

06.3;07;12

Инжекционный гетеролазер с квантовыми точками, работающий в непрерывном режиме при комнатной температуре с выходной мощностью 1 Вт

© Ю.М. Шерняков, А.Ю. Егоров, А.Е. Жуков, С.В. Зайцев,
А.Р. Ковш, И.Л. Крестников, А.В. Лунев, Н.Н. Леденцов,
М.В. Максимов, А.В. Сахаров, В.М. Устинов, Чжао Чжень,
П.С. Копьев, Ж.И. Алферов, Д. Бимберг

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Технический Университет, Берлин

Поступило в Редакцию 4 декабря 1996 г.

В работе сообщается о реализации непрерывной генерации в структуре с туннельно-связанными в вертикальном направлении квантовыми точками InGaAs в матрице AlGaAs с выходной мощностью ~ 1 Вт на оба зеркала при комнатной температуре. Максимальная рабочая температура теплоотвода составила $\sim 75^\circ\text{C}$.

Дальнейший прогресс в области гетеролазеров связывается с использованием в активной области структур с квантовыми точками [1]. Недавно при помощи эффектов самоорганизации на поверхности [2] были разработаны способы получения массивов упругонапряженных наноразмерных квантовых точек InGaAs–GaAs с высокой плотностью и хорошей упорядоченностью по форме и размеру [3] и реализованы инжекционные лазеры на их основе [4]. Существенного улучшения свойств таких лазеров удалось достигнуть за счет получения туннельно-связанных в вертикальном направлении квантовых точек [5] и помещения квантовых точек в матрицу AlGaAs [6]. В последнем случае пороговая плотность тока составила всего 60 А/см^2 при комнатной температуре.

Структура была выращена методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложке n -GaAs(100) в стандартной геометрии двойной гетеро-структуры с отдельным ограничением носителей лазера с градиентным волноводом. Технологические режимы выращивания описаны в [5]. Тем-

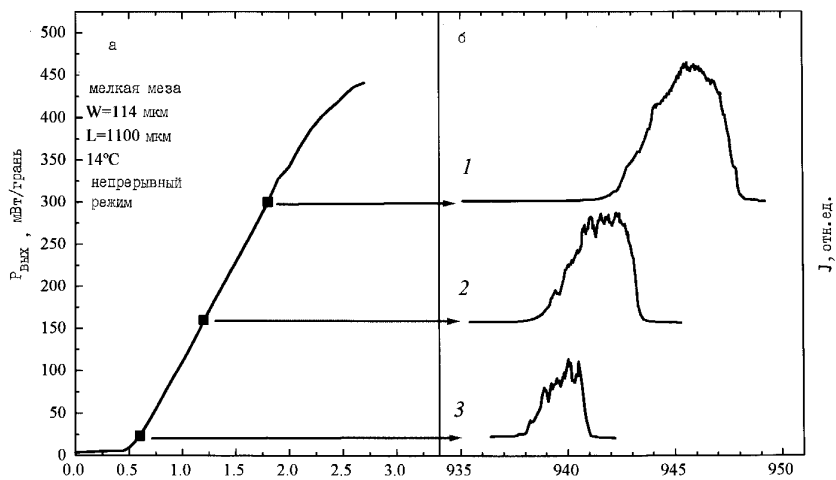


Рис. 1. *a* — ватт-амперная характеристика лазера в непрерывном режиме при 14 °С; *б* — спектры лазерной генерации при различных токах накачки: 1 — 0.6 А, 2 — 1.2 А, 3 — 1.8 А.

температура подложки при выращивании эмиттеров и волновода составила 700 °С, при выращивании активной области 485 °С. Активная область лазера представляла собой массив из 10 слоев вертикально связанных $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ квантовых точек, разделенных прослойками $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ толщиной 50 Å. Эффективная толщина осажденного InGaAs составляла 12 Å.

Лазеры были выполнены в полосковой геометрии с шириной полоска 114 мкм (структура типа "мелкая меза"). Напыления диэлектрических покрытий на зеркала не производились.

Спектры фотолюминесценции туннельно-связанных квантовых точек описаны в [6]. В данной работе мы исследовали мощностные и спектральные свойства гетеролазера с квантовыми точками. Пороговая плотность тока в лазере с длиной резонатора 1100 мкм при комнатной температуре составила 290 А/см².

На рис. 1, *a* представлена ватт-амперная характеристика лазера при комнатной температуре, а на рис. 1, *б* — спектры лазерной генерации при соответствующих токах накачки. Максимум генерации смещается в

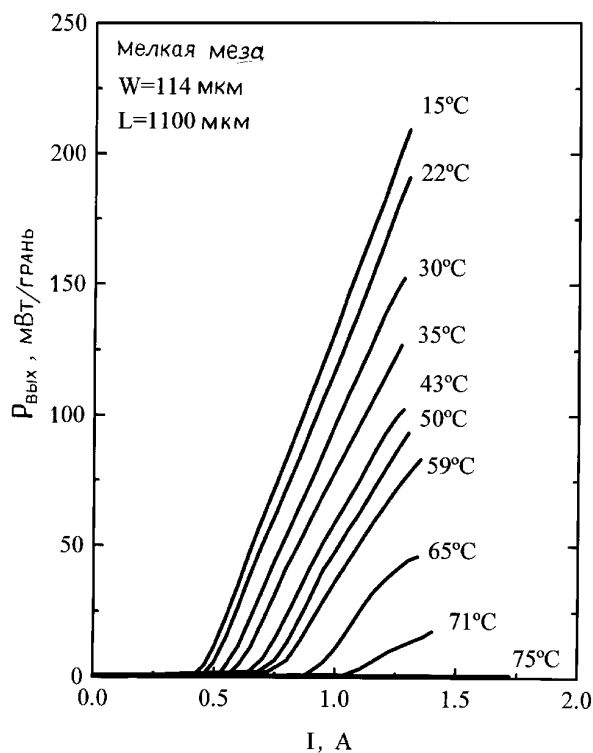


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики лазера в непрерывном режиме, снятые при различных температурах теплоотвода.

длинноволновую сторону спектра с увеличением тока накачки, что свидетельствует о перегреве структуры на 20°C при мощности ~ 300 мВт. С увеличением тока накачки также несколько возрастает ширина спектра.

Максимальная мощность излучения на оба зеркала составила от 800 мВт до 1 Вт при комнатной температуре. Дифференциальная эффективность составила около 40%.

На рис. 2 представлены ватт-амперные характеристики лазера в непрерывном режиме при температурах выше комнатной. Как следует из рисунка, максимальная температура теплоотвода, при которой удается получить лазерную генерацию, составляет $\sim 70\text{--}75^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, как следует из наших данных, структуры с квантовыми точками пригодны для изготовления высокоомощных инжекционных лазеров. Дальнейшая оптимизация структуры (увеличение дифференциальной эффективности, снижение пороговой плотности тока в полоске, использование диэлектрических зеркал) должна привести к существенному увеличению максимальной выходной мощности.

Данная работа поддерживается Российским фондом фундаментальных исследований, фондом Фольксваген и ИНТАС (грант № 94–1028).

Список литературы

- [1] *Arakawa Y, Sakaki H // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 40(11). P. 939.*
- [2] *Goldstein L, Glas F, Marzin J.Y, Charasse M.N, Roux G // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. P. 1099.*
- [3] *Ledentsov N.N, Grundmann M, Kirstaedter N, Schmidt O, Heitz R, Böhrer J, Bimberg D, Ustinov V.M., Shchukin V.A., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I., Ruvimov S.S., Kosogov A.O., Werner P, Richter U, Gösele V, Heydenreich J // 7th International Conference on Modulated Semiconductor Structures. Madrid, Spain, June 1995, published in Solid State Electronics. 1996. V. 40. P. 785.*
- [4] *Kirstaedter N, Ledentsov N.N, Grundmann M, Bimberg D, Richter U, Ruvimov S.S., Werner P, Heydenreich J, Ustinov V.M., Maximov M.V., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I // Electronics Letters. 1994. V. 30. P. 1416.*
- [5] *Алферов Ж.И., Берт Н.А., Егоров А.Ю., Жуков А.Е., Копьев П.С., Косогов А.О., Крестников И.Л., Леденцов Н.Н., Лунев А.В., Максимов М.В., Сахаров А.В., Устинов В.М., Цацульников А.Ф., Шерняков Ю.М., Бимберг Д // ФТП. 1996. Т. 30(2). С. 351.*
- [6] *Ledentsov N.N // 23rd International Conference of the Physics of Semiconductors. Berlin, July 1996.*