**Численное моделирование суперлюминесцентного диода на основе квантово-размерных гетероструктур AlGaInAs/InP и GaInAsP/InP спектрального диапазона 1.5-1.55 мкм**

***Рыков И.Е.*1,2*, Гультиков Н.В.*1,2*, Ладугин М.А.*1,2*, Мармалюк А.А.*1,2**

*Студент-магистр*

1Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), ФЭФМ, ФФКЭ, Долгопрудный, Россия

2 Научно-исследовательский институт "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха, Москва, Россия

Суперлюминсцентный диод (СЛД) представляет собой полупроводниковый источник света на основе смещаемого в прямом направлении $p-n$ перехода, работающий в режиме усиленного спонтанного излучения (УСИ). СЛД занимает промежуточное положение между лазерными диодами (полупроводниковыми лазерами) и обычными люминесцентными диодами, объединяя определенные особенности и тех, и других приборов: с одной стороны, достижение высокой мощности и яркости выходного излучения, как у лазерных диодов, с другой - широкий спектр излучения, как у светоизлучающих диодов, со слабой временной когерентностью [1].

Таблица 1.1. Слои структуры с активной областью на основе $Al\_{x}Ga\_{y}In\_{1-x-y}As$

|  |  |
| --- | --- |
| Материал | Описание |
| $$GaIn\_{x}As$$ | p-контактный слой |
| $$InP$$ | p-эмиттер |
| $$AlIn\_{x}As$$ | волновод |
| $$Al\_{x}Ga\_{y}In\_{1-x-y}As$$ | внешний барьер |
| $$Al\_{x}Ga\_{y}In\_{1-x-y}As$$ | внутренний барьер (x5) |
| $$Al\_{x}Ga\_{y}In\_{1-x-y}As$$ | квантовая яма (x6) |
| $$Al\_{x}Ga\_{y}In\_{1-x-y}As$$ | внешний барьер |
| $$AlIn\_{x}As$$ | волновод |
| $$InP$$ | n-эмиттер |
| $$InP$$ | подложка |

В рамках данной работы представлено сравнение СЛД на основе систем материалов AlGaInAs/InP и GaInAsP/InP. Было проведено моделирование двух вариантов поперечного сечения СЛД полосковой (гребневой) геометрии, один из которых состоит из активной области с несколькими квантовыми ямами, и волноводных и эмиттерных слоев (см. табл. 1.1). Использование изотемпературной дрейф-диффузионной модели позволило рассчитать распределение концентрации свободных электронов $n(x,y)$ и дырок $p(x,y)$ вдоль сечения в стационарном во времени режиме при различных значениях приложенного напряжения (0-2 В), а **k\*p-**метод с 4x4 гамильтонианом Латтинжера-Кона [2] (принимаем во внимание только дважды вырожденные по спину подзоны легких и тяжелых дырок), учитывающим вызванное рассогласованием постоянных решеток упругое напряжение квантовых ям (КЯ), дал возможность после решения уравнения Шредингера с прямоугольным потенциалом квантовых ям определить спектр материального усиления $g\_{mat}(λ)$ [1/см] активной области в окрестности центральной длины волны 1.55 мкм для TE-поляризованной волны в приближении несвязанных ям при рассчитанных концентрациях $n$ и $p$ в КЯ.

Далее был проведен оптический расчета того же сечения благодаря решению макроскопических уравнений Максвелла для диэлектрической среды в том же сечении в предположении о том, что поле представляет собой бегущую вдоль оси диода волну: $E\left(x,y,z, t\right)=E\left(x,y\right)e^{i(βz-ωt)}$. Действительные для всех материалов кроме КЯ показатели преломления $n$ полупроводников были рассчитаны по модели Адачи [3]. Показатели преломления материалов квантовых ям ($AlGaInAs$ или $GaInAsP$) $\tilde{n}=n+ik$ имеют ненулевые отрицательные мнимые части $k$, соответствующие рассчитанному материальному усилению. Другое возмущение $n$, относящееся уже ко всем слоям, - это пространственно неоднородная добавка, вызванная зависимостью показателя преломления от концентрации свободных носителей [4]. Таким образом, в работе были определены моды электромагнитного поля, поддерживаемые структурой, основная из которых, как и ожидалось, оказалась TE-поляризованной.

И, наконец, знание распределения интенсивности моды, позволяет найти факторы оптического ограничения $Г\_{i}$ внутри квантовых ям, что дает рассчитать модовое усиление $g\_{mod}= \sum\_{1}^{N\_{MQW}}Г\_{i}g\_{mat,i}$ и внутренние оптические потери $α\_{int}= \sum\_{1}^{N\_{all}}Г\_{i}(σ\_{n}n+σ\_{p}p)$ (где $σ\_{n,p}-$ сечения поглощения фотонов электронами и дырками соответственно) – величины, которые определяют спектр УСИ и значение мощности выходного излучения [5].

Рассчитанные внутренние оптические потери и выходной спектр усиленного спонтанного излучения были подвергнуты сравнительному анализу для двух рассматриваемых структур.

**Литература**

1. Handbook of optoelectronic device modeling and simulation: Fundamentals, Materials, Nanostructures, LEDs, and Amplifiers, Vol. 1 (Series in Optics and Optoelectronics) / edited by J. Piprek. ­— Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.
2. *Chuang S.L.* Physics of Optoelectronic Devices. — New York: Wiley-Interscience, 1995.
3. *Guden M., Piprek J.* Material parameters of quaternary III–V semiconductors for multilayer mirrors at 1.55 $μ$m wavelength // Model.Simul. Mater. Sci. Eng. 1996. V. 4(4): 349. DOI: 10.1088/0965-0393/4/4/002.
4. *Adachi S.* Physical properties of III-V semiconductor compounds: InP, InAs, GaAs, GaP, InGaAs, and InGaAsP. — New York: Wiley-Interscience, 1992.
5. *Alphonse G.A.* Design of high-power superluminescent diodes with low spectral modulation // Proc. SPIE. 2002. V. 4648. P. 125–138. DOI: 10.1117/12.462649.