

СЕКЦИЯ «ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 621.375:625.325

А.В.Савельев (асп., каф. ТТЭ), Р.П.Сейсян, д.ф.-м.н., проф.

ФОТОТОК ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ INAS КВАНТОВЫХ ТОЧЕК.

Лазеры на основе квантовых точек (КТ) являются перспективными устройствами оптоэлектроники. Носители заряда в квантовых точках имеют дискретный спектр, что приводит к низкому пороговому току и температурной стабильности таких устройств. На данный момент наиболее совершенной методикой получения массивов квантовых точек является самоорганизация в процессе эпитаксиального роста. Статистический характер процесса самоорганизации не позволяет точно контролировать параметры квантовых точек, что приводит к значительному разбросу их размеров и неоднородному уширению энергетического спектра системы. Фундаментальной характеристикой получившегося ансамбля является энергетическая плотность состояний (ПС). В связи со сложностью теоретического описания ПС в конкретной структуре большой интерес представляет ее непосредственное экспериментальное измерение. Задачей исследования было изучение спектра фототока лазерного диода (ЛД) [1], определение его связи с энергетическим спектром носителей в КТ и описание на его основе излучательных характеристик ЛД. Для прямого определения ПС в образце измерялся спектр оптической плотности (оптического поглощения).

Были исследованы стандартные полосковые ЛД-структуры, выращенные методом молекулярно-пучковой эпитаксии, предназначенные для излучения в области 1.2-1.3 мкм, с длиной полоска 0.4 мм [2]. Активная область ЛД содержала от 3-х до 5-ти слоев InAs КТ с поверхностной плотностью $(4-5) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Каждый слой КТ покрывался квантовой ямой (КЯ) $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0.15 \dots 0.2$) толщиной 55 \AA , а затем буферным слоем GaAs толщиной 300 \AA . Для измерения оптического поглощения образцы площадью до 0.2 см^2 утоншались методом химического травления до толщины порядка 10 мкм и упаковывались в прозрачные контейнеры, что позволяло проводить эксперименты по измерению пропускания света. В качестве источника излучения для измерения фототока использовался свет галогеновой лампы накаливания, прошедший через монохроматор МДР-23 и сфокусированный на ЛД, электрический отклик которого измерялся по стандартной методике синхронного детектирования. Спектры люминесценции регистрировались с помощью Ge детектора. Оптическая плотность образца определялась по интенсивности прошедшего насквозь света.

В измеренных спектрах фототока ЛД при различных температурах, напряжениях смещения и поляризации падающего света отчетливо видно поглощение основным состоянием КТ ($E_1 = 1.01 \text{ эВ}$) и несколькими возбужденными состояниями ($E_2 = 1.10 \text{ эВ}$, $E_3 = 1.16 \text{ эВ}$). Также на спектрах видны максимумы поглощения в области КЯ (1.3 – 1.4 эВ). Важно отметить, что сравнительно большое абсолютное значение фототока (порядка 10^{-9} А), делает его простой и удобной методикой для измерения ПС. Измерения по нашей схеме позволяют исследовать ПС непосредственно в излучающем приборе, без каких-либо его модификаций. Слабая зависимость величины фототока от температуры и приложенного напряжения позволяет пренебречь утечкой носителей заряда за счет излучательной и безизлучательной рекомбинации. По результатам измерения фототока были рассчитаны спектры электролюминесценции (ЭЛ) при различных токах накачки и спектры усиления активной области ЛД, используя теорию, развитую в работе [3]. В спектрах ЭЛ ЛД хорошо

видно излучение 3х состояний КТ, положения которых соответствуют максимумам фототока. Спектры ЭЛ при различных плотностях накачки находятся в хорошем согласии с расчетными. Расхождения в области минимумов ЭЛ требуют, на наш взгляд, дальнейшего исследования. Также была измерена оптическая плотность активной среды ЛД в области поглощения КЯ. Теоретический анализ спектров поглощения КЯ позволяет идентифицировать на них пики, соответствующие экситонному поглощению, положение которых позволяет судить о степени напряженности КЯ и концентрации In в ней [4]. Совпадение спектров фототока и оптической плотности в этой области энергий свидетельствует, что фототок непосредственно отражает ПС в активной области ЛД-структуры. Измерение оптической плотности КТ является сложной процедурой, так как требует детектирования незначительных изменений коэффициента пропускания порядка 10^{-4} [5]. При создании образцов для таких измерений не требуется трудоемких операций по выращиванию волновода и эмиттера, окружающих активную область ЛД, что делает метод практически важным.

Спектры фототока и оптической плотности активной среды ЛД на основе КТ позволяют узнать энергетическую плотность состояний носителей в КТ и описать его рабочие характеристики, такие как спектры люминесценции и усиления. Показано, что спектры фототока при комнатной температуре непосредственно отражают плотность состояний в системе. В итоге, измерение фототока представляется наиболее простым и адекватным способом получения информации об энергетическом спектре носителей в КТ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. P.W.Fry et al., Phys. Rev. B 62, 16784 (2000); P.N. Brunkov et al., Phys. Rev. B 65, 085326 (2002).
2. С.С. Михрин и др., ФТП 36, 1400 (2002).
3. Levon V. Asryan et al., IEEE J. Quant. Electr. 37, 418 (2001) и ссылки в ней.
4. Х. Муманис, канд. диссер., ФТИ, СПб (1999).
5. R.J. Warburton et al., Phys. Rev. Lett. 79, 5282 (1997).