

ный диапазон и имеет меньший предел разрешения. Рассмотренные варианты решений позволяют также обеспечить для входного поля перпендикулярность оптической оси системы, расширив область применения за счет снижения ограничений на выбор системы формирования входного изображения.

Данные решения технологически просты, приборы на их основе могут применяться, например, в биомедицинских приложениях, обеспечивая МГС с пространственным разрешением до 2×10^4 и спектральным разрешением на уровне 10 нм для спектрального диапазона 400–700 нм.

УДК 621.372.821.1

ПАССИВНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ДОБОРНОСТИ МИКРОЧИП ЛАЗЕРА ИЗЛУЧАЮЩЕГО В ОБЛАСТИ 2 МКМ С ЗАТВОРОМ НА ОСНОВЕ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Гусакова Н.В.¹, Демеш М.П.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Choi S.Y.², Rotermund F.², Павлюк А.А.³, Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ, Минск, Республика Беларусь

² Korea Advanced Institute of Science and Technology, Yuseong-gu, Daejeon 34141, South Korea

³ Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Импульсные лазерные источники спектральной области 2 мкм представляют интерес для ряда практических применений таких как: хирургические лазеры системы, системы прецизионной обработки, системы дистанционного зондирования атмосферы (LIDAR), системы оптической связи, а также системы измерения скорости ветра (Doppler-LIDAR) с целью повышения безопасности полетов. Излучение с длиной волны 2 мкм, позволяет проводить анализ концентраций ряда атмосферных газов (H₂O, CO₂, N₂O), что является необходимым при экологическом мониторинге окружающей среды. Кроме того, излучение с длиной волны более 2 мкм может быть эффективно преобразовано в средний ИК-диапазон (3-8 мкм) с помощью нелинейных кристаллов [1].

Для получения генерации в области 2 мкм используют кристаллы, активированные ионами тулия и гольмия. В последнее время возрастает интерес к созданию компактных систем, излучающих в области 2.1 мкм на основе кристаллов со-активированных ионами Tm и Ho. Ключевым достоинством таких систем является возможность их накачки в области 800 нм коммерчески доступными AlGaAs лазерными диодами.

Для реализации импульсного режима генерации часто используют режим пассивной модуляции добротности. В последнее время в качестве пассивных затворов для таких систем было предложено использовать насыщающиеся поглотители на основе наноматериалов [2-5]. Достоинством пассивных затворов на основе углеродных нанотрубок является широкая полоса поглощения E₁₁ в области 1.9-2.1 мкм, позволяющая

Литература

1. Hagen N., Kudenov M. W. Review of snapshot spectral imaging technologies // Opt. Engineering. – 2013. – Vol. 52, № 9. – P. 090901-1–090901-23.

2. Гулис И. М., и др. Многощелевой спектрометр с дифракционной решеткой для спектроскопии с пространственным разрешением // Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика. – 2017. – № 3. – С. 4–11.

3. Гулис И. М., и др. Многощелевой спектрометр с дифракционной решеткой и зеркальными объективами для спектроскопии с пространственным разрешением // Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика. – 2018. – № 2. – С. 4–10.

использовать их в качестве пассивных затворов для тулиевых и гольмиевых лазеров, сравнительно простая и дешевая технология синтеза и быстрое время релаксации просветленного состояния [3]. Режим пассивной модуляции добротности с использованием затвора на основе углеродных нанотрубок был реализован впервые с кристаллом Tm, Ho:YAP [6]. В настоящей работе впервые получен режим модулированной добротности Tm, Ho:KYW микрочип лазера с затвором на основе однослойных углеродных нанотрубок.

Схема лазера представлена на рисунке 1.

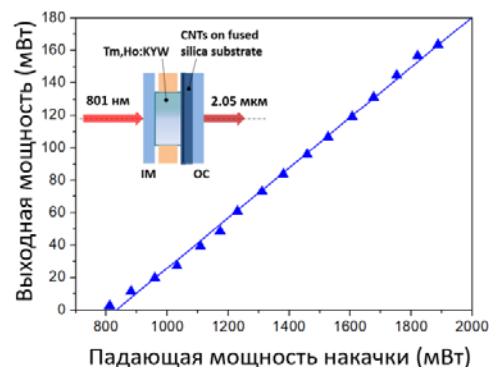


Рисунок 1 – Зависимость выходной мощности Tm, Ho:KYW микрочип лазера работающего в режиме пассивной модуляции добротности от падающей мощности накачки

Кристалл Tm (5 at.%), Ho (0.5 at.):KYW толщиной 2.5 мм вырезанный вдоль оси оптической Ng был обернут в индиевую фольгу и закреплен в медном теплоотводе. Температура кристалла поддерживалась на уровне 15°C и регулировалась

элементом Пельтье. На входную и выходную грани активного элемента были нанесены антиотражающие покрытия для длин волн накачки и лазерной генерации. Плоское входное зеркало располагалось в непосредственной близости к входной грани активного элемента. Пассивный затвор на основе углеродных нанотрубок, нанесенный на кварцевую пластинку толщиной 1 мм и плоское выходное зеркало располагались вплотную к выходной грани кристалла. Воздушные зазоры между элементами были менее 0.5 мм, общая длина резонатора составляла ~ 3.5 мм. Пропускание выходного зеркала резонатора составляло 2 %, начальное пропускание затвора на длине волны 2053 нм – 98 %. Накачка лазера осуществлялась AlGaAs лазерным диодом с длиной волны 801 нм и волоконным выводом излучения (диаметр волокна-125 мкм, $M^2=25$). Диаметр пятна накачки в кристалле составлял 100 мкм.

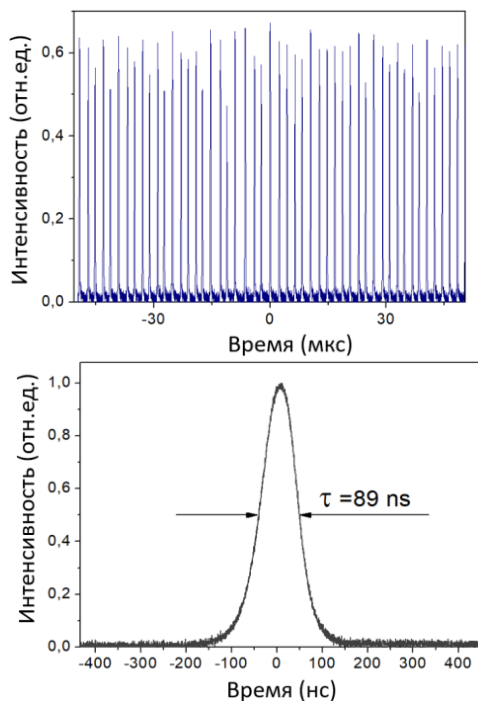


Рисунок 2 – Осциллограммы выходного излучения лазера в режиме пассивной модуляции добротности

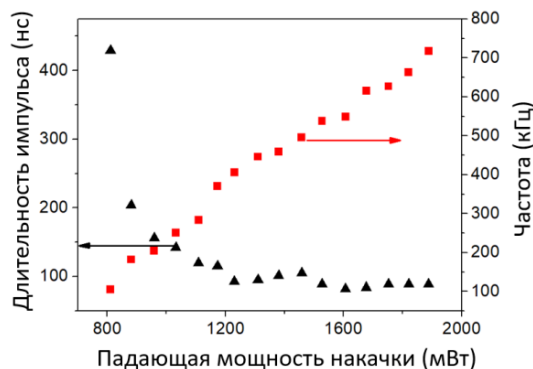


Рисунок 3 – Зависимость выходных характеристик Tm,Ho:KYW лазера от падающей мощности накачки

На рисунке 1 представлена зависимость выходной мощности лазера в режиме пассивной модуляции добротности от падающей на кристалл мощности накачки. В кристалле поглощалось более 95 % падающей мощности накачки. С ростом мощности накачки длительность импульсов сокращалась с 429 до 89 нс (рис. 2), частота следования импульсов возрастала от 105 до 717 кГц (рис. 3).

Максимальная выходная мощность лазера составила 166 мВт при падающей мощности накачки 1.88 Вт и ограничивалась максимальной мощностью источника накачки. Дифференциальная эффективность по падающей мощности накачки составляла 15 %. Энергия импульса составляла 0.22 мкДж, пиковая мощность – 2.65 Вт, при частоте следования импульсов 717 кГц и длительности импульса 89 нс.

Лазер излучал на длине волны 2057 нм. Излучение лазера было поляризовано вдоль оси оптической индикатрисы Nm. Лазер работал в режиме генерации TEM₀₀ моды. Спектр генерации и пространственное распределение интенсивности в поперечном сечении пучка генерации представлены на рисунке 4.

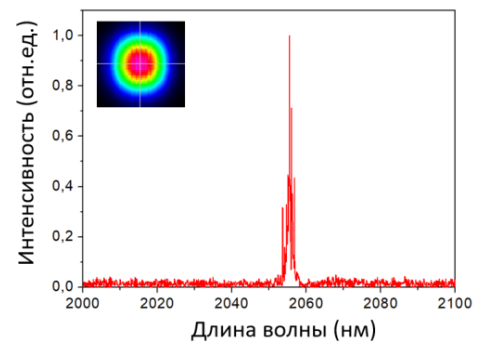


Рисунок 4 – Спектр генерации микрочип лазера и пространственное распределение интенсивности поперечном сечении пучка генерации

Литература

1. K. Scholle, S. Lamrini, P. Kookmann and P. Fuhrberg, 2μ laser sources and their possible applications (Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics B Pal. Ed., InTech, Rijeca, Croatia, 2010)
2. S.Y. Set, H. Yaguchi, Y. Tanaka, M. Jablonski, «Laser Mode Locking Using a Saturable Absorber Incorporating Carbon Nanotubes», J. Lightwave Technol. 22, 51 (2004).
3. W.B. Cho, A. Schmidt, J.H. Yim, S.Y. Choi, S. Lee, F. Rotermund, U. Griebner, G. Steinmeyer, V. Petrov, X. Mateos, M.C. Pujol, J.J. Carvajal, M. Aguilo, F. Diaz, «Passive mode-locking of a Tm-doped bulk laser near 2 μm using a carbon nanotube saturable absorber», Opt. Express 13, 11007 (2009).
4. G.Q. Xie, J. Ma, P. Lv, W.L. Gao, P. Yuan, L.J. Qian, H.H. Yu, H.J. Zhang, J.Y. Wang, and D.Y. Tang, «Graphene saturable absorber for Q-switching and mode locking at 2 μm wavelength», Opt. Mater. Express 2, 878 (2012).

5. S.W. Wang, H. Yu, H. Zhang, A. Wang, M. Zhao, Y. Chen, L. Mei, J. Wang, «Broadband Few-Layer MoS₂ Saturable absorber», Adv. Mater. 26, 3538 (2014).

6. T.L. Feng, S.Z. Zhao, K.J. Yang, G.Q. Li, D.C. Li, J. Zhao, W.C. Qiao, L.H. Zheng, J. Xu, G.J. Zhao, Y.G. Wang, «A diode-pumped passively Q-switched Tm,Ho:YAP laser with a single-walled carbon nanotube», Las. Phys. Lett., 10(9), 6 (2013).

УДК 621.382.019.3

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОДИОДОВ С МАЛЫМ ТЕЛОМ СВЕЧЕНИЯ

Манего С.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Для определения срока службы светоизлучающих устройств (СУ) широко используются методики ускоренных испытаний при повышенных значениях температуры окружающей среды (T_A) и прямого тока (I_F). В основу этих методик могут быть положены различные теоретические модели и механизмы деградации светового потока светоизлучающего устройства. Аналогия процесса старения, описанного моделью и реальных процессов старения СУ, определяющих их надежность, признается как неформальная многими исследователями. Поскольку скорость дрейфа параметров весьма мала, то для ее увеличения и оценки других составляющих модели используют форсированные испытания СУ при повышенных температурах и токах нагрузки.

Анализ практики передовых мировых производителей светодиодных устройств позволил сделать вывод, что непосредственным результатом превращения качества в основной фактор конкурентоспособности стал отказ от методов контроля и отбраковки как средства обеспечения надежных свойств и выработки гарантий качества для потребителей. Среди причин, ограничивающих возможность применения этих методов в современных условиях, можно указать: стоимостные (обеспечение надежности компонентов за счет жестких методов тестирования, что многократно увеличивает их себестоимость), физические (существуют физические пределы повышения надежности продукции за счет отбраковочных испытаний), организационные (длительность стандартизированных процедур аттестации качества электронных компонентов приходит в противоречие с короткими циклами разработки), сравнительно низкий уровень гарантий качества. Невозможность эффективно разрешить указанные ограничения стимулировала переход к более совершенным методам оценки и прогнозирования надежности СУ, основным на концепции предотвращения появления дефектов и статистического подхода в оценке надежных параметров СУ. Одним из таких методов предлагается использовать люминесцентные методы исследования деградации СУ.

Известно, что спектры спонтанного излучения светодиодных излучателей (СИ) содержат информацию о физических особенностях излучательного процесса в активной среде светодиода. Однако интерпретация спектра как интегральной характеристики обычно осложняется в силу наложения одновременно многих факторов: перегрев активной области СИ, неравномерного распределения состава в активной области, неравномерное распределение плотности тока, как активной области СИ, так и по всей матрице СУ. Все эти факторы формируют усредненную форму спектра излучения, которая описывается в рамках лоренцев форм-фактора для однородного уширения [1]. В работе для получения объективной информации о надежности СУ содержащих светодиоды с малым телом свечения (СИД с МТС), с учетом комплексного влияния всех воздействующих факторов, была проведена количественная оценка изменения параметров спектров электролюминесценции СИД с МТС.

Для анализа спектров люминесценции светодиодов использовались светодиоды на основе структур твердых растворов AlInGaP/GaAs. Такие твердые растворы используют для создания сверхъярких светодиодов, излучающих в красном, оранжевом и желтом диапазонах видимого спектра. Отметим, что при изменении состава в точке пересечения экстремумов Г-Х, свойства AlInGaP изменяются, он становится непрямозонным полупроводником, эффективность его излучения заметно понижается. Для высокой эффективности светодиодов вблизи точки пересечения энергия излучения должна быть меньше ширины запрещенной зоны на несколько кТ, что являются базовым вариантом структур для современных лазеров и светодиодов. Для анализа спектров люминесценции были отобраны две группы светодиодов с малым телом излучения (Группа № 1 и Группа № 2), созданных на основе чипа AlInGaP/GaAs (ELC-645-29-20) фирмы EPIGAP Optoelectronic GmbH, группа № 1 (20 шт.) в корпусе КТ-1-4.04НБ и группа № 2 (20 шт.) – корпус КУТ-32 (ГОСТ 16504-81). При создании светодиодов группы № 1 и № 2, для