



***Современные методы и оборудование для исследования  
полупроводниковых структур микро- и наноэлектроники  
в центре коллективного пользования "Белмикроанализ"  
ОАО "ИНТЕГРАЛ"***

Петлицкая Т.В.  
нач. сектора контроля качества техпроцессов и ИЭТ  
Филиала НТЦ «Белмикросистемы»  
ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
Минск  
Беларусь

## Государственный центр «Белмикроанализ»

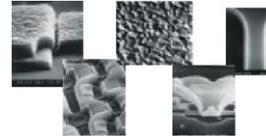


Государственный центр  
«Белмикроданализ»  
выполняет

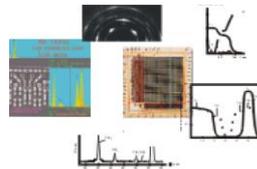
Арбитражную техническую  
экспертизу электронной элементной  
базы для установления физических  
механизмов и причин отказов



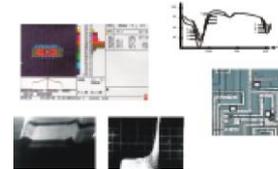
Анализ структурно-морфологических  
свойств твердотельных материалов  
и тонкопленочных структур с  
субмикронным разрешением



Экспертную оценку качества  
тонкопленочных и других  
твердотельных материалов по  
анализу их количественного и  
качественного элементного состава  
по поверхности и объему образца

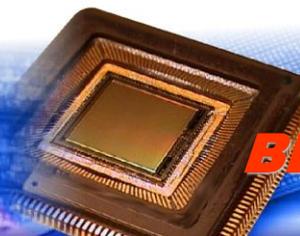


Измерения электрофизических и  
оптических параметров  
твердотельных образцов,  
спектрофотометрические измерения  
состава оптически прозрачных  
средств



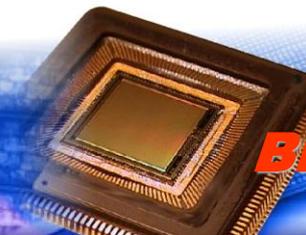
## ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГЦ «БЕЛМИКРОАНАЛИЗ»

- Анализ отказов
- Аттестация технологического процесса
- Анализ конструкции ИМС
- Прецизионные измерения ВАХ и ВФХ базовых элементов ИМС
- Контроль химического состава



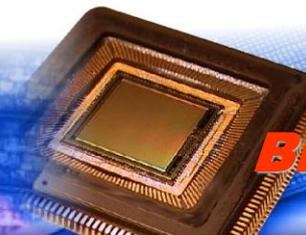
## АНАЛИЗ ОТКАЗОВ

- Контроль ВАХ прибора
- Рентгеновская дефектоскопия
- Изоляция отдельных элементов и контроль их электрических параметров
- Послойный анализ топологии ИМС
- Контроль дефектов кремниевой подложки



## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИМС

- Определение конструктивных особенностей корпуса ИМС
- Послойная оцифровка топологии
- Анализ вертикальной структуры ИМС
- Контроль ВАХ и ВФХ базовых элементов ИМС
- Анализ химического состава элементов корпуса и кристалла

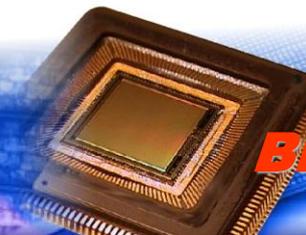


## АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

- Контроль критических линейных размеров
- Контроль ионнолегированных областей
- Аттестация стандартных образцов
- Контроль уровня ионных загрязнений
- Аттестационные испытания диэлектриков

## АТТЕСТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ

- Контроль заряда пробоя диэлектрика
- Контроль подвижного заряда в диэлектрике
- Контроль плотности поверхностных состояний на границе  $\text{Si}/\text{SiO}_2$
- Контроль деградации субмикронных МОП транзисторов под действием горячих носителей



## СКАНИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

Растровый электронный микроскоп  
высокого разрешения S-4800 ф. Hitachi (Япония)  
EDX спектрометр Bruker Quantax 200

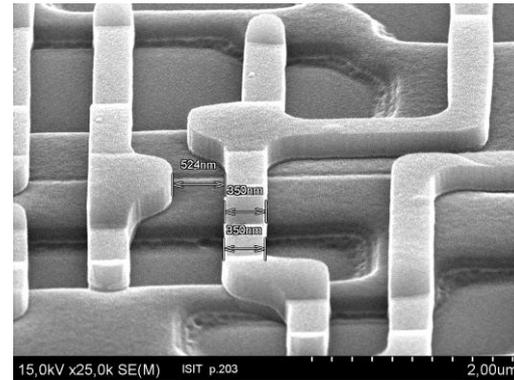
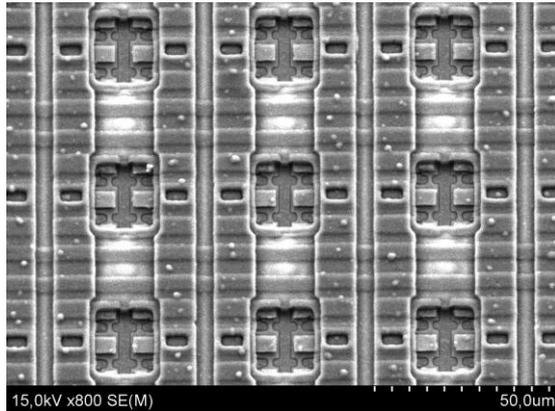


Разрешение –	1 нм.
Макс. увеличение –	800 000*
Макс. размер образцов –	200x200x2 мм <sup>3</sup> .
Определяемые элементы –	B – U
Чувствительность	0,1%

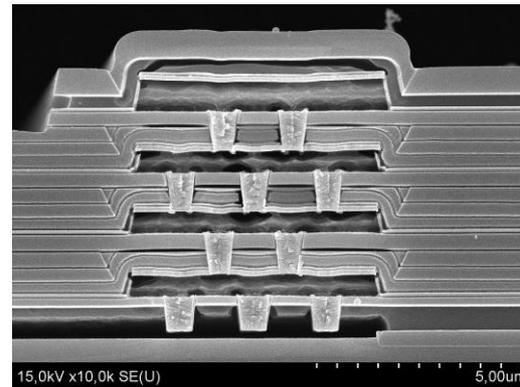
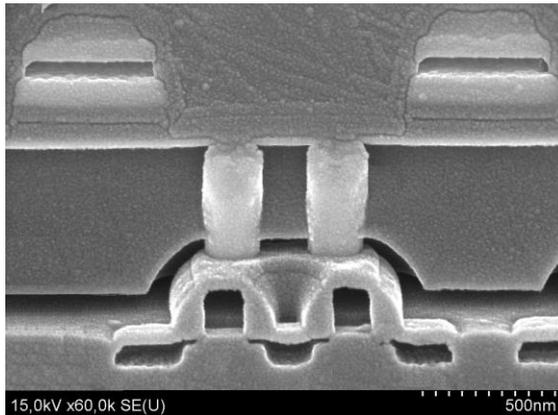
## Растровый электронный микроскоп Hitachi S-3400



Разрешение – 4 нм.  
Макс. увеличение – 300 000\*  
Макс. размер образцов – 150x150x2мм<sup>3</sup>.

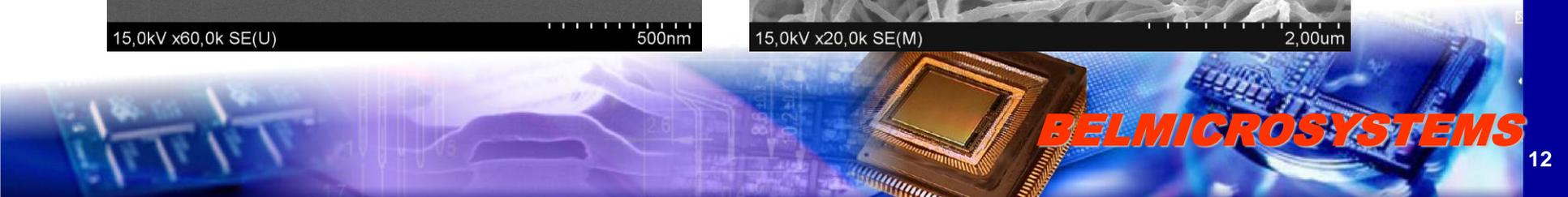
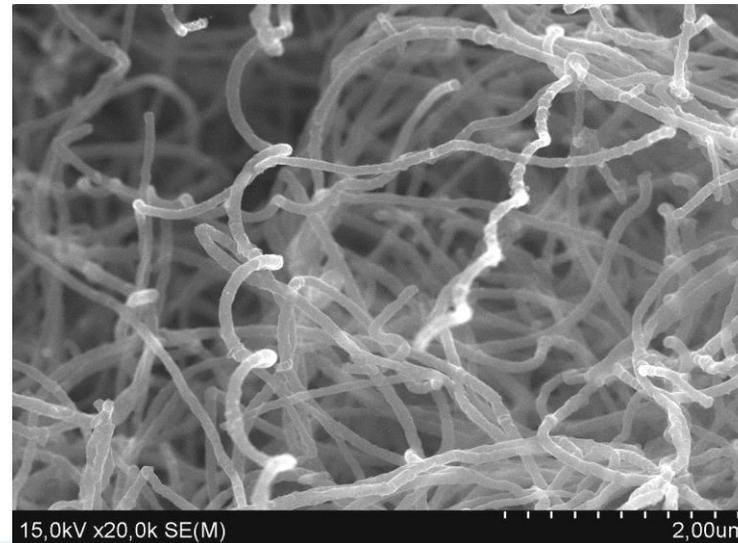
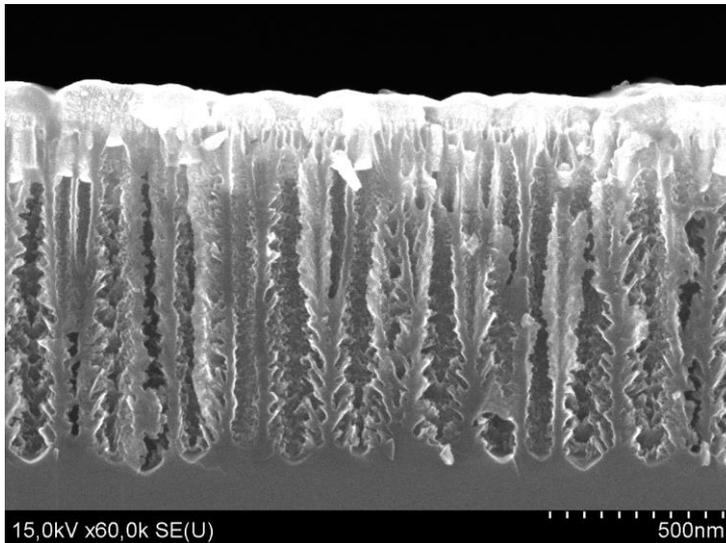
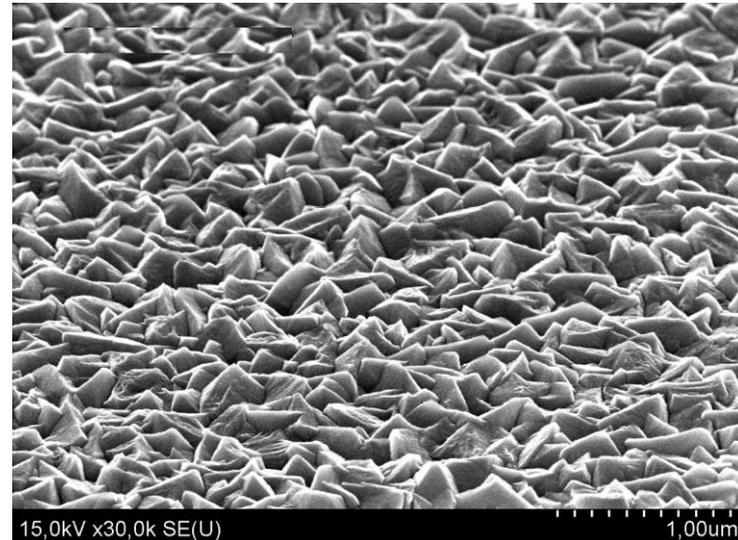
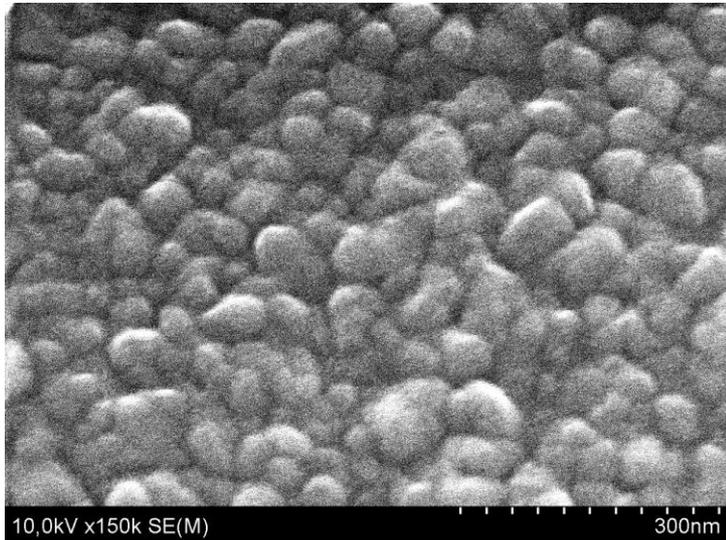


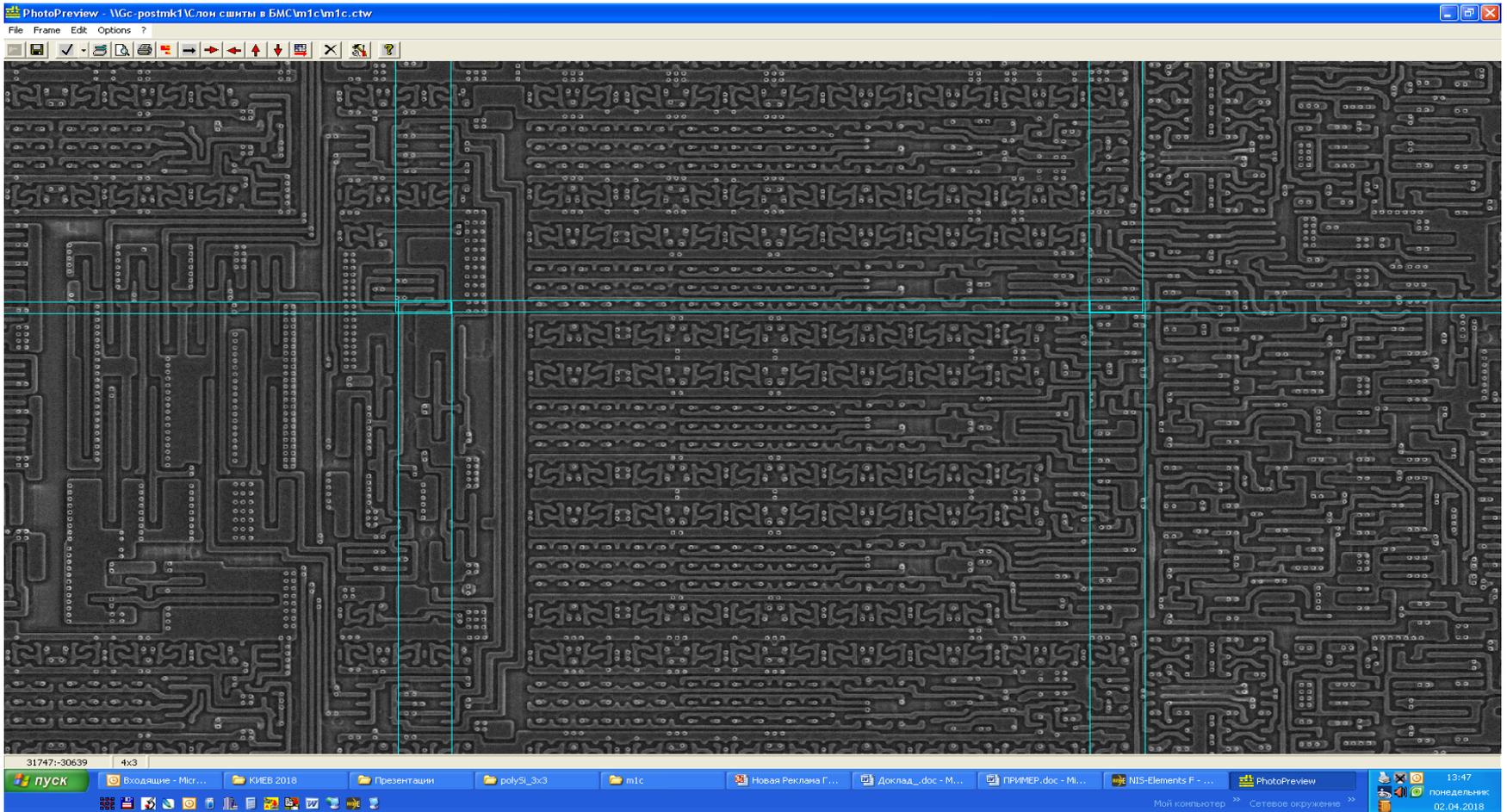
**ТОПОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СБИС**



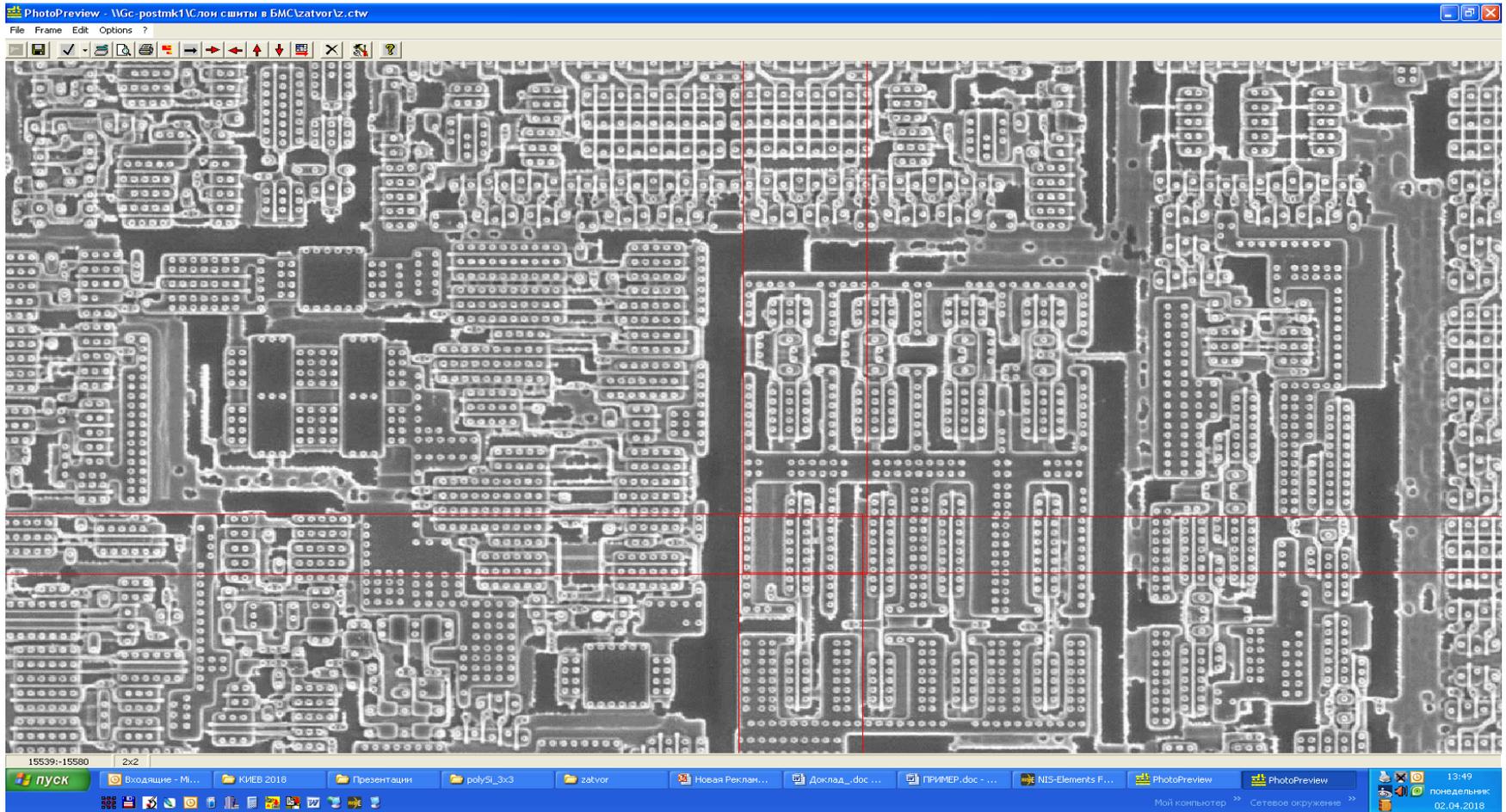
**сколы кристаллов СБИС**







Фрагмент поверхности топологического слоя Me1 4000x

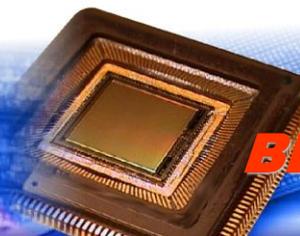


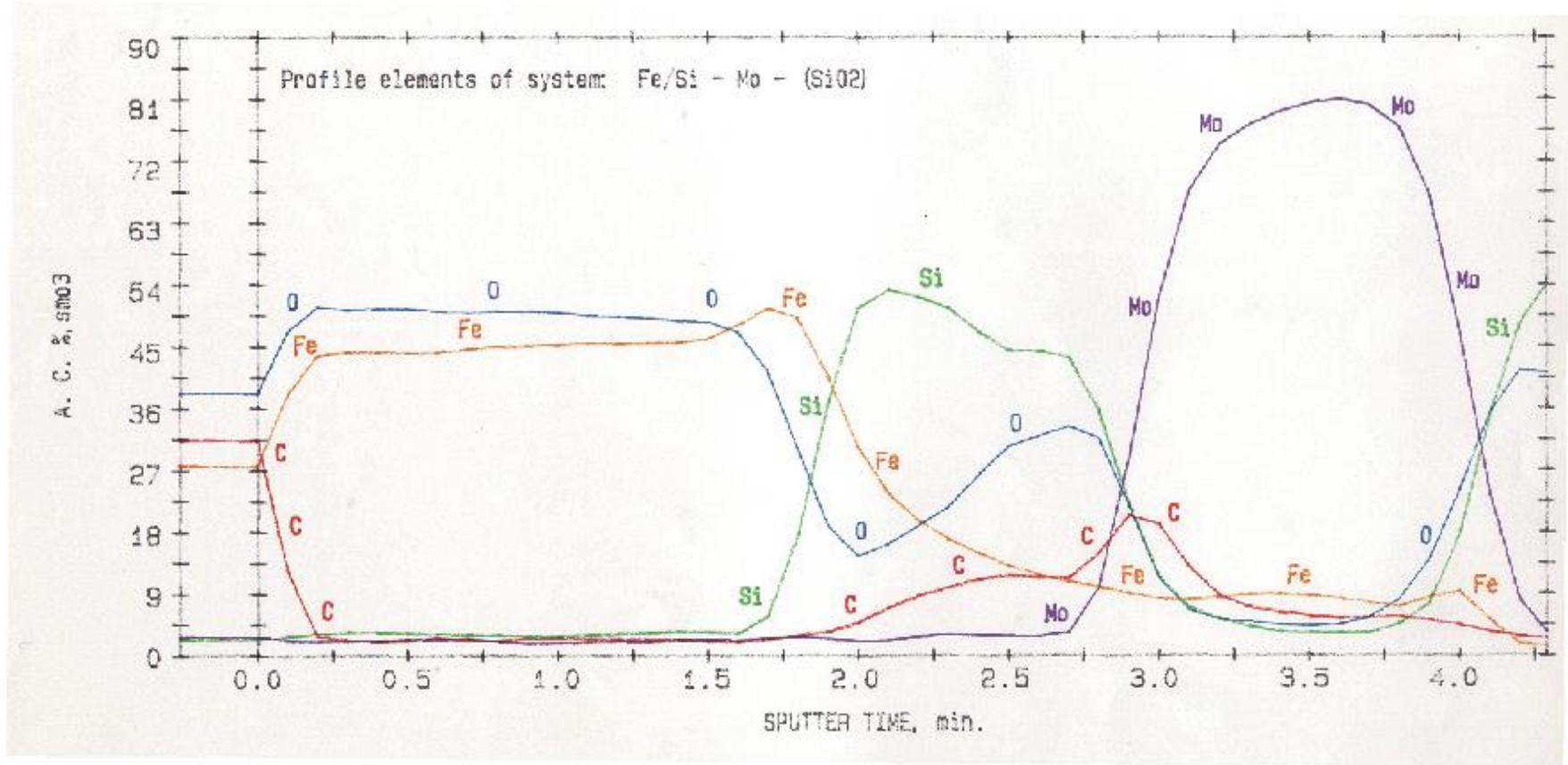
Фрагмент поверхности топологического слоя «Затворы» 5000x



**Электронный Оже спектрометр PHI-660 Perkin-Elmer**

Анализируемые элементы – Li - U  
Разрешение по глубине 3,0 нм  
Локальность 0,1 мкм  
Чувствительность 0,1 %





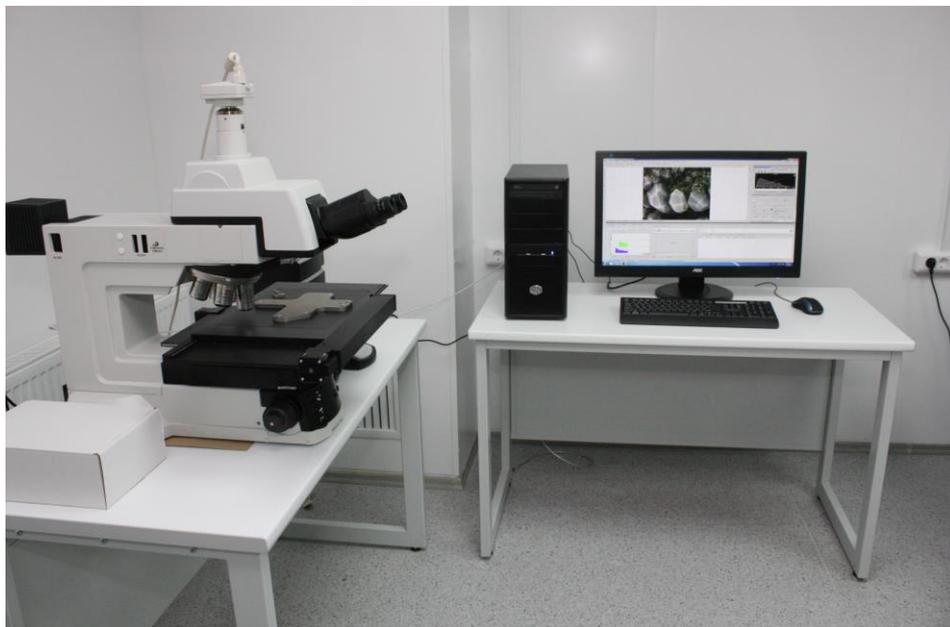
профили распределения элементов в системе Fe/Si – Mo – SiO<sub>2</sub>



## Оптический микроскоп Leica INM100 (Германия) с УФ-приставкой



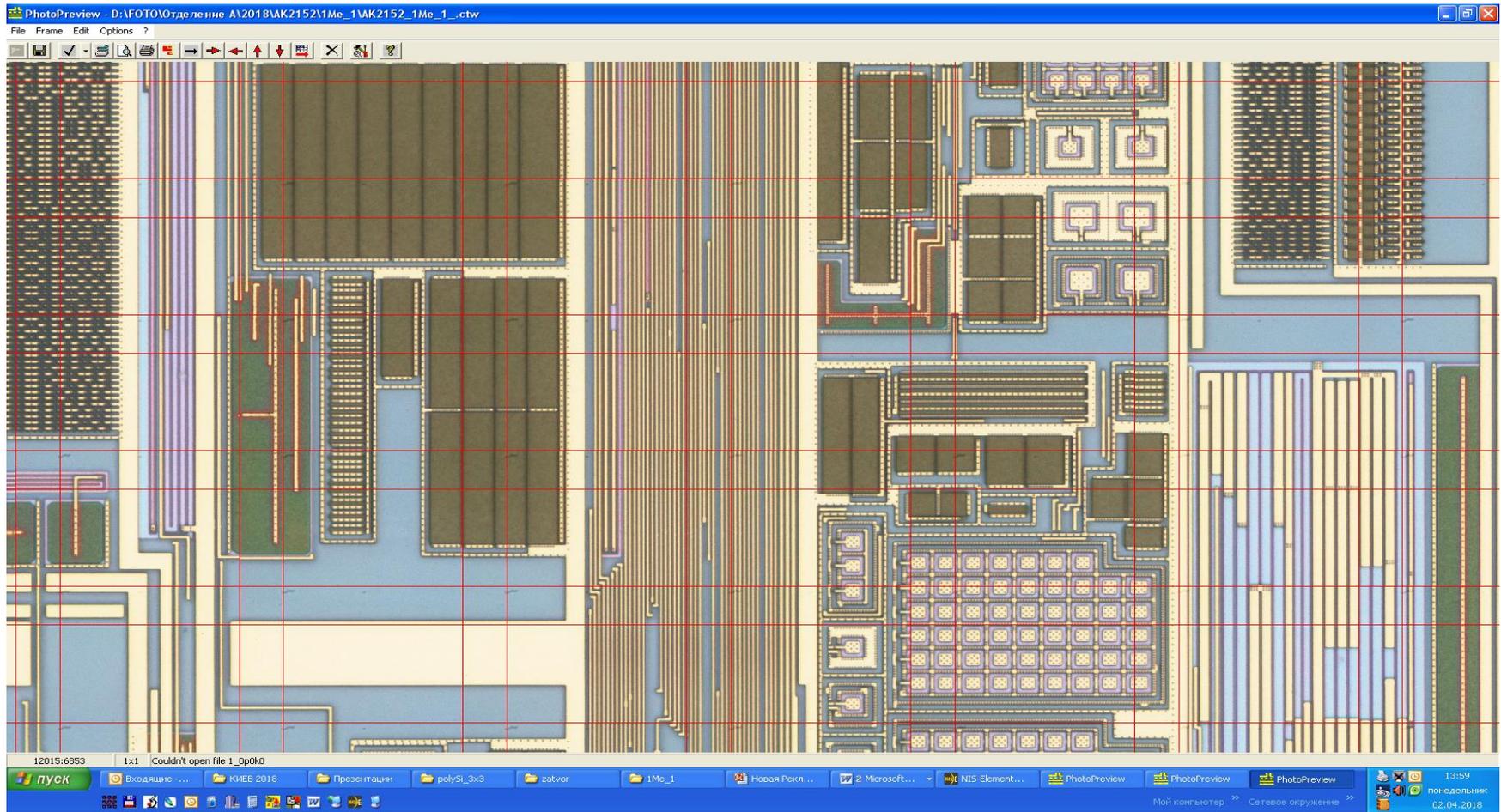
Светлое поле	
Темное поле	
DIC контраст	
Оптическое увеличение	1500*
УФ-режим	6000*
Шаг сканирования	0,1 мкм

**Оптический микроскоп Nikon L200D (Япония) с УФ-приставкой**

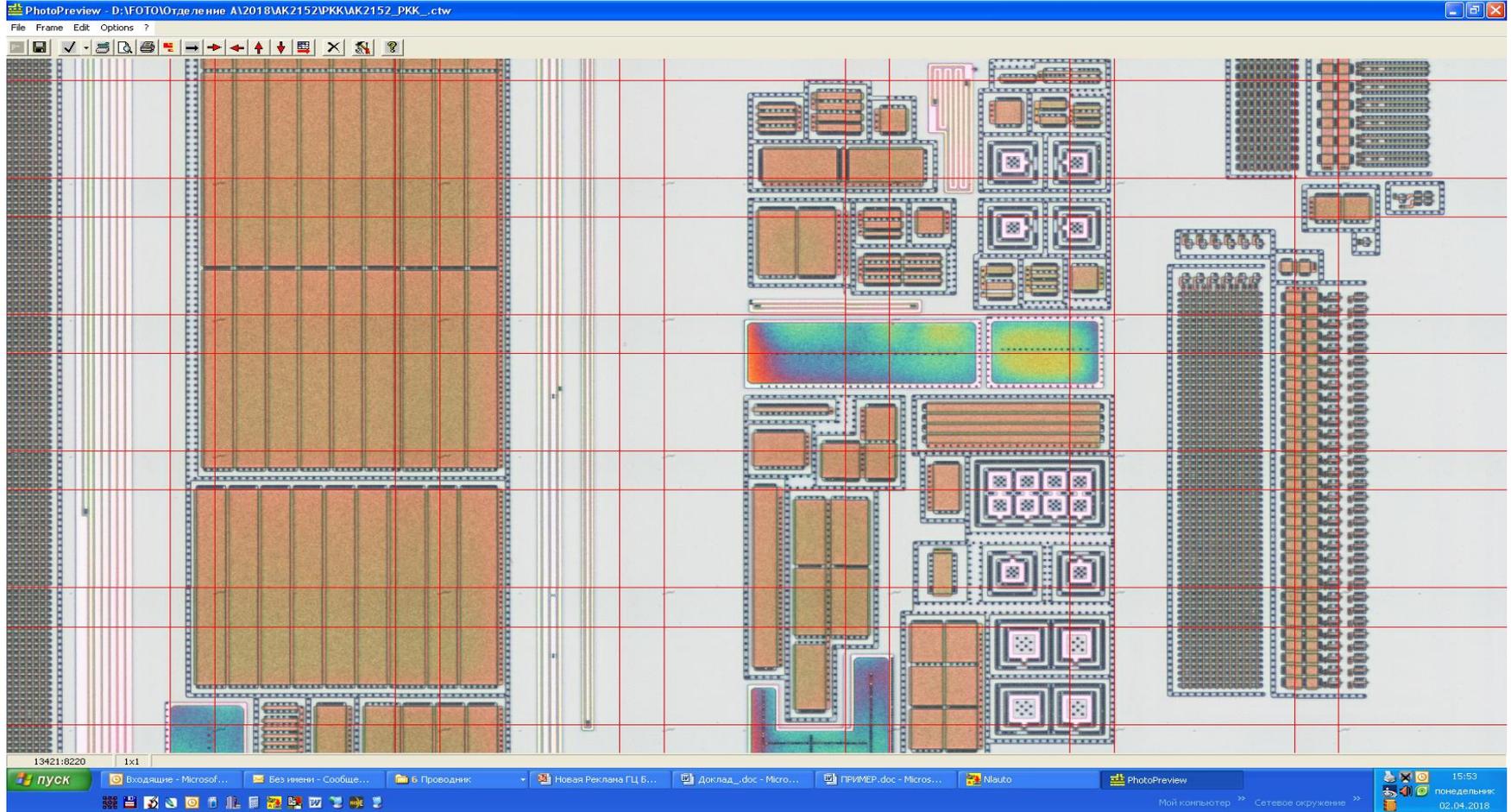
Светлое поле	
Темное поле	
DIС контраст	
Оптическое увеличение	1500*
УФ–режим	6000*
Шаг сканирования	0,1 мкм

**Оптический микроскоп Micro UV (Беларусь) с УФ-приставкой**

Светлое поле  
Темное поле  
DIC контраст  
Оптическое увеличение 1500\*  
УФ-режим 6000\*



Фрагмент поверхности топологического слоя Me1 800x



Фрагмент поверхности топологического слоя «Затворы» 800x

## Метод фотонной эмиссии

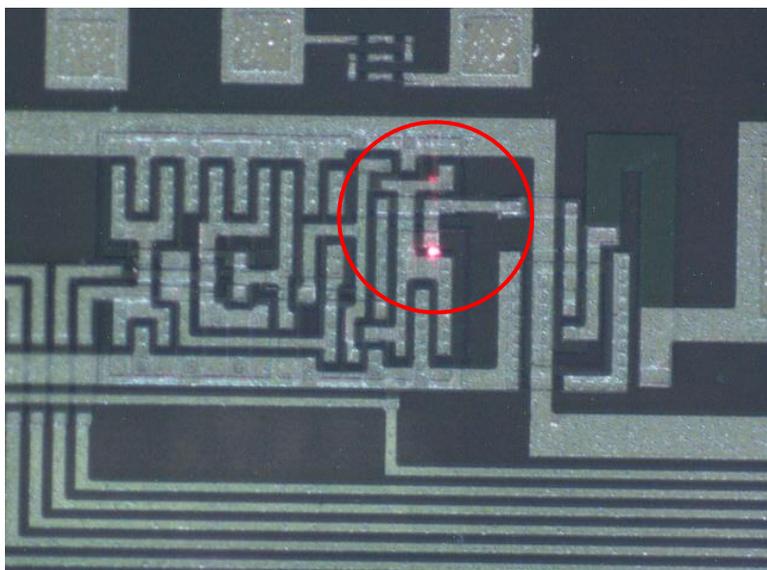


Фото поверхности интегральной микросхемы.  
(Локализованное место отказа обведено)

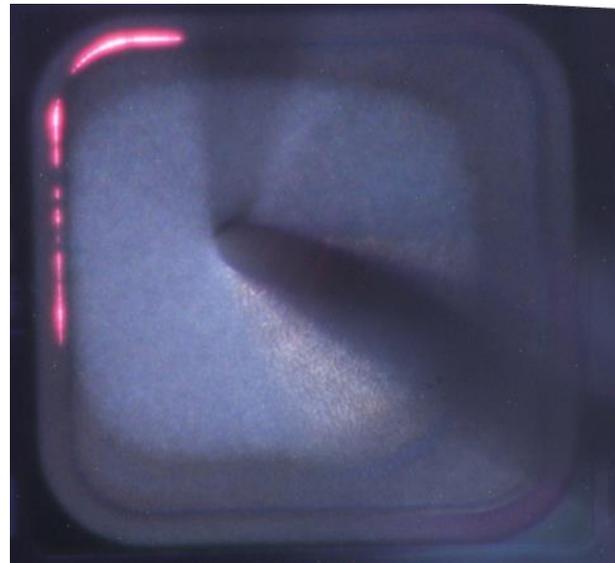


Фото поверхности диода Шоттки  
(охранное кольцо светится неравномерно)



- Измеритель параметров п/п приборов Agilent B1500A
- Зондовая станция Cascade Summit 11000B-AP



Диапазон измерений

I	1fA - 100mA
C	1fF - 100μF
V	2μV - 100V
R	10μΩ - 20MΩ
T	-60°C ÷ +150°C

- Измеритель параметров п/п приборов В1500А
- Зондовая станция MPI TS2000-SE



Диапазон измерений

I 10fA - 1A

C 1fF - 100μF

V 2μV - ± 200V

R 10μΩ - 20MΩ

T -60°C ÷ +200°C

f 5 Гц – 3ГГц

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Измерительный комплекс HP4061A
- Прецизионный измеритель LCR E4980A
- Зондовая станция Micromanipulator 7000



Диапазон измерений

I	1fA - 100mA
C	0,1fF - 100μF
V	2μV - 100V
R	10μΩ - 20MΩ
T	20°C ÷ +150°C

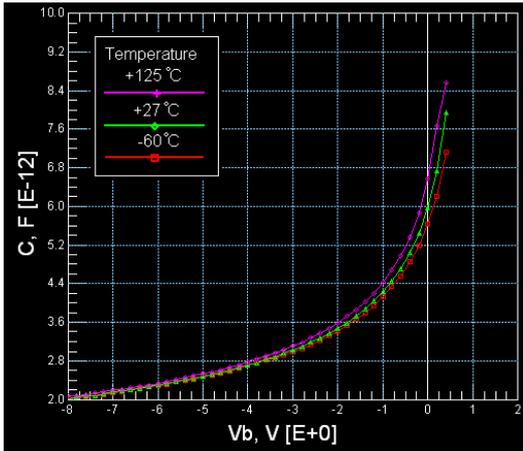
**Электрическая изоляция элементов ИМС**

**Лазерный резак EzLaze3 ф. New Wave Research**

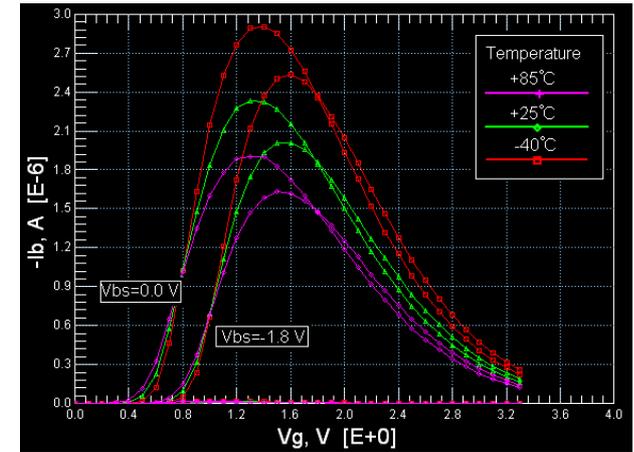


Диапазон резки:  
 $1 \times 1 \mu\text{m} \div 100 \times 100 \mu\text{m}$



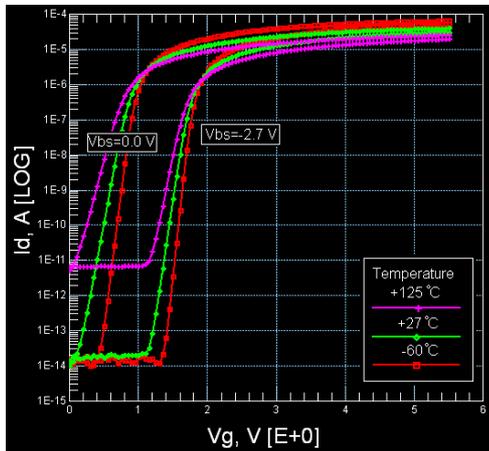


Емкость р-п перехода

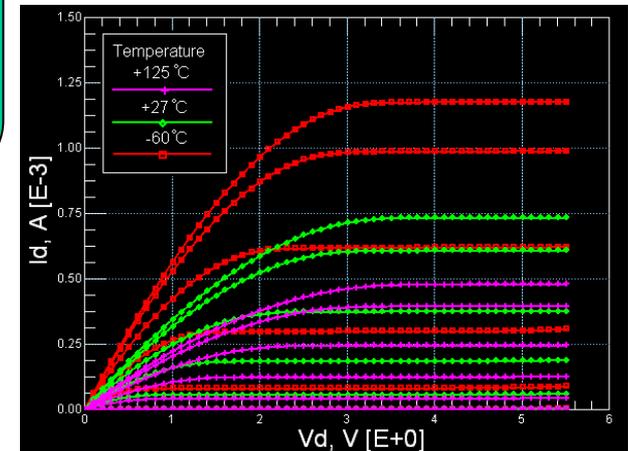


Ток в подложку

Измерение ВФХ и ВАХ NMOS-транзистора в диапазоне температур для экстракции SPICE параметров



Допороговая характеристика



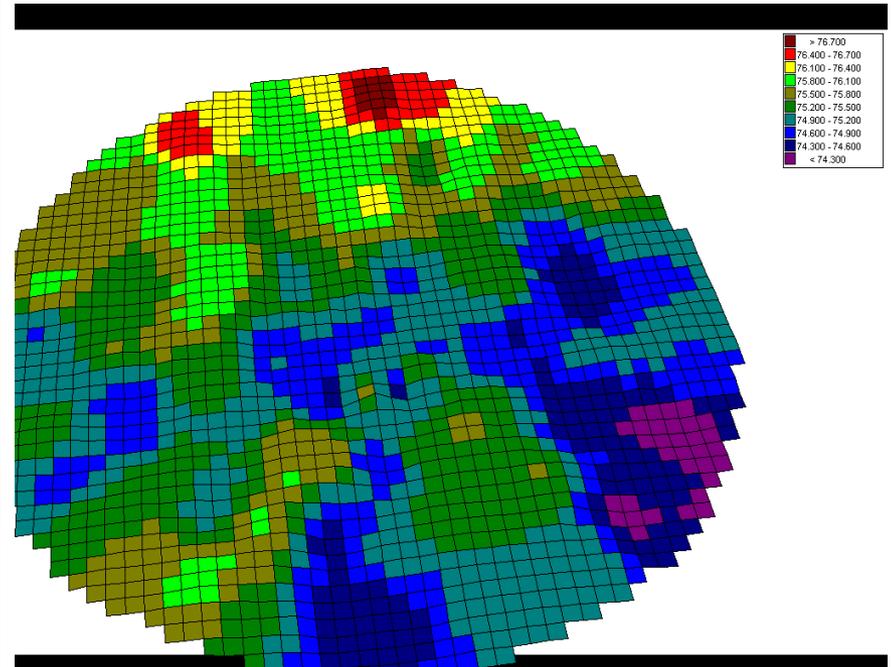
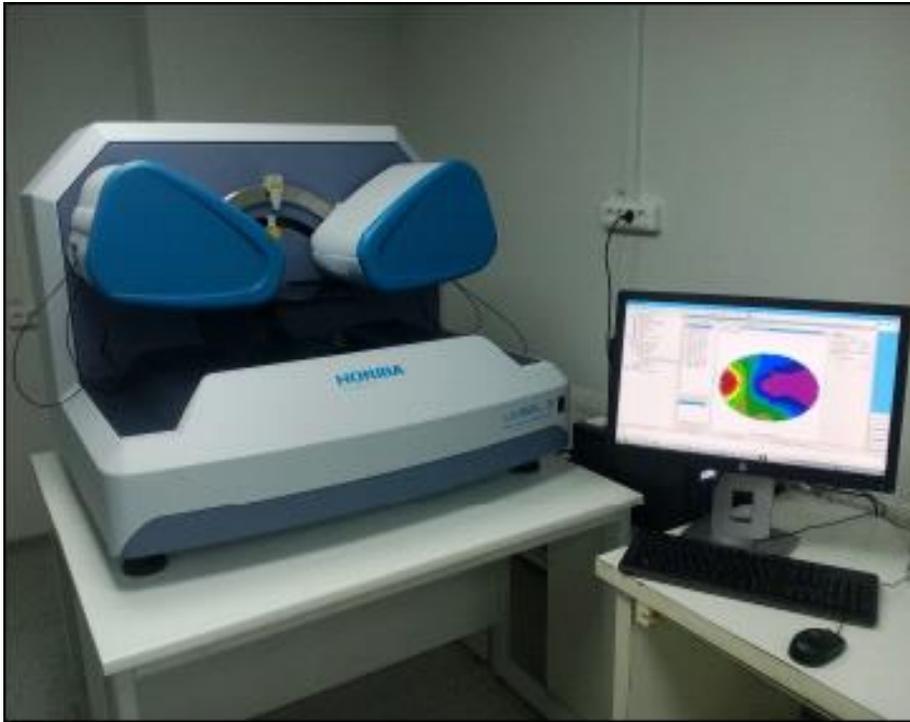
Выходная характеристика

## Инфракрасный Фурье спектрометр Bruker Vertex 70



Спектральный  
диапазон  
 $7500\text{-}375\text{ см}^{-1}$

**Спектральный эллипсометр UVISEL 2, фирмы Horiba**



Спектральный диапазон: 190 -2100 нм

Карта распределения толщины SiO<sub>2</sub>



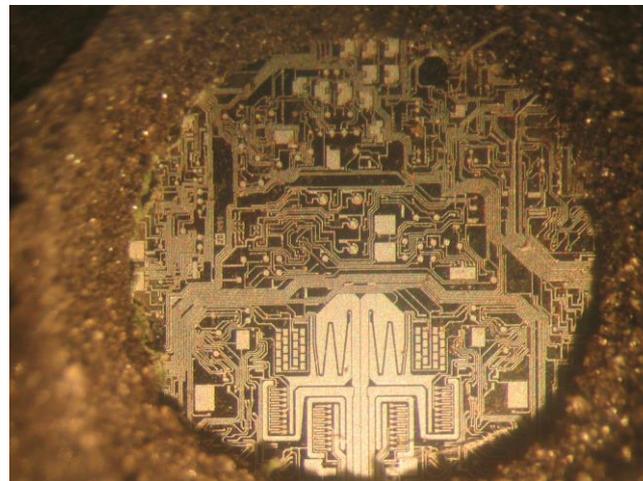
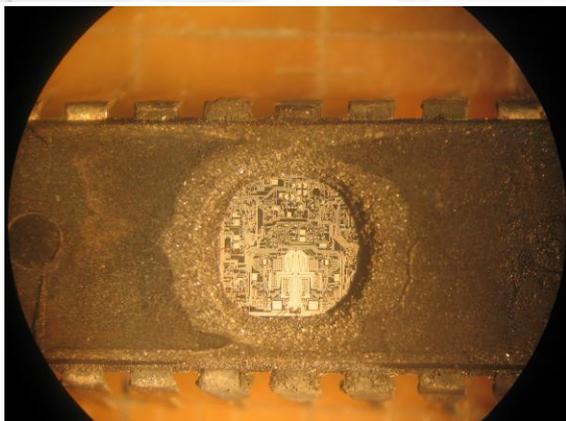
- Система локального декапсулирования PS101
- Комплект по пробоподготовке образцов Ф. Vuehler (резка, запрессовка, полировка)
- Установка селективной шлифовки и полировки ASAP-1
- лабораторная система высокоточной пробоподготовки Multiprep System (ALLIED High Tech Products)
- лабораторная установка реактивно-ионного травления Mini Plasma Pod (ф. JLS, Англия)





Локальное вскрытие корпусов микросхем с сохранением работоспособности микросхем

- минимальная локальная область 3.0 x 3.0 мм;
- максимальная локальная область 10.0 x 10.0 мм



## Комплект по пробоподготовке образцов ф. Buehler



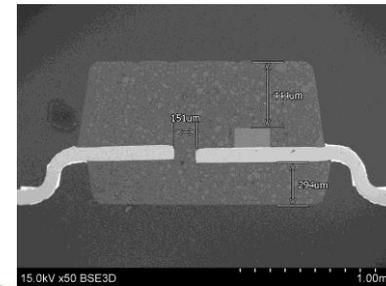
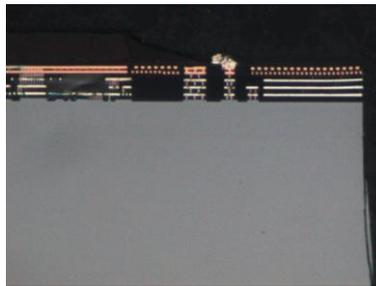
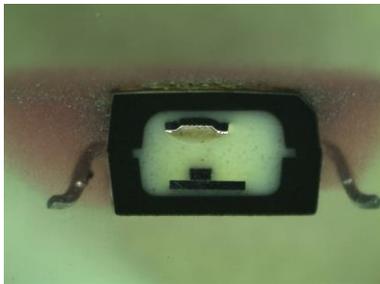
**Отрезной станок**



**Устройство  
запрессовки**



**Шлифовально-  
полировальный  
станок**



Система плазмохимического  
и реактивно-ионного  
травления  
*Mini Lab Plasma Pod*

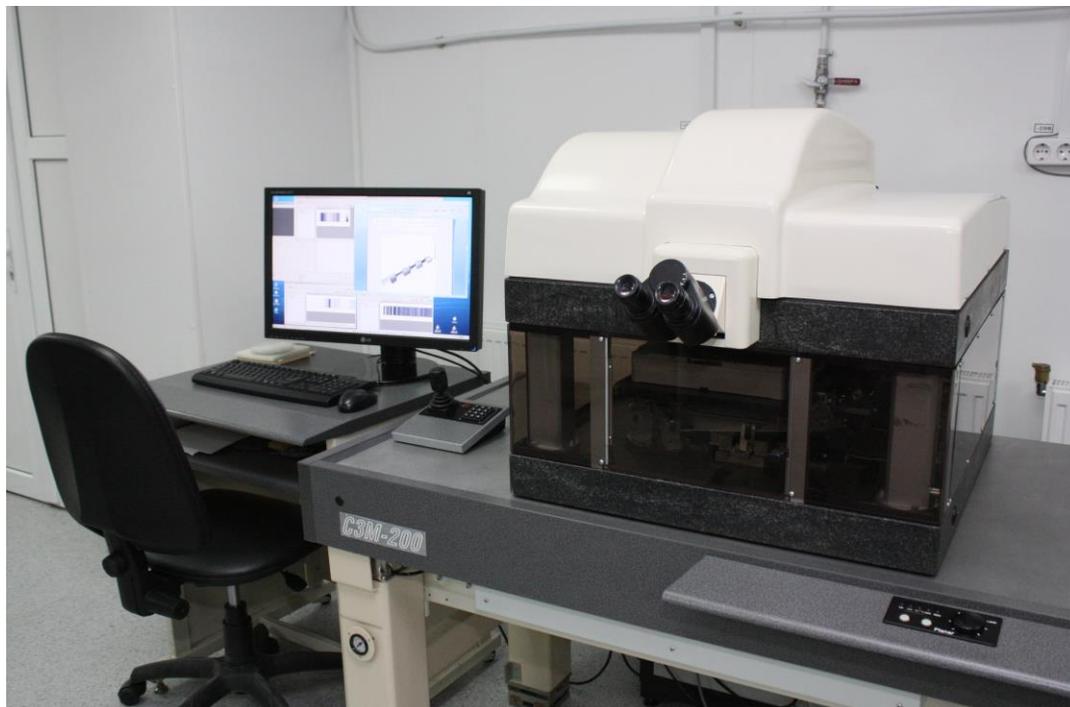


рабочие газы -  $CF_4$ ,  $C_3F_8$ ,  $O_2$ ; частота ВЧ генератора- 13,56 МГц  
мощность – 300 Вт травление диэлектриков

## Пробоподготовка

Система высокоточной полировки *MultiPrep*

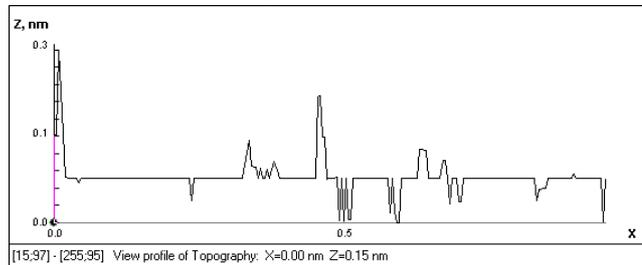
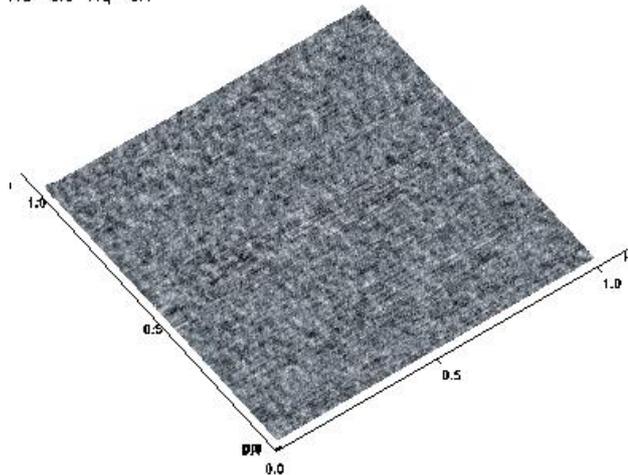


**Сканирующий зондовый микроскоп СЗМ 200  
ИТМО НАНБ, ОАО «Планар»****Основные технические характеристики:**

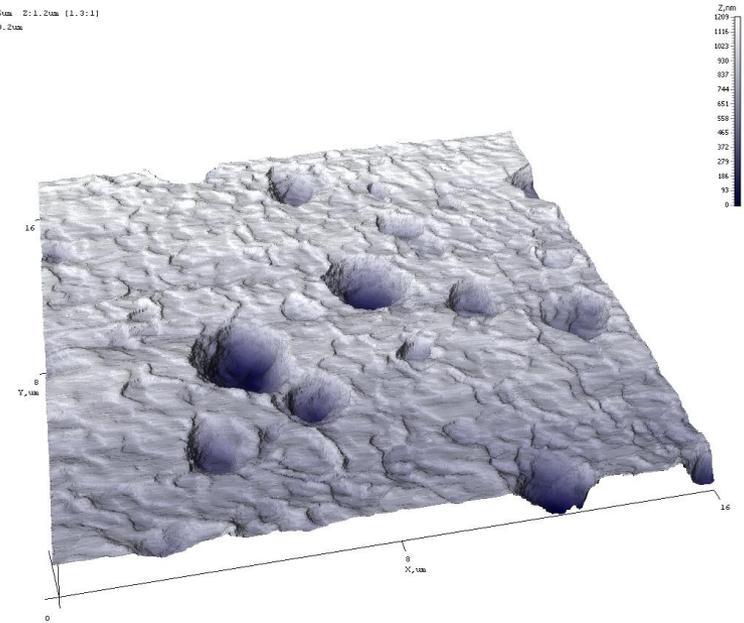
- максимальный диаметр кремниевой пластины – 200 мм;
- разрешающая способность оптической системы – 0,4 мкм;
- разрешение АСМ по (X, Y) –  $1 \div 10$  нм; по (Z) –  $0,1 \div 0,5$  нм.



1.0 x 1.0  $\mu\text{m}$   
 $\Delta z = 1.3 \text{ nm}$   
 $Ra = 0.0$   $Rq = 0.1$



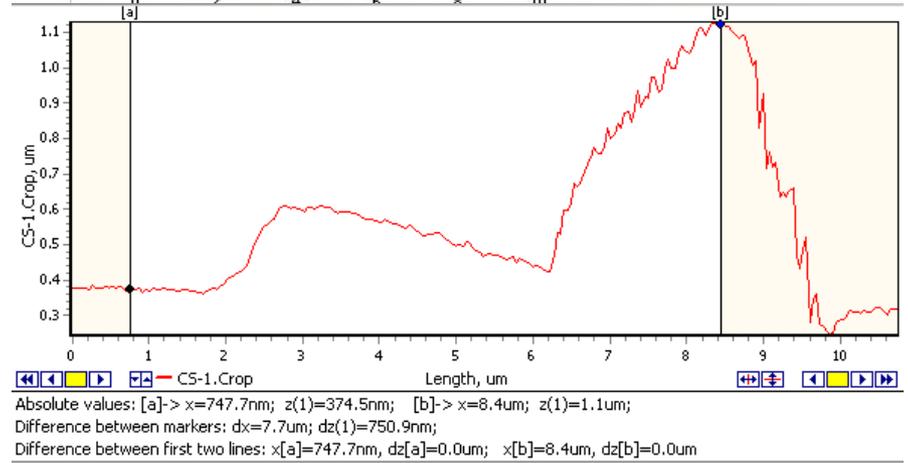
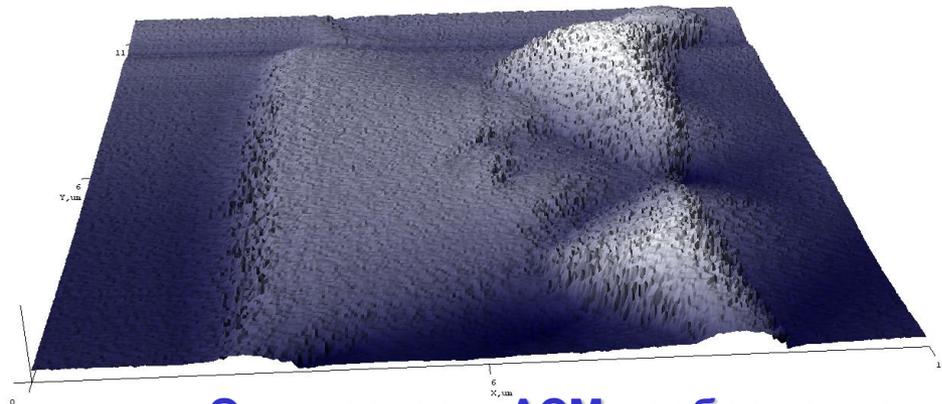
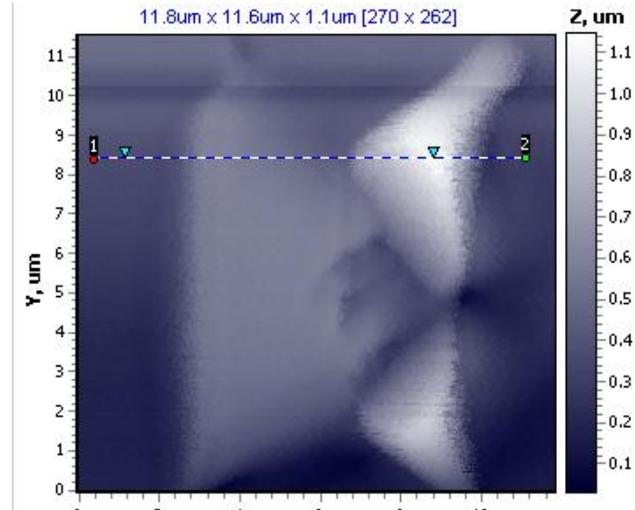
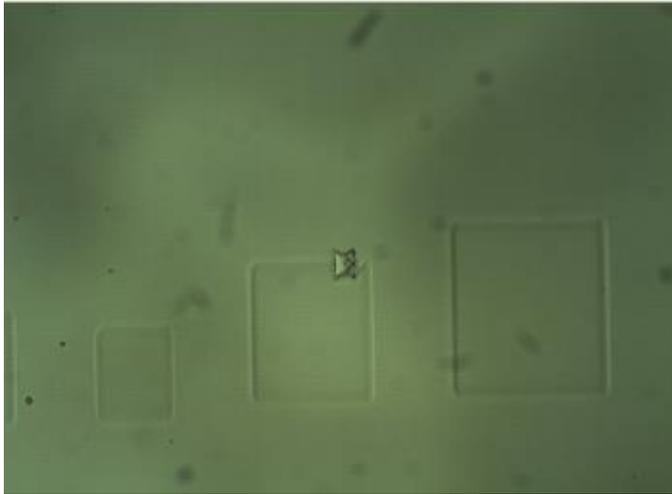
X: 16.6um Y: 16.6um Z: 1.2um (1.3:1)  
Ra: 0.1um Rq: 0.2um



**АСМ-изображение топографии рабочей стороны пластины и профиль поперечного сечения поверхности**

**АСМ-изображение контактной площадки ИМС**

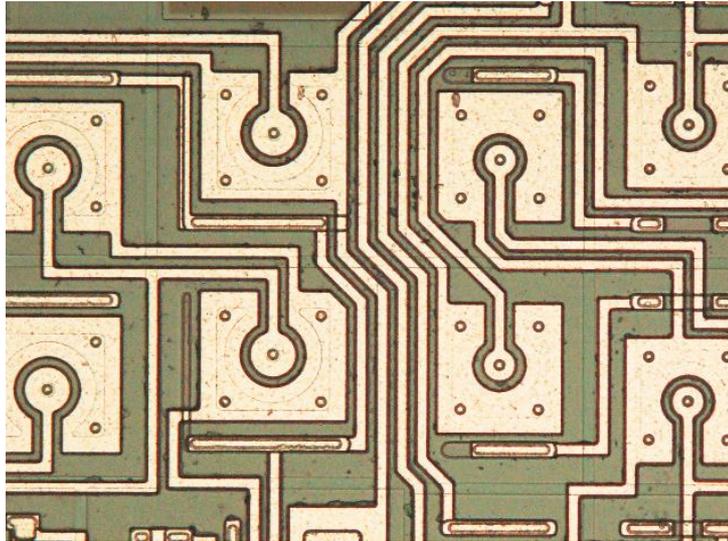




**Оптическое и АСМ-изображение кристаллографического дефекта кремния**



Фрагменты топологии ИМС



Проектные нормы 3.0 мкм



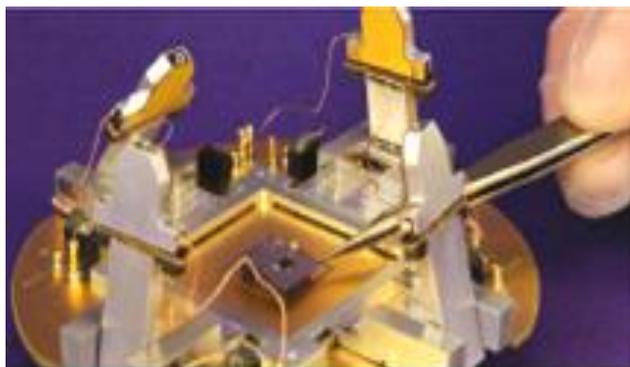
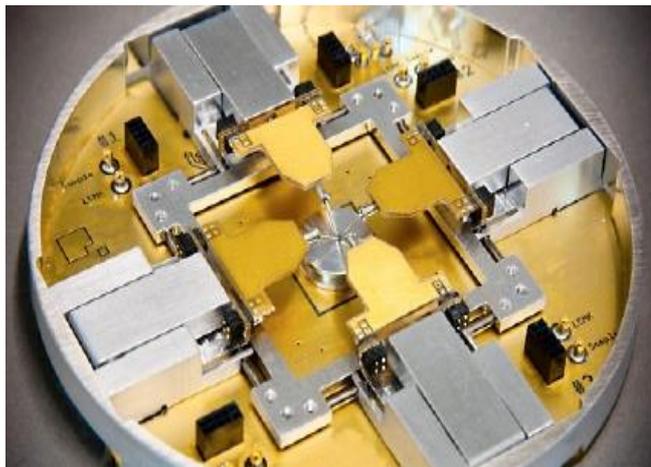
Проектные нормы 0.25 мкм

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС  
НА ОСНОВЕ РАСТРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО  
МИКРОСКОПА HITACHI S-4800

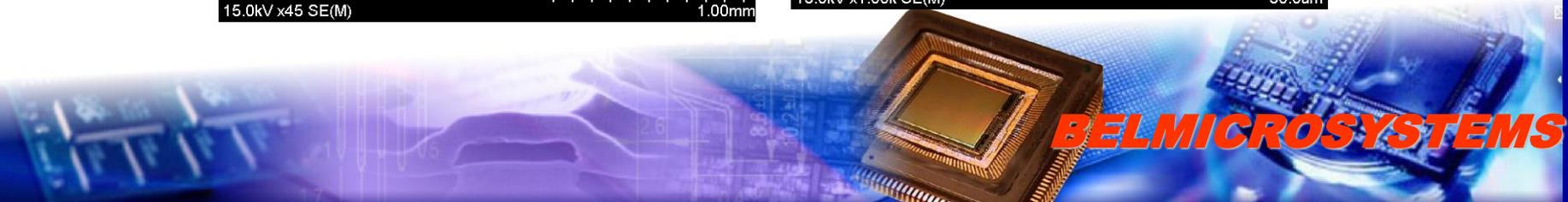
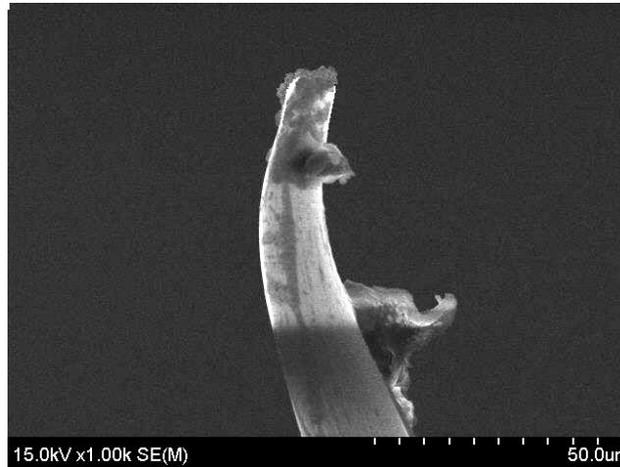
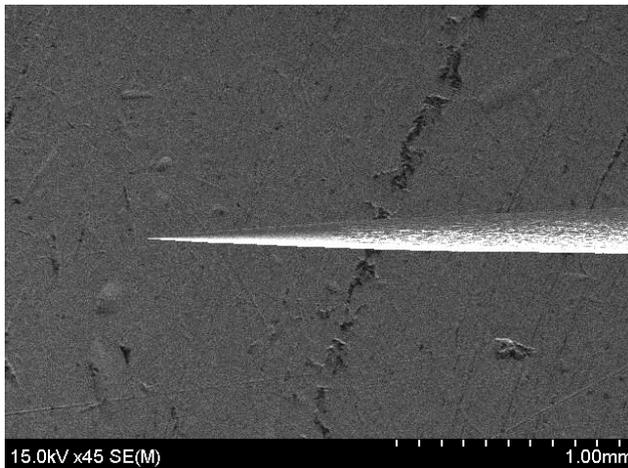
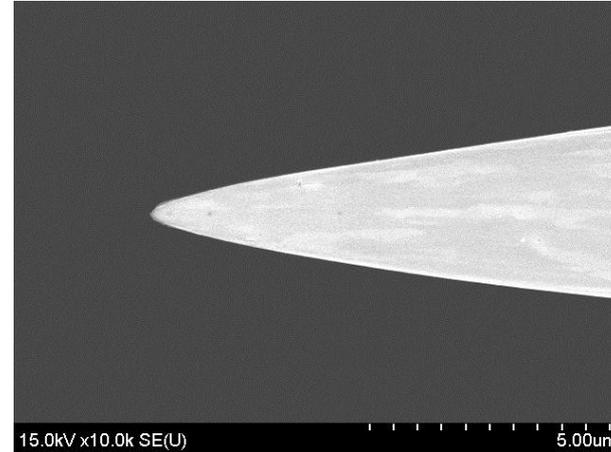
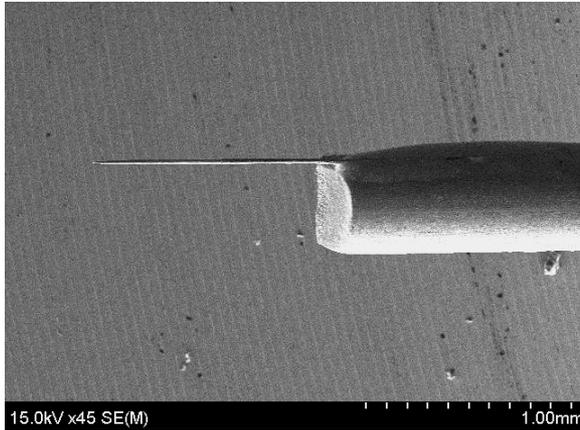


*Пример комплексного анализа ИМС*

**ЧЕТЫРЕХЗОНДОВЫЙ НАНОМАНИПУЛЯТОР  
PS-4 ф. Kleindiek Nanotechnik**



*Нанозонды*

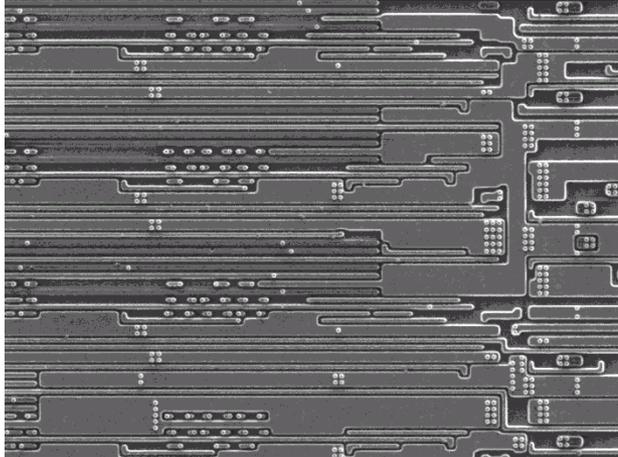


### Подготовка образцов к измерениям с использованием нанозондов

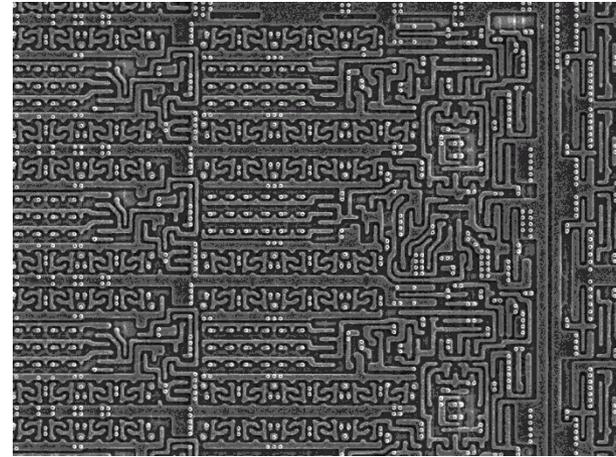
- Извлечение кристалла из корпуса
- Удаление верхних слоев металлизации до вольфрамовых столбиков при помощи химического, плазмохимического травления, химикомеханической полировки
- Наклейка образца на держатель токопроводящим клеем или токопроводящим скотчем



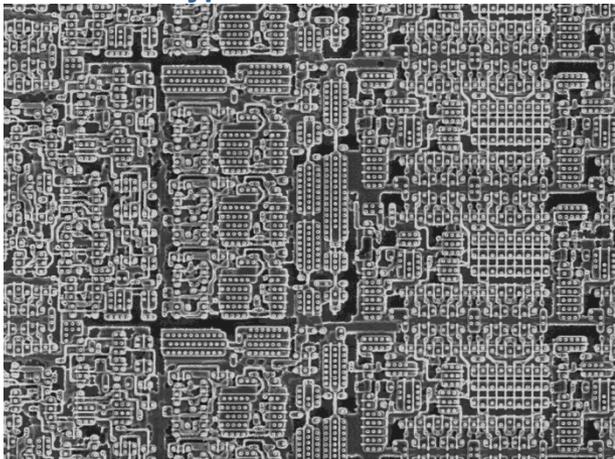
Последовательное удаление слоев ИМС  
до вольфрамовых столбиков к активной структуре



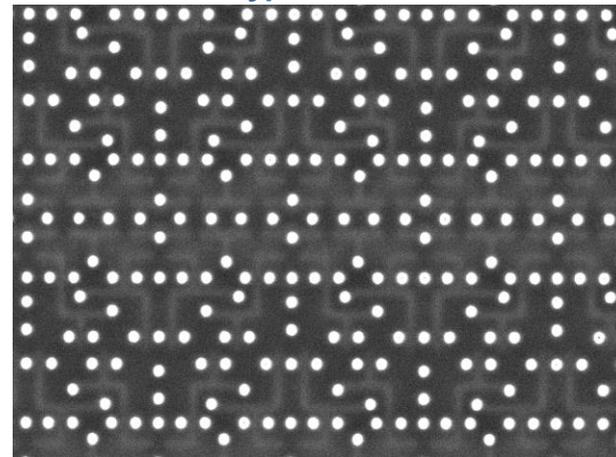
3-ий уровень Me



2-ой уровень Me



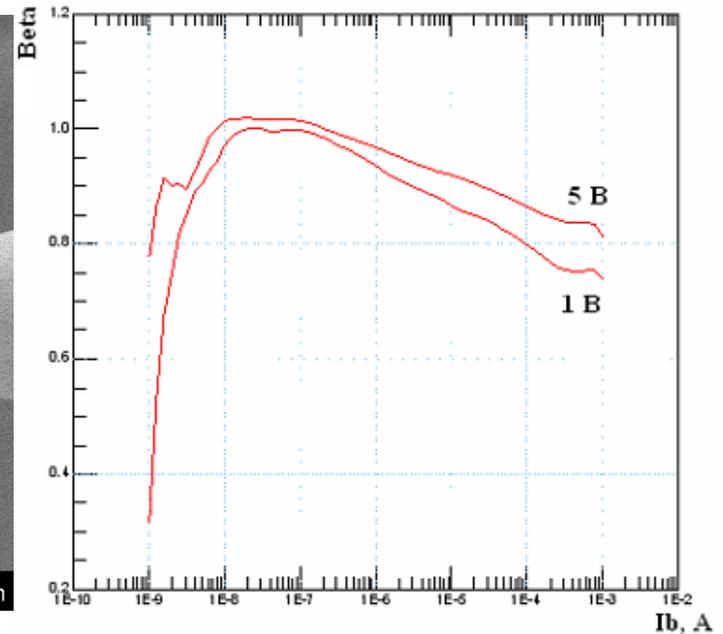
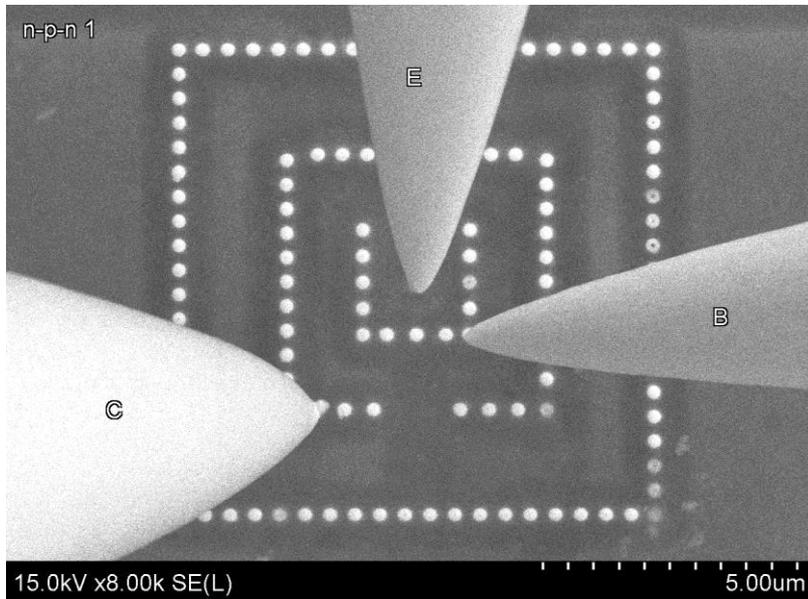
1-ый уровень Me



Контакты к  
активным  
областям

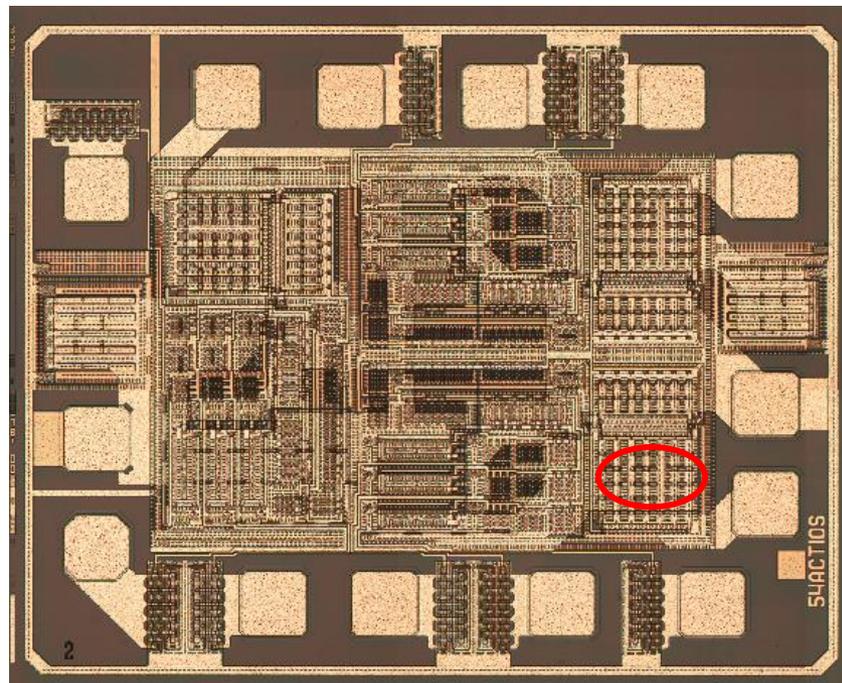
## Пример комплексного анализа ИМС

### Измерения ВАХ биполярных транзисторов

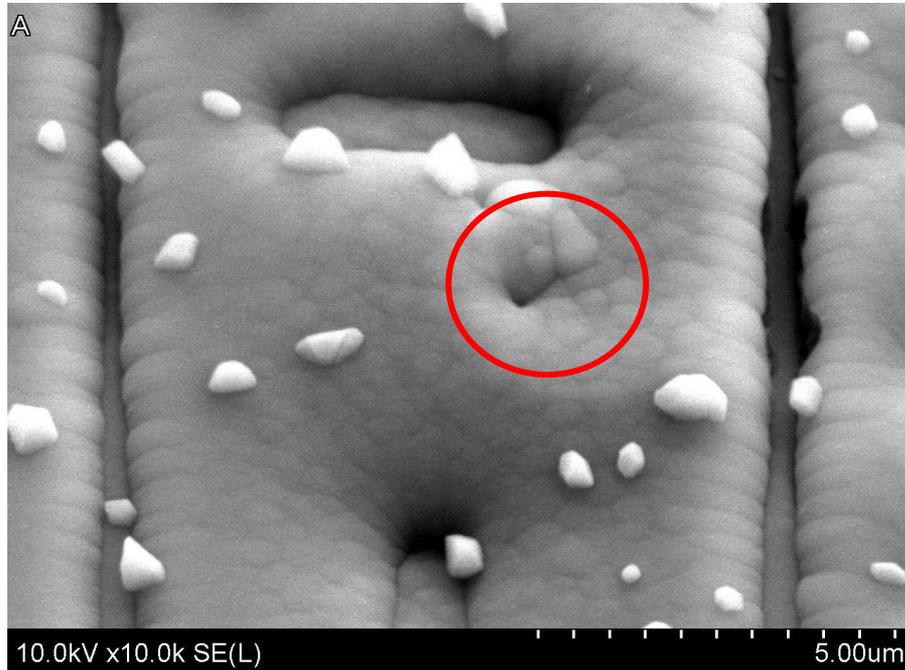


Зависимость коэффициента усиления  $\beta$  биполярного n-p-n – транзистора от тока базы  $I_b$  при значении напряжения на коллекторе 1 и 5 В

Фрагмент пластины исследуемой микросхемы 1594 ЛИ9Т  
с указанием дефекта  
(КМОП-технология, 2 уровня металлизации)



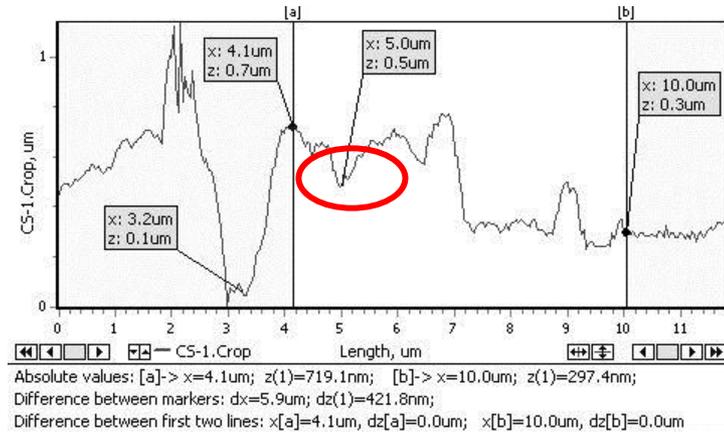
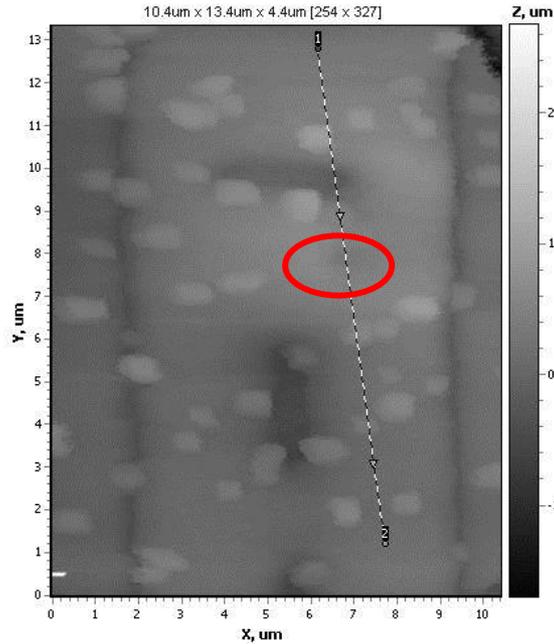
*РЭМ – фото дефекта микросхемы*



Дефект в виде углубления находится в области межслойного диэлектрика (Me2-Me1)



## АСМ-изображение дефекта до полировки



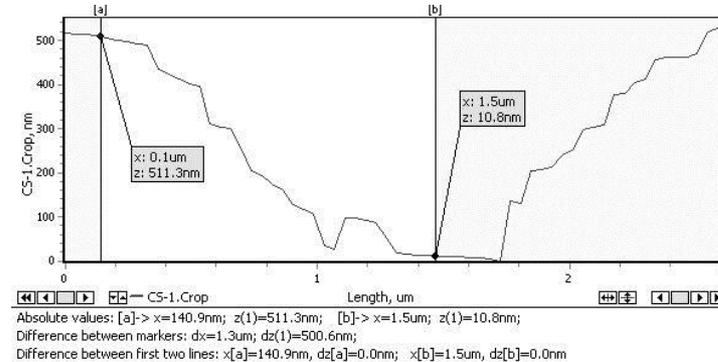
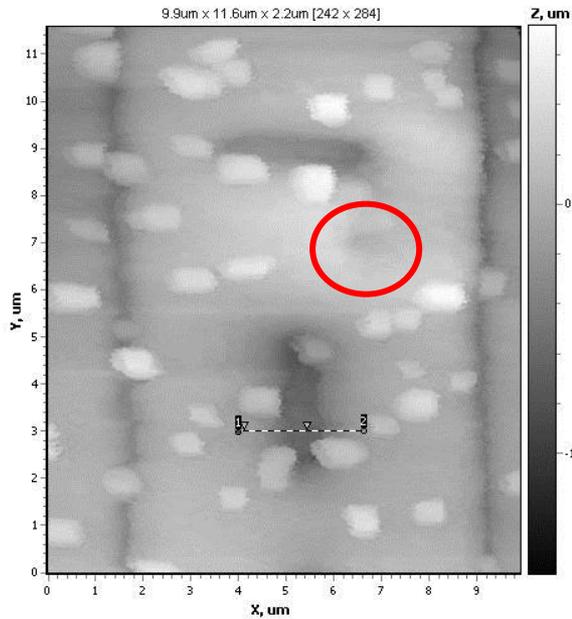
Профиль сечения поверхности кристалла в области углубления в локальном напыле

Изображение топографии кристалла в области углубления в локальном напыле

В результате сканирования выявлена глубина дефекта – 0.2 мкм



## АСМ-изображение контакта до полировки

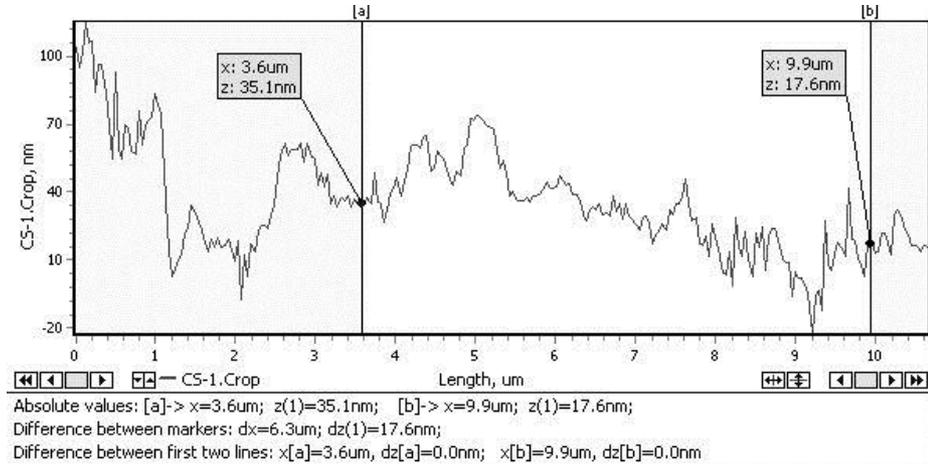
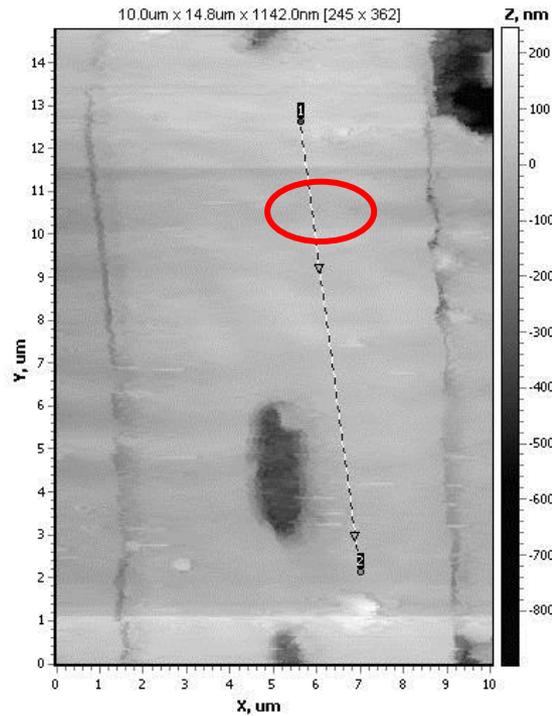


Профиль сечения поверхности кристалла в области вертикального контакта

Изображение топографии кристалла в области вертикального контакта

Глубина контактного окна составила 0.5 мкм

## АСМ-изображение дефекта после полировки

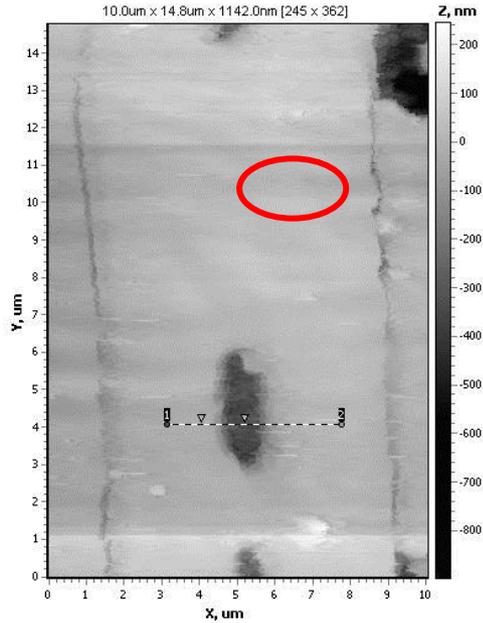


Профиль сечения поверхности кристалла в области дефекта

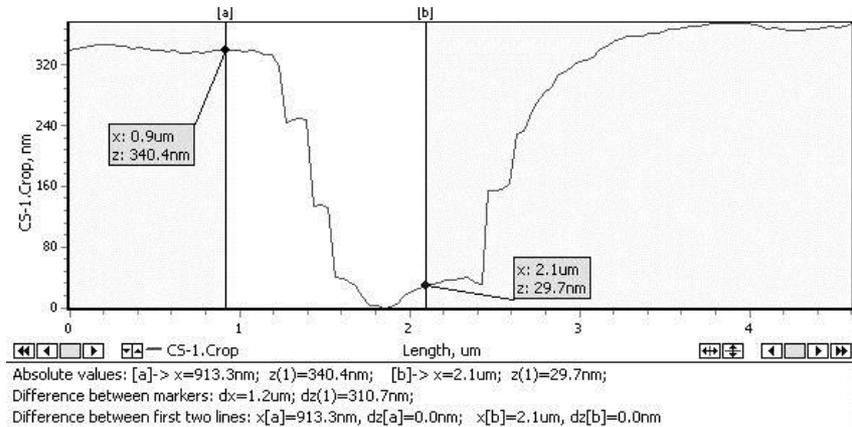
Изображение топографии кристалла в области дефекта  
после полировки



## Пример комплексного анализа ИМС



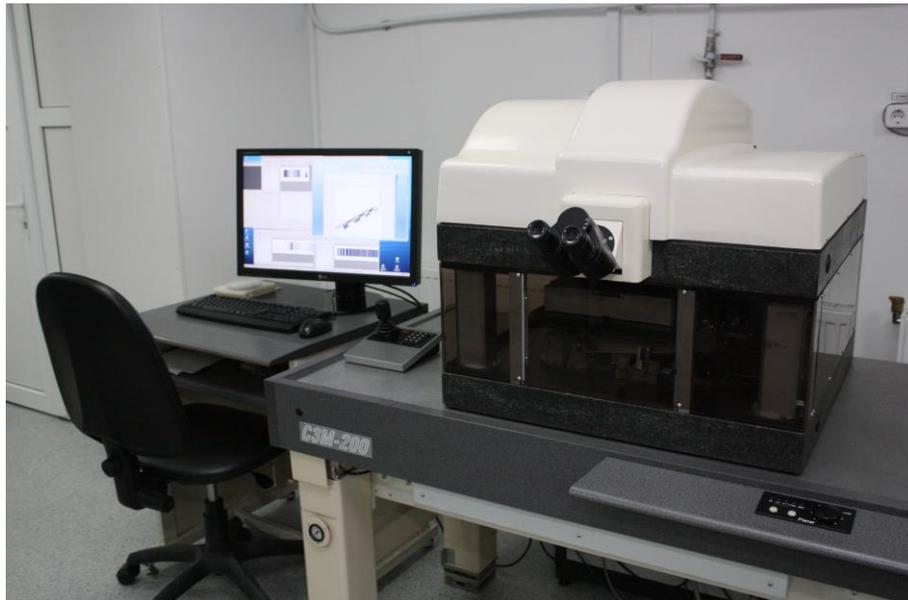
### АСМ-изображение контакта после полировки



Профиль сечения поверхности кристалла в области вертикального контакта после полировки

Изображение топографии кристалла в области вертикального контакта после полировки

Глубина контактного окна составила 0.3 мкм



- **СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

