

Моделирование порогового тока полупроводникового лазерного диода на основе AlGaAs

Докладчик:

Макулевский Г.Р.

Соавтор:

Матюхин С.И.

Госуниверситет - УНПК

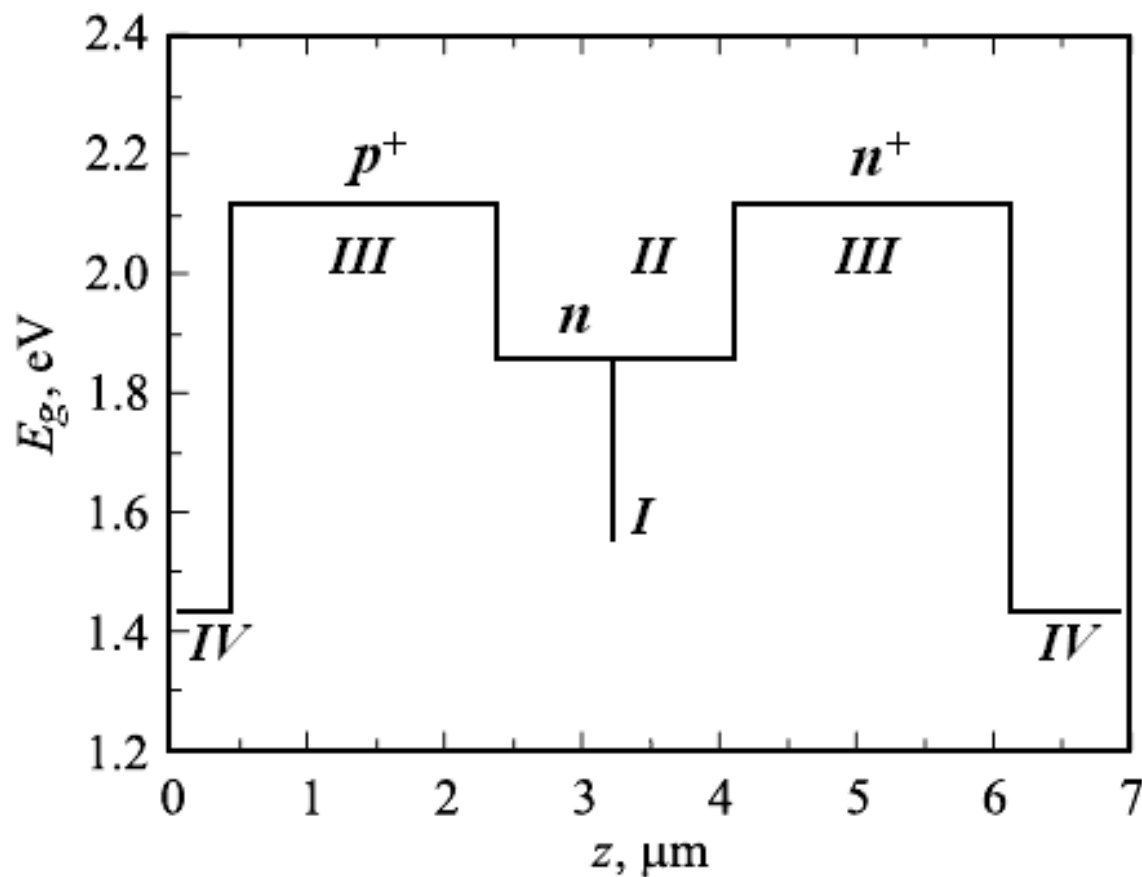
Цель

- Математический расчет порогового тока лазерной структуры;
- Построение Ватт-амперной характеристики лазерного диода на основе AlGaAs.

Задачи

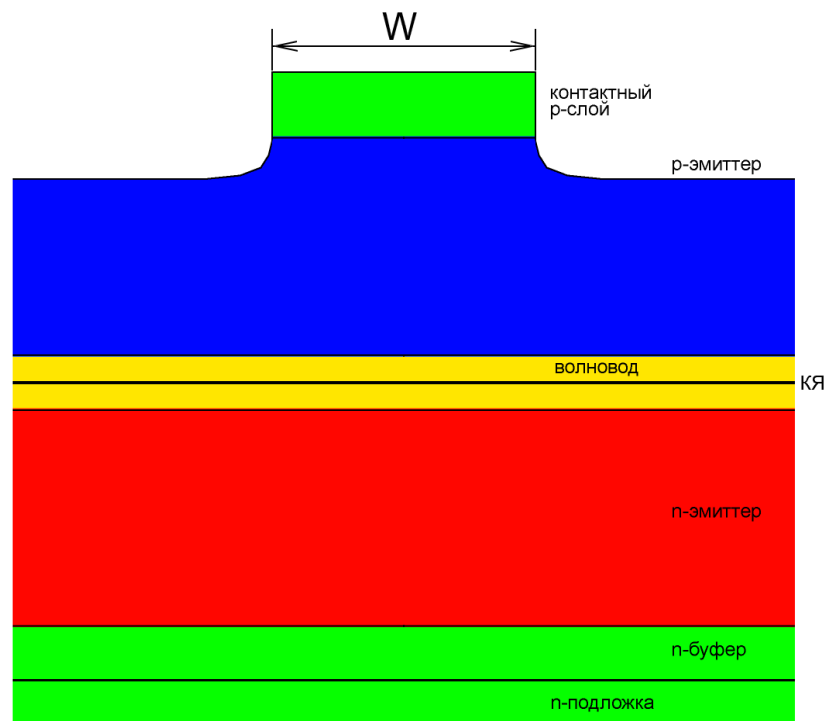
- Изучение факторов, определяющих пороговый ток;
- Изучение факторов, определяющих наклон ВтАХ.

Зонная диаграмма гетеропереходов



Структура исследуемого лазера

Номер слоя	Слой	Состав	Уровень легирования, см ⁻³	Толщина, мкм
1	n-подложка	n-GaAs (100)	$2 \cdot 10^{18}$	350
2	n-буфер	n-GaAs	$1 \cdot 10^{18}$	0.4
3	n-эмиттер	$\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$	$8 \cdot 10^{17}$	1.6
4	волновод	$\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$	не легирован ($n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$)	0.2
5	активная область (КЯ)	$\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{As}$	не легирован ($n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$)	0.012
6	волновод	$\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$	не легирован ($n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$)	0.2
7	p-эмиттер	$\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$	$8 \cdot 10^{17}$	1.6
8	контактный p-слой	p-GaAs	$4 \cdot 10^{19}$	0.5



Прототип лазерного диода
 производства:
ФГУП НИИ «Полюс»
 им. М.Ф. Стельмаха (г. Москва)

Формула ВТАХ лазерного диода

$$P = \frac{h\nu}{e} \eta_{int} \frac{\alpha_{ext}}{\alpha_{ext} + \alpha_{int}} (I - I_{th})$$

P – выходная оптическая мощность;

η_{int} – внутренняя дифференциальная квантовая эффективность;

α_{int} – коэффициент внутренних оптических потерь;

α_{ext} – коэффициент внешних потерь;

I – ток инжекции;

I_{th} – пороговый ток.

$$I_{th} = (I_{R.a} + I_{R.w}) + I_A + I_L$$

Расчет порогового тока

Компонента порогового тока, обусловленная спонтанной излучательной рекомбинацией в активной области (КЯ).

$$I_{R.a} = S_0 I_{cv}^2 e \frac{2}{3\pi} N_{QW} \alpha \frac{M}{1+M} \left(1 - \frac{m_c}{m_0}\right) \frac{E_g (E_g + \Delta_0)}{E_g + \frac{2}{3} \Delta_0} \frac{8\pi^3 \sqrt{\epsilon_w}}{h^3 c^2} E_0^2 I_{IV}(T)$$

$$I_{IV}(T) = \frac{kT}{E_0} (1+M) \frac{1}{y}$$

I_{cv} – интеграл перекрытия поперечных волновых функций электронов и дырок, захваченных в КЯ;

M – отношение эффективной массы дырок к эффективной массе электронов в КЯ;

α – постоянная тонкой структуры;

m_c – эффективная масса электронов; m_0 – масса электрона покоя;

N_{QW} – число квантовых ям;

E_g – ширина запрещенной зоны КЯ;

Δ_0 – энергия спин-орбитального взаимодействия для материала КЯ;

ϵ_w – диэлектрическая проницаемость Волновода;

E_0 – энергия квантов излучения;

S_0 – площадь контактного полоска;

$$y = \exp\left(\frac{F_c - \epsilon_n}{kT}\right) \begin{array}{l} F_c - \text{квазиуровень Ферми для электронов в КЯ;} \\ \epsilon_n - \text{энергия 1-го энергетического уровня для электронов в КЯ;} \end{array}$$

Расчет порогового тока

Паразитная компонента порогового тока, обусловленная спонтанной излучательной рекомбинацией в области Волновода

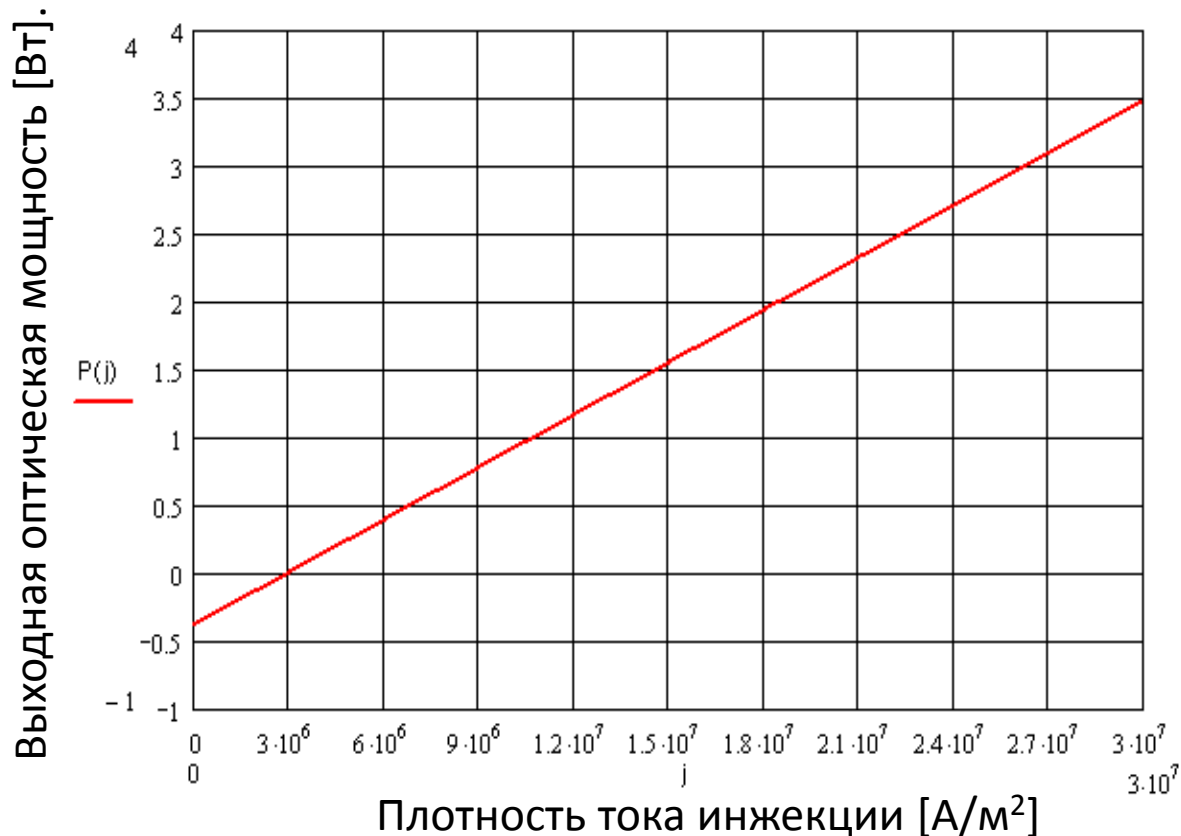
$$I_{R.w} = S_0 e B^{3D} d_w n_{th}^{w2}$$

B^{3D} – коэффициент спонтанной излучательной рекомбинации в Волноводе;

d_w – ширина Волновода;

n_{th}^w – концентрация носителей заряда в Волноводе на пороге генерации;

График ВТАХ на основе математических расчетов



Пороговый ток:

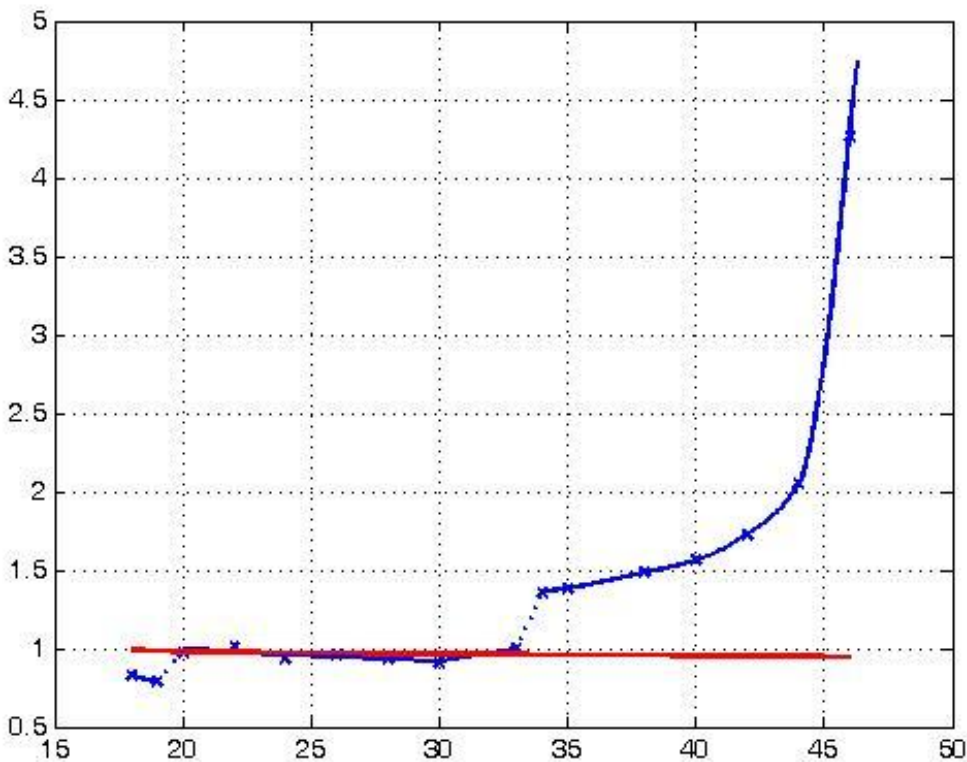
$$I_{th} = 295[mA]$$

**Дифференциальная
квантовая
эффективность:**

$$\eta_{int} = 0,99$$

Зависимость порогового тока от мольной концентрации Аллюминия в Волноводе

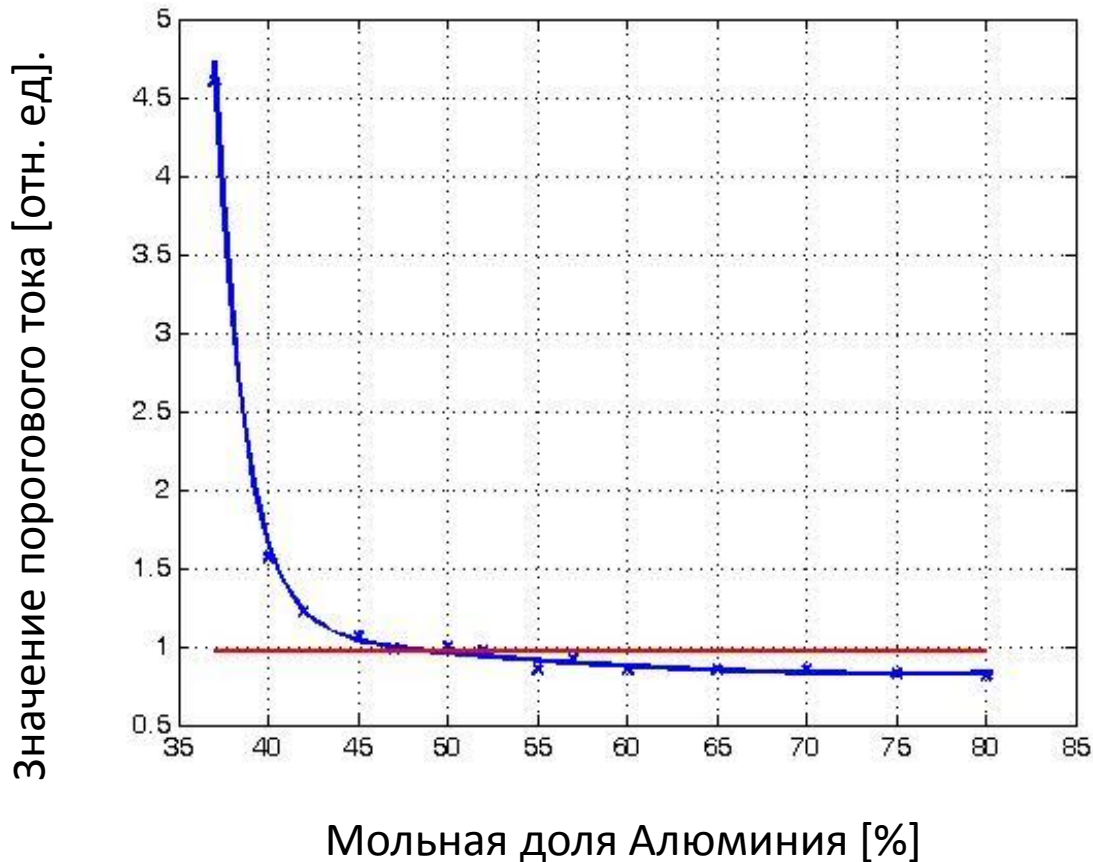
Значение порогового тока [отн. ед].



- Синяя кривая – результаты численного моделирования
- Красная кривая – результаты математических расчетов

Мольная доля Аллюминия [%]

Зависимость порогового тока от мольной концентрации Алюминия в Эмиттерах



- Синяя кривая – результаты численного моделирования
- Красная кривая – результаты математических расчетов

Выводы

- В высокоэффективных коротковолновых лазерных диодах ($\lambda \leq 1$ мкм) пороговый ток определяется в основном процессами спонтанной излучательной рекомбинации в Квантовой Яме;
- Мольная концентрация Алюминия в Волноводе и в Эмиттерах не влияет на значение порогового тока;

Литература

- Асрян Л.В. Спонтанная излучательная рекомбинация и безызлучательная оже-рекомбинация в квантоворазмерных гетероструктурах // Квантовая электроника. 2005. Т.35. Вып.12. С.1117-1120.
- Баженов НЛ., Мынбаев К.Д. Температурная зависимость порогового тока лазеров на квантовых ямах // Физика и техника полупроводников, 2005, том 39, вып. 10
- Соколова З.Н., Тарасов И.С., Асрян Л.В. Захват носителей заряда и выходная мощность лазера на квантовой яме // ФТП. 2011. Т.45. Вып. 11. С.1553-1559.
- Asryan L.V., Gun'ko N.A. Threshold characteristics of InGaAsP/InP multiple quantum well lasers // Semicond. Sci. Technol. 2000. V.15.P.1131-1140.
- Zegrya G.G., Andreev A.D. Calculation of QW-laser threshold currents in terms of new channels of non-radiative Auger recombination // Proc. SPIE, 2399, 307 (1995).