратному увеличению порогового тока при изменении  $U_{\text{мод}}$  от 0 до  $-2.5$  В (рис. 1, б).

Временные характеристики генерации изучались как в импульсном, так и в непрерывном режимах накачки. При импульсной токовой накачке и постоянном напряжении на модуляторе (рис. 2, а) наблюдается пичковая генерация, характерная для лазера с насыщенным поглотителем. Подача на модулятор просветляющего импульса напряжения длительностью 1 нс, синхронизованного с импульсом тока накачки, позволяет уверенно работать в однопичковом режиме (рис. 2, б). Длительность и возможная частота повторений импульсов генерации зависят от соотношения величин тока накачки и напряжения на модуляторе. Наименьшая измеренная полуширина импульса генерации ЛЭМД длиной 725 мкм составляет 160 пс, что сопоставимо со временем установления мод резонатора таких размеров. Регистрация осуществлялась р-и-п диодом с временным разрешением  $\sim 50$  пс. Минимальная величина напряжения просветляющего импульса, необходимая для реализации устойчивого режима активной модуляции добротности, крайне мала и равна 50 мВ. При накачке постоянным током активная модуляция добротности осуществлялась также подачей на модулятор синусоидального напряжения частотой 200–1185 МГц.

Работу ЛЭМД в режимах пассивной и активной модуляции добротности можно объяснить совокупным действием нескольких факторов: спектральным совпадением линии генерации с длинноволновым крылом экситонного пика поглощения, высокой крутизной характеристик экситонного квантоворазмерного Штарк-эффекта и наличием в указанной спектральной области эффективного насыщения поглощения. Первые два фактора позволяют осуществлять режим активной модуляции добротности ЛЭМД. Насыщение поглощения, ответственное за режим пассивной модуляции добротности, связано, по-видимому, с рядом механизмов насыщения экситонного поглощения [9]. Также нет оснований исключать действие электрооптической положительной обратной связи. Конкретные соотношения вкладов перечисленных факторов требуют дальнейшего изучения.

Авторы выражают благодарность Портному Е.Л., Рывкину Б.С., Сурису Р.А. за полезные обсуждения полученных результатов; Ларионову В.Р., Румянцеву В.Д. за помощь в изготовлении структур.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Turucha S., Okamoto H. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 1. P. 1-3.

- [2] Turucha S., Okamoto H. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 10. P. 543-545.
- [3] Aракова Y., Larson A., Poloski J., Yariv A. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 9. P. 561-563.
- [4] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Ларионов В.Р. и др. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 10. С. 1771-1775.
- [5] Сейсян Р.П., Торопов А.А., Ларионов В.Р., Хвостиков В.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1548-1552.
- [6] Weiner J.S., Chemla D.S., Miller D.A.B., Haus H.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. N 7. P. 664-667.
- [7] Miller D.A.B., Chemla D.S., Damen T.C., Wood T.H. et al. // IEEE J. of Quantum Electronics. 1985. V. QE-21. N 9. P. 1462-1476.
- [8] Turucha S., Kobayashi H., Horikoshi Y., Okamoto H. // Jpn. J. Appl. Phys. 1984. V. 23. N 7. P. 874-878.
- [9] Schmitt-Rink S., Chemla D.C., Miller D.A.B. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 10. P. 6601-6609.

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

Поступило в Редакцию  
1 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7  
06

12 апреля 1989 г.

### ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА ЭЛЕКТРОННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОЛИМЕРАХ

А.Н. Лачинов, В.А. Ковардаков,  
А.Н. Чувывров

Существуют различные подходы к описанию механизма электронного переключения: инжекционный, перегретой, фазового перехода и др. [1]. В настоящей работе исследовано влияние объемного заряда на пороговые характеристики этого явления в полупроводниковых полимерах. Интерес к подобным объектам обусловлен заманчивой перспективой замены ими традиционных полупроводниковых материалов.

Для исследования были использованы полимеры класса полиарил-ленфталидов и полиантронов. Они привлекают внимание своей