

06;07

100-ваттные лазерные линейки на основе фазированных решеток

© Д.М. Демидов, А.Н. Ивкин, Н.И. Кацавец, С.В. Кокин,
Р.В. Леус, А.Л. Тер-Мартirosян, В.П. Чалый

ЗАО "Полупроводниковые приборы", С.-Петербург, Россия

Поступило в Редакцию 14 сентября 2000 г.

С использованием квантово-размерных гетероструктур на основе InGaAlAs изготовлены и исследованы высокомошные (выходная оптическая мощность не менее 100 W) лазерные линейки, работающие в квазинепрерывном режиме (длительность импульса $200 \div 400 \mu\text{s}$, частота повторения $50 \div 100 \text{ Hz}$). Лазерные линейки состояли из набора полосковых излучателей, каждый из которых в свою очередь представлял собой оптимизированную фазированную решетку однодиодных излучателей. Такая конструкция позволила существенно улучшить временную и пространственную стабильность излучения лазерных линеек с одновременным понижением уровня оптических шумов.

Разработка твердотельных лазеров (ТЛ) на основе редкоземельных элементов, использующих в качестве источников оптической накачки мощные лазерные диоды и линейки (так называемая полупроводниковая накачка), — одна из наиболее важных областей науки и техники. В этой области происходит в последнее время особенно бурный рост, поскольку ТЛ с полупроводниковой накачкой сочетают в себе достоинства как полупроводниковых (малые габариты, высокая эффективность преобразования электрической энергии в оптическую), так и твердотельных (высокое качество излучения — большая временная и пространственная когерентность, узкая диаграмма направленности) лазеров.

Однако одним из существенных недостатков ТЛ с полупроводниковой накачкой является пространственно-временная нестабильность излучения и повышенный уровень шумов, в основном связанный с так называемым явлением "филаментации" излучения, которое наблюдается в лазерных диодах (ЛД) и линейках (ЛЛ) с широким сплошным полосковым контактом [1]. "Филаментация" проявляется как формирование неустойчивых во времени и пространстве каналов генерации излучения в резонаторе ЛД, обусловленное нелинейными оптическими явлениями.

Ранее нами в работах [2,3] была предложена и представлена конструкция мощных ЛД для накачки ТЛ на основе фазированных решеток с оптимизированным коэффициентом оптической связи между одно-модовыми излучателями. Такая конструкция, за счет более однородного распределения оптической плотности излучения на зеркале, позволила повысить выходную оптическую мощность и надежность ЛД [4]. В то же время исключение явления "филаментации" привело к существенному улучшению пространственно-временной стабильности с одновременным понижением оптических шумов [5].

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию высоко-мощных ($P \geq 100 \text{ W}$) ЛЛ на основе фазированных решеток, работающих в квазинепрерывном режиме (длительность импульса $200 \div 400 \mu\text{s}$, частота повторения $50 \div 100 \text{ Hz}$).

ЛЛ изготавливались из гетероструктур с отдельным электронным и оптическим ограничением и напряженной квантово-размерной InAlGaAs активной областью. Структуры были выращены методом MOCVD на GaAs подложках ориентации [100]. Широкозонные $n\text{-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}:\text{Si}$ и $p\text{-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}:\text{Zn}$ эмиттеры выращивались толщиной порядка $1.5 \mu\text{m}$. Волноводные $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ слои общей толщиной $0.3 \mu\text{m}$ имели переменный состав по Al — от $X = 0.6$ у эмиттеров до $X = 0.3$ у активного слоя.

ЛЛ изготавливались в виде системы (период $200 \mu\text{m}$) полосковых излучателей с шириной излучающей области $160 \mu\text{m}$, интегрированных на одной подложке, но не связанных между собой оптически. В свою очередь каждый полосковый излучатель представлял собой фазированную решетку одномодовых излучателей. Профилирование гетероструктуры осуществлялось с помощью ионного травления через фоторезистивную маску частично нейтрализованным коллимированным пучком ионов аргона с энергией до 1000 eV . Общая ширина излучающей площадки ЛЛ составляла $11000 \mu\text{m}$. Величина оптической связи между одномодовыми излучателями была оптимизирована с помощью подбора глубины профилирования p -эмиттера. На заднюю грань ЛЛ наносилось многослойное отражающее покрытие с коэффициентом отражения порядка 95%, на переднее — просветляющее покрытие с коэффициентом отражения около 10%. После нанесения покрытий ЛЛ напайвались p -слоем на никелированный медный теплоотвод.

Для измерения ватт-амперных характеристик использовался калиброванный болометрический измеритель мощности "LASERMATE"

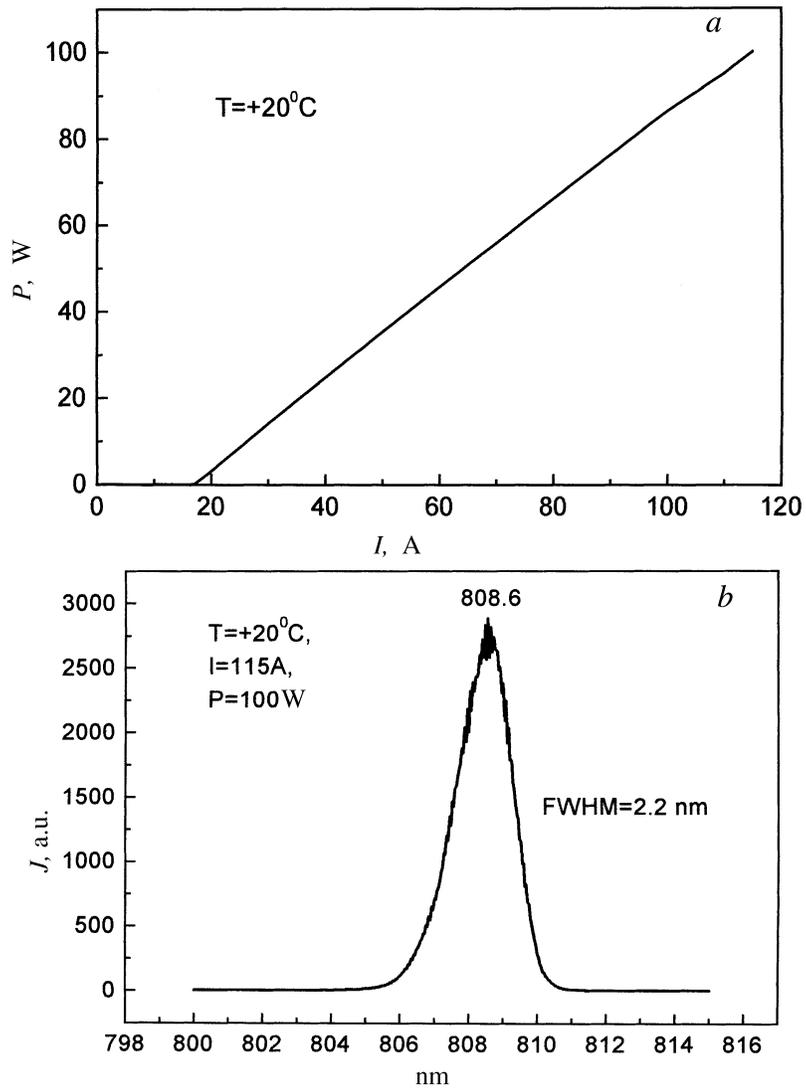


Рис. 1. *a* — ватт-амперная характеристика ЛЛ (длительность импульса $200 \mu\text{s}$, частота повторения 50 Hz); *b* — спектр генерации ЛЛ.

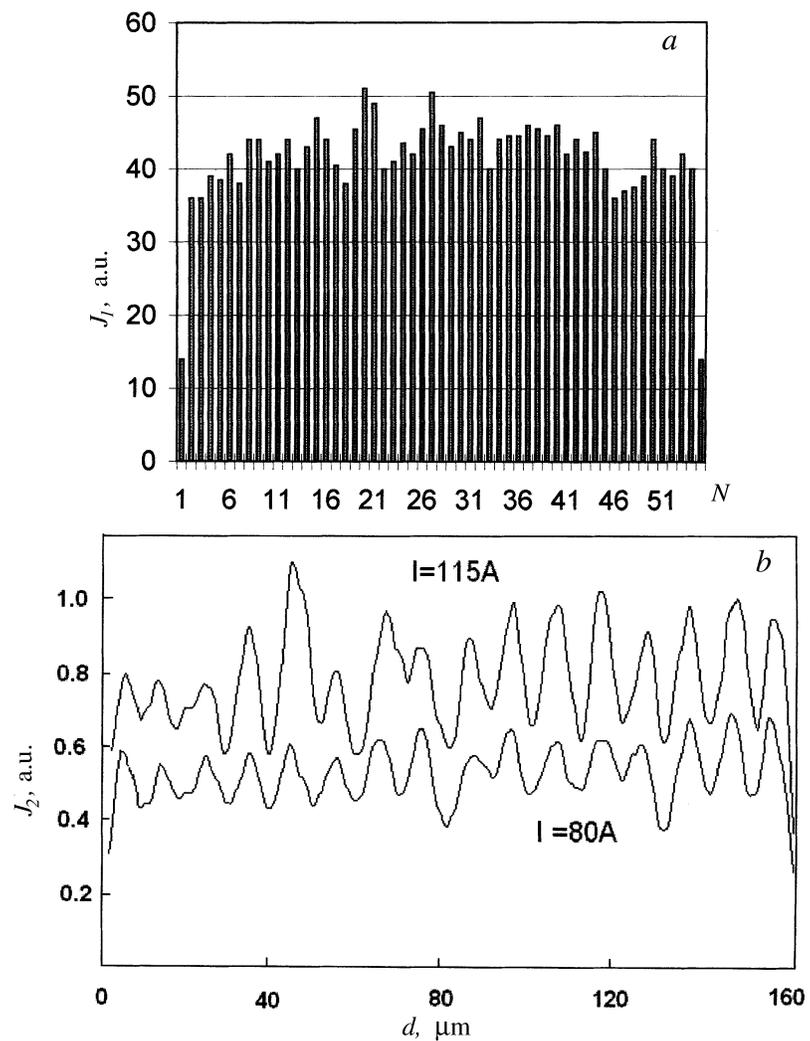


Рис. 2. Распределение оптической мощности: *a* — в полосковых излучателях ЛЛ (J_1 — интенсивность генерации, N — номер полоскового излучателя); *b* — в ближней зоне полоскового излучателя при различных токах накачки (J_2 — интенсивность излучения, d — расстояние вдоль зеркала ЛЛ).

фирмы "COHERENT". При этом оптическая мощность в импульсе (P_1) рассчитывалась по формуле $P_1 = P_2 \cdot \nu$, где P_2 — усредненная болометром (по времени) выходная оптическая мощность ЛЛ, ν — скважность импульсов излучения. Спектральные измерения проводились с помощью автоматизированного комплекса на основе монохроматора МДР-23. Распределение излучения в ближней зоне ЛЛ измерялось с помощью ПЗС матрицы, в дальней зоне — по стандартной методике путем углового сканирования ЛЛ.

На рис. 1, *a* представлена типичная ватт-амперная характеристика ЛЛ. Типовое значение рабочего тока ЛЛ (выходная оптическая мощность 100 W) 115 А при пороговых плотностях тока, не превышающих 200 А/см². Дифференциальная квантовая эффективность — 1.0 W/A (65%) и коэффициент преобразования электрической энергии в оптическую — более 40%. Ширина спектра излучения на рабочем токе не превышает 2.2 ÷ 2.5 nm (рис. 1, *b*).

Распределение мощности излучения по полосковым излучателям (рис. 2, *a*) показывает высокую однородность по всей ширине излучающей площадки, что говорит о качестве гетероструктуры и высокой технологичности всех постростовых процессов изготовления ЛЛ. В то же время благодаря конструкции ЛЛ изменения величины тока накачки (или температуры теплоотвода) ЛЛ не приводят к изменению положения максимумов оптической мощности в ближней зоне каждого полоскового излучателя (рис. 2, *b*). Таким образом, проявления "филаментации" излучения, при котором происходит спонтанное хаотическое перераспределение максимумов излучения на зеркале ЛД, не наблюдается.

Высокая выходная оптическая мощность, узкий спектр генерации, пространственно-временная стабильность излучения делают ЛЛ на основе фазированных решеток перспективными источниками оптической накачки редкоземельных ионов в малошумящих твердотельных лазерах. Кроме того, оптимизация конструкции теплоотвода позволит использовать разработанные ЛЛ в качестве базового элемента для сборки лазерных матриц мощностью 1 KW и более.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и технологий Российской Федерации по государственному контракту № 35/5 от 24.12.1998 в рамках программы "Научное приборостроение".

Список литературы

- [1] *Casey H.C., Panish M.B.* Heterostructure Lasers // Part B. Materials and Operating Characteristics. New York, Academic Press, 1978.
- [2] *Демидов Д.М., Кацавец Н.И., Леус Р.В., Тер-Мартirosян А.Л., Чалый В.П.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 8. С. 90–94.
- [3] *Gempel H., Katsavets N.I., Demidov D.M., Ter-Martirosyan A.L., Kopylov Ch.V.* // Proceeding of SPIE. V. 3682. Materials of the Ninth Conference on Laser Optics (LO'98). St. Petersburg, 1998. P. 47–50.
- [4] *Demidov D.M., Katsavets N.I., Ter-Martirosyan A.L., Kroupsky D.* // Proceeding of SPIE. 2000. V. 4059. P. 225–228.
- [5] *Демидов Д.М., Кацавец Н.И., Тер-Мартirosян А.Л., Чалый В.П.* // Квантовая электроника. 1998. Т. 25. В. 9. С. 789–791.