

# **Вольт-амперная характеристика лазерных диодов на основе AlGaAs**

Докладчик: Макулевский Г.Р.

Соавторы: Матюхин С.И.

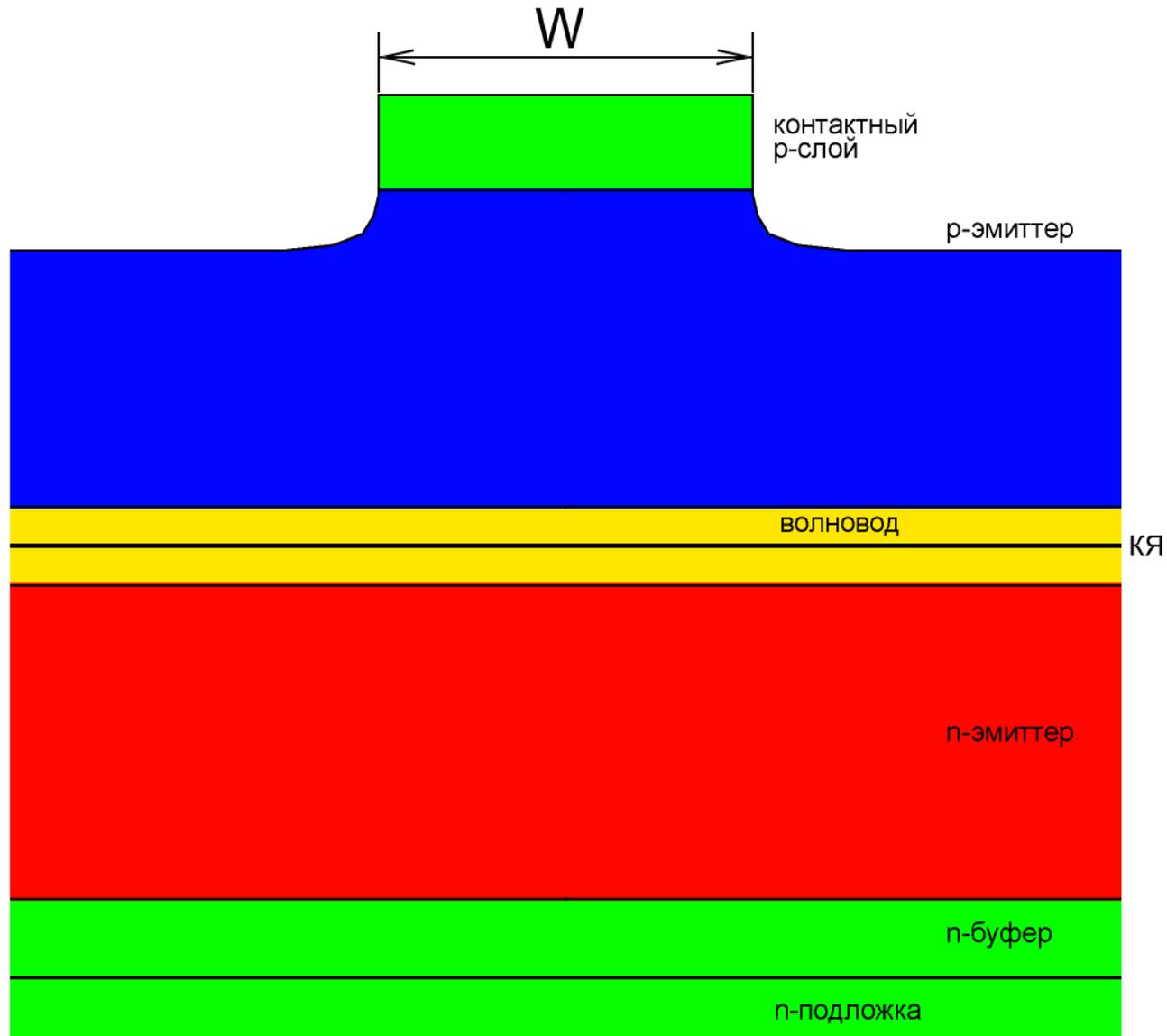
# Цель работы

- Разработка математической модели прямой ветви вольтамперной характеристики лазерного диода на основе AlGaAs

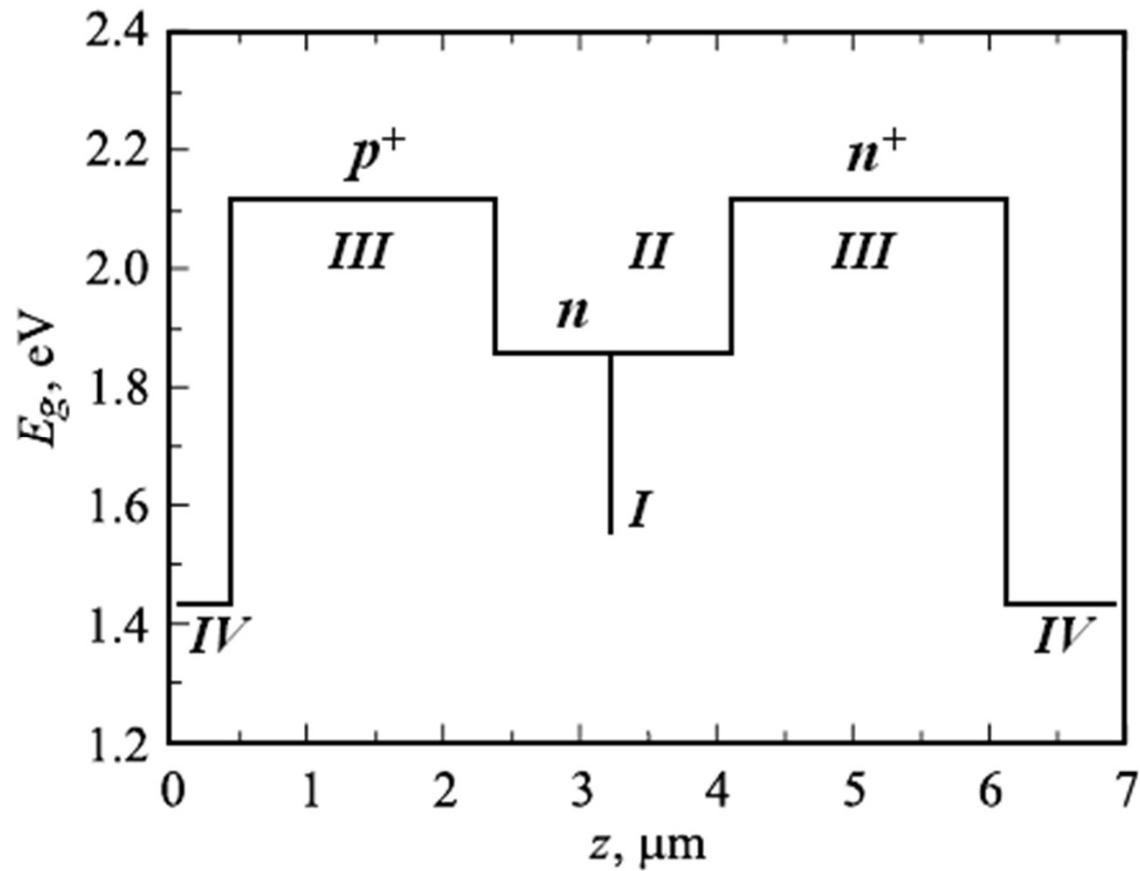
# Задачи

- Изучение факторов, определяющих пороговое напряжение
- Изучение факторов, определяющих дифференциальное сопротивление

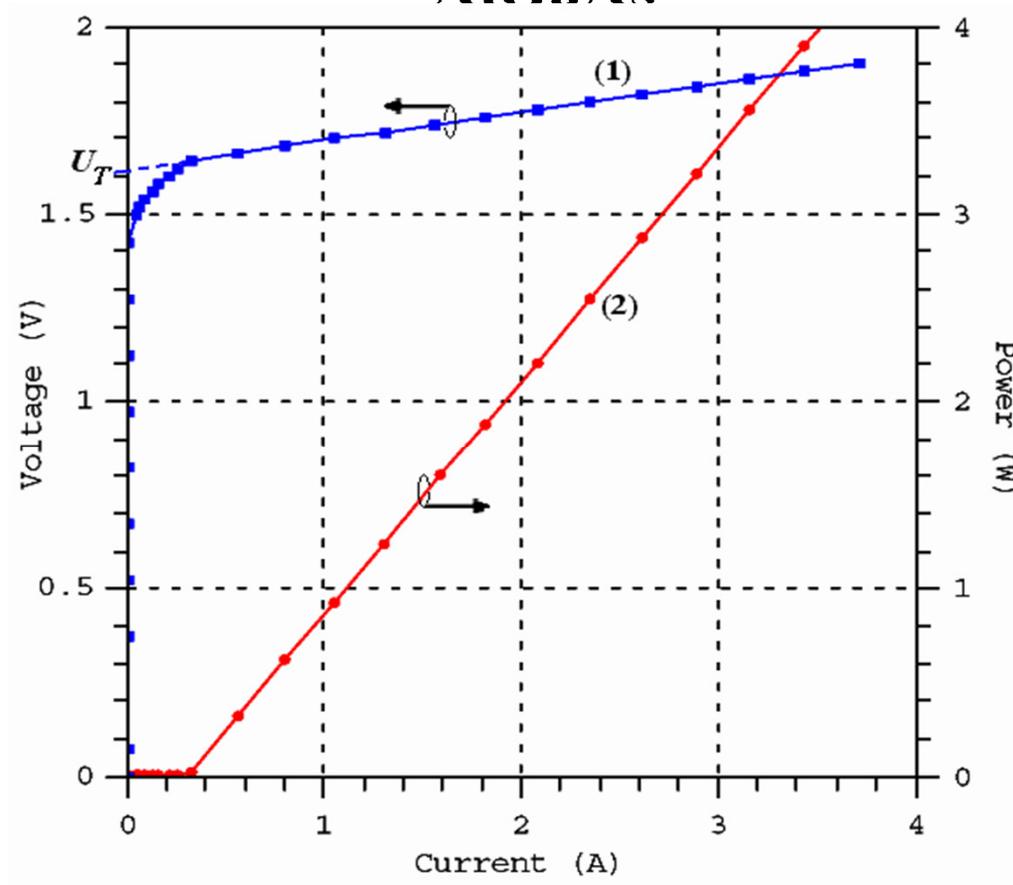
# ТИПОВАЯ СТРУКТУРА SCH лазера



# Зонная диаграмма гетероперехода



# Типичные вольтамперная (1) и ватт-амперная (2) характеристики полупроводникового лазера на основе AlGaAs



$$U_F \approx U_T + rI_F$$

$U_T$  - Пороговое напряжение

$I_F$  - Прямой ток

$r$  - Дифференциальное сопротивление

# Вольтамперная характеристика лазерного диода в прямом направлении

Суммарное падение напряжения на лазерном диоде:

$$U_F = \sum_j U_j + U_B + \sum_l U_l$$

Гетеропереходы

↑

н-база

↑

← Сильно легированные слои полупроводниковой структуры

## Падение напряжения на эмиттерных слоях и на n-подложке

$$\sum_l U_l = \sum_l \rho_l \frac{d_l}{S_0} I_F$$

- вызвано омическим сопротивлением данных слоев

$d_l$  – толщина слоя

$S_0$  – активная площадь слоя

$\rho_l$  – удельное сопротивление слоя

# Падение напряжения на *l*-базе при высоких уровнях инжекции равно

$$U_B \approx \frac{1.5kT}{e} \exp\left(\frac{d_B}{2\Lambda_{pB}}\right) + \rho_B \frac{d_B}{S_0} I_F$$



Учитывает взаимное рассеяние носителей заряда



Учитывает высокий уровень инжекции носителей заряда в базу

$$\rho_B = \frac{\rho_0}{\epsilon_B^2} \sqrt{\frac{m_{eB} m_{hB}}{m_{eB} + m_{hB}}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1.5} \quad T_0 = 300K$$

$\rho_B$  - Удельное сопротивление, обусловленное взаимным рассеянием носителей

$\epsilon_B$  - Диэлектрическая проницаемость

$m_{eB}, m_{hB}$  - Эффективные массы электронов и дырок в волноводе

$T$  - Абсолютная температура полупроводников

$\Lambda_{pB}$  - амбиполярная диффузионная длина дырок в волноводе

$k$  - Постоянная Больцмана

$d_2$  - Равная ширине волновода толщина *n*- базы

$S_0$  - Активная площадь гетеропереходов

## Сумма падений напряжения на гетеропереходах лазерной структуры

$$\sum_j U_j \approx \frac{\eta kT}{e} \ln \left( \frac{I_F}{I_S} + 1 \right)$$

$$I_S = A^* S_0 N_E \sqrt{\frac{T}{T_0}} \exp \left( -\frac{e\phi_C}{kT} \right)$$

$I_S$  – обратный ток насыщения;

$A^*$  - постоянная, определяемая проницаемостью барьера на гетерогранице;

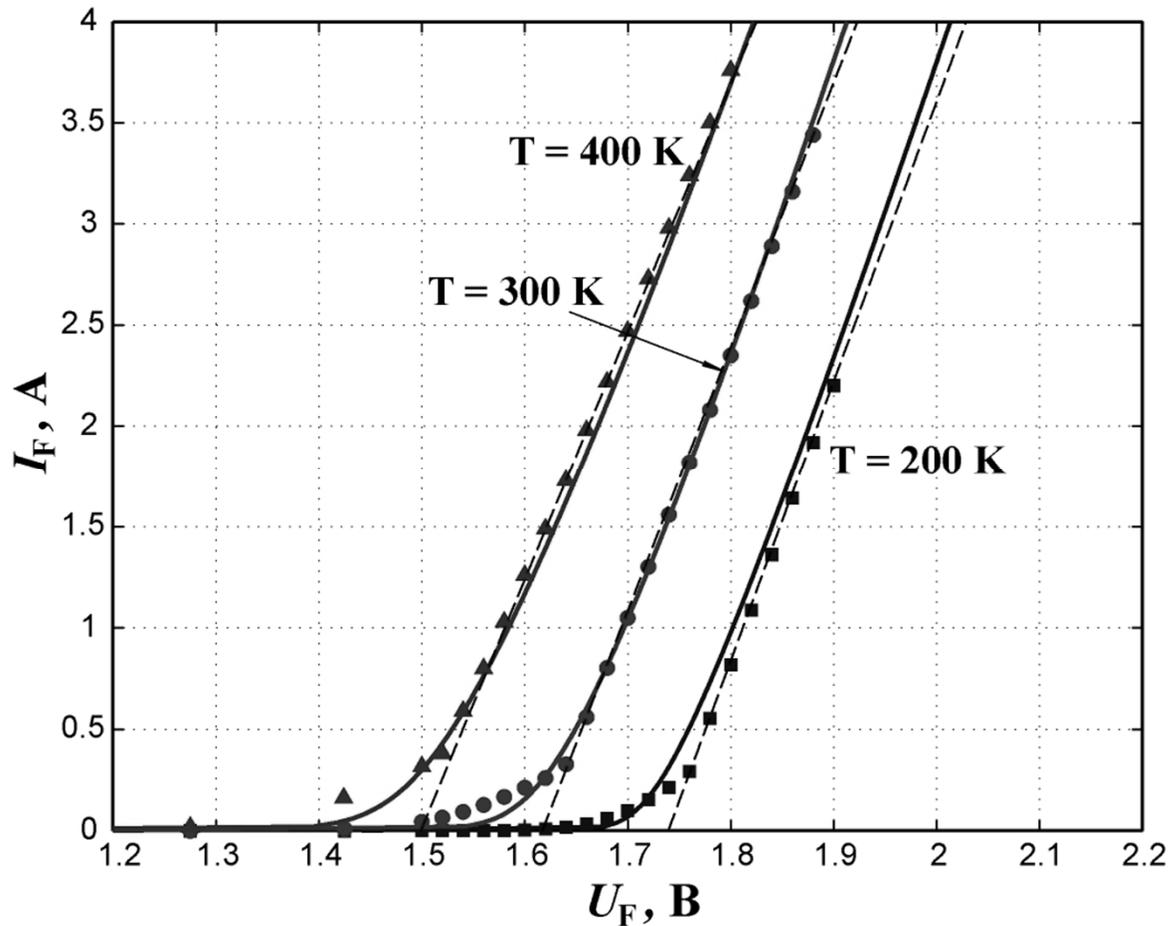
$N_E$  – уровень легирования p-эмиттера;

$\phi_C$  – возникшая на p<sup>+</sup>-n-гетеропереходе контактная разность потенциалов;

$S_0$  – активная площадь гетеропереходов

# Вольтамперная характеристика лазерного диода в развернутом виде

$$U_F = \frac{\eta k T}{e} \ln \left( \frac{I_F}{I_S} + 1 \right) + \frac{1.5 k T}{e} \exp \left( \frac{d_B}{2 \Lambda_{pB}} \right) + \frac{\rho_0}{\epsilon_B^2} \sqrt{\frac{m_{eB} m_{hB}}{m_{eB} + m_{hB}}} \left( \frac{T_0}{T} \right)^{1.5} \frac{d_B}{S_0} I_F + \sum_i \rho_i \frac{d_i}{S_0} I_F$$



Сплошные линии –  
результаты  
теоретических расчетов  
по формуле;

Маркеры – результаты  
компьютерного  
моделирования в пакете  
Sentaurus TCAD фирмы  
Synopsys

# Структура исследуемого лазера

| Номер слоя | Слой                  | Состав                                   | Уровень легирования, см <sup>-3</sup>                 | 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             | Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> As   | $8 \cdot 10^{17}$                                     | 1.6          |
| 4          | волновод              | Al <sub>0.33</sub> Ga <sub>0.67</sub> As | не легирован ( $n \approx 10^{15}$ см <sup>-3</sup> ) | 0.2          |
| 5          | активная область (КЯ) | Al <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.92</sub> As | не легирован ( $n \approx 10^{15}$ см <sup>-3</sup> ) | 0.012        |
| 6          | волновод              | Al <sub>0.33</sub> Ga <sub>0.67</sub> As | не легирован ( $n \approx 10^{15}$ см <sup>-3</sup> ) | 0.2          |
| 7          | p-эмиттер             | Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> As   | $8 \cdot 10^{17}$                                     | 1.6          |
| 8          | контактный p-слой     | p-GaAs                                   | $4 \cdot 10^{19}$                                     | 0.5          |

## Вольтамперная характеристика лазерного диода в предельных случаях

Пороговое напряжение лазерного диода

$$U_T = \frac{\eta kT}{e} \ln \left( \frac{I_F}{I_S} + 1 \right) + \frac{1.5kT}{e} \exp \left( \frac{d_B}{2\Lambda_{pB}} \right)$$

Дифференциальное сопротивление лазерного диода

$$r = \frac{\rho_0}{\varepsilon_B^2} \sqrt{\frac{m_{eB} m_{hB}}{m_{eB} + m_{hB}}} \left( \frac{T_0}{T} \right)^{1.5} \frac{d_B}{S_0} I_F + \sum_i \rho_i \frac{d_i}{S_0} I_F$$

# Задачи на будущее

- Разработка математической модели Ватт-амперной характеристики лазерного диода на основе AlGaAs

