

СВОЙСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА ФОРМИРОВАТЬ ПРЕРЫВАЮЩЕЕСЯ ИЗЛУЧЕНИЕ В МОМЕНТ ВКЛЮЧЕНИЯ И ВЫКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НАКАЧКИ

В.Л. Чураков, вед. инж. Концерна «Калашников», канд. техн. наук,
v.l.churakov@mail.ru

Исследование относится к области физики полупроводниковых лазеров. В результате проведенных экспериментов достоверно зафиксировано прерывающееся излучение полупроводникового лазера в момент переходного процесса включения или отключения электрического тока накачки. Этот результат исследования является основой для новых направлений в лазерной томографии, измерительной технике, использование этого свойства существенно упростит лазерные и волоконно-оптические гироскопы.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, когерентно модулированное излучение, лазерная томография, лазерные и волоконно-оптические гироскопы.

PROPERTY OF SEMICONDUCTOR LASER TO FORM THE INTERRUPTING RADIATION AT THE MOMENT OF ELECTRIC TURN ON AND OFF THE PUMP CURRENT

V.L. Churakov, Leading Engineer, «Kalashnikov» Concern, Doctor of Engineering,
v.l.churakov@mail.ru

The study relates to the field of physics of semiconductor lasers. The experiments reliably recorded intermittent emission of the semiconductor laser at the time of the transition process on or off the electric current of the pump. This result is the basis for the study of new trends in laser imaging, measurement techniques, the use of this property will significantly simplify the laser and fiber optic gyroscopes.

Keywords: semiconductor laser, coherently modulated radiation, laser imaging, laser and fiber optic gyroscopes.

Исследование относится к области физики полупроводниковых лазеров. Итальянская научная школа рассматривала процесс излучения полупроводникового лазера под воздействием импульса накачки электрическим током в виде плавного нарастания мощности излучения и плавного его окончания, причем оба процесса происходили с некоторой задержкой по отношению к соответствующим фронтам импульса накачки. Указанная задержка объяснялась конечной электрической емкостью многослойной структуры полупроводникового лазера [1].

Теоретические исследования переходных процессов полупроводниковых лазеров не отвергали его волнообразного характера [2].

Результат данного исследования состоит в следующем – переходные процессы начала и окончания излучения полупроводникового лазера под воздействием импульса накачки электрическим током происходят волнообразно, оба процесса обладают высокой повторяемостью для каждого лазера и занимают временной промежуток несколько десятков пикосекунд.

Научная и практическая значимость полученного результата заключается в возможности использовать оба переходных процесса как модулированный высокочастотный сигнал в системах эхосканирования тонких прозрачных структур, в волоконно-оптических и лазер-

ных гироскопах для точного измерения временных задержек двух исследуемых сигналов на основе эффекта резонанса когерентных модулирующих колебаний.

С целью приведения экспериментальных доказательств, однозначно подтверждающих достоверность результата, излагается оптический способ измерения толщины прозрачных объектов, который положен в основу примененного измерительного устройства и признан изобретением № 2414680 приоритетом от 18.12.2009 г. На рис. 1 схематично изображено устройство, посредством которого реализован способ измерения толщины прозрачных объектов.

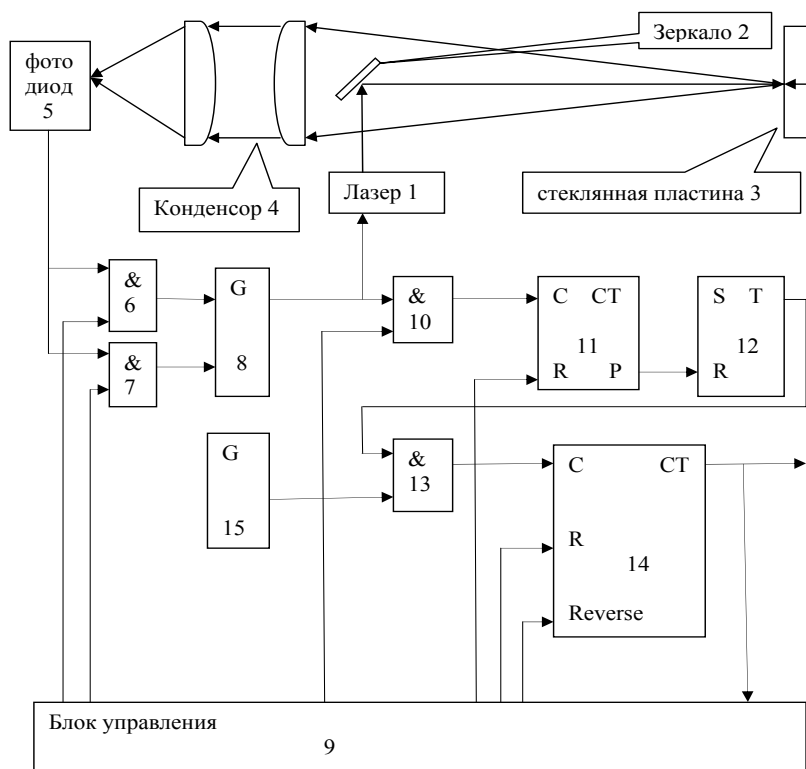


Рис. 1. Устройство для измерения толщины прозрачных объектов

Устройство содержит полупроводниковый лазер 1, излучение которого, отразившись от зеркала 2, попадает на объект измерения – стеклянную пластину 3. Диффузное отраженное излучения от этой пластины 3 «собирается» конденсором 4 и фокусируется на чувствительную площадку фотодиода 5. Сигнал с фотодиода через схемы совпадения 6 и 7 соединяется с генератором 8, на другие входы схем совпадения заведены выходы блока управления 9. Выход генератора 8 заведен на вход лазера 1 и через схему совпадения 10 – на счетный вход счетчика 11, на второй вход схемы совпадения и вход установки в «0» счетчика 11 заведены соответствующие выходы блока управления 9. Выход переполнения счетчика 11 соединен с входом «сброса» триггера 12, а его установочный вход соединен с выходом блока управления 9. Единичный выход триггера 12 через схему совпадения 13 управляет подключением к счетному входу счетчика результата 14 выход генератора стабильной частоты 15. Вход установки в «0» и вход Reverse счетчика результата 14 соединены с выходами блока управления 9. Выходной код счетчика результата 14 есть выход всего устройства.

Описание работы устройства

Примененный в этой схеме генератор 8 обладает способностью увеличивать свой период на величину задержки только одного фронта (нарастания или спада) системы: лазер 1 – излучение – фотодиод 5 – схема совпадения 6 или 7 – и снова генератор 8. Выбор измеряемого фронта производится командой блока управления, включая в работу схему совпадения 6 или 7. Если включается схема совпадения 6, то к периоду генератора 8 добавляется время задержки фронта нарастания сигнала с фотодиода, отсчитанное от фронта нарастания сигнала запуска лазера. Если включается схема совпадения 7, то период генератора 8 увеличивается на время задержки фронта спада фотодиода, отсчитанное от фронта спада сигнала запуска лазера. Собственный период генератора выбран 10 МГц, выходной сигнал близок к меандру.

В начале работы производится подключение к генератору 8 задержки одного из измеряемых фронтов, т.е. подается разрешающий потенциал только на одну из двух схем совпадения 6 или 7. Устанавливается устойчивый режим генерации в системе: генератор 8 – лазер 1 – излучение – фотодиод 5 – схема совпадения 6 или 7 – генератор 8. Дальнейшая работа всей схемы связана с формированием временного интервала и заполнением его импульсами стабильной частоты с генератора 15. Блок управления обнуляет счетчики 11 и 14, затем устанавливает в «1» триггер и разрешает заполнение счетчика периодов запуска лазера 11. Триггер 12 через схему совпадения 13 разрешает заполнение счетчика результата 14 импульсами с генератора стабильной частоты 15. В этом случае счет производится в прямом направлении.

Арифметически это выглядит так:

T – период собственных колебаний генератора 8;

t – задержка выбранного фронта колебательной системы;

n – количество периодов колебательной системы;

F – частота генератора стабильной частоты 15.

Так как после просчета n периодов счетчик 11 сбрасывает триггер 12 в «0» и прекращает поступление импульсов генератора 15 стандартной частоты на счетчик результата 14, то его состояние равно

$$N_1 = (T + t) \times n \times F.$$

В следующем цикле работы устройства от генератора 8 отключается выход фотодиода 5, следовательно, устанавливается собственный период генератора 8, равный T . Счетчик результата 14 устанавливается на обратный счет (reverse) и снова формируется временной интервал из n периодов генератора 8. Так как счетчик результата 14 включен на обратный счет, то в конце второго цикла работы устройства его состояние будет

$$N_2 = (T + t) \times n \times F - T \times n \times F = t \times n \times F.$$

В нашем устройстве $F = 10^8$ Гц, $n = 10^7$, тогда $n \times F = 10^{15}$, поэтому число на счетчике результата 14 равно задержке фронта выраженное в фемтосекундах. Таким же методом измеряется время задержки оптической системы второго фронта.

Процесс измерений проводился в следующем порядке. В качестве объекта измерения использовался набор плоскопараллельных стеклянных пластин, имеющих одинаковый коэффициент преломления и нарастающее значение толщины от 0,9 мм до 5,99 мм. Для пластин каждого значения толщины производились замеры времени задержки обоих фронтов. В результате многократных измерений выявлена следующая закономерность.

Время задержки фронтов включения и выключения лазера при измерении пластин толщиной от 0,90 мм до 4,78 мм имеет волнообразный характер. В то же время график изменения времени задержки обоих фронтов для пластин толщинами более 4,78 мм имеет монотонный характер. Время задержки фронта включения уменьшается, так как основная мощность принятого фотоприемником излучения отражается от передней стенки пластины, которая, в данном случае, приближается к лазерной установке, т.е. пройденный излучением путь уменьшается. Время задержки фронта выключения увеличивается, так как мощность излучения, которая еще продолжает удерживать фотоприемник во включенном состоянии, даже после прекращения излучения лазером, приходит от дальней стенки пластины. Так как толщины пластин увеличиваются, время прохождения фронта спада излучения также увеличивается, что вызывает увеличение времени задержки этого фронта.

График времени фронта включения лазера при измерении пластин толщиной от 0,90 мм до 4,78 мм имеет минимальные значения при толщинах пластин: 1,77 мм, 2,52 мм, 2,94 мм, 3,90 мм и максимальные значения при толщинах пластин 2,26 мм, 2,84 мм, 3,82 мм, 4,48 мм. Между данными экстремальными точками происходит плавное изменение времени задержки фронта. График времени фронта выключения лазера имеет прямо противоположный характер предыдущему графику. Так значениям толщин пластин, которым в предыдущем графике соответствовали минимальные значения времен задержек, в данном графике соответствуют максимальные значения времен задержек и наоборот.

Такой результат измерения возможен только в том случае, если переходные процессы начала и окончания излучения полупроводникового лазера под воздействием импульса накачки электрическим током происходят волнообразно, кроме того, каждый процесс имеет не менее четырех волн, продолжительность каждого переходного процесса – несколько десятков пикосекунд. Этот вывод логичен, так как отраженное излучение от стеклянной пластинки представляет собой два сигнала, первый сигнал – отражение от передней стенки пластинки, второй сигнал – отражение от задней стенки пластинки. Если толщина пластинки настолько мала, что временной сдвиг между отраженными сигналами не превосходит длительности переходного процесса, тогда на чувствительной площадке фотоприемника происходит сложение интенсивностей излучения обоих отраженных сигналов. В результате такого сложения фотоприемник сработает тогда, когда первый результат сложения интенсивностей излучения двух сигналов превысит порог его срабатывания, последующие спады и всплески интенсивности суммарного сигнала не окажут действия на фотоприемник, так как быстрое действие последнего не позволяет воспроизвести такой высокочастотный сигнал. Как следствие этого сложения являются описанные ранее графики. Если толщина пластины обеспечивает временной сдвиг между отраженными сигналами достаточный, чтобы переходной процесс одного сигнала находился под действием постоянной интенсивности излучения второго сигнала, тогда характер графика измерения будет иметь монотонный вид.

Такие же исследования проведены с тремя комплектами оптических систем (лазер – конденсор – фотоприемник). Характер полученных результатов идентичен, однако конкретные значения экстремальных точек различны для каждого полупроводникового лазера.

Для наглядного представления результатов исследования приведены следующие графики. На рис. 2 показаны графики задержек обоих фронтов в зависимости от толщины стеклянной пластинки.

На рис. 3 представлено графическое изображение предполагаемого переходного процесса включения и выключения полупроводникового лазера, которое должно вызвать обнаруженное в результате исследования ступенчатое изменение задержек фронтов его срабатывания.

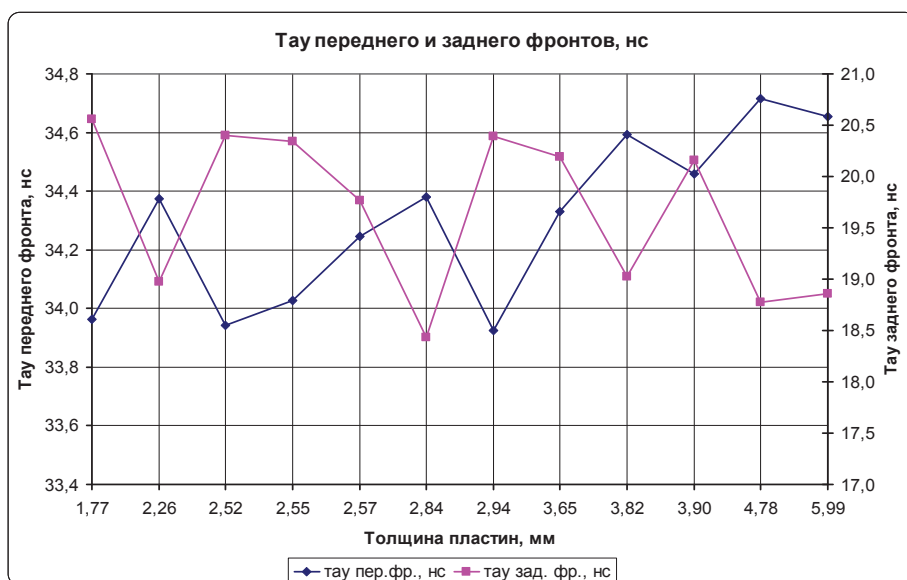


Рис. 2. Графики задержек обоих фронтов в зависимости от толщины стеклянной пластинки

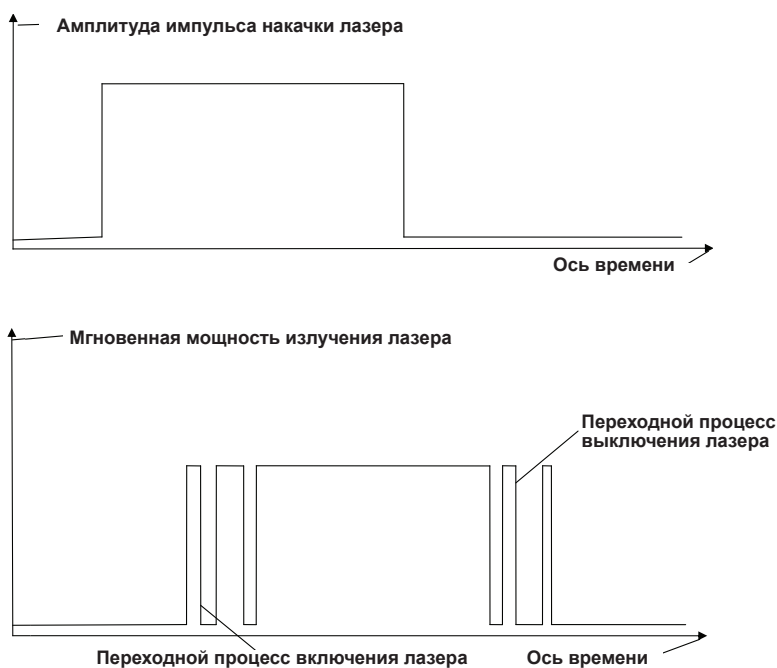


Рис. 3. Предполагаемый переходный процесс включения и выключения лазера

Научная и практическая значимость полученного результата заключается в возможности использовать оба переходных процесса в качестве модулированного высокочастотного сигнала в системах эхосканирования прозрачных структур, в волоконно-оптических и лазерных гироскопах для точного измерения временных задержек двух исследуемых сигналов на основе эффекта резонанса когерентных модулированных колебаний.

Заключение

Таким образом, описанное в статье исследование относится к области физики полупроводниковых лазеров. Цель исследования – изучение переходных процессов начала и окончания излучения полупроводникового лазера под воздействием импульса накачки электрическим током. Результатом исследования является вывод о том, что переходные процессы начала и окончания излучения происходят прерывисто, оба процесса обладают высокой повторяемостью, т. е. когерентностью, для каждого лазера и занимают временной промежуток несколько десятков пикосекунд.

Список литературы

1. Звелто О. «Принципы лазеров» перевод с английского под редакцией Т.А. Шмаонова, издательство «Мир» г. Москва, 1990 г.
2. Грибковский В.П. «Полупроводниковые лазеры», издательство «Университетское» г. Минск, 1988 г.

References

1. Zvelto O. (1990) «*Printsipy lazerov*» *perevod s angliyskogo pod redaktsiey T.A. Shmaonova* [«The principles of lasers» the translation from English under T.A. Shmaonov]. *Izdatel'stvo «Mir»* [Mir publishing house]. Moscow.
2. Gribkovsky V.P. (1988) «*Poluprovodnikovye lazery*» [«Semiconductor lasers»]. *Izdatel'stvo «Universitetskoe»* [University publishing house]. Minsk.