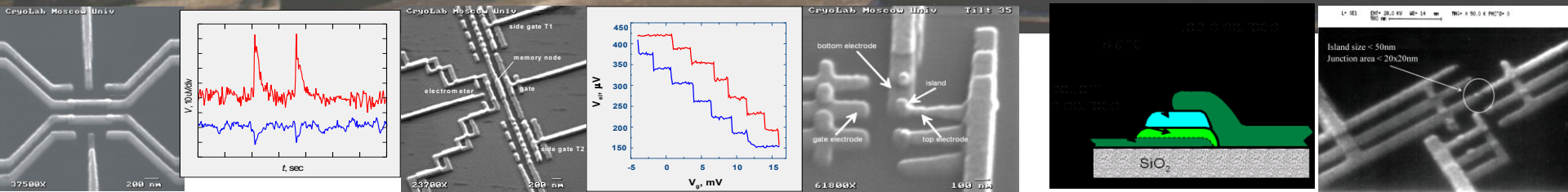
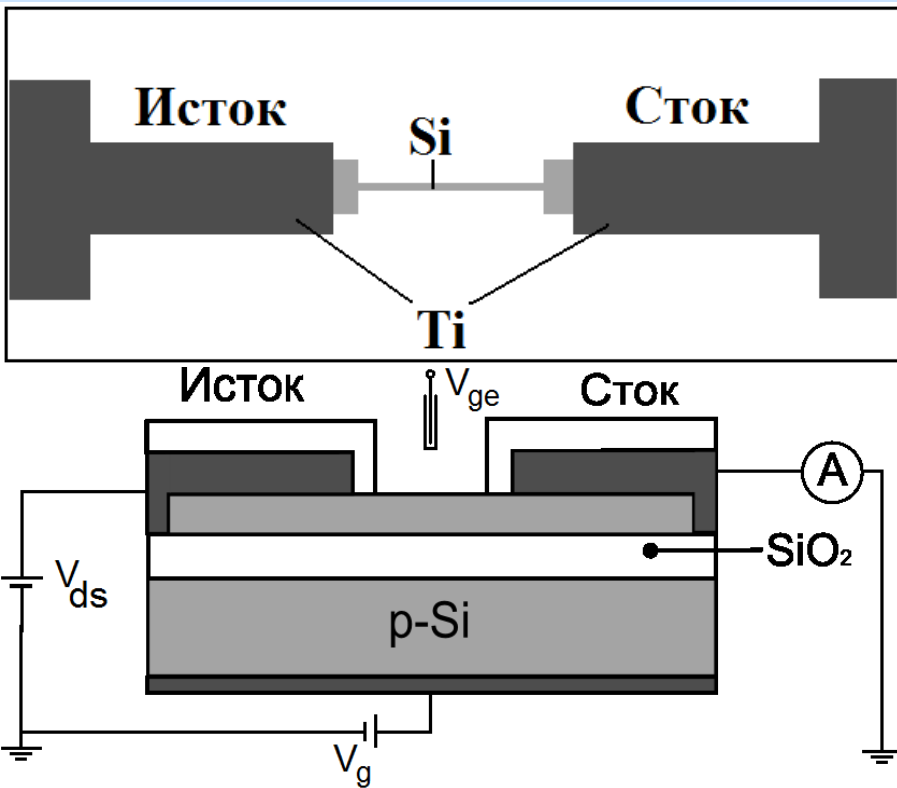


# Зарядовый сенсор на основе кремниевого нанопровода

Лаборатория Криоэлектроники  
Физический Факультет МГУ

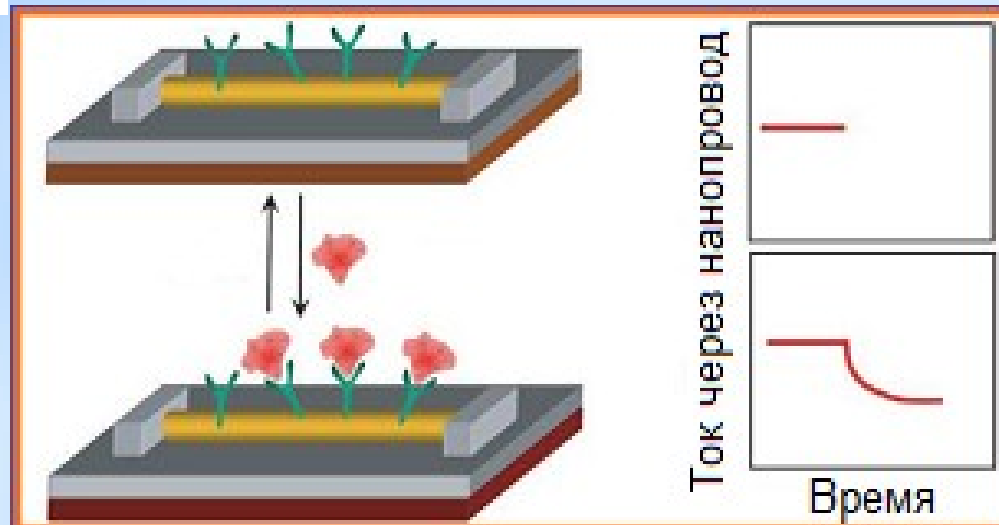


# Полевой транзистор на основе кремниевго нанопровода

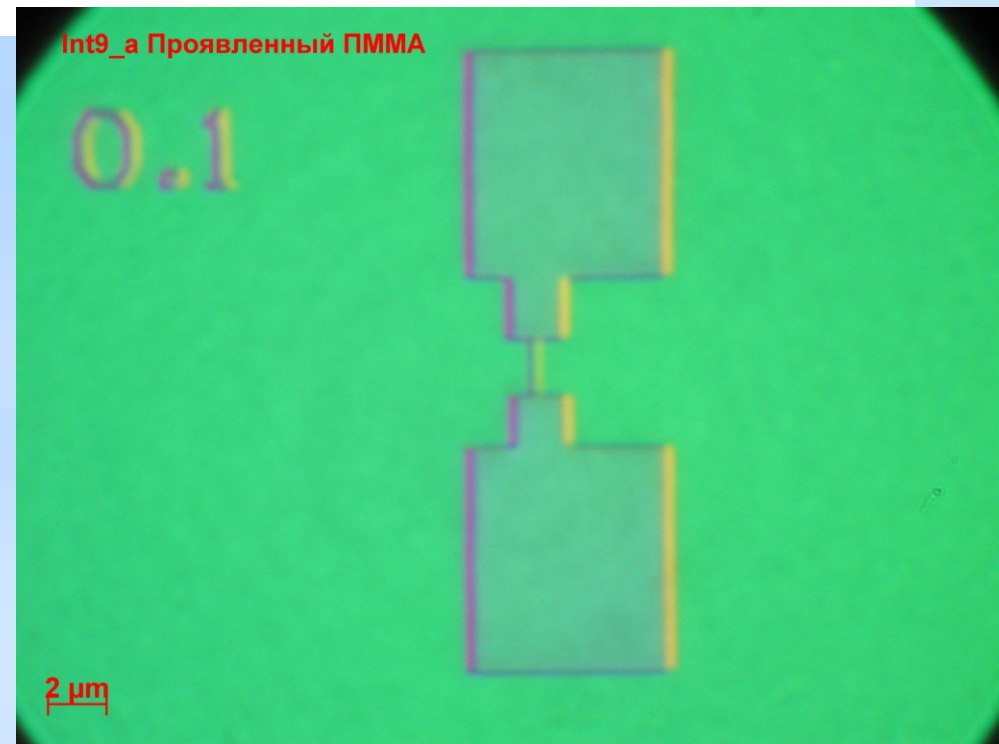
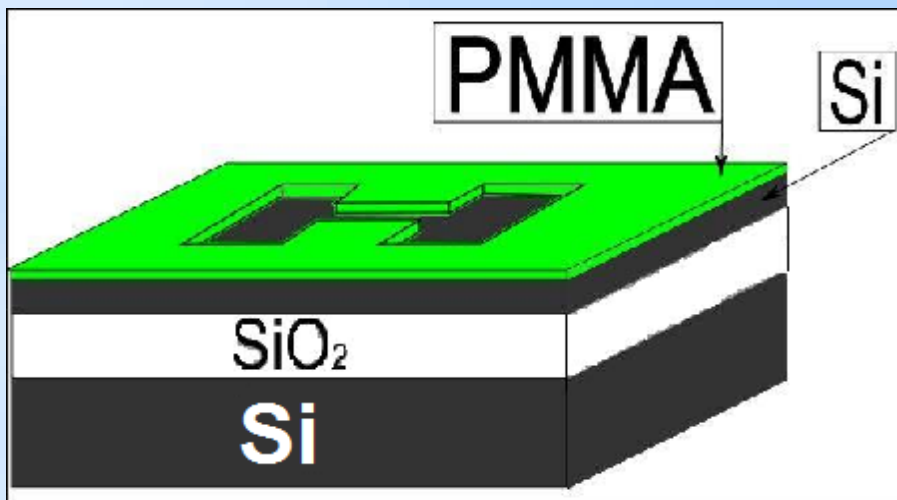
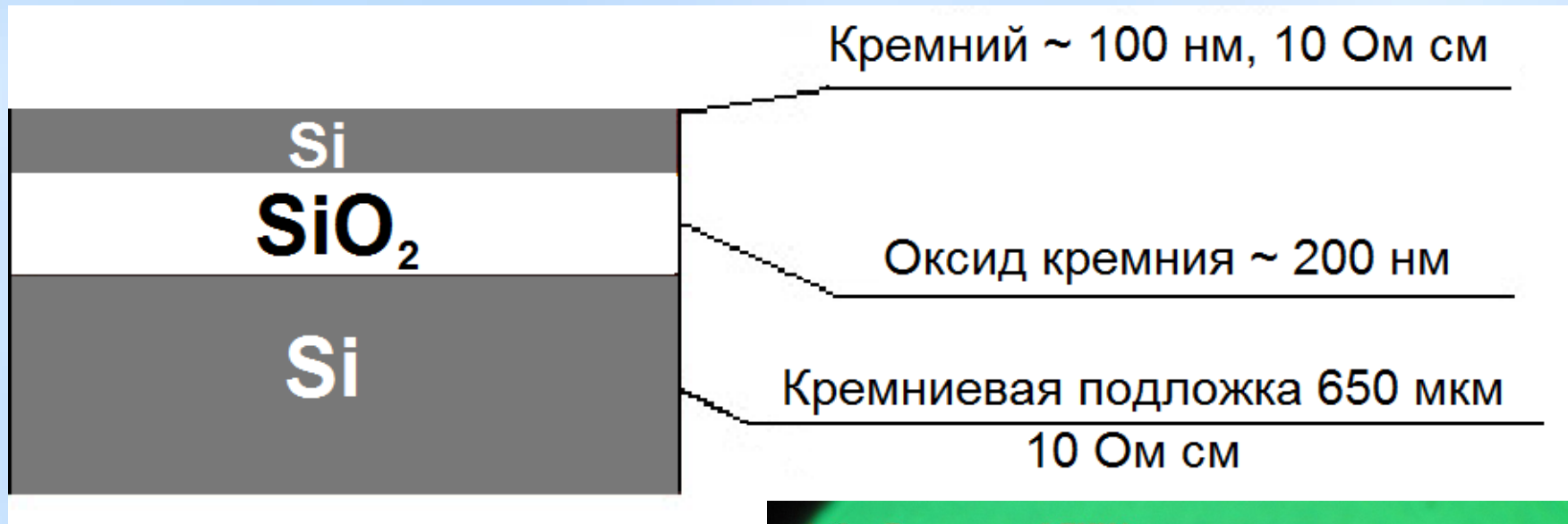


Ток через транзистор зависит от величины напряжения на затворе, или, от напряженности электрического поля, в котором находится нанопровод.

Локальные изменения поля достаточной величины также способны изменить проводимость нанопровода, что дает возможность регистрации с помощью такого устройства присоединения к (отсоединения от) поверхности нанопровода малых заряженных частиц.

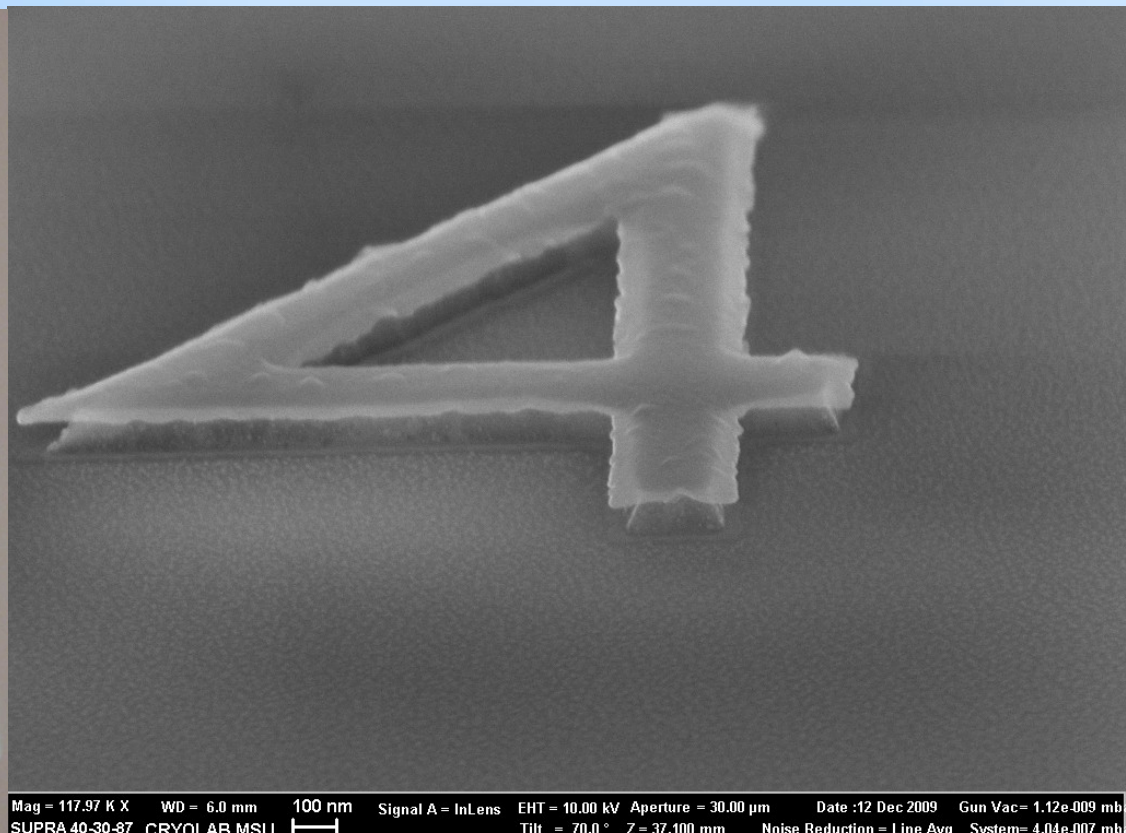
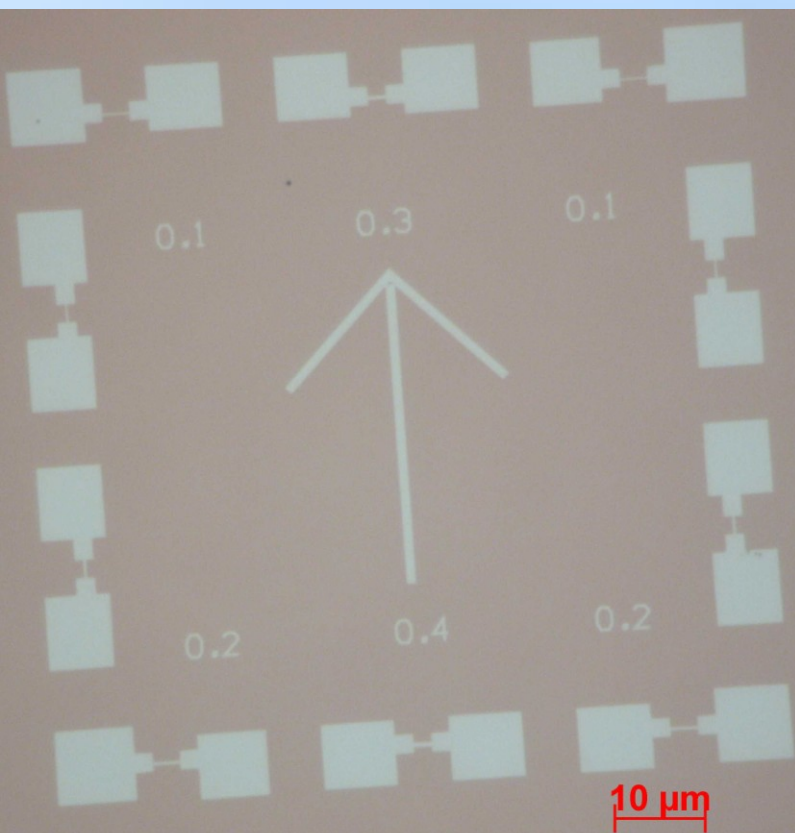
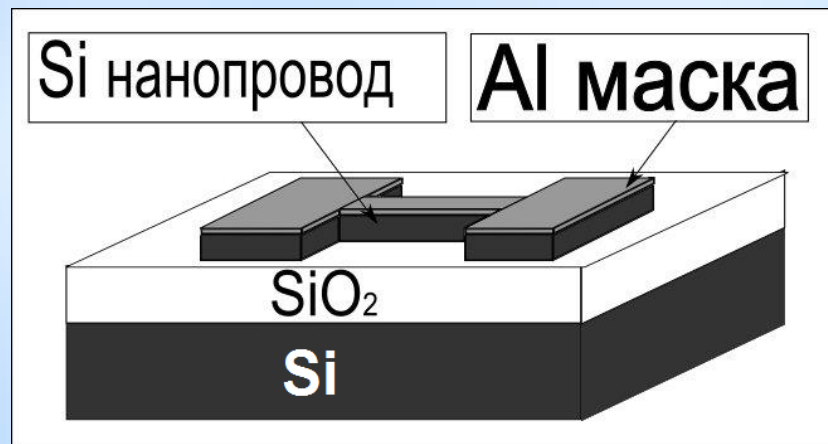
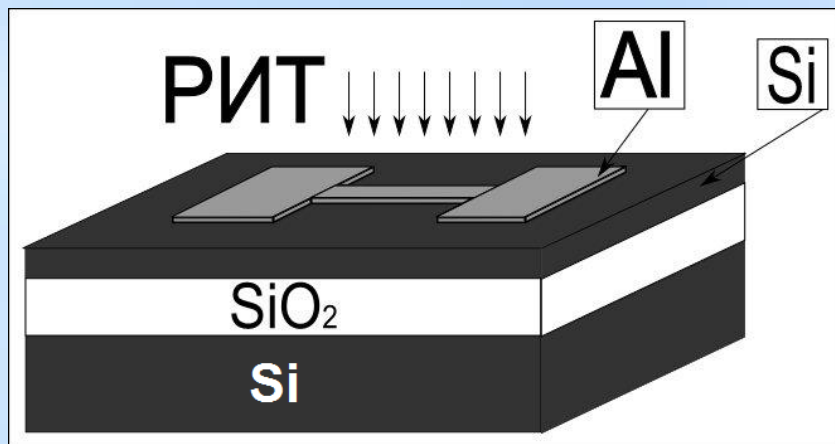


# Цикл операций для изготовления транзисторов.

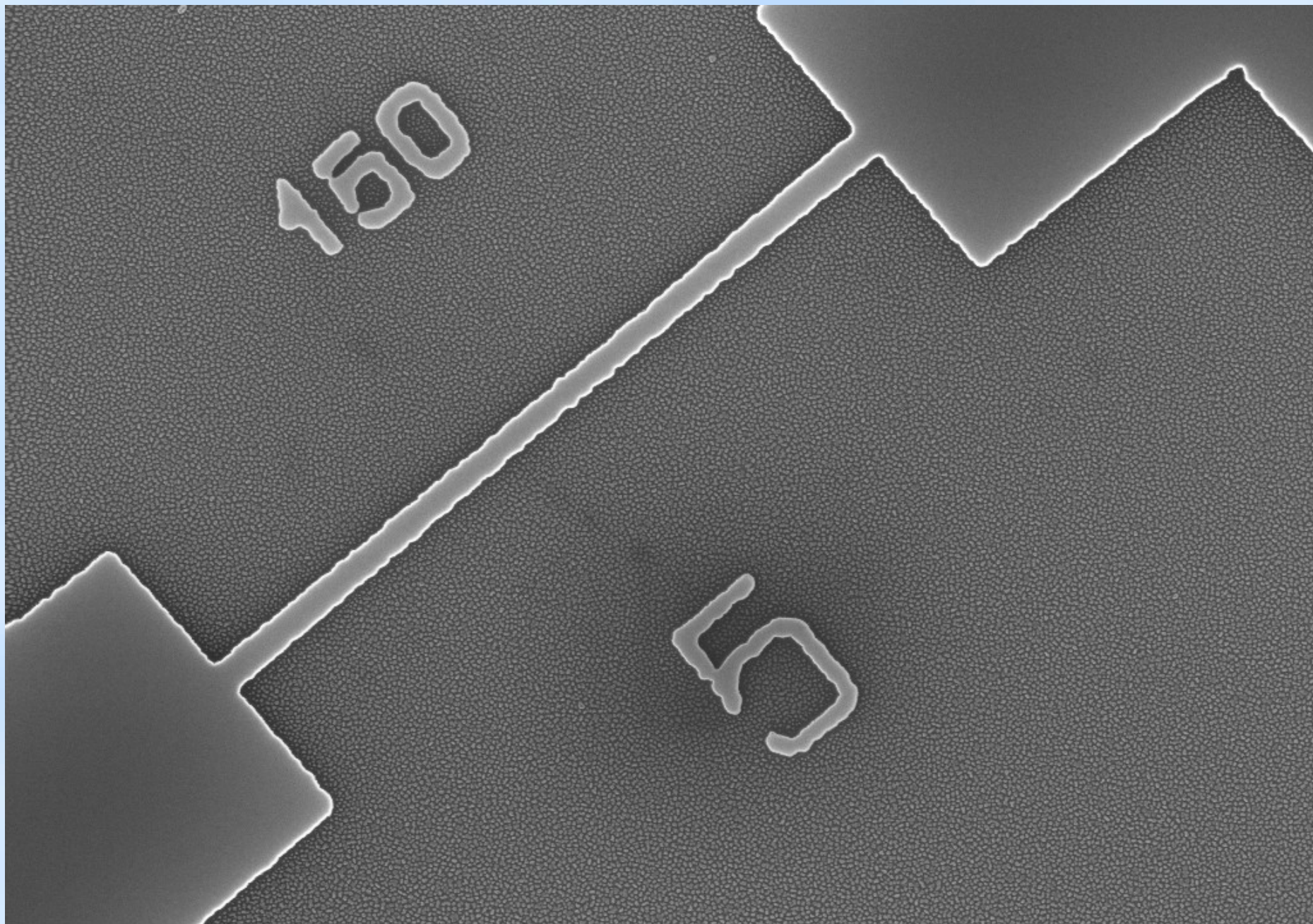




# Цикл операций для изготовления транзисторов.



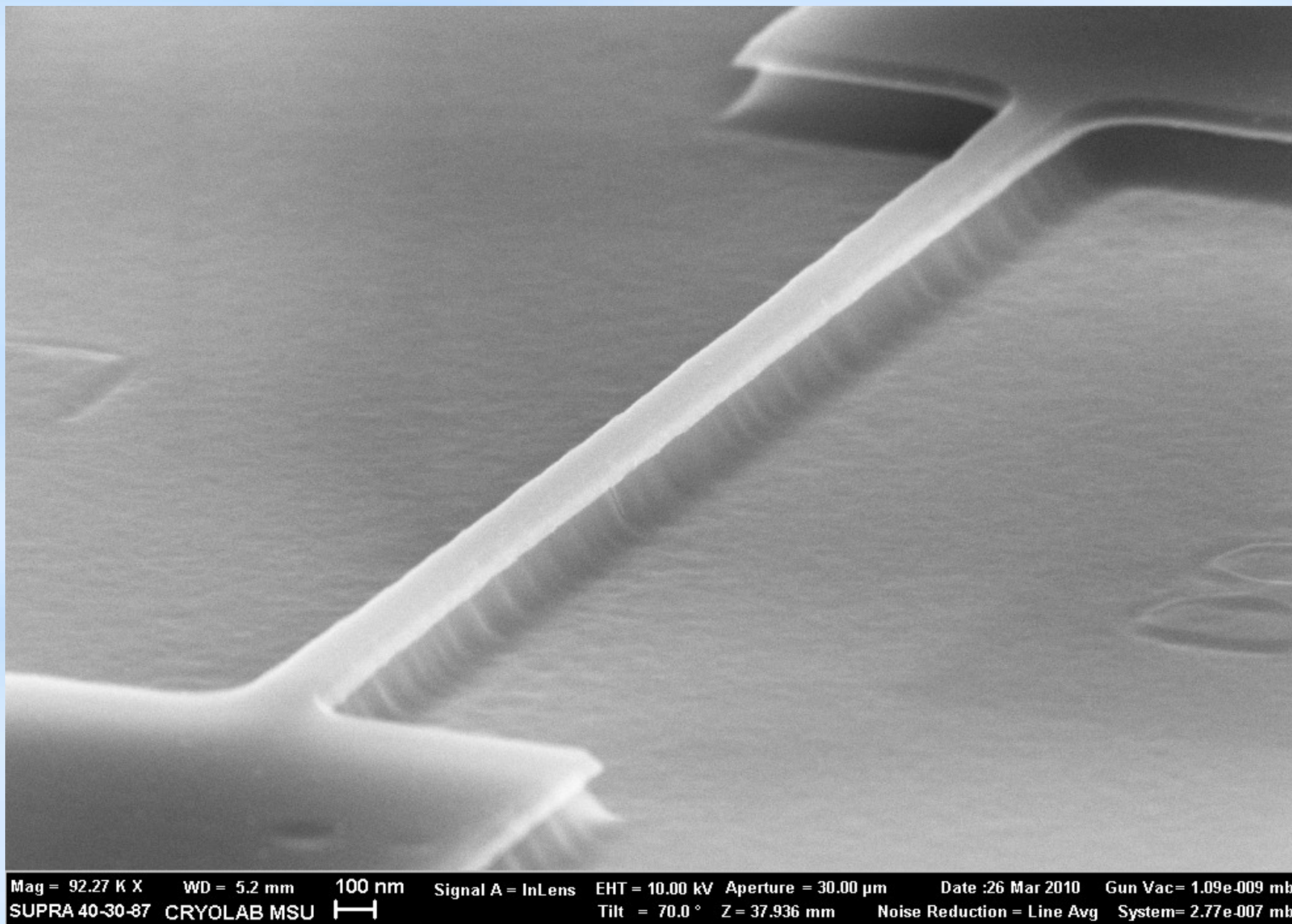


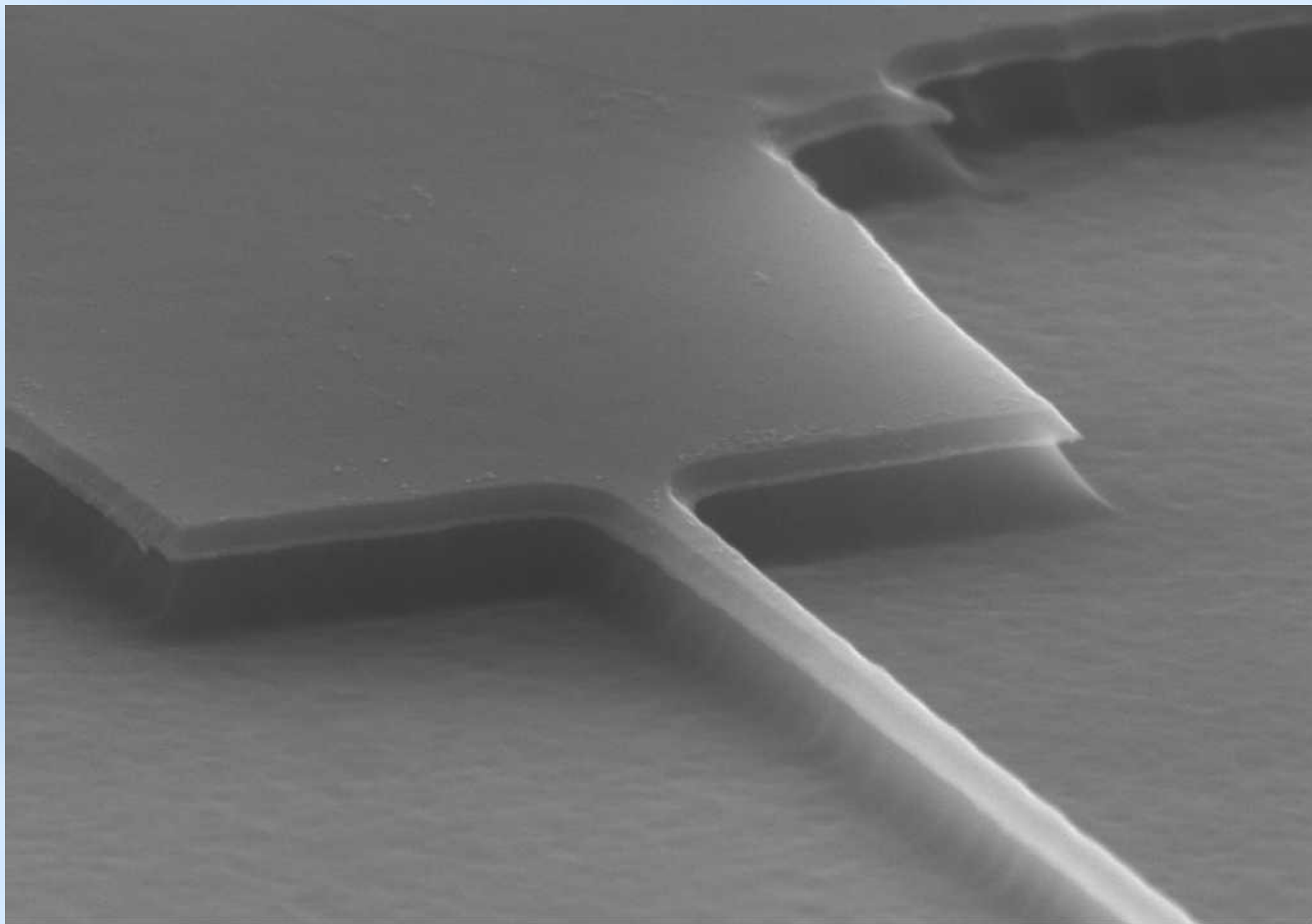


Mag = 38.63 K X    WD = 2.9 mm    1  $\mu$ m    Signal A = InLens    EHT = 10.00 kV    Aperture = 30.00  $\mu$ m    Date :10 Mar 2010    Gun Vac= 1.04e-009 mb  
SUPRA 40-30-87    CRYOLAB MSU    Tilt = 0.0  $^{\circ}$     Z = 45.000 mm    Noise Reduction = Line Avg    System= 3.19e-007 mb



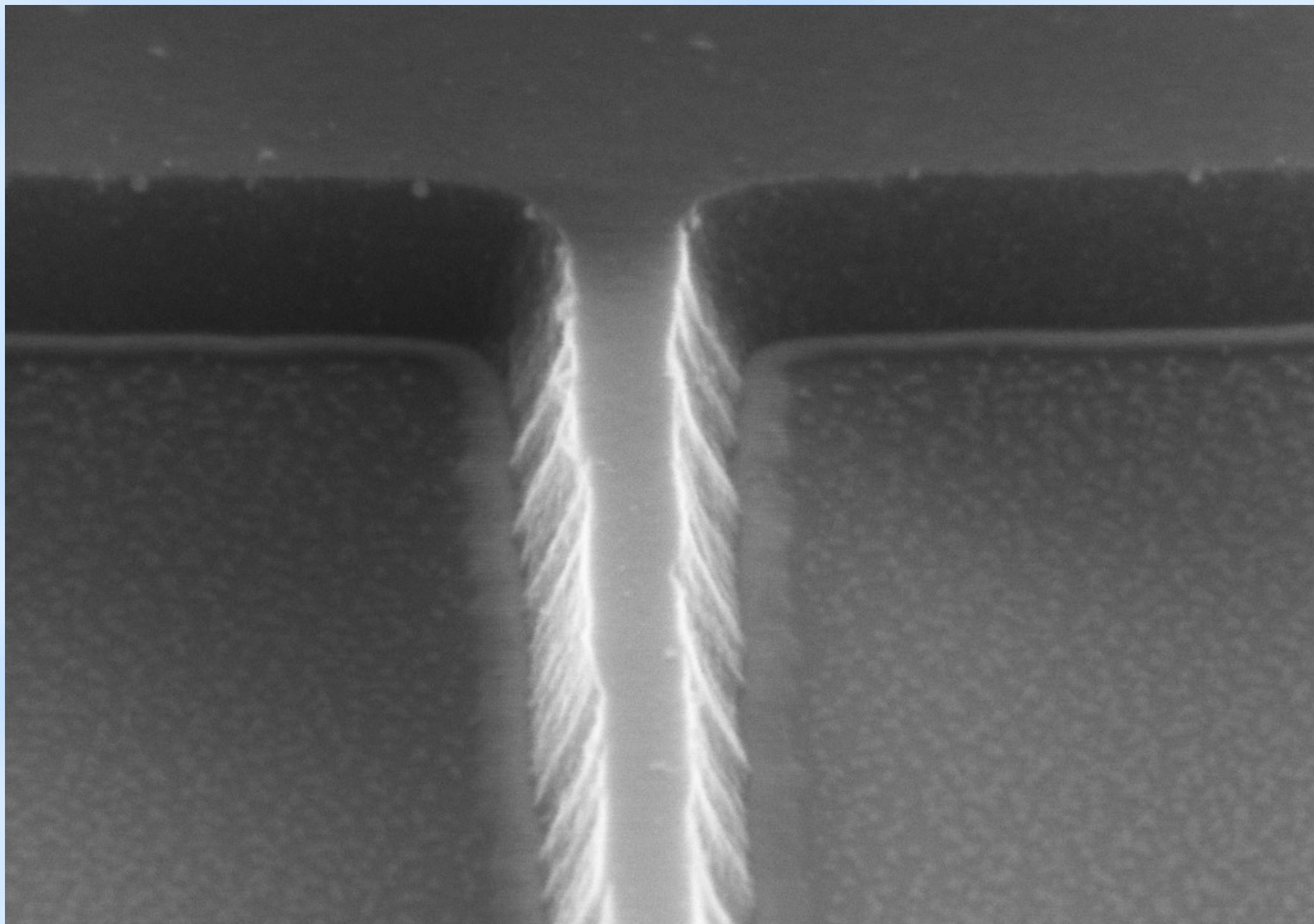
# Кремниевый нанопровод





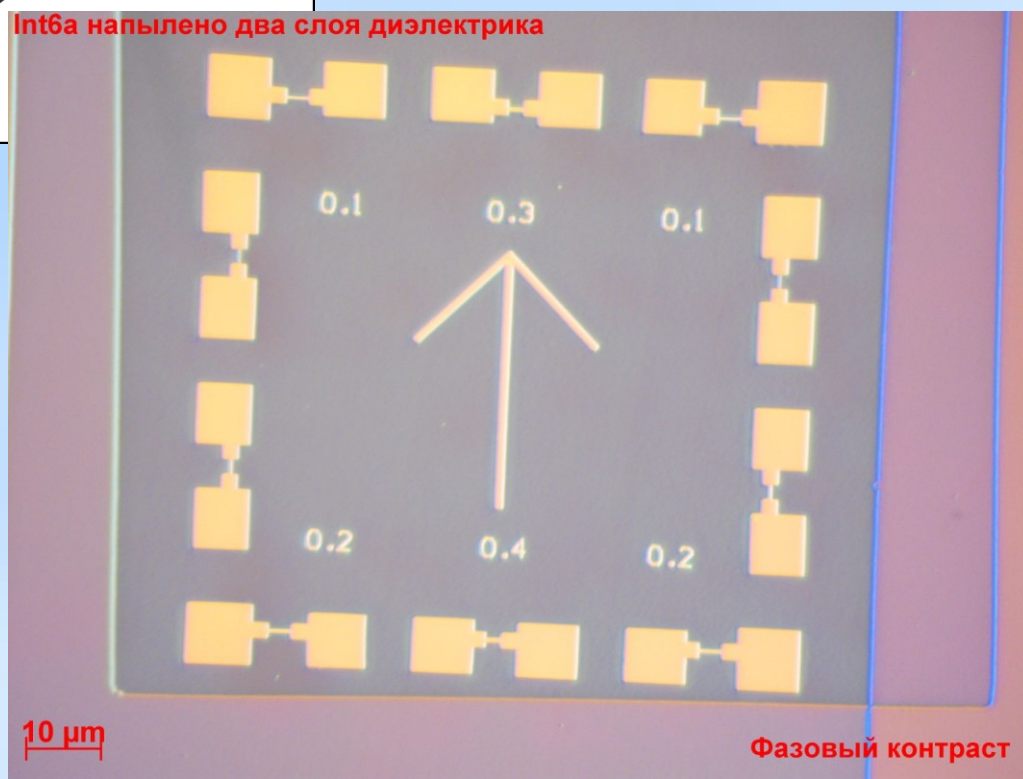
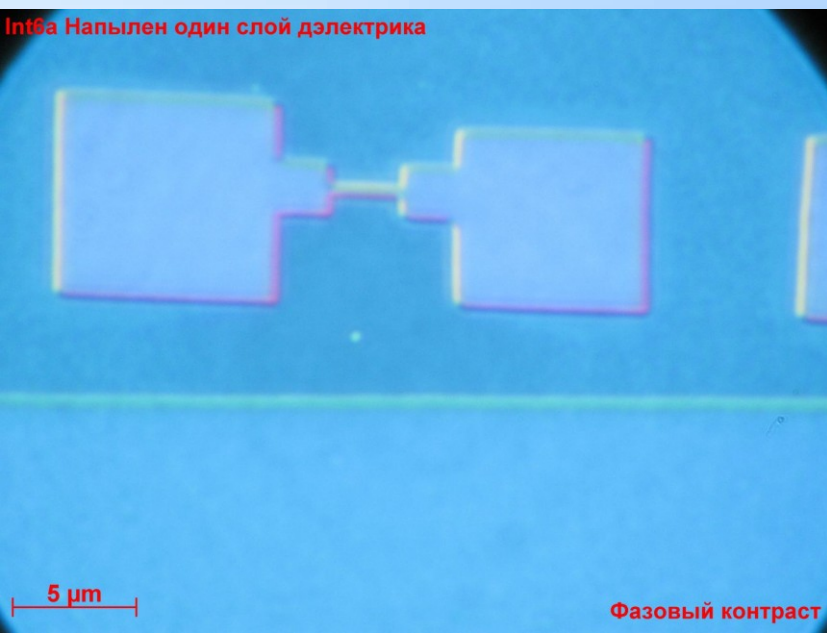
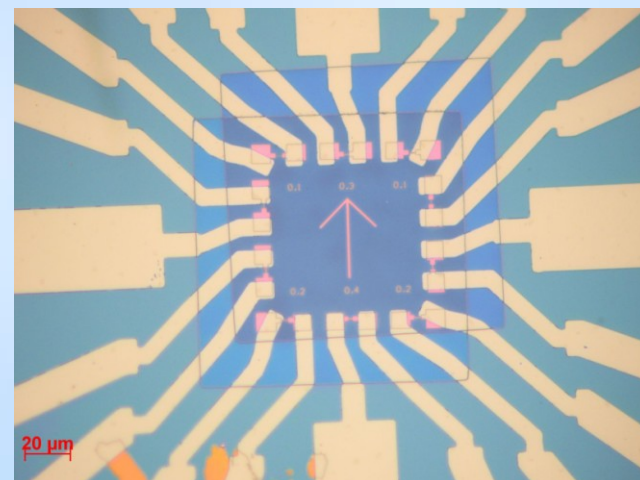
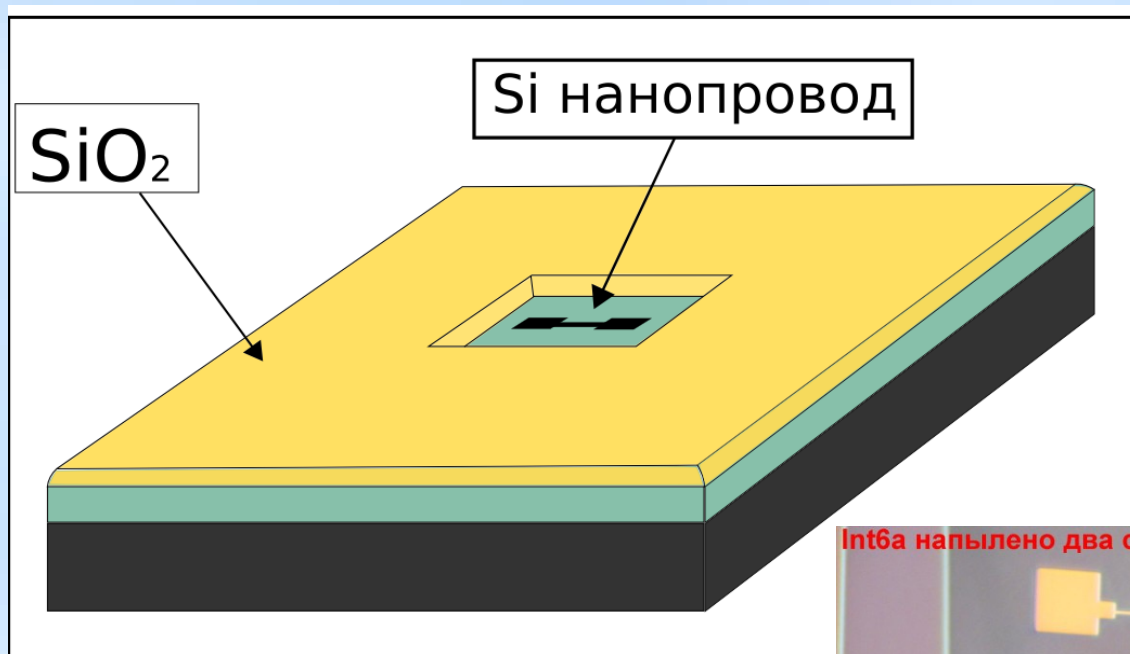
Mag = 120.67 K X    WD = 8.2 mm    100 nm    Signal A = SE2    EHT = 10.00 kV    Aperture = 30.00  $\mu$ m    Date :26 Mar 2010    Gun Vac= 1.13e-009 mb  
SUPRA 40-30-87    CRYOLAB MSU    Tilt = 70.0 °    Z = 35.000 mm    Noise Reduction = Line Avg    System= 2.74e-007 mb



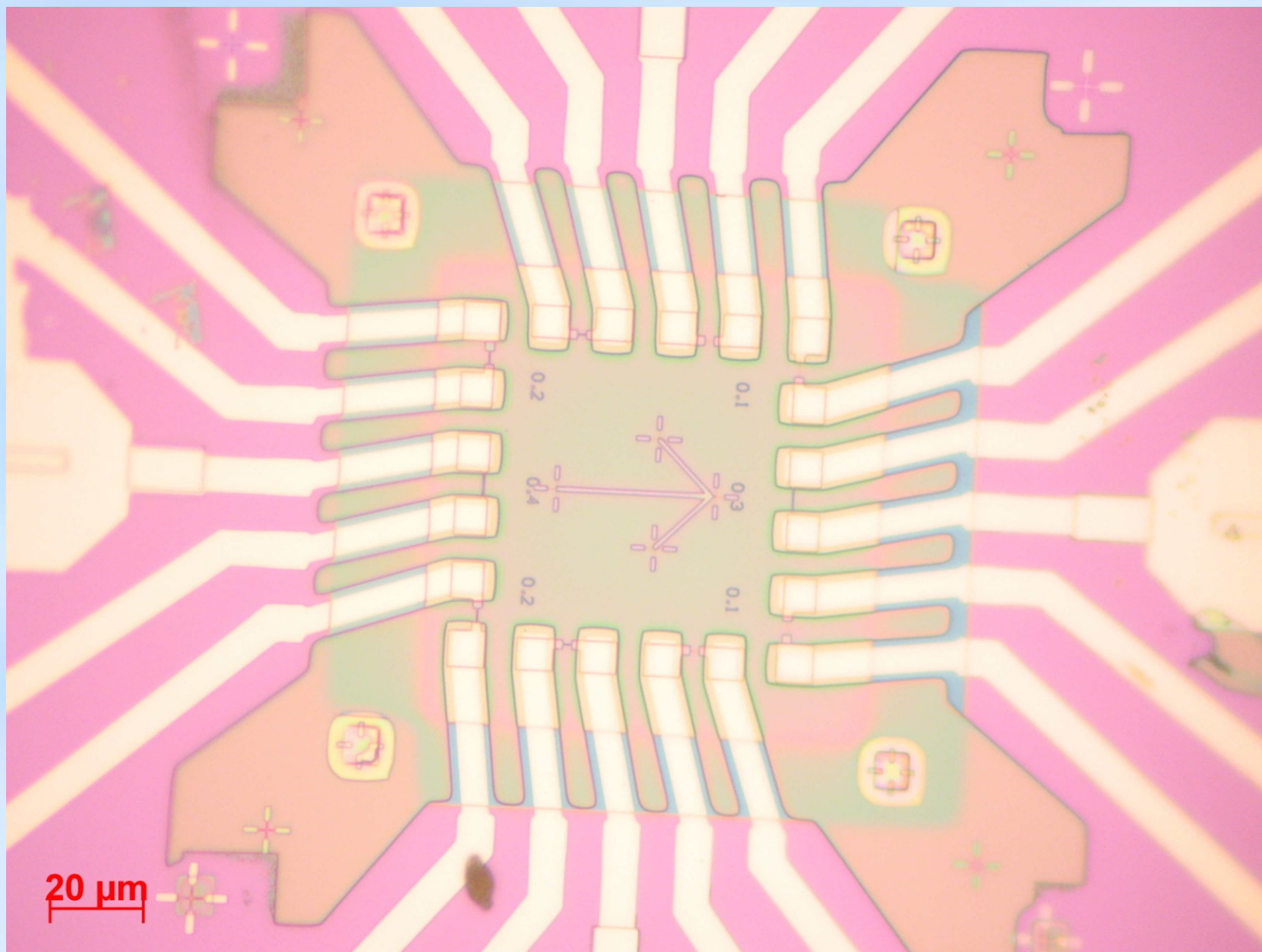


Mag = 308.82 K X WD = 6.1 mm 100 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :14 Dec 2009 Gun Vac= 1.15e-009 mbar  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 70.0 ° Z = 37.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 3.55e-007 mbar

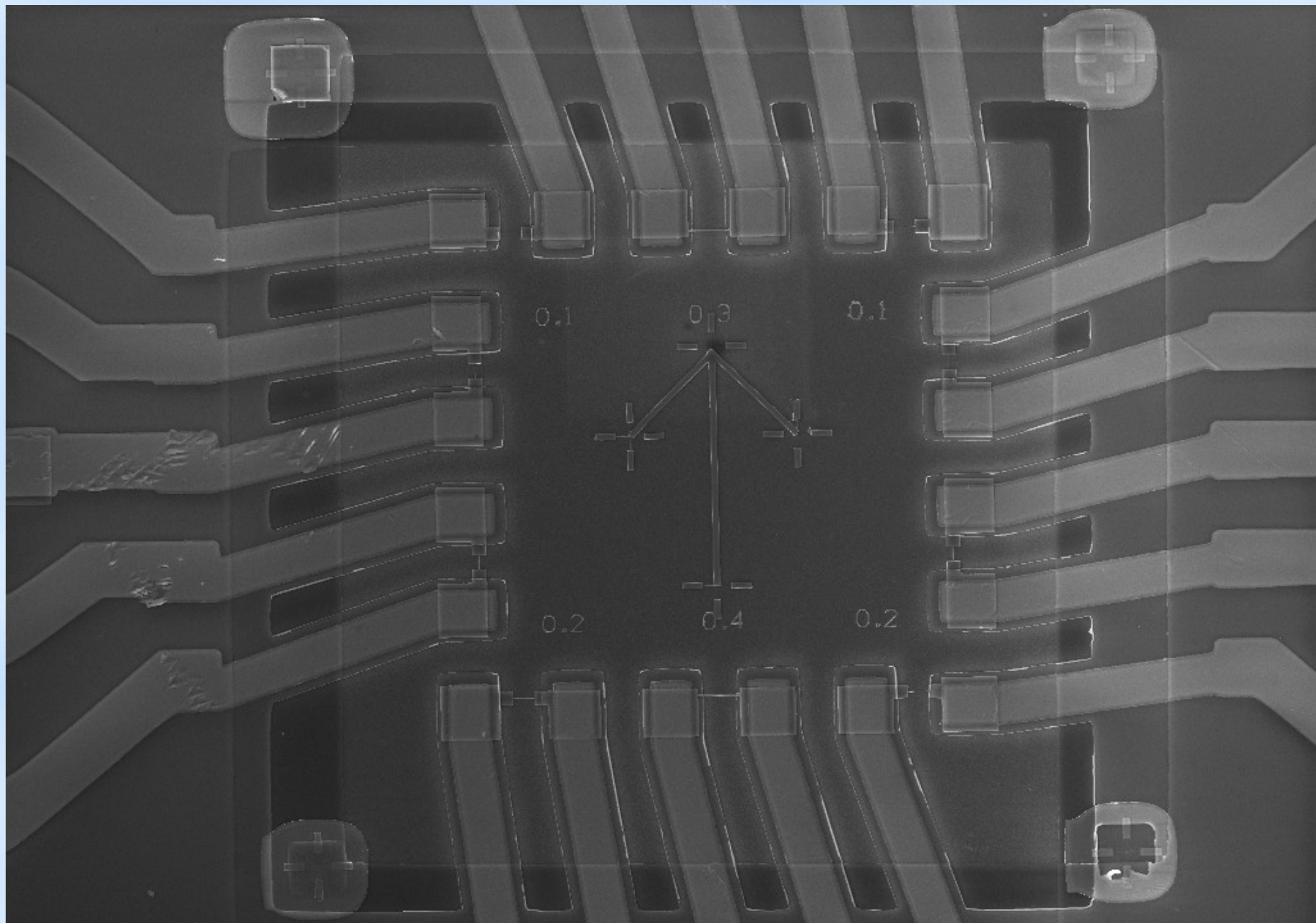
# Цикл операций для изготовления транзисторов





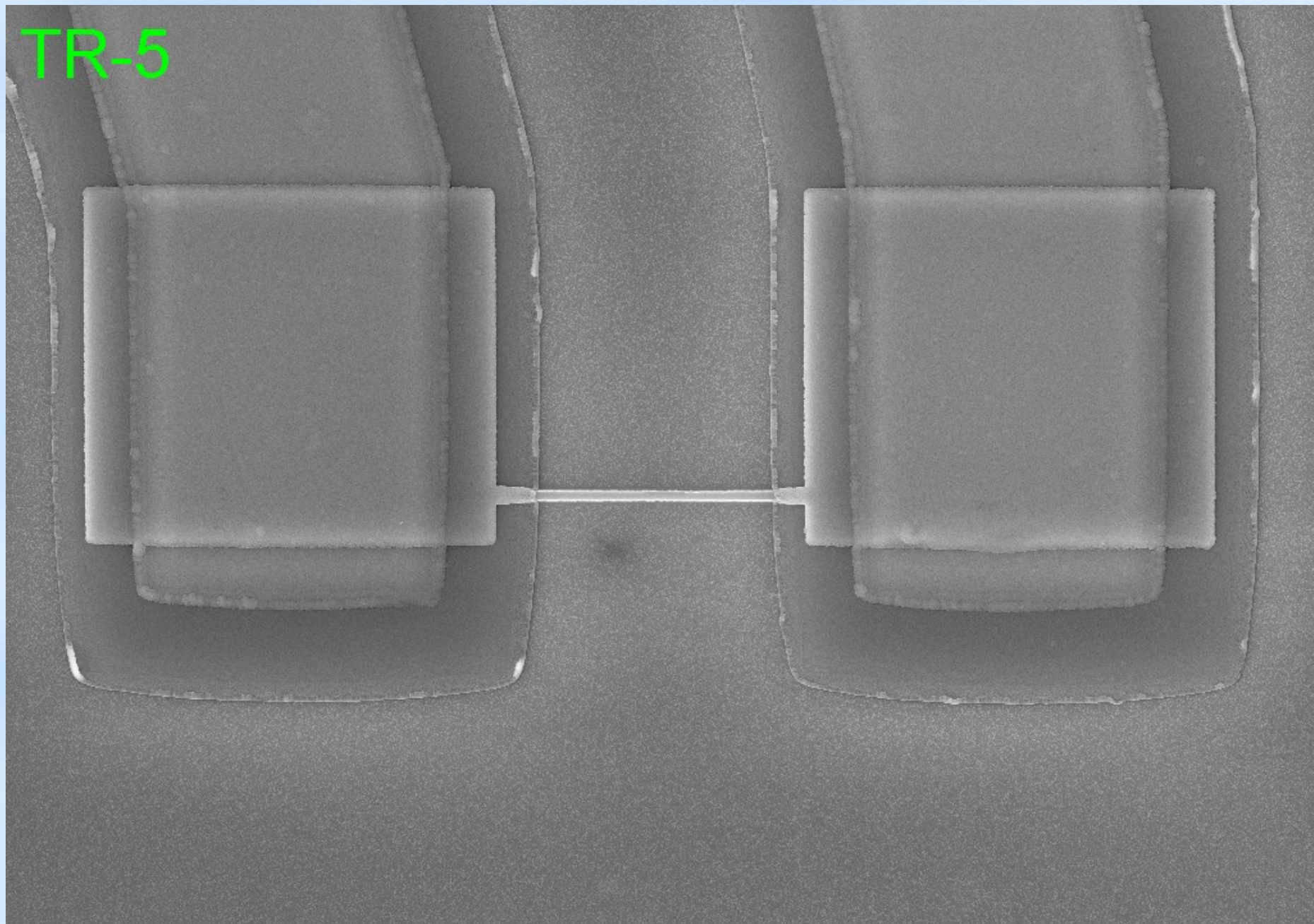






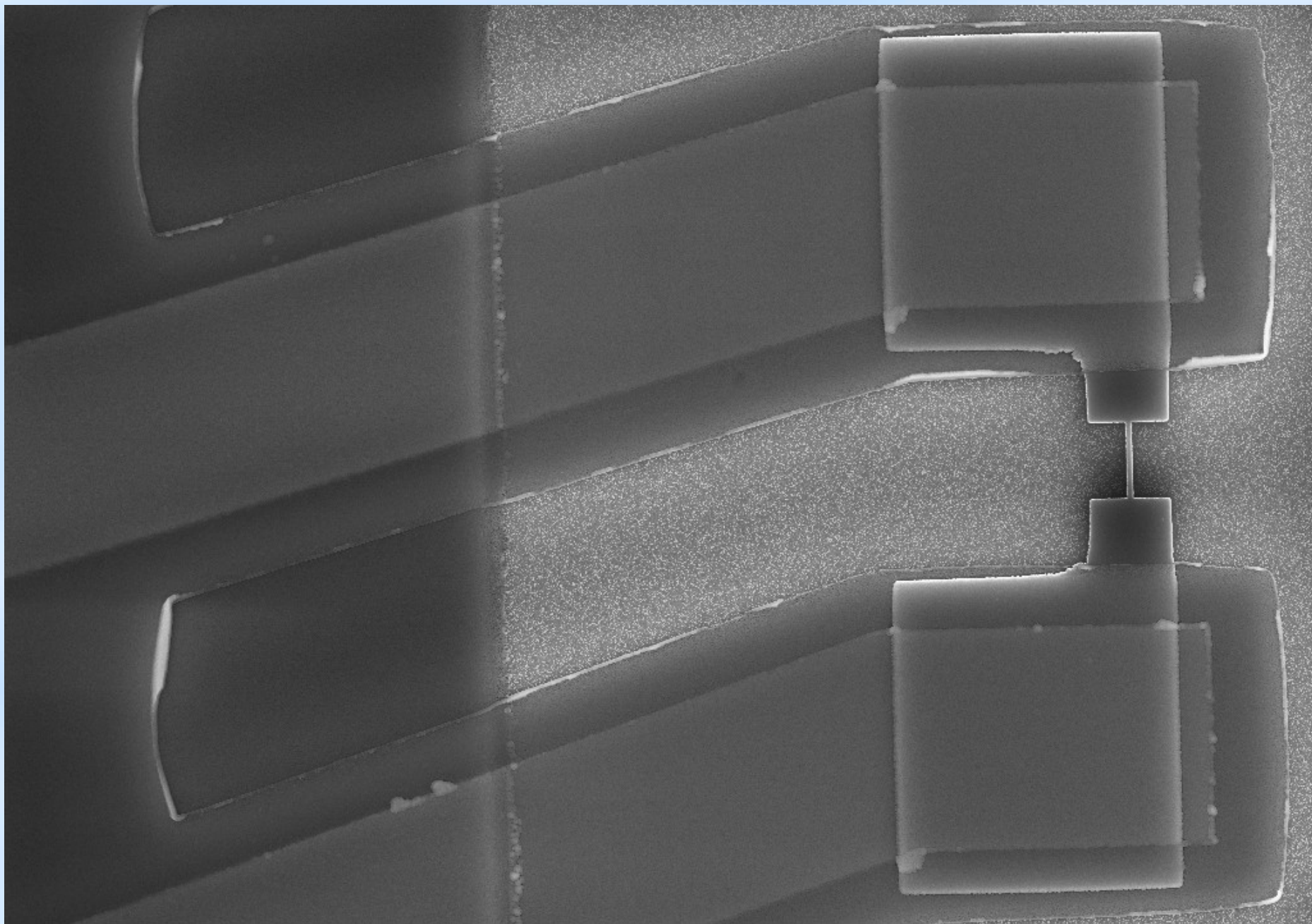
Mag = 1.57 K X WD = 2.8 mm 20  $\mu$ m Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :27 Jan 2010 Gun Vac= 1.11e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 2.1° Z = 38.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 5.50e-007 mb

TR-5



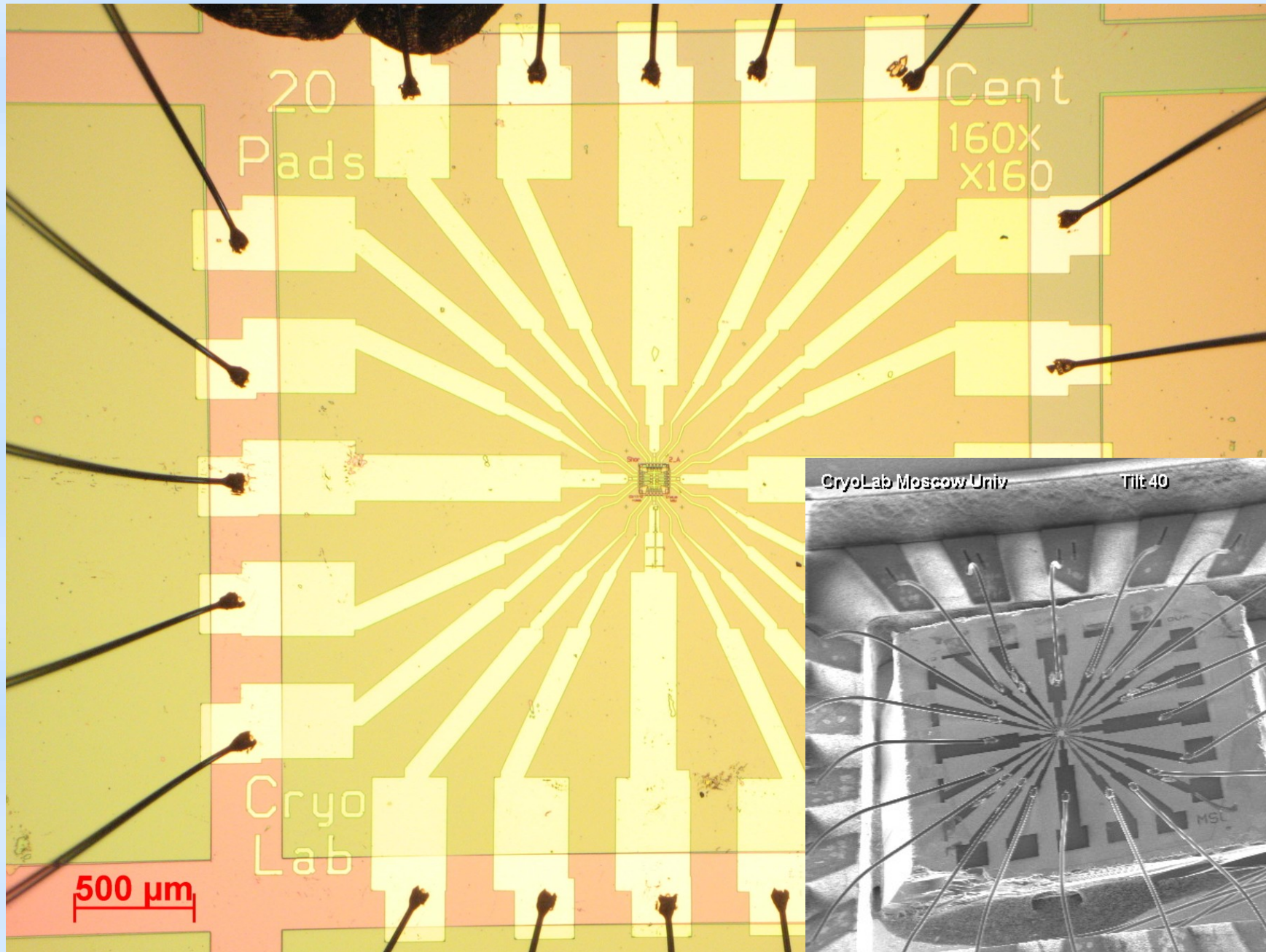
Mag = 11.57 K X WD = 3.1 mm 1  $\mu$ m Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :27 Jan 2010 Gun Vac= 1.48e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = -3.2° Z = 37.777 mm Noise Reduction = Line Avg System= 3.20e-006 mb



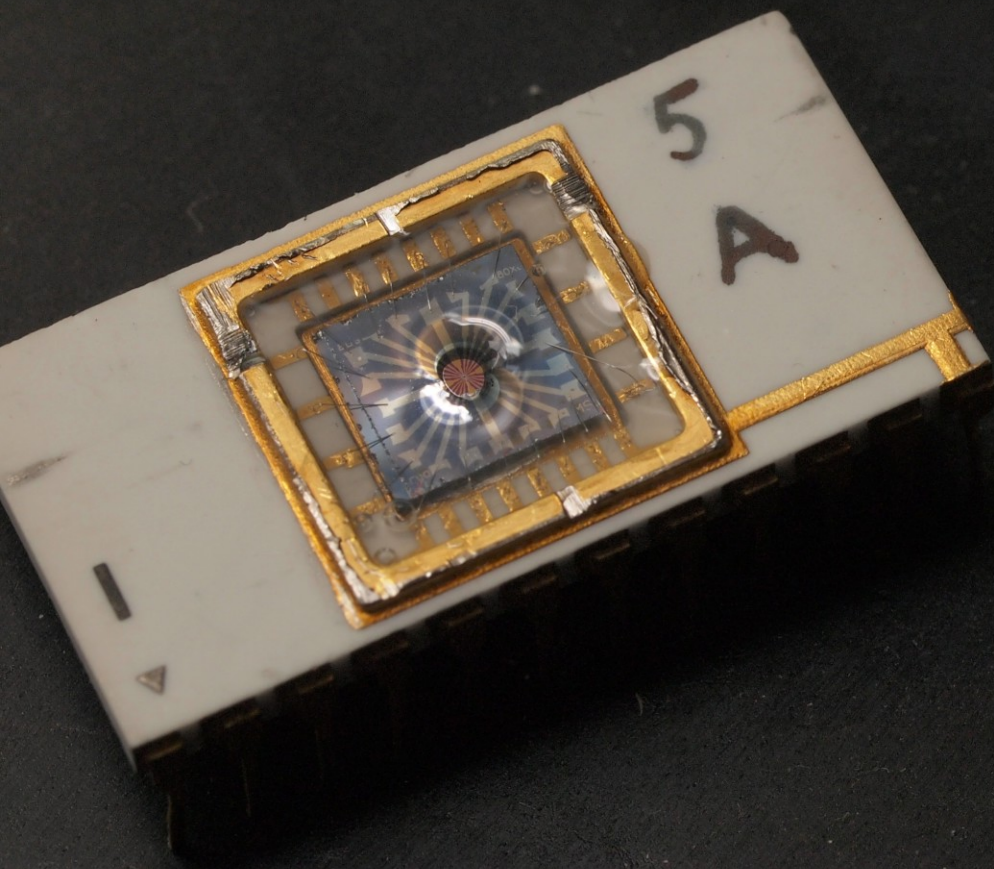


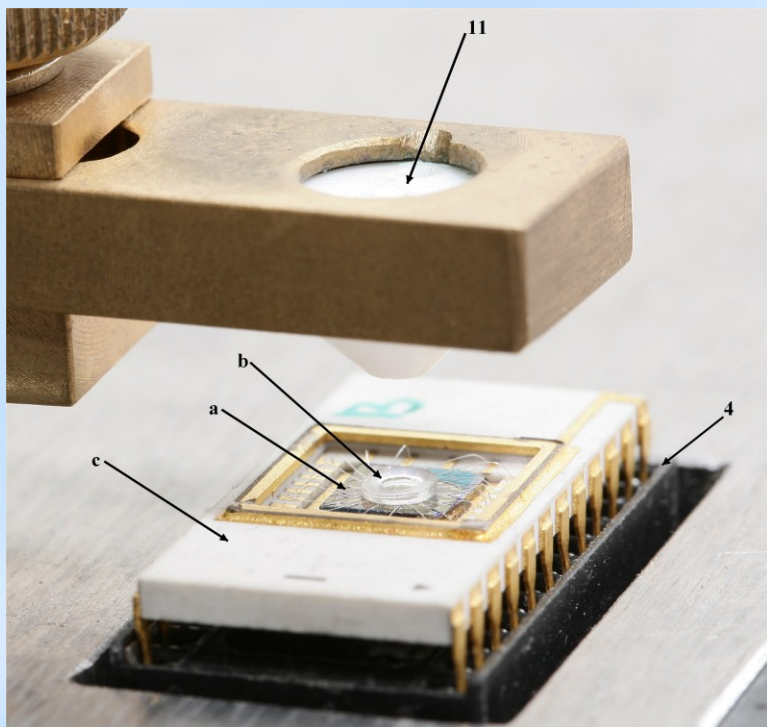
Mag = 8.90 K X WD = 3.8 mm 2  $\mu$ m Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :27 Nov 2009 Gun Vac= 1.17e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = -3.7° Z = 37.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 7.13e-007 mb



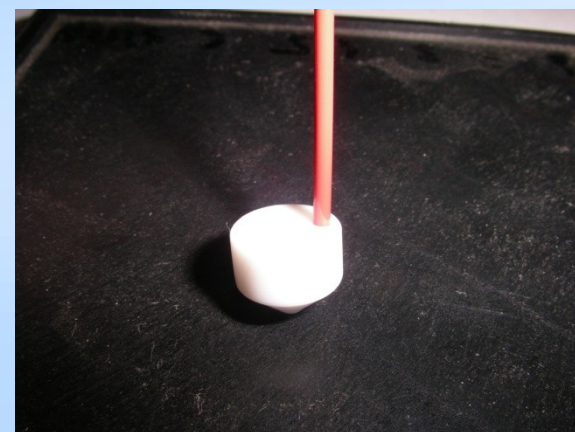
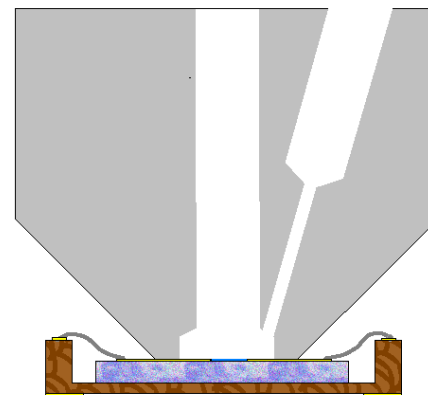








11



*a — чип*

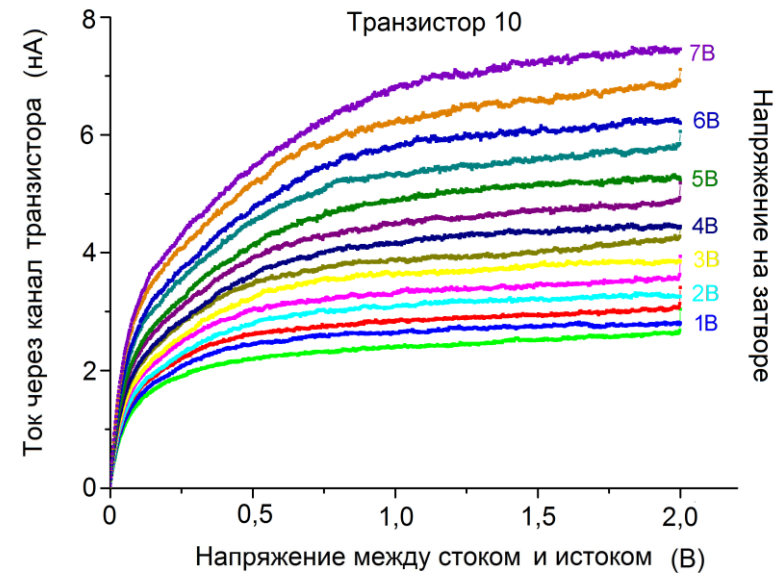
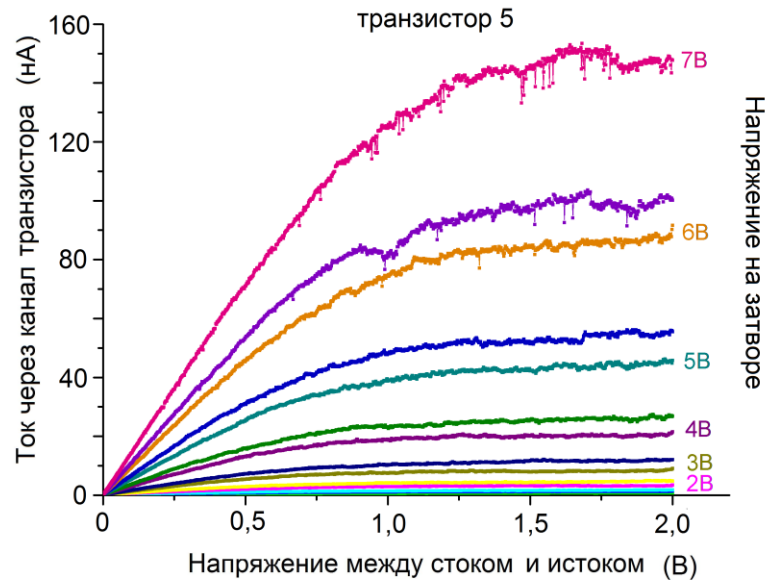
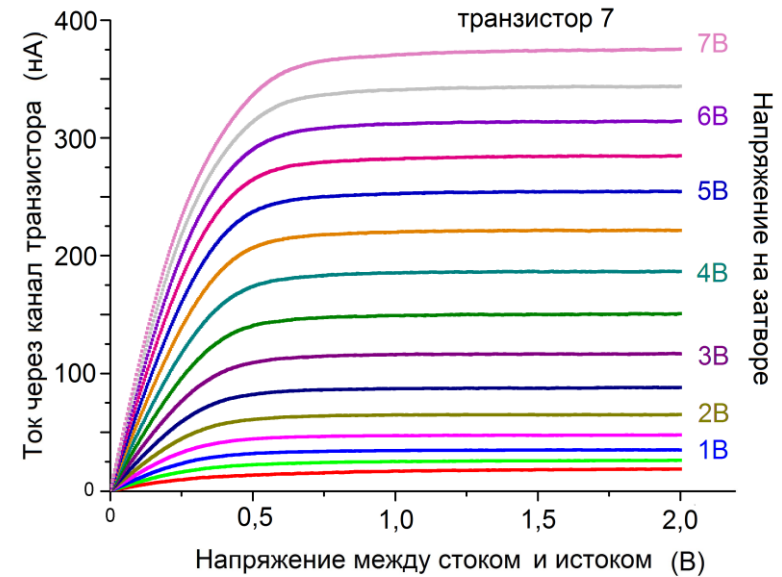
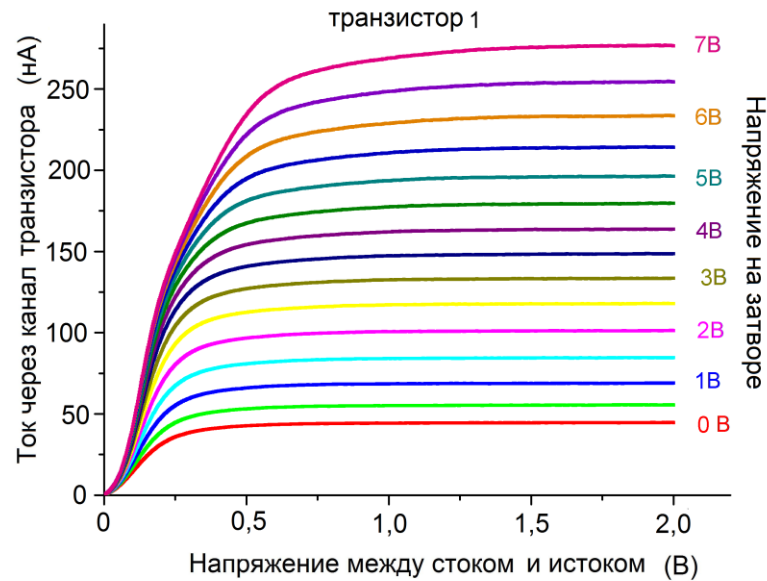
*b — изолирующая прокладка*

*c — керамический корпус*

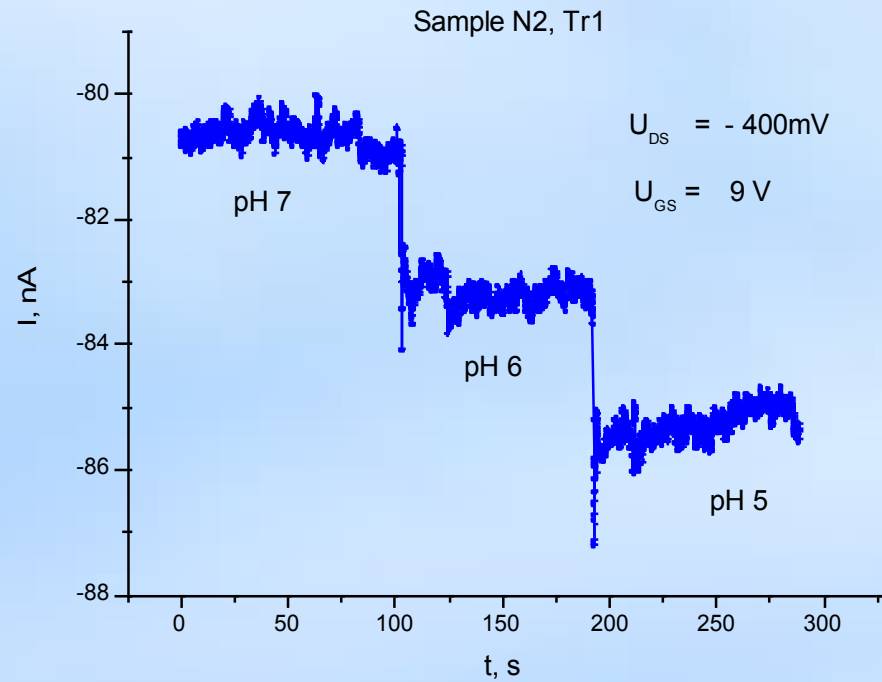
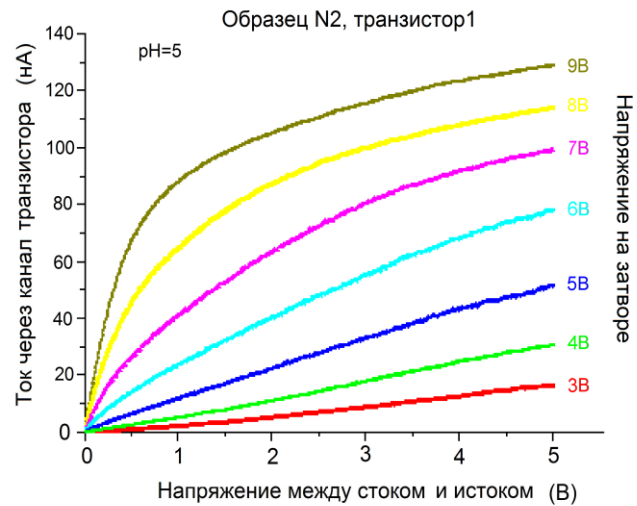
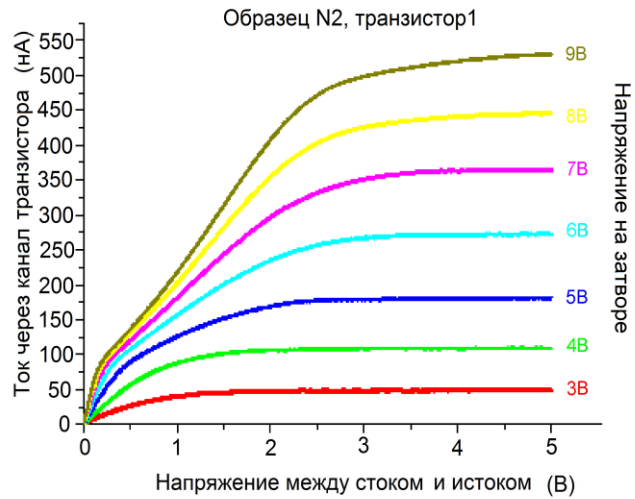
*11 — жидкостная ячейка*



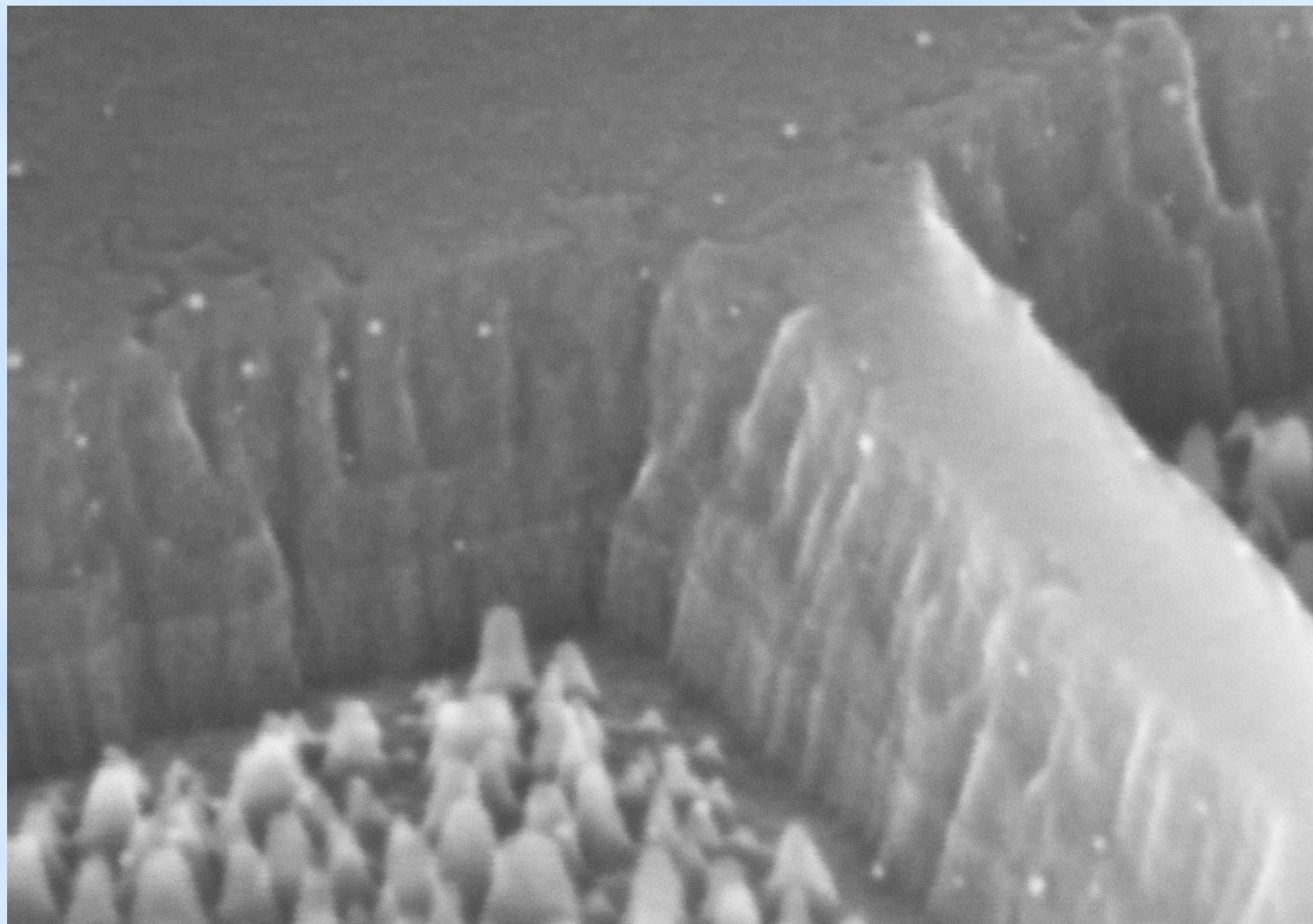
# Вольт-амперные характеристики транзисторов



# Отклик на изменение среды

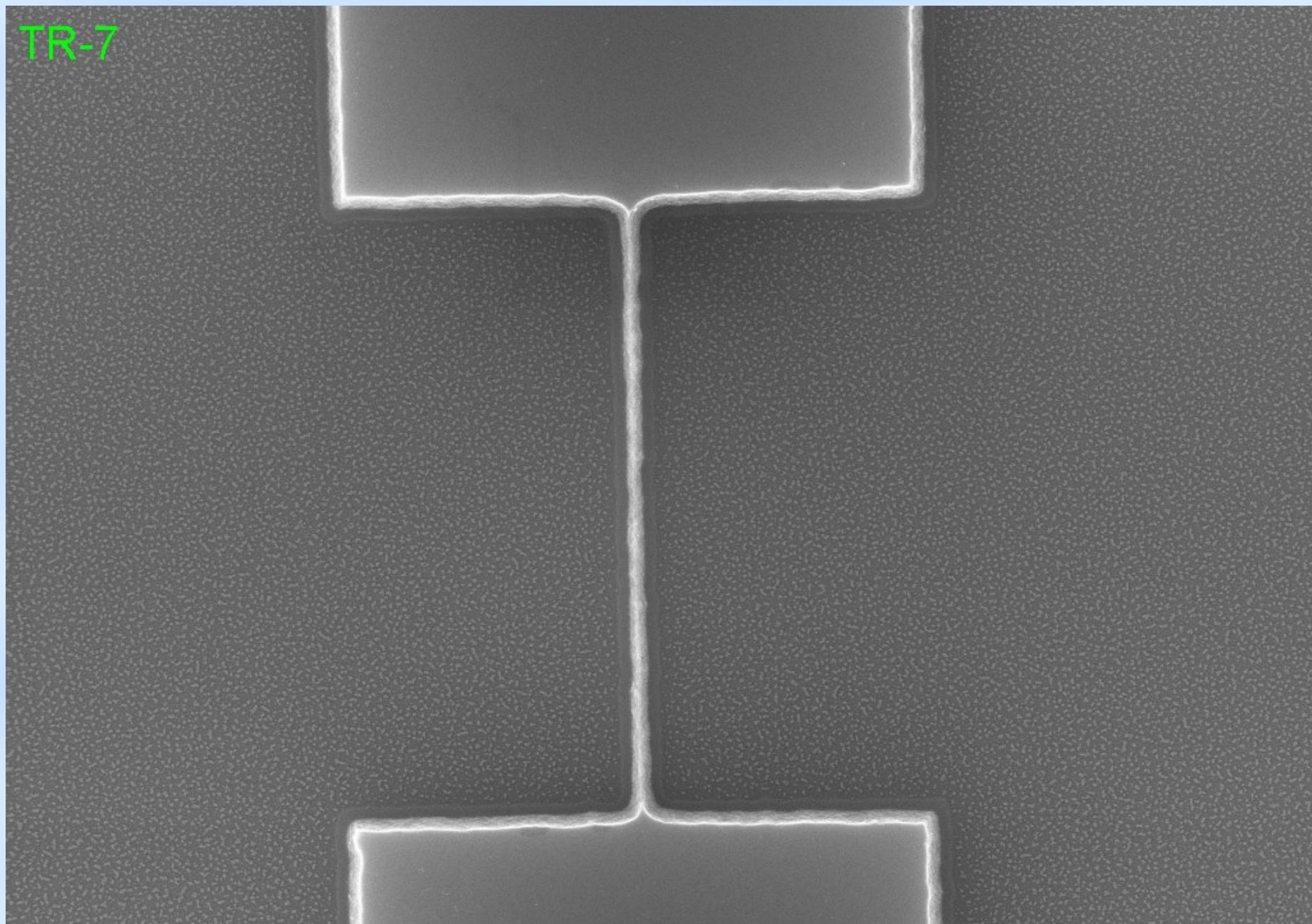






Mag = 572.93 K X WD = 6.0 mm 20 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :30 Oct 2009 Gun Vac= 1.61e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 55.0 ° Z = 43.403 mm Noise Reduction = Line Avg System= 5.41e-007 mb

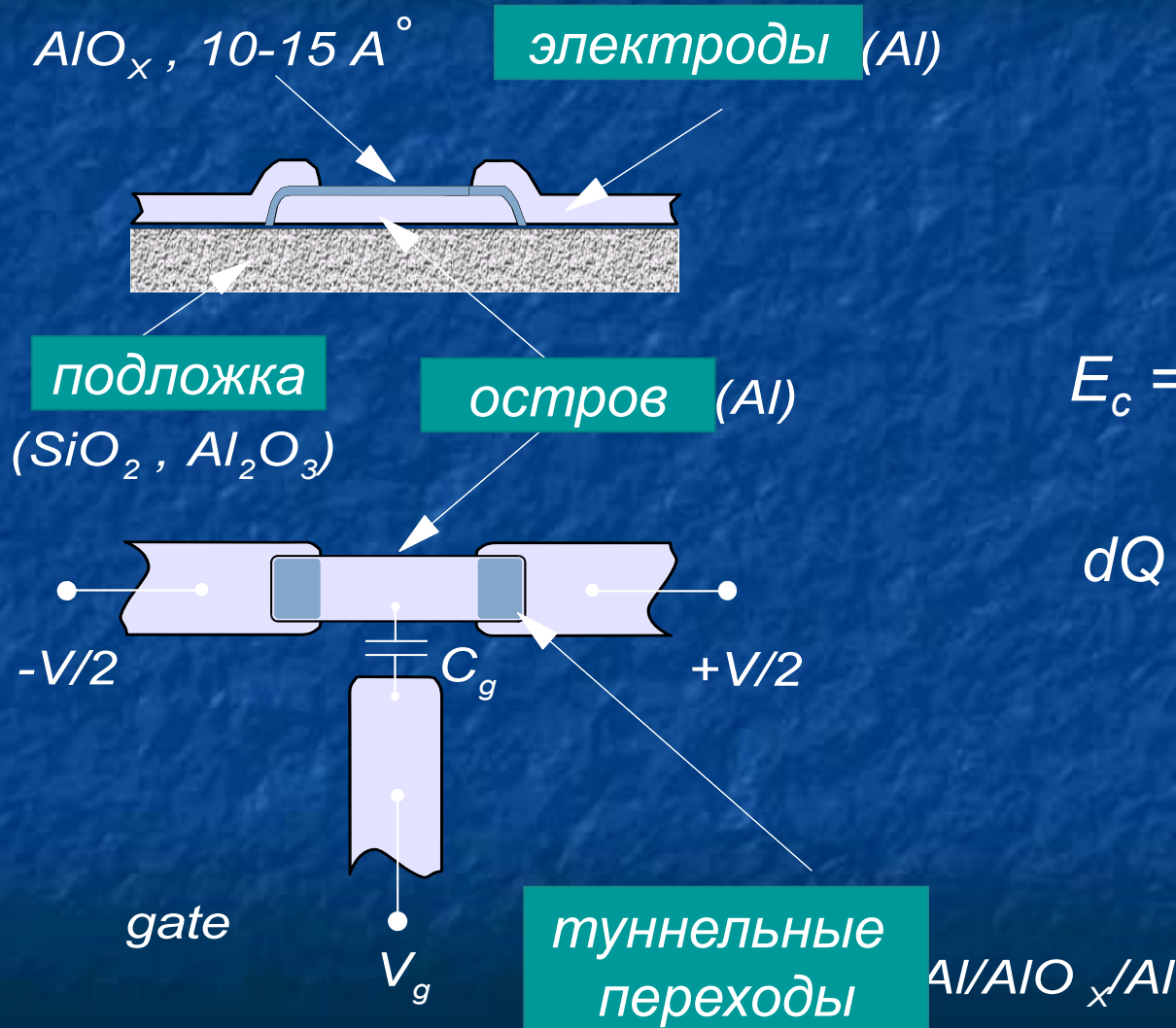
TR-7



Mag = 68.01 K X WD = 2.8 mm 200 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :27 Jan 2010 Gun Vac= 1.16e-009 mbar  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 2.1° Z = 38.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 5.38e-007 mbar



# Одноэлектронный транзистор



$$E_c = e^2/C \ll k_B T$$

$$dQ < 10^{-5} e/\text{Hz}^{1/2}$$

# Преимущества кремниевой технологии из высокодопированного КНИ

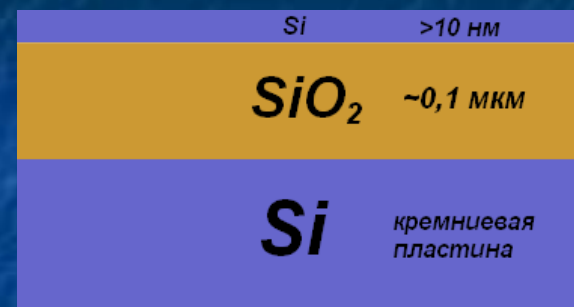
*Простота изготовления. Отсутствие сложной стадии теневого напыления для формирования туннельных переходов в металлических структурах. Отсутствие дополнительного электрода по сравнению с кремниевыми структурами, изготовленными методом управляемого окисления (PADOX).*

*Возможность формирования структур с предельно малыми рамерами элементов, обеспечивающих достижение высоких рабочих температур.*

*Монолитность структуры.*

*Механическая прочность и устойчивость к электрическим перегрузкам.*

*Удобство конструирования кантилевера для зондового сканирующего микроскопа.*



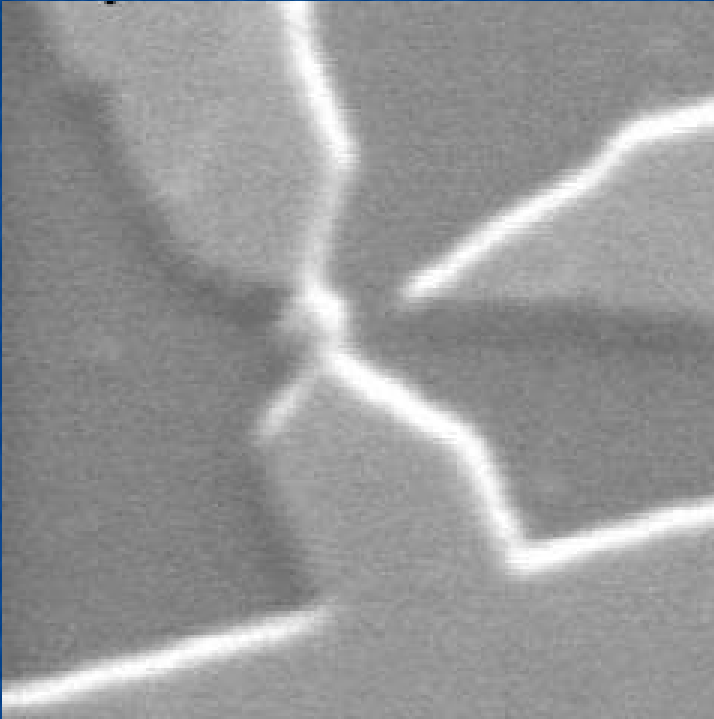
Кремний на изоляторе - КНИ.



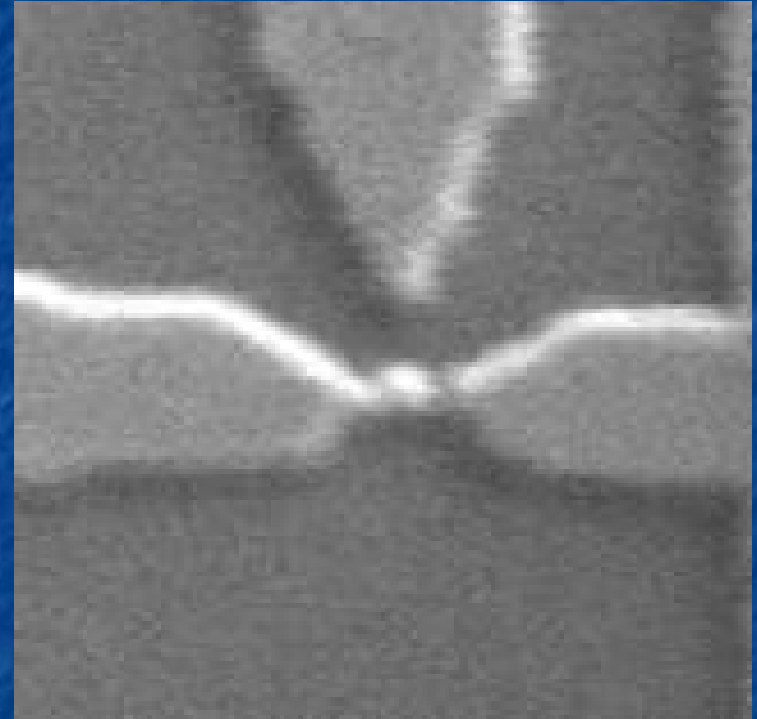
Одноэлектронный транзистор из высокодопированного КНИ.



## Формирование элементов транзистора методом изотропного травления кремния

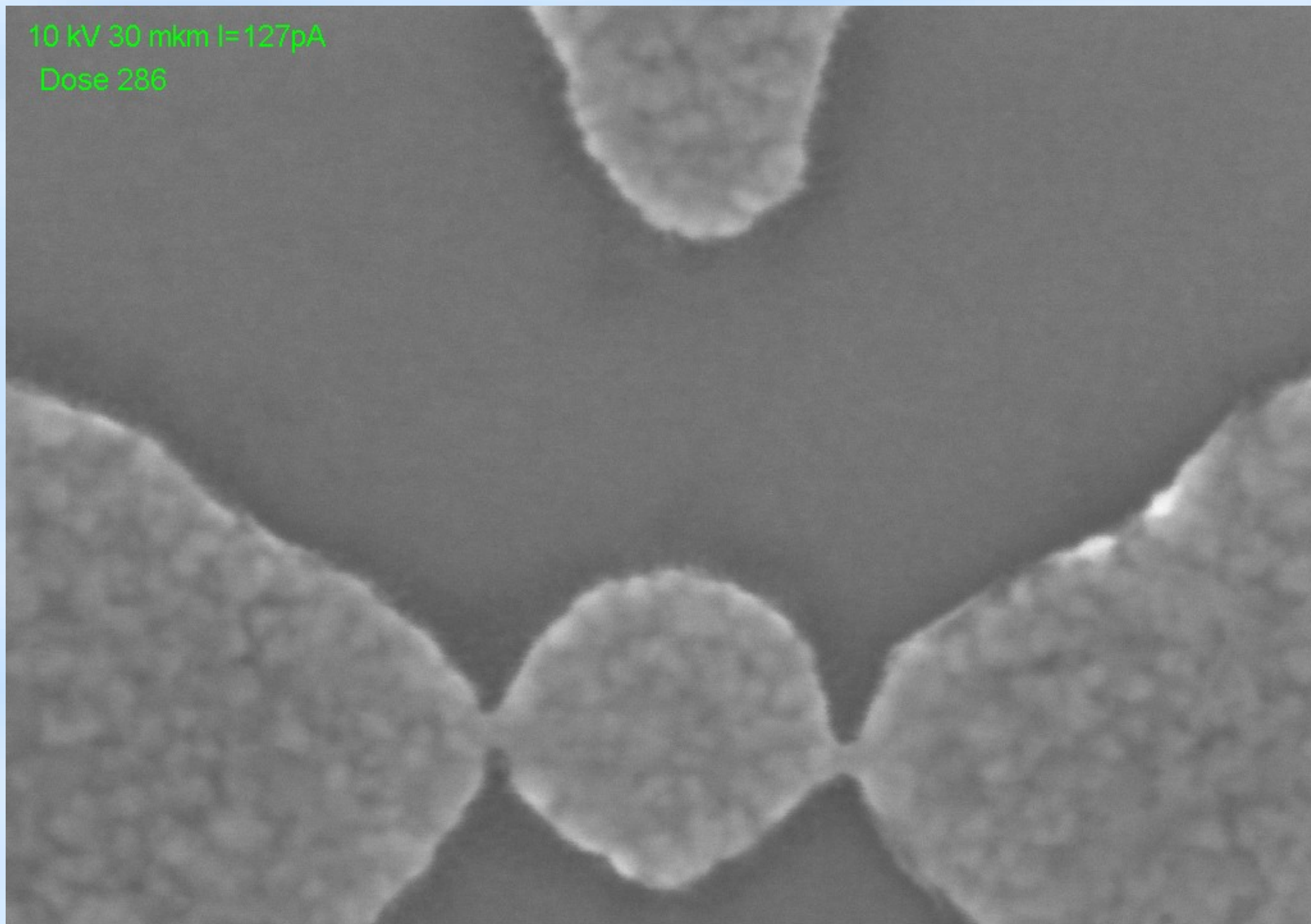


Предварительная  
структура перед  
травлением



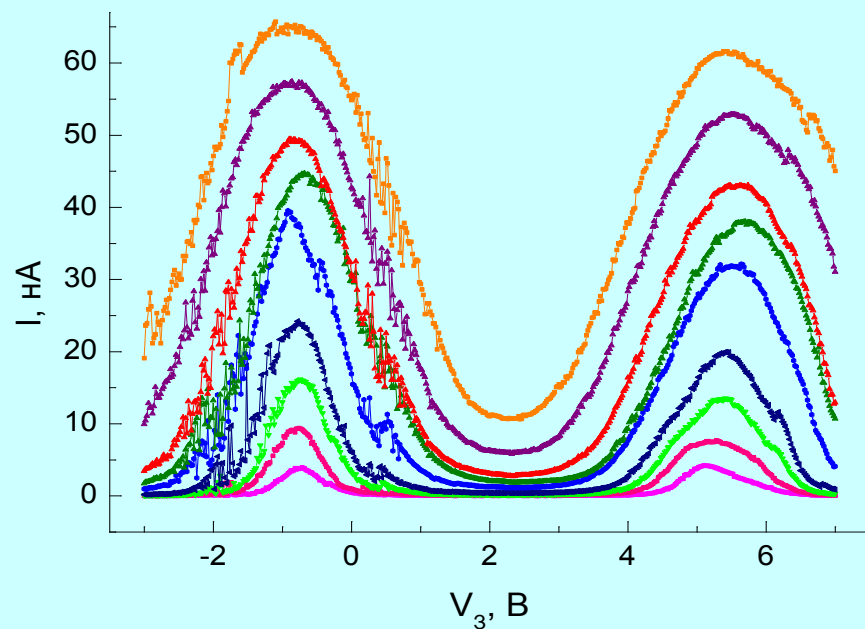
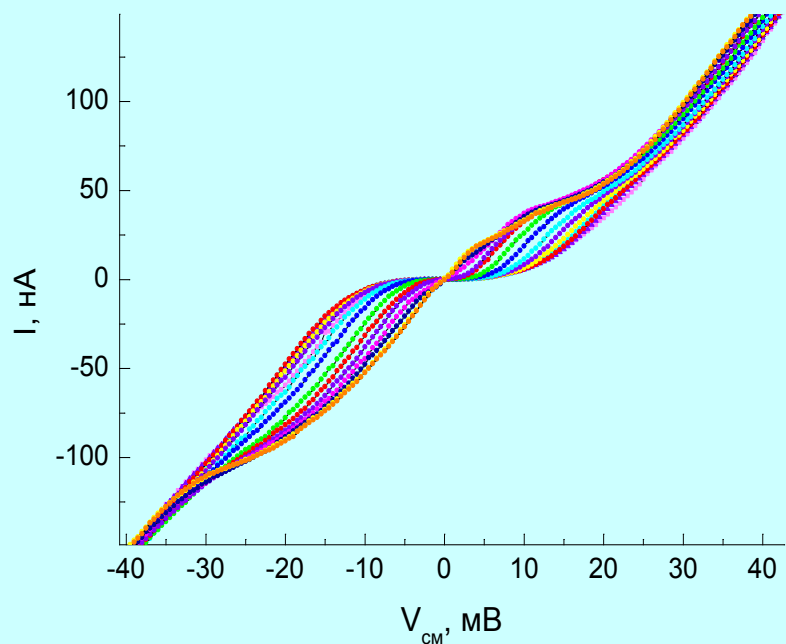
*SET* транзистор:  
структура после  
травления

10 kV 30 mkm I=127pA  
Dose 286



Mag = 509.95 K X WD = 2.4 mm 20 nm Signal A = InLens EHT = 3.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date : 5 Nov 2009 Gun Vac = 1.74e-009 mbar  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 0.0° Z = 48.000 mm Noise Reduction = Line Avg System = 4.40e-007 mbar

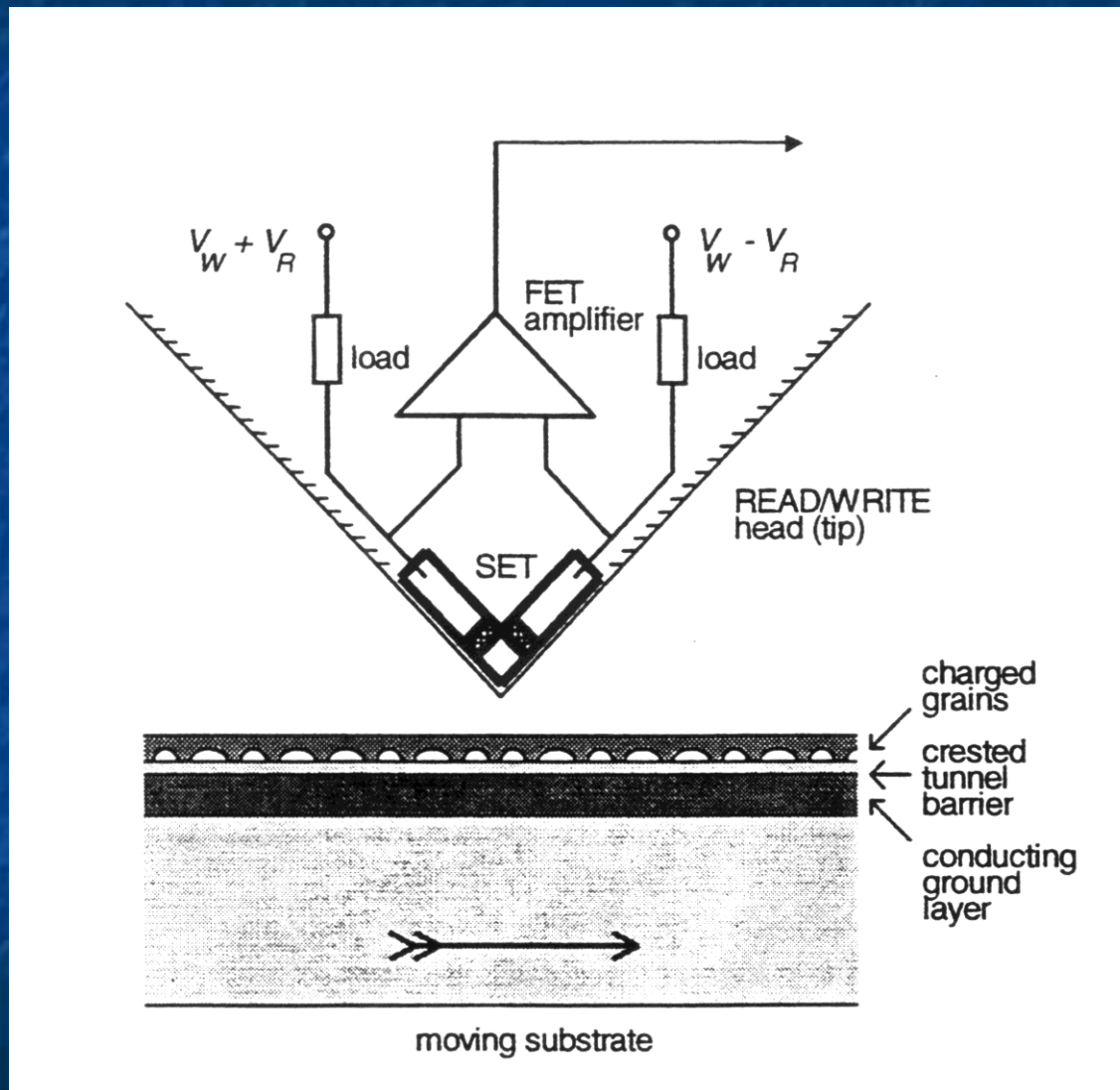




*Вольтамперные и модуляционные характеристики одноэлектронного транзистора с высокой рабочей температурой (зарядовая энергия  $E_C = 150K$ ).*

$$T = 4.2 \text{ K}, \Delta Q = 10^{-3} \text{ e/Hz}^{1/2} @ 10\text{Hz}$$

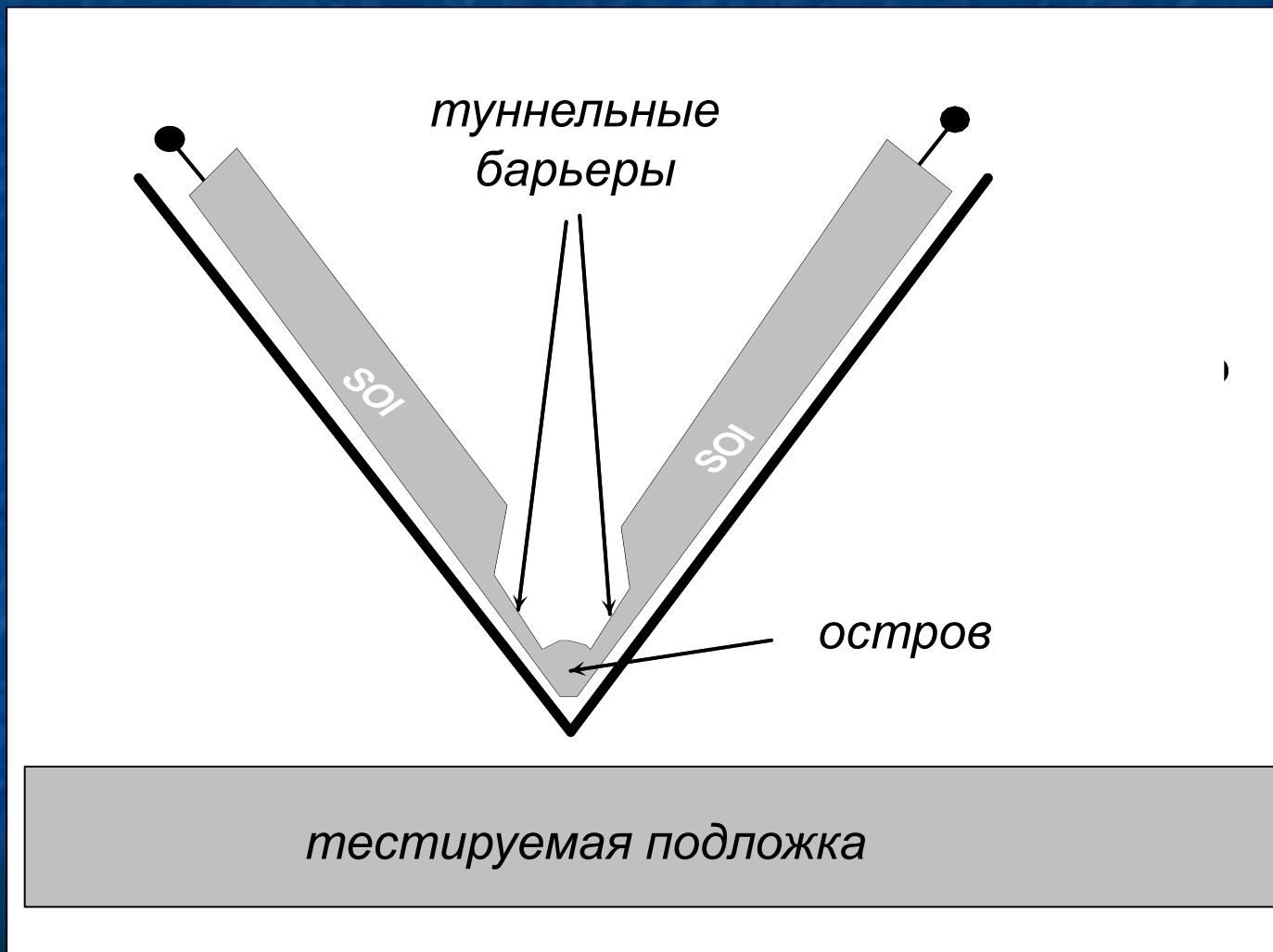
# Одноэлектронный транзистор – считывающий элемент для зондового микроскопа

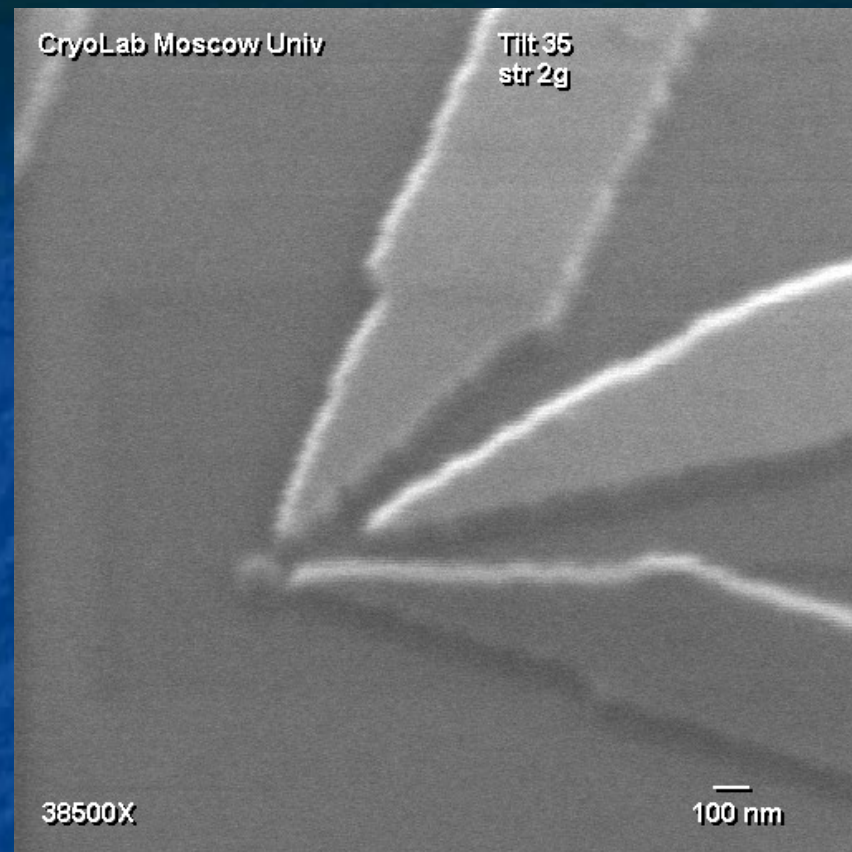


*K.K. Likharev, Proc. IEEE, 87(4), 606, (1999)*



# Одноэлектронный транзистор из КНИ – считывающий элемент для зондового микроскопа

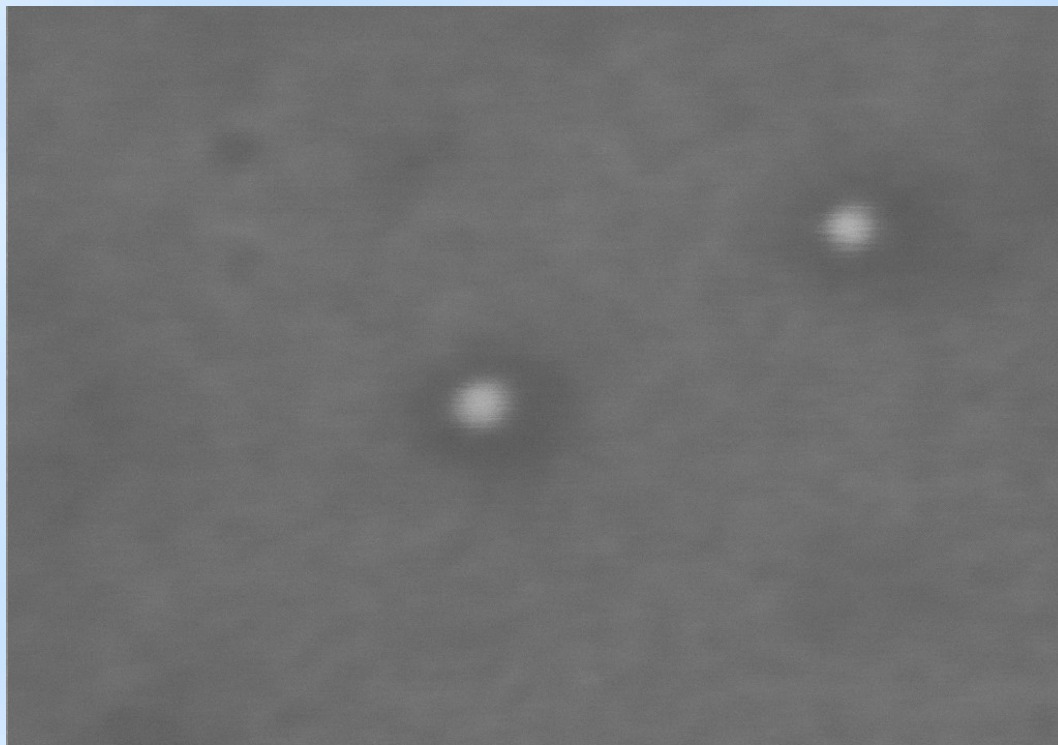




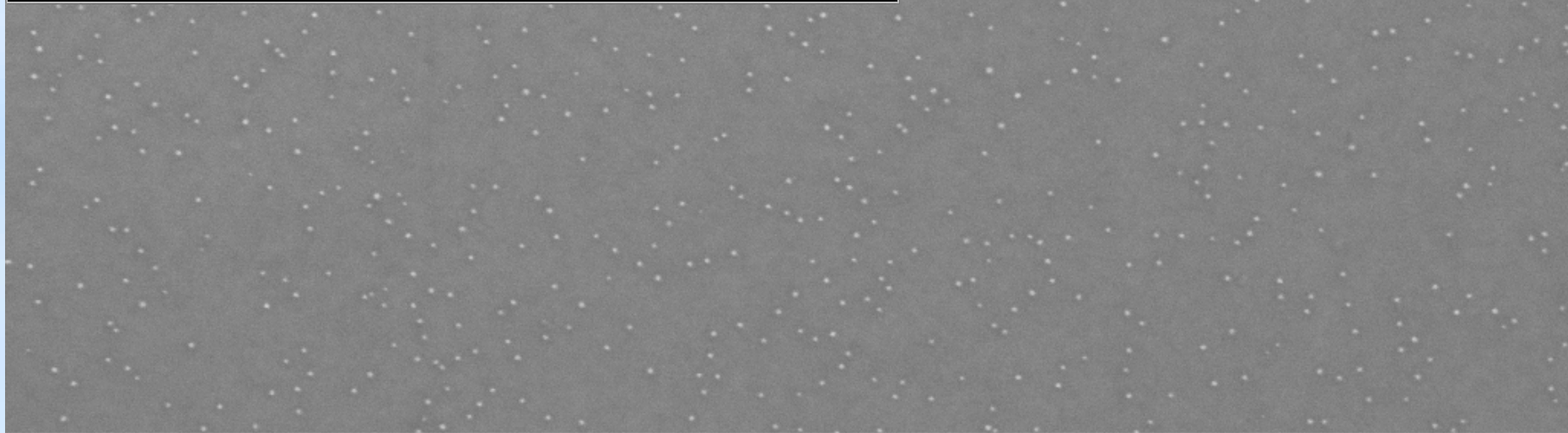
*Геометрия дноэлектронных транзисторов из КНИ для  
конструирования кантилевера сканирующего  
зондового микроскопа*



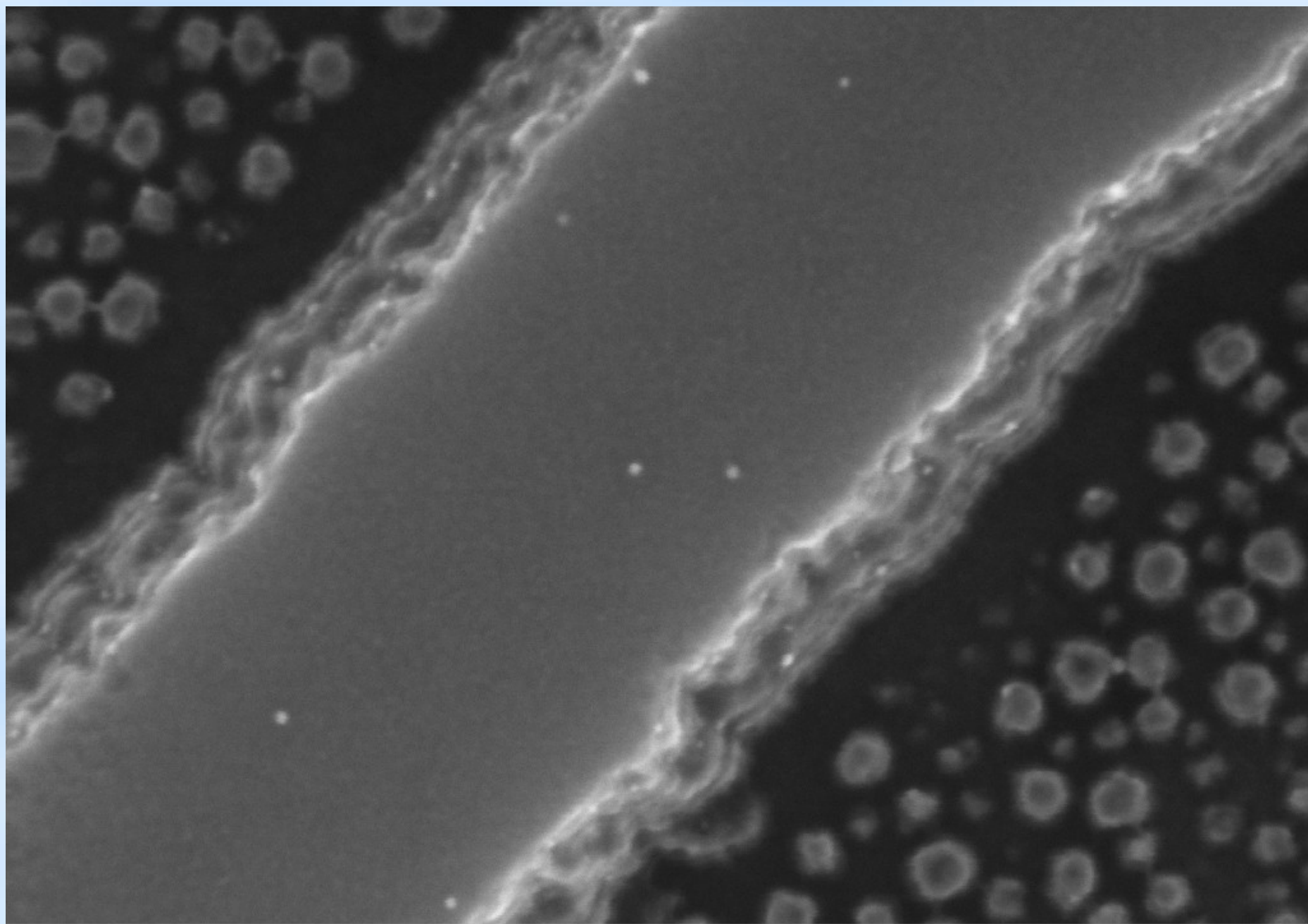
**Спасибо за внимание!**



Mag = 2623.99 K X WD = 2.2 mm 10 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :10 Dec 2009 Gun Vac= 1.17e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 0.0 ° Z = 48.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 3.88e-007 mb



Mag = 150.00 K X WD = 3.2 mm 100 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :23 Apr 2010 Gun Vac= 1.12e-009 mb  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 0.0 ° Z = 44.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 1.60e-006 mb



Mag = 513.97 K X    WD = 1.9 mm    20 nm    Signal A = InLens    EHT = 10.00 kV    Aperture = 30.00  $\mu$ m    Date :30 Oct 2009    Gun Vac= 1.53e-009 mb  
SUPRA 40-30-87    CRYOLAB MSU    Tilt = 0.0 °    Z = 48.000 mm    Noise Reduction = Line Avg    System= 4.76e-007 mb



TR-7

V 1 = 130.0 nm

V 2 = 56.44 nm

V 3 = 47.15 nm

TR-9

H 1 = 222.6 nm

H 3 = 58.40 nm

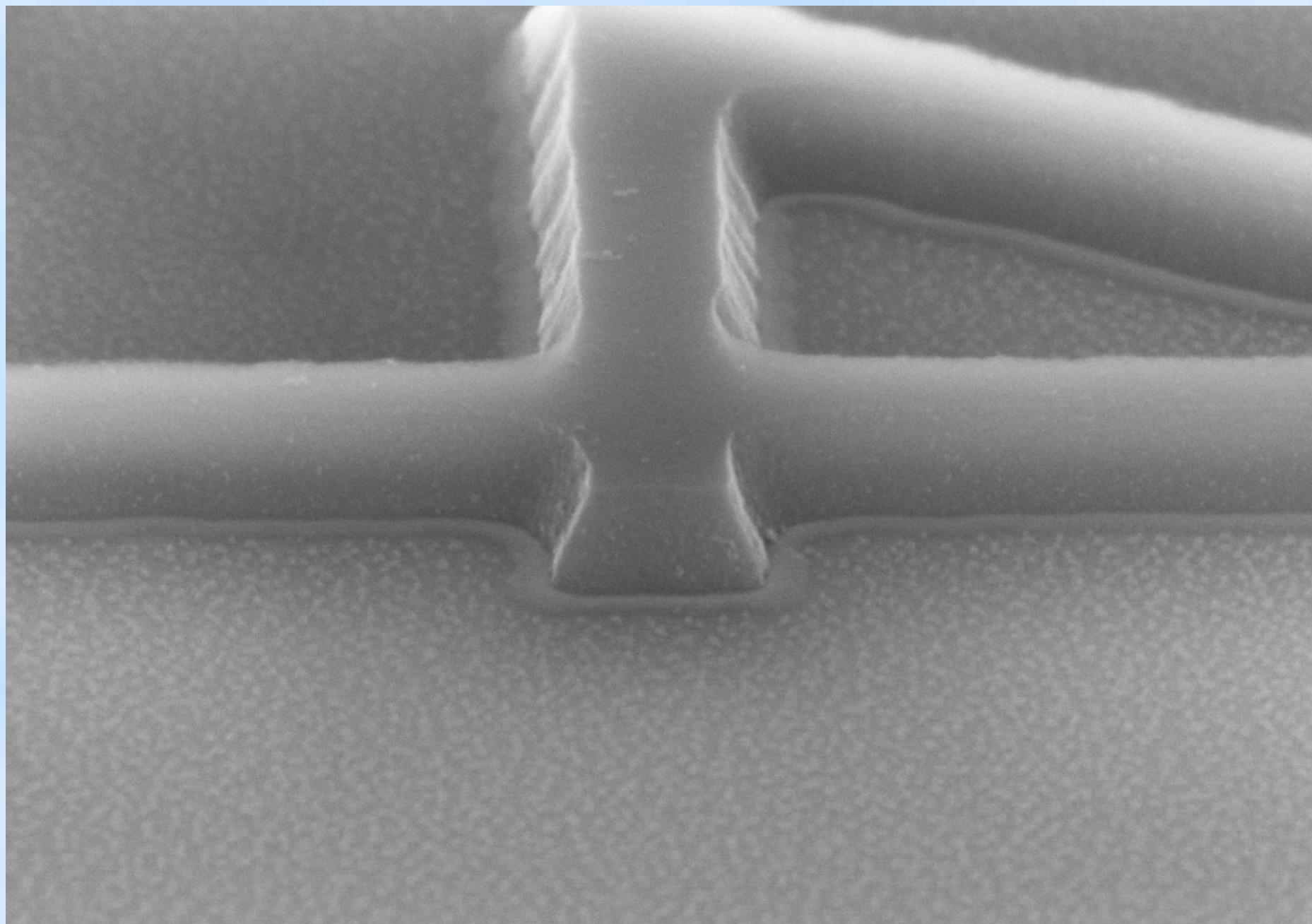
H 2 = 141.1 nm



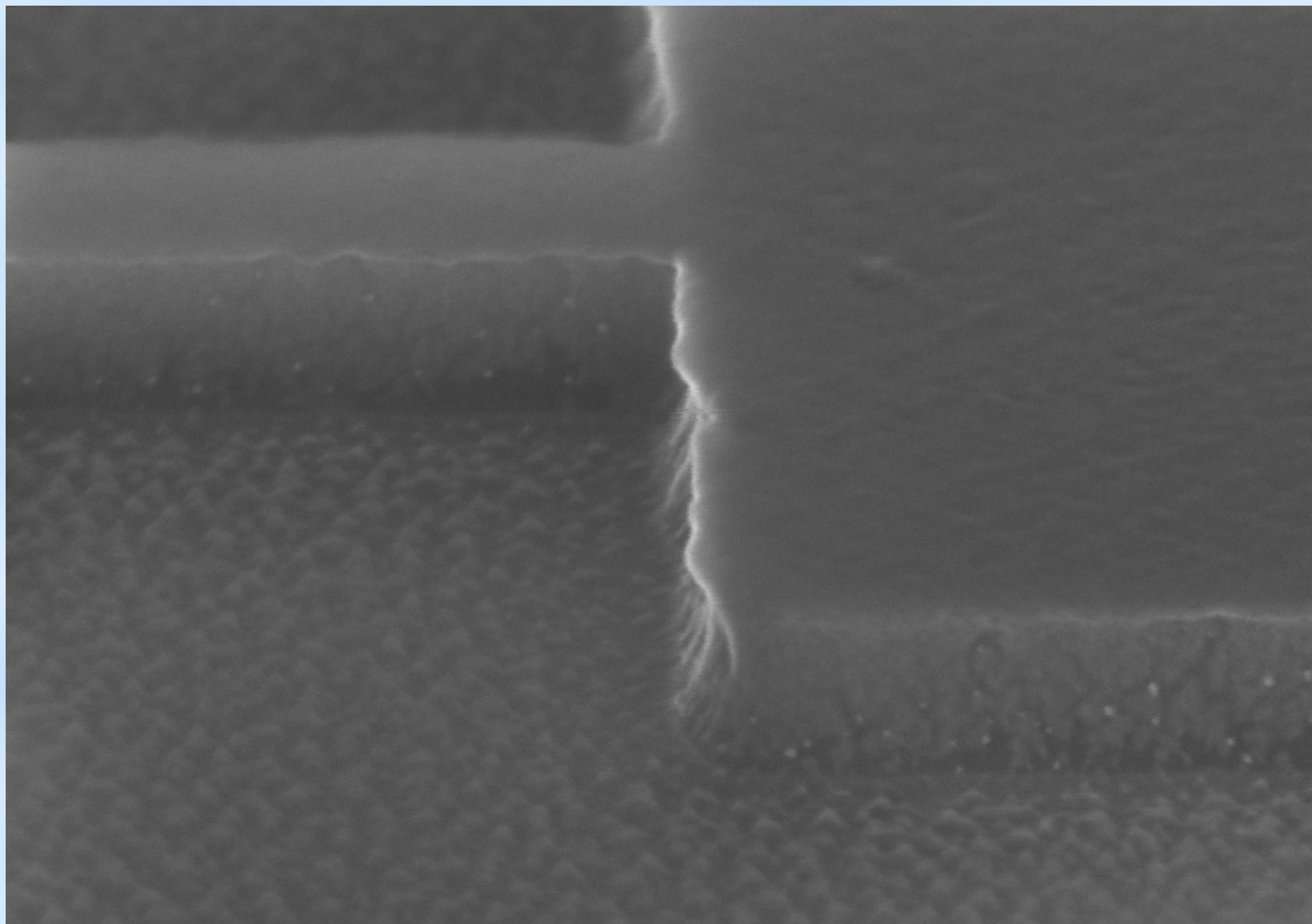
85

5



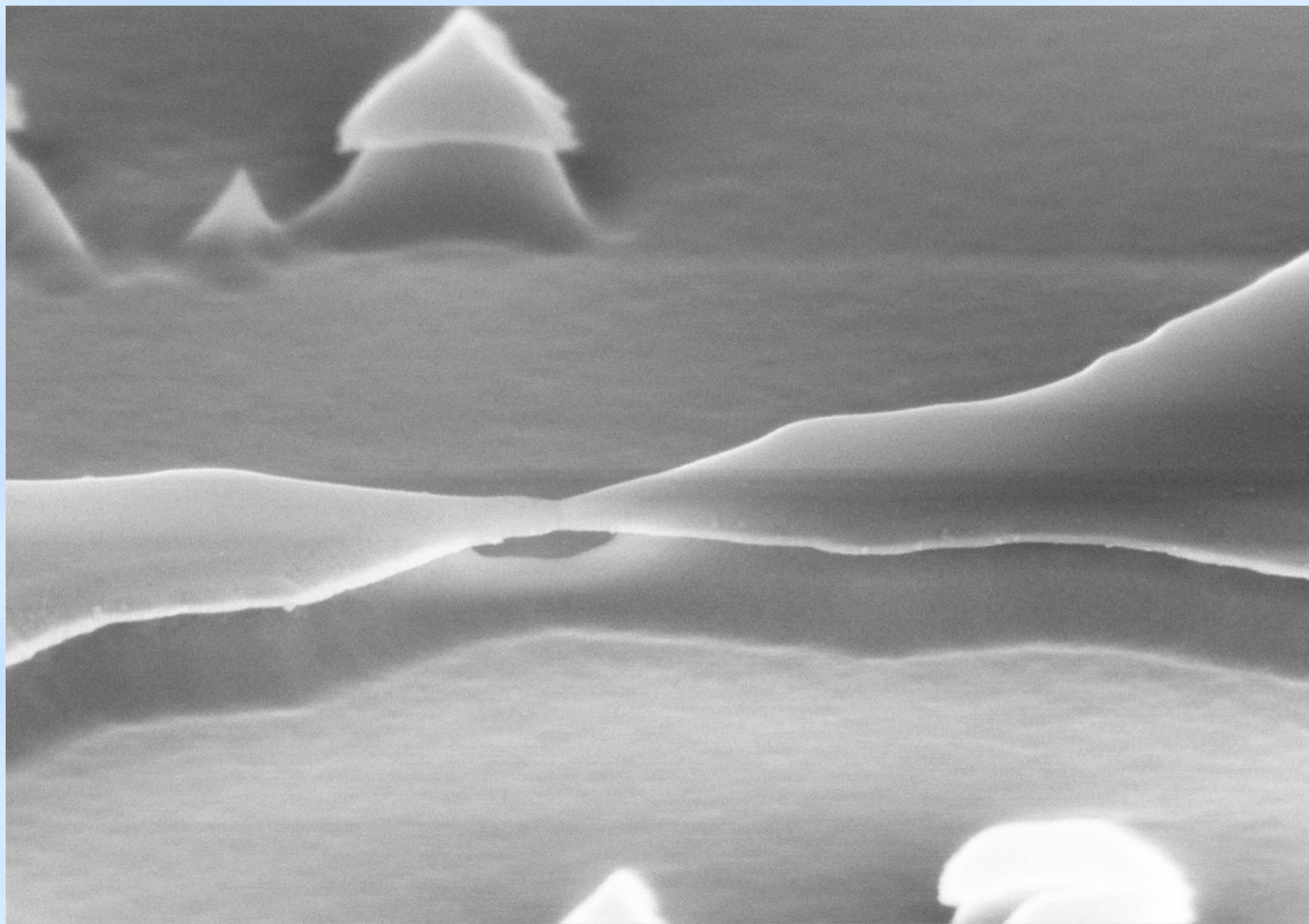


Mag = 214.17 K X WD = 6.1 mm 100 nm Signal A = InLens EHT = 10.00 kV Aperture = 30.00  $\mu$ m Date :14 Dec 2009 Gun Vac= 1.17e-009 mba  
SUPRA 40-30-87 CRYOLAB MSU Tilt = 70.0 ° Z= 37.000 mm Noise Reduction = Line Avg System= 3.61e-007 mba



Mag = 368.51 K X    WD = 4.2 mm    100 nm    Signal A = InLens    EHT = 10.00 kV    Aperture = 30.00  $\mu$ m    Date :23 Mar 2010    Gun Vac= 1.25e-009 mbar  
SUPRA 40-30-87    CRYOLAB MSU    Tilt = 70.0  $^{\circ}$     Z = 38.911 mm    Noise Reduction = Line Avg    System= 1.24e-006 mbar





Mag = 163.48 K X    WD = 3.8 mm    100 nm    Signal A = InLens    EHT = 10.00 kV    Aperture = 30.00  $\mu$ m    Date :26 Mar 2010    Gun Vac= 1.05e-009 mba  
SUPRA 40-30-87    CRYOLAB MSU    Tilt = 70.0 °    Z = 39.337 mm    Noise Reduction = Line Avg    System= 2.68e-007 mba



Shor

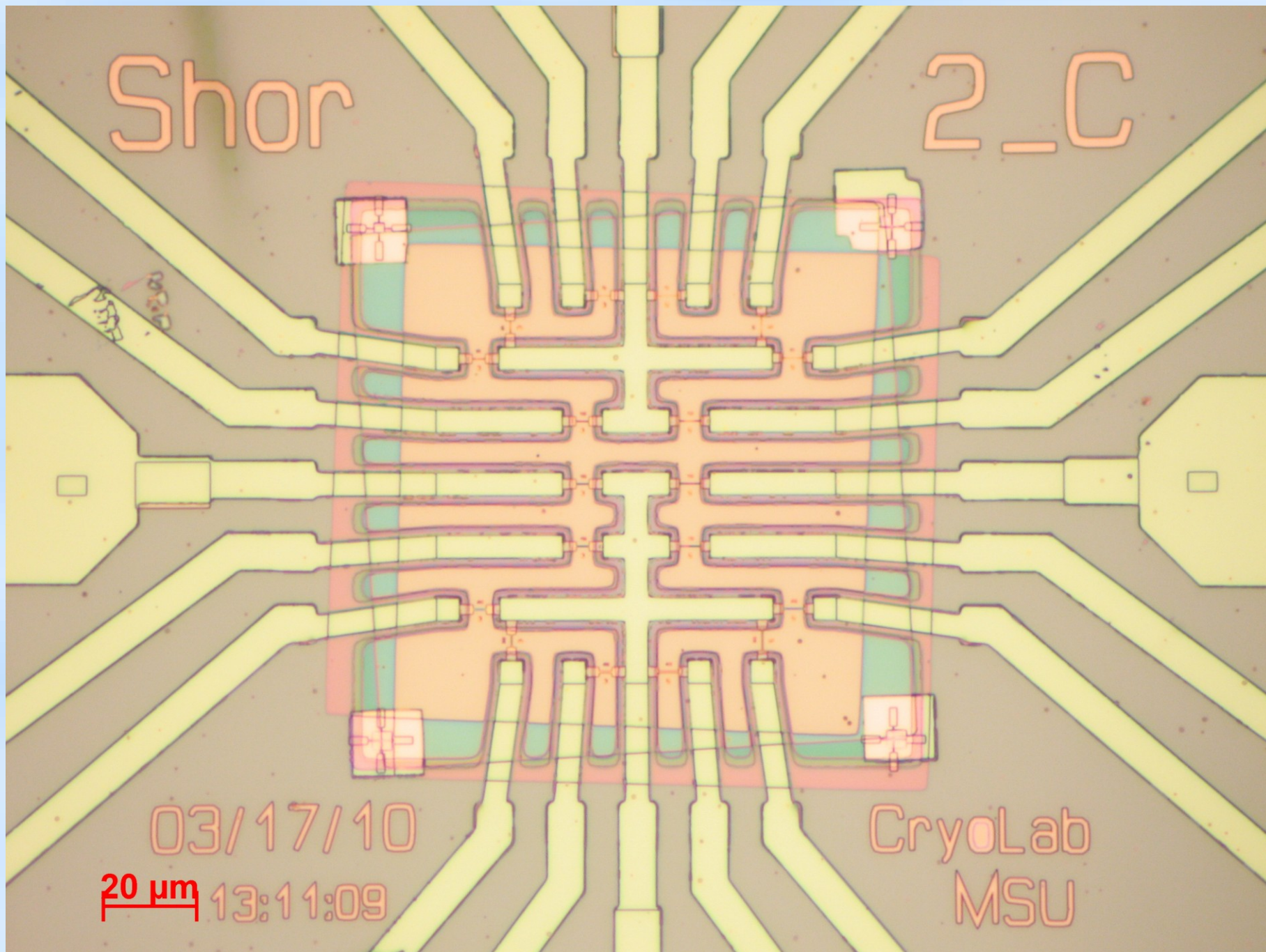
2\_C

03/17/10

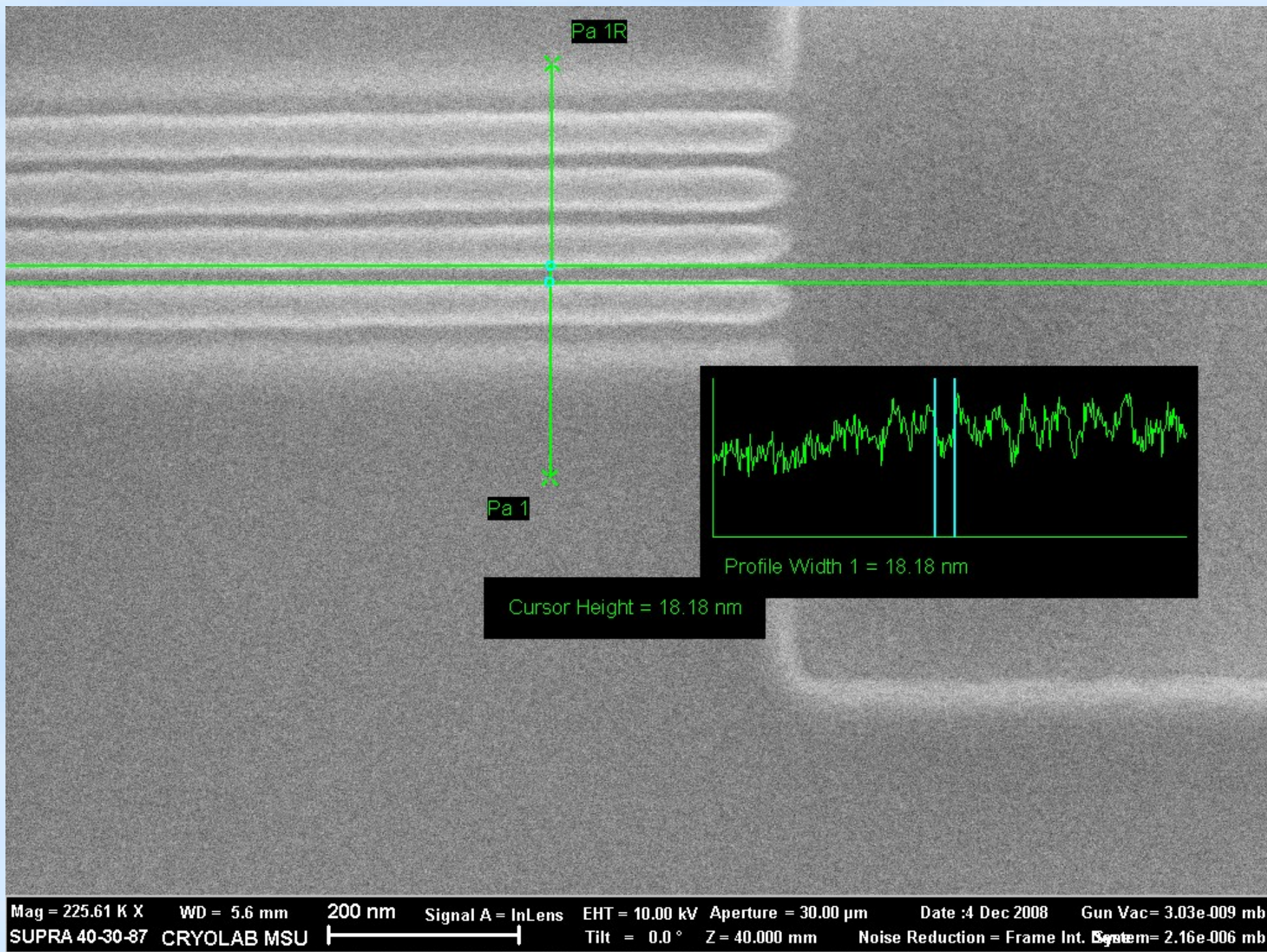
CryoLab  
MSU

20  $\mu\text{m}$

13:11:09







20 kV 10 mkm I=25.7pA

Dose 500

H 1 = 21.71 nm

