

06:07

Влияние однородности накачки на перестройку током длины волны излучения диодных лазеров на основе InAsSb / InAsSbP

© Т.Н. Данилова, О.И. Евсеенко, А.Н. Именков, Н.М. Колчанова,
М.В. Степанов, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 30 октября 1997 г.

Исследована плавная перестройка длины волны излучения в диодных гетеролазерах на основе InAsSb / InAsSbP двух типов: трехслойных с совмещенным и пятислойных с разделенным электрическим и оптическим ограничением. В трехслойных структурах длина волны излучения сначала уменьшается на 2–4 Å с ростом тока, а затем увеличивается на 10–15 Å. В пятислойных структурах наблюдается в основном уменьшение длины волны излучения. Полученное различие объясняется лучшим растеканием носителей заряда по объему активной области в пятислойных структурах по сравнению с трехслойными.

1. Диодные лазерные структуры на основе узкозонных материалов имеют линии генерации в той области спектра, где находятся близко расположенные линии поглощения многих природных и промышленных газов. Поэтому плавно перестраиваемые безынерционные диодные лазеры могут быть применены для целей лазерной спектроскопии высокого разрешения. Они также могут быть использованы в оптической связи, так как позволяют осуществить частотную модуляцию оптического сигнала.

Необходимая плавная перестройка длины волны излучения обнаружена в лазерах с узкозонным слоем InAsSb и ограничительными слоями InAsSbP как на основе трехслойных структур с совмещенным электронным и оптическим ограничением [1–4], так и на основе пятислойных структур с отдельным ограничением [5].

Перестройка наблюдалась как в процессе импульса тока [1,2], так и при изменении тока накачки [3,4]. Причем в [4] обнаружена перестройка, происходящая со скоростью, превышающей скорость тепловой

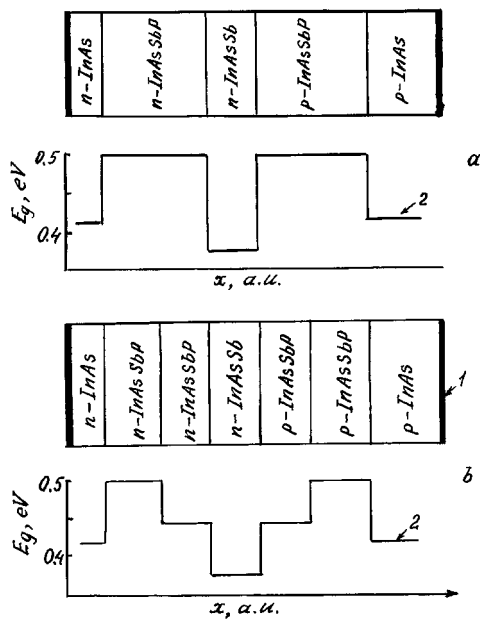


Рис. 1. Схема расположения слоев в лазерной структуре (1), послойное распределение ширины запрещенной зоны (2) в трехслойных (а) и пятислойных (б) структурах.

релаксации. При превышениях над порогом менее 5–40% длина волны излучения уменьшается с током, а при более высоких превышениях увеличивается. Уменьшение длины волны связывается с увеличением концентрации неравновесных носителей заряда, а увеличение — с самофокусировкой излучения.

В данной работе ставилась задача выявления влияния изменения концентрации носителей заряда и пространственного распределения излучения в диодном лазере. Для этого сопоставлялись характеристики в трех- и пятислойных структурах, где однородность накачки сильно различается, а следовательно, различается и однородность распределения носителей заряда.

2. Способ получения и основные электрические характеристики их описаны в [1,5]. На рис. 1 представлены схемы расположения слоев в

лазерной структуре (1) и послойное распределение ширины запрещенной зоны (2) в трехслойных (а) и пятислойных (б) структурах. Следует подчеркнуть, что концентрация равновесных носителей в узкозонной области и ширина ее запрещенной зоны E_g были одинаковыми в обоих типах структур. Одинаковыми были также параметры широкозонных ограничительных слоев. Пятислойные структуры отличались от трехслойных структур наличием только слоев толщиной $0.5-0.7 \mu\text{m}$ с промежуточным значением ширины запрещенной зоны по обе стороны от узкозонной области. Исследуемые лазеры имели длину резонатора $300-400 \mu\text{m}$ и ширину полоска $18-20 \mu\text{m}$.

На такого типа структурах изучены спектральный состав излучения, диаграммы направленности лазерного излучения в плоскости $p-n$ -перехода и получена перестройка длины волны генерации током в пределах одной моды как в красную, так и в синюю область спектра [4,5]. Перестройка частоты излучения измерялась при пропускании излучения через внешний резонатор с изменяемой оптической длиной. Лазер питался постоянным током, на который накладывался импульс с пилообразно возрастающим во времени током. Постоянный ток устанавливался равным пороговому значению тока I_{th} . Амплитуда пилообразного тока выбиралась с таким расчетом, чтобы при всех значениях пилообразного тока I лазер работал с преимуществом одной моды. Обе структуры исследовались в интервале температур $77-90 \text{ K}$.

3. Полученные результаты сводятся к следующему. Длина волны излучения лазеров при температуре 77 K находилась в пределах $3.2-3.4 \mu\text{m}$. В обоих типах структур при питании лазеров пилообразными импульсами тока (рис. 2, а) излучение, прошедшее через внешний резонатор, также оказывалось пилообразным и промодулированным синусоидой (рис. 2, б, в). Форма импульсов излучения не зависит от частоты следования пилообразных импульсов вплоть до частот в сотни килогерц. Модуляция возникает из-за изменения частоты генерации лазера, когда она пробегает по собственным частотам внешнего резонатора. Увеличение оптической длины внешнего резонатора в обеих структурах вызывает разбегание волн из некоторой точки (точка нулевого смещения) на импульсе излучения (рис. 2). Это свидетельствует об уменьшении длины волны генерируемого излучения с ростом тока при токах, меньших токов, соответствующих этой точке (синее смещение), и об ее увеличении при больших токах (красное смещение). Для трехслойных структур (рис. 3, а, кривая 1) точка "нулевого смещения"

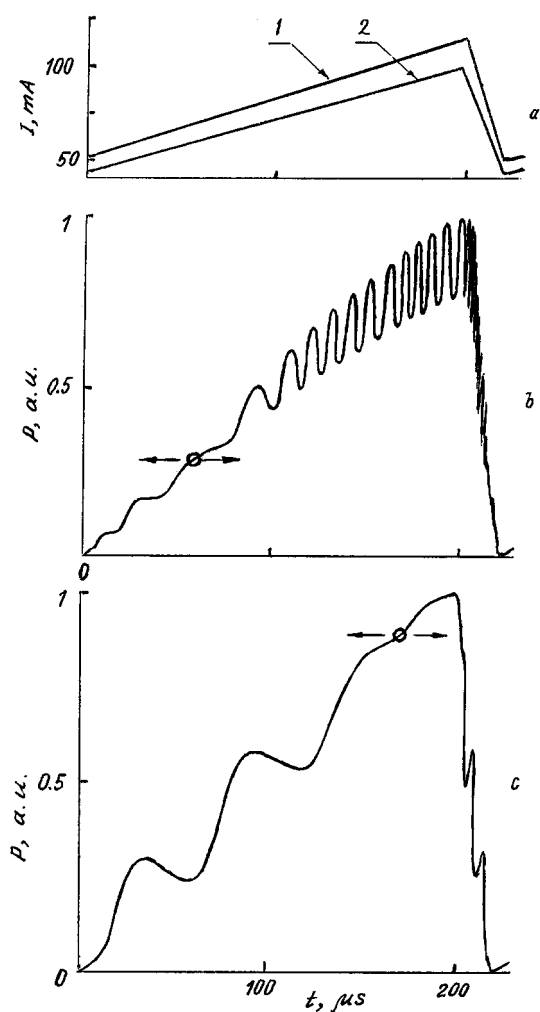


Рис. 2. Осциллограмма питающего тока (а) для трехслойной структуры (1) и пятислойной структуры (2). Интенсивность лазерного излучения, прошедшего через внешний резонатор Фабри-Перо для трехслойной структуры (b) и пятислойной структуры (c).

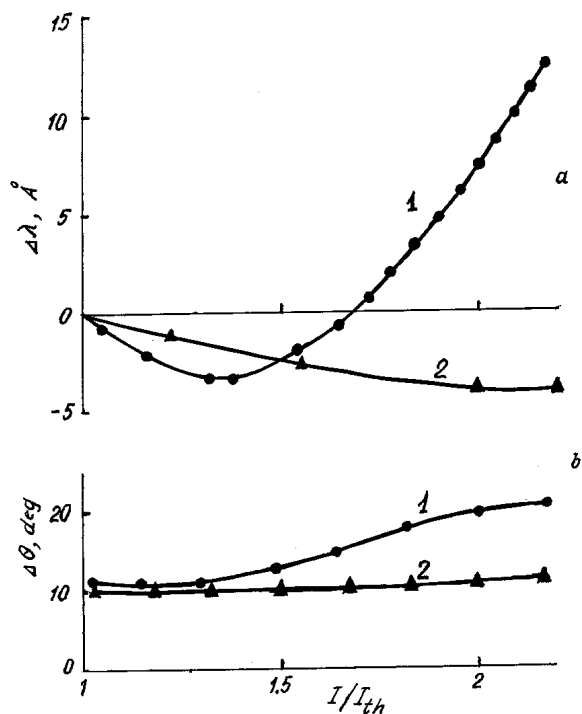


Рис. 3. Зависимость изменения длины волны лазерного излучения $\Delta\lambda$ (a) и полуширины диаграммы направленности $\Delta\Theta$ (b) с изменением величины отношения тока к пороговому току I/I_{th} при азотной температуре для трехслойных (1) и пятислойных лазеров (2).

длины волны излучения соответствует превышению тока над его пороговым значением на 5–40%. При дальнейшем увеличении тока I синее смещение сменяется на красное смещение. В пятислойных структурах (рис. 3, a, кривая 2) до больших токов ($I \geq 1.8I_{th}$) преобладает синее смещение, которое сменяется на красное только при токах I около $2I_{th}$. Практически в пятислойных структурах удается хорошо наблюдать лишь синее смещение, так как увеличение тока свыше двух пороговых значений приводит к переключению лазера на другую моду.

В трехслойных структурах (рис. 3, *a*, кривая 1) длина волны излучения сначала уменьшается на 2–4 Å, а затем увеличивается на 10–15 Å. В пятислойных структурах (рис. 3, *a*, кривая 2) наблюдается в основном уменьшение длины волны на 4–5 Å.

Полуширина диаграммы направленности с ростом тока больше порогового в пятислойных структурах (рис. 3, *b*, кривая 2) почти не изменяется при $2I_{th} > I > I_{th}$ и составляет 10–12°. В трехслойных (рис. 3, *b*, кривая 1) она также почти не изменяется и сохраняет свою величину при превышениях тока над порогом до 40%, а затем увеличивается, достигая 20° при $I = 2I_{th}$. Наблюдается четкая корреляция между изменением диаграммы направленности и изменением длины волны генерации. При независимости диаграммы направленности от тока происходит смещение линии генерации с ростом тока в коротковолновую сторону, а по мере расширения диаграммы направленности линия излучения смещается в длинноволновую сторону.

Изложенные закономерности наблюдаются в интервале температур 77–90 К. Однако при повышении температуры интервалы изменения длины волны излучения с током уменьшаются, так как уменьшается интервал работы лазера в одномодовом режиме.

Из исследования лазерного излучения в структурах двух типов, отличающихся только наличием или отсутствием более широкозонных, чем активная область, но более узкозонных, чем слои оптического ограничения, слоев между активной областью и слоями оптического ограничения следует три вывода:

— Характерной чертой изменения длины волны лазерного излучения с ростом тока является сначала ее уменьшение, а далее возрастание.

— В трехслойных структурах уменьшение сменяется возрастанием при токах, превышающих пороговый на 5–40%, а в пятислойных на 80–100%.

— Скорость ответа на изменение тока превышает скорость тепловой релаксации.

4. Проанализируем экспериментальные результаты. Практически безынерционное уменьшение длины волны лазерного излучения с током связывалось в работе [4] с увеличением концентрации носителей заряда, а дальнейшее ее увеличение — с самофокусировкой излучения при соответствующих изменениях коэффициента преломления. Наличие самофокусировки излучения подтверждается расширением диаграммы направленности.

Действительно, увеличение количества слоев с соответствующим уменьшением высоты гетеробарьеров между ними в пятислойных структурах по сравнению с трехслойными должно увеличивать растекание носителей заряда с выравниванием их концентрации по объему активной области. Скорость накачки при этом легко увеличивается в тех местах структуры, где больше генерируется излучение. Изменение коэффициента преломления по ширине полоска, связанное с изменением плотности излучения, и его зависимость от тока сильно ослабляются. Тогда как в трехслойных структурах скорость накачки более независима от плотности излучения. Поскольку при фиксированной плотности накачки увеличение интенсивности излучения приводит к уменьшению концентрации носителей заряда, то координатная зависимость коэффициента преломления и его изменение с током, непосредственно связанные с концентрацией носителей заряда, должны быть максимальными в структурах с не зависящей от интенсивности лазерного излучения плотностью накачки. Вероятно, в трехслойных структурах это условие легче удовлетворяется. В результате в них наблюдается и уменьшение длины волны излучения с током, и смена ее уменьшения на увеличение при относительно небольших превышениях тока над пороговым значением, а также дальнейшее сильное увеличение длины волны излучения.

Улучшение растекания неравновесных носителей по объему активной области в принципе не должно сильно влиять на интервалы изменения длины волны излучения как в сторону ее уменьшения, так и в сторону ее увеличения, но должно ослаблять ее зависимость от тока. Вероятно, этим обстоятельством можно объяснить равенство изменений длины волны излучения в коротковолновую сторону в пятислойных и трехслойных структурах, а также увеличение значения тока, при котором ее уменьшение сменяется увеличением, в пятислойных структурах по сравнению с трехслойными (рис. 3, *a*).

Таким образом, исследования перестройки длины волны лазерного излучения в двух типах структур, отличающихся только наличием или отсутствием промежуточных слоев между узкозонной активной областью и широкозонными ограничивающими областями, показало существенную роль в характере наблюдаемой перестройки нелинейных оптических явлений, вызванных связью коэффициента преломления с интенсивностью генерируемого лазерного излучения и однородностью накачки.

Работа была поддержана частично грантом Министерства науки РФ по программе "Оптика и лазерная физика" и частично контрактом INCO-Copernicus N PL965093.

Список литературы

- [1] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Еришов О.Г., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 22. С. 6–10.
- [2] Яковлев Ю.П., Баранов А.Н., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Степанов Е.В., Понуровский А.Я. // Квант. электрон. 1993. Т. 20. № 9. С. 839–842.
- [3] Baranov A.N., Imenkov A.N., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu.P. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. N 19. P. 2480–2482.
- [4] Данилова Т.Н., Евсеенко О.И., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 16. С. 7–11.
- [5] Данилова Т.Н., Евсеенко О.И., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1997. Т. 31, № 6. С. 662–665.