

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2024  
10 ЛЕТ

# Структурные и оптические свойства барьерно-диодных гетероструктур на основе $\text{In}(\text{As})\text{Sb}$ .

*Клековкин А. В., Кривобок В. С., Пашкеев Д. А., Минаев И. И., Савин К.А.,  
Ерошенко Г. Н., Мартовицкий В.П., Аминев Д.Ф., Николаев С. Н.*



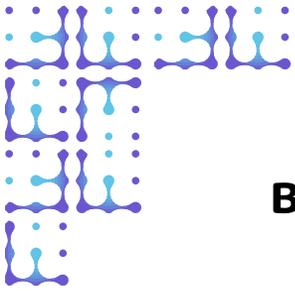
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук



- **Введение**
- **Технологическая база ФИАН**
- **Результаты**
- **Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb**
- **Заключение**



# Барьерно-диодные эпитаксиальные гетероструктуры $A_3B_5$ для высокотемпературных инфракрасных матриц фоточувствительных MWIR диапазоне

Матричные фотоприемные устройства ИК диапазона с уменьшенными размером, весом и энергопотреблением

Материальная система InAsSb в сочетании с xVn архитектурой

3-5 мкм: xVn Гетероструктура на основе твердого раствора InSb

3-5 мкм: xVn Гетероструктура на основе твердого раствора InAsSb

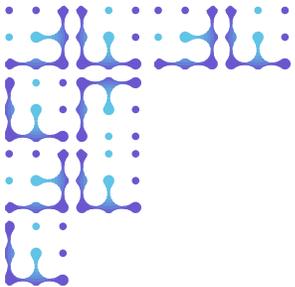
Пример:

iCE 640 (Корея)  
Материал: InSb  
Диапазон: 3 – 5 мкм  
Мощность: < 15 Вт  
Рабочая температура: 80 К

Пример:

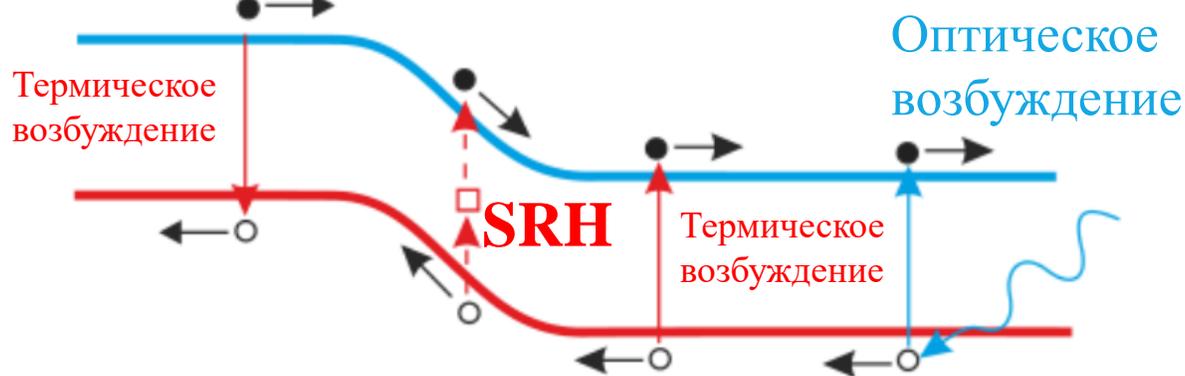
HERCULES (Израиль)  
Материал: InAsSb  
Диапазон: 3.2 – 4.9 мкм  
Мощность: 4.4 Вт  
Рабочая температура: 150 К



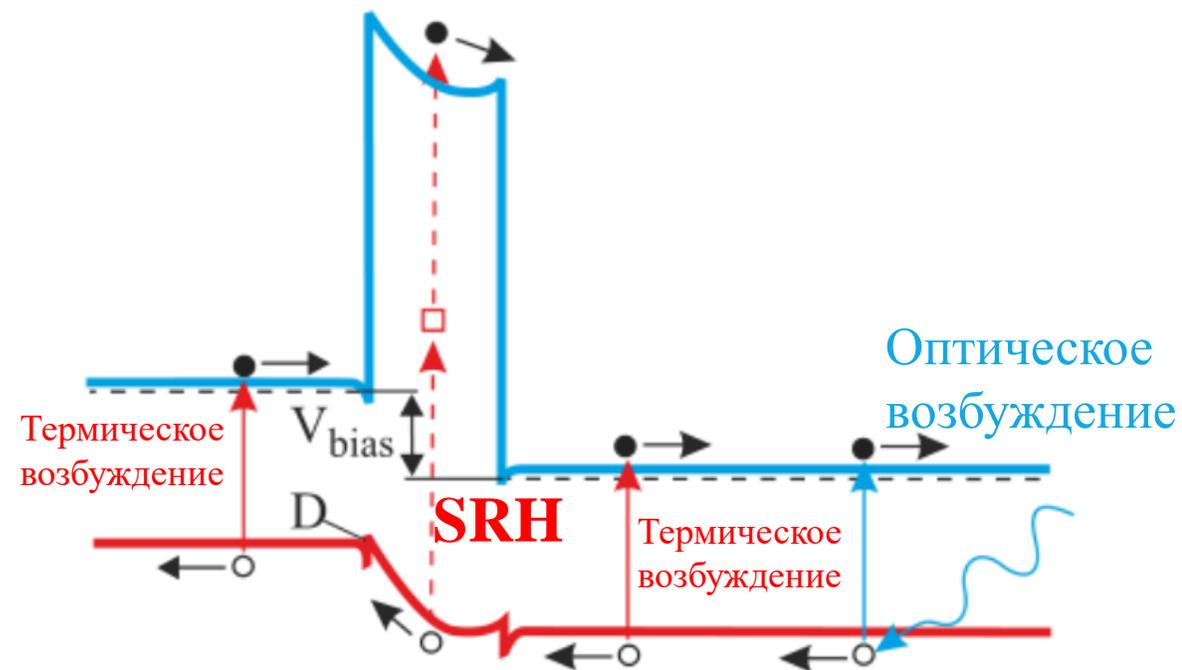


# Общий дизайн фоточувствительного элемента

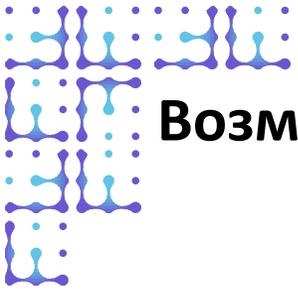
## Диодный дизайн



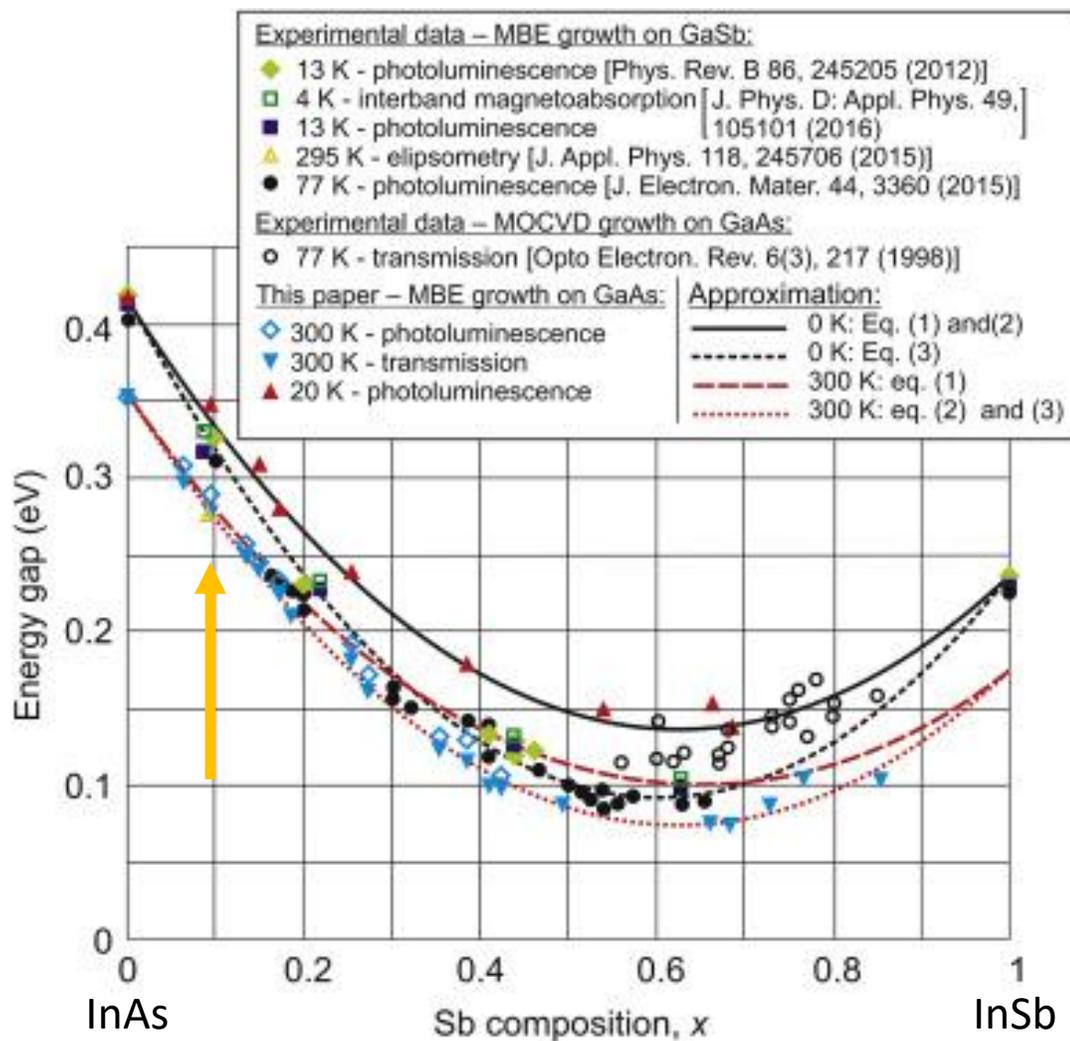
## Барьерно-диодный (хВп) дизайн

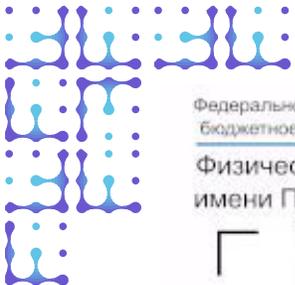


**SRH** – рекомбинация/генерация через механизм Шокли-Рида-Холла, которая определяет темновой ток и шумы в обычных фотоприемных элементах (диодного типа). Переход к хВп архитектуре позволяет «выключить» данный механизм.



# Возможные реализации хВп архитектуры в системе $A_3B_5$ для спектрального диапазона 3-5 мкм





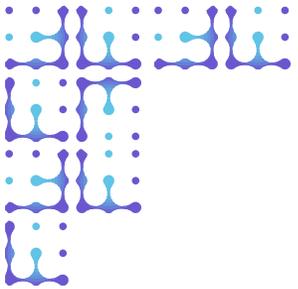
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук



- Введение
- **Технологическая база ФИАН**
- Результаты
- Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb
- Заключение



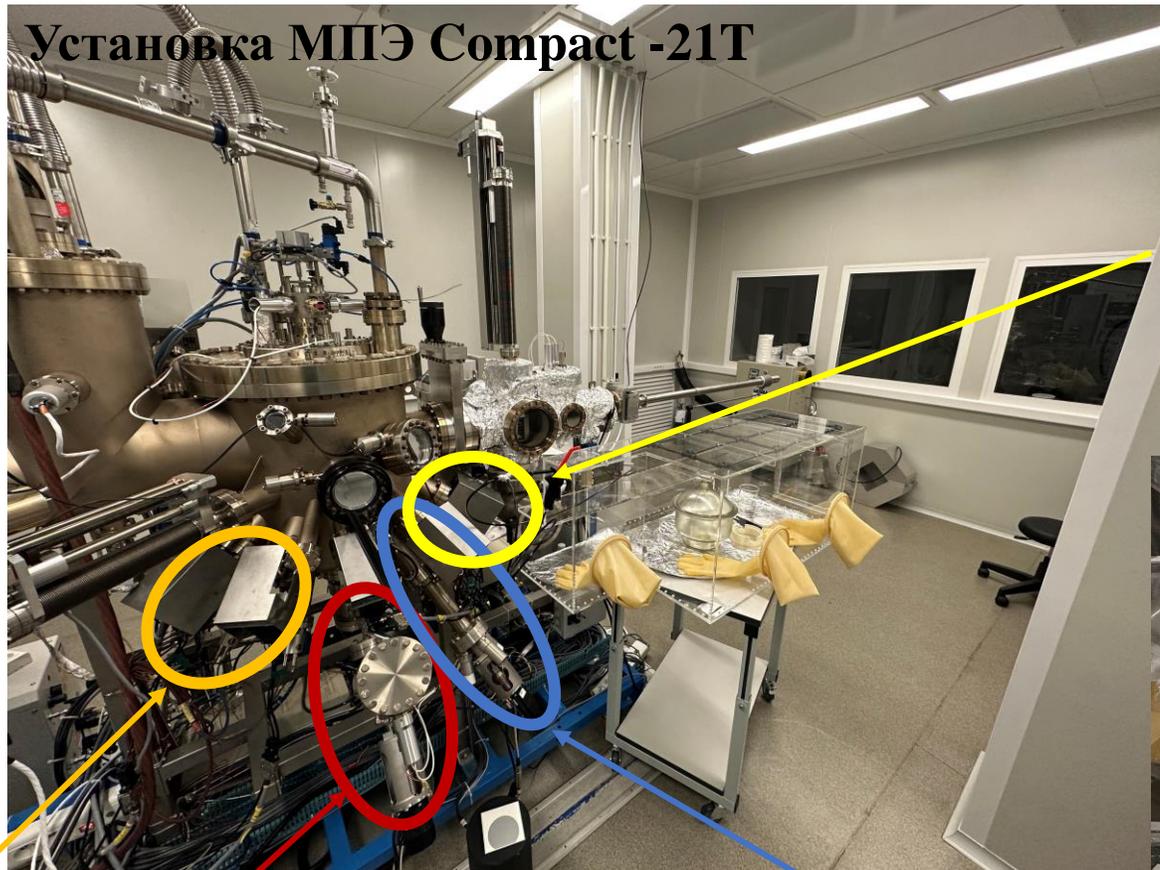
# Технологическая база ФИАН для изготовления структур для ИК-фотодетекторов

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук

## Установка МПЭ Compact -21Т



Эффузионные  
источники  
легирования  
GaTe и Be



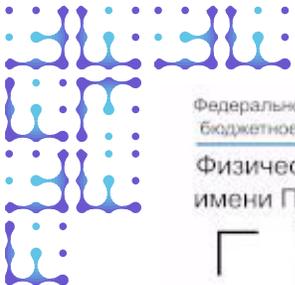
Вентильный  
источник As с  
зоной крекинга

Вентильный  
источник Sb с  
зоной крекинга



Эффузионные источники  
III группы Ga, In, Al





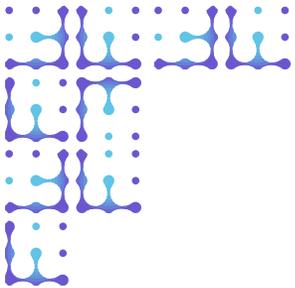
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук



- Введение
- Технологическая база ФИАН
- **Результаты**
- Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе  $\text{In}(\text{As})\text{Sb}$
- Заключение



# Эпитаксиальные хВн гетероструктуры на основе InSb с красной границей чувствительности 5.3 мкм.

## Фоточувствительный слой InSb/InSb

### Рост InSb/InSb, n type

#### Подготовка:

Предварительно 16 мин

травления в HCl-IPA

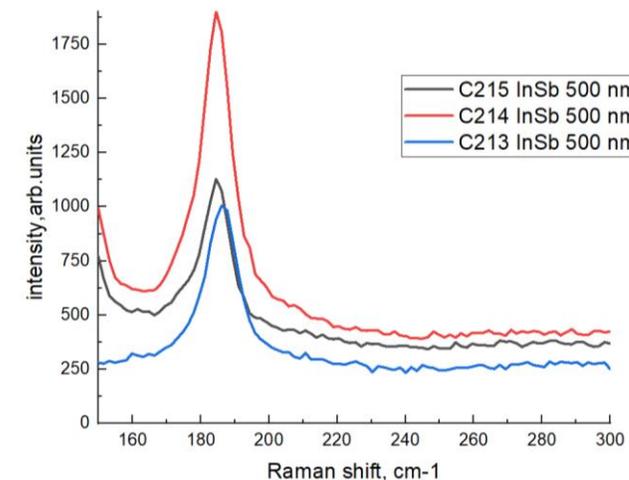
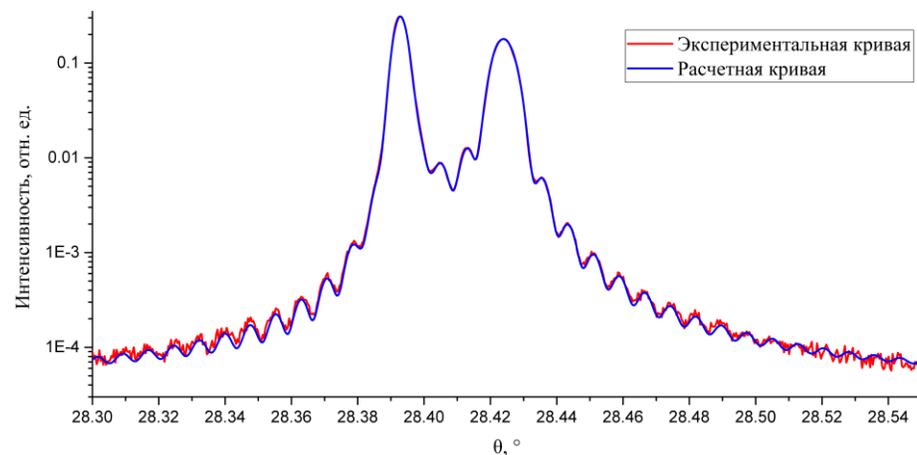
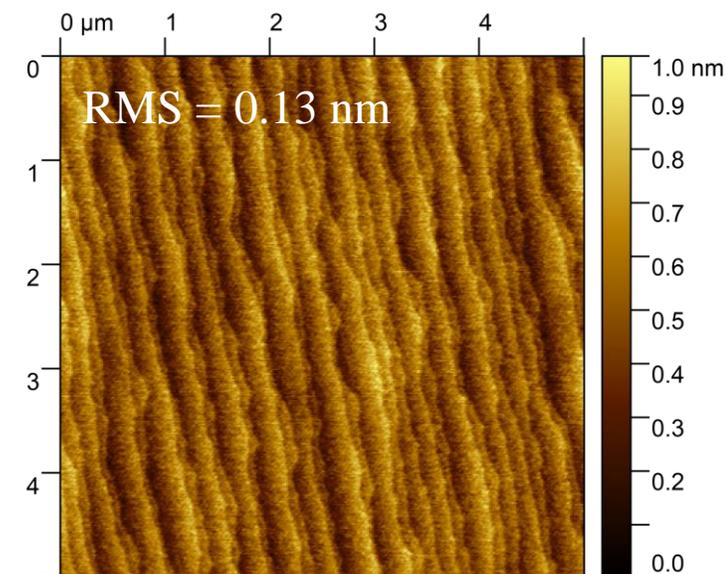
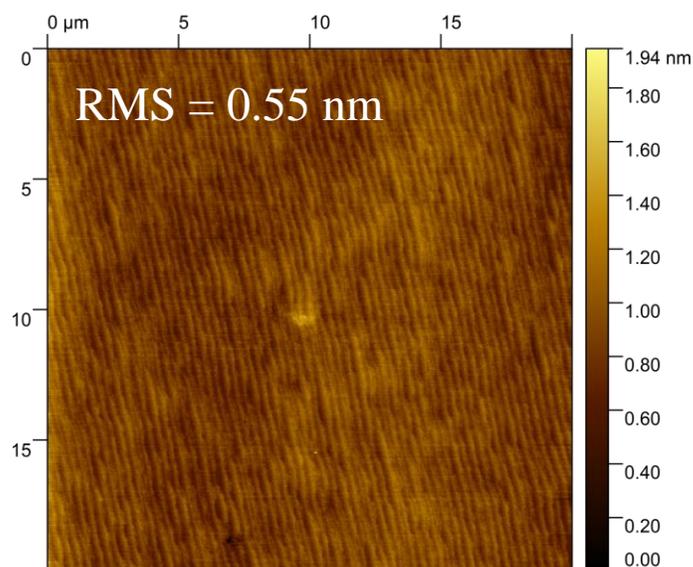
Отжиг 30 мин, 250°C

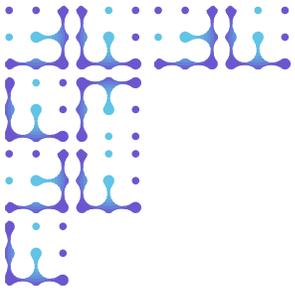
Отжиг 15 мин, 370°C в потоке Sb

#### Рост:

Соотношение V/III = 5,6;

T = 300°C

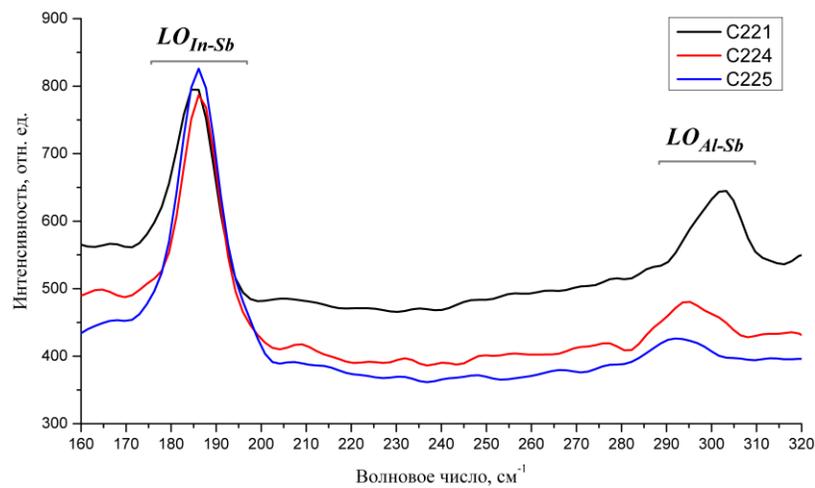
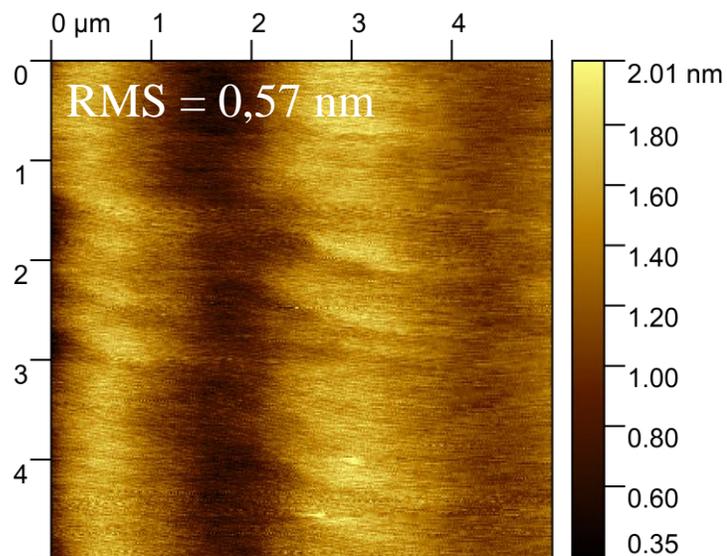




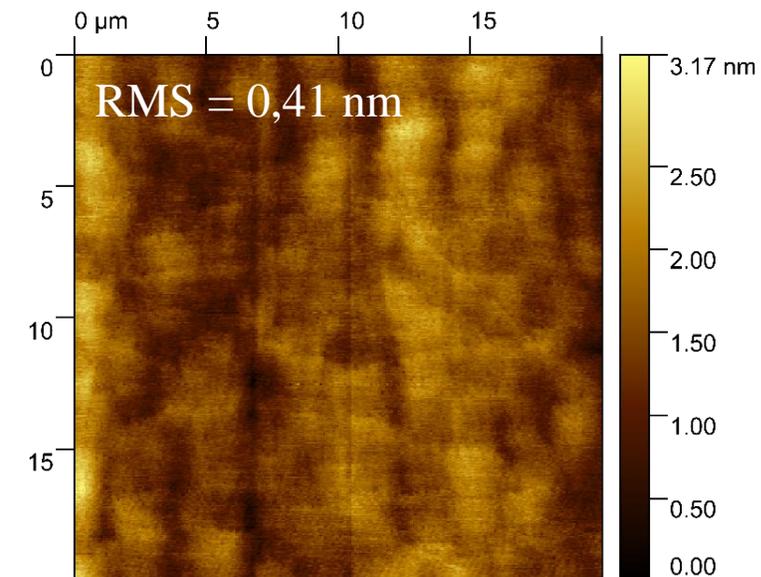
# Эпитаксиальные хВп гетероструктуры на основе InSb с красной границей чувствительности 5.3 мкм.

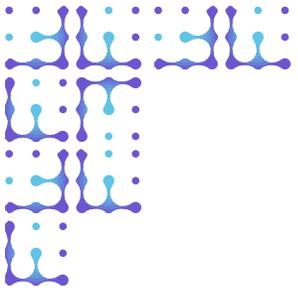
## Барьерный слой InAlSb/InSb

Слой  $\text{In}_{0,9}\text{Al}_{0,1}\text{Sb}$  толщиной 500 nm, выращенные на подложках InSb (100) n-типе, с буферным слоем InSb.



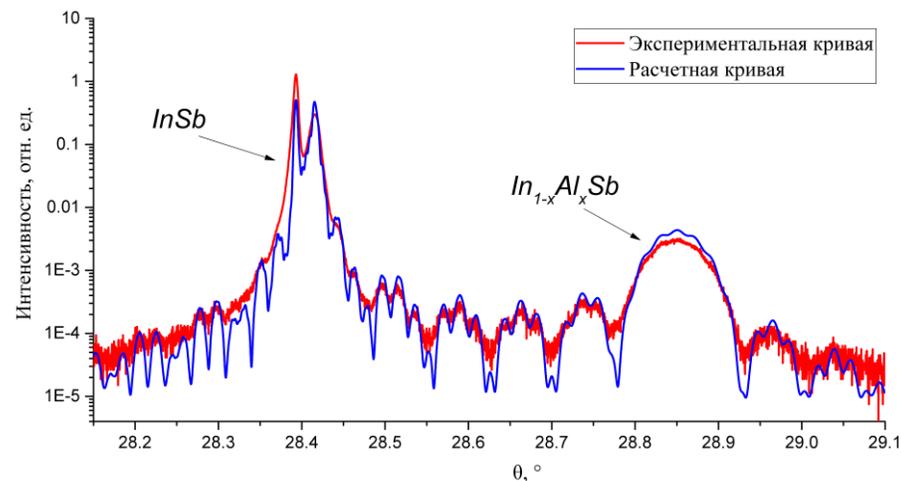
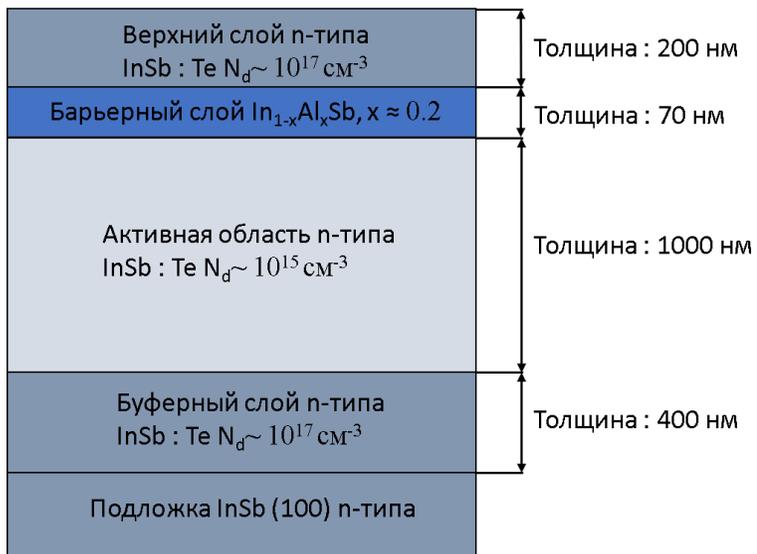
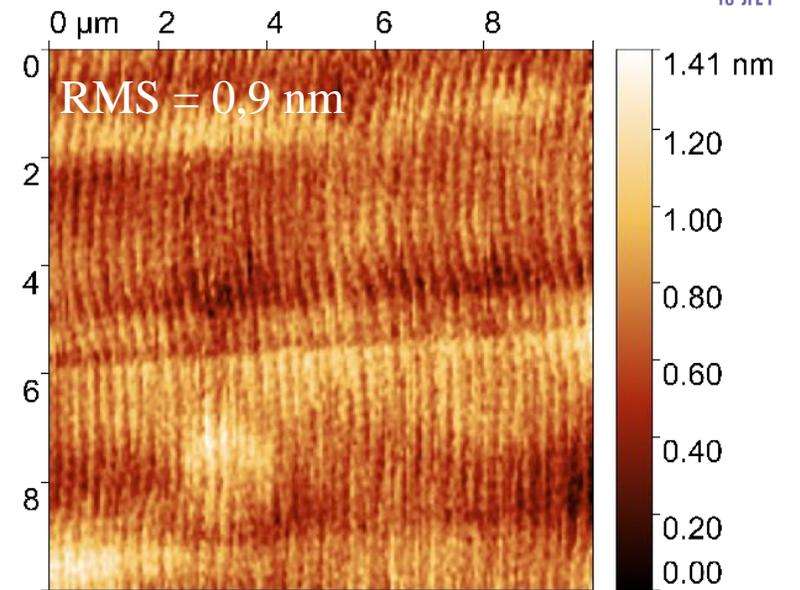
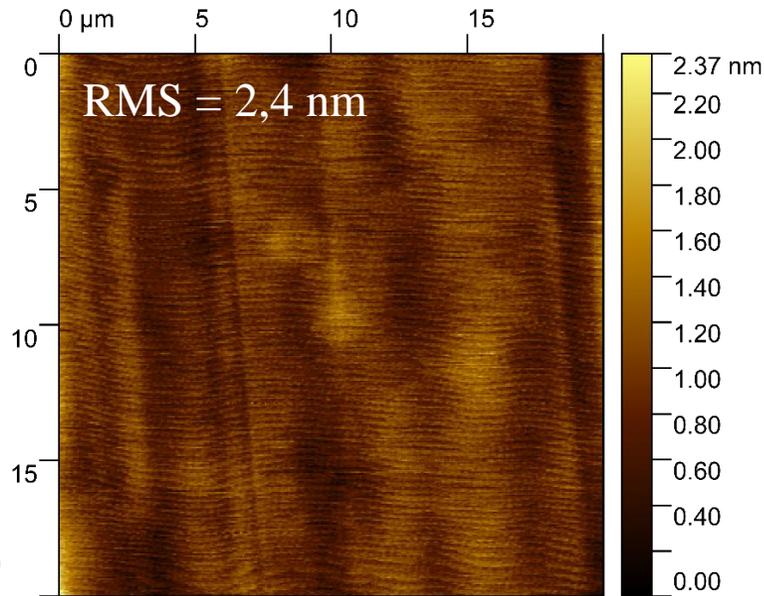
Слой  $\text{In}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{Sb}$  толщиной 70 nm, выращенные на подложках InSb (100) n-типе, с буферным слоем InSb.

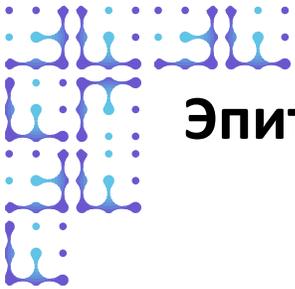




# Эпитаксиальные хВн гетероструктуры на основе InSb с красной границей чувствительности 5.3 мкм.

InSb/InAlSb/InSb, n type  
Предварительно 4 мин  
травления в HCl-IPA  
Соотношение V/III = 4,95,  
T=300°C





# Эпитаксиальные хВп гетероструктуры на основе InAsSb с красной границей чувствительности $\sim 4.5$ мкм для высокотемпературных МФПУ.

## Фоточувствительные слои InAsSb/GaSb

### Рост InAsSb/GaSb, n type

#### Подготовка:

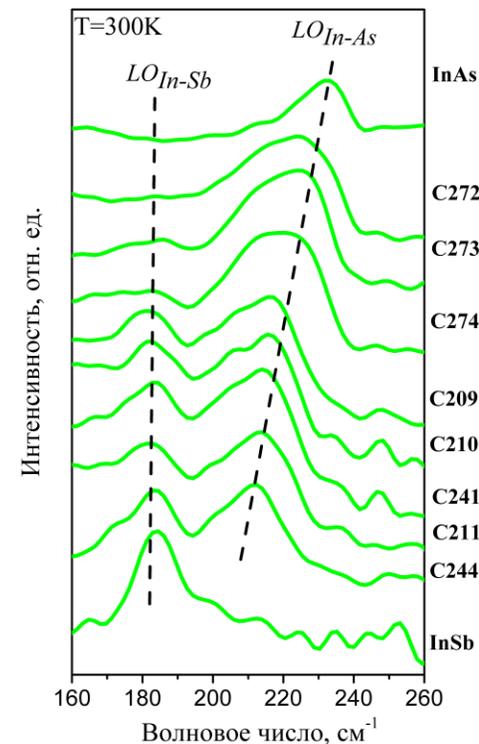
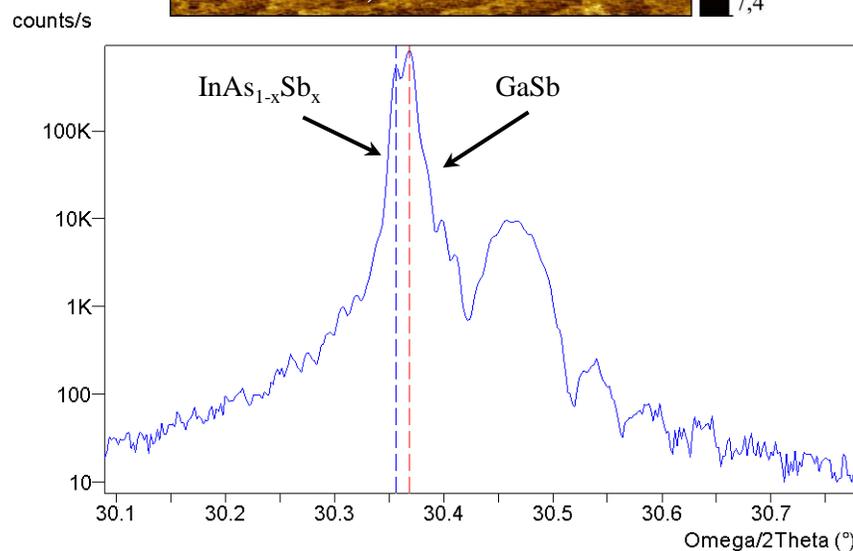
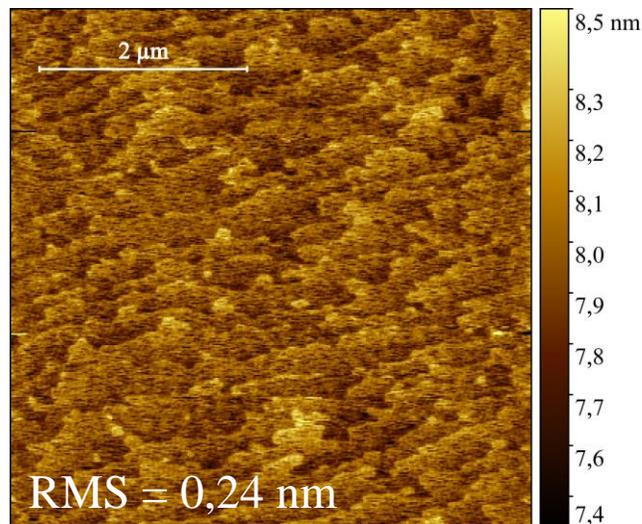
Отжиг 30 мин, 300°C

Отжиг 15 мин, 520±10°C в потоке Sb

#### Рост:

Соотношение V/III = 3,8;

T = 425 °C



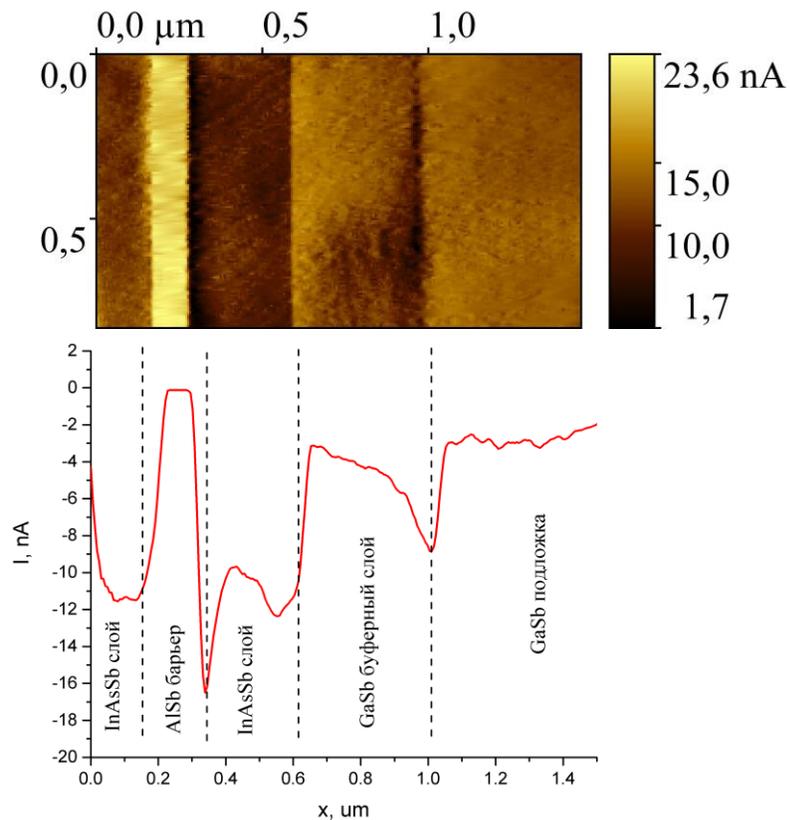
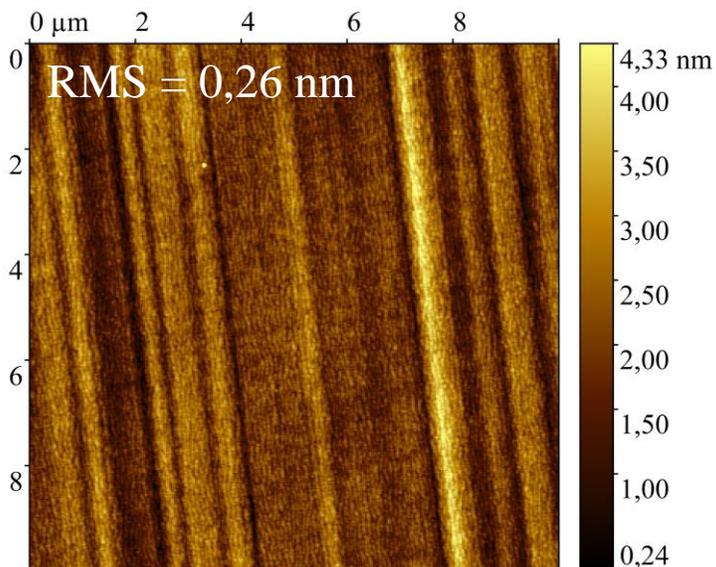
Анализ состава после роста.  
Спектры комбинационного  
рассеяния света для слоев InAsSb с  
различным содержанием Sb.



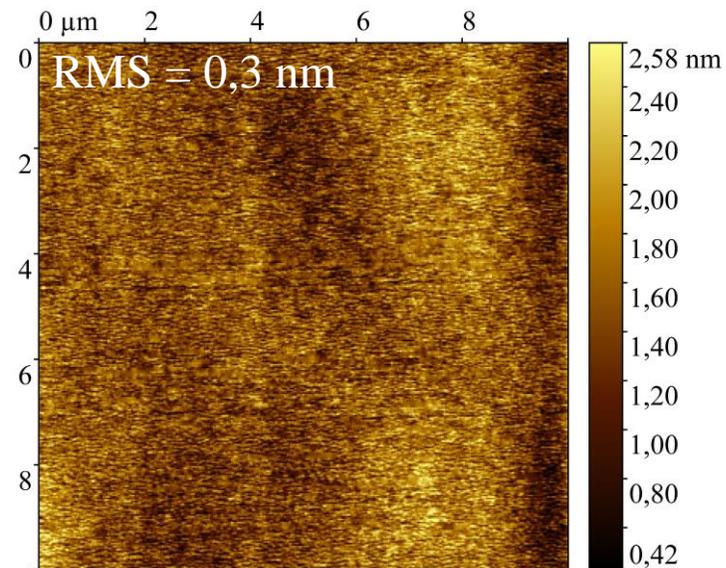
# Эпитаксиальные хВп гетероструктуры на основе InAsSb с красной границей чувствительности $\sim 4.5$ мкм для высокотемпературных МФПУ.

## Барьерные слои AlSb/InAsSb

Слой AlSb толщиной 500 nm, выращенные на подложках GaSb (100), со слоем InAsSb. Соотношение V/III = 11



Слой AlSb толщиной 500 nm, выращенные на подложках GaSb (100), со слоем InAsSb. Соотношение V/III = 9,6





# Эпитаксиальные хВп гетероструктуры на основе InAsSb с красной границей чувствительности $\sim 4.5$ мкм для высокотемпературных МФПУ.

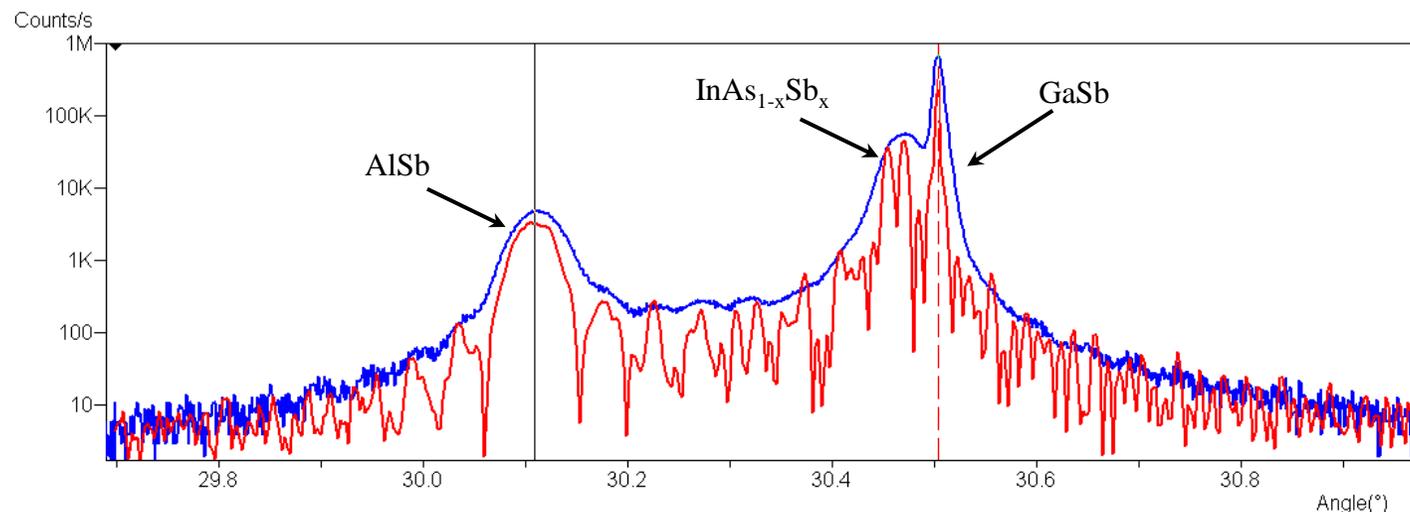
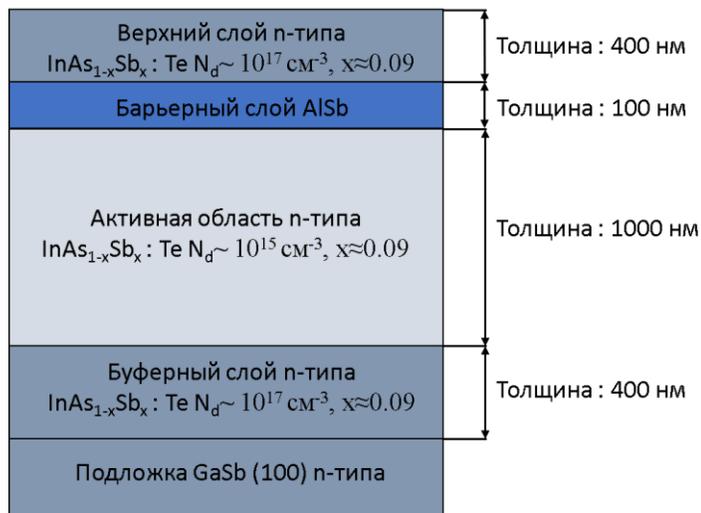
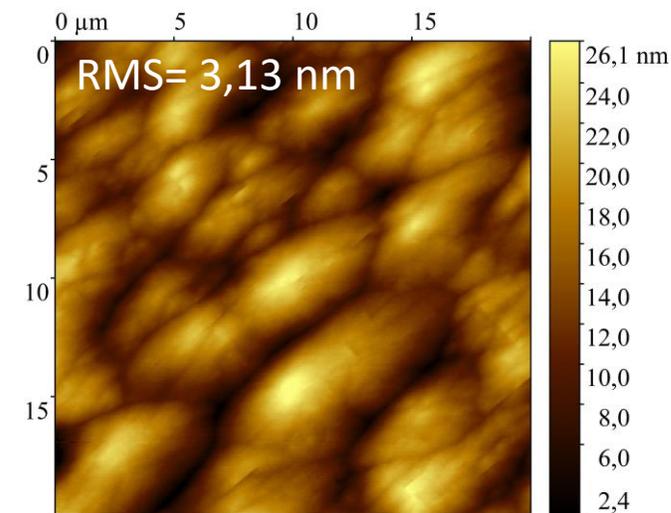
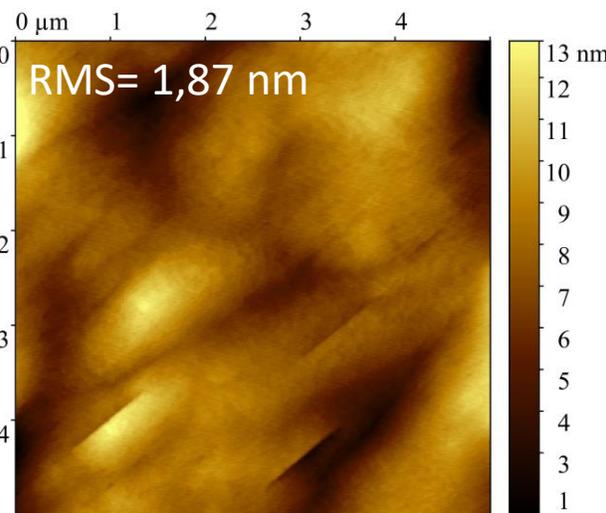
Рост InAsSb/AlSb/InAsSb на подложке GaSb (100) n-type

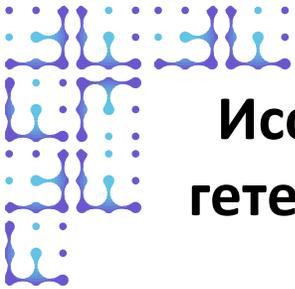
Соотношение V/III = 4,95,

Соотношение Sb/Al = 9.6

Соотношение As/Sb = 5.56

T=425°C

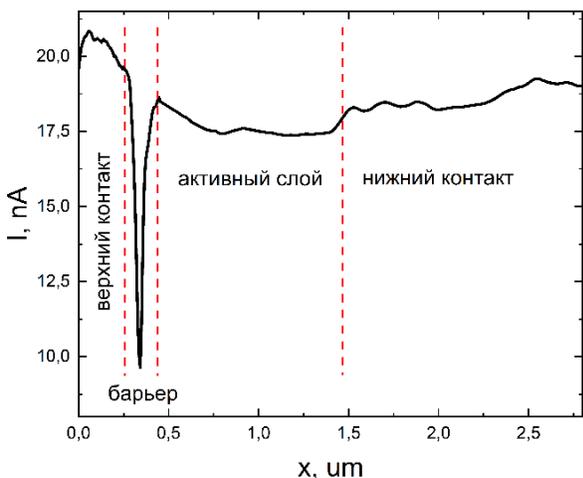




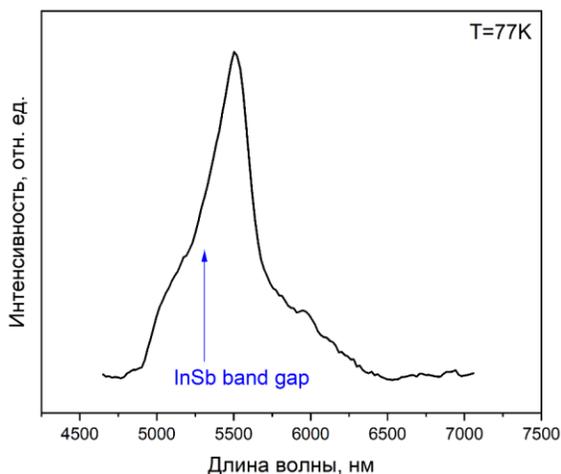
# Исследование электронно-дырочной подсистемы барьерно-диодных гетероструктур на основе In(As)Sb с красной границей чувствительности $\sim 4.5$ мкм.

Эпитаксиальные барьерно-диодные гетероструктуры на основе InSb

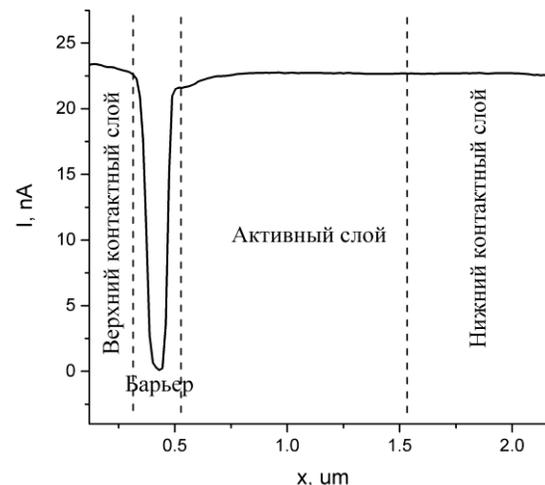
Эпитаксиальные барьерно-диодные гетероструктуры на основе InAsSb



Спектроскопия сопротивления растекания для nВn гетероструктуры.

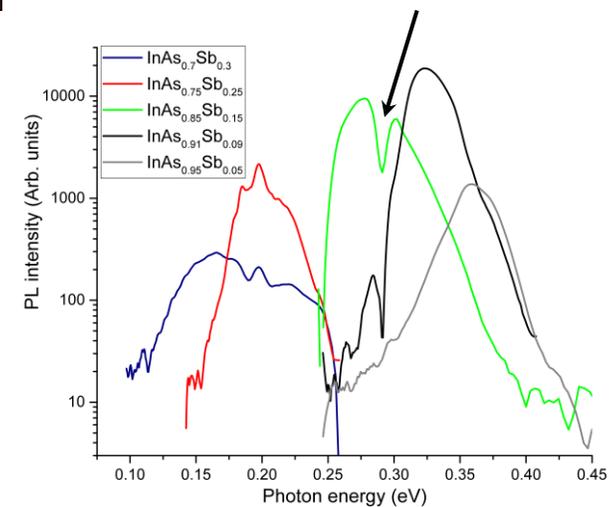


Оценка края фоточувствительности. Спектры фотолюминесценции (77K) для слоя InSb толщиной 2 мкм.



Спектроскопия сопротивления растекания для nВn гетероструктуры.

Линия атмосферного поглощения (CO<sub>2</sub>)



Оценка края фоточувствительности. Спектры фотолюминесценции (80K) для слоя InAsSb толщиной 2 мкм.



Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук



- **Введение**
- **Технологическая база ФИАН**
- **Результаты**
- **Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb**
- **Заключение**



# Технологическая линейка МИЭТ для изготовления ИК-фотодетекторов



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2024  
10 ЛЕТ

Установка плазмохимического травления и нанесения диэлектрика Corial



Установка напыления металла Kurt J. Lesker Lab-18



Технологический участок фотолитографии



Электронно-литографическая система Vistec SB 350

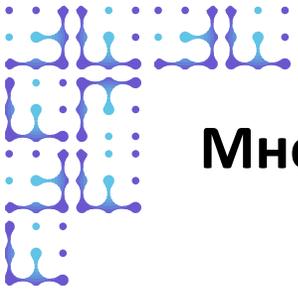


Установка экспонирования Suss MicroTec MJB-4



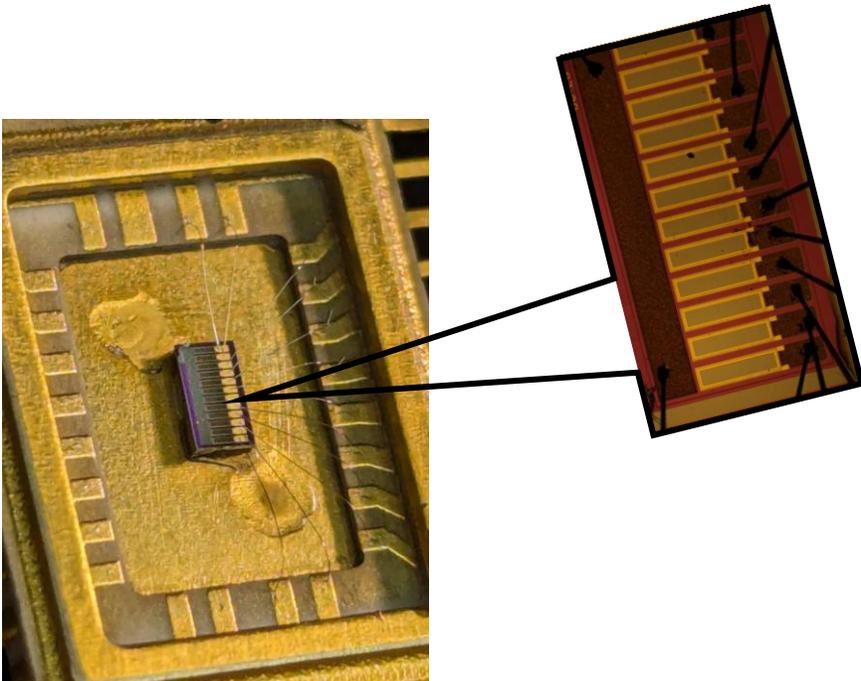
Установка обратного монтажа кристаллов Suss MicroTec FC150



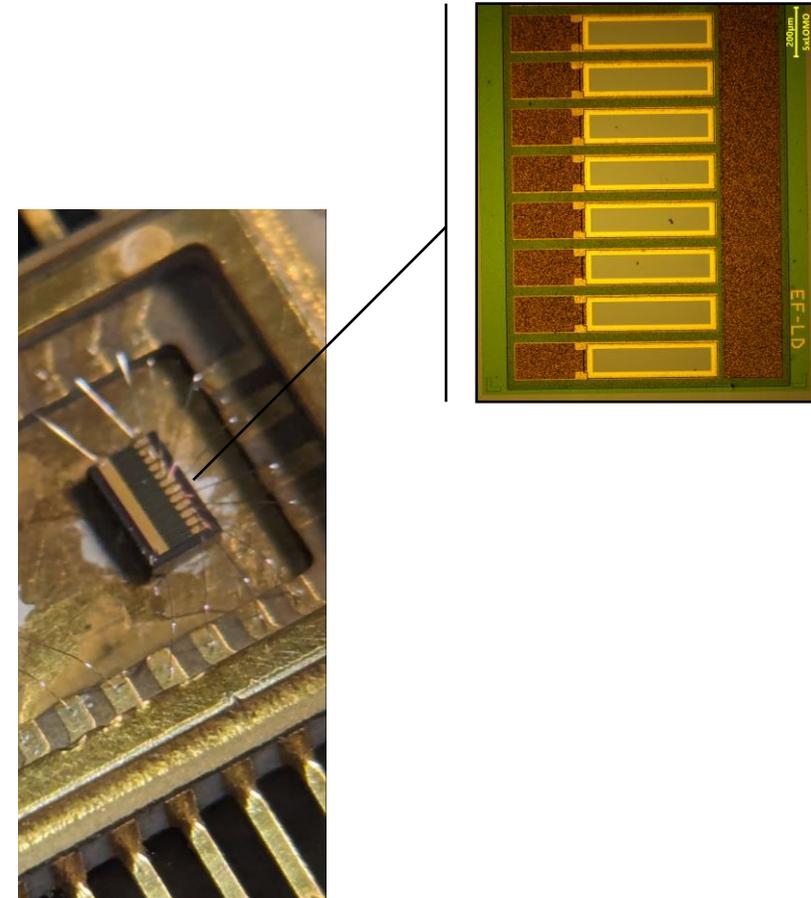


# Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb

Многоканальный фотодетектор с барьерно-диодной архитектурой на основе гетроструктур InSb/InAlSb



Многоканальный фотодетектор с барьерно-диодной архитектурой на основе гетроструктур InAsSb/AlSb





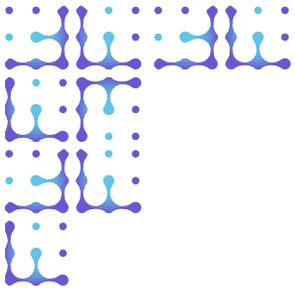
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Физический институт  
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук

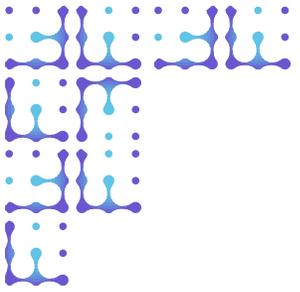


- **Введение**
- **Технологическая база ФИАН**
- **Результаты**
- **Многоканальные фотодетекторы с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb**
- **Заключение**



## Заключение

- Разработан дизайн двух типов барьерно-диодных гетероструктур для матричных фотоприемных устройств работающих в диапазоне 3-5 мкм.
- С использованием разработанного дизайна получены эпитаксиальные гетероструктур InSb/InAlSb и InAsSb/AlSb с барьерно-диодной архитектурой.
- Качество поглощающего и барьерного слоев в гетероструктурах подтверждено исследованием электронно-дырочной подсистемы с помощью микроскопии растекания тока и низкотемпературной фотолюминисценции.
- Получены экспериментальные образцы многоканальных фотодетекторов с барьерно-диодной архитектурой на основе In(As)Sb работающих в диапазоне 3-5 мкм.



Спасибо за внимание !