

Национальная Академия наук Украины
Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины
Институт физики полупроводников НАН Украины им. В.Е. Лашкарева
ЗАО «НПК «Наука»
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Сборник научных трудов
IV Международной научной конференции

«ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

30 сентября - 3 октября 2011г.

Харьков - Кацивели
2011

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА ГЕТЕРОДИННЫМ СПОСОБОМ

Мачехин Ю.П., Дроздов Е.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. Физических основ электронной техники,
тел. (057)7021484,

E-mail: foet@kture.kharkov.ua

This report was considered by a heterodyne method of investigating the spectral composition of adiation of a semiconductor laser. In the heterodyne method is described and the results of experiments by knockingbeams of two lasers andregistration fotobienny. Also been considered and implemented in practice, the thermoregulatory system, which serves for the restructuring of the semiconductor laser frequency.

Одним из видов оптоэлектронных устройств на основе наноструктур являются полупроводниковые лазеры. Для эффективной работы с ними нужно иметь как можно больше информации о спектральном составе излучения. В докладе представлены результаты исследования спектрального состава излучения полупроводникового лазера гетеродинным способом.

Гетеродинный метод заключается в измерении ширины полосы генерации одночастотного лазера или разности частот генерации двух однотипных частотностабилизированных лазеров. В работе использовалась модель фотобийений двух когерентных излучений с частотами ν_1 и ν_2 , описываемых амплитудами электрической составляющей электромагнитного поля $E_1 \cos 2\pi\nu_1 t$ и $E_2 \cos 2\pi\nu_2 t$. Если два таких пучка направить на какой-либо фотоприемник, то в соответствии с законом Столетова его фототок $i(t)$ будет прямо пропорционален интенсивности светового потока

$$I(t) \propto (E_1 \cos \omega_1 t + E_2 \cos \omega_2 t)^2 = \frac{E_1^2}{2} + \frac{E_2^2}{2} + E_1 E_2 \cos [2\pi(\nu_1 - \nu_2)t] + \\ + E_1 E_2 \cos [2\pi(\nu_1 + \nu_2)t] + \frac{E_1}{2} \cos [2\pi(2\nu_1)t] + \frac{E_2}{2} \cos [2\pi(2\nu_2)t]$$

Ввиду ограниченной полосы частот фотоприемника фототоки, вызываемые тремя последними составляющими суммарного потока (с частотами, соответственно, $\nu_1 + \nu_2$, $2\nu_1$ и $2\nu_2$) не могут быть зарегистрированы; два первых слагаемых ($\frac{E_1^2}{2}$, $\frac{E_2^2}{2}$) образуют постоянную составляющую, которая и регистрируется при обычной фотозлектрической регистрации световых потоков. Наиболее информативным в интересующем нас аспекте является третье слагаемое $E_1 E_2 \cos [2\pi(\nu_1 - \nu_2)t] \propto \sqrt{I_1 I_2} \cos [2\pi(\nu_1 - \nu_2)t]$, содержащее полную информацию о частотно-фазовых соотношениях обоих световых пучков.

Рассмотренная выше ситуация используется на практике только для анализа частотно-фазовых соотношений в пучках двух одночастотных лазеров (обычно стабилизированных по частоте) или излучения двухчастотных лазеров.

Ввиду весьма ограниченного распространения лазеров последнего типа сосредоточим внимание на применении метода фотобийений для анализа особенностей спектра излучения одночастотного лазера. Для этого необходим второй лазер — гетеродин, стабильность частоты ν_2 и амплитуды E_2 излучения которого существенно выше, чем исследуемого. При этом условии спектр фототока разностной частоты, наблюдаемый на экране стандартного низкочастотного радиоэлектронного спектроанализатора, прямо пропорционален спектру исследуемого лазера. Естественно, что аналогичный результат получится в случае обычной, а не фотогетеродинной регистрации исследуемого потока фотоприемником. При этом, однако, на исследуемый

сигнал (продетектированный фотоприемником спектр исследуемого излучения) будут наложены низкочастотные (а потому очень большие) шумы самого фотоприемника и электронного тракта. Фотогетеродинирование переносит исследуемый сигнал в область разностной частоты ($\nu_1 - \nu_2$), где электронные шумы значительно меньше, что и позволяет более точно анализировать исследуемое излучение. Нестабильность излучения гетеродинного лазера приводит к дополнительному (ложному) уширению исследуемого спектра из-за свертки со спектром гетеродина.

Таким образом, рабочий диапазон частот фотогетеродинного метода сверху ограничен электронным трактом (включая, разумеется, фотоприемник) и обычно не превышает нескольких сотен мегагерц, а снизу - нестабильностью частоты (и амплитуды) лазера-гетеродина, минимальная величина которой (за время анализа спектра) $\approx 10^2$ Гц.

В качестве лазера гетеродина, благодаря высокой стабильности, был выбран гелий-неоновый лазер. Для регистрации сигнала биений между гелий-неоновым лазером и полупроводниковым необходимо перестроить длину волны полупроводникового лазера работающего на длине волны 635 нм, в нормальных условиях, до длины волны 633 нм, а также стабилизировать лазер по частоте. Для перестройки частоты (длины волны) полупроводникового лазера используется система температурной перестройки режима работы лазера. Для обеспечения температурной перестройки частоты излучения полупроводникового лазера в работе использована система управления рабочей температурой полупроводникового лазера. Эта система состоит из механического блока и электронного блока. В механическом блоке осуществляется нагрев или охлаждение кристалла полупроводникового лазера. Электронный блок обеспечивает измерение с помощью калиброванного терморезистора температуру кристалла лазера и при необходимости обеспечивает с помощью элемента Пельтье нагрев лазера. Механический блок представляет собой модуль, основными частями которого являются корпус, в который устанавливается лазер, элемент Пельтье, который находится в хорошем тепловом контакте с корпусом, термистор служащий для системы терморегуляции, и установленный в разрез корпуса системы охлаждения. Для проведения экспериментов был разработан оптический блок АВВ изображенный на рисунке 1.



Рисунок 1 - Общий вид оптического блока АВВ с двумя He-Ne лазерами

Финальной составляющей подготовки оптического блока АВВ к процессу измерений были исследования направленные на измерения уровня сигналов биений, их спектрального состава и предельного частотного разрешения. Для этой задачи были использованы два He-Ne лазера.

Особенность используемых лазеров заключалась в том, что их конструкция обеспечивает одночастотное излучение, но позволяет устанавливать режимы излучения с несколькими поперечными модами. Сигналы биений регистрировались двумя фотоприемными устройствами. Один использовался как опорный, на котором регистрировались сигналы биений между частотами обоих лазеров непосредственно в оптическом блоке. Второй фотоприемник регистрировал биения после того, когда один

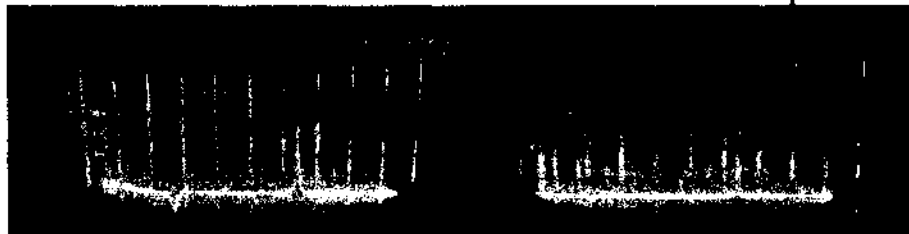
из лазерных пучков прошел расстояние в пространстве, отразился от отражателя и вернулся в оптический блок. На рис.2 (а, б, в, г) показаны зарегистрированные на экране спектроанализатора сигналы биений в частотном интервале до 400МГц. условиях, когда лазеры генерировали одночастотное и одномодовое излучение, а также когда за счет температурной перестройки резонаторов лазеров устанавливались многомодовые режимы генерации.

Если излучение лазера было одномодовым и одночастотным, то регистрировалось отсутствие спектральных компонент сигнала биений. На рис. 2 (а) представлен именно этот случай, здесь наблюдаются только частотные метки. На рис. 2 (б) показаны биения поперечных мод у одного лазера, который работал в режиме многомодовой генерации. На рис.2 (в) представлен спектр биений когда один лазер работал в многомодовом режиме, а второй имел одночастотное и одномодовое излучение. На Рис. 2 (г) представлены частоты биений в случае, когда каждый лазер осуществлял генерацию в многомодовом режиме. Максимальный сигнал соответствует частоте биений между основными продольными модами излучения лазеров.



а- частотные метки

б- биения поперечных мод



в- биения когда один лазер в многомодовом режиме

г- оба лазера в многомодовом режиме

Рисунок 2 – зарегистрированные сигналы биений



а - частотные метки

б – биения поперечных мод

Рисунок 3 – сигналы биений на измерительном канале

На рис. 3 а и б, показаны сигналы биений на фотоприемнике в измерительном канале. При наличии акустического воздействия на отражающее зеркало сигналы биений приобретают частотную модуляцию, которая позволяет продемонстрировать регистрацию сигнала биений с шумовой модуляцией.

Эксперименты с исследованием сигналов биений в случае использования в качестве опорного лазера He-Ne лазера, в качестве информационного полупроводникового лазера с исходной длиной волны 635 нм проводились с использованием лазеров от нескольких зарубежных производителей. При проведении экспериментов возникли две принципиальные проблемы. Во-первых, установленные в

паспортах на лазеры значения температурных коэффициентов не соответствовали наблюдаемым в экспериментах значениям. В этой связи, на трех из пяти приобретенных полупроводниковых лазерах не удалось путем температурной перестройки установить значение длины волны излучения 633нм.

При охлаждении лазерного модуля до температуры $-4,5^{\circ}\text{C}$ была получена перестройка на 2,9 нм и достигнута длины волны лазерного излучения 632,8 нм. Спектры диодного лазера были получены с помощью волоконного оптического спектрометра SP2-USB (фирмы THORLABS) при максимальном разрешении 0,1 нм и рабочем токе лазера 50 мА. На рис. 4 представлен спектр HL6335G лазера при комнатной температуре $+17,5^{\circ}\text{C}$ и выключенной системе регулирования температуры. На рис. 5 представлен спектр HL6335G лазера при температуре диода $+4,5^{\circ}\text{C}$ и включенной системе регулирования температуры.

В ходе работы были зарегистрированы сигналы фотобиеений между гелий-неоновыми лазерами, которые исчезали при закрытии канала лазера гетеродина и исследуемого лазера.

Они были зафиксированы на относительной частоте 372 МГц. Разность частот между двумя сигналами фотобиеений 4 МГц. Такая разность частот говорит о том что получены фотобиеения между поперечными модами.

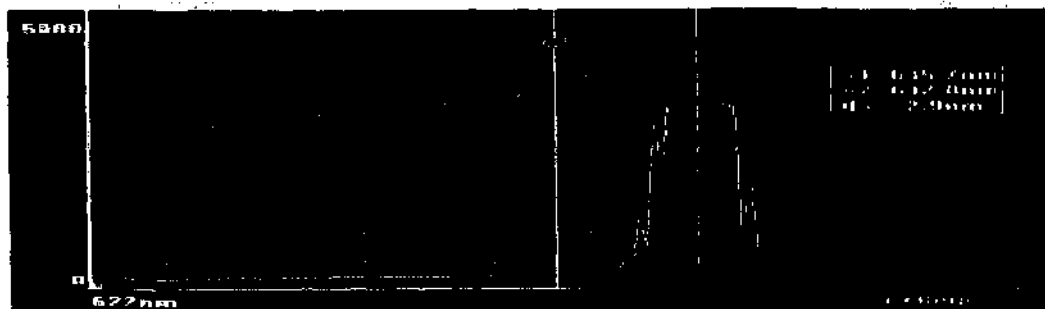


Рисунок 4 - Спектр диодного лазера HL6335G при комнатной температуре $+17,5^{\circ}\text{C}$ и выключенной системе регулирования температуры

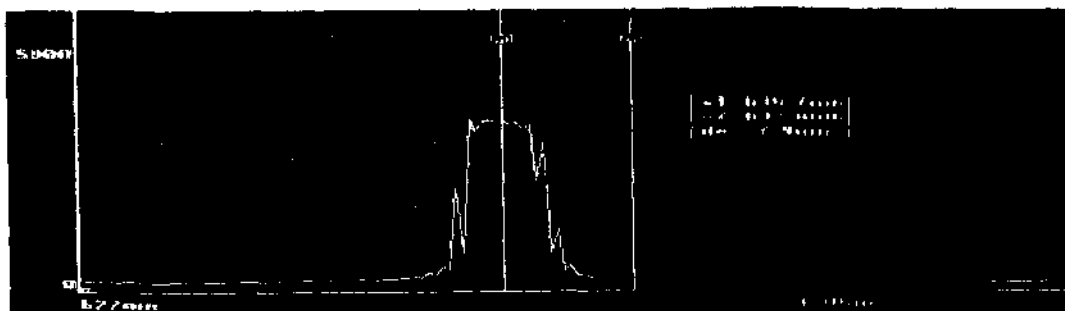


Рисунок 5 - Спектр диодного лазера HL6335G при температуре $+4,5^{\circ}\text{C}$ и включенной системе регулирования температуры

Эти данные подтверждают возможность исследования линий излучения лазеров с помощью гетеродинной установки и перспективность данного метода. К выявленным в ходе работы недостаткам метода следует отнести невозможность оценить интенсивность излучения. Достоинством является высокая степень точности при изучении частотных характеристик.

Также была рассмотрена и реализована система перестройки и стабилизации по частоте полупроводникового лазера с помощью системы термоконтроля. Это позволяет получать и интерпретировать сигналы фотобиеений между гелий-неоновым и полупроводниковым лазером, что невозможно при нормальном режиме работы полупроводникового лазера.