

06;07

Лазеры на основе InAsSb/InAsSbP гетероструктур с большим диапазоном токовой перестройки частоты генерации

© Т.Н. Данилова, А.П. Данилова, 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 13 мая 1999 г.

Приведен анализ спектров генерации и смещения положения мод в интервале токов (1–5) I_{th} при различных способах накачки неравновесных носителей заряда. Показано, что способ накачки не влияет на характер перестройки линии излучения. Большой диапазон коротковолновой перестройки (до 50 Å) не обусловлен нагревом кристаллической решетки материала активной области, а связан с неоднородным распределением концентрации неравновесных носителей заряда по ширине полоска.

1. Важным элементом диодных лазерных спектрометров сверхвысокого разрешения является перестраиваемый по частоте диодный полупроводниковый лазер с высоким быстродействием. О безынерционной плавной перестройке током частоты генерации диодных лазеров на основе InAsSb/InAsSbP гетероструктур, излучающих на длине волны около 3.3 μm , нами сообщалось уже ранее [1–7]. Была обнаружена плавная перестройка частоты генерации диодного лазера при изменении тока в область как больших, так и меньших длин волн, происходящая со скоростью, превышающей скорость тепловой релаксации [1]. В работе [6] в лазерных структурах на основе InAsSb/InAsSbP получено изменение длины волны излучения на 15 Å в одномодовом режиме генерации, т.е. в режиме, когда интенсивность преобладающей моды превышает суммарную интенсивность остальных мод. В работе [4] сообщалось о перестройке длины волны излучения в коротковолновую область в структурах с малой шириной полоска (10 μm) в одномодовом режиме на 30 Å при общем сдвиге одной моды на 55 Å.

Целью данной работы является получение более широкой области перестройки длины волны лазерного излучения в одномодовом режиме

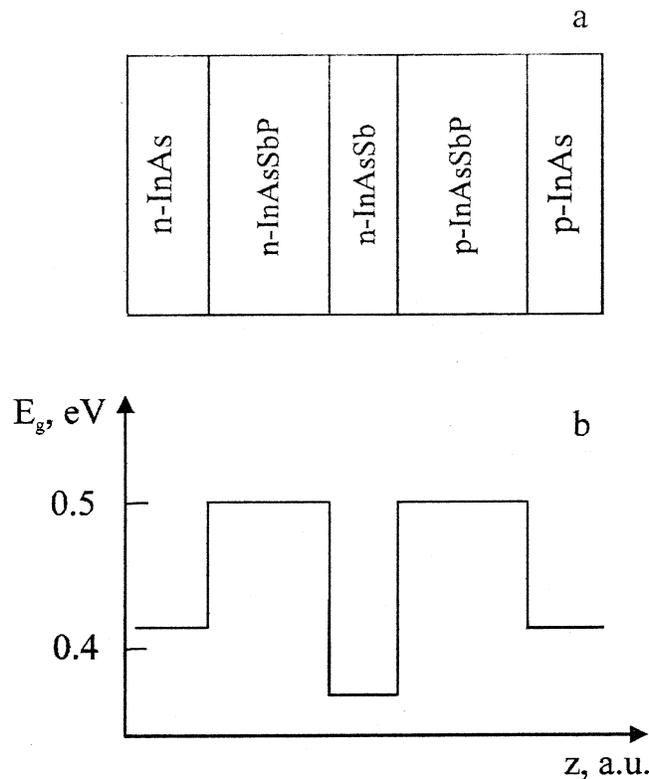


Рис. 1. Исследуемая лазерная структура: *a* — расположение слоев, *b* — энергетическая диаграмма.

генерации и выяснение влияния способа накачки неравновесных носителей заряда на процессы перестройки. Для этого были исследованы лазеры с большей шириной полоска, чем в работе [4].

2. Были исследованы лазерные диоды на основе двойных гетероструктур $N\text{-InAsSb}_{0.17}\text{P}_{0.35}/n\text{-InAsSb}_{0.05}/P\text{-InAsSb}_{0.17}\text{P}_{0.35}$, полученные методом жидкофазной эпитаксии на подложке из $p\text{-InAs}$, концентрация дырок в которой составляла $(5-8) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Толщина активной области была $1 \mu\text{m}$, а широкозонных эмиттеров — $3 \mu\text{m}$. Активная

область специально не легировалась. Концентрация электронов в ней составляла 10^{16} cm^{-3} . Слой *N*-InAsSbP был легирован Sn до концентрации электронов около $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, слой *P*-InAsSbP был легирован Zn до концентрации $(2-5) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Схема расположения слоев и энергетическая диаграмма диодных структур представлена на рис. 1.

На выращенных структурах методом фотолитографии формировались мезополоски шириной $16 \mu\text{m}$. Резонаторы Фабри-Перо длиной $250-375 \mu\text{m}$ были получены путем скалывания. Ширина лазера в области подложки составляла $500 \mu\text{m}$, толщина подложки — около $100 \mu\text{m}$.

Исследования проводились при температуре жидкого азота при различных способах накачки неравновесных носителей заряда: в непрерывном режиме, при питании лазера короткими импульсами тока длительностью 0.04 ms со скважностью 100, пилообразными импульсами с частотой следования от 10^2 до 10^4 Hz и прямоугольными импульсами со скважностью 2 ("меандр") с частотой следования 36 Hz .

На диодных лазерных структурах изучался спектральный состав излучения при различных способах питания и величинах тока накачки в интервале от порогового значения I_{th} до $5 I_{th}$. При питании лазера пилообразными импульсами тока измерялось смещение моды излучения с использованием резонатора Фабри-Перо.

3. Спектр излучения лазерных диодов вблизи порога генерации при различных способах накачки представлен на рис. 2. Одна мода имеется при всех токах независимо от способа накачки. При токах около $3 I_{th}$ появляются более коротковолновые моды, дающие до 10% вклада в суммарную интенсивность излучения. С увеличением тока накачки от $3 I_{th}$ до $5 I_{th}$ интенсивность коротковолновых мод растет сильнее, чем интенсивность ранее наблюдавшейся моды, и при $I > 3.5 I_{th}$ интенсивность ранее преобладавшей моды оказывается меньше суммы интенсивностей всех других мод. Режим перестает быть одномодовым.

При увеличении тока, как и в предыдущих работах [1-7], мы наблюдали плавное смещение длины волны генерации как в коротковолновую, так и в длинноволновую область спектра (рис. 3). При малых токах ($I < 1.8 I_{th}$) имел место сдвиг длины волны излучения в сторону больших значений примерно на 10 \AA . При дальнейшем увеличении тока мода плавно сдвигается в коротковолновую сторону. При токах около $3.5 I_{th}$ изменение длины волны с током замедляется, спектр перестает быть одномодовым. Общая величина коротковолнового смещения первоначальной моды излучения в одномодовом режиме в интервале

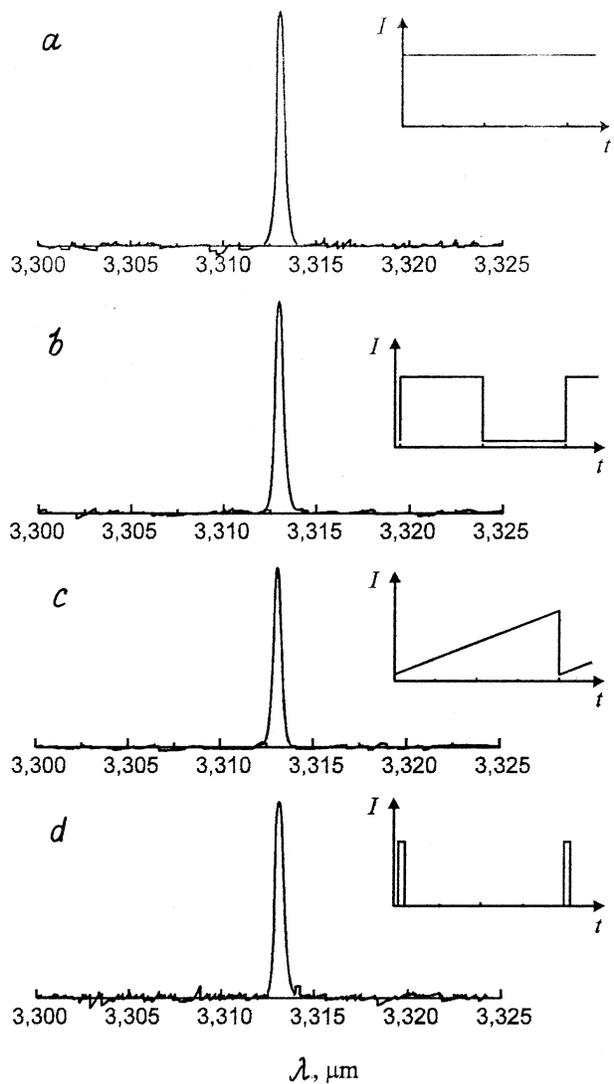


Рис. 2. Спектры лазерного излучения при различных способах питания лазера V-12152-71 при $I = 1.1 I_{th}$: *a* — постоянным током, *b* — прямоугольными импульсами типа меандр, *c* — пилообразными импульсами, *d* — короткими импульсами.

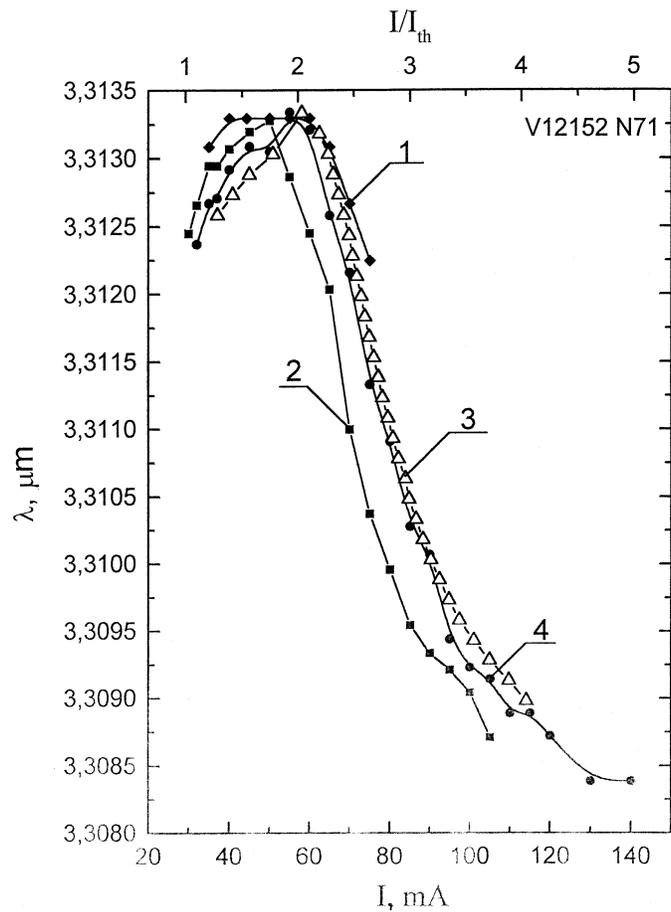


Рис. 3. Изменение длины волны генерации лазера V-12152-71 при питании диода: постоянным током (1), прямоугольными импульсами со скважностью 2 типа меандр (2), пилообразными импульсами (3) и короткими импульсами (4).

токов $(1.8-3.5)I_{th}$ составляла 42 \AA , т.е. больше, чем в работе [4], на 40%. В интервале токов $(3.5-4.5)I_{th}$ эта мода сместилась еще на 8 \AA . Общее смещение моды составляло 50 \AA . В этой серии образцов смещение в коротковолновую область спектра происходило в пределах

всего межмодового расстояния. Измерения спектров излучения при различных способах питания не обнаружили каких-либо отличий в характере и величине изменения длины волны излучения с током, что свидетельствует об отсутствии нагревания кристаллической решетки материала активной области при подаче питания на лазерную структуру разными способами.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты говорят о том, что значительная коротковолновая перестройка длины волны генерации не обусловлена нагреванием, а связана с процессами генерации излучения.

4. Первоначальное увеличение длины волны излучения с ростом тока до $1.8 I_{th}$ уже связывалось в работах [1,6,7] с самофокусировкой излучения при однородной инжекции. При токах около $1.8 I_{th}$ в исследованных лазерах дифференциальное сопротивление $p-n$ -перехода становится меньше сопротивления подложки. Поэтому подложка начинает влиять на растекание тока по ширине полоска. Из-за того, что ширина подложки значительно больше, чем ширина полоска, плотность тока у краев полоска становится больше, чем в его середине. Это различие увеличивается с ростом тока, приводя к уменьшению диэлектрической проницаемости и соответственно к уменьшению длины волны излучения. Надо отметить, что этот эффект сильнее влияет на длину волны излучения, чем самофокусировка, т. е. неравномерная инжекция из подложки приводит к значительно большему повышению концентрации неравновесных носителей заряда на краях полоска, чем отсутствие здесь лазерного излучения.

Концентрация неравновесных носителей заряда контролируется временем их жизни, которое составляет $10^{-9} - 10^{-8}$ s, что значительно меньше длительностей используемых импульсов накачки. Поэтому зависимость длины волны излучения от тока оказалась одинаковой при различных видах накачки.

Таким образом, на двойных гетероструктурах на основе InAsSb/InAsSbP было получено смещение длины волны излучения в коротковолновую сторону до 50 \AA . Анализ спектров генерации и смещения положения мод в широком интервале токов при различных способах накачки неравновесных носителей заряда показал, что способ накачки не влияет на характер перестройки линии излучения. Коротковолновая перестройка связана не с нагревом кристаллической решетки материала активной области, а с неоднородным распределением концентрации неравновесных носителей заряда по ширине полоска.

Список литературы

- [1] Данилова Т.Н., Евсеенко О.И., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1966. Т. 22 В. 7.
- [2] 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. С. 662.
- [3] Данилова Т.Н., Данилова А.П., Еришов О.Г., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1997. Т. 31. С. 1119.
- [4] Данилова Т.Н., Данилова А.П., Еришов О.Г., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1998. Т. 32. С. 373.
- [5] Данилова Т.Н., Данилова А.П., Еришов О.Г., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1998. Т. 32. С. 373.
- [6] Данилова Т.Н., Евсеенко О.И., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 6. С. 77.
- [7] Данилова Т.Н., Данилова А.П., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1999 (в печати).