

06:07

Рабочие характеристики и их анизотропия в мощном лазере (1.5 W, 300 K) с активной областью на основе квантовых точек

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

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

Поступило в Редакцию 6 января 1998 г.

Продemonстрирован непрерывный режим генерации лазера на основе вертикально-связанных квантовых точек с высокой выходной мощностью (1.5 W) при комнатной температуре. Показано, что анизотропия формы квантовых точек приводит к анизотропии рабочих характеристик лазеров.

В последнее время значительный прогресс был достигнут в области технологии, физики и приборных приложений полупроводниковых гетероструктур с самоорганизующимися в процессе квантовыми точками (КТ), полученных методом самоорганизации в процессе роста. В таких структурах была продемонстрирована возможность лазерной генерации через состояния КТ при оптической [1] и инжекционной [2,3] накачках. В настоящее время лазеры на КТ уже практически достигли уровня, пригодного для коммерческих приложений. Так, в работе [4] сообщалось о реализации непрерывной генерации в структуре с вертикально связанными КТ с выходной мощностью ~ 1 W при комнатной температуре; были продемонстрированы поверхностно излучающие лазеры на КТ с характеристиками, соответствующими лучшим значениям для вертикальных лазеров на квантовых ямах аналогичной геометрии [5].

В данной работе мы сообщаем о дальнейшем улучшении рабочих характеристик лазеров на квантовых точках и реализации высокой выходной мощности 1. W в непрерывном режиме при комнатной температуре.

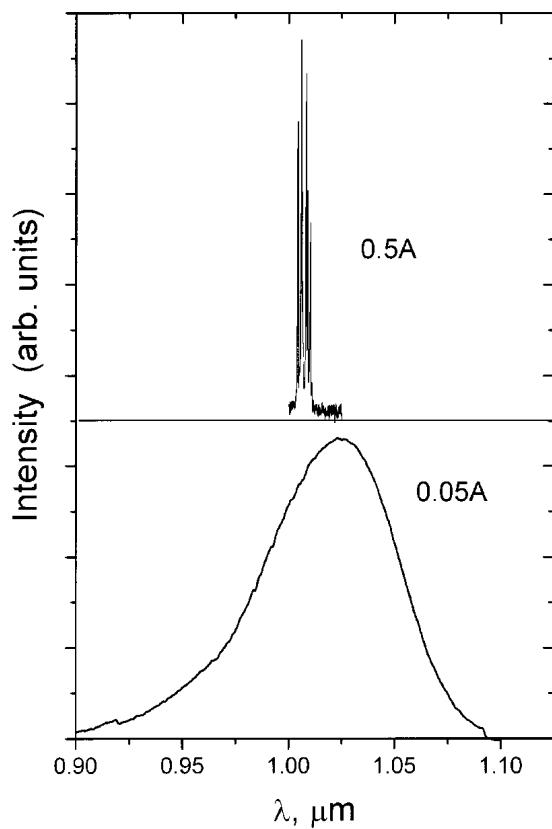


Рис. 1. Спектры электролюминесценции и лазерной генерации для лазерной структуры с квантовыми точками при 300 К. Длина полоска 900 μm, ширина 100 μm.

Лазерная структура выращивалась на подложке GaAs (100) в стандартной РО ДГС геометрии с градиентным волноводом [6]. Активная область, представляющая собой массив вертикально связанных квантовых точек (ВСКТ), была помещена в середину слоя GaAs толщиной 0.2 μm, ограниченного с обеих сторон короткопериодными сверхрешетками AlAs(20Å)/GaAs(20Å)/10. Процесс формирования, структура и

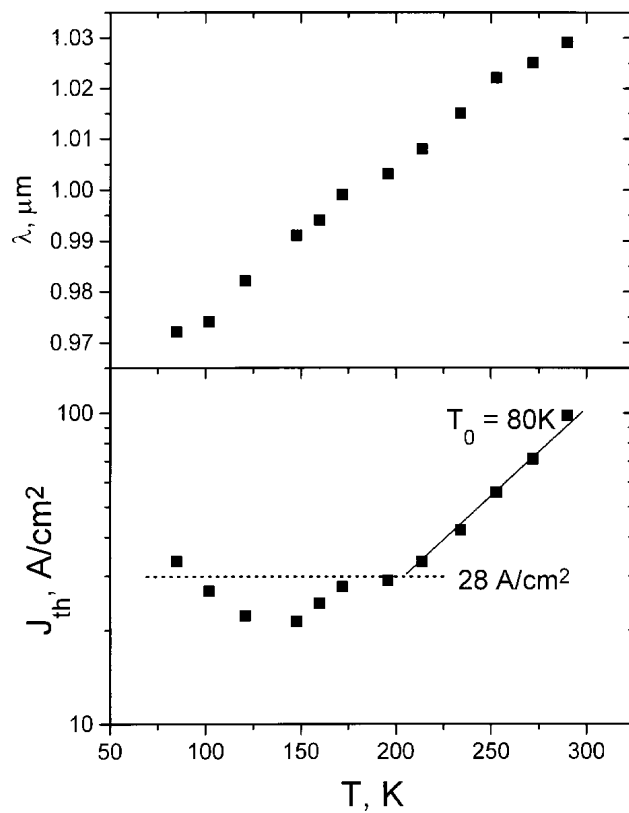


Рис. 2. Зависимость пороговой плотности тока и длины волны генерации от температуры для четырехсклоного образца.

оптические свойства $(\text{In}, \text{Ga})\text{As}-\text{GaAs}$ ВСКТ были подробно описаны нами в [7]. массив ВСКТ был сформирован в результате 4-кратного осаждения слоев $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ толщиной 30 \AA , разделенных 50 \AA прослойками $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$.

При осаждении активного слоя и покрывающего слоя AlGaAs толщиной 100 \AA температура подложки была равна $^{\circ}\text{C}$, при росте всей остальной структуры — $^{\circ}\text{C}$.

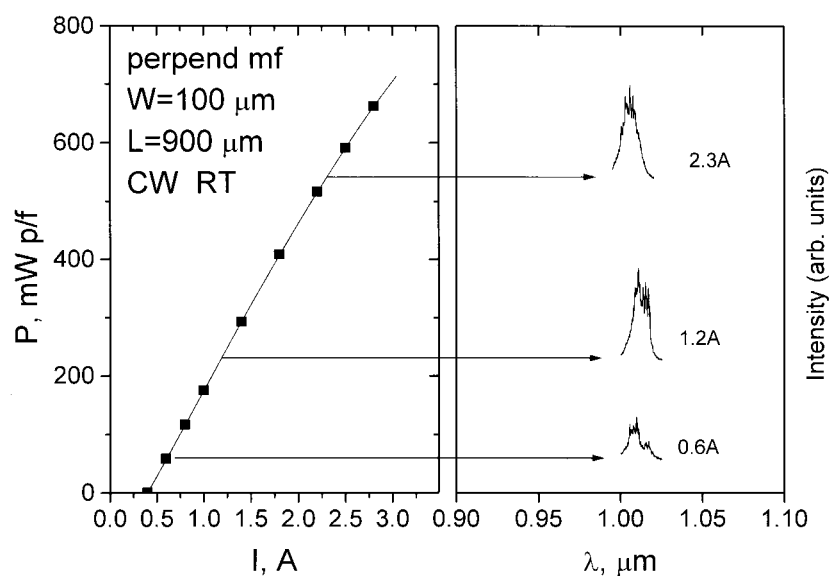


Рис. 3. Ватт-амперная характеристика и спектры лазерной генерации при нескольких токах накачки. Длина полоска 900 μm, ширина 100 μm.

Лазеры были выполнены в полосковой геометрии с шириной полоска 100 μm (структура типа "мелкая меза"). Нами исследовались полоски, изготовленные параллельно направлению [0-11] и перпендикулярно ему. Кроме того, исследовались образцы с четырьмя сколотыми гранями, где потери на выход пренебрежимо малы, т.е. реализуется случай "бесконечно длинного" полоска. Напыления диэлектрических покрытий на зеркала не проводилось.

На рис. 1 представлены спектры лазерной генерации и электролюминесценции исследуемой лазерной структуры при 300 К. Спектральное положение линии лазерной генерации совпадает с максимумом спектра электролюминесценции, снятым при низкой плотности возбуждения. Таким образом, для четырехсколотых образцов и длинных полосков лазерная генерация осуществляется через основное состояние ВСКТ. Пороговая плотность тока J_{th} при комнатной температуре

для четырехсклоотых образцов составляет 100 A/cm^{-2} , для полосков, перпендикулярных направлению $[0-11]$, J_{th} равнялась 330 A/cm^{-2} (длина полоска $900 \text{ }\mu\text{m}$). Интересным является факт, что для страйпов, параллельных направлению $[0-11]$, пороговая плотность выше и составляет 550 A/cm^{-2} . Для полосков, перпендикулярных направлению $[0-11]$, внутренняя квантовая эффективность, определенная из зависимости обратной дифференциальной эффективности от длины полоска, составила 83%, для полосков, перпендикулярных данному направлению, она была несколько ниже — 61%. Зависимость параметров лазеров на квантовых точках от ориентации полоска связана с анизотропией волновой функции в точках, которая в свою очередь определяется анизотропией их формы [8]. Внутренние потери для обеих ориентаций оказались примерно одинаковыми и составила около 13 cm^{-1} ; таким образом, зависимость J_{th} от ориентации полоска не может быть объяснена анизотропией рассеяния света в волноводе.

На рис. 2, *a* представлена зависимость пороговой плотности тока от температуры для четырехсклоотого образца. В диапазоне 80–150 К наблюдается уменьшение пороговой плотности с ростом температуры. Такой вид зависимости связан с перераспределением носителей между точками с различной энергией локализации и типичен для лазеров на КТ [9]. Интересно отметить, что в области температур 80–200 К пороговая плотность тока не превышает 27 A/cm^{-2} . Температурная зависимость длины волны линии лазерной генерации (рис. 2, *b*) примерно соответствует температурной зависимости ширины запрещенной зоны GaAs; таким образом, при увеличении температуры не происходит резкой смены механизма лазерной генерации (перескока на возбужденные состояния или состояния смачивающего слоя).

На рис. 3, *a* представлена ватт-амперная характеристика лазера при комнатной температуре, на рис. 3, *b* — спектры лазерной генерации при некоторых фиксированных токах накачки. Максимальная мощность излучения на оба зеркала составила около 1.5 W при комнатной температуре.

Таким образом, нами продемонстрировано, что структуры с вертикально связанными квантовыми точками перспективны для использования в лазерах с высокой выходной мощностью, и показано, что рабочие характеристики лазеров на КТ в существенной степени зависят от ориентации полоска.

Список литературы

- [1] *Ledentsov N.N., Ustinov V.M., Egorov A.Yu., Zhukov A.E., Maximov M.V., Tabatadze I.G., Kop'ev P.S.* // Semiconductors. 1994. V. 28. P. 832–834.
- [2] *Egorov A.Yu., Zhukov A.E., Kop'ev P.S., Ledentsov N.N., Maksimov M.V., Ustinov V.M.* // Semiconductors. 1994. V. 28. P. 809–811.
- [3] *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.
- [4] *Maximov M.V., Shernyakov Yu.M., Ledentsov N.N., Tsatsul'nikov A.F., Zhen Zhao, Lunev A.V., Sakharov A.V., Ustinov V.M., Egorov A.Yu., Zhukov A.E., Kovsh A.R., Zaitsev S.V., Gordeev N.Yu., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I., Bimberg D.* Extended Abstracts of the Annual International Symposium "Nanostructures: Physics and Technology", St. Petersburg, 1997. P. 202–205.
- [5] *Lott J.A., Ledentsov N.N., Ustinov V.M., Egorov A.Yu., Zhukov A.E., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I., Bimberg D.* Electronics Letters. 1997. V. 33. P. 1150–1151.
- [6] *Alferov Zh.I., Gordeev N.Yu., Zaitsev S.V., Kop'ev P.S., Kochnev I.V., Komin V.V., Krestnikov I.L., Ledentsov N.N., Lunev A.V., Maximov M.V., Ruvimov S.S., Sakharov A.V., Tsatsul'nikov A.F., Shernyakov Yu.M., Bimberg D.* Fizika i Tekhn. Poluprovodn. 1996. V. 30. P. 357–363. Semiconductors. 1996. V. 30. P. 197–200.
- [7] *Ledentsov N.N., Shchukin V.A., Grundmann M., Kirstaedter N., Böhrer, Schmidt O., Bimberg D., Zaitsev S.V., Ustinov V.M., Zhukov A.E., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I., Kosogov A.O., Ruvimov S.S., Werner P., Gösele U., Heydenreich J.* Phys. Rev. B. 1996. V. 54. P. 8743–8750.
- [8] *Tsatsul'nikov A.F., Ledentsov N.N., Maximov M.V., Egorov A.Yu., Zhukov A.E., Ruvimov S.S., Ustinov V.M., Komin V.V., Kochnev I.V., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I., Bimberg D.* Semiconductors. 1996. V. 30. P. 938–943. Fiz. Tekh. Poluprovodn. 1996. V. 30. P. 1793–1804.
- [9] *Zhukov A.E., Ustinov V.M., Egorov A.Yu., Kovsh A.R., Tsatsul'nikov A.F., Ledentsov N.N., Zaitsev S.V., Gordeev N.Yu., Kop'ev P.S., Alferov Zh.I.* International Symposium on Formation. Physics and Device Application of Quantum Dot Structures. November 4–7, 1996. Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan. - Jap. J. Appl. Phys. 1997. V. 36. Part 1. P. 4216–4218.