

07

Поляризационная зависимость сдвига Штарка в поглощении в InGaAs/GaAs лазерных структурах с квантовыми точками

© Е.Л. Портной, И.М. Гаджиев, А.Е. Губенко, М.М. Соболев,
А.Р. Ковш, И.О. Бакшаев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
E-mail: igor@intop.ioffe.rssi.ru
NL Nanosemiconductor GmbH, Konrad-Adenauer-Allee 11,
44263 Dortmund, Germany

Поступило в Редакцию 21 января 2007 г.

В многослойных лазерных структурах InGaAs/GaAs с самоорганизующимися квантовыми точками исследован эффект Штарка. Проведены измерения смещения края поглощения в зависимости от обратного напряжения в двухсекционном лазерном диоде. Край поглощения сдвигается в длинноволновую область спектра при увеличении напряженности электрического поля. Обнаружена поляризационная зависимость поглощения. В исследуемых структурах интенсивность люминесценции ТЕ-поляризации более чем на порядок больше, чем ТМ, что обусловлено большим усилением ТЕ-моды.

PACS: 73.63.Kv, 42.55.Px, 71.70.Ej

1. Введение. Лазеры на квантовых точках (КТ) в диапазоне $1.3\ \mu\text{m}$ являются потенциальными источниками излучения для волоконных линий связи (ВОЛС). Низкая пороговая плотность тока, высокий срок службы, недавно продемонстрированный низкий температурный коэффициент порогового тока определяют перспективность их практического применения. Однако верхняя частота модуляции примерно в 3 раза меньше чем у лазеров на квантовых ямах (КЯ), что ограничивает их применение в высокочастотных системах при токовой модуляции [1–3]. Альтернативой токовому управлению может быть модулятор на эффекте Штарка [4], поскольку отклик поглощения на поле более быстрый процесс, чем электрон-фотонное взаимодействие в полупроводниковом лазере. Быстродействие в этом случае ограничивают емкость и ин-

дуктивность лазера и электрических цепей, влияние которых можно уменьшить с помощью высокочастотного дизайна. Поэтому исследование сдвига Штарка представляется перспективной с практической точки зрения. В настоящее время достаточно хорошо изучен эффект Штарка в гетероструктурах с квантовыми ямами для высокочастотной модуляции света [5–9]. Для многослойных систем вертикально коррелированных и одиночных квантовых точек InAs/GaAs также было обнаружено и исследовано проявление эффекта Штарка [10–14]. Использование структур с КТ расширяет возможности модуляторов излучения, поскольку неоднородное уширение спектра КТ позволяет сдвигать линию генерации в широком пределе и тем самым использовать один материал для излучателя, модулятора и усилителя многосекционных интегрально-оптических конструкций. Свойства КТ ранее были использованы нами в двухсекционных лазерах с синхронизацией мод (СМ), где интегральное совмещение секций насыщающегося поглотителя и усилителя позволило достичь высоких мощностей оптических импульсов и большого диапазона частот повторения [15].

В настоящей работе исследованы особенности эффекта Штарка в двухсекционных лазерных структурах, аналогичных описанным в [15].

2. Экспериментальные образцы. Двухсекционная конструкция лазера (рис. 1) дает возможность исследовать сдвиг поглощения КТ, используя одну секцию как излучатель, а вторую — как модулятор на эффекте Штарка, поскольку обратное напряжение почти полностью падает на нелегированной волноводной области с КТ. Длина обратнорасположенной секции изготавливалась больше, чем в лазерах с

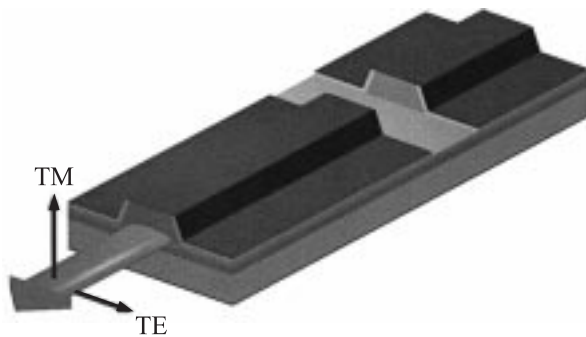


Рис. 1. Двухсекционный лазер.

СМ для увеличения эффекта поглощения и соответственно повышения точности результатов. Кроме того, длины излучающей и поглощающей секций были равными, что позволяет измерять спектр без поглощения путем простой перемены полярности смещения. Выходное зеркало просветлялось до уровня 6% напылением четвертьволновой пленки SiO_2 , что уменьшает влияние многопроходного распространения света и устраняет необходимость учета отражения света от сколотой грани.

Активный слой состоял из 10 слоев $\text{InGaAs}/\text{GaAs}$ самоорганизующихся КТ в волноводном слое общей толщиной 430 nm. Волновод в перпендикулярном pn -переходу направлении образовывался буферными слоями $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с $x = 0.35$ толщиной $1.5 \mu\text{m}$. Одномодовая генерация обуславливалась волноводом шириной $7 \mu\text{m}$, сформированным травлением мелкой мезы до уровня $0.3 \mu\text{m}$ от волновода. Зазор в контакте между секциями составлял $25 \mu\text{m}$, что обеспечивало электрическую изоляцию более $50 \text{k}\Omega$. Глубина зазора также была на уровне мезы, при этом оценка коэффициента отражения составляет около 10^{-4} , что устраняет возможную генерацию посредством отражения от переходной области.

3. Результаты. Измерения проводились в непрерывном режиме при 25°C , отвод тепла обеспечивался медным держателем, к которому

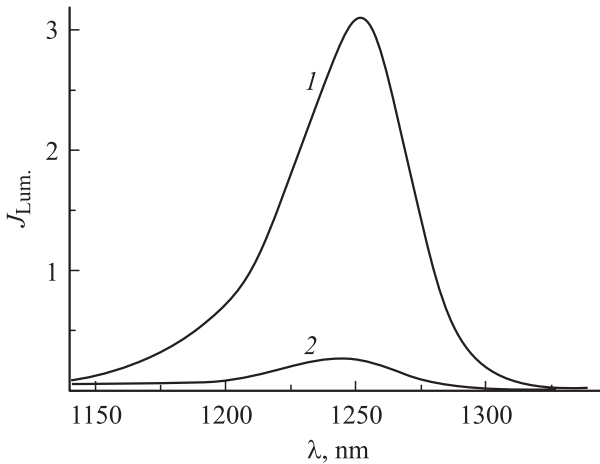


Рис. 2. Интенсивность люминесценции для TE (1) и TM (2) поляризации, плотность тока накачки $7 \text{A}/\text{cm}^2$.

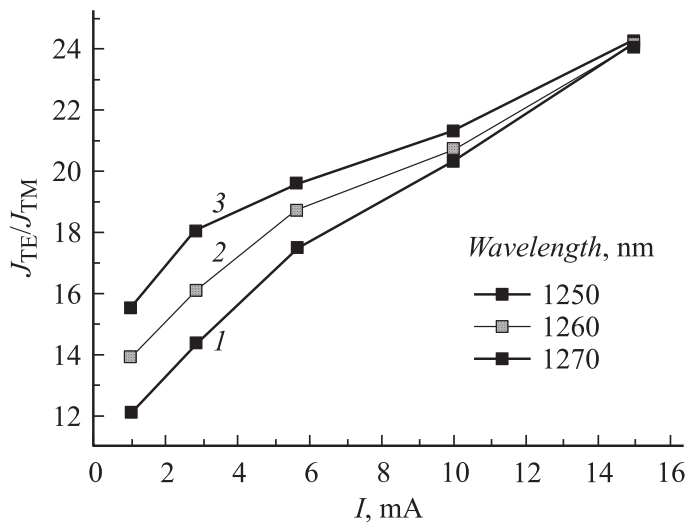


Рис. 3. Отношение интенсивностей ТЕ и ТМ мод в зависимости от тока при длинах волн 1250 (1), 12609 (2), 1270 (3) nm.

припаивались лазеры. Контроль качества образцов производился в лазерном режиме при одновременном смещении обеих секций в прямом направлении. В этом режиме внешняя дифференциальная квантовая эффективность с двух зеркал составила 52%, пороговая плотность тока 92 A/cm^2 . Эти параметры являются типичными для одномодовых лазеров на КТ данной длины. Излучение лазера собиралось объективом и после поляризатора на призме Глана фокусировалось на щели монохроматора. Малая апертура объектива обеспечивала пространственную селекцию основной моды волновода. Спектральная зависимость интенсивности излучения для ТЕ- и ТМ-поляризации представлена на рис. 2. Из рис. 2 видно, что интенсивность ТЕ-поляризации более чем на порядок выше интенсивности ТМ-поляризации, что объясняется как квантово-размерными эффектами, так и внутренними напряжениями материала КТ, отличных по форме от сферически-симметричного [16]. Вследствие этого уровень легких дырок смещается в сторону высоких энергий, и излучение в длинноволновой области идет через уровень тяжелых дырок, что приводит к большей интенсивности ТЕ-поляризации (рис. 2).

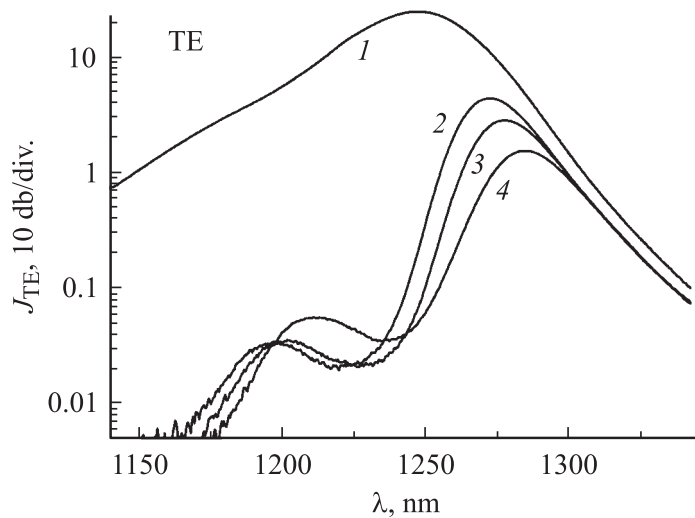


Рис. 4. Спектры до (1) и после поглощения при напряжениях на поглотителе 0.0 V (2), 3.6 (3) и 7.2 V (4).

Максимум ТМ-поляризации сдвинут в коротковолновую часть спектра, поэтому отношение интенсивностей разных поляризаций уменьшается с уменьшением длины волны (рис. 3). На рис. 4 представлены спектры излучения, полученные при выводе света через обратносмещенную секцию лазерной структуры при различных напряжениях смещения. Имеет место практически 100% ТЕ-поляризация. Отчетливо виден сдвиг максимума прошедшего излучения в длинноволновую область спектра. Этот сдвиг мы связываем с наличием эффекта Штарка в наших структурах с КТ.

Таким образом, в многослойных структурах InGaAs/GaAs с самоорганизующимися КТ имеет место преимущественно ТЕ-поляризация излучения и наблюдается смещение края поглощения в длинноволновую область спектра при увеличении напряжения обратного смещения в соответствии с эффектом Штарка.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-02-08088-офи).

Список литературы

- [1] Kuntz M., Fiol G., Lammlin M., Schubert C., Kovsh A.R., Jacob A., Umbach A., Bimberg D. // *Electronics letters*. 2005. V. 41. N 5. P. 244.
- [2] Gerschu"tz F., Fischer M., Koeth J., Chacinski M., Schatz R., Kjebon O., Kovsh A., Krestnikov I., Forchel A. // *Electronic letters*. 2006. V. 42. N 25. P. 1457.
- [3] Sugawara M., Hatori N., Ishida M., Ebe H., Arakawa Y., Akiyama T., Otsubo K., Yamamoto T., Nakata Y. // *J. Phys. D Appl. Phys.* 2005. V. 38. P. 2126.
- [4] Xiaodong Huang, Stintz A., Hua Li, Audra Rice, Liu G.T., Lester L.F., Julian Cheng, Malloy K.J. // *IEEE J. Quantum electronics*. 2001. V. 37. N 3. P. 414–417.
- [5] Ramdane A., Delprat D., Souli N., Devaux F., Ougazzaden A. // *J. Phys. (France)*. 1999. V. 9. P. 22.
- [6] El Dahdah N., Aubin G., Harmand J.-C., Ramdane A., Shen A., Devaux F., Garreau A., Benkelfat B.-E. // *Appl. Phys. Lett.* 2004. V. 84. P. 4268.
- [7] Edagawa N., Suzuki M., Yamamoto S. // *IEICE Trans. Electron.* 1998. V. E81-C. P. 1251.
- [8] Pamplona Pires M., Yavich B., Souza P.L. // *Appl. Phys. Lett.* 1999. V. 75. P. 271.
- [9] Aimez V., Beauvais J., Beerens J., Ng S.L., Ooi B.S. // *Appl. Phys. Lett.* 2001. V. 79. P. 3582.
- [10] Соболев М.М., Ковш А.Р., Устинов В.М., Егоров А.Ю., Жуков А.Е., Мусихин Ю.Г. // *ФТП*. 1999. Т. 33. В. 2. С. 184–193.
- [11] Соболев М.М., Цырлин Г.Э., Самсоненко Ю.Б., Поляков Н.К., Тонких А.А., Мусихин Ю.Г. // *ФТП*. 2005. Т. 39. В. 9. С. 1088–1092.
- [12] Sobolev M.M., Ustinov V.M., Cirlin G.E. // *Physica B*. 2003. V. 340–342. P. 1103–1107.
- [13] Соболев М.М., Цырлин Г.Э., Самсоненко Ю.Б., Поляков Н.К., Тонких А.А., Мусихин Ю.Г. // *ФТП*. 2005. Т. 39. В. 1. С. 126–129.
- [14] Соболев М.М., Жуков А.Е., Васильев А.П., Семенова Е.С., Михрин В.С., Цырлин Г.Э., Мусихин Ю.Г. // *ФТП*. 2006. Т. 40. В. 3. С. 336–342.
- [15] Gubenko A. et al. // *Electron. Lett.* 2005. V. 41. P. 1124–1125.
- [16] Karlsson K.F., Troncale V., Oberli D.Y., Malko A., Pelucchi E., Rudra A., Karon E. // *Appl. Phys. Lett.* 2006. V. 89. P. 251113.