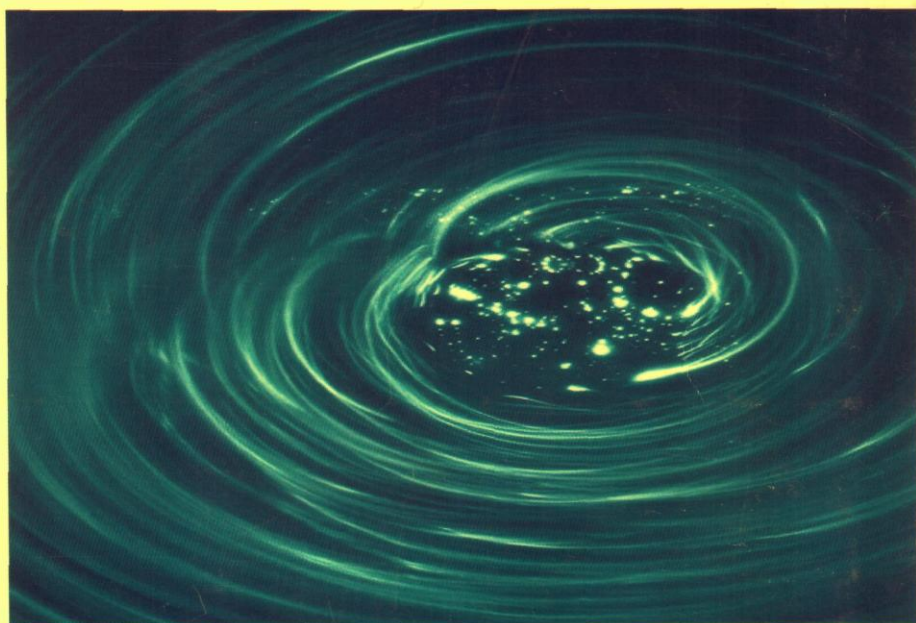




ISSN 1681-7893

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ
ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ
ТЕХНОЛОГІЇ**



**OPTOELECTRONIC
INFORMATION-POWER
TECHNOLOGIES**

№1(3), 2002

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННИ ПРИБОРИ ТА КОМПОНЕНТИ В ЛАЗЕРНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

УДК 621.396

П. А. МЕРЖВИНСКИЙ¹, В. И. ОСИНСКИЙ², Ю. Е. НИКОЛАЕНКО³, С. К. ЖУК³

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ В ГЕТЕРОЛАЗЕРАХ И ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛООТВОДА

¹ Институт кибернетики НАНУ, г. Киев, Украина.

Тел. (044) 266-42-96. E-mail: merg@carrier.kiev.ua

² Государственное предприятие НИИ микроприборов, г. Киев, Украина

Тел. (044) 434-76-55. E-mail: osinsky@uprotel.net.ua

³ НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина.

Тел. (044) 441-15-21. E-mail: nikol@industry.gov.ua

Аннотация. Проанализирована структура энергетических потоков в гетеролазере и определены источники тепловых потоков, влияющих на температурный режим лазерного кристалла. Экспериментально исследовано термическое сопротивление тепловой трубы – основного элемента системы обеспечения теплового режима гетеролазера.

Abstract. The summary. The structure of power flows in heterolaser is analysed and the sources of heat flows influencing a temperature mode of a laser crystal are determined. The thermal resistance of a heat pipe – basic element of a system of maintenance of a thermal mode heterolaser is experimentally investigated.

Ключевые слова: лазерный кристалл, энергетический поток, гетеролазер, тепловая труба

Полупроводниковые лазеры находят все более широкое применение в волоконно-оптических линиях связи, в метрологических системах, для накачки твердотельных лазеров и т.д. Типичный кристалл диодного лазера средней мощности имеет размеры $\sim 300 \times 300 \times 200$ мкм с расположенной внутри гетероструктурой и активным слоем в виде полоски порядка $0,15 \times 100 \times 300$ мкм. Коэффициент преобразования электрической энергии в оптическую энергию полезного сигнала в лазерах на гетероструктурах теоретически близок к 100%, а практически достигает нескольких десятков процентов. Остальная часть подведенной электрической энергии преобразуется в тепловую и идет на нагревание лазерного кристалла. Температурный режим лазерного кристалла существенно влияет на основные рабочие характеристики лазера [1, с. 87-91, 170-177, 315-322; 2]. Поэтому анализ структуры энергетических потоков, имеющих место в лазерном кристалле и лазерном излучателе, необходим для определения значений тепловых потоков, определяющих температурный режим кристалла. Результаты такого анализа должны учитываться при системном и технологическом проектировании полупроводниковых лазеров.

На рис. 1 представлена линейная модель характерного лазерного кристалла, состоящего из последовательного расположения технологических и функциональных слоев. Общая для лазерного кристалла и лазерного излучателя на его основе схема взаимосвязи энергетических потоков,

© П. А. МЕРЖВИНСКИЙ, В. И. ОСИНСКИЙ, Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, С. К. ЖУК, 2002

протекающих в них, приведена на рис. 2. Тепловой поток, влияющий на температурный режим кристалла, складывается из суммы тепловых потоков, обусловленных электрическими и оптическими источниками тепловыделения. В свою очередь, тепловой поток от электрических источников тепловыделения образован теплотой, выделившейся в каждом слое (кроме активного) при прохождении через него электрического тока, а также теплотой, выделившейся в активном слое в результате безизлучательной рекомбинации. Тепловой поток от оптических источников тепловыделения образован за счет превращения в теплоту потерь оптического излучения в активном слое, в зеркалах резонатора Фабри-Перо и при проникновении оптического излучения в смежные слои гетероструктуры.

В лазерном излучателе (см. рис. 3), содержащем кроме лазерного кристалла *LD* корпус, оптические элементы и элементы контроля мощности излучения *PD* а также пассивные электрические элементы (в частности, электрические выводы от кристалла), образуется дополнительный тепловой поток за счет поглощения оптического излучения в этих элементах и выделения теплоты пассивными электрическими элементами при прохождении по ним электрического тока.

Определить значение суммарного теплового потока, влияющего на тепловой режим лазерного кристалла или лазерного излучателя можно либо расчетным путем, либо экспериментально.

Для решения задач теплообмена в системе тел расчетным путем используют теорию поля или теорию цепей. В последнем случае систему тел рассматривают как тепловую цепь и, пользуясь аналогией между процессами переноса теплоты и электричества, применяют теорию электрических цепей, что позволяет определить разность температур между концами рассматриваемого участка цепи, а также тепловые потоки, не прибегая к вычислению в промежуточных точках [3, с. 27]. Графическое изображение тепловой цепи в виде тепловых схем лазерного кристалла и лазерного излучателя приведено в [4]. С помощью теории электрических цепей по приведенным тепловым схемам можно с определенной степенью точности рассчитать величину теплового потока и температуру в активном слое лазерного кристалла.

Экспериментально мощность теплового потока можно определить путем непосредственного измерения оптической мощности полезного сигнала и вычитанием ее из общей подведенной электрической мощности. Экспериментально также можно измерить и температуру в доступных для измерения участках устройства.

Решение проблемы теплоотвода в лазерных излучателях осуществляется путем использования эффективного отвода теплоты от нагретой зоны лазерного кристалла. Зачастую из конструктивных соображений лазерный кристалл не может быть посажен непосредственно на сток теплоты (радиатор), а подключается к нему через теплопроводящий элемент (теплопровод). Одним из путей снижения температуры и увеличения оптической мощности лазера является уменьшение величины теплового сопротивления теплопровода, например, путем использования для этой цели тепловых труб, эквивалентное тепловое сопротивление которых значительно ниже, чем у меди [5]. Другим путем увеличения генерируемой мощности представляется уменьшение теплового сопротивления путем увеличения площади лазера. Следующим решением является интенсификация теплоотвода путем применения термоэлектрических охладителей на основе эффекта Пельтье.

Предложенные пути снижения температуры лазера были реализованы в конструкции лазерного излучателя для атмосферного (открытого) канала связи, приведенной на рис. 4. В состав лазерного излучателя входят четыре лазерных кристалла (на рис. 4 показан только один из них), каждый из которых установлен на индивидуальном пьедестале, припаянные к общему теплопроводу, выполненному в виде тепловой трубы. Конденсационная зона тепловой трубы соединена с холодной пластиной термоэлектрического микроохладителя, а горячая пластина микроохладителя соединена с радиатором. Экспериментальный образец такого лазерного излучателя приведен на фотографии (микроохладитель и радиатор на фотографии не показаны). Материал корпуса тепловой трубы и капиллярной структуры – медь. Теплоноситель – этиловый спирт. Конструктивно тепловая труба выполнена в виде корпуса с фланцами, один из которых съемный. На нем установлены лазерные кристаллы. Внутренняя поверхность корпуса покрыта слоем капиллярной структуры (толщиной 0,5 мм и пористостью 86%), спеченным из медных волокон диаметром 50 мкм. Для уменьшения влияния теплопроводности корпуса на результаты эксперимента и обеспечения вакуумной плотности соединения съемный фланец соединялся с корпусом через резиновую прокладку. Тепловое сопротивление радиатора составляло порядка 5 °C/Вт. С целью определения теплового сопротивления теплопровода, выполненного в виде тепловой трубы, были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен испытательный стенд, функциональная схема которого показана на рис. 5. Стенд позволял управлять количеством теплоты, выделяемой в лазере. Рабочим участком стенда являлся экспериментальный образец лазера.

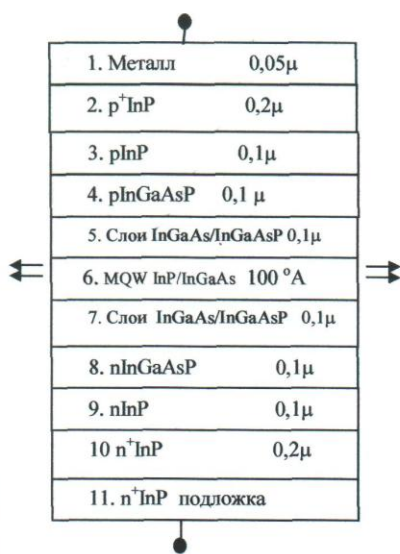


Рис. 1.

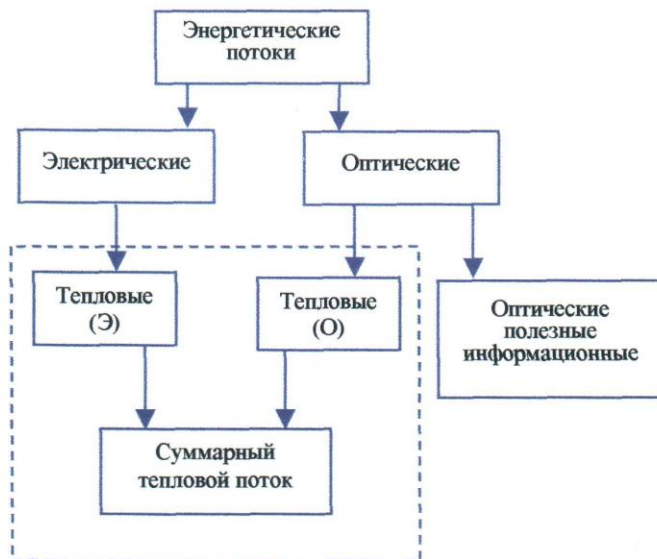


Рис. 2.

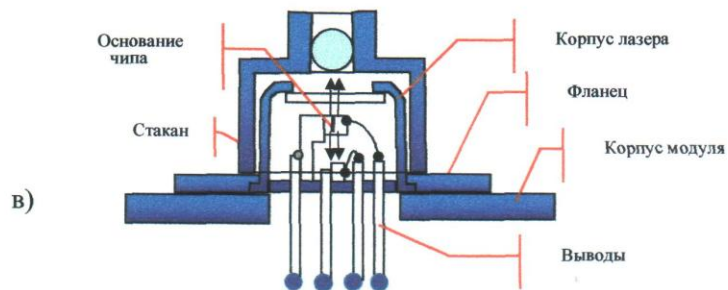
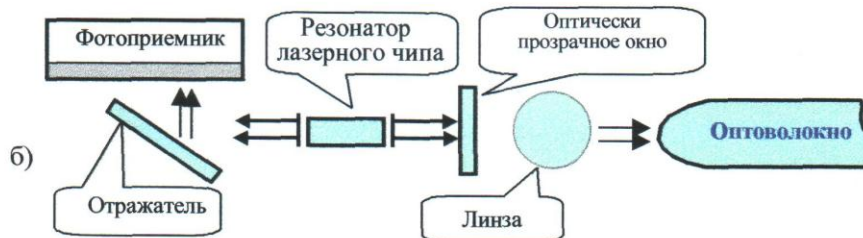
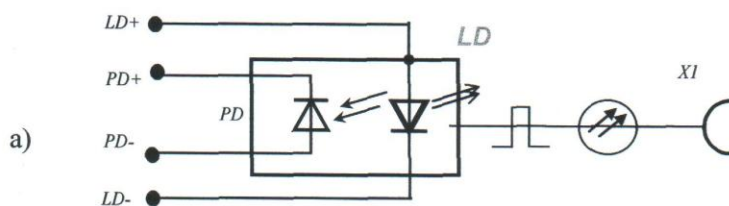


Рис. 3.

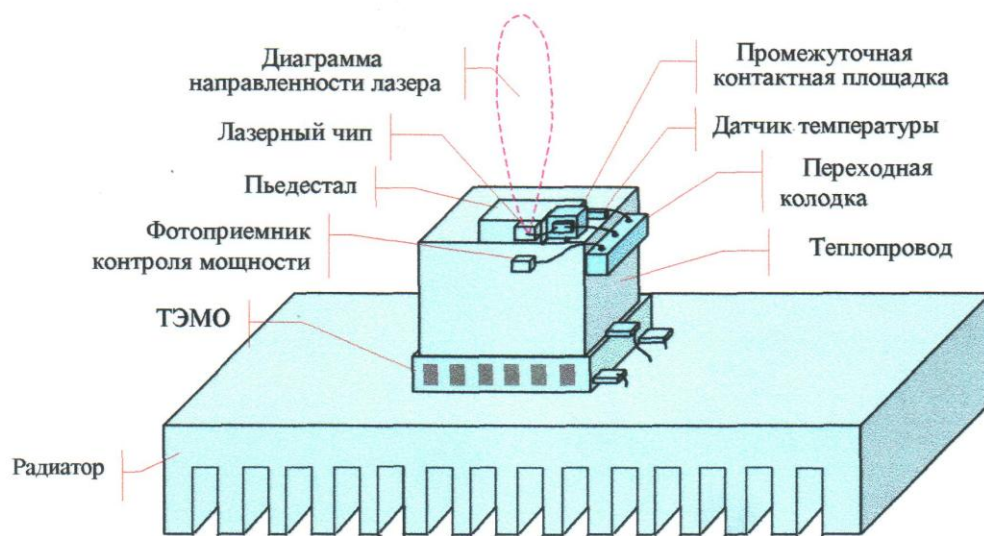


Рис. 4.

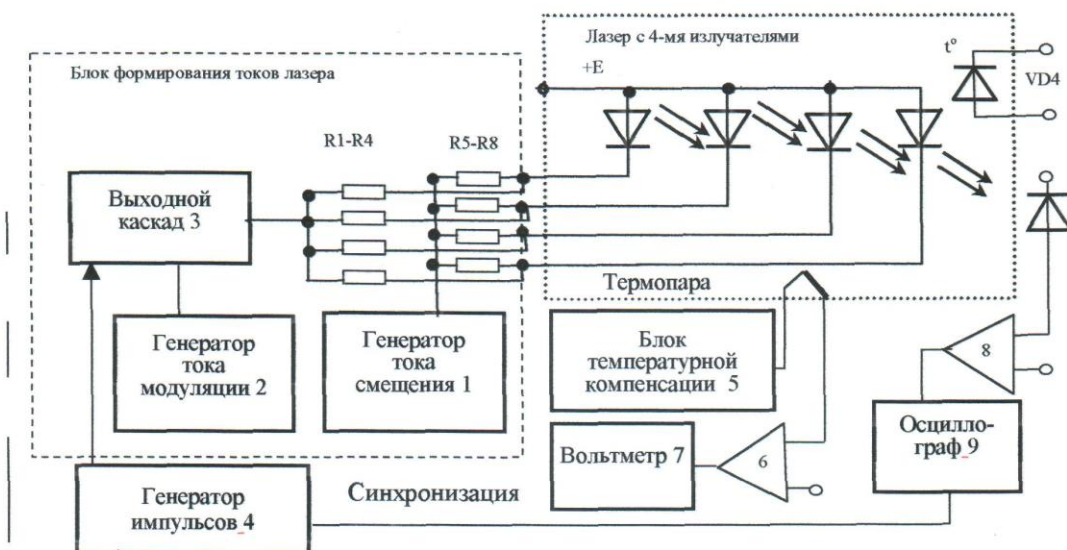


Рис. 5.

Микроохладитель на схеме обозначен как VD.

Основными функциональными блоками стенда были:

- Генератор тока смещения лазеров 1, устанавливающий начальный ток порядка 100 мА.
- Генератор тока модуляции 2, устанавливающий величину тока выходного каскада 3 при подаче импульсов требуемой длительности от генератора импульсов 4.
- Блок развязывающих резисторов R1-R4, R5-R8.
- Термопара контрольных гнезд теплопровода с блоком температурной компенсации 5.
- Усилитель сигнала термопары - 6 и вольтметр 7.
- Контрольный фотодиод PD1, принимающий излучение лазера.
- Усилитель сигнала фотодиода 8 и осциллограф 9.

Изменение средней мощности излучения лазеров производилось путем изменения длительности импульсов генератора 4. Индивидуальный рабочий ток порядка 200 мА устанавливался резисторами R1-R4, а ток смещения каждого из лазеров порядка 100 мА устанавливался резисторами R5-R8. При этом при изменении длительности импульсов коэффициент преобразования лазером электрической энергии в оптическую не изменялся благодаря тому, что не изменялось положение нижней и верхней рабочих точек на ватт-амперной характеристике лазера. Контроль длительности и уровня оптических импульсов производился с помощью осциллографа 9. Результаты испытаний приведены в таблице.

Из таблицы следует, что при малой тепловой мощности тепловое сопротивление тепловой трубы достаточно велико и соизмеримо с тепловым сопротивлением радиатора. При увеличении мощности начинает развиваться процесс испарения и конденсации внутри тепловой трубы, что приводит к снижению ее теплового сопротивления. Полученные результаты не противоречат физическим представлениям о процессах, происходящих в тепловых трубах.

Таблица
Зависимость теплового сопротивления тепловой трубы от теплового потока

№ испытания	Передаваемый тепловой поток, Р; Вт	Температура съемного фланца, °С	Температура охлаждаемого фланца; °С	Перепад температур между фланцами; Δt °С	Температура окружающей среды; t_{oc} ; °С	Тепловое сопротивление, °С/Вт
1	0,07	25,5	25,2	0,3	23	4,3
2	0,1	27,2	26,8	0,4	23	4,0
3	0,200	30	29,5	0,5	23	2,5
4	0,400	32	31,4	0,6	23	1,5
5	0,600	32	31,5	0,5	23	0,8
6	1,000	32	31,5	0,5	23	0,8
7	2,000	32	31,5	0,5	23	0,8

Таким образом, результаты анализа структуры энергетических потоков показали источники образования теплового потока, влияющего на температурный режим лазерного кристалла, и пути его определения. С целью обеспечения заданного теплового режима лазера и разработки мероприятий по снижению общего термического сопротивления тепловой цепи при системном и конструкторско-технологическом проектировании необходимо учитывать возможность использования в качестве теплопровода высокоэффективных теплопередающих устройств - тепловых труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданкевич О.В., Дарзбек С.А., Елисеев П.Г. Полупроводниковые лазеры. - М.: - Наука, 1976. - 416 с.
2. В.И. Осинский, В.Г.Вербицкий, Ю.Е. Николаенко и др. Тепловые процессы в микролазерных устройствах информационных систем // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2000. - №2-3. - С.27-35.

