

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.373.826

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИОДАМИ НАКАЧКИ ВОЛОКОННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРОВ

А.С. ГНАТЕНКО, Ю.П. МАЧЕХИН, Ю.В. НАТАРОВА

В данной работе были исследованы и созданы: система управления током маломощного, 330 мВт, полупроводникового накачивающего диода, работающего на длине волны 980 нм, для накачки волоконного кольцевого фемтосекундного лазера и система управления термостабилизацией этого диода. Был проанализирован спектр диода накачки с использованием этих систем, что показало стабильную работу системы управления током и термостабилизации. При максимальном токе накачки 518 мА, температура диода была $25 \pm 0,5$ °С.

Ключевые слова: диод, термостабилизация, волоконный лазер, ток накачки, длина волны, спектр излучения, активная среда, линия поглощения, термистор, микросхема.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из самых быстро развивающихся направлений в лазерной технике — создание волоконных кольцевых лазеров с полупроводниковой накачкой, работающих в режиме генерации фемтосекундных импульсов [1–11]. Эти лазеры используются в волоконно-оптических системах связи с высокой скоростью передачи данных (более 1 Гбит/с) [12], в качестве источников суперконтинуума и в качестве источников излучения для метрологических задач в области измерения частоты оптического излучения [13]. При создании такого лазера необходимо обеспечить стабильный режим питания кольцевого лазера. При использовании полупроводниковых лазеров, работающих в непрерывном режиме для накачки высокостабильных малогабаритных волоконных лазеров, необходимо контролировать стабильность тока накачки полупроводникового лазера. В отличие от мощных волоконных лазеров, для накачки которых используются, как правило, системы лазерных диодов (матрицы, линейки), в маломощных волоконных лазерах, к которым относятся кольцевые волоконные лазеры, используются одиночные лазерные диоды с волоконным выводом излучения. Для управления лазерными диодами требуется электронная система (драйвер), которая обеспечивает контроль, перестройку и стабилизацию тока накачки. Кроме функции контроля и управления рабочим током система должна обеспечивать термостабилизацию кристалла полупроводникового лазера, которая обеспечивает стабильность не только выходной мощности, но и спектральных свойств излучения. Целью настоящей работы была разработка и создание для волоконно-кольцевого фемтосекундного лазера, системы термостабилизации и системы управления током накачивающего диода.

1. НЕОБХОДИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ НАКАЧКИ

Система управления модулем накачки кольцевого волоконного лазера обусловлена параметрами и конструкцией полупроводникового лазера накачки.

Излучение лазера накачки должно характеризоваться двумя основными параметрами: спектром излучения, совпадающим со спектральной областью поглощения активной среды и уровнем мощности, достаточным для накачки волоконного лазера.

Чтобы обеспечить максимальную эффективность накачки, из серийно выпускаемых полупроводниковых лазеров выбирают тот экземпляр, который в рабочей точке тока накачки обеспечивает генерацию с узким спектром излучения. На рис. 1 приведен спектр излучения модуля накачки. Использованный в исследовании спектроанализатор, собран на основе ПЗС линейки, чувствительность которой находится в области от 400 до 1100 нм.

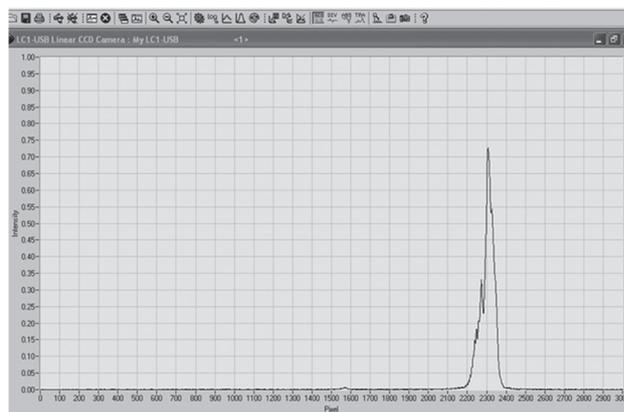


Рис. 1. Спектральный состав лазерного диода накачки

Поэтому по зарегистрированному спектру излучения, ориентируясь на параметры ПЗС линейки, можно определить среднюю величину ширины спектра на полувысоте, которая составляет около 20 нм. Учитывая наличие пяти локальных экстремумов в зарегистрированном спектре можно полагать, что в спектре пять продольных мод, расстояние между которыми составляет около 4 нм. Таким образом, при ширине линии поглощения не менее 20 нм, 90% излучения накачки поглощается активной средой.

Мощность излучения лазера накачки кольцевого волоконного лазера подбирается исходя из коэффициента преобразования излучения накачки в генерируемое волоконным лазером излучение. При этом рабочий ток лазера накачки был 518 мА. Таким образом мы получили оптимальные показатели спектральных характеристик накачивающего диода при максимально допустимом токе, а именно 520 мА, накачивающего диода, что соответствует его паспортным данным, табл. 1.

Таблица 1

Электронные характеристики модуля накачки

Параметры	Значение параметров
Диод накачки	
Прямой ток	520 мА
Прямое напряжение	2 В
Термистор	
Сопротивление	10 кОм
Термоэлектрический «куллер»	
Потребляемое напряжение	2,1 В
Потребляемый ток	1,4 А
Потребляемая мощность	2,9 Вт

2. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ДИОДОМ НАКАЧКИ

Основные рабочие параметры модуля накачки (в табл. 1 приведены основные значения параметров) должны быть обеспечены электронной системой управления. Главная особенность питания полупроводникового лазера заключается в плавной подаче напряжения в течение нескольких миллисекунд.

В настоящей работе использовался полупроводниковый лазер накачки с волоконным выводом излучения, рис. 2, схема разводки в корпусе по всем внутренним элементам приведена на рис. 3.

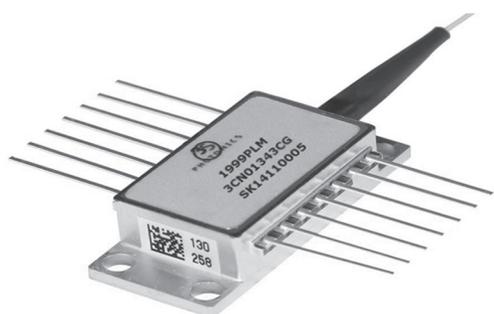


Рис. 2. Модуль накачки для лазерного диода

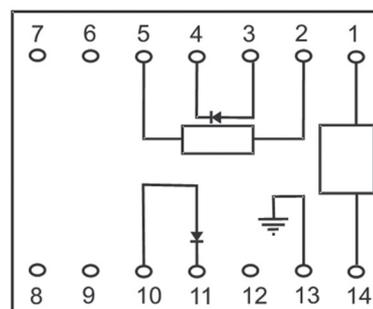


Рис. 3. Электронная схема модуля накачки:
1 – ТЕС(+); 2, 5 – термистор; 3 – анод фотодиода;
4 – катод фотодиода; 10 – анод лазера;
11 – анод лазера; 13 – заземление; 14 – ТЕС(-)

Внешняя разводка на корпусе лазера имеет вид типа “butterfly”, что обеспечивает быстрое подсоединение лазера к системе управления.

В основе драйвера мы использовали микросхему NCP3065. Преимуществом, которой является плавная подача напряжения на выходе, что и требуется для лазерного диода, чтобы вышел из строя от резкого скачка подачи напряжения. Все выбросы выходного напряжения, которые негативно действуют на лазерный диод срезаются по уровню номинального выходного напряжения (рис. 4). Таким образом на выходе мы имеем чистый ровный уровень номинального выходного напряжения без скачков и помех. Также в схеме реализована перестройка по выходному току.

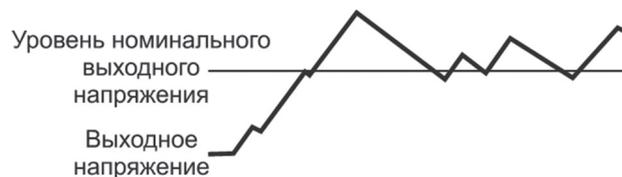


Рис. 4. Диаграмма выходного напряжения для лазерного диода

3. СИСТЕМА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРА

В основе системы термостабилизации лазера была использована микросхема MAX1968, микросхема состоит из двух регуляторов тока, которые, работая вместе, позволяют непосредственно управлять током ТЕС. Эта конфигурация управления позволяет контролировать ток для охлаждения и нагрева элемента Пельтье одновременно. Таким образом в свою очередь мы можем контролировать температуру ТЕС, ввиду жестких требований лазера. Блок-схема системы изображена на рис. 5. Схема реализована с применением термистора, который обратной связью связан с управлением токов ТЕС. Обратная связь организована через схему сравнения на операционных усилителях MAX4477 и MAX4475.

Для тестирования системы был собран стенд с нагрузкой сопоставимой лазерному диоду, термистором и элементом пельтье по аналогичным параметрам, которые реализованы в диоде накачки. Результатом тестирования при нагреве было значение стабилизированной температуры

лазера в пределах $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$, что соответствует высокой эффективности и правильной работе данной системы.

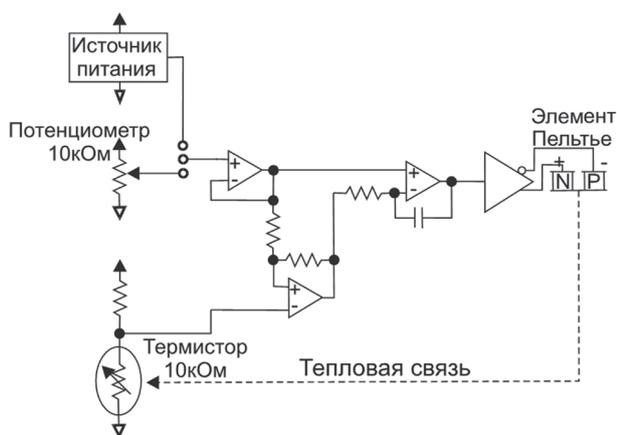


Рис. 5. Схема управления элементом Пельтье

ВЫВОДЫ

При подключении лазера накачки к системе термостабилизации и управления током накачки, лазер работал стабильно и выдавал на выходе 330мВт, что соответствует его паспортным данным, измерение проводилось с помощью измерителя мощности фирмы OPHIR. Также было проведено исследование спектрального состава излучения (рис. 1), результатом была устойчивая многомодовая структура, при которой не наблюдалось в течении времени изменений или смещения спектральных составляющих, что соответствует эффективной и правильной работе системы термостабилизации, т. к. при изменении или колебании температуры лазерного диода, происходит изменение или смещение спектра излучения. Система управления током накачки лазерного диода является универсальной, т.к. добавив в схему внешний транзистор можно качать токи до 20 А, а если в схему включить несколько микросхем NCP3065 параллельно, то и более 60 А, к примеру, для тока накачки 80 А, мы включали параллельно в системе 3 микросхемы, соответственно увеличивались габариты системы в связи с использованием под такие токи соответствующих дросселей и транзисторов, но система работала безукоризненно. Простота реализации и эффективная работа дает возможность в использовании нашей системы для управления накачкой мощных полупроводниковых лазерных диодов, а также всех типов лазеров с диодной накачкой.

Литература

- [1] W. Guan, Z. Jiang, J. R. Marciante, "Fibers for High Powers: Specialty fibers shine as high-power, high-beam-quality fiber sources", *Laser Focus World*, 2007, vol. 43, issue 11. – P. 105-107.
- [2] C. Spiegelberg, J. Geng, Y. Hu, Y. Kaneda, and S. Jiang, "Low-Noise narrow-Linewidth fiber laser at 1550nm," *J. Lightwave Technol.*, 2004, vol. 22. – P. 57–62.
- [3] Y. Shen, Y. Qin, B. Wu, W. Zhao, S. Chen, T. Sun, and K. T. V. Grattan, "Short cavity single frequency fiber laser

for in-situ sensing applications over a wide temperature range," *Opt. Lett.*, 2009, vol. 15, № 2. – P. 363–370.

- [4] Z. Dai, and X. Zhang. "Stable high power narrow linewidth single frequency fiber laser using a FBG FP etalon and a fiber saturable absorber," *Photonics and Optoelectronic (SOPO)*, 2010 Symposium on. IEEE. – P. 4–8.
- [5] F. Yin, et al. "60-nm-wide tunable single-longitudinal-mode ytterbium fiber laser with passive multiple-ring cavity," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2011, vol.32, № 22. – P. 1658–1660.
- [6] V.V. Spirin, C.A. Lopez-Mercado, P.Megret, and A.A.Fotiadi, "Single-mode Brillouin fiber laser passively stabilized at resonance frequency with self-injection locked pump laser," *Laser Phys. Lett.*, 2012, vol. 9, № 5. – P. 377–380.
- [7] T. Zhu, F. Y. Chen, S. H. Huang, and X. Y. Bao, "An ultra-narrow linewidth fiber ring laser based on Rayleigh backscattering in a tapered optical fiber," *Laser Phys. Lett.*, 2013, vol. 10, pp.55110-55114.
- [8] Z. C. Luo, Q. Y. Ning, H. L. Mo, H. Cui, J. Liu, L. J. Wu, A. P. Luo, and W. C. Xu, "Vector dissipative soliton resonance in a fiber laser," *Opt. Express*, 2013, vol.21, №8. – P. 10199–10204.
- [9] J. Sotor, G. Sobon, W. Macherzynski, P. Paletko, K. Grodecki, and K. M. Abramski, "Mode-locking in Er-doped fiber laser based on mechanically exfoliated Sb2Te3 saturable absorber," *Opt. Mater. Express*, 2014, vol.4, №1. – P. 1–6.
- [10] M. Salhi, H. Leblond and F. Sanchez, Stability calculations for the ytterbium-doped fibre laser passively mode-locked through nonlinear polarization rotation // *Physics optics*, 8, 2004
- [11] Гнатенко А.С., Мачехин Ю.П., "Устойчивость режима генерации волоконного кольцевого лазера", *Радиотехника, Харьков*, 2014, №178, с. 48-51.
- [12] M. E. Fermann, and I. Hartl, "Ultrafast fibre lasers," *Nat. photonics*, 2013, vol.7, pp.868-874.
- [13] Coddington, I; Swann, W. C.; Nenadovic, L. & Newbury, N. R. "Rapid and precise absolute distance measurement at long range, *Nature Photonics*", 2009, vol. 3. – P. 51-356.

Поступила в редколлегию 8.06.2015

Гнатенко Александр Сергеевич, аспирант кафедры физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника, волоконные лазеры, лазеры сверхкоротких импульсов, твердотельные и полупроводниковые лазеры.



Мачехин Юрий Павлович, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, заслуженный метролог Украины, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, заведующий кафедрой физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: лазерная измерительная техника и оптоэлектронные приборы.





Натарова Юлия Владимировна, студентка кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: электроника, системы управления оптоэлектронными и электронными устройствами.

УДК 621.373.826

Система управління діодами накачування волоконних кільцевих фемтосекундних лазерів / О.С. Гнатенко, Ю.П. Мачехин, Ю.В. Натарова // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2015. — Том 14. — № 2. — С. 185–188.

У даній роботі досліджено та створено систему управління малопотужного, 330 мВт, напівпровідникового накачуючого діода, що працює на довжині хвилі 980 нм, для накачування волоконного кільцевого фемтосекундного лазера та систему управління термостабілізацією цього діода. Проаналізовано спектр діода накачування з використанням цих систем, що показало стабільну роботу системи управління стру-

мом і термостабілізації. При максимальному струмі накачування 518 мА, температура діода була $25 \pm 0,5$ °С.

Ключові слова: діод, термостабілізація, волоконний лазер, струм накачування, довжина хвилі, спектр випромінювання, активне середовище, лінія поглинання, термістор, мікросхема.

Табл.: 1. Іл.: 05. Бібліогр.: 13 найм.

UDC 621.373.826

The control system of the pump diodes fiber ring femtosecond lasers / A.S. Gnatenko, Y.P. Machekhin, Y.V. Natarova // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2015. — Vol. 14. — № 2. — P. 185–188.

This paper researches and develops a current control system of a low-power (330 mW) pumping diode that operates at a wavelength of 980 nm, which is designed for pumping fiber ring femtosecond laser and a control system of the thermal stabilization of the diode. The pumping diode spectrum was analyzed using these systems. This analysis showed the stable operation of the current control and temperature stabilization system. At the maximum pump current of 518 mA the diode temperature was $25 \pm 0,5$ °С.

Keywords: diode, thermal stabilization, fiber laser, pump current, wavelength, radiation spectrum, active medium, absorption line, thermistor, microcircuit.

Tab.: 1. Fig. 05. Ref.: 13 items.