

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАКАЧКИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МИНИ- И МИКРОЛАЗЕРОВ

А.Н. Дрозд, И.С. Манак

Белгосуниверситет, г. Минск

Особенностью современной техники является высокая надежность и миниатюрность устройств. Миниатюризация традиционно связывается с использованием микроэлектроники. Однако в настоящее время размеры и вес электронных узлов различных приборов настолько малы по сравнению с другими компонентами, например механическими или оптическими, что на передний план выходит проблема уменьшения именно последних. Эта проблема может быть решена, в частности, использованием миниатюрных источников излучения на основе твердотельных лазеров с накачкой лазерными диодами.

Бурное развитие таких источников связано с удешевлением и улучшением эффективности светодиодов и светодиодных линеек, а также высокомоощных инжекционных лазеров и лазерных решеток. Это стало особенно актуально с момента синтеза высококонцентрированных твердотельных активных сред, активированных ионами Nd^{3+} и других редкоземельных элементов, в которых удалось значительно снизить эффект концентрационного тушения люминесценции и реализовать на их основе твердотельные мини- и микролазеры. Эти лазеры отличаются малыми размерами, могут обеспечить высокий КПД ($>10\%$), имеют низкое энергопотребление и высокий срок службы. Возможность управления мощностью и длиной волны диодного источника накачки позволяет оптимально согласовать его спектр излучения со спектром поглощения накачиваемого вещества и обеспечивает получение высокостабильного излучения высокого качества на основной длине волны излучения твердотельных лазеров.

Малые размеры активного элемента твердотельных лазеров требуют, в свою очередь, уменьшения габаритов источника накачки или, по крайней мере, пространственного разделения лазерного материала и источника накачки с использованием волоконных световодов в качестве связующего элемента.

Повышение эффективности твердотельных лазеров с диодной накачкой может быть достигнуто за счет оптимизации резонатора, согласующей оптики и источника накачки. Решение же проблемы в целом невозможно без создания новых активных сред, обладающих

эффективным поглощением в спектральном диапазоне диодного источника накачки. Высокие коэффициенты поглощения могут быть достигнуты как существенным увеличением концентраций активаторных ионов (при условии слабого концентрационного тушения люминесценции), так и применением эффекта сенсбилизации люминесценции. В этой связи высококонцентрированные активные среды для лазеров с полупроводниковой накачкой играют принципиальную роль.

При выборе эффективных источников накачки для высококонцентрированных сред необходимо знать спектр поглощения иона активатора в различных матрицах и коэффициент поглощения в отдельных спектральных полосах. Для этого исследованы спектры поглощения кристаллов $K_5Nd(MoO_4)_4$, $La_{1.7}Nd_{0.3}(WO_4)_3$ и $GdNd(WO_4)_3$. По спектрам определены длины волн λ_{max} , соответствующие максимальному поглощению; ширина полос поглощения на уровне половинной интенсивности $\Delta\lambda$; и коэффициенты поглощения K в отдельных спектральных полосах.

Наиболее интенсивное поглощение происходит в области длин волн 0,36; 0,75; 0,8; 0,88 мкм. Следовательно, возбуждение кристаллов необходимо производить с использованием этих полос поглощения. При переходе от молибданатной матрицы к вольфраматной длина волны максимального поглощения незначительно (на 4 – 6 нм) смещается в сторону более коротких длин волн, уменьшается полуширина полосы. У молибданатного материала отмечается большая по сравнению с вольфраматными интенсивность длинноволновых полос в спектре поглощения.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что излучение накачки будет более интенсивно поглощаться $K_5Nd(MoO_4)_4$ -кристаллом, чем остальными материалами. Указанные материалы наиболее сильно поглощают в области длин волн 0,75 – 0,88 мкм, поэтому для более эффективной накачки целесообразнее использовать источники, излучающие в этой области. Особый интерес с этой точки зрения представляют четырехкомпонентные структуры, а также тройные соединения GaAlAs и GaPAs.

Одной из наиболее важных спектрально-люминесцентных характеристик является время жизни возбужденного состояния. Эта величина оказывает влияние на коэффициент усиления, порог генерации и другие характеристики лазера. Время жизни зависит от концентрации активных ионов Nd^{3+} в матрице. С увеличением концентрации время жизни уменьшается. Полученные данные

позволяют говорить о том, что в таких кристаллах, как $K_5Nd(MoO_4)_4$ и NdP_5O_{14} на метастабильном уровне $^4F_{3/2}$ можно накопить большое количество возбужденных частиц при одинаковой мощности накачки по сравнению с другими исследованными кристаллами, так как время жизни у них больше. При достаточных мощностях накачки, используя кристаллы $GdNd(WO_4)_3$ и $La_{1.7}Nd_{0.3}(WO_4)_3$, можно получить более быстродействующую систему.

Кроме того, произведен сравнительный анализ различных высококонцентрированных сред, включая $K_5Nd(MoO_4)_4$, $La_{1.7}Nd_{0.3}(WO_4)_3$, $GdNd(WO_4)_3$, фосфатные стекла, скандобораты редких земель и др.

Рассмотрены полупроводниковые источники накачки твердотельных мини- и микролазеров. Произведенный анализ дает наиболее оптимальный метод отбора полупроводниковых источников излучения для систем накачки твердотельных микролазеров. Прежде всего, необходимы инжекционные излучатели с активной областью, содержащей такое количество алюминия (для GaAlAs-лазеров), чтобы спектр излучения их примерно соответствовал одной из полос поглощения накачиваемой среды с высоким содержанием неодима. Идеальное согласование спектра излучения GaAlAs-диода и спектра поглощения иона неодима достигается подбором температуры теплоотвода и выбором тока смещения полупроводникового излучателя. Следует отметить, однако, что увеличение температуры теплоотвода приводит к некоторому уменьшению мощности, излучаемой диодом.

Большое внимание уделено схемам полупроводниковой накачки твердотельных лазеров. Рассмотрены преимущества и недостатки продольной и поперечной схем накачки. К несомненным преимуществам продольной накачки следует отнести высокое модовое согласование, большую длину пути при поглощении излучения. Последнее обстоятельство ослабляет требования по длине волны накачки, а значит менее жесткие требования и по температурной стабильности диода, при этом падает стоимость изделия, что тоже немаловажно, особенно в коммерческих моделях лазеров. Применение лазерных диодов дает возможность максимально эффективно использовать продольную схему накачки и создавать твердотельные лазеры с чрезвычайно малой потребляемой мощностью и большим КПД. В этом случае постановка задачи такая: излучение накачки фокусируется в малом объеме активного элемента, а параметры резонатора должны обеспечивать эффективное

согласование каустики накачки с модой резонатора. Теоретический анализ показал, что при использовании продольной схемы накачки эффективность преобразования излучения накачки в излучение лазера может достигать 50%.

Использование поперечной накачки сулит почти неограниченное повышение выходной мощности, что и определило основные области применения таких лазеров. Недостатки очевидны: короткая длина пути поглощения излучения, что говорит о меньшей эффективности накачки, если сравнивать с продольной накачкой.

Рассмотрены эллиптические, коаксиальные, дисковые системы накачки, а также системы накачки на основе волоконных световодов.

В работе также проанализирован способ накачки твердотельных лазеров полупроводниковыми источниками без применения фокусирующих устройств. Из полученных результатов можно сделать следующий вывод. Для активных элементов микролазеров, имеющих коэффициент поглощения $\alpha_{\text{п}} > 40 \text{ см}^{-1}$ и толщину в направлении излучения источника накачки $d > 0.2 \text{ мм}$ практически отпадает необходимость создания специального концентратора, обеспечивающего многократное прохождение и поглощение излучения накачки. Для таких кристаллов достаточно двукратного прохождения излучения, что обеспечивается нанесением отражающего покрытия на его заднюю поверхность. Кроме того, учитывая слабую зависимость коэффициента отражения от апертуры падающего пучка, целесообразно применять прямой метод передачи энергии источника накачки к активному элементу без применения дополнительных фокусирующих элементов.

Таким образом, основные преимущества диодной накачки могут быть эффективно реализованы в лазерах с малой (порядка одного миллиметра) длиной активного элемента. В этом случае плотность мощности излучения накачки в активном элементе может достигать $0,1 \text{ МВт/см}^2$ без применения дорогостоящей формирующей оптики.

В заключительной части представлена конъюнктура и основные тенденции зарубежного рынка твердотельных лазеров с диодной накачкой. В частности, отмечено интенсивное продвижение твердотельных лазеров с диодной накачкой на рынок высокомошных промышленных приложений обработки материалов, что связано с экспоненциально растущими выходными мощностями и снижением стоимости диодных решеток (матриц).