

# **Применение интерферометра Майкельсона для регистрации режимов перескоков мод в полупроводниковых лазерах**

**М. Д. Гаель, В. М. Стецик**

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: [stetsik@bsu.by](mailto:stetsik@bsu.by)*

В работе показано использование интерферометра Майкельсона для установления зон перескока мод и участков одночастотной генерации одномодовых инжекционных лазеров. Показана возможность определения изменений данных зон при различных температурах излучателя. Эксперименты проводились при пилообразном токе накачки. Интерферометр Майкельсона позволял с высокой точностью изменять разность длин плеч.

**Ключевые слова:** инжекционный полупроводниковый лазер; перескок мод генерации; интерферометр Майкельсона; пилообразный ток накачки; зона одночастотной генерации.

## **Application of the Michelson interferometer for recording mode hopping modes in semiconductor lasers**

**M. D. Gael, V. M. Stetsik**

*Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: [stetsic@bsu.by](mailto:stetsic@bsu.by)*

The paper shows the use of a Michelson interferometer to establish mode-hopping zones and single-frequency generation sites for single-mode injection lasers. The possibility of determining changes in these zones at different temperatures of the radiator is shown. The experiments were carried out with a sawtooth pumping current. The Michelson interferometer made it possible to change the difference in shoulder lengths with high accuracy.

**Keywords:** injection semiconductor laser; generation mode hopping; Maykelson interferometer; sawtooth pump current; single-frequency generation zone.

## **Введение**

Проблема сужения спектра генерации является актуальной задачей. В частности, одночастотные полупроводниковые лазеры находят применение в интерферометрии, а также в других приложениях, требующих когерентного приёма сигналов. Полупроводниковые лазеры с распределённой обратной связью обеспечивают одночастотную генерацию при всех токах накачки в пределах оптимального диапазона. Однако они обладают достаточно высокой стоимостью, а длины волн их генерации ограничены ближней инфракрасной областью спектра [1].

Данная работа посвящена рассмотрению различных аппаратурных методов обнаружения явления перескока мод и экспериментальному определению токов накачки одночастотного режима работы лазера и участков перескока мод.

## Экспериментальные результаты

Известно, что одномодовые полупроводниковые лазеры с шириной полоска 3–5 мкм могут генерировать излучение на одной доминирующей, продольной моде. По мере увеличения тока накачки выше порогового значения, спектральное положение моды генерации в некотором интервале токов плавно смещается в длинноволновую сторону. Затем происходит скачкообразное изменение длины волны генерации. Вследствие разогрева активной области сдвигается максимум контура усиления относительно резонансов резонатора. При этом смещение максимума контура усиления с температурой связано с изменением ширины запрещённой зоны, и сдвиг спектрального максимума происходит гораздо быстрее, чем сдвиг продольных мод резонатора. Обычно в лазерах, работающих в одномодовом режиме, это приводит к переключению генерации с одной моды на соседнюю длинноволновую моду. Часто это явление известно под названием «перескок мод». Переключение генерации может происходить не только на соседнюю моду, но и на моду, сдвинутую на большую величину, кратную межмодовому интервалу. В этом случае неоднородности волновода повышают уровень потерь для некоторых продольных мод. Генерация начинается на той из этих мод, которая окажется ближе всего к максимуму спектральной кривой усиления. Поэтому моды с пониженным уровнем потерь могут отстоять друг от друга на расстоянии, кратном количеству межмодовых интервалов. Величина кратности 1, 2, 3 и т. д. будет повышаться с увеличением длины резонатора либо изменяться для различных значений токов накачки или температуры. Для реализации этого механизма требуется довольно малое изменение добротности отдельных мод, что обуславливается пологостью спектральной кривой усиления вблизи максимума [2]. Отрицательным эффектом явления перескока мод является повышение шумов в сигнале, принимаемых фотоприёмником, при токах накачки, соответствующих этому явлению. Часто зависимость изменения длины волны генерации от температуры или тока представляют в виде графика, изображенного на рис. 1 [3]. Жирными линиями обозначены области одночастотного режима генерации полупроводникового лазера, пунктирными линиями – области перескока мод. Видно, что длины участков одночастотного режима генерации могут различаться по температуре в зависимости от того, на какое расстояние происходит перескок мод (на межмодовое расстояние, на два межмодовых либо более).

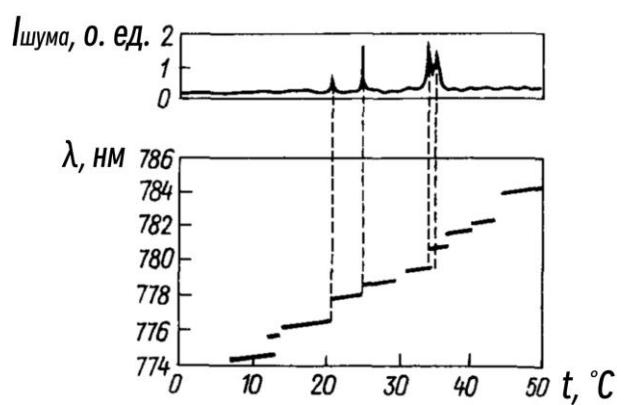


Рис. 1. Температурный диапазон генерации различных продольных мод и шумы перескока мод

Перескок моды как явление, при котором флюктуации спонтанного излучения возникают по принципу срабатывания «спускового крючка» и начало генерации моды во времени совершенно случайно, поэтому область перескока может флюктуировать. При постоянном токе возможен перескок как на длинноволновую моду, так и в обратную сторону, за счет флюктуации тока [3]. Для выбора лазера, устойчиво работающего в одномодовом, одночастотном режиме исторически в первых экспериментах обнаруживали области перескока мод и одночастотного режима с помощью спектрометра или рассматривали шумы излучения с помощью фотоприёмника. Определение областей перескока мод и областей одночастотной генерации лазера при изменении тока накачки и температуры теплоотвода требуют в таком варианте исследования большого количества времени.

В наших экспериментах значительно сокращались временные затраты и упрощалось обнаружение участков одночастотной генерации и перескока мод. В случае пилообразного импульса накачки и наличии фотоприёмника легко получить ватт-амперную характеристику (ВтАХ) излучения исследуемого лазера. Используя монохроматор МДР-12 и изменения ток накачки, можно получить спектры генерации для различных токов накачки рис. 2.

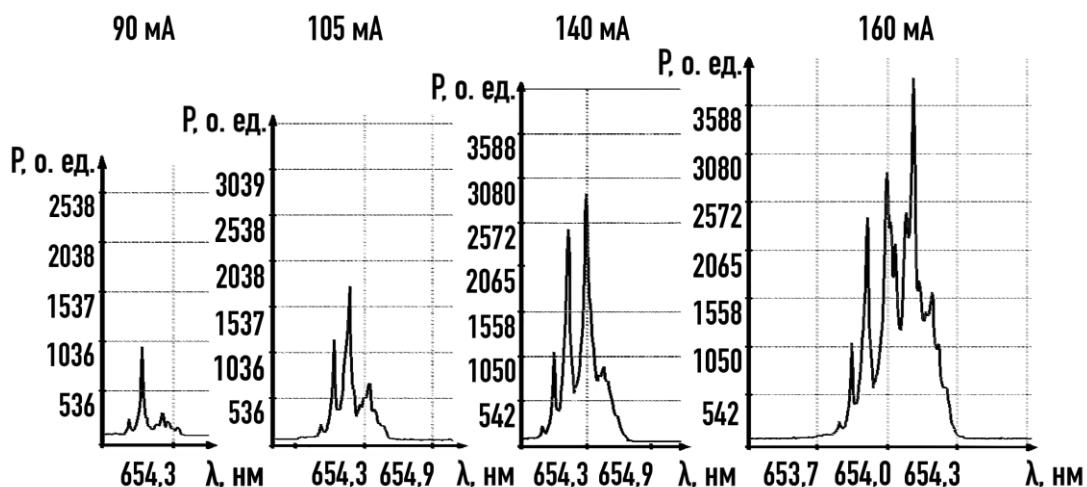


Рис. 2. Спектры излучения одномодового, одночастотного лазера при различных амплитудах пилообразного тока накачки

Начиная с порогового режима генерации и по мере увеличения тока накачки, мы можем наблюдать последовательный рост количества спектральных линий, потому что области одночастотного режима работы разнесены во времени. Видя такую последовательность, уже можно точно сказать, что мы работаем в одночастотном режиме, в определенном диапазоне токов накачки. В случае многочастотного режима работы лазера ширина спектра изменялась бы слабо, при этом происходило бы смещение продольных мод в длинноволновую область и максимума огибающей спектра. Однако также отметим, что в нашем случае спектральные компоненты расположены на различных расстояниях. Это объясняется перескоком мод через различное количество межмодовых интервалов. Подбирая режим питания (амплитуду токов) можно реализовать одно-, двух-, трёхчастотный режим работы лазера в пределах контура генерации лазера.

Применение интерферометра Майкельсона позволяет наиболее качественно определить, работает ли лазер в режиме перескока мод и количественно оценить участки одночастотного режима работы, и токи, при которых происходит скачкообразная смена длины волны генерации. При этом необходимо контролировать разность плеч интерферометра. На рис. 3, *a* представлен сигнал на выходе интерферометра Майкельсона при разности длин плеч, кратной оптической длине резонатора. В случае, если разность длин плеч не кратна оптической длине резонатора рис. 3, *б*, где разность длин плеч не кратна оптической длине резонатора, имеются участки срыва фазы синусоидальной зависимости, происходящей при скачкообразном изменении частоты генерации.

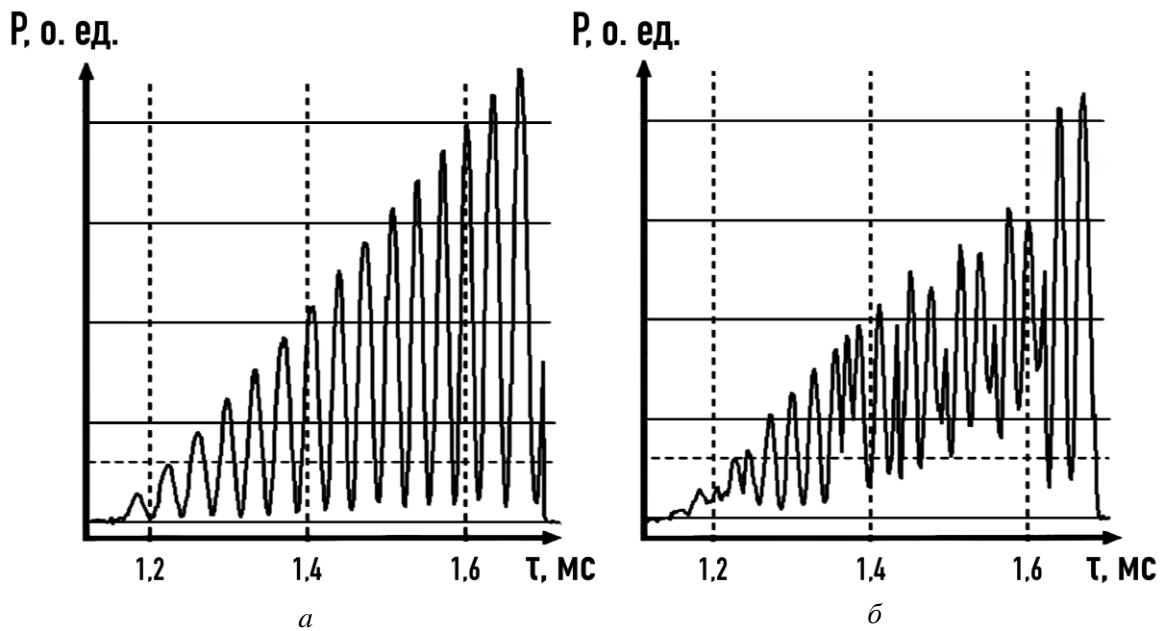


Рис. 3. Сигнал на выходе фотоприёмника в интерферометре Майкельсона с разностью длин плеч: *a* – 7 мм ( $\Delta L = 7L_{\text{опт}}$ ); *б* –  $\Delta L$  не кратна оптической длине резонатора,  $9 < \Delta L < 10$  мм

Сигнал на выходе фотоприёмника существенно изменяется при разности длин плеч интерферометра порядка нескольких десятков микрометров, синусоидальная зависимость пропадает и выходной сигнал приобретает ступенчатый характер, что объясняется срывом фазы интерферирующих сигналов при скачкообразном изменении частоты генерации рис. 4. Участки со слабым нарастанием интенсивности соответствуют одночастотному режиму генерации, с сильным – области перескока мод. Наиболее четко будут наблюдаться участки перескока мод, которые осуществляются через большее количество межмодовых интервалов.

Можно получить непрерывный график перескока мод и участков одночастотного режима работы, изменения температуру теплоотвода излучателя с помощью элемента Пельтье (рис. 5). В этом случае есть возможность выбрать наиболее подходящий участок работы лазера с учетом температуры и тока.



Рис. 4. Сигнал на выходе фотоприёмника в интерферометре с разностью длин плеч 50 мкм

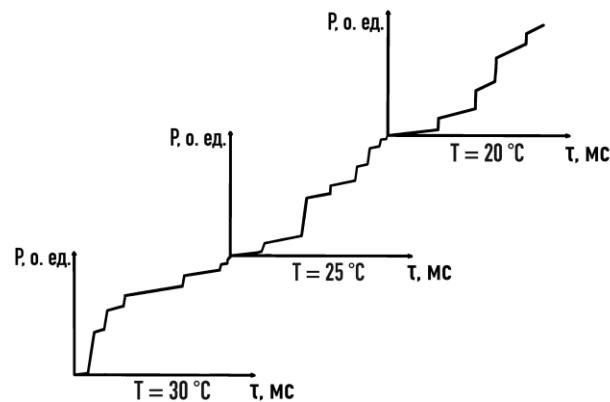


Рис. 5. Перескок мод и одночастотный режим работы полупроводникового при различных температурах

В процессе экспериментов было обнаружено, что если фотоприёмник ФД56 с малой площадкой ( $1 \text{ мм}^2$ ) расположить на расстоянии 20–30 см от лазерного излучателя, при этом проводя приём излучения части диаграммы направленности, то сигнал на выходе фотоприёмника оказывается аналогичным сигналу, изображенному на рис. 4, но с более слабым амплитудным значением участков перескока мод. Ступенчатый характер сигнала на выходе фотоприёмника объясняется наличием перед фотоприёмником защитного стекла, имеющего достаточно маленькую толщину (менее 100 мкм), которое выполняет функцию интерферометра Фабри-Перо. В этом случае условия эксперимента аналогичны случаю с интерферометром Майкельсона при небольших разностях плеч. Фазовый набег определяется удвоенным расстоянием между отражающими поверхностями интерферометра Фабри-Перо.

### Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- (1) Методика определения участков одночастотного режима работы заключается в определении зон перескока мод, и разница по току между соседними участками является зоной одночастотной генерации.
- (2) Для эффективной реализации этой методики необходимо применение интерферометра Майкельсона с разностью длин плеч в несколько десятков мкм, а также питание полупроводникового лазера пилообразным током накачки.

### Библиографические ссылки

1. Елисеев П. Г., Шуйкин Н. Н. Одномодовые и одночастотные инжекционные лазеры. // Квантовая электроника. 1973. №3(15). С 5–26.
2. Елисеев П. Г. Исследование инжекционных лазеров в ФИАНе. // Труды ордена физического института им. П. Н. Лебедева. 1983. Том 141. С. 3–45.
3. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси [и др.] // Под ред. Т. Окамото: Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние. 1990. 256 с.