

Лазерный диодный модуль с активной термостабилизацией на основе элементов Пельтье для устройств и систем радиофотоники

В.В. Шестак, К.Б. Микитчук, А.Л. Чиж

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», 220072 Минск, Беларусь

Аннотация: В данной работе рассматривается лазерный диодный модуль с активной термостабилизацией на основе элемента Пельтье для устройств и систем радиофотоники, приводятся результаты исследования его выходной мощности, спектра и длины волны генерации в зависимости от температуры окружающей среды. На основе сравнения выходных характеристик модуля при активной термостабилизации и без нее анализируется эффективность использования элементов Пельтье для обеспечения возможности использования лазерных диодных модулей в устройствах и системах радиофотоники в широком температурном диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: волоконно-оптический модуль, лазерный диод, термостабилизация, элемент Пельтье, радиофотоника.

1. Введение

Радиофотонные устройства и системы, такие как волоконно-оптические линии передачи и задержки СВЧ-сигналов, оптоэлектронные генераторы СВЧ, волоконно-оптические системы распределения СВЧ-сигналов и оптоэлектронные системы обработки СВЧ-сигналов, обладают высоким потенциалом использования в современных и перспективных системах радиолокации и измерительной СВЧ-техники [1]. Использование оптического волокна в качестве волновода с высокой устойчивостью ко внешним воздействиям, а также применение пассивной элементной базы волоконно-оптических систем связи (разветвители, изоляторы, циркуляторы, фильтры, мультиплексоры, усилители на легированном эрбием волокне) и эффективных высокоскоростных активных оптоэлектронных приборов (лазерные диоды, электрооптические модуляторы, фотодетекторы) позволяет создавать новые типы устройств для обработки и формирования СВЧ-сигналов с параметрами и характеристиками, недостижимыми методами традиционной электронной СВЧ-техники [2]. В устройствах и системах радиофотоники используется оптическая несущая (~ 200 ТГц), модулированная СВЧ-сигналом ($\sim 10 - 100$ ГГц), поэтому из-за разности масштабов частоты процесс в используемых волоконно-оптических устройствах и оптическом волокне является узкополосным, что существенно упрощает формирование, обработку и анализ таких сигналов оптическими методами, однако требует высокой точности стабилизации параметров оптической несущей по отношению ко внешним воздействиям. Модули в составе радиолокационных систем, например, практически всегда работают в широком температурном диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, поэтому очень важным является обеспечение стабильной долговременной работы лазерных диодов, используемых для генерации оптической несущей.

В устройствах радиофотоники наиболее широко используются квантоворазмерные InGaAsP/InP лазерные диоды с распределенной обратной связью, которые обеспечивают одночастотную генерацию с низким уровнем относительных флуктуаций интенсивности и фазы в спектральном диапазоне 1260–1675 нм [2]. В таких лазерных диодах из-за влияния температуры происходит изменение как

эффективной длины резонатора, так и коэффициента усиления в активной области лазера, причем температурный коэффициент длины волны генерации обычно составляет величину $\sim 0.1 \text{ нм}/^\circ\text{C}$, что приводит к нестабильностям длительности задержки в оптическом волокне и генерации избыточного фазового шума из-за влияния хроматической дисперсии; нестабильности коэффициента передачи для СВЧ-сигналов; нарушению функциональности волоконно-оптических систем распределения СВЧ-сигналов [3,4]. Для стабилизации параметров оптического сигнала в современных волоконно-оптических лазерных модулях используется активная стабилизация температуры лазерного диода на основе элемента Пельтье [5,6]. В работе проводятся исследования выходных характеристик лазерных диодных модулей с волоконно-оптическим выводом излучения в широком температурном диапазоне от -50 до $+50^\circ\text{C}$, в результате анализируется эффективность применения элементов Пельтье в лазерных диодных модулях для устройств и систем радиофотоники.

2. Конструкция лазерного диодного модуля с активной термостабилизацией

На рисунке 1 показана схема лазерного диодного модуля с оптоволоконным выводом излучения и активной термостабилизацией на основе элементов Пельтье, где показаны потоки тепла, возникающие при работе в условиях изменяющейся температуры окружающей среды. Лазерный диодный модуль представляет собой собранный с одномодовым оптическим волокном кристалл квантоворазмерного InGaAsP/InP лазерного диода с распределенной обратной связью (центральная длина волны 1550 нм, одномодовый режим работы лазера с подавлением побочных мод более 50 дБ), установленный на элемент Пельтье, при этом температура внутри модуля контролируется с помощью терморезистора. Температура стабилизации (соответствует температуре терморезистора) равнялась $+30^\circ\text{C}$.

Для сохранения теплового равновесия внутри модуля полезная тепловая мощность, переносимая между гранями элемента Пельтье, должна компенсировать сумму джоулева тепла, рассеиваемого чипом лазерного диода и самим элементом Пельтье. Стабилизация температуры осуществляется с помощью пропорционального интегро-дифференциального регулятора с использованием терморезистора в качестве датчика температуры внутри лазерного модуля [4]. При этом важно отметить, что терморезистор установлен внутри лазерного модуля, но не внутри резонатора лазерного диода, то есть между лазерным диодом и терморезистором присутствует некоторое паразитное тепловое сопротивление, что приводит к небольшим ошибкам в стабилизации температуры активной области лазерного диода.

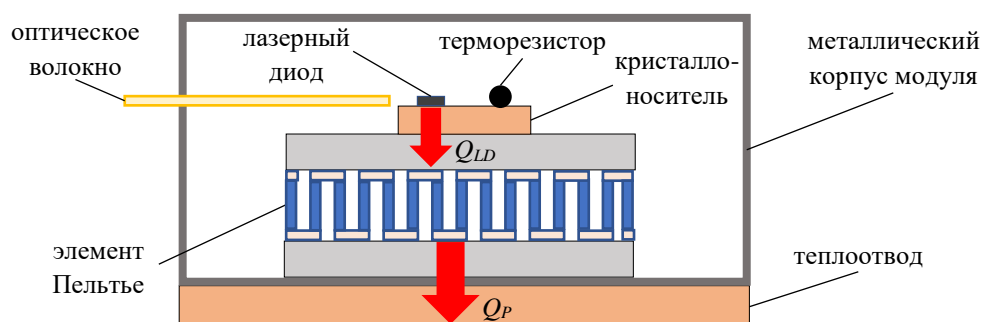


Рисунок 1. Схема лазерного диодного модуля с оптоволоконным выводом излучения и активной термостабилизацией на основе элемента Пельтье: Q_{LD} – тепловая мощность, рассеиваемая лазерным диодом, Q_P – тепловая мощность, рассеиваемая элементом Пельтье

3. Измерения спектра, длины волны и мощности генерации волоконно-оптических лазерных диодных модулей в широком температурном диапазоне

Исследуемый лазерный диодный модуль помещался в камеру тепла-холода, в которой температура изменяется в виде кусочно-непрерывной ступенчатой функции. Длительность интервалов непрерывности (интервалов постоянства температуры каждые 20°C в температурном диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$) составляла 1 час, что обеспечивает установление теплового равновесия в системе «исследуемый лазерный диодный модуль – камера тепла-холода». Измерения спектра, длины волны и мощности генерации волоконно-оптического лазерного диодных модуля проводились в конце каждого интервала непрерывности, то есть фактически при установившейся постоянной температуре. На рисунке 3 приведены спектры генерации лазерного диодного модуля без использования термостабилизации, измеренные при различных температурах окружающей среды в диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$. Из рисунка видно, что из-за изменения температуры длина волны генерации лазерного диодного модуля изменяется на величину порядка 10 нм. С повышением температуры длина волны генерации лазерного диода увеличивается, что обусловлено влиянием температуры на лазерный резонатор, при этом коэффициент подавления побочных мод составляет свыше 50 дБ и практически не изменяется при изменении температуры. Температурный коэффициент длины волны для исследуемого лазерного диода составляет величину $0.1 \text{ нм}/^{\circ}\text{C}$, что значительно ограничивает возможность применения таких лазерных модулей без термостабилизации в устройствах радиофоники.

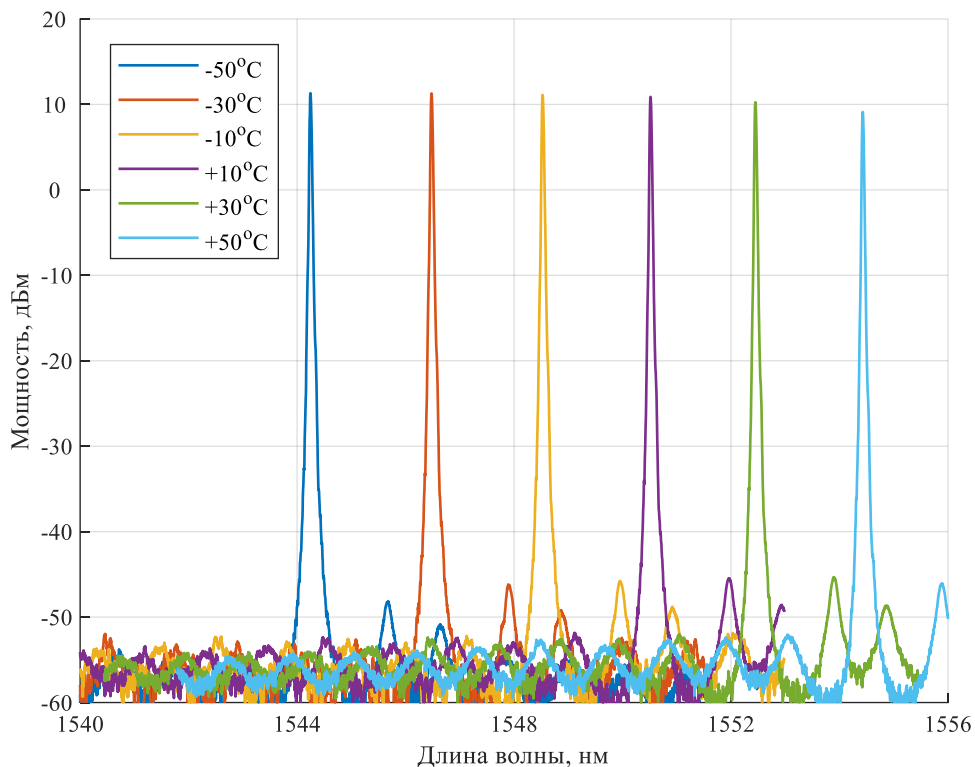


Рисунок 3. Спектры генерации лазерного диодного модуля без термостабилизации, измеренные при различных температурах окружающей среды в диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$

На рисунке 4 приведены спектры генерации лазерного диодного модуля при использовании активной термостабилизации на основе элемента Пельтье, измеренные

при различных температурах окружающей среды в диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$. Из рисунка видно, что из-за изменения температуры длина волны генерации лазерного диодного модуля при активной стабилизации изменяется на величину менее 0.3 нм. Температурный коэффициент длины волны вследствие использования активной термостабилизации на основе элемента Пельтье снизился до величины менее 0.003 нм/ $^{\circ}\text{C}$, что существенно расширяет возможности применения таких модулей в системах радиопотоники.

На рисунке 5 приведена зависимость выходной оптической мощности и длины волны генерации лазерного модуля от температуры окружающей среды при использовании активной термостабилизации и без нее. Из рисунка видно, что без использования активной термостабилизации мощность генерации лазерного модуля уменьшается на 2.3 дБ в диапазоне температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, что связано с уменьшением коэффициента усиления в активной области лазерного диода. Изменение мощности составляет более чем 40% и неприемлемо для большинства устройств и систем радиопотоники. В волоконно-оптических системах связи постоянство выходной мощности лазерных диодов обеспечивается с помощью фотодиода обратной связи за счет увеличения тока накачки. Для устройств и систем радиопотоники такой подход не применим, так как при этом изменяется длина волны генерации. Для лазерного модуля с активной термостабилизацией на основе элемента Пельтье изменение мощности генерации составляет всего 0.2 дБ во всем температурном диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$.

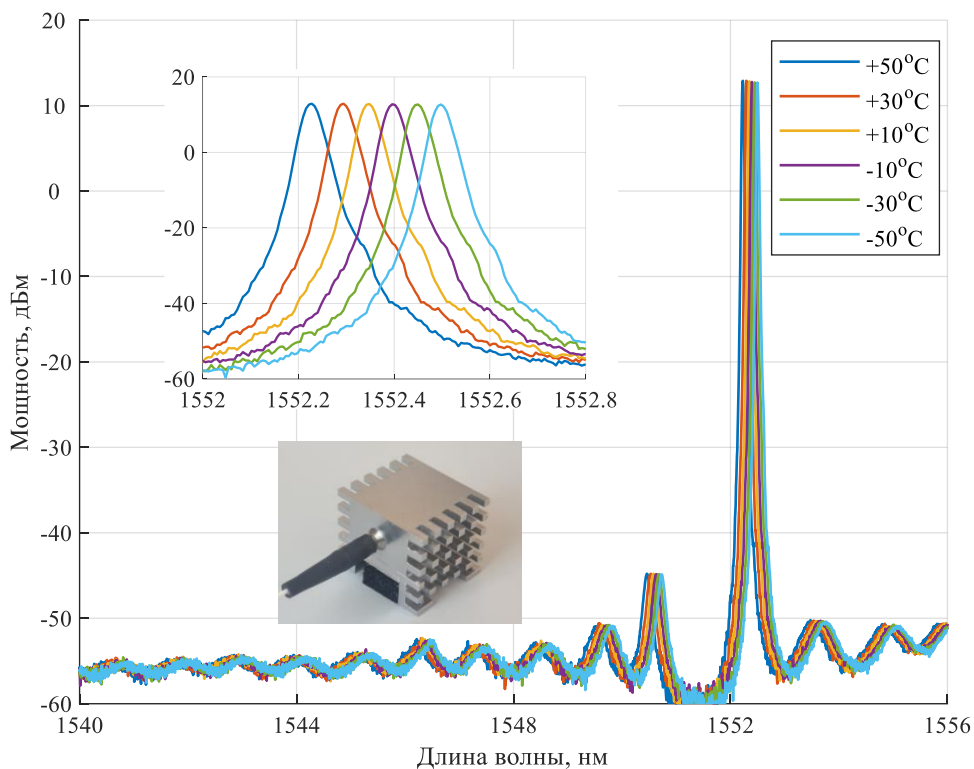


Рисунок 4. Спектры генерации лазерного диодного модуля при использовании активной термостабилизации на основе элемента Пельтье, измеренные при различных температурах окружающей среды в диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$

Следует отметить, что с повышением температуры окружающей среды длина волны генерации лазерного диода уменьшается, а выходная оптическая мощность генерации увеличивается, что обусловлено небольшим паразитным тепловым сопротивлением между лазерным диодом и терморезистором в исследуемом модуле,

что приводит к небольшому нагреву активной области лазерного диода при низкой температуре окружающей среды (-50°C) относительно температуры активной области лазерного диода при высокой температуре окружающей среды ($+50^{\circ}\text{C}$).

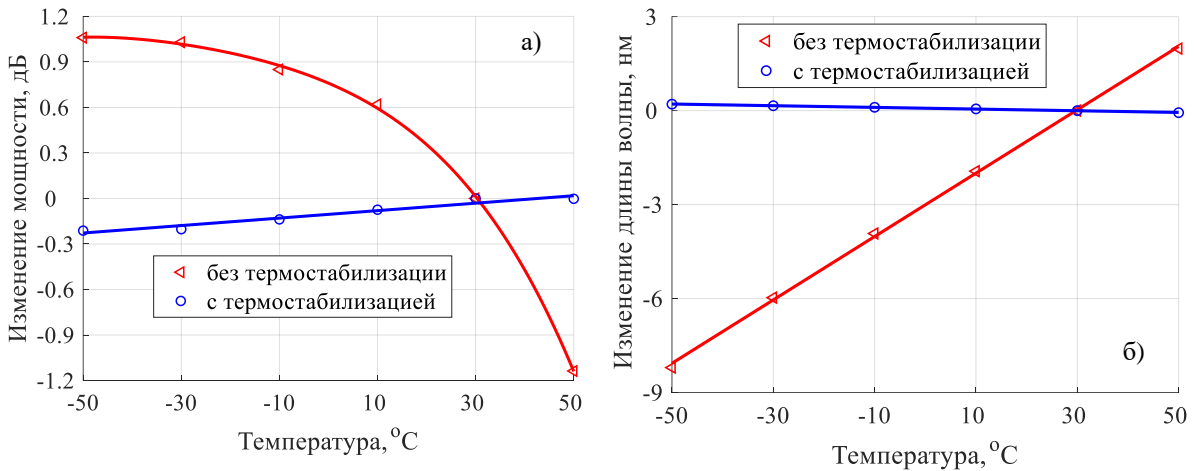


Рисунок 5. Зависимость выходной оптической мощности (а) и длины волны генерации (б) лазерного модуля от температуры окружающей среды при использовании активной термостабилизации и без нее

4. Заключение

В результате сравнения выходных характеристик лазерного волоконно-оптического модуля при активной термостабилизации с помощью элемента Пельтье и без нее установлено, что использование активной термостабилизации позволяет снизить чувствительность мощности генерации лазерного модуля к изменению температуры до величины менее $0.002 \text{ дБ}/^{\circ}\text{C}$, а температурный коэффициент длины волны генерации – до величины менее $0.003 \text{ нм}/^{\circ}\text{C}$. Это позволяет использовать лазерные модули на основе одночастотных лазерных диодов с распределенной обратной связью и активной термостабилизацией на основе элемента Пельтье в радиофотонных устройствах и системах, работающих в широком температурном диапазоне от -50 до $+50 \text{ C}$.

Список литературы

1. Yao J. Microwave photonics // Journal of Lightwave Technology. – 2009. – Vol. 27. – № 3. – P. 314-335.
2. Clark T., Waterhouse R. Photonics for RF front ends // IEEE Microwave magazine. – 2011. – Vol. 12. – № 3. – P. 87-95.
3. Numai T. Fundamentals of semiconductor lasers / Springer, 2015. – 289 p.
4. Wang H., Yu Y. / Dynamic modeling of PID temperature controller in a tunable laser module and wavelength transients of the controlled laser // Journal of Quantum Electronics. – 2012. – Vol. 48. – № 11. – P. 1424-1431.
5. Gao J. et al. TEC power consumption in laser array packaging // Optical and Quantum Electronics. – 2017. – Vol. 49. – Art. № 139.
6. Chengxiang L. et al. / Design of automatic temperature control system on laser diode of erbium-doped fiber source // 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. – 2011. – P. 404-407.