



Максим Богданович,
генеральный директор ГНПО «Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника»,
кандидат физико-математических наук



Геннадий Рябцев,
заведующий центром лазерной
техники и технологий Института
физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, доктор физико-
математических наук, профессор



Андрей Рябцев,
заведующий лабораторией лазерной
техники и оптики ГНПО «Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника»,
кандидат физико-математических
наук, доцент



Александр Григорьев,
заместитель заведующего центром
лазерной техники и технологий
Института физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, кандидат физико-
математических наук, доцент

Высокотехнологичные твердотельные лазеры с диодной накачкой

Твердотельные лазеры с диодной накачкой широко применяются при создании современных компактных и высокоэффективных систем мониторинга окружающей среды, оптического спектрального анализа, дистанционного обнаружения сверхмалых концентраций опасных веществ, технологических комплексов обработки материалов, систем по измерению дальности и скорости и др. Для многих практических задач требуются лазеры, генерирующие пучки с улучшенными пространственными, поляризационными и временными характеристиками, которые могут работать в широком температурном диапазоне с высокой выходной мощностью и КПД. Улучшение параметров излучателей и оптимизация режимов их функционирования связаны, как правило, с выявлением и устранением (или уменьшением влияния) процессов и факторов, которые приводят к снижению эффективности преобразования энергии накачки в энергию выходного излучения. Для твердотельных лазерных излучателей к таким процессам и факторам относятся, в частности, преобразование части энергии накачки в тепловую энергию, потери в непрокачиваемых областях активных элементов, обеспечение равномерного возбуждения активного элемента в поперечном сечении и др.



К исследованиям по диодной накачке твердотельных лазерных сред Институт физики НАН

Беларуси подключился в конце 1960-х – начале 1970-х гг., когда на первый план выдвинулась тематика, связанная с изучением первых (Al, Ga)As-инжекционных гетеролазеров. Совместно с НИИ «Полюс» (Москва), НПП «Инжект» (Саратов) и ФТИ им. А. Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) успешно решены важные научные и прикладные задачи, ориентированные на совершенствование характеристик лазерных диодов (ЛД), линеек лазерных диодов (ЛЛД) и матриц лазерных диодов (МЛД), что привело к значительному повышению степени их надежности и эксплуатационной привлекательности.

Приобретенный богатый опыт работы с полупроводниковыми излучателями позволил Институту физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси в середине

90-х гг. без промедлений приступить к разработке и изучению свойств твердотельных лазеров с диодной накачкой (ТЛДН) на основе кристаллических и стеклянных активных сред, легированных различными редкоземельными элементами (Nd, Er, Yt, Tm, Ho и др.), и создавать на их основе оптоэлектронные приборы нового поколения.

Сегодня в Институте ведутся обширные исследования и опытно-конструкторские работы в области лазерной физики и техники, изучаются предельные возможности ЛДЛ и МЛД, оптимизируются их характеристики применительно к условиям функционирования в составе блоков диодной накачки твердотельных лазеров. Большое внимание уделяется поиску путей дальнейшего повышения энергии и качества выходных пучков таких лазеров, увеличению их срока службы. С этой целью моделируются электрические, оптические и тепловые процессы, ответственные за функционирование как отдельных каска-

дов, так и всего лазерного излучателя в условиях, максимально приближенных к реальным режимам их использования.

Твердотельные лазеры на основе стеклянных и/или кристаллических сред, активированных ионами редкоземельных элементов, – перспективные источники излучения в ближнем ИК-диапазоне. Внедрение новых активных сред и блоков накачки на основе ЛЛД и МЛД позволило более чем на порядок уменьшить величину потребляемой энергии и свести к минимуму габариты лазерных систем при одновременном улучшении пространственных и временных показателей генерируемых выходных пучков.

Тематика работ, связанных с проектированием и созданием экспериментальных, опытных и серийных образцов лазерных излучателей, включает в себя следующие основные направления: иттербий-эрбиевые лазеры, генерирующие в условно безопасном для органов зрения спектральном диапазоне (1,5–1,6 мкм); ТЛДН на основе Nd³⁺-содержащих активных элементов с воздушным охлаждением (частота следования импульсов излучения до 100 Гц); ТЛДН на Nd³⁺-содержащих активных элементах с водяным охлаждением (частота следования импульсов излучения до 1 кГц); параметрические генераторы света (ПГС), излучающие в спектральных диапазонах 1,5–1,6 и 3,0–5,0 мкм; ТЛДН с генерацией гармоник лазерного излучения 532, 355 и 266 нм. В качестве источников излучения накачки используются современные диодные модули на основе (In, Al)GaAs/AlGaAs-гетероструктур, способные генериро-



Рис. 1. Серия иттербий-эрбиевых лазеров с поперечной диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности: длина волны излучения 1535 нм; энергия выходных импульсов 1–8 мДж; частота следования импульсов – до 20 Гц; длительность импульсов излучения – менее 16 нс; диаметр выходного пучка менее 1 мм; параметр качества пучка – менее 1,3 (интервал рабочих температур от –40 до +70 °С)



Рис. 2. Серия параметрических генераторов света на основе задающих Nd: YAG-лазеров с диодной накачкой: длина волны излучения 1571 нм; энергия выходных импульсов 15–50 мДж; частота следования импульсов – до 30 Гц; длительность импульсов излучения – менее 10 нс; диаметр выходного пучка менее 5 мм; параметр качества пучка – менее 6 (интервал рабочих температур от –40 до +55 °С)



Рис. 3. Серия многоволновых Nd: YAG-лазерных систем с диодной накачкой для лидарных и спектроскопических исследований: длина волны излучения 1,064 нм, 532 нм, 355 нм, 266 нм; энергия выходных импульсов на основной частоте до 400 мДж; частота следования импульсов – до 30 Гц; длительность импульсов излучения – менее 10 нс; диаметр выходного пучка менее 6 мм; параметр качества пучка – менее 6 (интервал рабочих температур от –40 до +55 °С)

вать световые потоки с высокой импульсной мощностью в спектральных интервалах 0,94–0,98 и 0,80–0,88 мкм. Следует отметить, что все оптические компоненты, включая диэлектрические зеркала, поляризаторы и т.п., применяемые в экспериментальных исследованиях и серийных образцах лазеров, изготавливаются в научно-производственном центре оптико-электронного приборостроения Института физики НАН Беларуси.

Для современных малогабаритных дальномеров и оптоэлектронных систем подсветки и сопровождения цели, портативных медицинских устройств, а также систем лазерной спектроскопии тре-

буются компактные и легкие лазеры с малым энергопотреблением, излучающие в ближнем ИК-диапазоне 1,0–1,6 мкм.

В Институте физики создана серия иттербий-эрбиевых лазеров с диодной накачкой (рис. 1), работающих как в режиме пассивной модуляции добротности, так и с использованием электро-оптических затворов. Они позволяют получать наносекундные импульсы излучения с энергией до 10 мДж и частотами следования импульсов до 20 Гц. Конструкции эрбиевых излучателей обеспечивают их устойчивую работу на основной поперечной TEM₀₀ моде с параметром качества выходного пучка $M^2 < 1,3$ в широком диапазоне температур окру-

жающей среды – от минус 50 до плюс 70 °С. Потребляемая мощность при этом не превышает 30 Вт при частоте следования импульсов 10 Гц во всем рабочем интервале температур.

Создание параметрических генераторов света на основе задающих Nd: YAG-лазеров с диодной накачкой позволяет решить проблему повышения энергии выходного излучения в условно безопасном для органов зрения спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм до уровня 15–50 мДж с увеличением частоты следования импульсов до 30–60 Гц, что необходимо в ряде современных оптоэлектронных приборов различного базирования. Такие ПГС должны иметь предельно малые вес и габариты, потребляемую мощность не более 200 Вт и при этом характеризоваться высокими временной стабильностью и качеством выходного пучка. В Институте физики создаются параметрические генераторы света с принудительным воздушным охлаждением и кондуктивным охлаждением через основание (рис. 2).

Большинство произведенных учеными Института твердотельных лазеров с диодной накачкой на основе кристаллов и стекол, содержащих ионы неодима, с частотами следования импульсов до 1 кГц базируются на использовании в блоках накачки квантронов с улучшенными мощностными и пространственными показателями. Конвективно-охлаждаемые, без использования охлаждающих жидкостей, квантроны с активными элементами, боковые поверхности которых покрыты патентованным рассеивающим слоем, хорошо зарекомендовали себя в составе



Рис. 4. Твердотельный лазер с диодной накачкой и энергией в импульсе до 5 Дж. Частота следования импульсов до 20 Гц, длительность импульсов $13,5 \pm 0,5$ нс

Nd: YAG ТЛДН, возбуждаемых по схеме поперечной накачки, с энергией выходных импульсов до 200 мДж в режиме модуляции добротности. Для спектроскопических комплексов создан вариант компактного Nd: YAG-лазера с воздушным охлаждением (IFL-N315-UV), генерирующего четвертую гармонику (0,266 мкм) частоты фундаментальной моды. Длительность выходных импульсов – менее 8 нс при частоте следования 15 Гц и энергии 3 мДж. В одном корпусе размерами порядка $100 \times 200 \times 350$ мм интегрированы излучатель и блок электропитания, рассчитанный на напряжение 24 В постоянного тока.

Имеются области, в которых требуются компактные лазеры с более высокими уровнями выходной энергии, не использующие жидкостное охлаждение, для чего применяются оптические системы с усилителями. На рис. 3 представлена серия мощных многоволновых Nd: YAG-лазерных систем с энергией выходных импульсов до 400 мДж, способных работать

одновременно на длинах волн 1,064; 0,532; 0,355 мкм и 0,266 мкм при сохранении относительно высокого качества выходного пучка ($M^2 < 6$). Завершены испытания Nd: YAG-оптической системы с диодной накачкой и водяным охлаждением, генерирующей импульсы излучения с энергией до 5 Дж (длина волны излучения 1,064 мкм) (рис. 4).

Для современных систем формирования пикосекундных и/или фемтосекундных импульсов, а также устройств обработки материалов нужны неодимовые лазеры с высокими частотами повторения импульсов 500–1000 Гц. Для этих целей разрабатывается Nd: YAG-твердотельный лазер с диодной накачкой и водяным охлаждением замкнутого типа, позволяющий получать импульсы с энергиями порядка 50 мДж и частотами до 1 кГц. Экспериментальный образец успешно прошел комплекс измерительных и ресурсных испытаний, и на данном этапе готовится опытный экземпляр излучателя. При выполнении научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работ большое внимание уделяется проблемам формирования выходных пучков лазерных излучателей высокого пространственного качества, экспериментально и теоретически изучаются оптические процессы в активных средах твердотельных лазеров с продольной и поперечной диодной накачкой. Полученные научные результаты позволили разработать, создать и оптимизировать ряд компактных полностью твердотельных лазерных излучателей, генерирующих в условно безопасном спектральном диапазоне с рекордными выходными параметрами для перспективных образцов оптических дальномеров, мобильных лазерных спектрометров, лазерно-плазменных двигателей и др.

Современные ТЛДН, разрабатываемые и создаваемые в Институте физики НАН Беларуси, обладают на порядок меньшими уровнями энергопотребления, предельно малыми габаритами и весом. Срок службы лазерных диодных линеек (ЛДЛ) и матриц лазерных диодов (МЛД), используемых в качестве источников излучения накачки, в большинстве случаев на два и более порядка превышает ресурс работы импульсных ламп. Все это объясняет тот факт, что в настоящее время ТЛДН являются практически безальтернативными источниками излучения для систем дальнометрии, подсветки целей (целеуказания), спектроскопии, медицины, космических применений и целого ряда устройств специального назначения. ■