# Одновременная генерация $TE_1$ и $TE_2$ мод с разными длинами волн в полупроводниковом лазере с туннельным переходом

В.Я. Алешкин[1], Т.С. Бабушкина[2], А.А. Бирюков[2], А.А. Дубинов[1], Б.Н. Звонков[2],
М.Н. Колесников[2], С.М. Некоркин[2]
[1]Институт физики микроструктур РАН,
[2]Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского,

# Мотивация

1. Генерация разностной частоты в резонаторе лазера

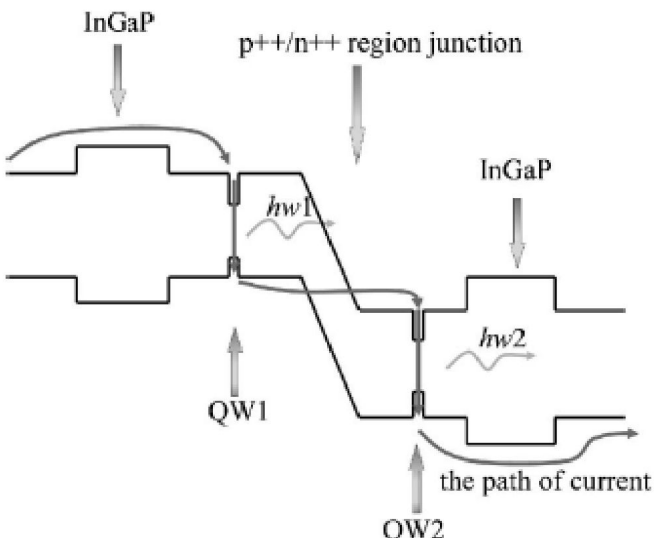
1.1. Одновременная генерация двух мод разных порядков на разных частотах (TE) для выполнения условия фазового синхронизма.

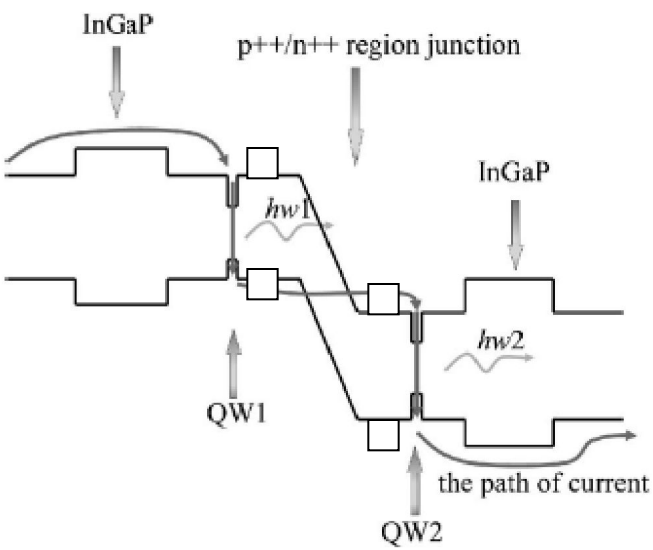
1.2. Одночиповая конструкция чтобы избежать операцию совмещения волноводов.

1.3. Малые потери для разностной частоты

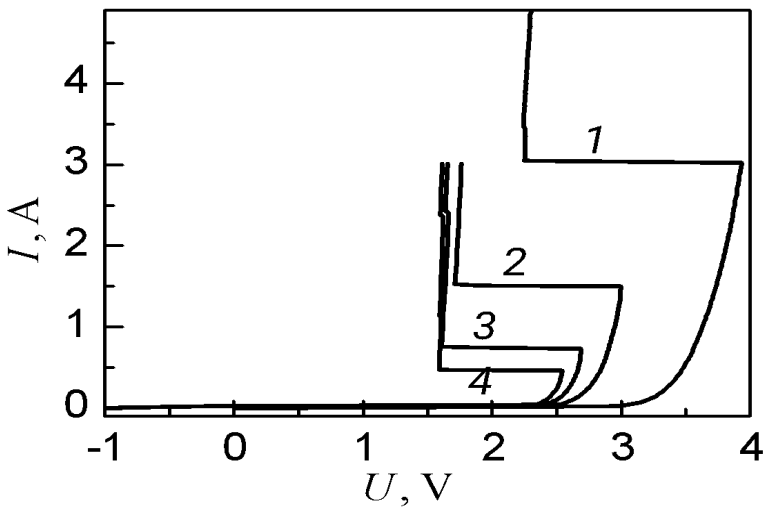
2. Один из путей реализации– каскадный межзонный лазер

# Трудности реализации

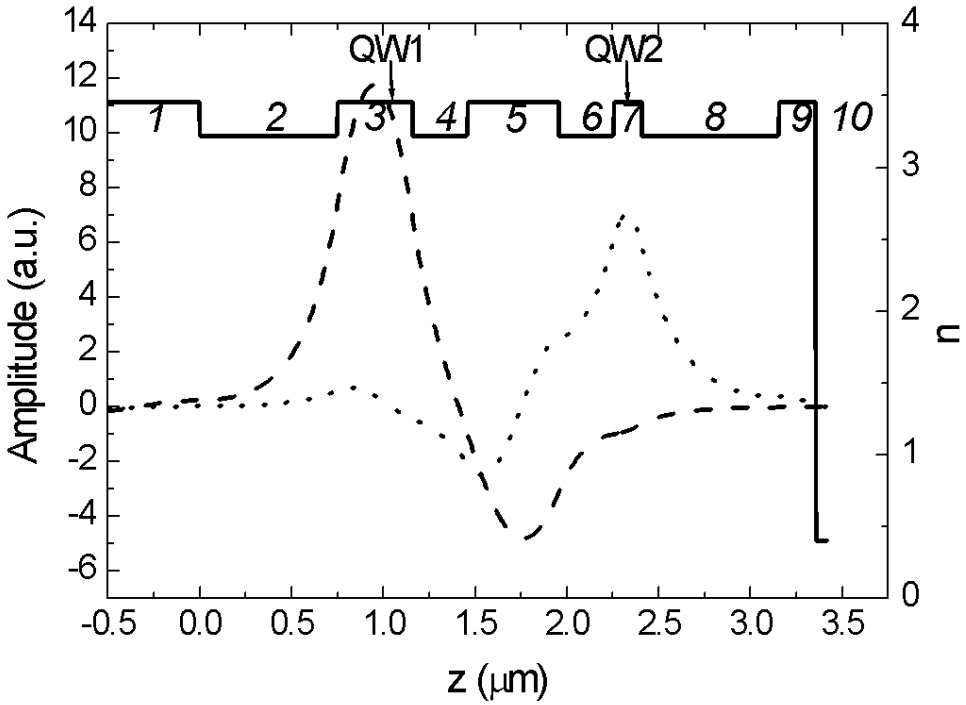



Токовая неустойчивость тиристорного типа

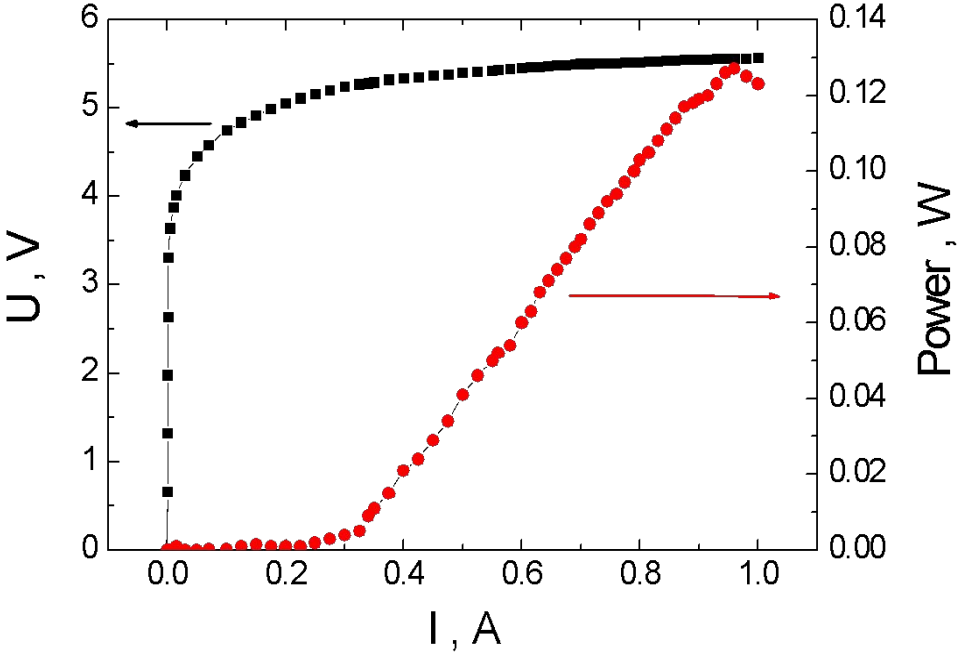


# Конструкция волновода и структура мод

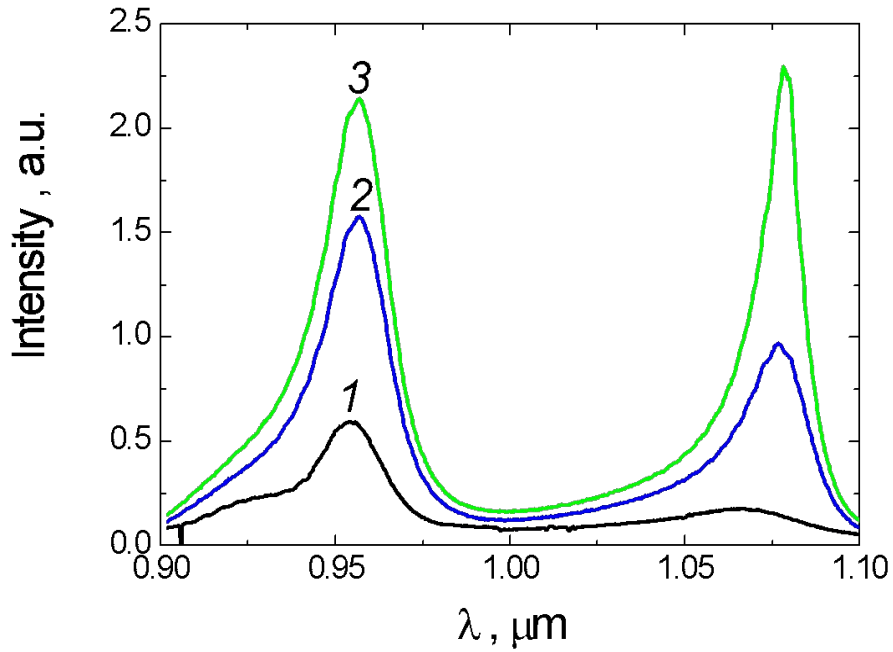



| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | *n*-GaAs | подложка – 150 мкм | $10^{17}$ см$^{-3}$ |
| 2 | $n^{+}$-InGaP | 750 нм | $10^{18}$ см$^{-3}$ |
| 3 | *i*-GaAs | 300 нм | - |
| 4 | InGaAs (λ ~ 1.086 мкм) | КЯ №1, 10 нм | - |
| 5 | *i*-GaAs | 100 нм | - |
| 6 | *p*-InGaP | 300 нм | $10^{17}$ см$^{-3}$ |
| 7 | *p*- GaAs | 200 нм | $10^{17}$ см$^{-3}$ |
| 8 | $p^{++}$-GaAs | 40 нм | $10^{19}$ см$^{-3}$ |
| 9 | $n^{++}$- GaAs | 55 нм | $5x10^{18}$ см$^{-3}$ |
| 10 | *n*- GaAs | 200 нм | $10^{17}$ см$^{-3}$ |
| 11 | *n*-InGaP | 300 нм | $10^{17}$ см$^{-3}$ |
| 12 | *i*-GaAs | 70 нм | - |
| 13 | InGaAs (λ ~ 0.96 мкм) | КЯ №2, 10 нм | - |
| 14 | *i*-GaAs | 70 нм | - |
| 15 | $p^{+}$-InGaP | 750 нм | $2x10^{18}$ см$^{-3}$ |
| 16 | $p^{++}$-GaAs | 200 нм | $10^{19}$ см$^{-3}$ |
| 17 | Au | металл | - |

# ВАХ и спектры излучения

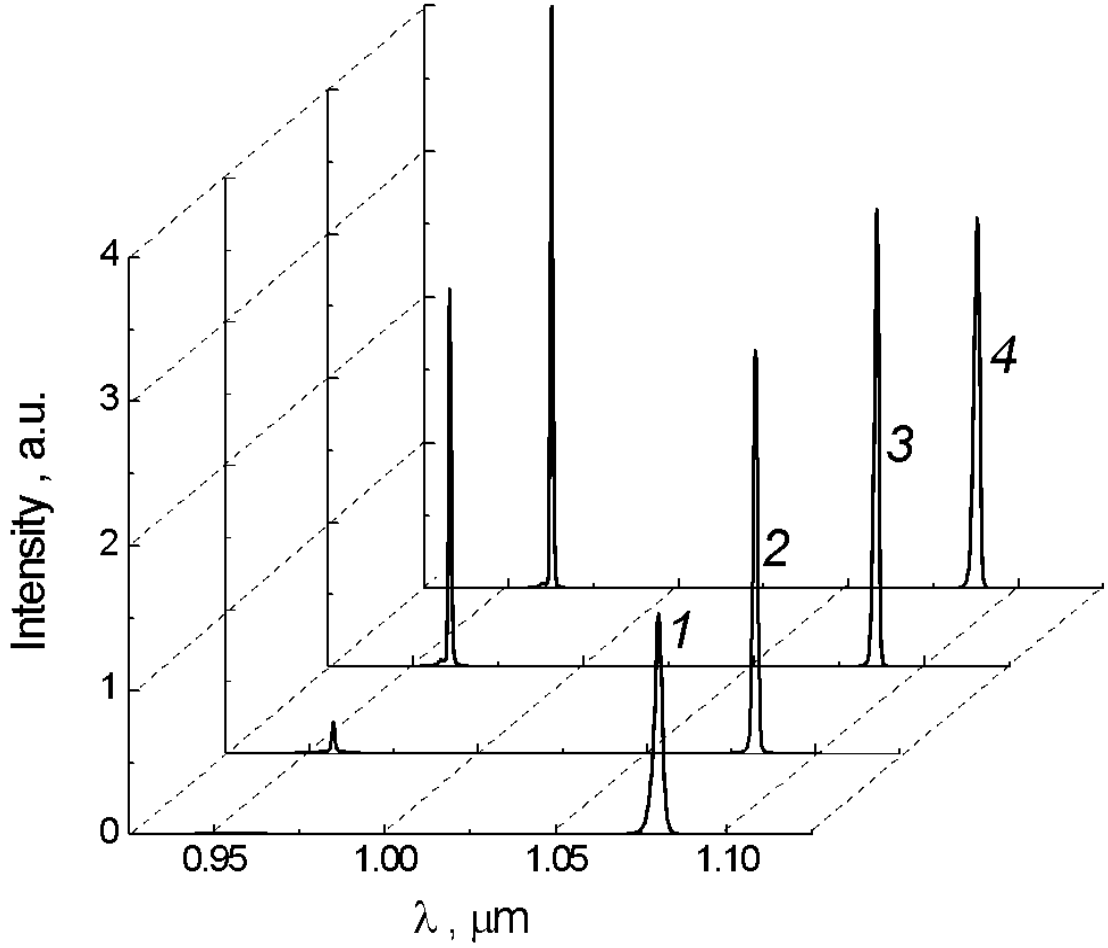



Типичные вольт- и ватт-амперные характеристики межзонного каскадного лазера при постоянной токовом возбуждении и комнатной температуре.



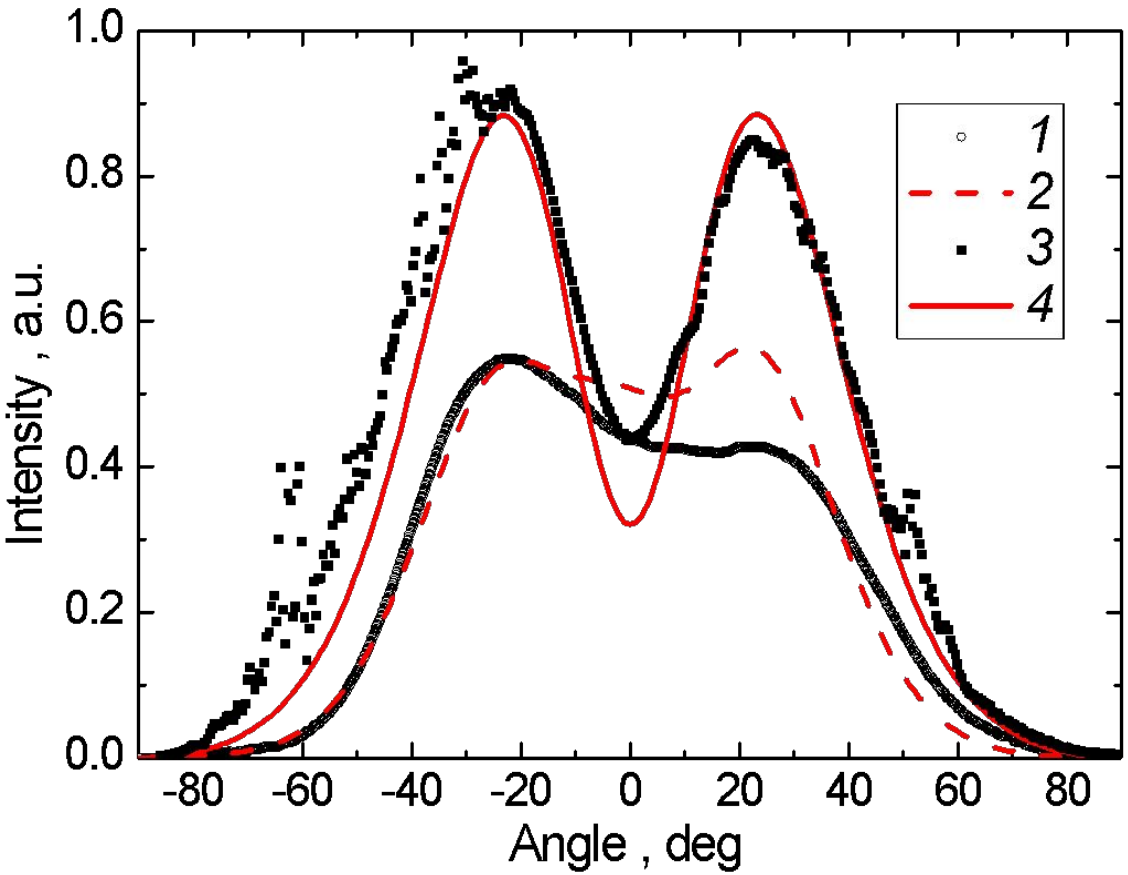

Спектральные зависимости излучения лазера при разных токах постоянной накачки до порога генерации: *1* – 5 мА; *2* – 270 мА; *3* – 290 мА.

# Спектры излучения при различных токах



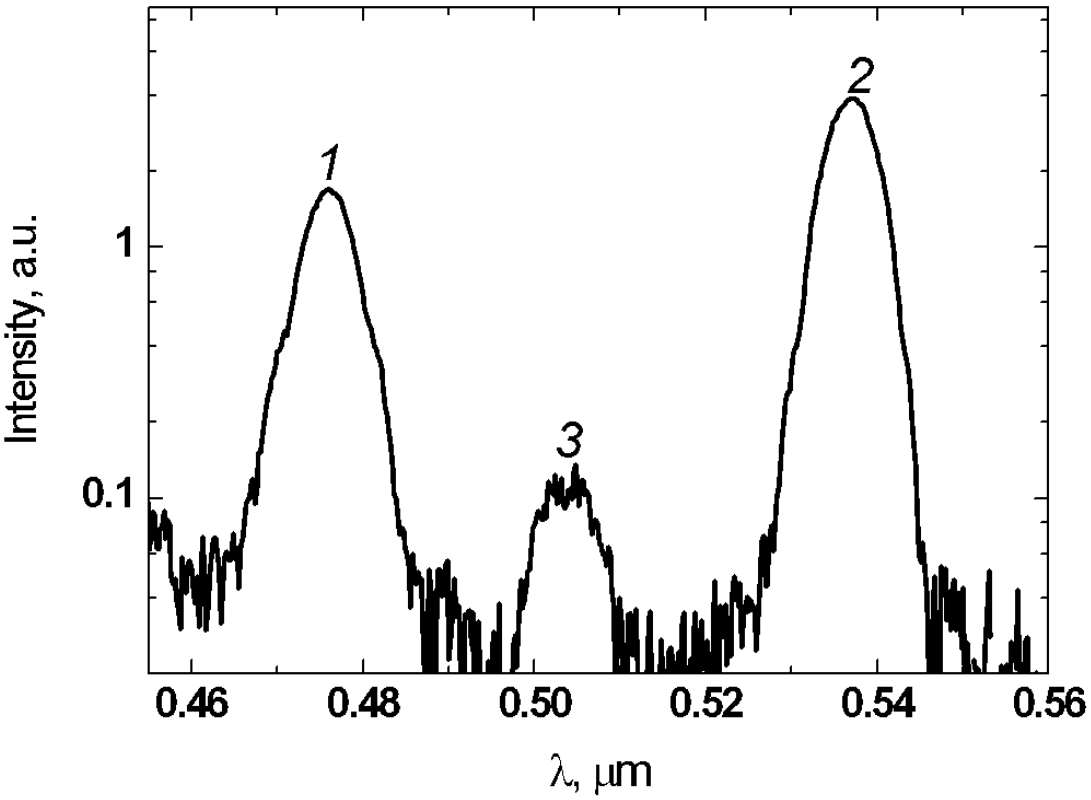

Спектры генерации лазера при разных токах накачки: *1* – 450 мА; *2* – 630 мА; 3 – 780 мА; *4* – 850 мА.

# Диаграмма направленности




Зависимости интенсивности лазерного излучения от угла на длинах волн максимума спектральных полос генерации: *1* (эксперимент) и *2* (расчет) – для длины волны 0.96 мкм; *3* (эксперимент) и *4* (расчет) – для длины волны 1.086 мкм.

# Взаимодействие мод




Спектры, соответствующие генерации вторых гармоник и суммарной частоты .

Для наблюдения использовался импульсный режим. Длительность импульсов тока была 220 нс, временной интервал между импульсами составлял 0.7 миллисекунды.

# Заключение

Экспериментально показана возможность непрерывной генерации при комнатной температуре двух мод разного порядка с разными частотами в двухкаскадном межзонном лазере с общим резонатором.

Обнаружено нелинейное взаимодействие мод (генерация разностной частоты).