

УДК 535.374:621.375.8

С.М.Кузнецов (6 курс, каф. ФТТ), Н.Ю.Гордеев, к.ф.-м.н., с.н.с.

## КРАСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА

В последнее время основной областью применения полупроводниковых лазеров на структурах GaInP-AlGaInP, излучающих в красной области электромагнитного спектра, стали оптические системы хранения информации. Для таких применений важна малая расходимость лазерного пучка, которая трудно реализуема в обычных полупроводниковых лазерах в плоскости, перпендикулярной р-п переходу. Затруднение связано с тем, что размеры излучающей области в этом направлении слишком малы (~1 мкм), и дифракционная расходимость, как следствие, высока. Это приводит к тому, что диаграмма направленности излучения таких лазеров асимметрична (несколько десятков градусов в поперечном направлении и менее десяти – в продольном). Сейчас для фокусировки такого лазерного пучка используются дорогие оптические системы с применением цилиндрических линз. Простое расширение волновода хотя и уменьшает расходимость, но приводит к существенному ухудшению других характеристик лазера: увеличению пороговой плотности тока, уменьшению эффективности излучения. В целях устранения этой проблемы был разработан ряд усовершенствованных структур волновода [1,2] для увеличения размера излучающего пятна. Можно выделить две основных схемы: использование дополнительного слоя с низким показателем преломления в волноводном слое и слоя с высоким показателем преломления в эмиттере. Однако в этих подходах используется стандартная конструкция волновода, и вертикальная расходимость превышает 13-18°.

Недавно была предложена идея использования расширенного волновода на основе периодической структуры – одномерного фотонного кристалла (Longitudinal Photonic Band crystal – LPBC) для получения одномодового лазерного излучения с произвольной диаграммой направленности [3]. Добавлением в одномерный фотонный кристалл оптического дефекта (нарушением периодичности) можно добиться того, что только одна оптическая мода, например, основная, оказывается локализованной на дефекте и быстро спадает по мере удаления от него. Остальные же оптические моды (более высокого порядка) распространяются по всему фотонному кристаллу за счет «эффекта резонансного туннелирования» и имеют на порядок (порядки) большие потери на утеkanie. Используя этот принцип, можно поместить активную область лазера (например, на основе квантовых ям) в место локализации основной оптической моды [4-6]. Моды более высокого порядка при этом затухают в подложке и контактных слоях. Таким образом, можно обеспечить относительно высокий коэффициент оптического ограничения основной оптической моды и сильную избирательность мод при значительном размере излучающей области. В результате становится возможным получение узкой диаграммы направленности для полупроводникового лазера в направлении, перпендикулярном плоскости р-п перехода.

Большой размер излучающего пятна помогает разрешить и другую проблему, особо актуальную для мощных лазеров – катастрофическое оптическое разрушение лазерного зеркала (COMD). Оно вызывается разогревом излучающей области, но увеличение площади излучающего пятна ведет к уменьшению плотности выделяемой тепловой мощности и, следовательно, устранению эффекта.

В этой работе изучались LPBC-лазеры полосковой конструкции с активной областью на основе квантовых ям GaInP/AlGaInP, выращенные методом металлорганического химического осаждения (MOCVD). Были исследованы образцы различных длин, с разными

ширинами полоска. Резонатор Фабри-Перро был образован естественными сколами образца. Защитные, отражающие и просветляющие покрытия на зеркала не наносились.

Для образцов с длиной более 1,5мм были получены значения: длина волны лазерной генерации при комнатной температуре – 646 нм, пороговая плотность тока –  $1\text{кА/см}^2$  и внутренняя дифференциальная квантовая эффективность – около ста процентов.

Исследования дальнего поля излучения показали хорошее согласие с расчетом: вертикальная расходимость лазерного пучка в большом диапазоне токов накачки составляла  $8^\circ$  (FWHM – ширина на полувысоте). Более того, были получены данные, свидетельствующие о том, что поперечная и продольная расходимости практически совпадают. Таким образом, продемонстрирована возможность получения симметричной диаграммы направленности излучения полупроводникового лазера с использованием одномерного фотонного кристалла.

LPBC-лазеры также продемонстрировали хорошие мощностные характеристики. В импульсном режиме накачки с образцов с широким полоском (100 мкм) была получена мощность излучения 20 Вт. Достигнуть деградации зеркал не удалось. Для ширины полоска в 20 мкм оптическая деградация зеркал произошла при излучаемой мощности около 6 Вт. При непрерывном режиме накачки была получена максимальная излучаемая мощность 60 мВт.

Таким образом, при исследованиях LPBC-лазеров были получены: поперечная расходимость лазерного пучка  $8^\circ$  (и эта величина может быть уменьшена за счет модификации фотонного кристалла), симметричная диаграмма направленности, мощность излучения 20 Вт при импульсном режиме накачки и 60мВт – при непрерывном. Таким образом, красные лазеры с волноводом на основе одномерного фотонного кристалла излучают симметричный узкий лазерный пучок высокой мощности, и их излучательные характеристики превосходят или не уступают характеристикам ныне используемых красных лазеров.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. J.Temmyo and M. Sugo, Electronics Letters 31, 642 (1995).
2. P.M.Smowton, G.M.Lewis, M.Yin, H.D.Summers, G.Berry, C.C.Button, IEEE Journal of Quantum electronics 5(3),735 (1999).
3. N.N.Ledentsov and V.A.Shchukin, SPIE Optical Engineering 41, 3193 (2002).
4. M.V.Maximov, Yu.M.Shernyakov, I.I.Novikov, S.M.Kuznetsov, L.Ya.Karachinsky, N.Yu.Gordeev, V.P.Kalosha, V.A.Shchukin, I.Samid, and N.N.Ledentsov, Electronics Letters, June 2005, vol. 41, No. 13.
5. M.V.Maximov, Y.M.Shernyakov, I.I.Novikov, S.M.Kuznetsov, L.Ya.Karachinsky, N.Yu.Gordeev, V.P.Kalosha, V.A.Shchukin, and N.N.Ledentsov, IEEE Journal Of Quantum Electronics, November 2005, vol. 41, No. 11.
6. M.V.Maximov, Yu.M.Shernyakov, I.I.Novikov, S.M.Kuznetsov, L.Ya.Karachinsky, N.Yu.Gordeev, V.P.Kalosha, V.A.Shchukin, I.Samid, and N.N.Ledentsov, Proceedings of 13th Int. Symp. “Nanostructures: Physics and Technology” (St Petersburg, Russia, June 2005).