

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

ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧИП-ЛАЗЕРОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКОЙ

Мачехин Ю.П., Топчий Ю.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. физических основ электронной техники,
тел. (057) 702-14-84, факс (057) 702-10-13, E-mail: yuri_m49@mail.ru

The object of research of this work is a linear chip-diode-pumped lasers and tunable ability through a variety of influences. The purpose of this research was frequency tuning the laser chip, aimed at finding new solutions to this problem. Accordingly, the paper presents the design features of solid-state chip lasers, materials used in the active element, means the pump and controls the frequency characteristics. There was realize and calculate method of thermal frequency tuning through the use of an additional source of radiation, with which it was possible to control the frequency characteristics of the chip laser.

Перестройка частоты лазера представляет собой одну из сложнейших операций управления основным параметром излучения. Воздействуя на длину оптического резонатора, любым путем: либо внесением дополнительных оптических элементов, либо изменением условий распространения излучения в резонаторе можно изменять частоту в пределах полосы усиления активной среды. Одним из способов перестройки частоты излучения чип-лазеров является способ, основанный на модуляции мощности накачки [1,2]. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами (пьезооптическим, электрооптическим или акустооптическим), поскольку не требует большой управляющей мощности (или напряжения), применения сложных электронных схем, введения внутрь резонатора дополнительных элементов или использования специальных механических конструкций. Сущность этого способа состоит в изменении температурного режима активного элемента и, соответственно, изменении частоты генерации лазера [3, 4].

Изменение частоты генерации при изменении температуры, определяется двумя механизмами: изменением собственных частот моноблочного резонатора и изменением положения линии усиления. Поэтому в некотором интервале температур будет наблюдаться плавное изменение частоты генерации в соответствии с изменением частоты моды резонатора, а затем, при отстройке частоты генерации от центра линии усиления на половину межмодового интервала произойдет «перескок» на соседнюю продольную моду.

В настоящем докладе рассматривается условие применения дополнительного источника тепла для температурной перестройки твердотельного чип-лазера. Рассмотренная схема перестройки частоты твердотельного чип-лазера изображена на (рис. 1).

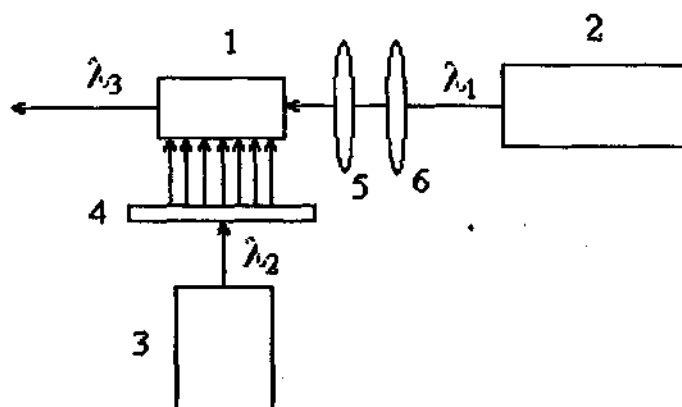


Рисунок 1 – Схема перестройки частоты твердотельного чип-лазера.

1 – чип-лазер, 2 – диодный лазер накачки, 3 – твердотельный лазер для нагрева,
 λ_1 – длина волны накачки, 4 – система линз, рассеивающая излучение, λ_2 – длина волны переходящая в нагрев, λ_3 – длина волны генерации чип лазера, 5 – коллимирующая линза, 6 – собирающая линза

В данной схеме чип-лазер представляет собой плоскопараллельную пластинку толщиной $1 \div 3$ мм. На внутренний (правый) торец активного элемента нанесено селективное покрытие, имеющее высокий коэффициент отражения на длине волны генерации ($\lambda_3 = 1,54$ мкм) и низкий на длине волны накачки. На внешнюю (левую) поверхность активного элемента нанесено промежуточное зеркало, пропускающее генерируемое излучение и отражающее излучение накачки. Типичный диаметр активной (накачиваемой) зоны составляет $50 \div 200$ мкм. Генерирующее излучение на длине волны 1,5 мкм. Накачка осуществляется параллельно оси резонатора твердотельного лазера с помощью излучения полупроводникового лазера. Излучение лазера, который является источником нагрева активного элемента, направлено перпендикулярно оси основного лазера.

В качестве активного вещества в работе предложено использовать иттербий-эрбиевое стекло для обеспечения полуторамикронного лазерного излучения. Наиболее подходящей основой для иттербий-эрбиевого стекла является фосфатная основа. Это объясняется тем, что свойства фосфатного стекла хорошо согласуются с спектрально-кинетическими требованиями иттербий-эрбиевой лазерной среды [5].

Рабочие длины волн лазеров должны быть выбраны таким образом чтобы: энергия излучения диодного лазера уходила в накачку, а энергия твердотельного на нагрев. На Рис. 2 приведен спектр поглощения синтезированного стекла в спектральной области 0,8-1,1 мкм.

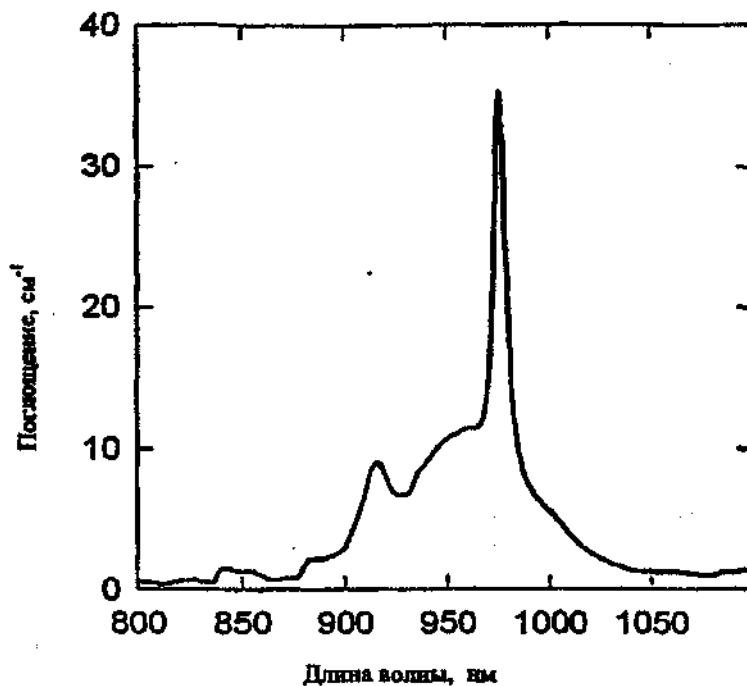


Рисунок 2 – Спектр поглощения ионов иттербия в концентрированном стекле

Для диодной накачки миниатюрных стеклянных элементов в широком спектральном интервале $\approx 0,9 \div 1$ мкм, практически совпадающем с областью возможных длин волн генерации InGaAs лазерных диодов, коэффициент поглощения имеет значения порядка 10 см^{-1} .

Следуя из графика, при выборе InGaAs диодного лазера накачки будем исходить из того, что длина волны излучения около 970 нм.

Для нагрева чип-лазера предложено использовать твердотельный лазер марки DTL-32 с длиной волны 1053 нм (разработанный научно-производственной фирмой "Лазер-компакт").

Для расчета диапазона перестройки частоты воспользуемся формулой для температурного изменения длины волны генерации лазера, которое можно представить в виде:

$$\frac{d\lambda}{dT} = d_0 \left(\frac{dn}{dT} + \alpha \right), \quad (1)$$

где, $\frac{dn}{dT}$ – температурная чувствительность показателя преломления, для

данного вещества;

α – коэффициент линейного расширения;

d_0 – период решетки.

Периодическая решетка, на которой возбуждается генерация на длине волны:

$d_0 = \frac{\lambda_{las}}{n}$, где n – показатель преломления фосфатного стекла 1,596 [8]. Заменяв период

решетки d_0 на $\frac{\lambda}{n}$ получаем:

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{\lambda}{n} \left(\frac{dn}{dT} + \alpha \right). \quad (2)$$

Для определения зависимости длины волны лазера от мощности нагревающего твердотельного лазера необходимо, воспользоваться формулой для нахождения количества внутренней энергии (теплоты), которым обладает тело при данной температуре dT , которое принято называть энтальпией. Для однородного тела ее определяют по формуле:

$$Q = c \cdot r \cdot V \cdot dT, \quad (3)$$

где, c — удельная теплоемкость материала;

r — плотность материала;

V — объем тела.

Изменение длины волны с учетом временного воздействия мощности излучения твердотельного лазера определяется с помощью выражения

$$d\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \left(\frac{dn}{dT} + \alpha \right) \frac{P \cdot \tau}{c \cdot r \cdot L_0 \cdot h^2}. \quad (4)$$

Изменение длины волны за время τ и мощности нагрева чип-лазера варьируется от $1,143 \cdot 10^{-11}$ (при мощности излучения 0,001 Вт и времени воздействия 1 секунды) до $1,028 \cdot 10^{-8}$ (при мощности излучения 0,3 Вт и времени воздействия 30 секунд).

Для определения того как изменится длина резонатора чип-лазера под действием увеличения температуры воспользуемся формулой:

$$L = L_0 \left(\alpha + \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dT} \right) T, \quad (5)$$

где, L_0 – начальная длина резонатора;

T – усредненная температура.

Усредненная температура T рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{2}{\pi L_0} \int_0^x \int_0^y \int_0^z \frac{2P \cdot d\tau}{\pi \cdot L_0} dx dy dz, \quad (6)$$

где, x, y, z – координаты объема нагрева;

$d\tau$ – время нагрева активного элемента;

P – мощность накачки.

Подставим данное выражение в формулу изменения длины резонатора и умножив данное выражение на $e^{h\nu}$ – значение, которое определяет во сколько раз убывает энергия

при прохождении активного элемента толщиной h с коэффициентом поглощения при длине волны $1,053 \text{ мкм}$ – $\beta = 0,0015 \text{ см}^{-1}$, получим:

$$L = e^{-h\beta} \left(\alpha + \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \right) \left(\frac{2}{\pi L_0} \int_0^{\tau} \int_0^{\tau} \int_0^{\tau} \frac{2P \cdot d\tau}{\pi \cdot L_0} dx dy dz \right). \quad (7)$$

Изменение длины резонатора в зависимости от мощности нагревающего лазера за разный промежуток времени может быть описано графиком на (рис 3).

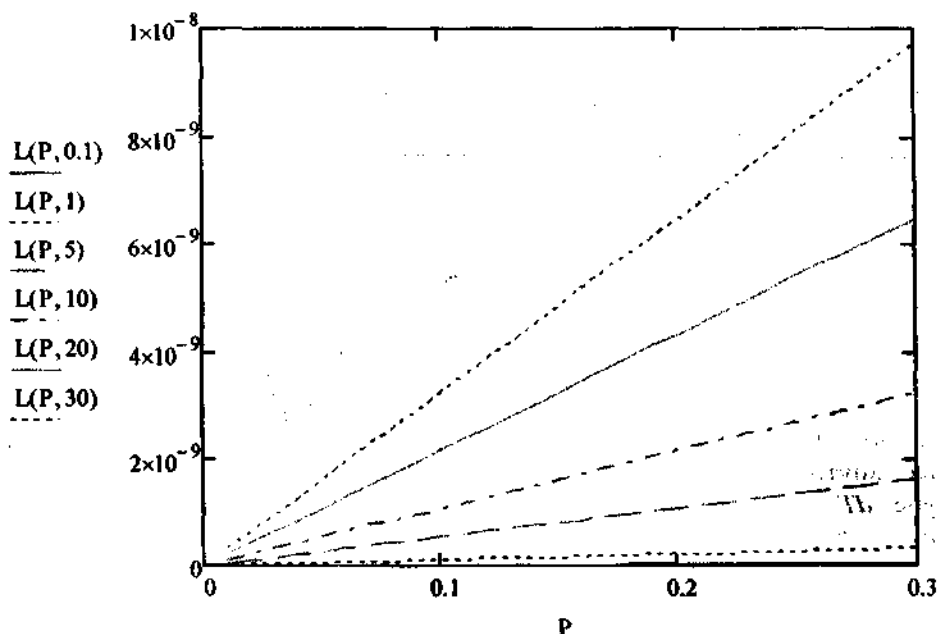


Рисунок 3 – График зависимости длины резонатора активного элемента от мощности нагрева и времени воздействия

Список литературы:

1. Zayhowsky J.J. Frequency Tuning of Microchip Lasers Using Pump-Power Modulation [Текст] / J.J. Zayhowsky // IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS. – 1992, № 4. – P. 999 – 1001.
2. Мачехин Ю.П. ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЧИП-ЛАЗЕРОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКОЙ [Текст] / Ю.П. Мачехин, О. Медведенко // Прикладная радиоэлектроника. – 2010, №3. - С.827-831
3. Кравцов Н.В. Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой [Текст] / Н.В. Кравцов // Квантовая электроника. – 2001, № 8. – С. 661 – 667.
4. Кравцов Н.В. Перестройка частоты излучения кольцевых чип-лазеров на YAG:Nd^{3+} [Текст] / Н.В.Кравцов // Квантовая электроника. – 1995, № 8. С. 793 – 795.
5. Сверчков С. Е. 1.5 мкм иттербий-эрбиевые лазеры с диодной накачкой - элементная база и генерационные возможности [Текст] / Дисс. док. физ-мат. наук: 18.11.05. - Москва: Институт общей физики им. А.М.Прохорова, 2005. - 238 с.
6. Лазерные стекла [Электронный ресурс]/ Режим доступа: [www/URL: http://femto.com.ua/articles/part_1/1900.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/1900.html) - Загл. с экрана.
7. Генерирующее лазерное стекло типа ГЛС [Электронный ресурс]/ Режим доступа: [www/URL: http://www.ipz.com.ua/glasses/os_gls.htm](http://www.ipz.com.ua/glasses/os_gls.htm) - Загл. с экрана.
8. Катаркевич, В.М. Перестраиваемый твердотельный РОС-лазер с повышенной стабильностью длины волны генерации [Текст] / В.М. Катаркевич, А.Н. Рубинов, С.А. Рыжечкин // Квантовая электроника. – 1996, №10. С. 916-918.