

Исследование kink-эффекта в полупроводниковых лазерах

В. М. Стецик, В. В. Суринович, В. А. Радион

Белорусский государственный университет, Минск; e-mail: stetsik@bsu.by

В работе рассмотрена перестройка частоты излучения полупроводниковых лазеров с квантовыми ямами вблизи kink-эффекта. Рабочим инструментом являлся интерферометр Майкельсона, с изменяющейся разностью плеч. В области kink-эффекта скорость перестройки частоты значительно понижалась, после прохождения по току этой области скорость перестройки значительно возрастала и могла быть более чем в два раза выше перестройки до kink-эффекта. Это объясняется изменением показателя преломления в следствие изменения объема генерирующей модуль.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, интерферометр Майкельсона, пилообразный импульс накачки, kink-эффект.

Введение

Для лазеров алферовского типа (с $p-n$ -переходом) было посвящено малое количество работ, в которых было обнаружено, что многие образцы таких лазеров имели излом ватт-амперной характеристики (kink эффект). Этот эффект объяснялся либо изменением распределения интенсивности излучения на передней грани полупроводникового лазера, либо самофокусировкой излучения в узком волноводе. Оба эти эффекта в своей основе имеют, по-видимому, неоднородность накачки или неоднородность оптических свойств материала волновода.

Для лазеров с квантовыми ямами данный вопрос освещён слабо. И кроме того улучшение технологий изготовления полупроводниковых лазеров не привело к устранению неоднородности распределения интенсивности излучения. В особенности борьба с этим важна для мощных полупроводниковых лазеров, поэтому продолжение исследования кинк эффекта на сегодняшний день является актуальной темой.

Объектами исследования были выбраны лазеры видимого диапазона $\lambda = 650$ нм, номинальной мощностью излучения 10 мВт, с шириной полоскового контакта 5 мкм, длина кристалла составляла 250 мкм. (AlGaAsP)

Для исследования распределения интенсивности излучения использовался микроскоп с высоким коэффициентом увеличения. Передняя грань исследуемого полупроводникового лазера устанавливалась в фокальной плоскости микроскопа. Увеличенное изображение (порядка 2000) проецировалось на ПЗС линейку TCD 1304AP. Сечение в плоскости волновода увеличенного изображения передней грани визуализировалось с помощью компьютера. Данная установка позволяла фиксировать изменение распределения интенсивности на грани резонатора полупроводникового лазера при изменении тока накачки.

Экспериментальная установка для изучения перестройки частоты генерации включала в себя интерферометр Майкельсона, одно из плеч которой снабжалось микрометрической подвижкой, которая позволяла с высокой степенью точности (5 мкм) осуществлять перемещение зеркала для достижения разности хода лучей в плечах интерферометра кратной оптической длине резонатора лазера $L_{\text{опт}}$.

При линейном пилообразном токе накачки и линейном изменении концентрации носителей и показателя преломления частота излучения должна изменяться линейно. Вследствие разности плеч интерферометра Майкельсона данное изменение частоты будет происходить с задержкой, поэтому на экране осциллографа мы будем фиксировать постоянную низкочастотную составляющую.

Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлен пилообразный импульс тока накачки полупроводникового лазера № 1 и соответствующее изменение его выходной мощности. На мощностной характеристике виден «kink» эффект в диапазоне токов от 21 мА до 5 мА.

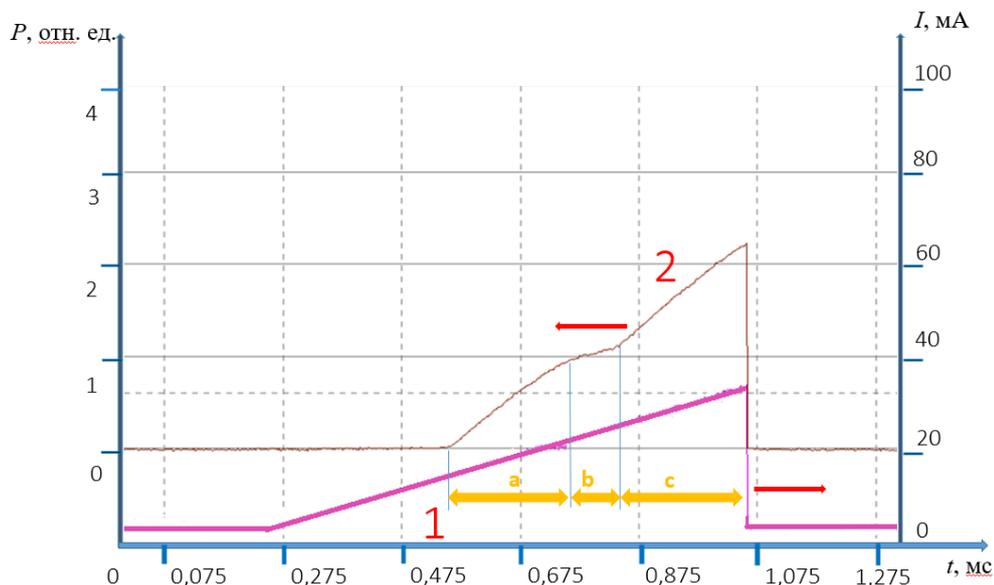


Рис. 1. – Пилообразный импульс тока накачки (1) и изменение интенсивности излучения (2) для лазера № 1.

На рис. 2 на участке «а» коэффициент перестройки частоты генерации с изменением тока накачки составил 4 ГГц/мА, на участке «с» – 4,8 ГГц/мА. Формула для расчёта перестройки частоты излучения приведена в левом углу рисунка.

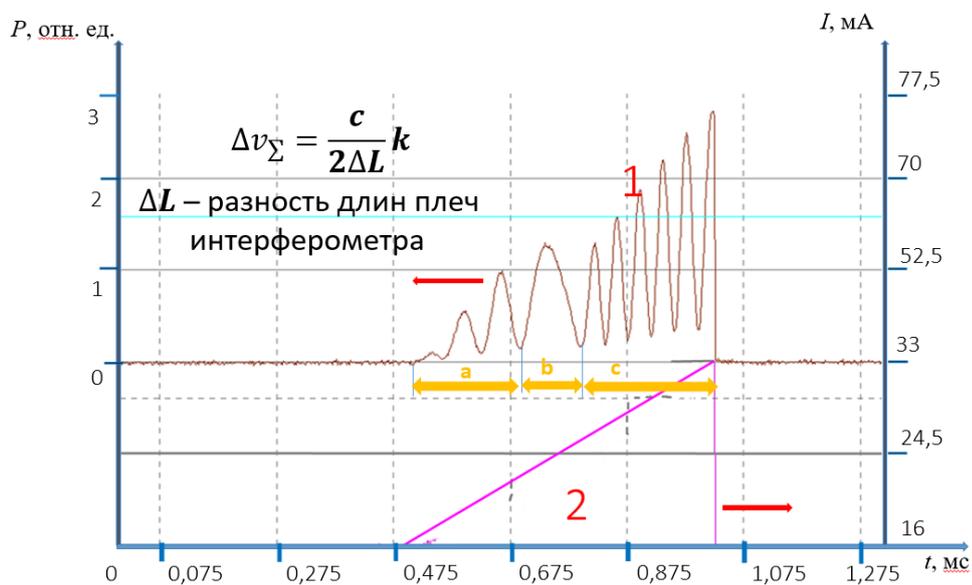


Рис. 2. – Сигнал на выходе интерферометра Майкельсона (1) и пилообразный ток накачки (2) лазера № 1 при разности хода лучей в плечах интерферометра равной $5L_{\text{опт}}$.

В процессе изучения перестройки частоты излучения выяснено, что коэффициент токовой перестройки $\Delta\nu/\Delta I$ до и после kink эффекта мог изменяться более чем в два раза.

Было обнаружено, что после перегиба ватт-амперной характеристики может резко изменяться степень когерентности лазерного излучения, т. е. ширина спектра. Поэтому при разности хода лучей, не кратной оптической длине резонатора, наблюдается уменьшение амплитуды синусоидального сигнала, вплоть до его полного исчезновения (рис. 3).

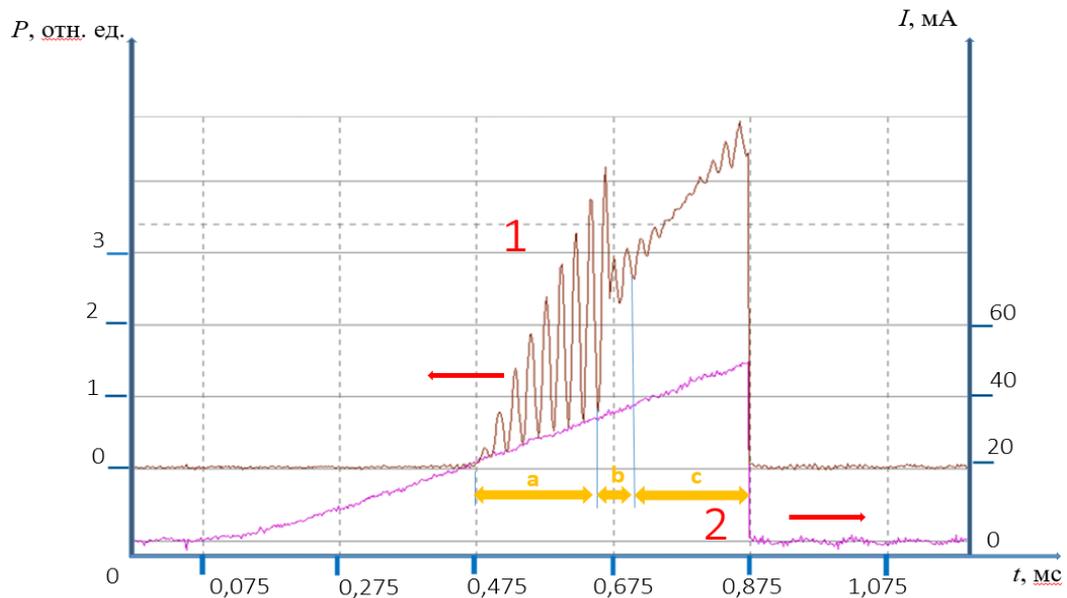


Рис. 3. – Сигнал на выходе интерферометра Майкельсона (1) и пилообразный ток накачки (2) лазера при разности хода лучей в плечах интерферометра: $8L_{\text{опт}} < \Delta L < 9L_{\text{опт}}$.

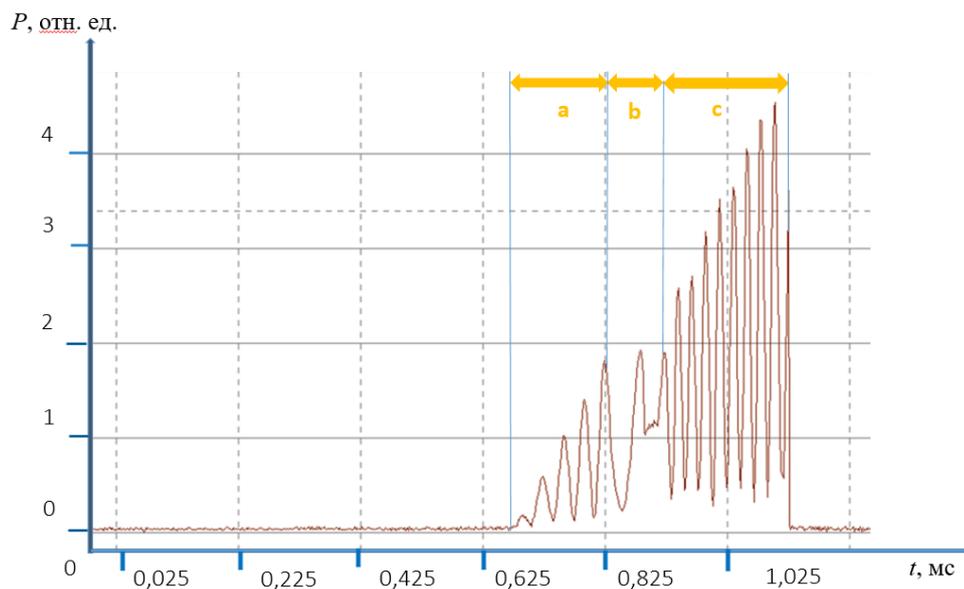


Рис. 4. – Сигнал на выходе интерферометра Майкельсона лазера № 4 при разности хода лучей в плечах интерферометра $2L_{\text{опт}}$.

Для некоторых из исследованных лазеров наблюдался эффект срыва фазы синусоидального сигнала на выходе интерферометра (рис. 4.). Это объясняется изменением направления смещения спектра излучения при изменении тока накачки, т. е. вместо смещения в длинноволновую область спектр начинал смещаться в коротковолновую область после точки срыва фазы. Срыв фазы сигнала на выходе интерферометра, объясняется изменением оптической длины резонатора. Это возможно при изменении модового состава излучения.

Рисунок 5 подтверждает данный факт наличием нескольких максимумов в кривой распределения интенсивности излучения. Переход с моды нулевого порядка на моду первого сопровождается изменением эффективной длины резонатора за счёт изменения показателя преломления, а также изменением скорости перестройки частоты генерации (рис. 4) из-за большего объёма среды, которую занимает мода.

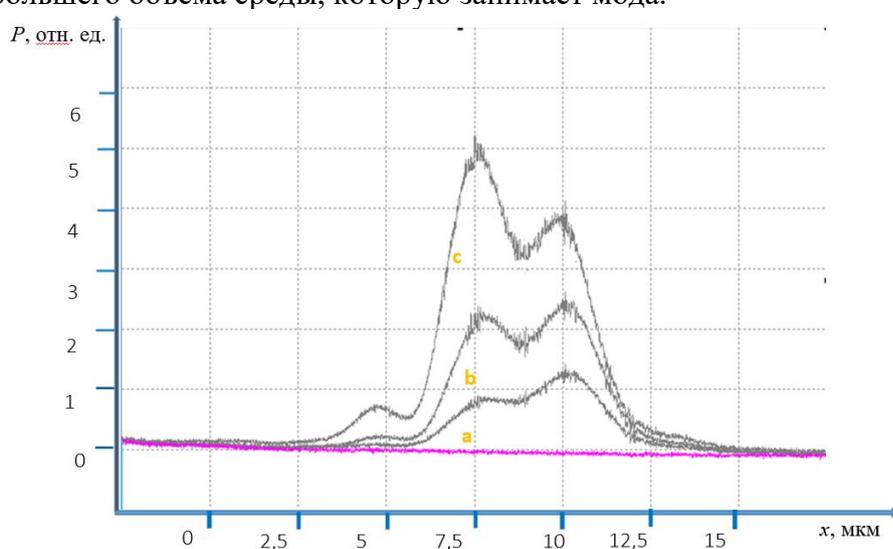


Рис. 5. Распределение интенсивности излучения на передней грани полупроводникового лазера № 4 при токах 25 мА (а), 40 мА (b), 60 мА (с).

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) При исследовании частоты излучения в области kink эффекта наблюдается срыв фазы синусоидального сигнала на выходе интерферометра. Это объясняется изменением направления смещения спектральных линий. То есть с увеличением тока происходит anomalous смещение спектра в сторону коротковолновой части.
- 2) Для лазера № 1 было обнаружено, что коэффициенты токовой перестройки частоты генерации до и после kink эффекта могли изменяться и составляли $1,15 \times 10^9$ Гц/мА до kink эффекта и $2,5 \times 10^9$ Гц/мА. Это объясняется изменением концентрации носителей заряда при изменении объёма генерирующей моды.
- 3) Для всех исследованных лазеров в области kink эффекта наблюдается изменение модового состава излучения. С увеличением тока накачки мода нулевого порядка переключается на моду первого порядка, которая имеет более высокие потери.

Study of the kink-effect in semiconductor lasers

V. M. Stetsik, V. V. Surinovich, V. A. Radion

Belarusian State University, Minsk; e-mail: stetsik@bsu.by

The paper discusses the restructuring of the radiation frequency of semiconductor lasers with quantum wells in a short-term kink effect. An interferometer of Michelson, with a changing shoulder difference, was the working tool. In the kink effect area, the frequency restructuring rate was significantly reduced, after passing the current of this area, the speed of restructuring increased significantly and could be more than twice the adjustment to the kink effect. This is explained by changing the refractive index due to the change in the volume of the generating module.

Keywords: semiconductor laser, radiation frequency restructuring, Michelson interferometer, sawtooth pumping pulse, kink effect.