

Микрометрические боллометрические матрицы как пример распределенного сенсора

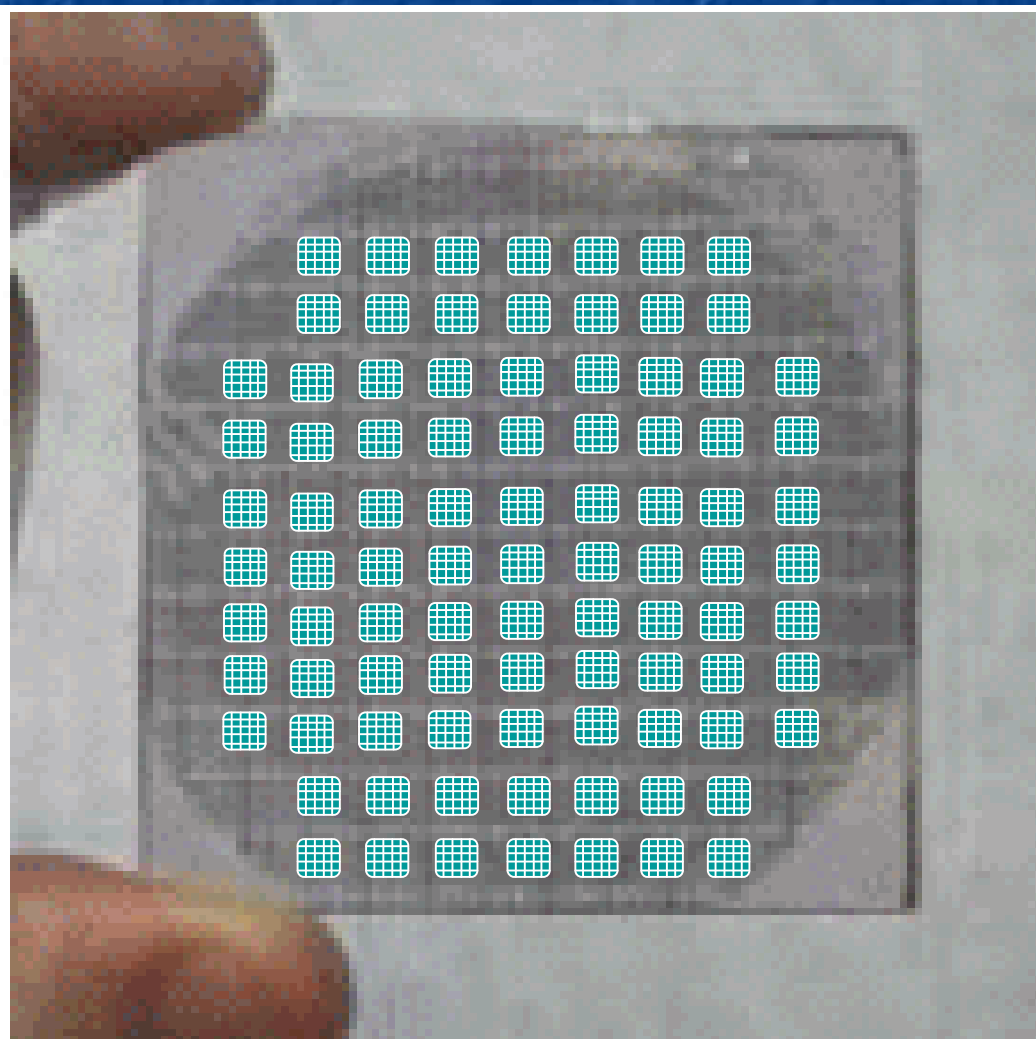
Ю.С. Четверов³, В.А. Бородин², С.Ю. Шаповал¹

¹ ИПТМ РАН, Черногоровка

² ФГУП ЭЗАН, Черногоровка

³ ОАО «НИИ «Циклон», Москва

Вопрос



Можно ли сформировать матрицу сенсоров непосредственно на кристалле считывающей схемы, используя групповую технологию, и при этом не повредить и не изменить параметры схемы?

Пластины с кристаллами мультиплексоров изготавливались на заводе «Ангстрем»

И в будущем перейти к технологии «ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ КОЖИ»

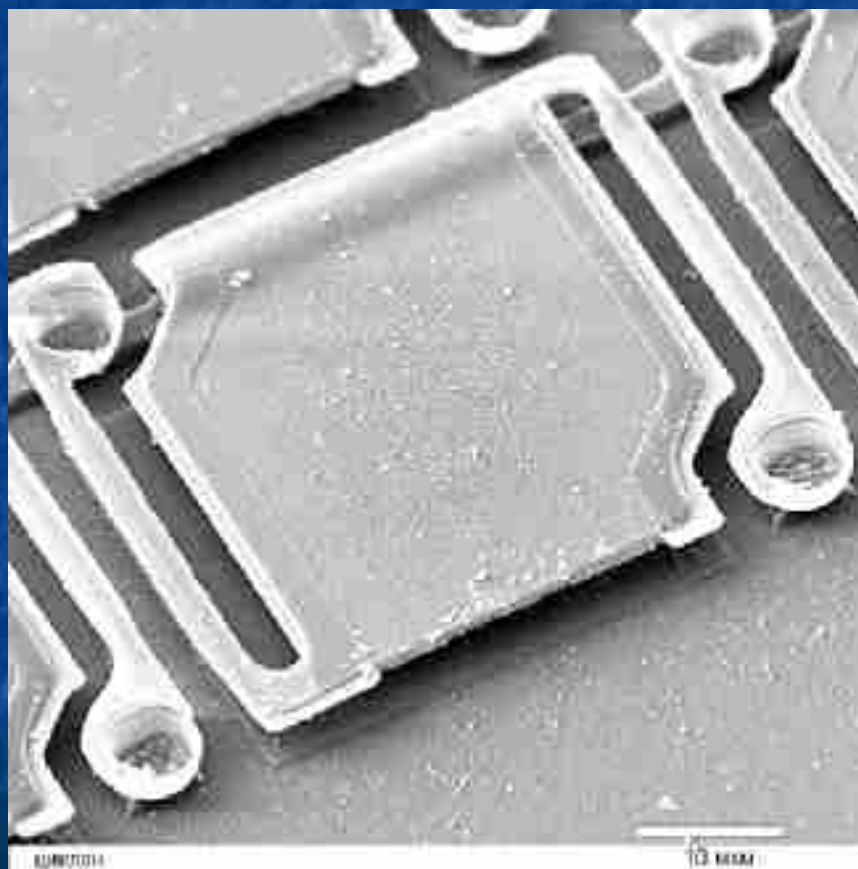


Неохлаждаемый болометр



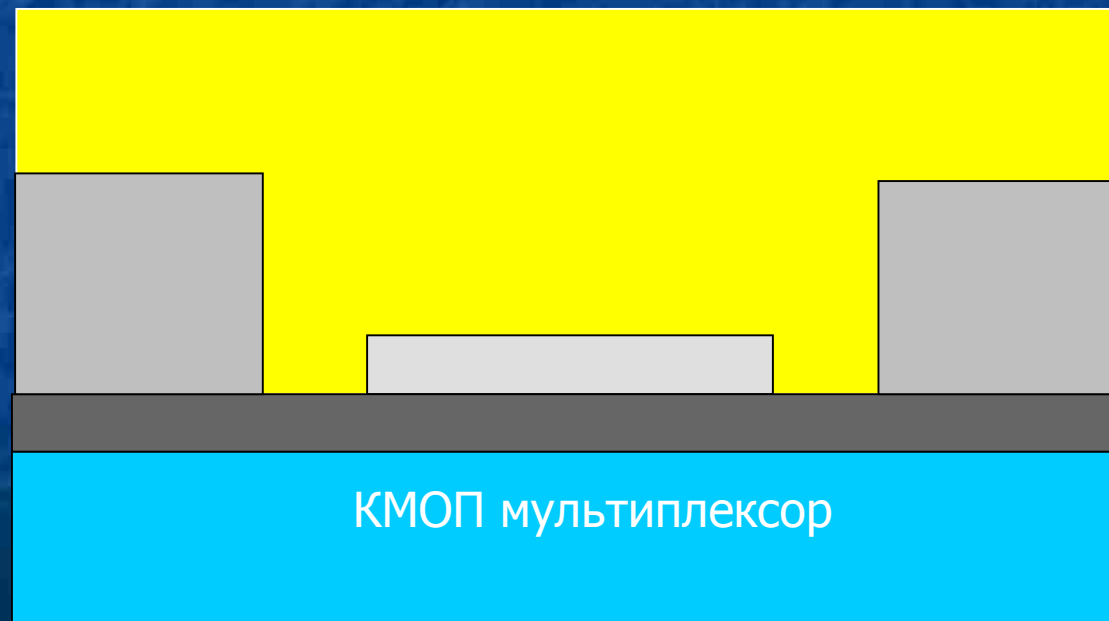
$l = 8 - 12 \text{ mm}$

Чувствительный элемент микроболометрической матрицы



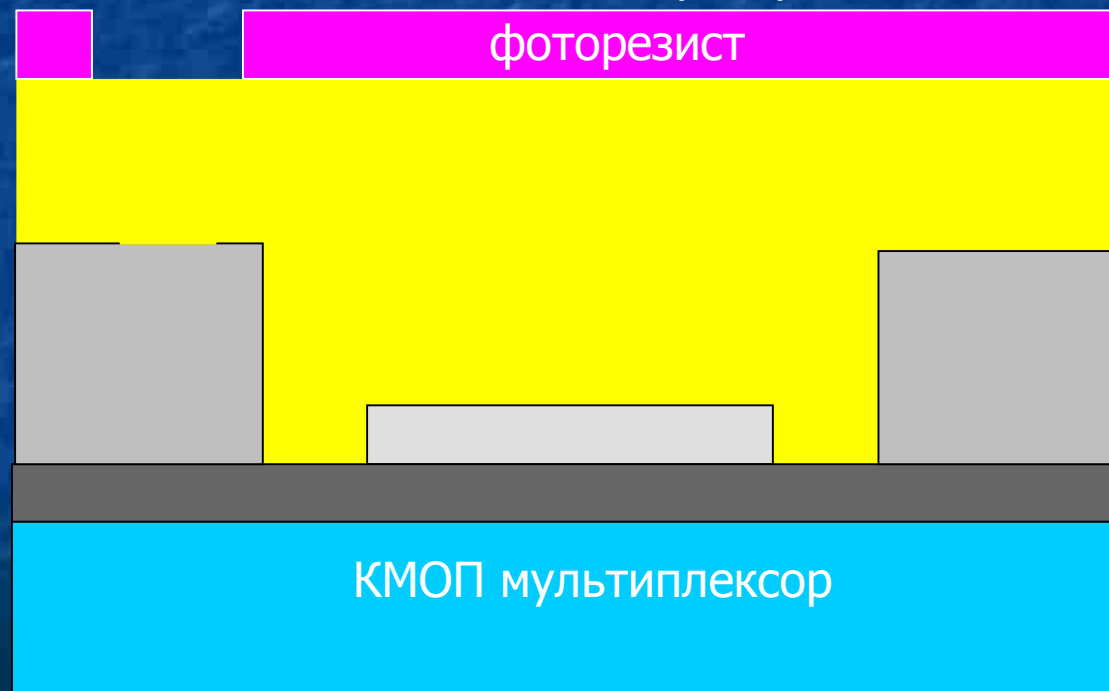
Технологическая схема

Нанесение слоя полиимида



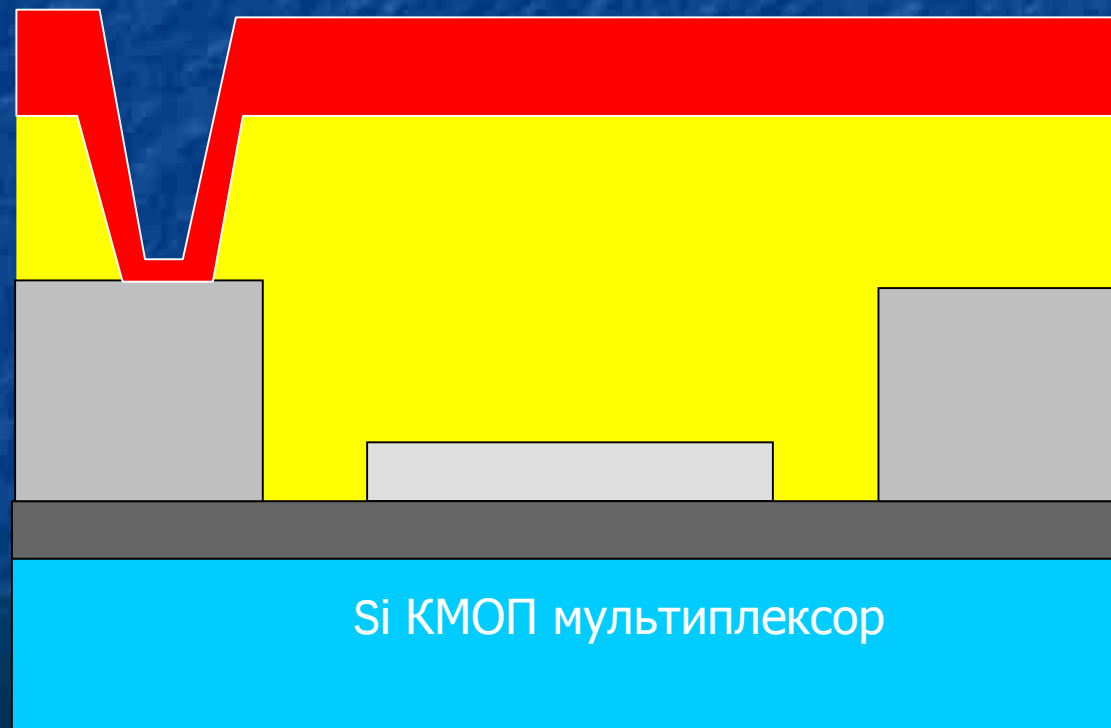
Технологическая схема

ЭЦР-плазменное травление
контактных окон под
заданным углом и снятие
фоторезиста



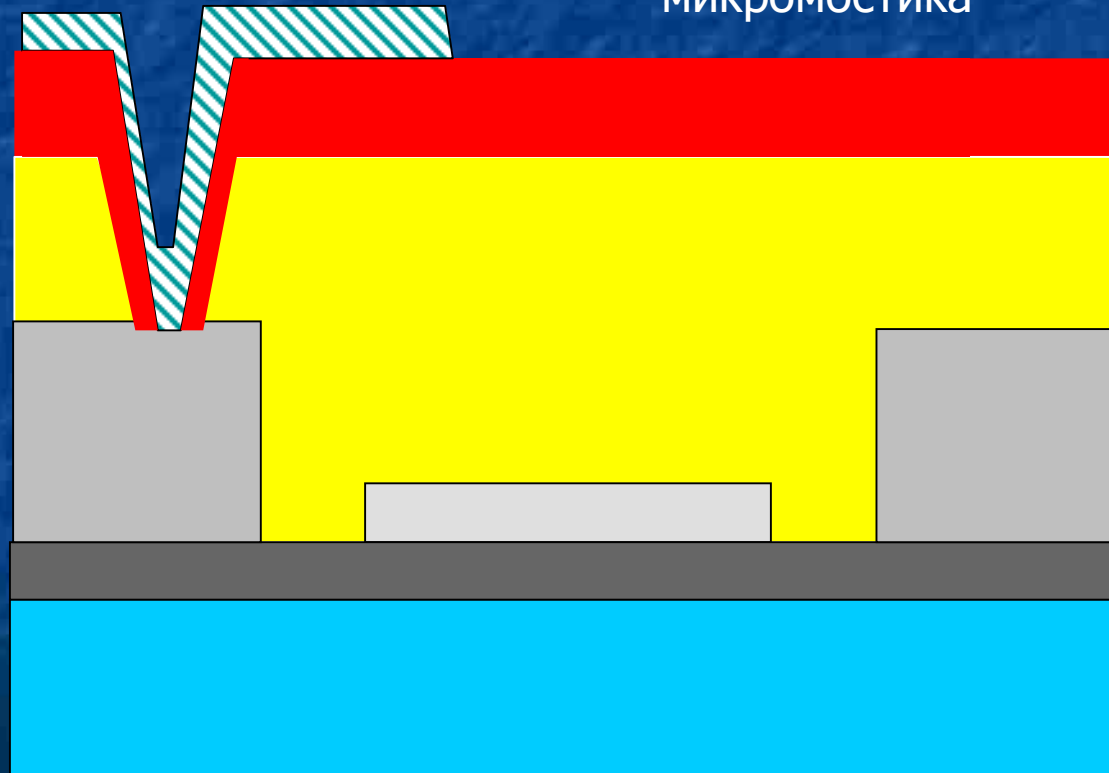
Технологическая схема

ЭЦР-плазменное
наращивание нитрида
кремния



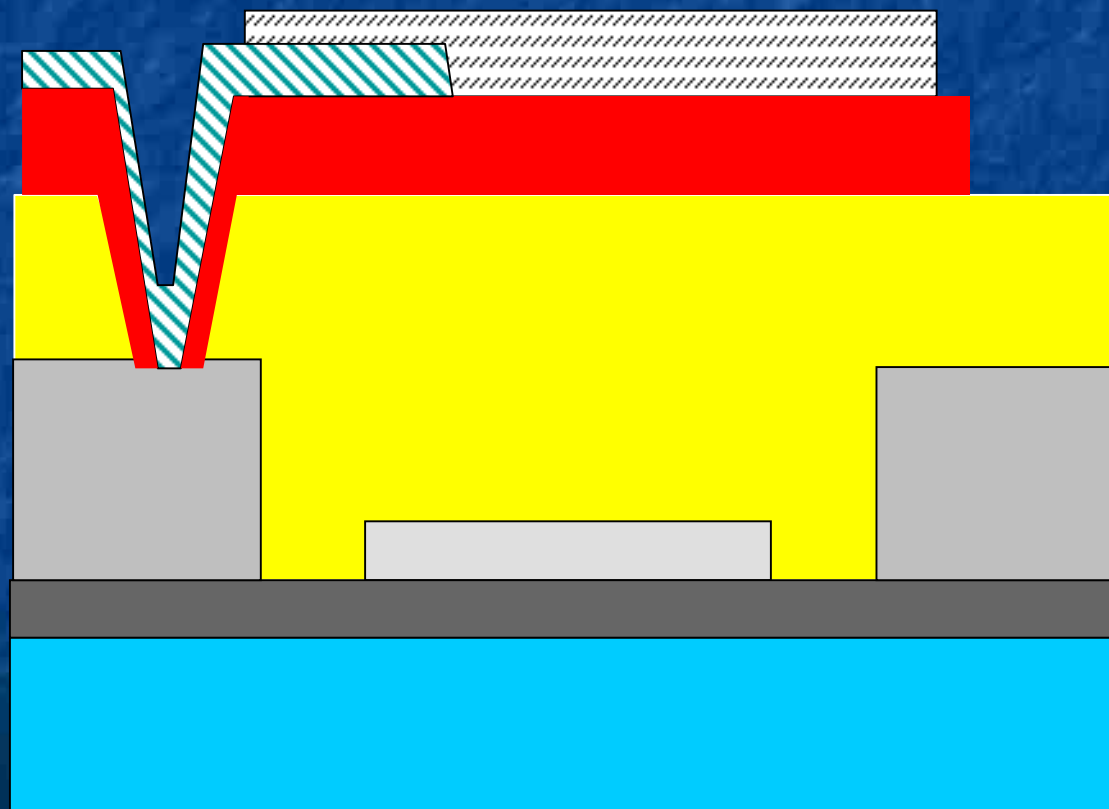
Технологическая схема

Формирование контактов на
основе нихрома и основания
микростика



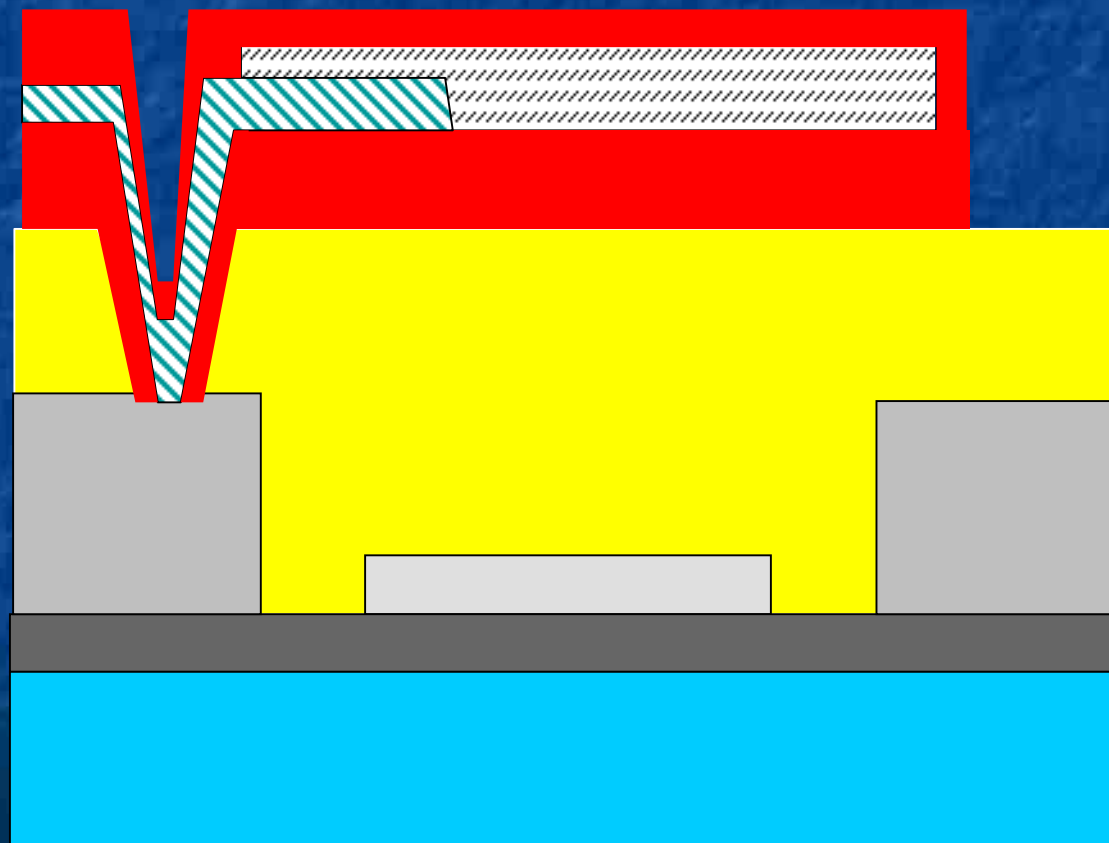
Технологическая схема

Формирование
термочувствительного
элемента (VO_x)



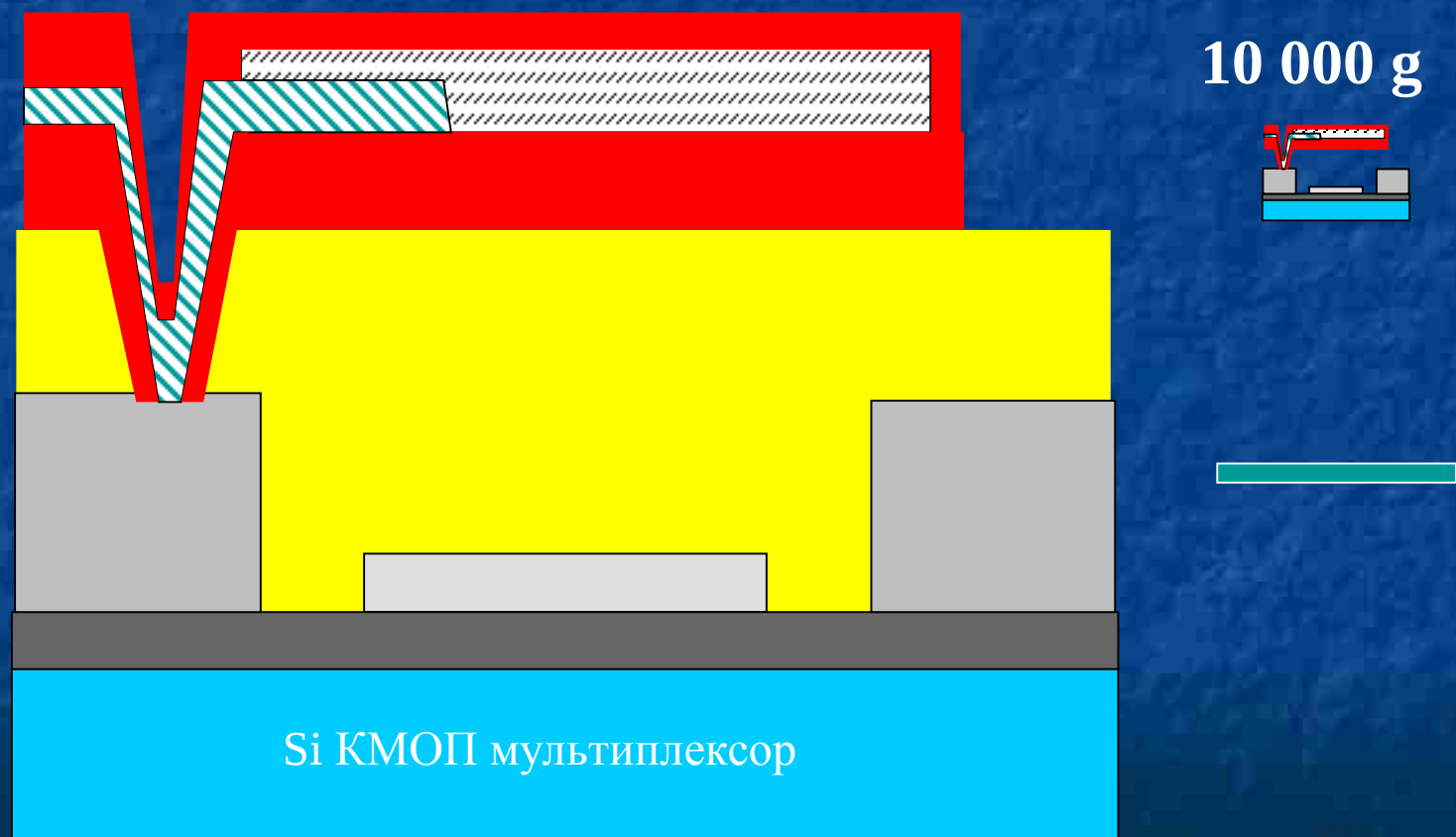
Технологическая схема

ЭЦР-плазменное
наращивание защитного слоя
(Si_3N_4)

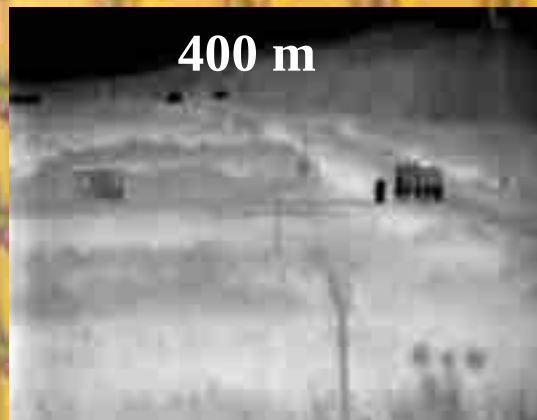


Технологическая схема

ЭЦР-плазменное травление
"жертвенного" полиимидного слоя



Неохлаждаемый болометр



400 m



700 m

Форматы 320×240 и

160 × 120

Размеры пикселей

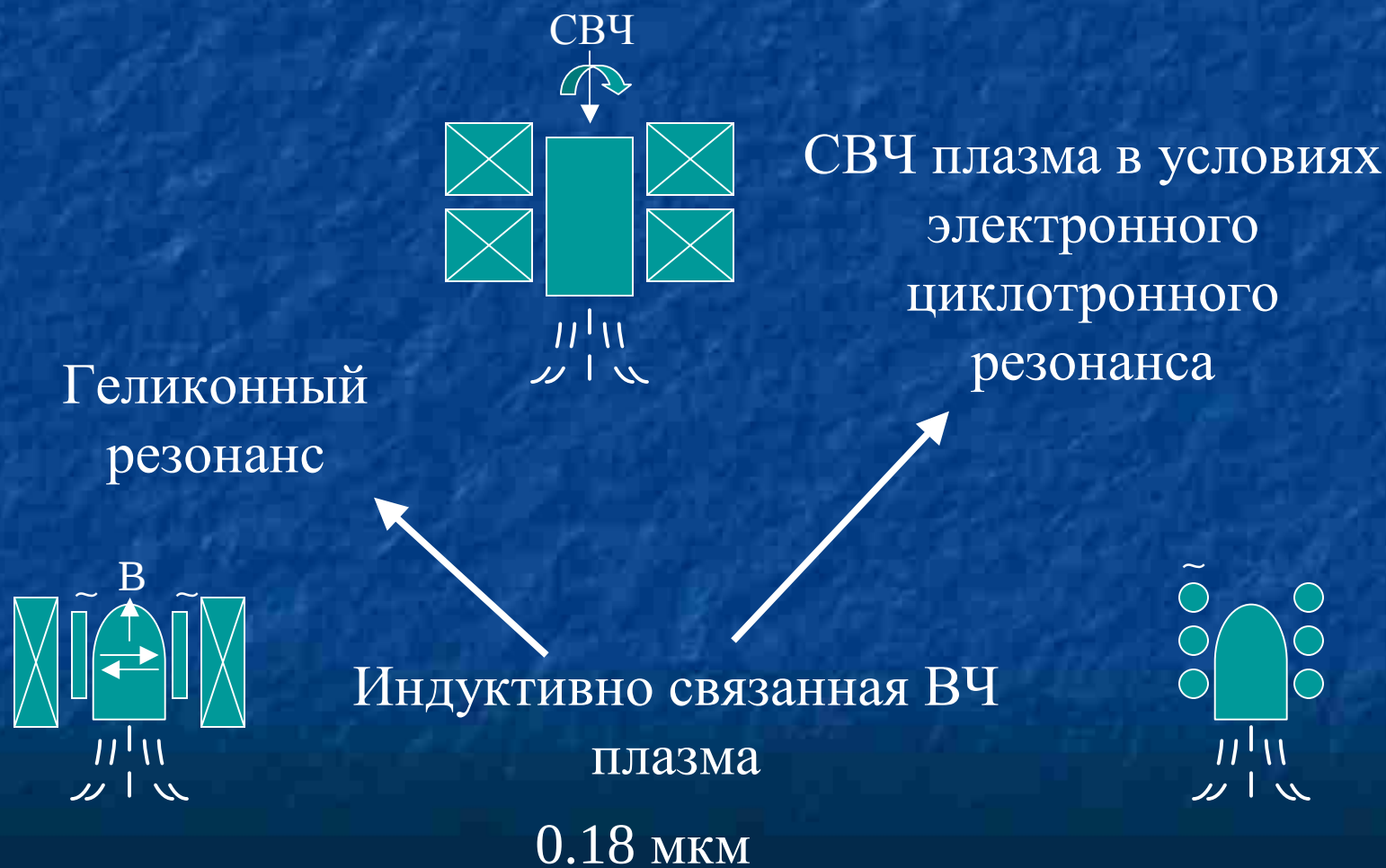
20 × 20 мкм² и

48 × 48 мкм²

Задержка – единицы
мсек.

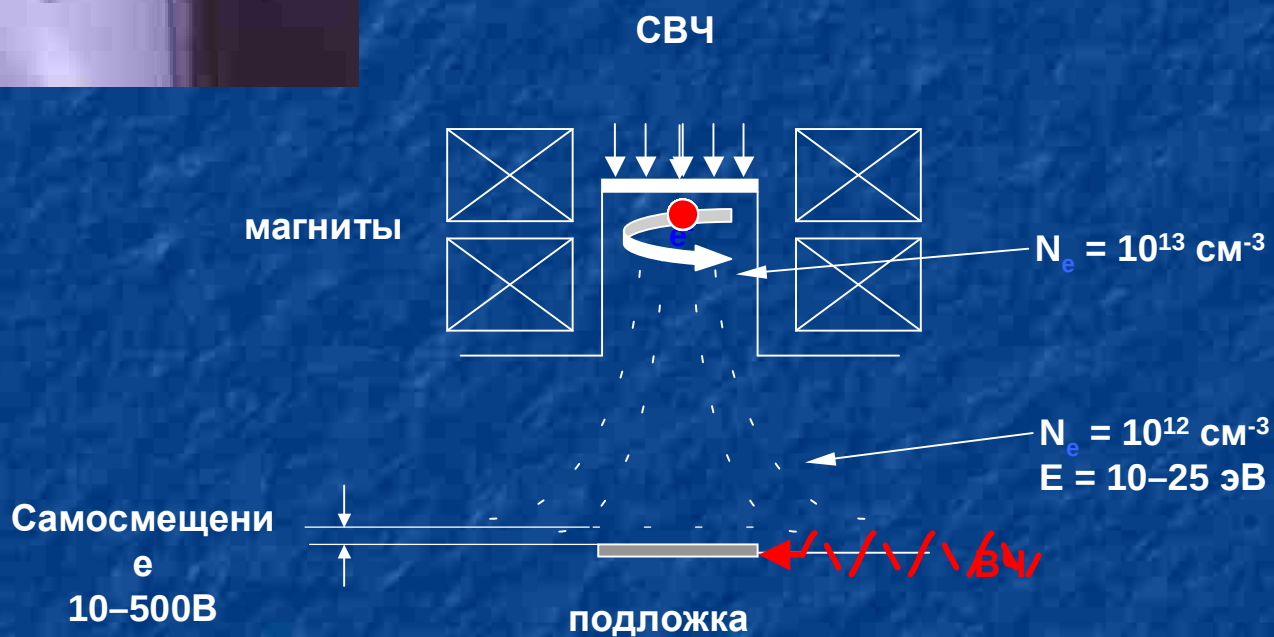


Применение плазмы в нанотехнологии





ЭЦР-плазма



$l^3 D$

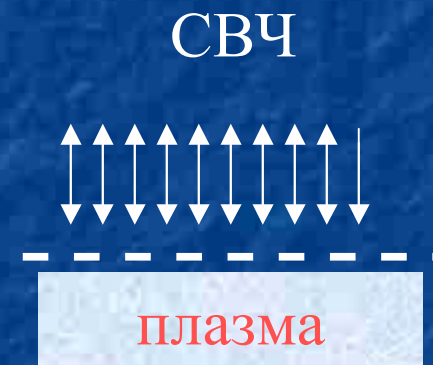
Условия формирования ЭЦР-разряда

$$t = eV / mC$$

$$\omega t \gg 1 \quad (l \gg D)$$

$$N_{cr} = m^2 \omega^2 / 4pe^2 = 7.4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

Для плоского фронта



Экспериментально достигается

$$N_e = (2-4) \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

Сверхплотная плазма

$$N \gg N_{cr}$$



Трансформация энергии за счет
формирования плазменных волн

Требования к технологическим процессам:

- наличие дельта-легированных слоев с моноатомными переходными слоями в эпитаксиальных структурах,
- размер элементов порядка 1 нм с боковым уходом менее 0.1 нм, гетерогенные реакции, длина пробега активных частиц порядка 10 см,
- отсутствие радиационных повреждений от различных технологических операций,
- предохранение образцов от проникновения атомарных газов,
- пассивация поверхности активных областей с контролируемым зарядом поверхности.

Ряд негативных эффектов, присущих и ЭЦР-плазменным методам:

- глубина распространения радиационных дефектов достигает 50 нм,
- в объеме реактора и на поверхности образца формируются моноатомные газы, их диффузия в объем образца может изменять его электронную структуру при взаимодействии моноатомных газов с электрически активными центрами,
- возможно частичное проникновение СВЧ излучения в область подложкодержателя, приводящее к его разогреву.

ЭЦР плазма применяется более 40 лет

Осаждение из
газовой фазы:

- Полупроводники
- Диэлектрики
- Металлы
- Сверхпроводники
- Алмаз

Двигатели
коррекции орбиты в
космосе

Эпитаксия

- CBE
- MBE
- MOVPE

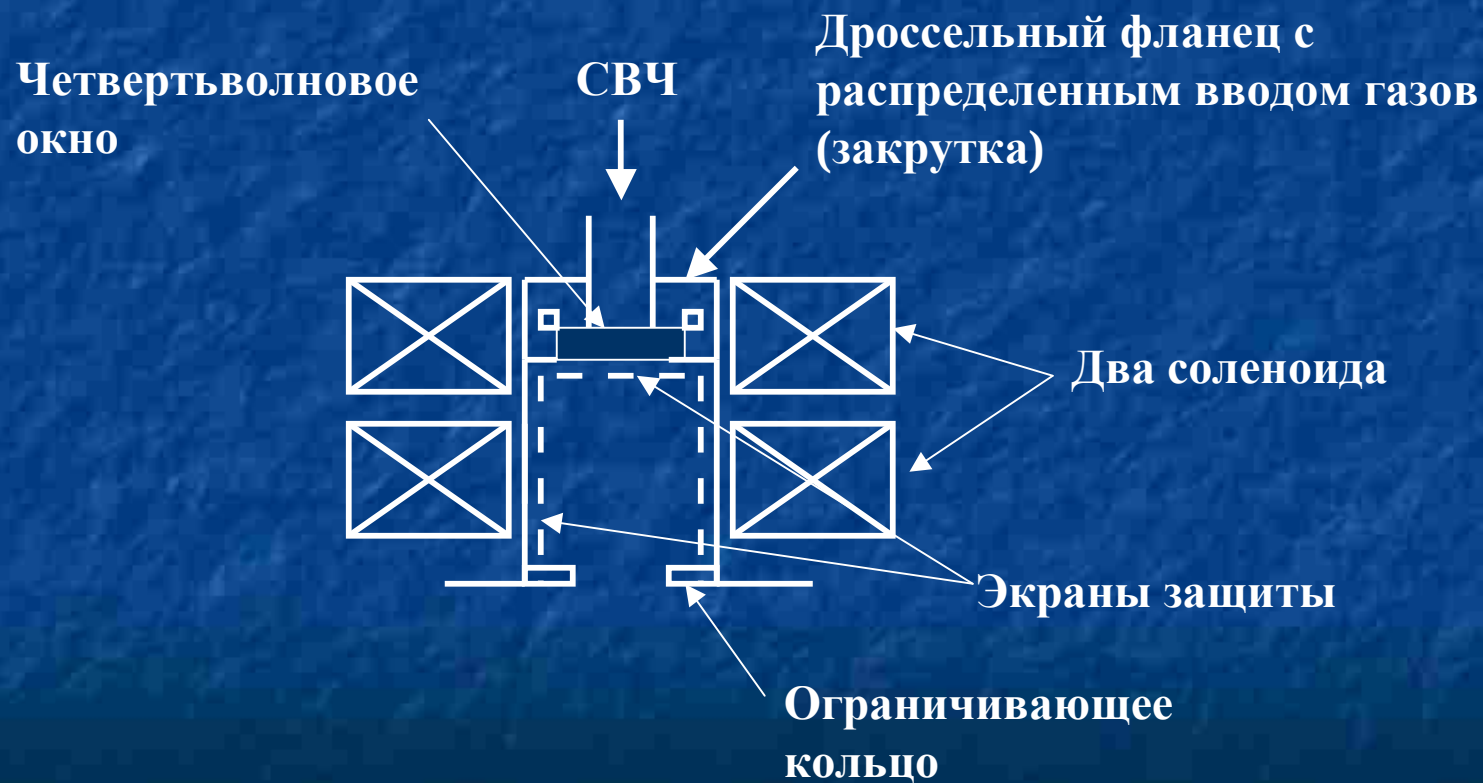
Прецизионное
травление

Распыление

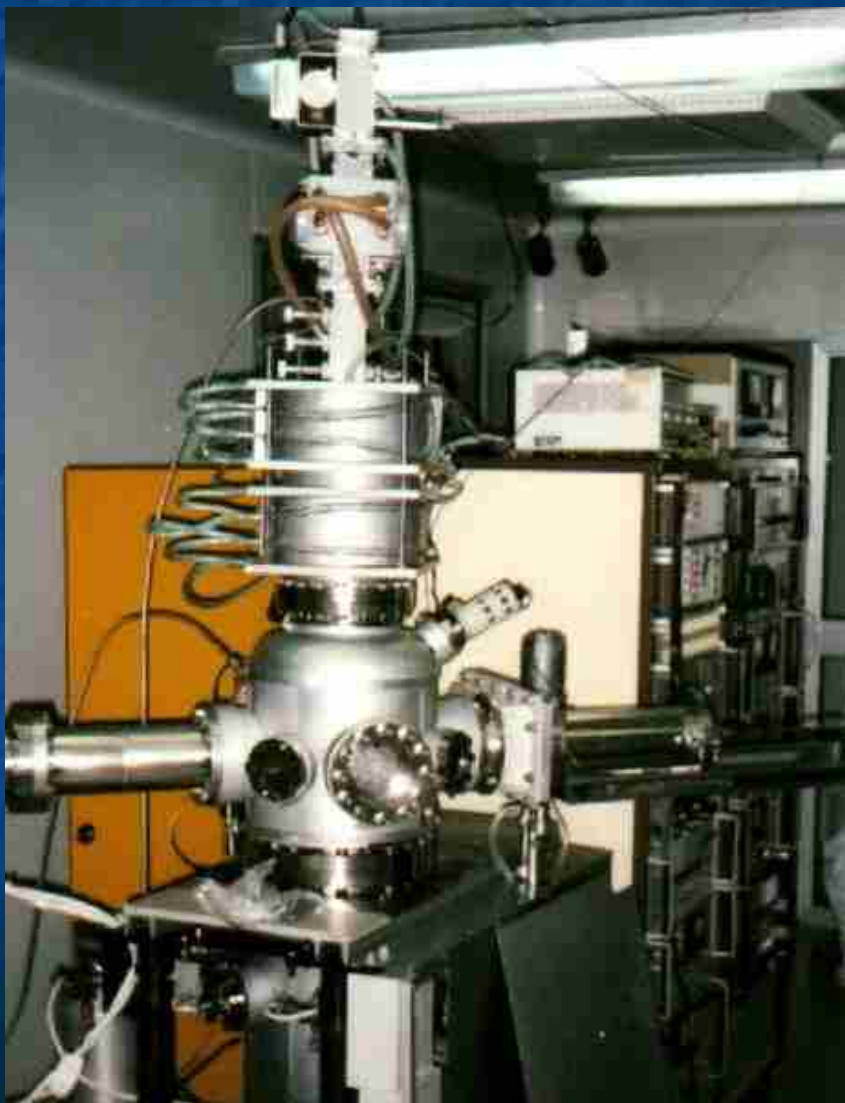
Обработки:

- имплантация
- разделение изотопов
- Пассивация электрически
активных центров

Конструкции ЭЦР-плазменных источников



ЭЦР-плазменное оборудование



ИПТМ РАН

NRL, USA

IBM, USA

MIT, USA

Lund Univ.,
Sweden

Chalmers Univ.,
Sweden

HSRI, China

ChREI, China

Новая ЭЦР-плазменная установка

- n Низкотемпературное осаждение
- n Прецизионное травление
- n Рост эпитаксиальных структур III-N
- n Диаметр подложек 150 мм
- n Электростатический прижим
- n Охлаждение через гелиевую подушку
- n Компьютерное управление



Общий вид установки ЭЦР-плазменного прецизионного травления



Лабораторная установка эпитаксии широкозонных полупроводников (ЕСR-MOVPE)



ЭЦР - ИСТОЧНИК



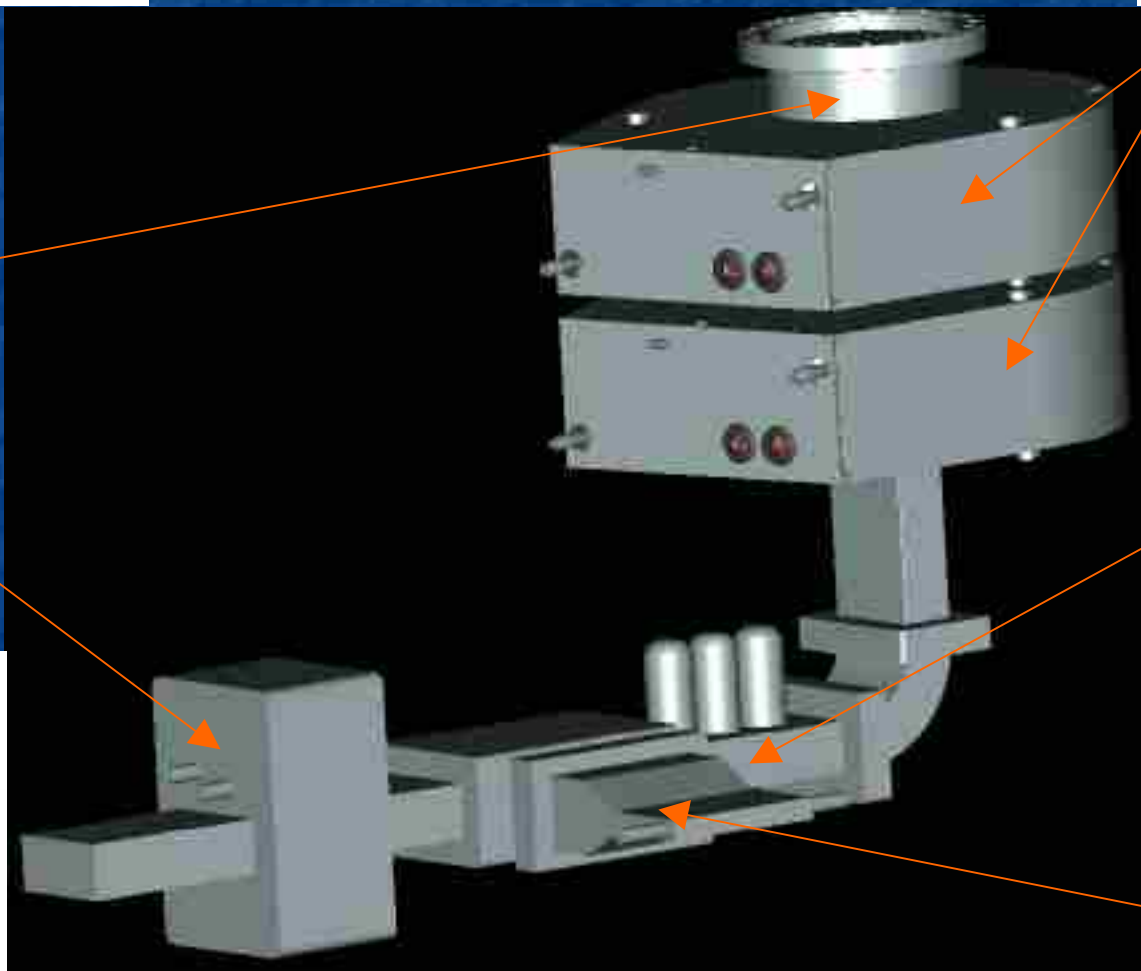
Резонатор

Магнетрон

Электромагнитные
катушки источника

Тюнер

Циркулятор



При необходимости установка
может комплектоваться ВЧ-
плазменными источниками
(индуктивными, емкостными,
геликонными)



Новая ЭЦР-плазменная установка

Ранее подобные установки конструировались нами для ведущих зарубежных лабораторий (Военно-морская лаборатория США, Лундский университет (Швеция), Хебейский институт полупроводников (Китай) и др.). Теперь впервые удалось совместно с ЭЗАН создать очень близкий к производственному варианту полностью автоматизированный технологический комплекс, использующий ЭЦР-плазменный разряд.

Использовались три моды ЭЦР-плазмы:

- однородная – плотность ионного тока постоянная на 80% сечения источника, магнитное поле около окна 1000-1100 Гс, в устье источника – 875 Гс,
- стержневая – максимальная плотность ионного тока (плотность плазмы) на оси источника, магнитное поле около окна 870-930 Гс,
- кольцевая – уменьшение ионного тока около оси источника, магнитное поле около окна 930-1000 Гс.

Зависимость давления в реакторе от поглощенной СВЧ мощности.

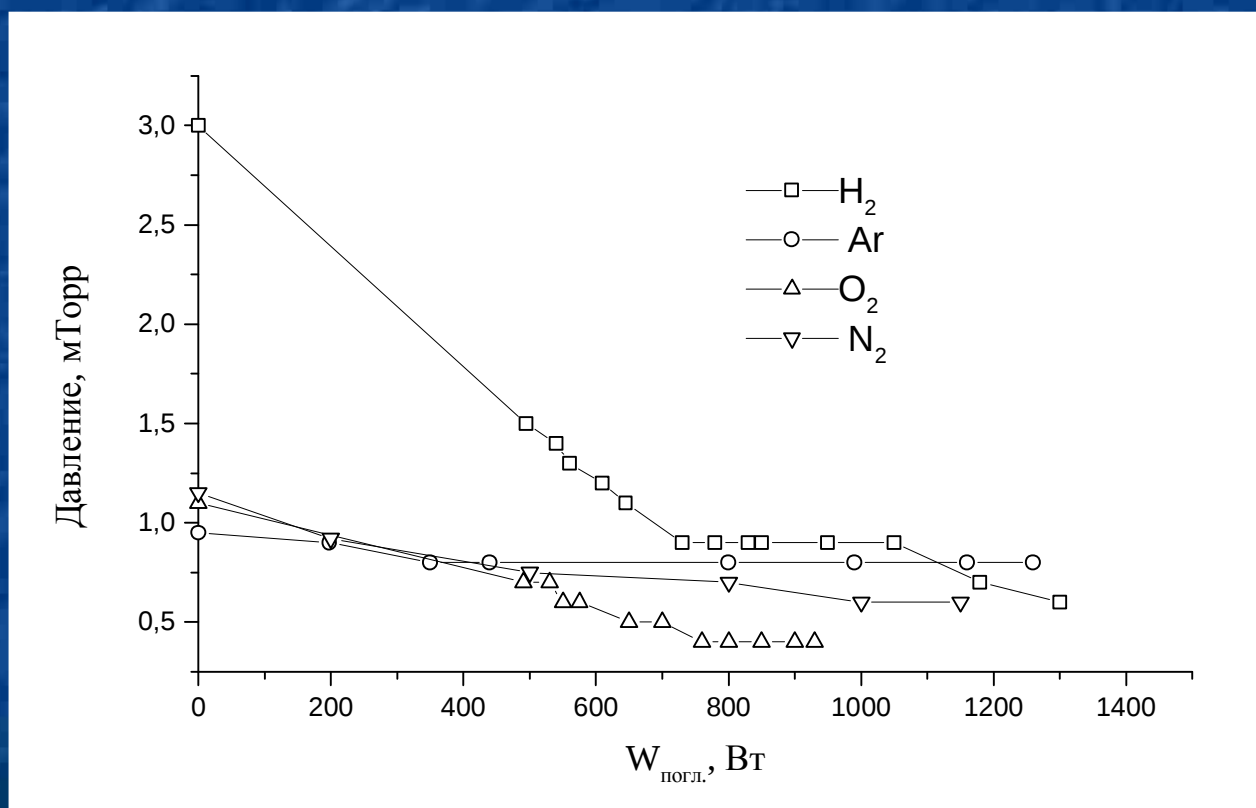
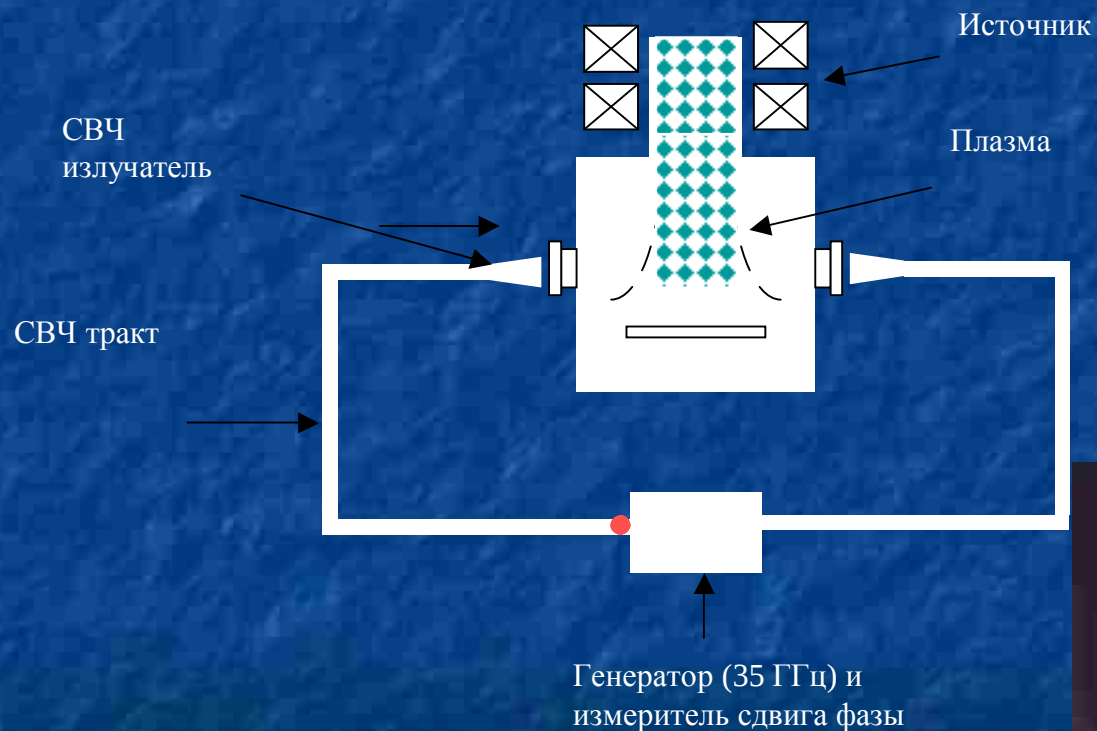


Схема измерения усредненной по диаметру потока плотности плазмы



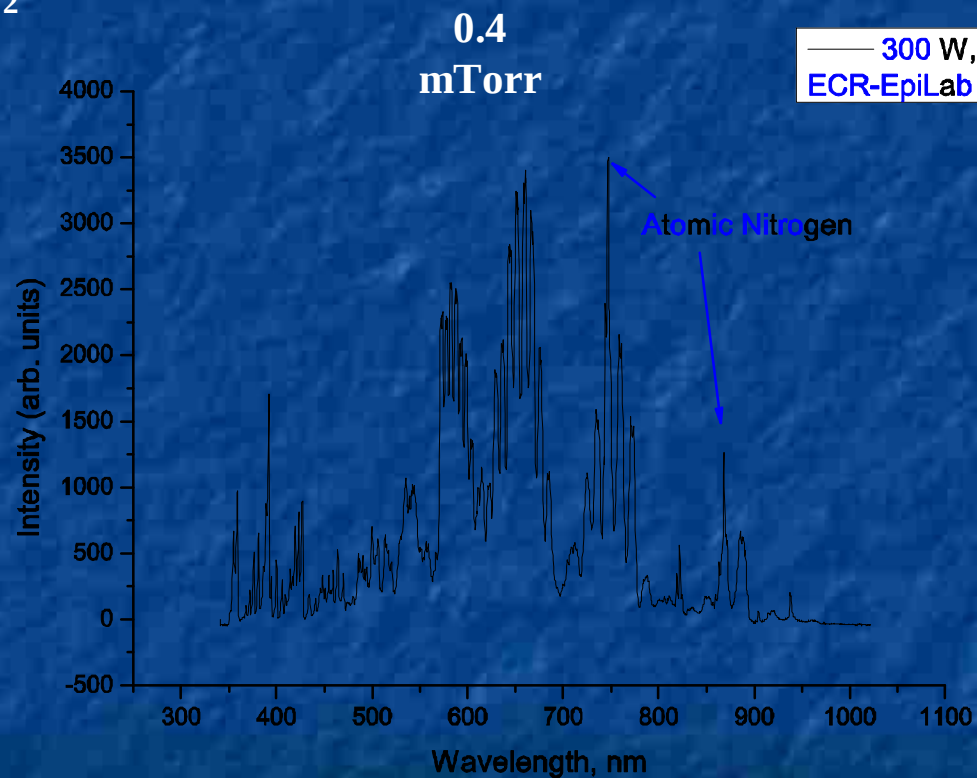
ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТР

EpiLab 0.4 mTorr, 300 W

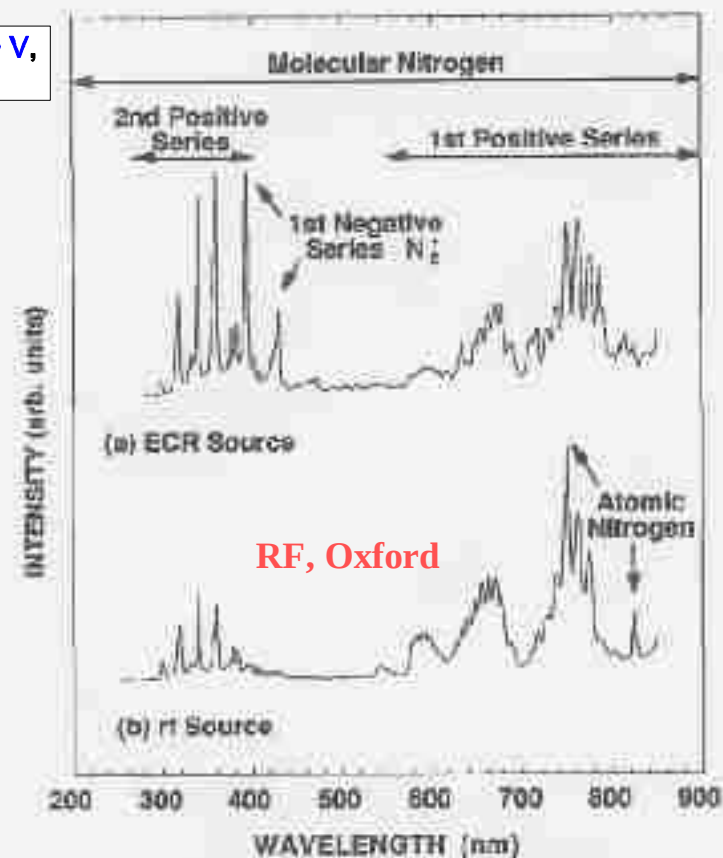
Astex 0.2 mTorr, 100 W

Лучший результат:

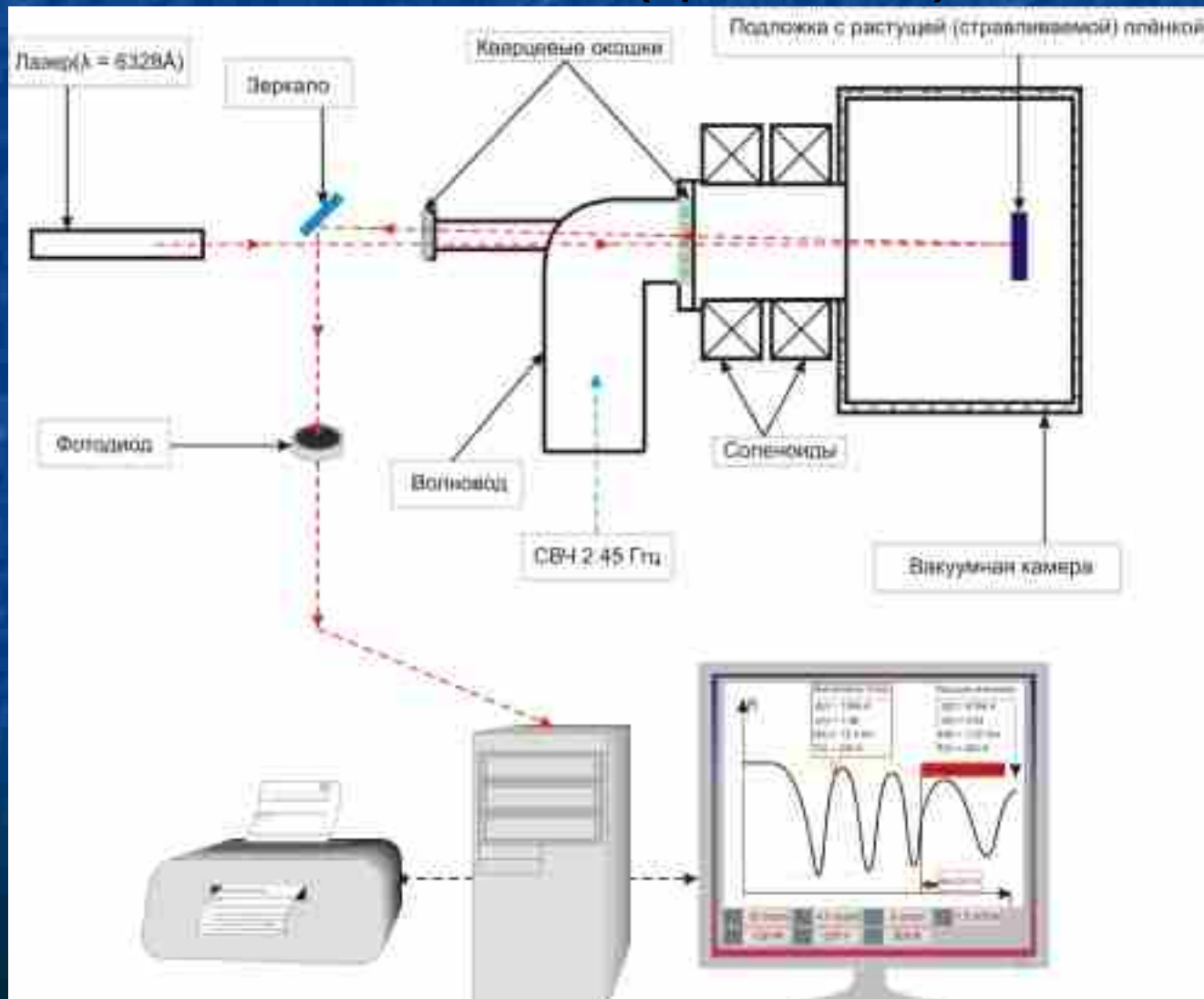
$N_2/N = 1/14$



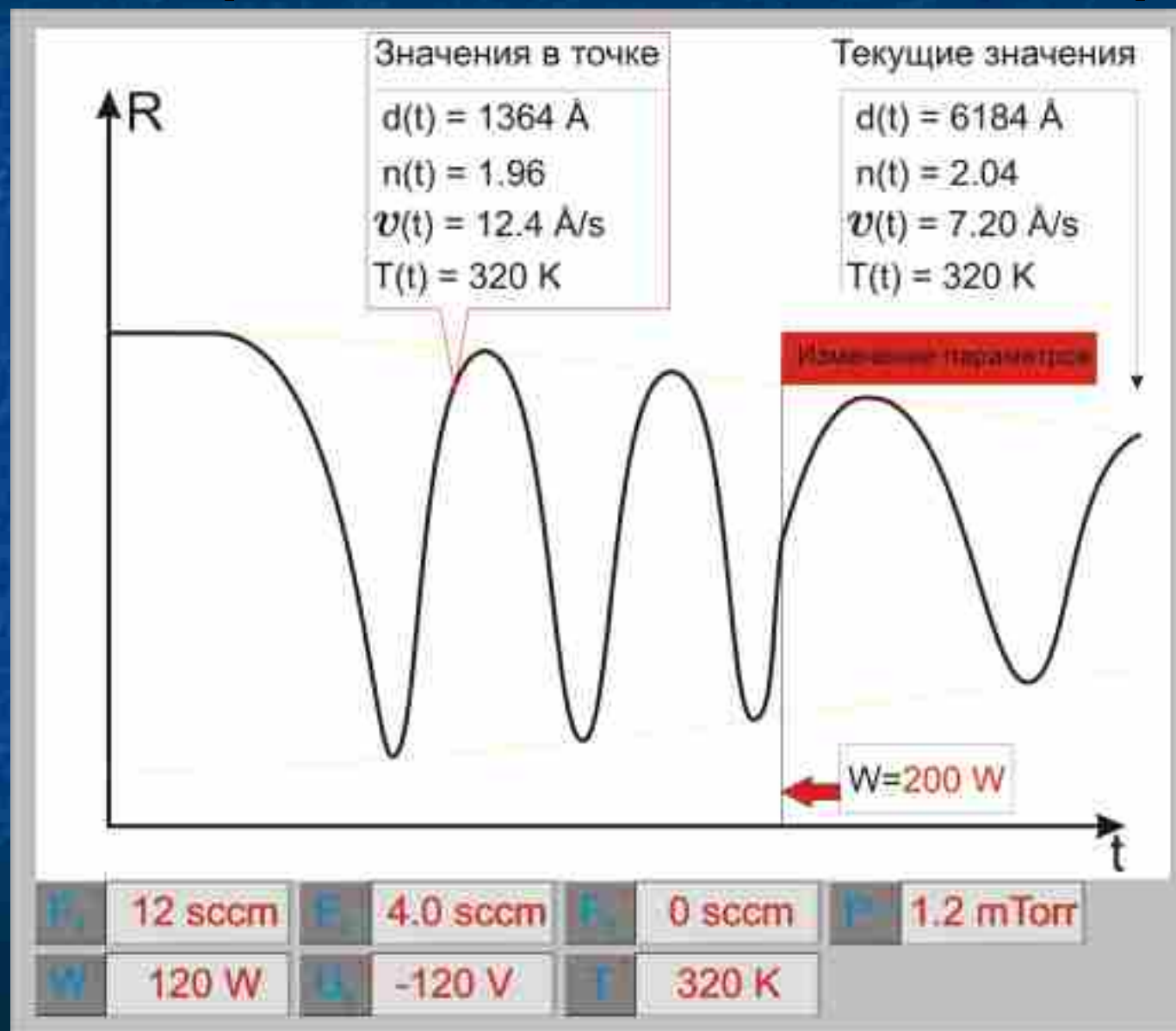
1673 Hughes et al.: GaN films on GaN/SiC substrates



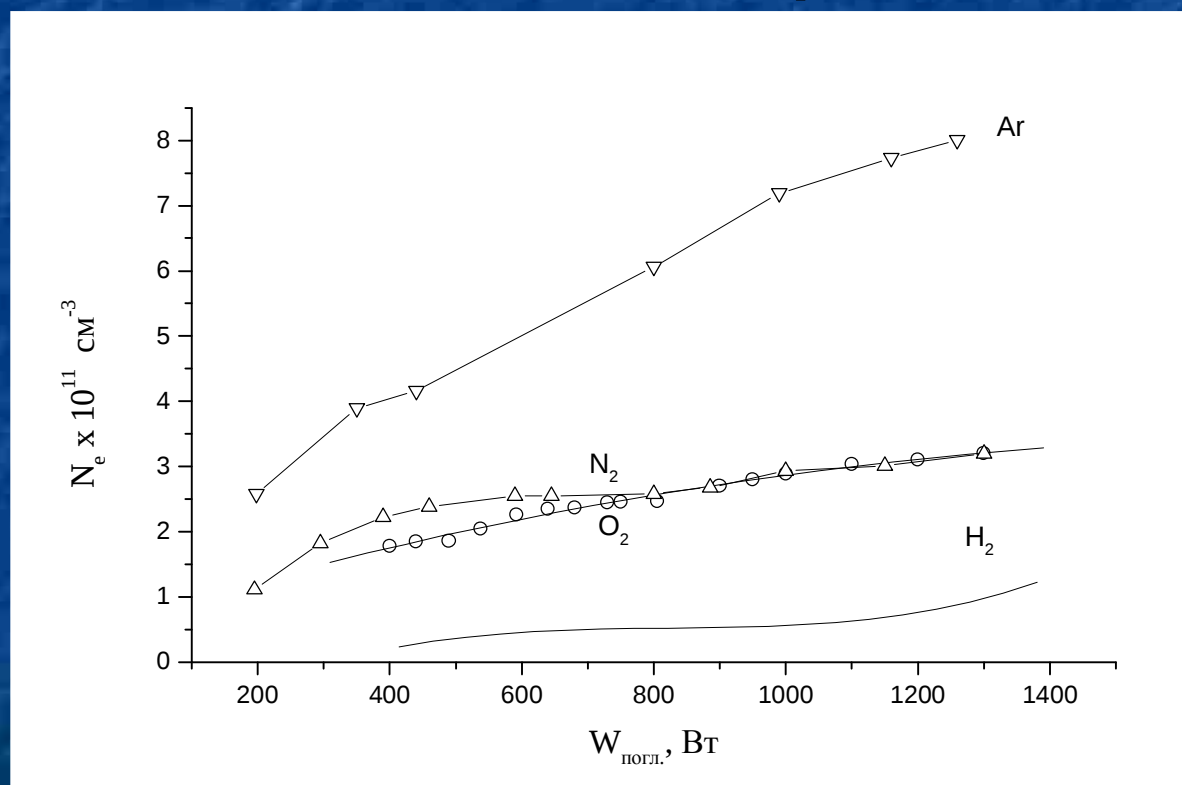
Методика лазерной интерферометрии для измерения в реальном времени толщины и скорости роста (травления) слоя



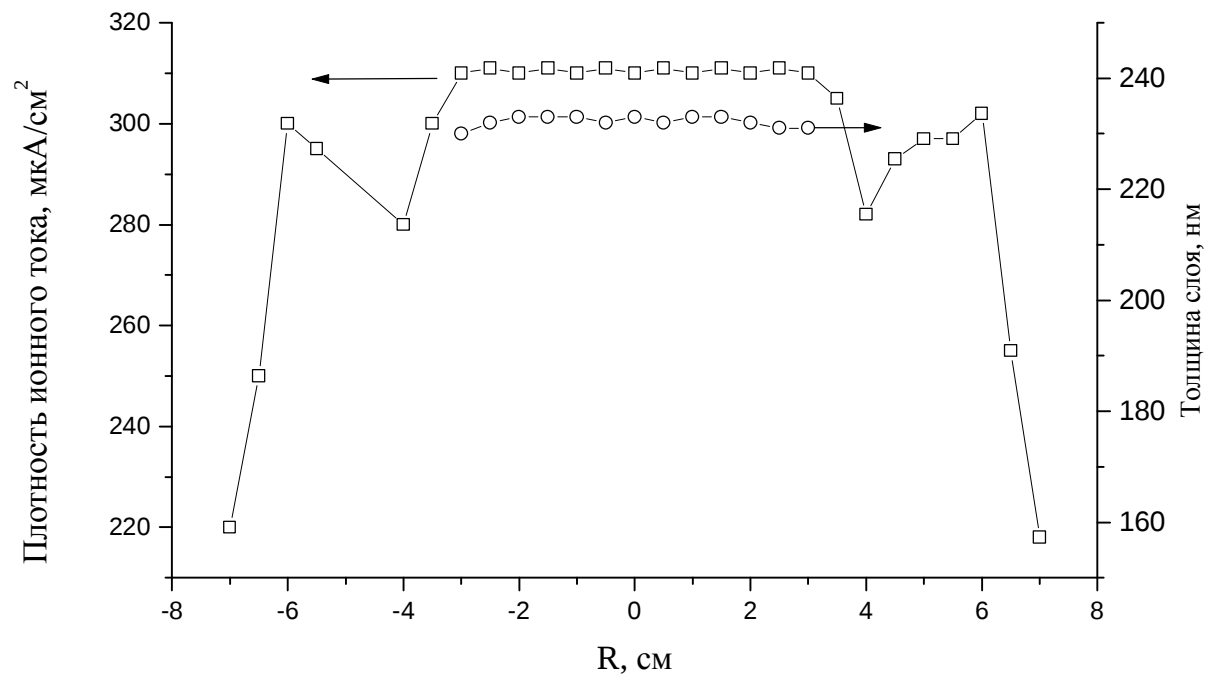
Изображение на мониторе



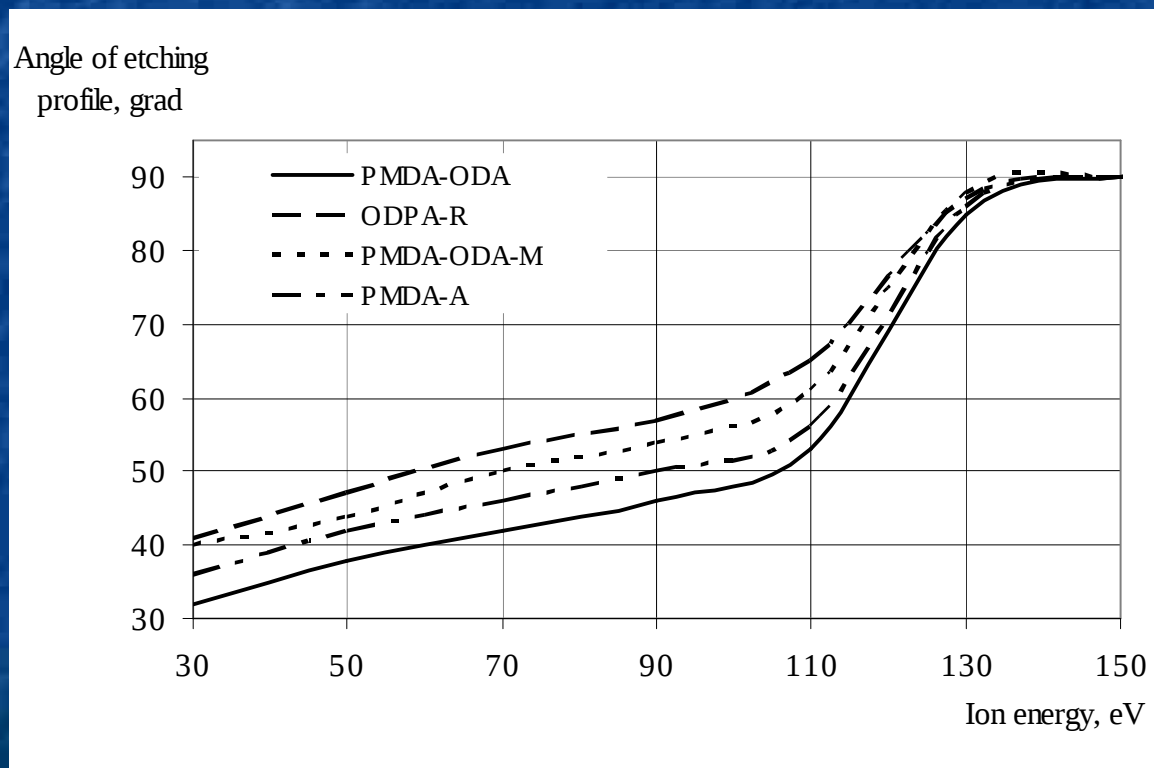
Зависимость плотности плазмы от поглощенной СВЧ мощности для различных газов (40 см от устья источника).



Распределение плотности ионного тока и толщины слоя по диаметру



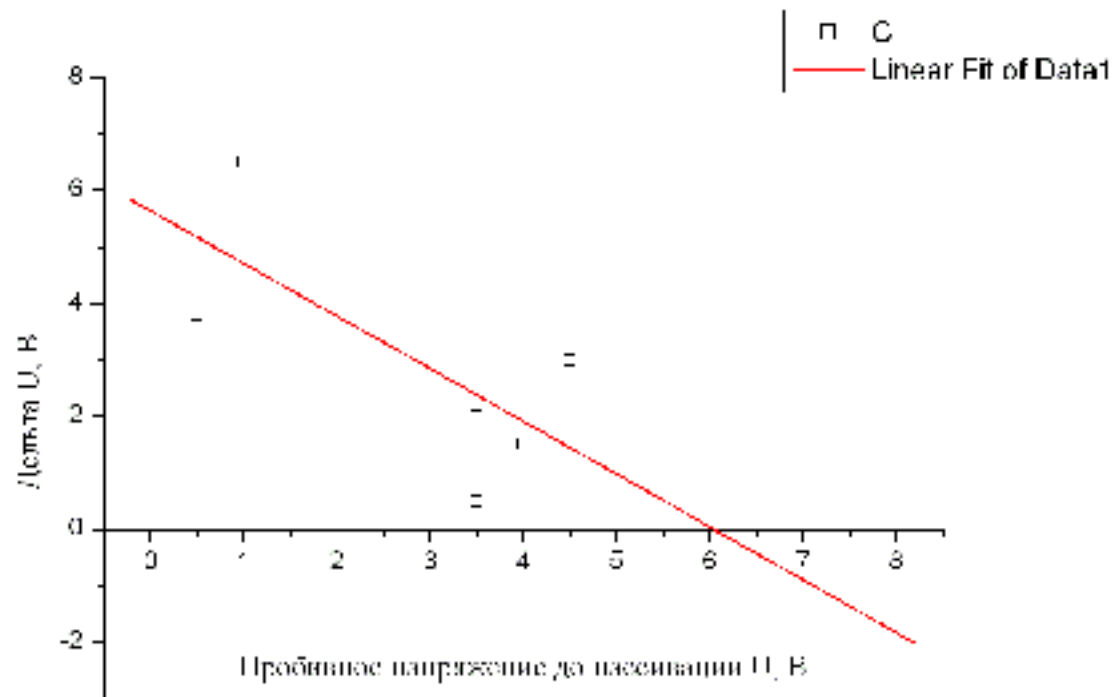
Управление углом травления



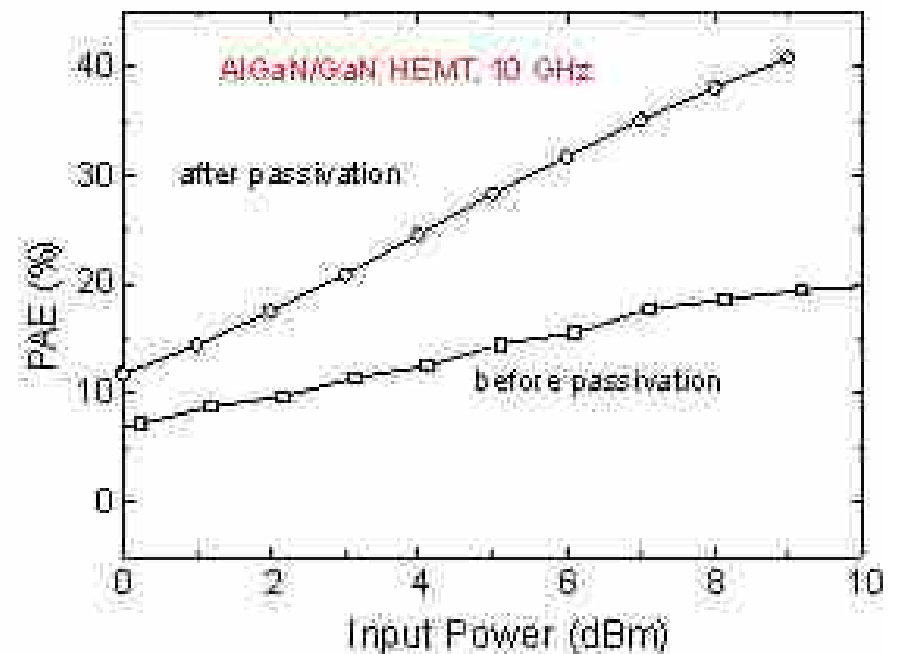
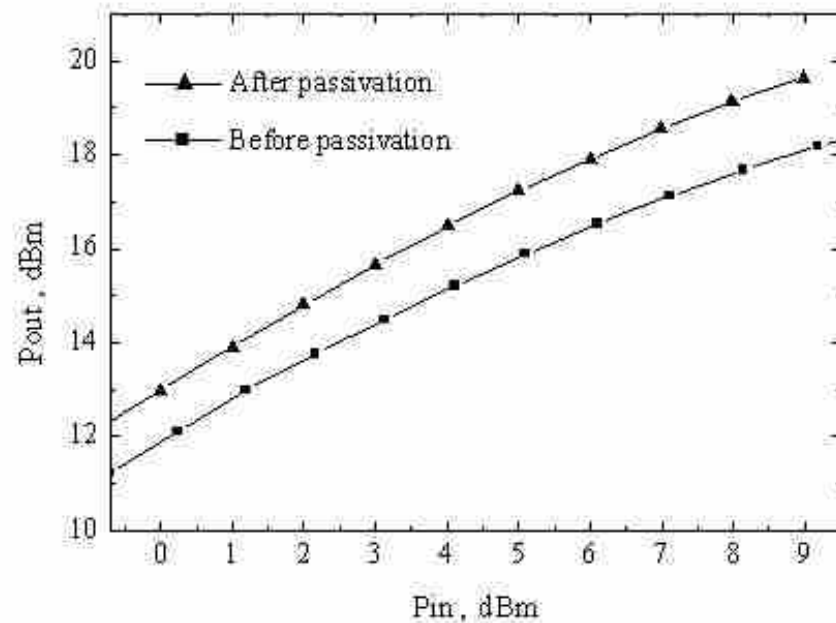
Изменение порогового напряжения Si КМОП транзисторов

Не обнаружено значимых
изменений порогового
напряжения на уровне
вплоть до 0.1 В

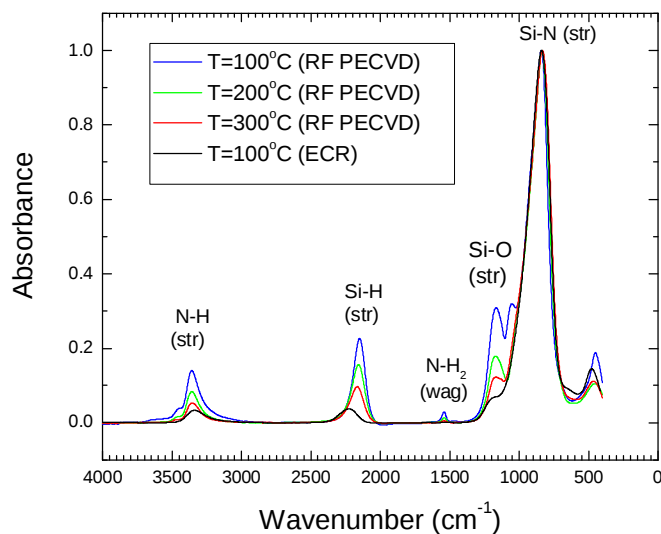
Изменение пробивного напряжения GaAs/AlGaAs транзисторов после ЭЦР-плазменного наращивания Si_3N_4



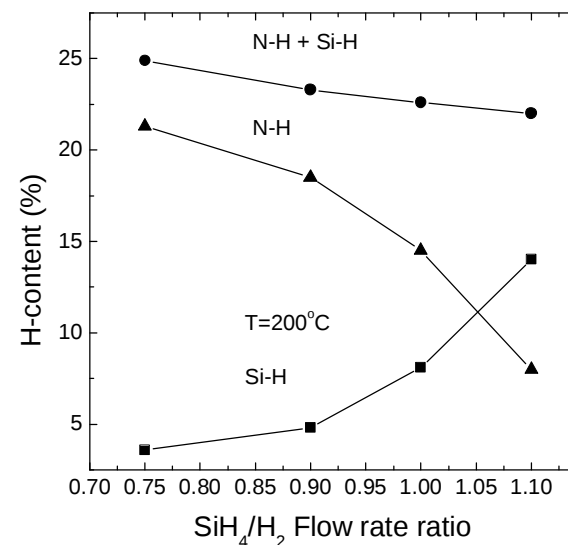
Изменение выходной мощности и коэффициента полезного действия AlGaIn/GaN транзисторов после ЭЦР-плазменного наращивания Si_3N_4



Управление содержанием водородных связей

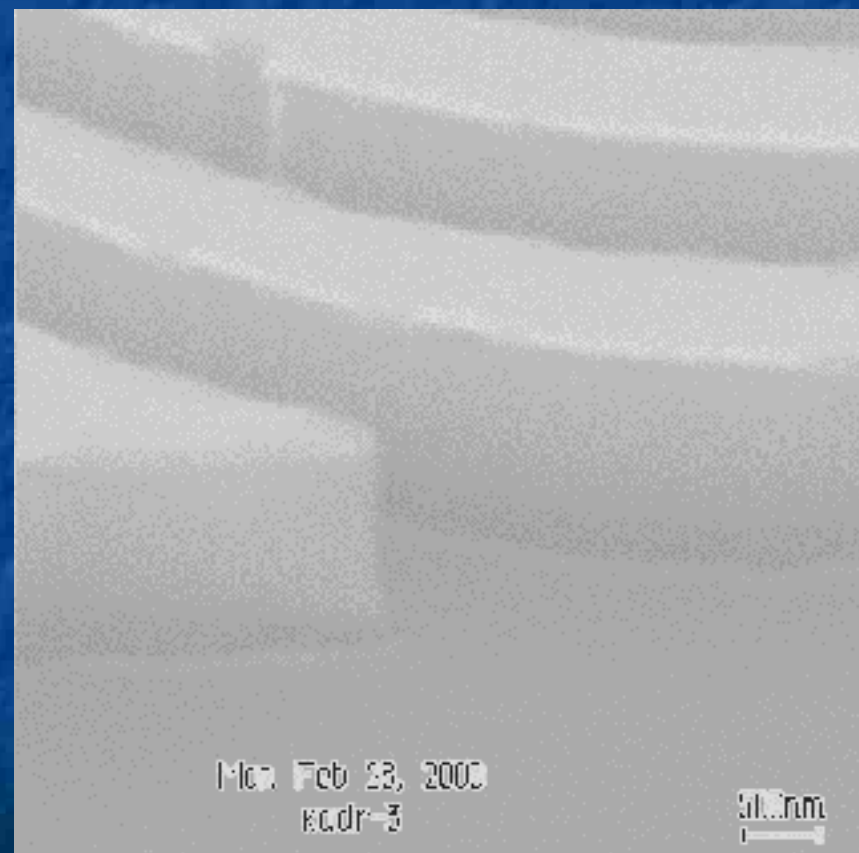
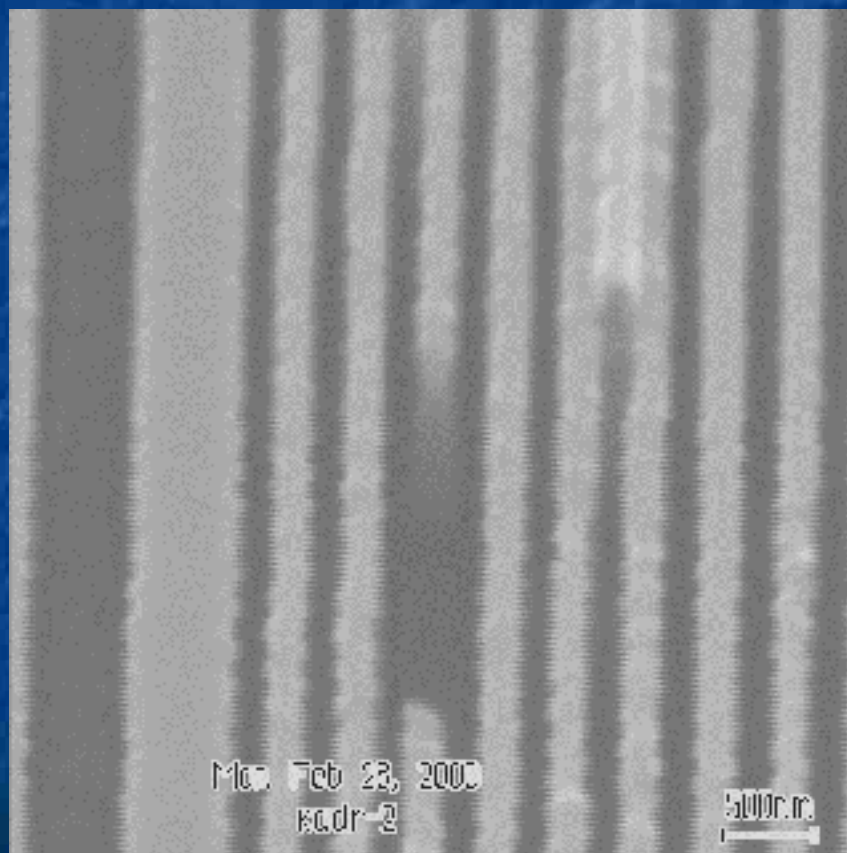


- ИК-спектры слоев Si_3N_4 осажденных с помощью ВЧ и ЭЦР плазменного разряда при различных температурах

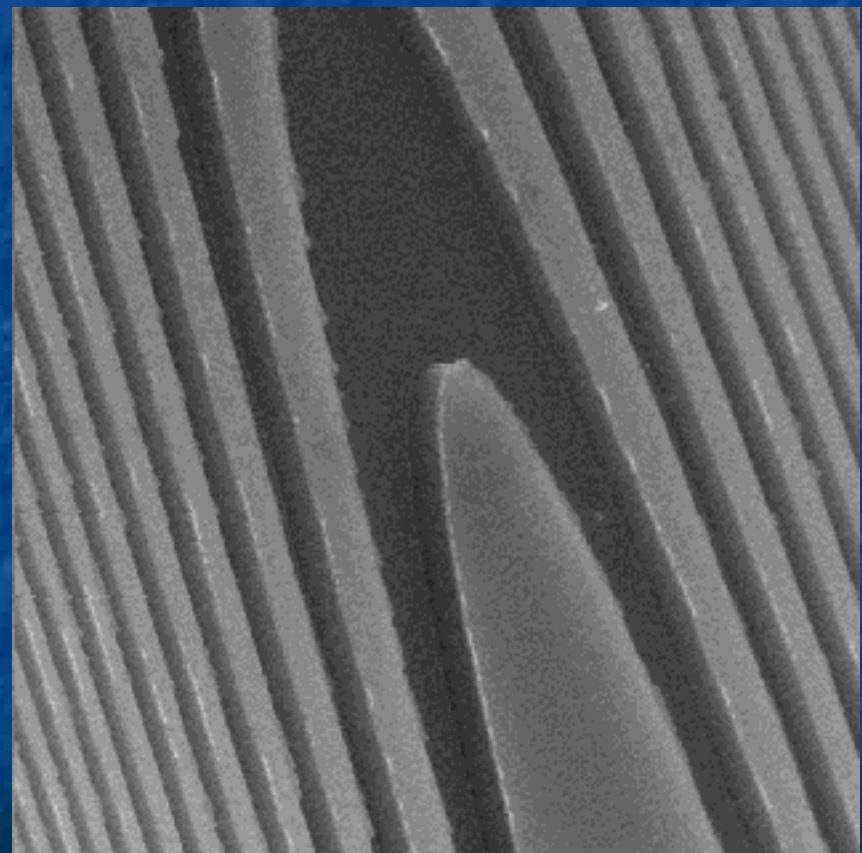
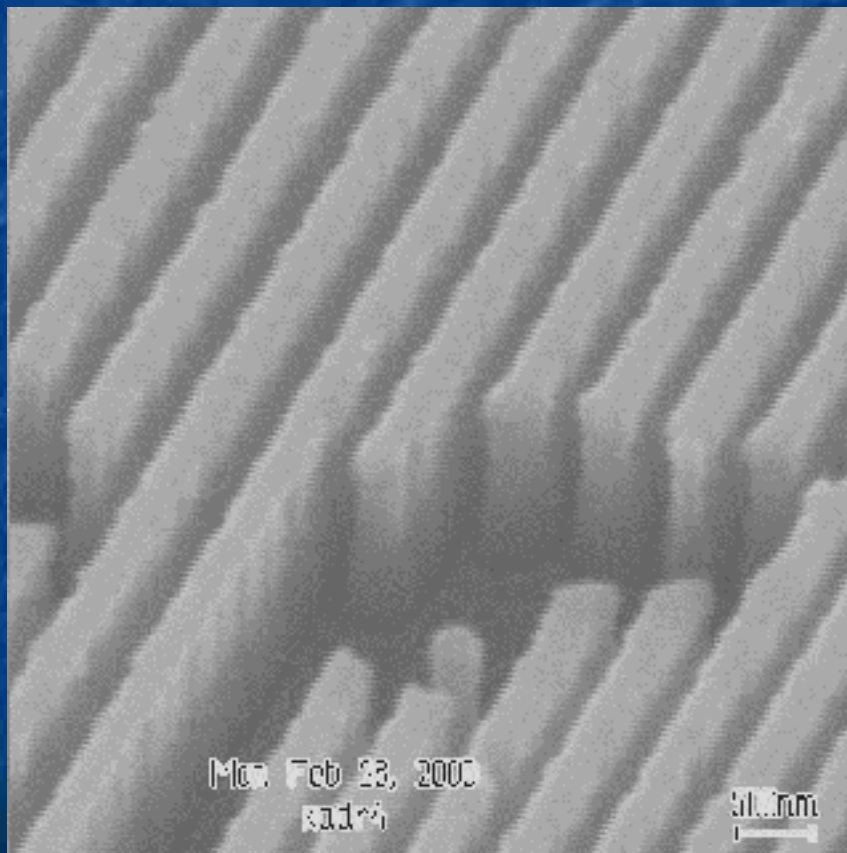


Содержание водородных связей в слоях Si_3N_4 как функция соотношения расходов SiH_4/N_2

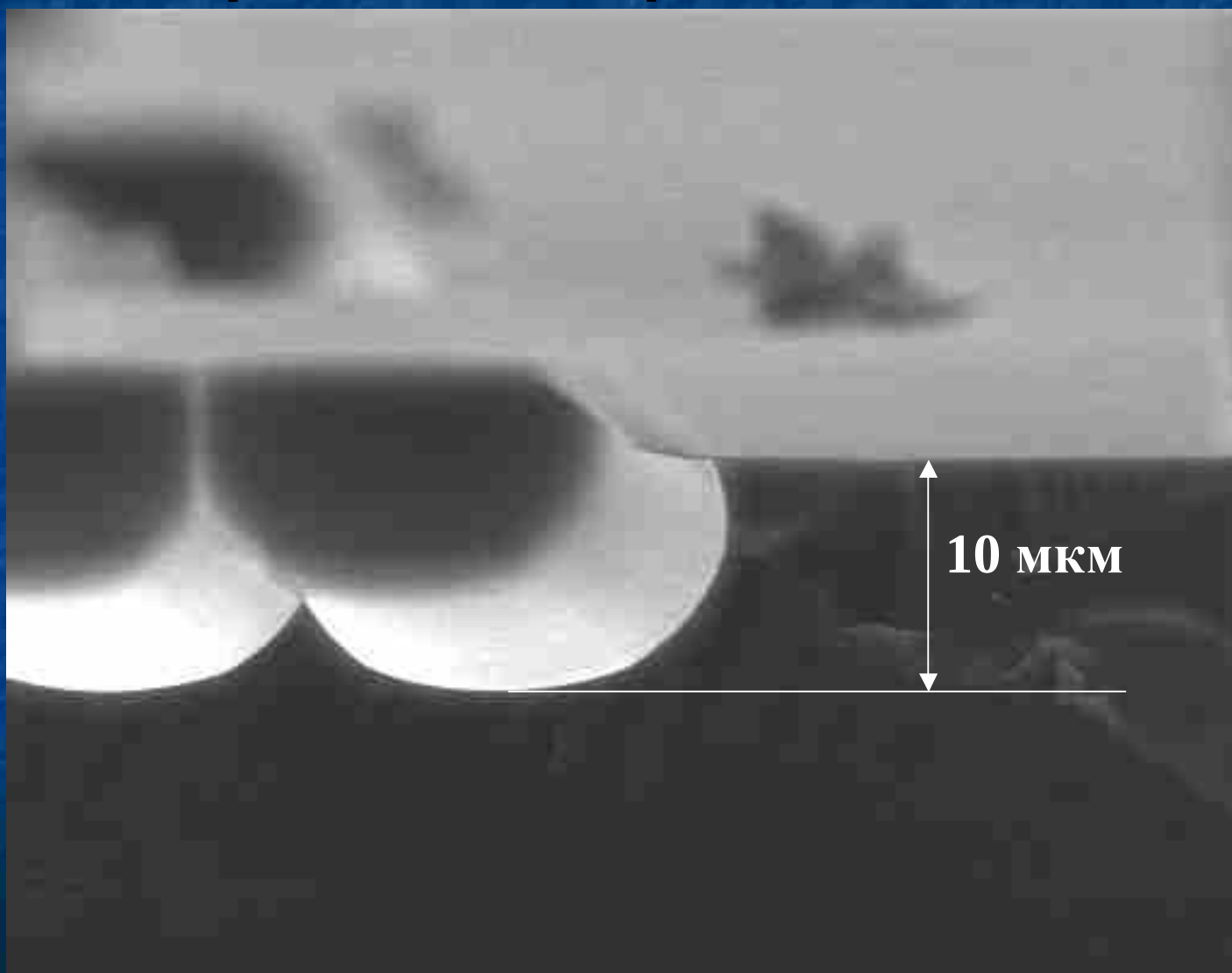
Рентгеновские линзы, высокоаспектное травление Si



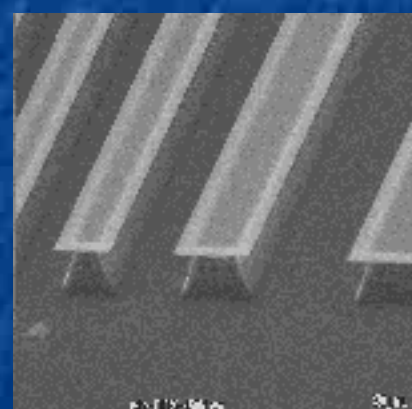
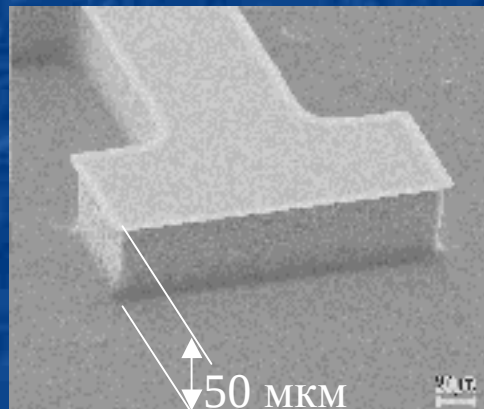
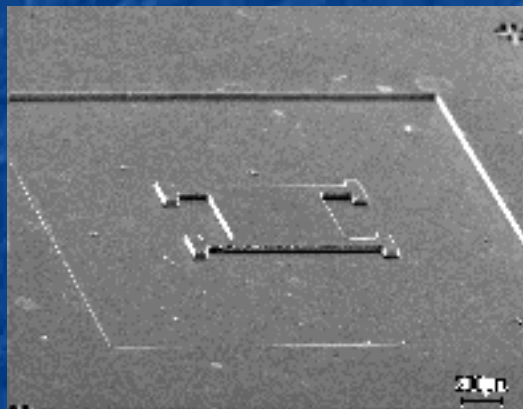
Рентгеновские линзы, высокоаспектное травление Si



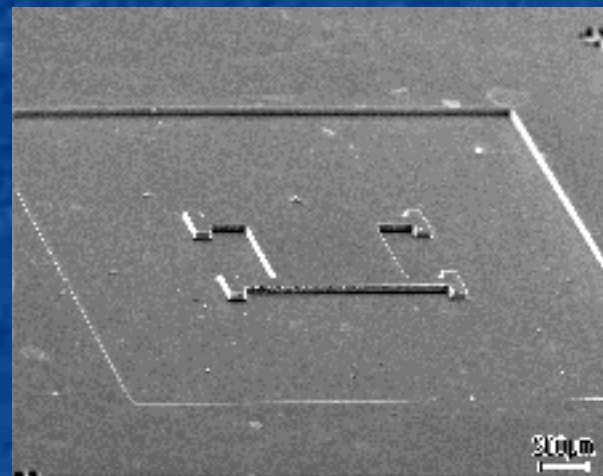
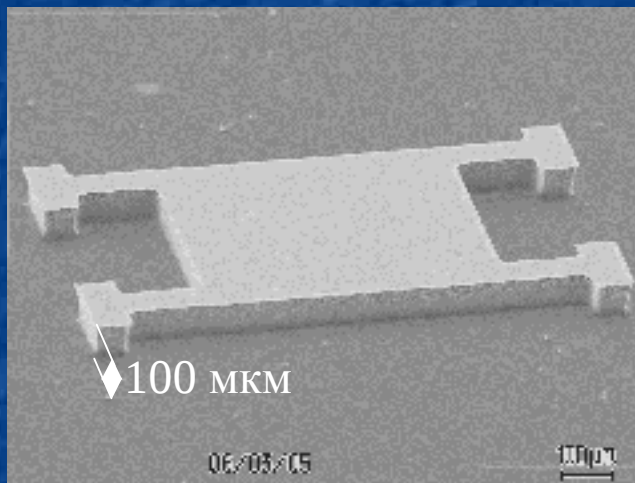
Изотропное травление Si



Глубокое травление Si без пассивации



Глубокое травление Si без пассивации

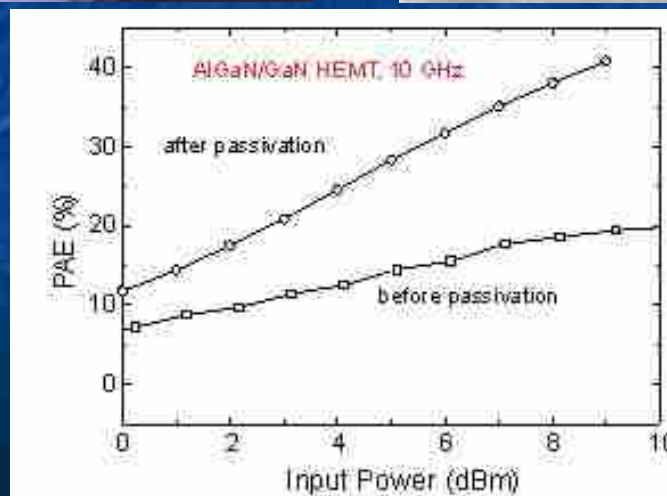
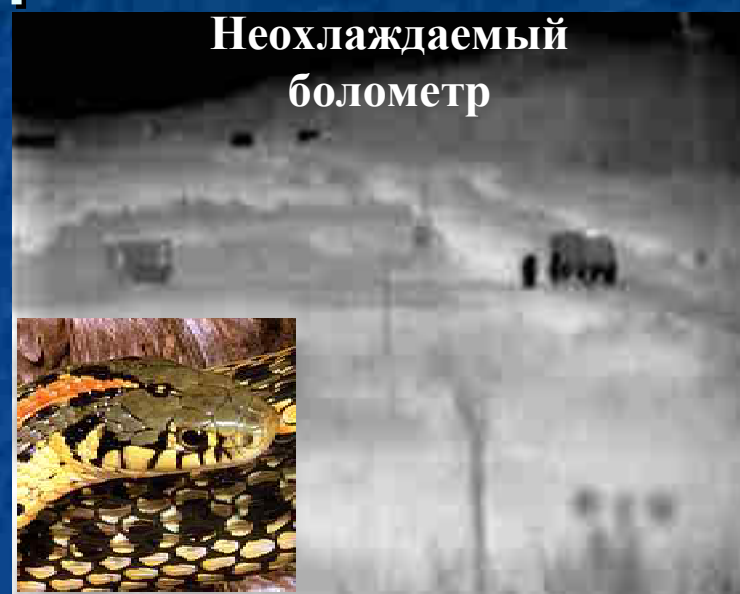


Травление с пассивацией («бош-процесс»)



Для глубокого ПХТ в серийном производстве необходимо наладить изготовление сменной оснастки и электростатических подложкодержателей с гелиевой подушкой охлаждения. В двух исполнениях: металлокерамический и металлопластовый.

ВЫВОДЫ



Фундаментальные исследования были поддержаны



РАН

Грант 01.20 00 00 763, “Физические и технологические основы эпитаксии, осаждения многослойных структур и наноструктурирования”

Грант программы РАН “Физика и технология наноструктур”

Министерство промышленности, науки и технологий

Грант “Исследование физических основ и разработка технологии СВЧ мощных транзисторов на основе широкозонных материалов”;

Грант “Исследования перколяционных и квантовых эффектов effects в квази-2D системах”



**Министерство промышленности,
науки и технологий**
Российской Федерации

Фундаментальные исследования были поддержаны



Российское агентство систем управления

Контракт “Исследования и разработка основ технологии транзисторов с размерами элементов менее 0.1 μkm ”



Science & Technology

Офис военно-морских исследований США

Грант программы “Широкозонные полупроводники”



CNRS, Франция

Грант “ЭЦР-плазменно стимулированная пассивация широкозонных транзисторов”

Спасибо за внимание