

Повышение выходной мощности одиночных лазерных диодов спектральной области 808 нм при использовании алмазных теплоотводящих элементов, полученных методом осаждения из газовой фазы в СВЧ плазме

Е.Е.Ашкинази, В.В.Безотосный, В.Ю.Бондарев, В.И.Коваленко, В.И.Конов, О.Н.Крохин, В.А.Олещенко, В.Ф.Певцов, Ю.М.Попов, А.Ф.Попович, В.Г.Ральченко, Е.А.Чешев

Разработаны и изготовлены теплоотводящие элементы из синтетических алмазов, выращенных методом осаждения из газовой фазы в СВЧ плазме. Создана экономичная технология их металлизации без использования драгметаллов. Осуществлен монтаж кристаллов лазерных диодов спектральной области 808 нм с длиной резонатора 3 мм и шириной полоскового контакта 130 мкм на медные теплоотводящие элементы с использованием алмазных элементов различного качества. Получена наработка более 150 ч в непрерывном режиме при мощности излучения 8 Вт на алмазе с теплопроводностью около 700 Вт/мК без изменения выходной мощности и устойчивая непрерывная генерация в течение 24 ч на алмазе с теплопроводностью около 1600 Вт/мК при мощности излучения 12 Вт.

Ключевые слова: лазерный диод, алмазный сабмаунт.

1. Введение

Целью настоящей работы является решение проблемы повышения выходной мощности, яркости, КПД и срока службы мощных лазерных диодов (ЛД). Решение указанного комплекса задач позволит в перспективе приблизить яркость систем, использующих суммирование излучения диодных лазеров, к яркости применяемых ныне СО₂-лазеров, а также волоконных и твердотельных лазеров с диодной накачкой и перейти к широкомасштабному использованию излучения непосредственно ЛД для обработки материалов.

Неотъемлемой и важнейшей частью этой проблемы являются вопросы повышения эффективности отвода тепла от активной области ЛД. Решению данной задачи посвящены многие работы, в частности [1–3]. Отвод тепловых потоков экстремально высокой плотности (более 3–5 кВт/см²) при минимальных допустимых перепадах между температурами активной области и теплоотводящего элемента (обусловлены сильной температурной зависимостью излучательных характеристик полупроводниковой среды) является важнейшим фундаментальным ограничением для наиболее полной реализации энергетического потенциала активного элемента мощного ЛД.

Е.Е.Ашкинази, В.И.Конов, А.Ф.Попович, В.Г.Ральченко. Институт общей физики РАН им. А.М.Прохорова, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: ashkinazi@nsc.gpi.ru, vik@nsc.gpi.ru
В.В.Безотосный, В.Ю.Бондарев, В.И.Коваленко, О.Н.Крохин, В.А.Олещенко, В.Ф.Певцов, Ю.М.Попов, Е.А.Чешев. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: victorbe@sci.lebedev.ru, vadimbond@mail.ru

Поступила в редакцию 24 октября 2012 г., после доработки – 29 октября 2012 г.

2. Синтетические алмазы и сабмаунты для монтажа лазерных диодов

Наиболее привлекательным для нас параметром алмаза является его рекордная среди всех известных материалов теплопроводность – 2000–2400 Вт/мК при комнатной температуре. Важно подчеркнуть, что алмаз как теплопроводящий материал имеет принципиальные и существенные резервы, поскольку в очищенном от изотопов алмазе (в природных кристаллах содержится 1.1% изотопа ¹³C) теплопроводность может достигать 3300 Вт/мК. Заметим, что используемая в настоящее время в качестве теплоотводящего элемента медь имеет теплопроводность около 370 Вт/мК.

Использование алмазов в качестве теплоотводящих элементов для монтажа мощных лазерных кристаллов потребовало решения ряда серьёзных проблем, в том числе: выращивание пластин толщиной более 300 мкм; их резка, шлифовка и полировка с необходимыми параметрами; нанесение адгезионных слоёв и слоёв припоя для двусторонней металлизации; монтаж алмаза на базовый теплоотводящий элемент и монтаж лазерного кристалла на алмаз; разводка нижнего (плюсового) электрода вследствие того, что алмаз является диэлектриком; согласование коэффициентов теплового расширения (КТР) (при 300 К КТР алмаза равен $1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, меди – $16.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а полупроводниковых гетероструктур – около $6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).

Плёнки алмаза были синтезированы сравнительно экономичным методом осаждения из газовой фазы в СВЧ плазме на подложках кремния, предварительно засеянных ультрадисперсным алмазом в ультразвуке.

При получении алмазных пластин для инжекционных лазеров осуществлялось осаждение алмазных плёнок из газовой фазы в СВЧ плазме на кремниевые подложки, отделение алмазных пластин от кремниевых подложек химическим травлением в кислоте, лазерная резка алмаз-

ных пластин на сабмаунты и полировка последних. Процесс осуществлялся путём разложения углеводородной смеси метана с водородом и последующего осаждения алмаза на нагретую подложку.

3. Результаты

Чипы ЛД на длину волны 808 нм имели длину резонатора 3 мм и ширину полоскового контакта 130 мкм, размер алмазных элементов составлял $2 \times 4 \times 0.3$ мм.

Ватт-амперные характеристики для непрерывного ЛД, смонтированного непосредственно на медном С-маунте (ЛДМ) и на таком же С-маунте с использованием алмазного элемента (ЛДА), представлены на рис. 1. Как показывает наша статистика ресурсных испытаний, гарантированная ресурсная мощность ЛДМ составляет 7 Вт, а ЛДА, по данным предварительных испытаний, устойчиво работал в течение суток с мощностью 12 Вт. После набора нужного количества образцов для статистики и исследования всех параметров испытания будут продолжены, будет также установлена предельная мощность такой конструкции ЛД и причины её ограничения.

На рис. 2 приведены зависимости максимумов огибающих спектров для указанных выше ЛДМ и ЛДА от тока накачки. Видно, что при токе 8 А максимум спектра ЛДА сдвинут относительно максимума спектра ЛДМ почти на 2 нм в коротковолновую сторону, и это свидетельствует о более эффективном отводе тепла от кристалла через алмазный элемент, поскольку он осуществляет эффект «отрицательной тепловой линзы». Тепло от лазерного полоскового контакта шириной 130 мкм более эффективно, чем на медном теплоотводе, «растекается» по всей ширине (2 мм) алмазного элемента.

Сравнение зависимостей полных ширин огибающих спектров на половине высоты (рис. 3) для ЛДМ и ЛДА от тока накачки позволяет оценить положительный эффект снижения температуры активной области ЛДА при больших токах.

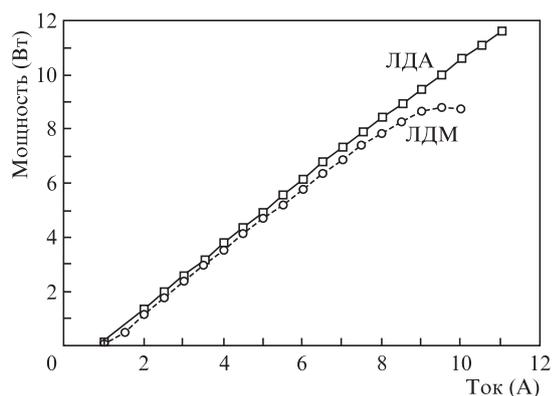


Рис. 1. Ватт-амперные характеристики ЛДА и ЛДМ.

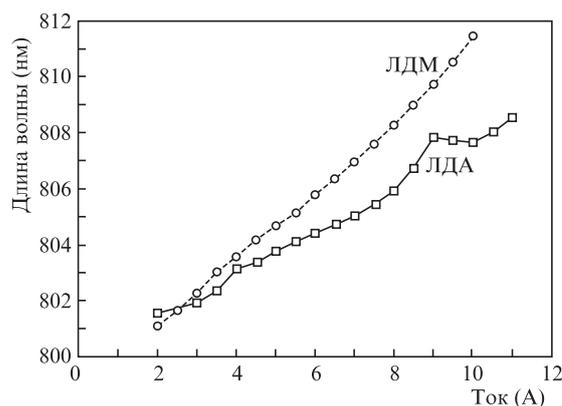


Рис. 2. Зависимости максимумов огибающих спектров излучения ЛДА и ЛДМ от тока накачки.

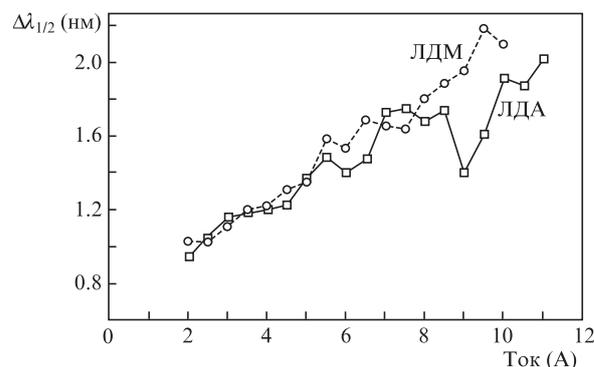


Рис. 3. Зависимости полных ширин огибающих спектров на половине высоты для ЛДА и ЛДМ от тока накачки.

Итак, при монтаже кристалла ЛД на медном С-маунте с использованием синтетического алмазного теплоотводящего элемента получена устойчивая непрерывная генерация излучения в ЛД мощностью 12 Вт на длине волны 808 нм в течение 24 ч. Сравнительные данные по выходной мощности и спектрам излучения свидетельствуют о повышении эффективности отвода теплового потока от мощного ЛД при использовании алмазных теплоотводящих элементов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 11-02-00922-а и 12-02-90025-Бел_а).

- Seurin J.F., Xu G., Khalfin V., Miglo A., Wynn J.D., Pradhan P., Ghosh C.L., D'Asaro L.A. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **7229**, 722903-8 (2009).
- Паращук В.В., Рябцев Г.И., Беляева А.К., Безъязычная Т.В., Баранов В.В., Телеш Е.В., Ву Ван Лык, Фам Ван Чыонг. *Квантовая электроника*, **40**, 301 (2010).
- Ашкинази Е.Е., Безотосный В.В., Бондарев В.Ю., Коваленко В.И., Крохин О.Н., Олещенко В.А., Певцов В.Ф., Попов Ю.М., Чешев Е.А. *Труды конф. «Полупроводниковые лазеры и системы»* (Минск, 2011, с. 29).