

06;12

## **Мощные высокоэффективные квазинепрерывные лазерные линейки для накачки твердотельных лазеров на основе Yb-содержащих активных сред**

© Н.И. Кацавец, В.А. Бученков, Д.М. Демидов, Р.В. Леус,  
М.О. Искандаров, А.А. Никитичев, А.Л. Тер-Мартirosян

ЗАО „Полупроводниковые приборы“, С.-Петербург  
E-mail: ter@atc.rfntr.ru, n\_katsavets@mail.ru  
ФГУП „НИИ лазерной физики“, С.-Петербург  
E-mail: mak@ilph.spb.su

Поступило в Редакцию 7 июня 2004 г.

Разработаны мощные высокоэффективные квазинепрерывные лазерные линейки (ЛЛ), излучающие в спектральном диапазоне  $0.95 \mu\text{m}$  и предназначенные для накачки твердотельных лазеров на основе Yb-содержащих активных сред. Приведены параметры разработанных линеек и результаты их ресурсных испытаний. С использованием ЛЛ создан твердотельный лазер на основе YB–Eв стекла, генерирующий оптические импульсы в спектральном диапазоне  $1.5 \mu\text{m}$ .

Твердотельные лазеры (ТТЛ) с полупроводниковой накачкой находят широкое применение в различных областях науки и техники.

Особый интерес представляют ТТЛ на основе Yb-содержащих активных сред. Ионы иттербия (Yb) имеют интенсивную и широкую полосу поглощения в спектральной области  $0.95 \mu\text{m}$  и эффективно сенсбилизируют ионы других редкоземельных элементов (например, Er, Ho или Tm). Такие ТТЛ, вследствие большого времени жизни метастабильного лазерного уровня, способны генерировать высокомошные когерентные оптические импульсы в безопасном для человеческого глаза спектральном диапазоне ( $1.5 \div 2.0 \mu\text{m}$ ) [1].

В свою очередь, для создания инверсной заселенности в редкоземельных ионах с большим временем жизни метастабильного уровня ( $1 \div 10 \text{ms}$ ) необходимы эффективные источники накачки. В качестве таких источников могут успешно выступать мощные квазинепрерывные

полупроводниковые лазерные линейки (ЛЛ) с длительностью импульса генерации несколько миллисекунд (что на порядок превосходит эффективную длительность импульса накачки в широко распространенных ТТЛ на основе ионов неодима [2]).

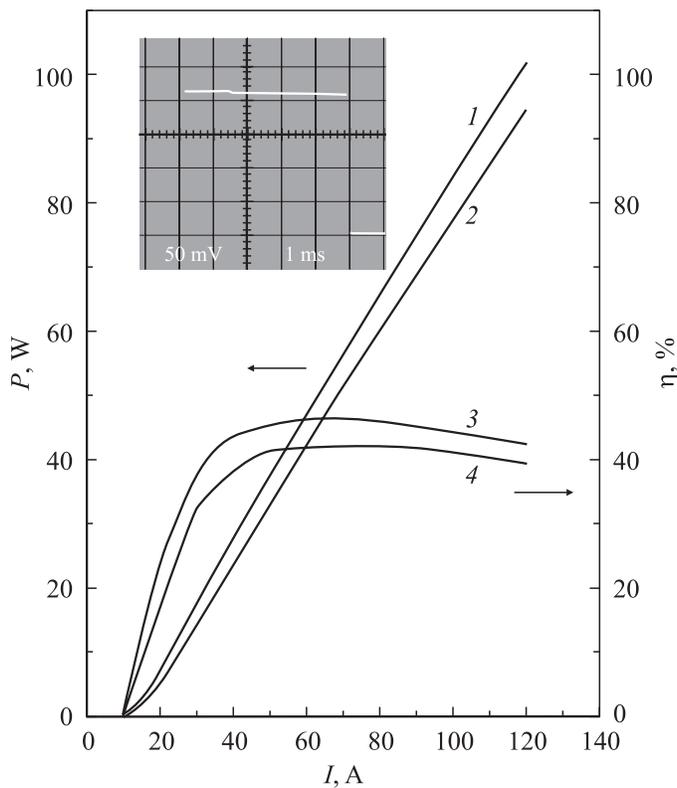
Относительно большая длительность оптического импульса ЛЛ создает повышенную термоциклическую нагрузку на лазерную структуру и предъявляет дополнительные требования к минимизации механических напряжений, которые возникают в лазерных чипах в процессе монтажа ЛЛ. Последнее связано с тем, что механические напряжения в условиях повышенного разогрева лазерной структуры значительно сокращают ресурс работы ЛЛ [3,4].

В настоящем сообщении приводятся результаты разработки высокоомощных высокоэффективных ЛЛ с длительностью оптического импульса до 5 ns, излучающих в спектральном диапазоне 940 ÷ 960 nm и предназначенных для оптической накачки ТТЛ на основе ионов Yb.

Чипы ЛЛ были изготовлены из  $\text{In}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}/\text{AlGaAs}$  низкороговых гетероструктур, выращенных МВЕ-методом на отечественной модифицированной установке ЭП1203. Дизайн гетероструктуры, особенности ростовой технологической установки и технологического процесса роста были изложены нами в предыдущей работе [5]. Конструкция чипа представляла собой ряд оптически изолированных лазерных диодов (50 шт.) [6], имеющих ширину излучающей площадки  $160\ \mu\text{m}$  и период  $200\ \mu\text{m}$ . Длина резонатора ЛЛ составляла величину  $1000 \pm 50\ \mu\text{m}$ . На зеркала резонатора наносились отражающее и просветляющее покрытия с коэффициентами отражения 95 и 5% соответственно.

Оригинальная установка, обеспечивающая точность посадки чипов  $\pm 1\ \mu\text{m}$ , использовалась для монтажа ЛЛ. Чипы спаивались *p*-стороной на медный теплоотвод с помощью индийсодержащего припоя, толщина которого была оптимизирована с целью уменьшения механических напряжений.

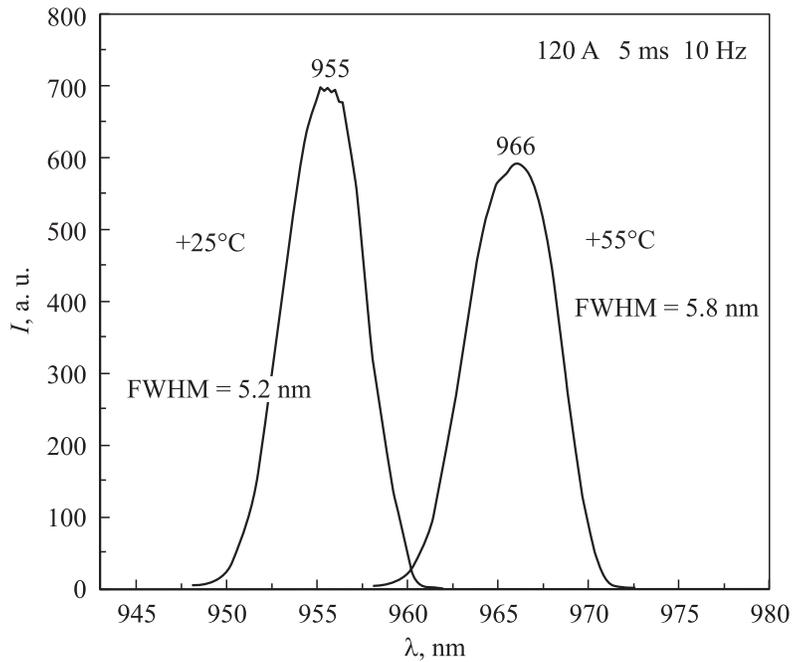
Для измерения выходной оптической мощности ЛЛ использовался калиброванный болометрический измеритель „LASERMATE“ фирмы „COHERENT“. При этом оптическая мощность в импульсе ( $P_{out}$ ) рассчитывалась по формуле  $P_{out} = P_c \cdot \nu$ , где  $P_c$  — усредненная болометром (по времени) выходная оптическая мощность ЛЛ,  $\nu$  — скважность выходных оптических импульсов. Осциллограммы последних измерялись с помощью обратномещенного кремниевое



**Рис. 1.** Типичные зависимости выходной оптической мощности  $P$  (1 и 2) и полного КПД  $\eta$  ЛЛ (3 и 4) от тока накачки для температуры ТО  $+25$  и  $+55^\circ\text{C}$  (1, 3 и 2, 4 соответственно). Длительность импульсов излучения 5 ms с частотой повторения 10 Hz.

фотодиода со специальным ослабляющим фильтром на основе легированного GaP. Спектральные измерения проводились с использованием автоматизированного комплекса на основе монохроматора МДР-23.

На рис. 1 представлены типичные зависимости выходной оптической мощности  $P_{out}$  и зависимости полного КПД (отношения выходной



**Рис. 2.** Типичные спектры излучения ЛЛ при различных температурах ТО.

оптической мощности на переднем зеркале к полной потребляемой электрической мощности) от величины тока накачки ЛЛ для различных температур тепловода (ТО). Как показывает анализ зависимостей, максимальный КПД ЛЛ достигает 47 и 42%, а дифференциальная квантовая эффективность составляет 72 и 66% при температуре ТО ЛЛ +25 и +55°C соответственно. Зависимость порогового тока ЛЛ от температуры ТО дает величину характеристической температуры  $T_0$ , равную 180°.

Вставка на рис. 1 изображает осциллограмму выходного оптического импульса при величине тока накачки ЛЛ 120 А. Как видно из осциллограммы, спад величины выходной оптической за время импульса не превышает 5%. Из сравнения величины  $P_{out}$  при температуре ТО ЛЛ + 25 и +55°C, в предположении линейной зависимости уменьшения

$P_{out}$  от температуры, можно говорить о том, что за время импульса тока „накачки“ дополнительный разогрев активной области ЛЛ не превышает 20 градусов.

На рис. 2 представлены типичные спектры ЛЛ, измеренные при различных температурах ТО. Узкая спектральная полоса излучения  $\sim 5$  nm говорит о высокой однородности и качестве монтажа чипов ЛЛ. В свою очередь, узкий спектр излучения разработанных ЛЛ и относительно широкий спектр поглощения ионов Yb позволяет осуществлять эффективную „накачку“ ТТЛ в широком температурном диапазоне.

Разработанные ЛЛ подвергались ресурсным испытаниям в режиме поддержания постоянной величины тока „накачки“, равного 100 А, и длительности импульса 5 ms. При температуре ТО ЛЛ  $+25^\circ\text{C}$  не было замечено какого-либо уменьшения  $P_{out}$  в течение  $3 \cdot 10^7$  импульсов. Увеличение температуры ТО ЛЛ до  $+55^\circ\text{C}$  привело к увеличению скорости деградации ЛЛ до  $1 \div 2\%$  за  $10^7$  импульсов. Таким образом, по линейной экстраполяции временной зависимости  $P_{out}(t)$  к значению  $P_{out}(t_0) = 0.8 \cdot P_{out}(0)$  можно оценить ожидаемый ресурс работы ЛЛ при  $T = +55^\circ\text{C}$  как  $t_0 = 10^8$  импульсов. В свою очередь, если предположить, что увеличение температуры ЛЛ на 30 градусов приводит к увеличению скорости деградации ЛЛ по крайней мере на порядок (как это обычно предполагается в методиках по ускоренным ресурсным испытаниям [7]), то на основании высокотемпературных испытаний можно оценить предполагаемый ресурс работы разработанных ЛЛ при  $T = +25^\circ\text{C}$  как  $t_0 = 10^9$  импульсов.

С использованием разработанных ЛЛ был создан твердотельный лазер на основе YB–Eв-стекла, содержащий две ЛЛ и генерирующий импульсы полуторамикронного излучения длительностью 20 ns с энергией до 10 mJ и частотой повторения до 10 Hz. Выходная энергия в режиме свободной генерации составила 60 mJ при дифференциальной эффективности 18%.

Таким образом, в настоящей работе были разработаны и исследованы мощные высокоэффективные ЛЛ с длительностью оптического импульса не менее 5 ms, предназначенные для накачки ТТЛ на основе редкоземельных ионов Yb.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить Э.Г. Соколова и Т.А. Сашникову за помощь в проведении постростовых операций.

## Список литературы

- [1] Бученков В.А., Никитичев А.А. // Лазер-информ. 2003. № 13–14. С. 268–269.
- [2] Зверев Г.М., Гуляев Ю.Д. Лазеры на кристаллах и их применение. М.: Радио и связь, 1994.
- [3] Martin E., Landesmann J.P., Hirtz J.P. et al. // Appl. Phys. Lett. 1999. V. 75. N 17. P. 2521–2523.
- [4] Voss M., Lier C., Menzel U. et al. // J. of Appl. Phys. 1995. V. 79. N 2. P. 1170–1172.
- [5] Александров С.В., Алексеев А.Н., Демидов Д.М. и др. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 16. С. 71–78.
- [6] Демидов Д.М., Ивкин А.Н., Кацавец Н.И. и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 2. С. 36–42.
- [7] Casey H.C., Panish M.B. Heterostructure Lasers. Part B. Materials and Operating Characteristics. New York: Academic Press, 1978.