

06.3;07

©1995

БЫСТРАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ДЛИНЫ ВОЛНЫ 1.8 МКМ GaInAsSb ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

А. Н. Именков, А. А. Попов, Ю. П. Яковлев

1. Способность к прямой модуляции частоты генерации током инжекции является одним из основных требований к одночастотным диодным лазерам для спектральных приложений. Для лазеров ближнего инфракрасного диапазона (на основе GaAs и InP) основные модуляционные характеристики исследовались [1]. GaInAsSb полупроводниковые лазеры среднего инфракрасного диапазона сравнительно новы, и их свойства не исследовались столь подробно. Однако наличие наиболее длинноволновой генерации при комнатной температуре и в безопасной для глаз области спектра, содержащей полосы поглощения большого числа экологических загрязнителей, делает их перспективными объектами, вызывающими возрастающий интерес. Недавно одночастотный режим в диапазоне длин волн 1.81–2.1 мкм для таких лазеров был продемонстрирован [2,3].

В настоящей работе впервые сообщается об исследовании быстрой перестройки длины волны генерации импульсным током инжекции в GaInAsSb/GaSb зарощенных канальных лазерах. Такой способ модуляции длины волны генерации перспективен для перестраиваемой диодной лазерной спектроскопии [4].

2. Исследовались двойные гетероструктурные лазеры раздельного ограничения с активной областью n -Ga_{0.92}In_{0.08}As_{0.07}Sb_{0.93} (рис. 1). Поперечное электронное и оптическое ограничение создавалось слоями GaSb и Ga_{0.66}Al_{0.34}As_{0.02}Sb_{0.98}, которые симметрично ограничивали активную область с обеих сторон. Зарощенная 12-мкм канальная серповидная конструкция (рис. 1) формировала ограничение в боковом направлении. Слой p -GaSb использовался в качестве контактного. Толщина активной области составляла 1.0 мкм, слоев GaSb — по 0.5 мкм, GaAlAsSb — по 2.5 мкм, контактного — 0.8 мкм. Исследованные структуры были выращены методом жидкофазной эпитаксии. Лазерные диоды с длиной резонатора Фабри-Перо 150–250 мкм образовывались скалыванием и крепились подложкой к стандартному корпусу ТО-18.

Лазеры тестировались при комнатной температуре в импульсном режиме накачки. Длительность импульса составляла

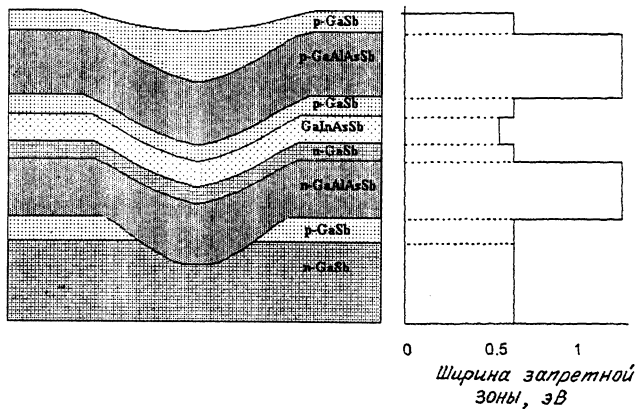


Рис. 1. Схема исследованных диодных лазеров зарощенной канальной серповидной конструкции.

вляла 160 нс, частота повторения — 5 кГц. Спектр излучения контролировался на монохроматоре МДР-2 с разрешением лучше 0.2 нм, характеристики ток-напряжение и излучение-ток — на импульсном характериографе. Отбирались одночастотные лазеры с длиной волны генерации 1.81 мкм при комнатной температуре. Исследовалась перестройка частоты генерации при температурах от 160 до 300 К и различных амплитудах (0.2–3 А) и длительностях импульса (2–100 мкс) инжекционного тока. Излучение пропусклось через эталон Фабри–Перо, изготовленный в виде пластины полуизолирующего кремния толщиной 600 мкм, который служил амплитудно-частотным дискриминатором. Оптический сигнал детектировался GaInAsSb фотодетектором, усиливался дифференциальным усилителем с быстродействием 30 нс и регистрировался на экране осциллографа С1-91.

3. Рассмотрим характеристики, полученные при комнатной температуре. Из характеристик ток-напряжение следует, что напряжение отсечки составляет 0.7 В, а последовательное сопротивление 1 Ом. По характеристике излучение-ток, пороговый ток I_{th} для лазеров с длиной резонатора 150–250 мкм составлял 1.2–1.8 А. Импульс излучения, прошедшего через эталон Фабри–Перо при питании лазерного диода прямоугольным импульсом тока, оказывается промодулирован по амплитуде синусоидой (рис. 2) с изменяющимся периодом и фазой. У первоначально возникшей синусоиды вначале период постепенно увеличивается, затем эта синусоида обрывается и возникает новая. Смена синусоид сопровождается скачком фазы. Период новой синусоиды продолжает увеличиваться. Средняя амплитуда излучения уменьшается вначале плавно, а затем резко, вплоть до исчезновения излучения. При температуре око-

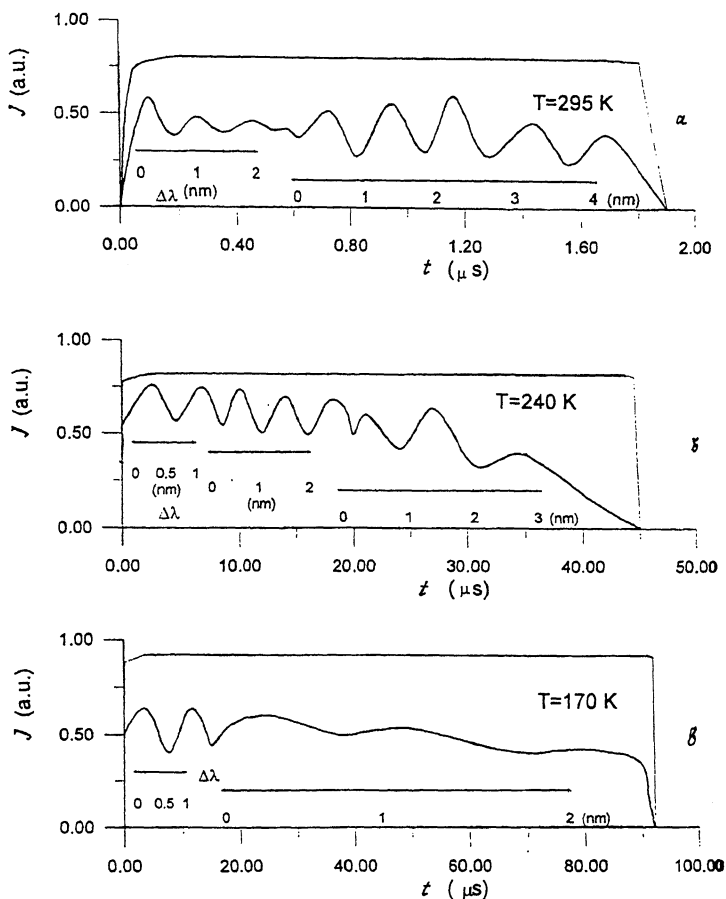


Рис. 2. Модуляционные характеристики лазерных диодов с длиной резонатора 150 нм и при двукратном превышении порогового тока ($I = 2I_{th}$). Верхняя кривая — импульс тока инжекции, нижняя — амплитуда излучения, прошедшего через эталон Фабри-Перо. Под модуляционной кривой дополнительно построены оси, демонстрирующие масштаб перестройки длины волны. Температура на корпусе диодного лазера: *a* — 295 K ($I_{th} = 1.4$ A), *б* — 240 K ($I_{th} = 0.24$ A), *в* — 170 K ($I_{th} = 0.15$ A).

ло комнатной можно наблюдать одну либо две синусоиды (рис. 2, *a*). При температуре 160–260 K количество синусоид увеличивается (рис. 2, *б*). Особенно сильно период синусоиды возрастает при температуре $T < 200$ K (рис. 2, *в*).

4. Рассмотрим полученные результаты. Каждая синусоида соответствует, естественно, своей лазерной моде. Период синусоиды — перестройке длины волны моды $\lambda^2 / (2nL) = 1$ нм, где λ — длина волны излучения лазера,

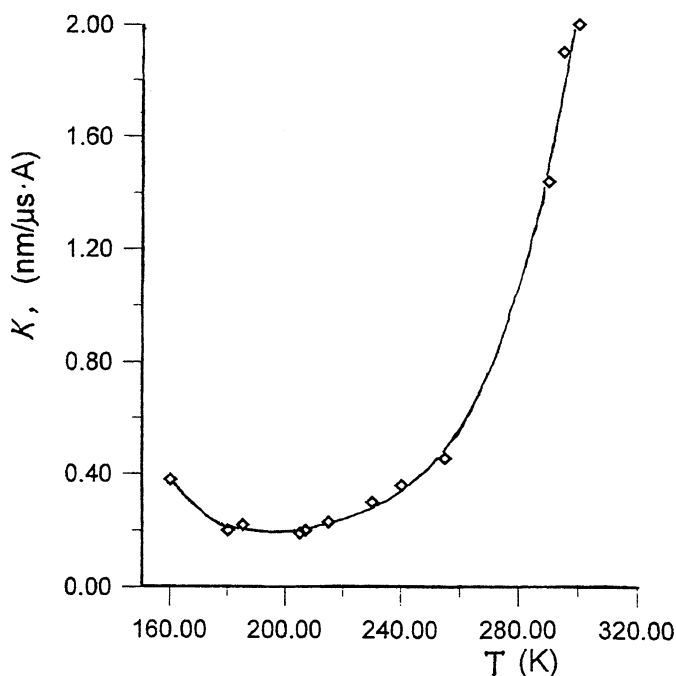


Рис. 3. Зависимость скорости перестройки K частоты генерации лазера с длиной резонатора 150 мкм в зависимости от температуры корпуса.

n и L — показатель преломления и длина резонатора. Характеристики синусоиды позволяют определить интервал перестройки каждой моды и скорость перестройки. Так получены шкалы $\Delta\lambda$; на рис. 2. Видно, что первоначальная мода при комнатной температуре перестраивается на 2.5 нм за время 0.6 мкс. С понижением температуры интервал перестройки постепенно уменьшается (до 1.3 нм при 170 К), а время перестройки увеличивается (до 13 мкс при 170 К). В интервале температур 160–240 К диапазон перестройки в 2 раза меньше, чем при комнатной температуре, из-за малой скорости перестройки. Скорость перестройки в лазерах с длиной резонатора 150 мкм (рис. 3) при комнатной температуре составляет 2 нм/А · мкс. Скорость перестройки с понижением температуры от 300 до 200 К уменьшается в 10 раз, а затем слегка увеличивается (в 2 раза при 170 К). Скорость перестройки здесь оказывается малой из-за малости коэффициента термического расширения кристалла. С увеличением длины резонатора из-за увеличения объема активной области наблюдается уменьшение скорости перестройки. Модуляционные характеристики позволяют оценить время перестройки, в течение которого сохраняется

когерентность излучения. При комнатной температуре это время составляет не менее 0.6 мкс и возрастает до 17 мкс с понижением температуры. При всех температурах скорость смещения контура усиления больше скорости смещения моды, так как при всех температурах можно наблюдать перескок моды. Однако при температуре вблизи комнатной эти скорости становятся близки и диапазон перестройки одной моды (2.5 нм для первой моды) приближается к межмодовому интервалу (3 нм при длине резонатора 150 мкм). Для второй моды диапазон перестройки (4 нм) получается даже больше межмодового интервала. Существование в спектре излучения лишь одной моды объясняется тем, что длительность импульса недостаточна для перескока лазера на другую моду. Основной причиной изменения длины волны генерации в течение импульса является нагревание активной области лазера током, поскольку интенсивность излучения уменьшается в процессе импульса. Однако если в начале импульса скорость перестройки высока и большая часть энергии идет на генерацию излучения и перестройку, то во второй части скорость перестройки существенно замедляется из-за начавшегося растекания тепла от активной области и снижения эффективности преобразования. Генерация пропадает, когда пороговый ток из-за нагревания активной области возрастает и становится равным току в импульсе.

Таким образом, показано наличие быстрой перестройки длины волны генерации зарощенных канальных серповидных лазеров на основе GaInAsSb, излучающих на длинах волн 1.8–2.1 мкм, в течение импульса. Измерены в интервале температур 160–300 К скорости перестройки. Даны оценки времени когерентности излучения в процессе перестройки. Получено, что при комнатной температуре диапазон перестройки близок к величине межмодового интервала.

Работа была поддержана Международным научным фондом по гранту R6B000.

Список литературы

- [1] Елисеев П.Г. Введение в физику полупроводниковых лазеров. М.: Наука, 1983.
- [2] Именков А.Н., Кондратьев В.С., Попов А.А., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 23. С. 13–18.
- [3] Choi H.K., Eglash S.J., Connors M.K. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 63. N 24. P. 3271–3272.
- [4] Siahataev S., Hochuli U.E. // IEEE J. Quant. Electron. 1969. V. QE-5. P. 295–298.

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

Поступило в Редакцию
28 февраля 1995 г.