

06

Мощные полупроводниковые квантово-размерные AlGaAs/GaAs/InGaAs ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$) гетеролазеры с внешним резонатором

© Д.А. Винокуров, А.Г. Дерягин, В.В. Дюделев, В.И. Кучинский,
А.В. Лютецкий, Н.А. Пихтин, Г.С. Соколовский,
А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: vlad@kuch.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 22 августа 2007 г.

Продемонстрировано эффективное сужение спектра генерации до 0.35 nm мощного многомодового полупроводникового лазера с широким полосковым контактом ($100 \mu\text{m}$) при использовании внешнего резонатора с дифракционной решеткой. Экспериментально получена мощность излучения лазерного диода (ЛД) с внешним резонатором 550 mW. Показано, что многомодовый ЛД длиной 3 mm на основе полупроводниковой квантово-размерной гетероструктуры AlGaAs/GaAs/InGaAs ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$) может быть использован при непосредственной накачке кристалла PPLN для получения излучения второй гармоники на $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$.

PACS: 42.55.Px

Мощность излучения лазерных диодов (ЛД) в настоящее время достигает 10 W и более в непрерывном режиме генерации [1], что делает их весьма привлекательными для использования в качестве источников накачки для нелинейно-оптических преобразователей света в желто-зеленой области спектра. Однако существенным недостатком мощных торцевых ЛД с широким полосковым контактом является их работа в многомодовом и многочастотном режиме из-за генерации многих продольных и поперечных в плоскости $p-n$ -перехода мод, что приводит к сравнительно большой ширине спектра излучения. В то же время спектральная ширина нелинейного преобразования у современных нелинейных кристаллов, например, на основе периоди-

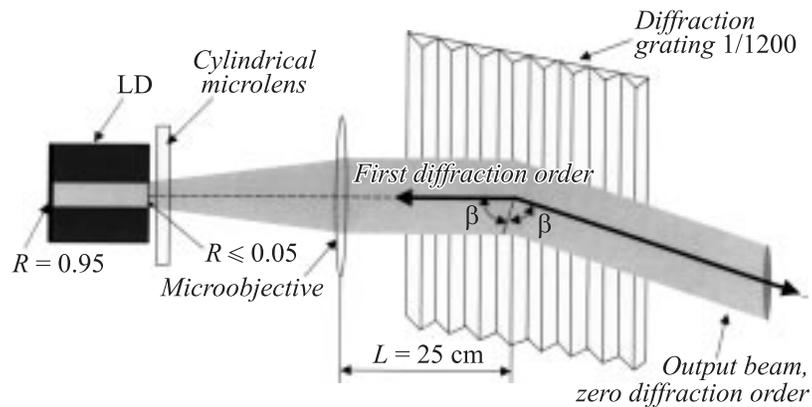


Рис. 1. ЛД с внешним резонатором. R — коэффициент отражения.

чески поляризованного ниобата лития (PPLN — англ.) не превышает 0.3 nm . Поэтому весьма актуальной является задача создания мощного торцевого полупроводникового лазера с узким спектром излучения. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является применение внешних резонаторов, спектрально селективным элементом в которых могут являться интерференционный фильтр [2], дифракционная решетка (ДР) [3–5] и т.д. Одной из наиболее простых и эффективных конструкций внешнего резонатора является конфигурация резонатора с внешней ДР, работающей в схеме Литтроу, когда дифракционная решетка вместе с непросветленной выходной гранью ЛД образует спектрально-селективный лазерный резонатор. При этом угол дифракции на соответствующей длине волны λ равен углу падения излучения β на дифракционную решетку (рис. 1):

$$\lambda = 2d \sin \beta,$$

где d — период ДР.

В настоящей работе сообщается о применении внешнего резонатора, работающего в конфигурации Литтроу для мощного полупроводникового лазера с широким полоском ($100 \mu\text{m}$). На рис. 1 представлено схематическое изображение лазера с внешним резона-

тором, построенного при помощи ДР (1200 штрихов на миллиметр), работающей в конфигурации Литтроу. В экспериментах использовался полупроводниковый лазер на основе эпитаксиальной гетероструктуры AlGaAs/GaAs/InGaAs ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$), изготовленной методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений. Лазерные структуры представляли собой квантово-размерные гетероструктуры раздельного ограничения с асимметричным положением активной области в сверхшироком волноводе ($1.7 \mu\text{m}$). Структура состояла из двух широкозонных эмиттеров $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, волноводного слоя, выполненного из GaAs, и квантовой ямы InGaAs толщиной $\approx 9 \text{ nm}$. Длина ЛД равнялась 3 мм. Чтобы подавить паразитную генерацию, внутреннее зеркало ЛД просветлялось до величины $\leq 5\%$, на противоположную внешнюю грань ЛД наносилось многослойное диэлектрическое зеркало SiO_2/Si с коэффициентом отражения больше 95%. Для увеличения спектральной селективности резонатора ЛД был сориентирован таким образом, чтобы плоскость $p-n$ -перехода была параллельна штрихам решетки. Оптическая система внешнего резонатора состояла из цилиндрической микролинзы с фокусным расстоянием $15 \mu\text{m}$, которая использовалась для коррекции большей расходимости излучения в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу, и объектива с коэффициентом увеличения $8\times$, который формировал сколлимированный пучок излучения, падающий на дифракционную решетку.

На рис. 2, *a* представлен спектр ЛД с внешним резонатором (кривая 1), спектр ЛД без внешнего резонатора (кривая 2). Из рисунка хорошо заметно существенное сужение спектра генерации у лазера с внешним резонатором. Стоит отметить, что ширина спектра оставалась неизменной при различных значениях тока накачки. Типичное значение полуширины спектра составило 0.35 nm . На рис. 2, *b* представлена ватт-амперная характеристика полупроводникового лазера с внешним резонатором. Пороговый ток составил 500 mA , максимальное значение мощности излучения, выходящего из внешнего резонатора, при токе накачки 4 A составило 550 mW . Мощность излучения лазера без внешнего резонатора при этом токе составляла 2 W . Меньшее значение мощности излучения лазера с внешним резонатором обусловлено как дополнительными потерями на оптических элементах, так и меньшими потерями на выход у внешнего резонатора.

Для иллюстрации влияния ширины спектра на характеристики нелинейного преобразования были измерены зависимости мощности

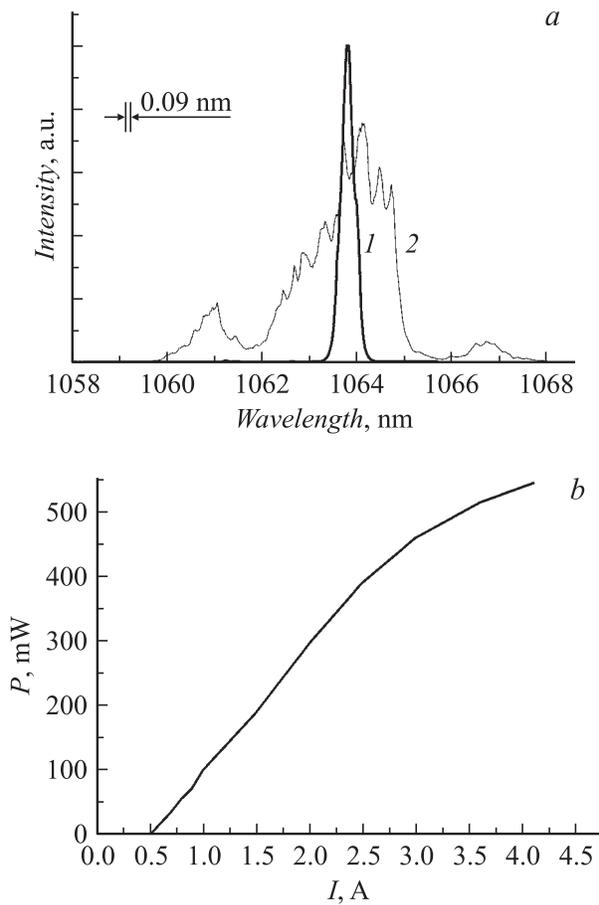


Рис. 2. *a* — спектры генерации ЛД: 1 — с внешним резонатором, 2 — без внешнего резонатора. Спектры зарегистрированы при $I = 2.5$ А, $T = 298$ К. *b* — ватт-амперная характеристика ЛД с внешним резонатором.

излучения второй гармоники от мощности основного излучения при накачке кристалла PPLN ЛД с внешним резонатором и тем же самым ЛД без внешнего резонатора. Для нелинейного преобразования использовался PPLN со следующими характеристиками: длина кри-

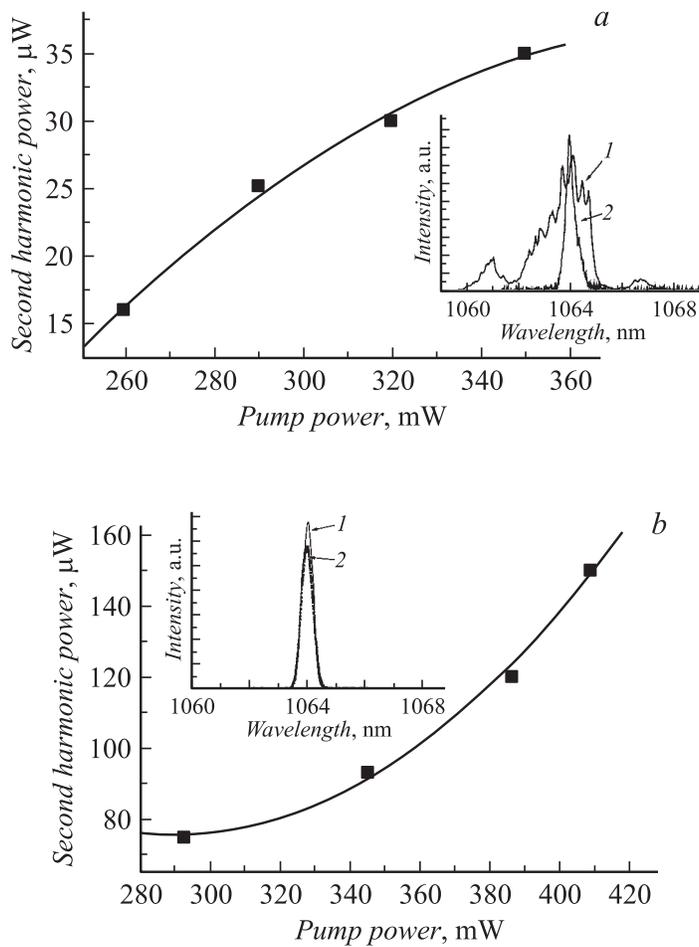


Рис. 3. Зависимость мощности второй гармоники от мощности основного излучения при накачке PPLN ЛД: *a* — без внешнего резонатора, *b* — с внешним резонатором. На вставках представлены: 1 — спектр генерации ЛД при токе $I = 2.5 \text{ A}$, $T = 298 \text{ K}$, 2 — спектр второй гармоники, приведенный к спектру основной гармоники.

сталла составляла 5 mm, ширина — 2 mm, высота — 1 mm, период доменной структуры был равен $6.95 \mu\text{m}$, температура максимума коэффициента преобразования составляла 45°C , номинальная длина волны излучения накачки 1064 nm, длина волны второй гармоники 532 nm. В тестах, проведенных на этом кристалле, при его накачке излучением YAG:Nd³⁺-лазера, работающего в непрерывном режиме генерации с выходной мощностью 350 mW, было получено излучение второй гармоники с мощностью 460 μW .

На рис. 3, *a, b* представлены зависимости мощности излучения второй гармоники от мощности излучения основной при накачке кристалла PPLN излучением ЛД с широким полоском без внешнего резонатора и тем же самым ЛД с внешним резонатором. Хорошо заметно, что при накачке PPLN излучением ЛД без внешнего резонатора наблюдается сублинейная зависимость мощности излучения второй гармоники от мощности излучения накачки, а в случае накачки излучением ЛД с внешним резонатором зависимость носит квадратичный характер. Это объясняется тем, что в первом случае в нелинейном преобразовании участвует лишь малая часть излучения основной гармоники, спектральные компоненты которого попадают в спектральную полосу преобразования нелинейного кристалла, что показано на вставке на рис. 3, *a*, где кривой 1 соответствует спектр генерации ЛД с широким полоском без внешнего резонатора, а кривая 2 — это спектр генерации второй гармоники, приведенный к спектру основного излучения. Кроме того, с увеличением тока накачки происходит уширение спектра ЛД без внешнего резонатора, а спектральная ширина нелинейного преобразования в кристалле PPLN остается неизменной. В то же время, как видно из вставки на рис. 3, *b*, излучение лазера с внешним резонатором полностью задействовано в нелинейном преобразовании.

Таким образом, в настоящей работе продемонстрировано эффективное сужение спектра генерации мощного полупроводникового лазера с широким полосковым контактом при использовании внешнего резонатора с дифракционной решеткой. Показано, что ЛД ($\lambda = 1.064 \mu\text{m}$) может быть использован при прямой накачке кристалла PPLN для получения излучения второй гармоники на $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$.

Работа была выполнена при частичной поддержке Программы президиума РАН „Новые оптические материалы“, грантов РФФИ № 07-02-00714_а и ОФИ_а № 06-02-08095.

Список литературы

- [1] *Винокуров Д.А., Зорина С.А., Капитонов В.А. и др. // ФТП. 2005. Т. 39. В. 3. С. 388.*
- [2] *Hara T., Yatsuki M., Yamane Y., Oguri H., Mure M. // QELS. 2005. P. 856.*
- [3] *Raab V., Skoczowsky D., Menze R. // Optics Lett. 2002. V. 27. P. 1995.*
- [4] *Bayram S.B., Chupp T.E. // Rev. of Scientific Inst. 2002. V. 73. P. 4169.*
- [5] *Zhdanov B.V., Ehrenreich T., Knize R.J. // Electron. Lett. 2007. V. 43. P. 221.*