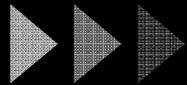


Манипуляции с интерфейсом - основа создания спинтронных структур с требуемыми свойствами



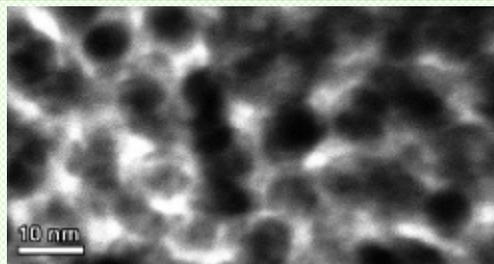
Интерфейс ферромагнетик/полупроводник

Магниторезистивные эффекты – ферромагнетизм в прозрачных средах?

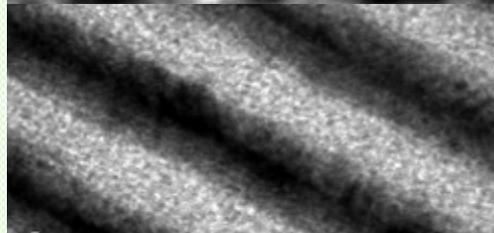
ГО НПЦ НАН Беларуси по материаловедению
А.И. Стогний

Формирование магнитных структур

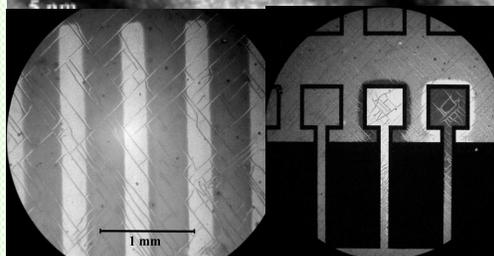
Co/SiO_2



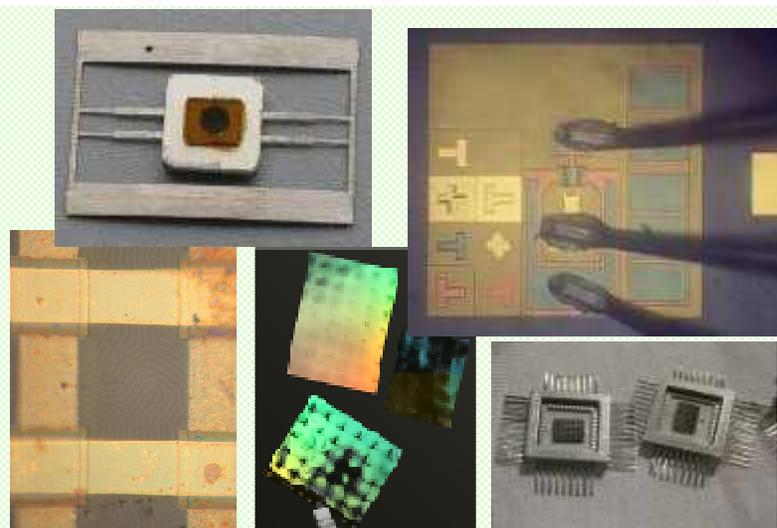
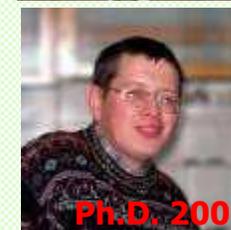
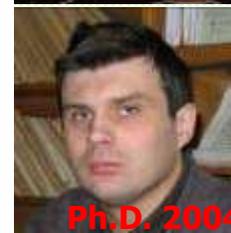
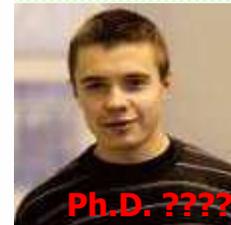
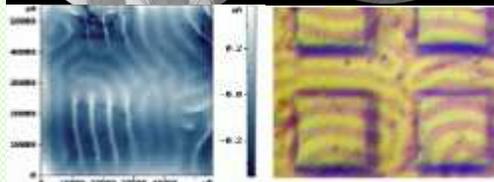
Co TiO_2



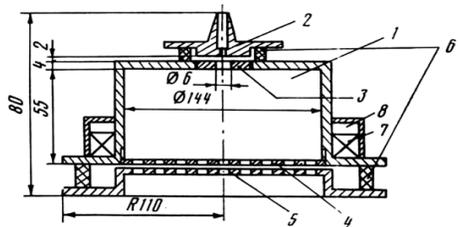
$\text{Bi}_3\text{FeO}_{12}$



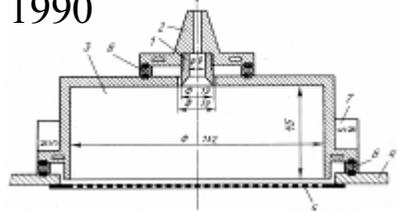
$(\text{LuY})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$



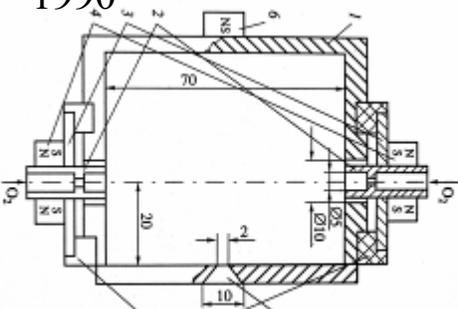
Источники ионов



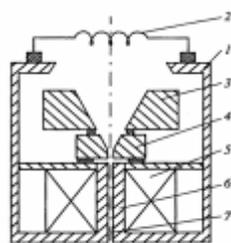
1990



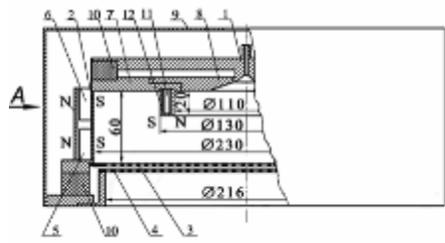
1990



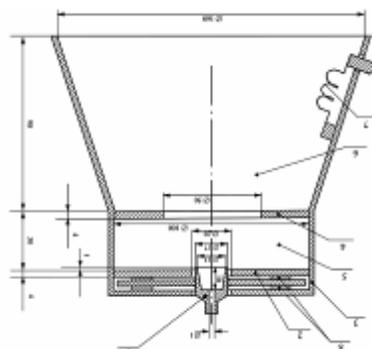
1996



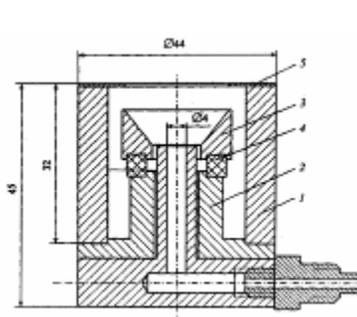
1996



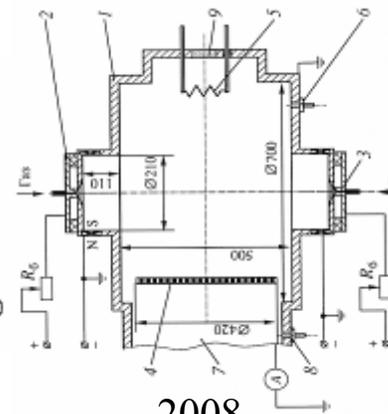
2000



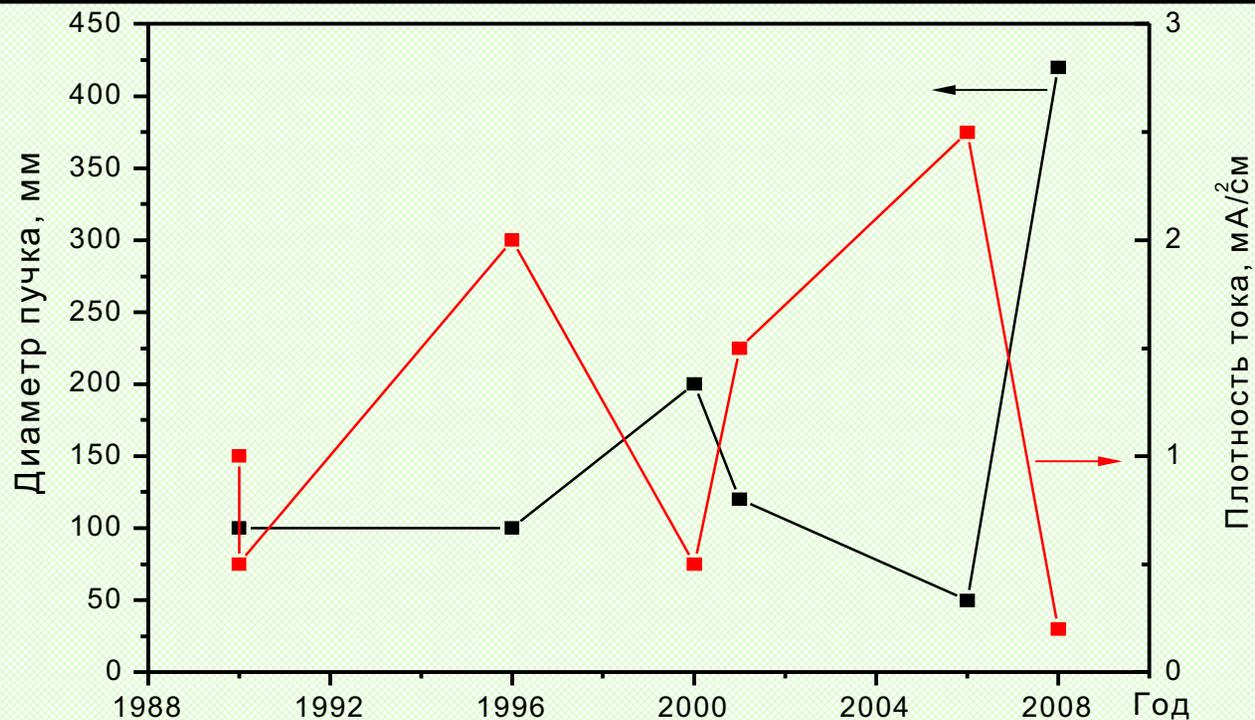
2001



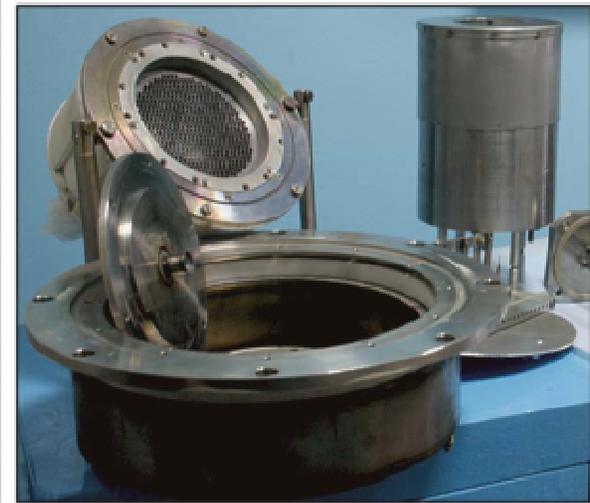
2006

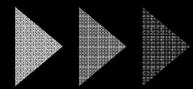


2008



Ионные источники

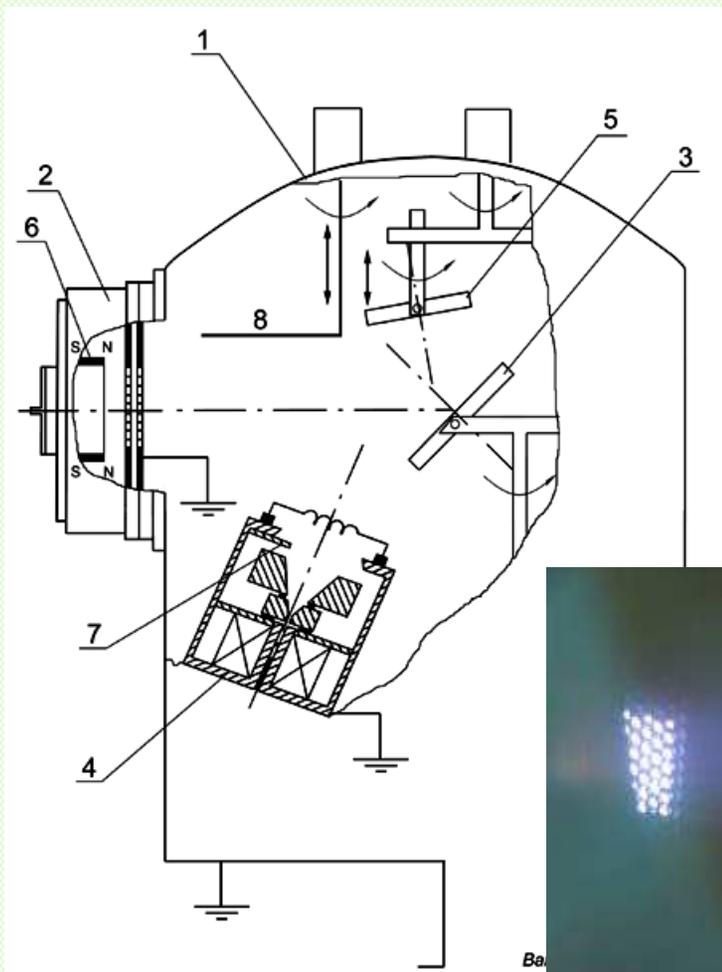




Установка подготовки поверхности в СВЧ-плазме



Ионно-лучевая установка



Установка нанесения плёнок

$P_{пр} = 10^{-7}$ Торр

$P_{раб} = 10^{-5}$ Торр

I_p до 0,4 А

Уиск до 1600 В

Скорость осаждения:

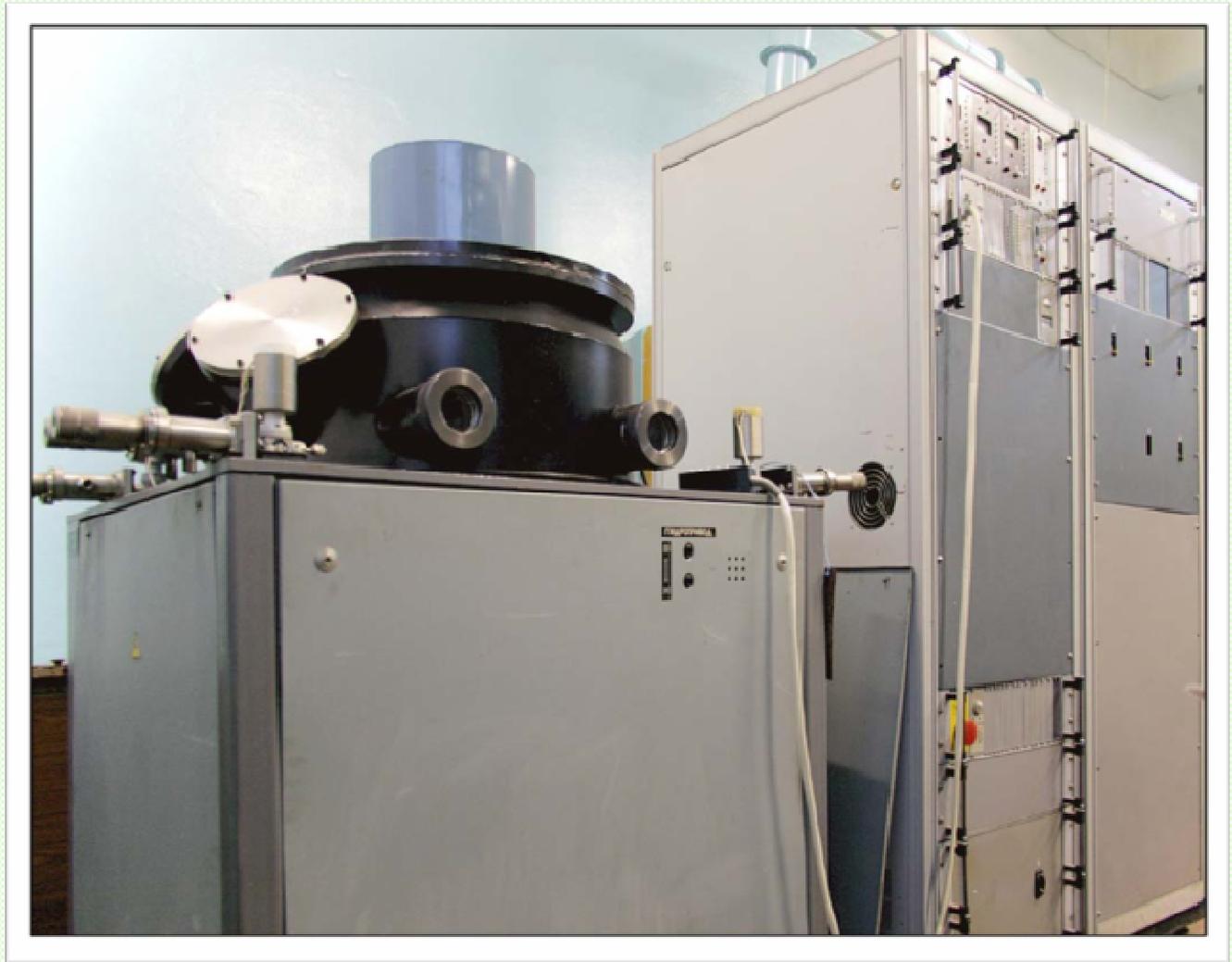
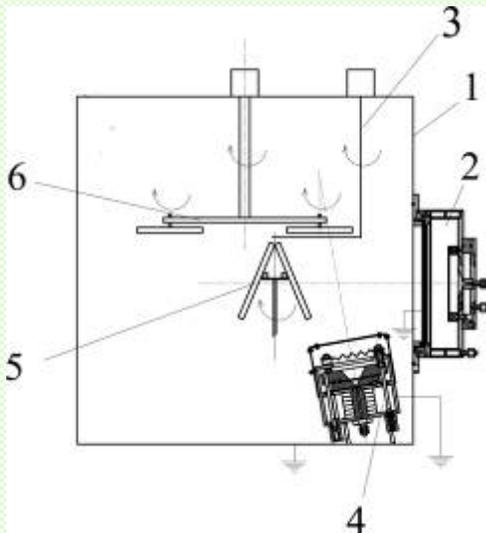
2 мкм/ч

Количество

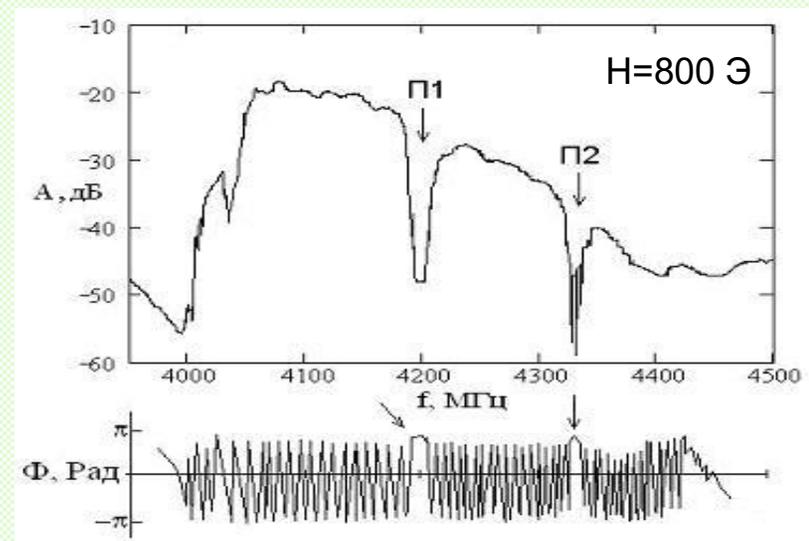
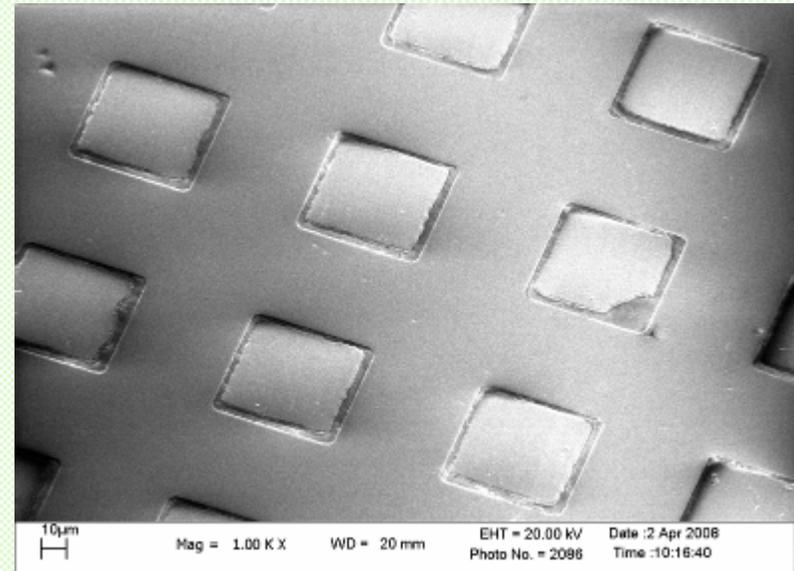
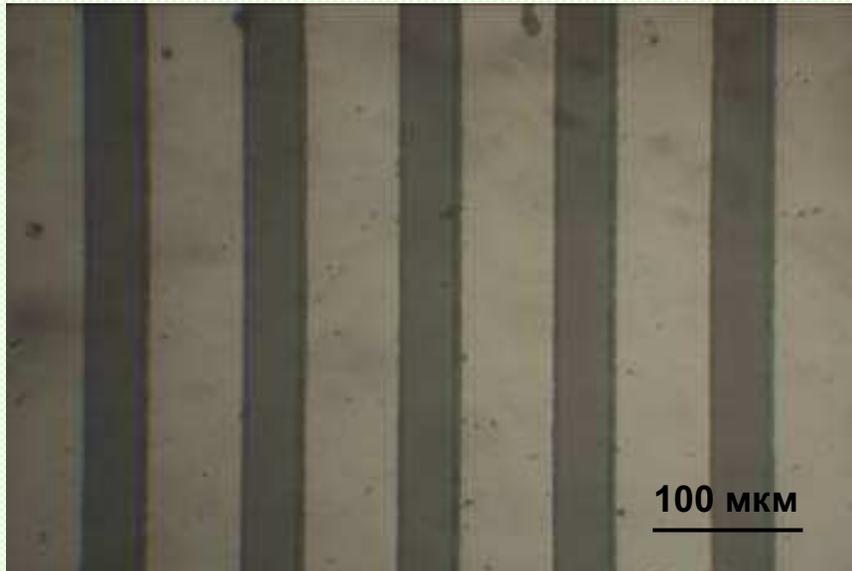
подложкодержателей: 8

Диаметр подложек:

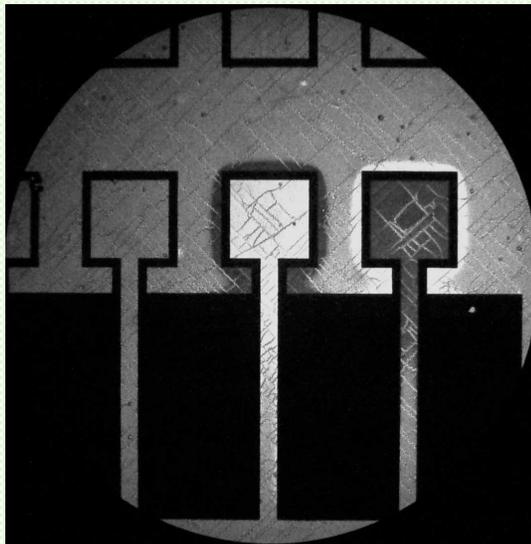
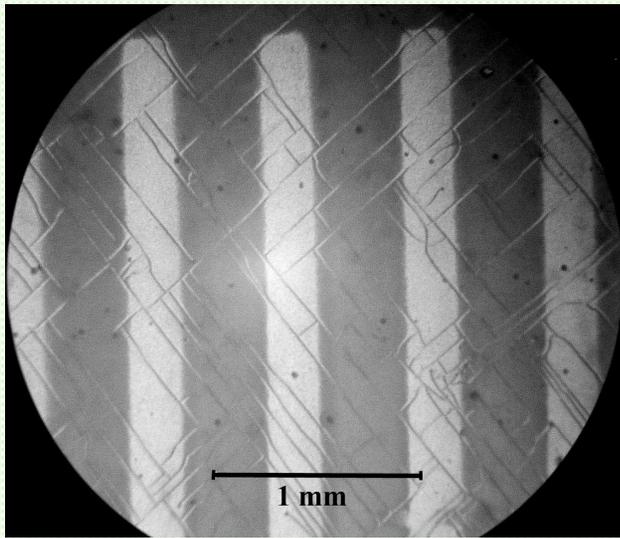
до 100 мм



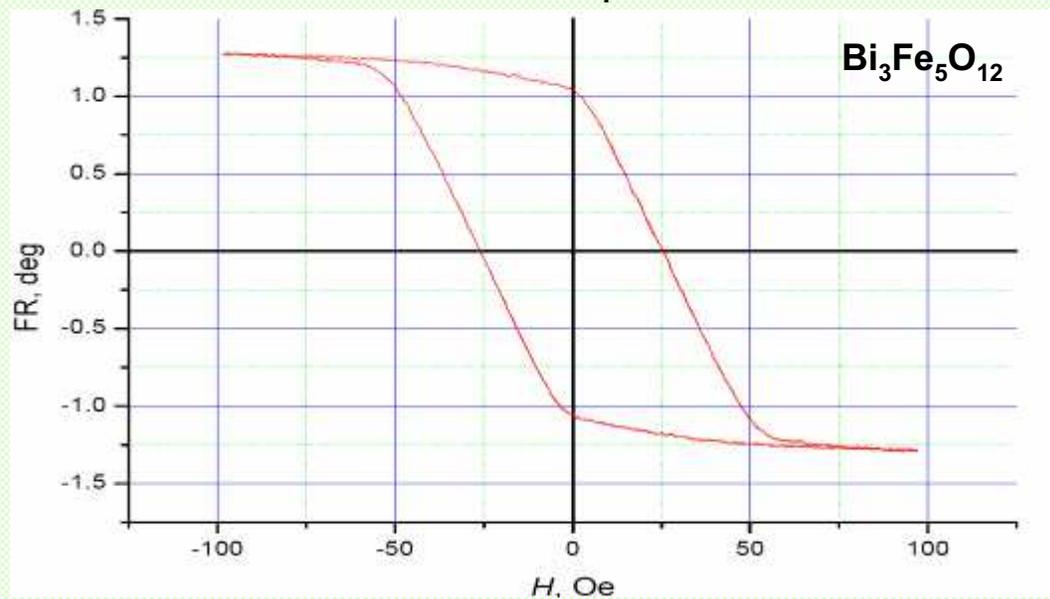
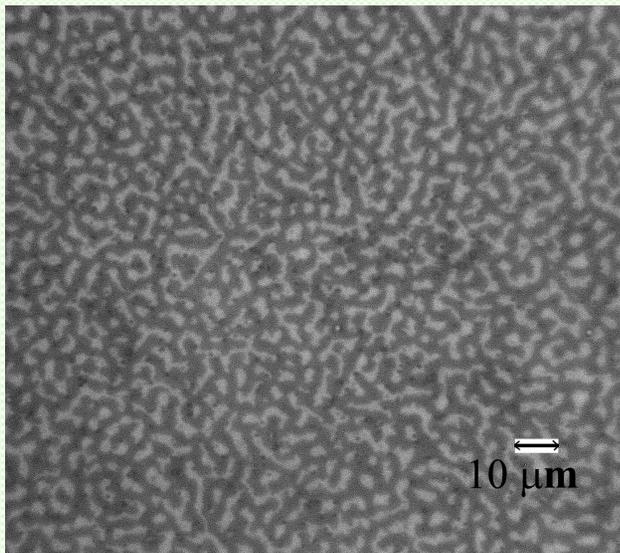
Магنونные кристаллы



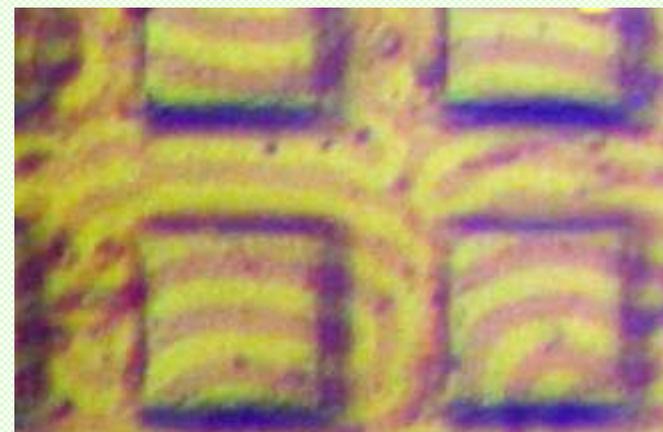
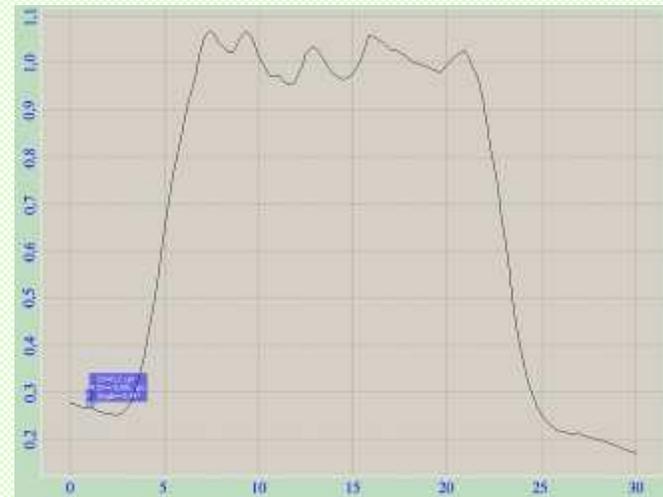
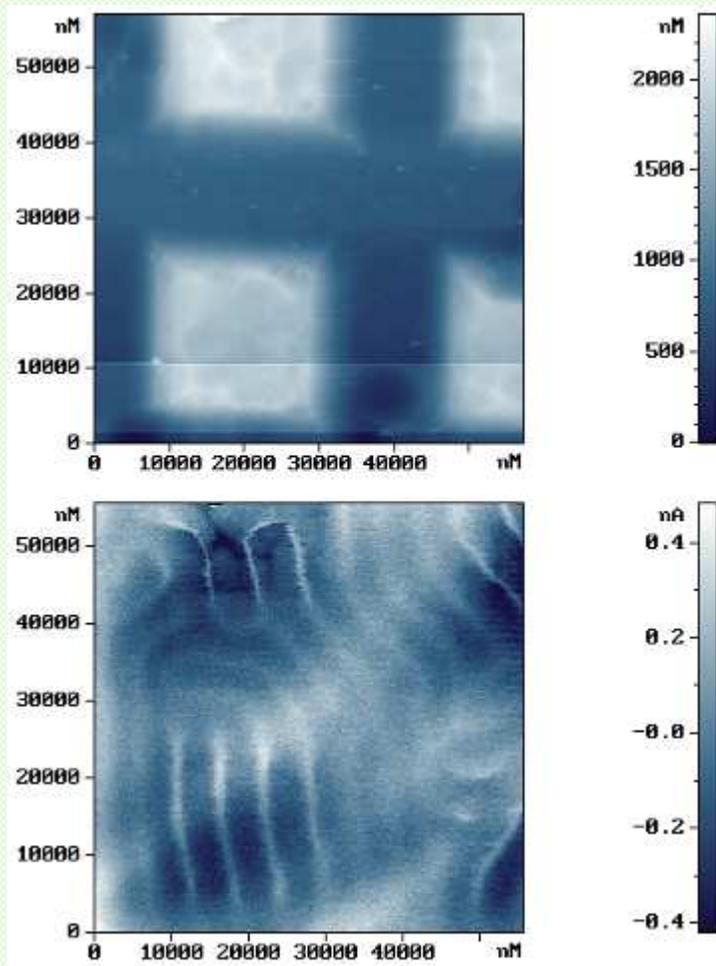
Энергонезависимая память



After applying 2 mks current pulse of +2A to the central loop
And -2A to the right loop while whole film was demagnetized.
Loop: inner space is 500 μm , linewidth is 50 μm , Au thickness is 0.4 μm

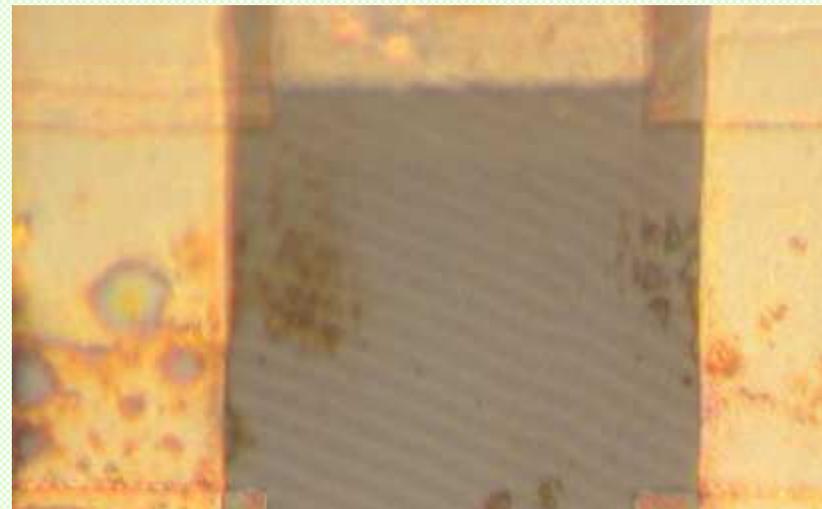
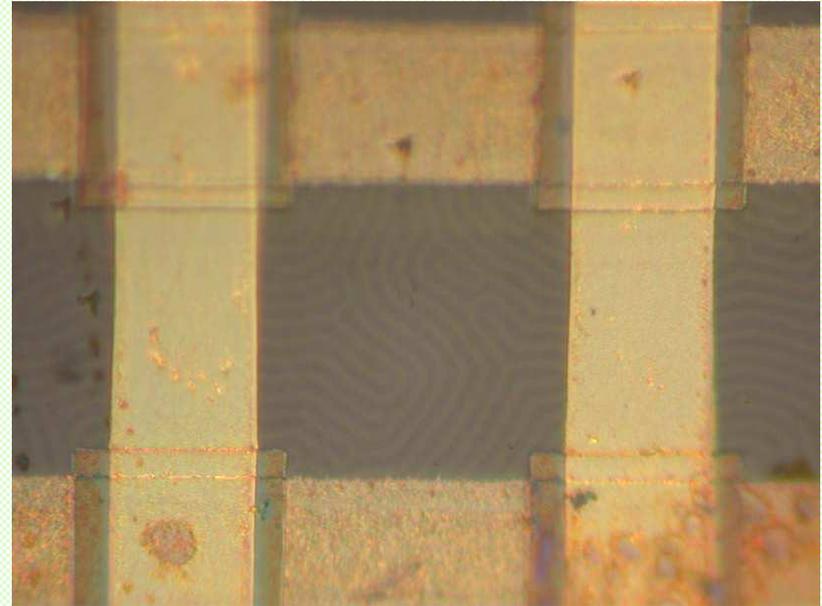
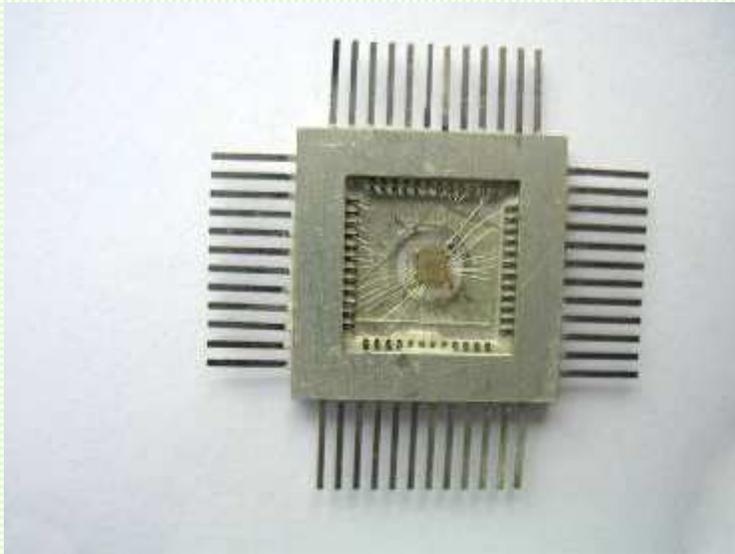


Дисперсность и магнитосиловая микроскопия



Визуализация интерфейсного магнетизма, обратная структура – 2D магнитофотонный кристалл

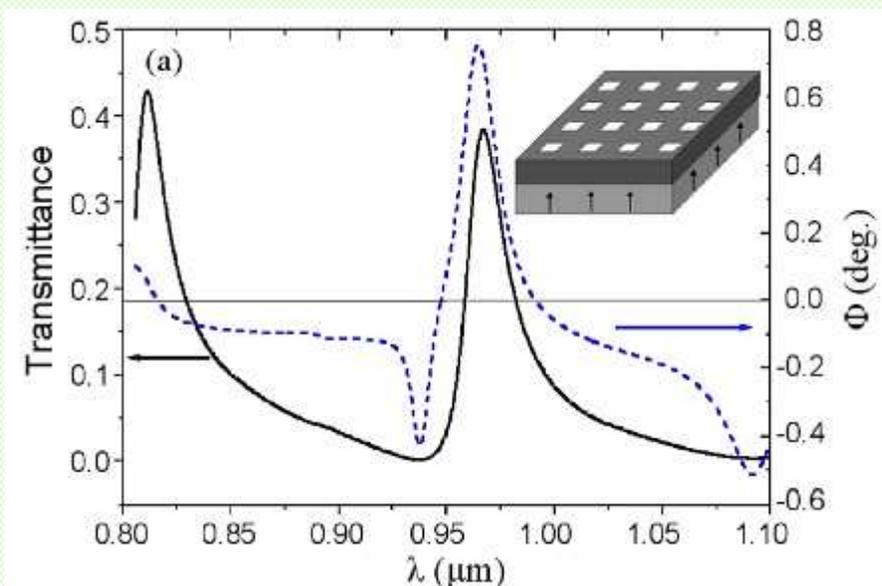
Энергонезависимая память



Магнитоплазмонный кристалл

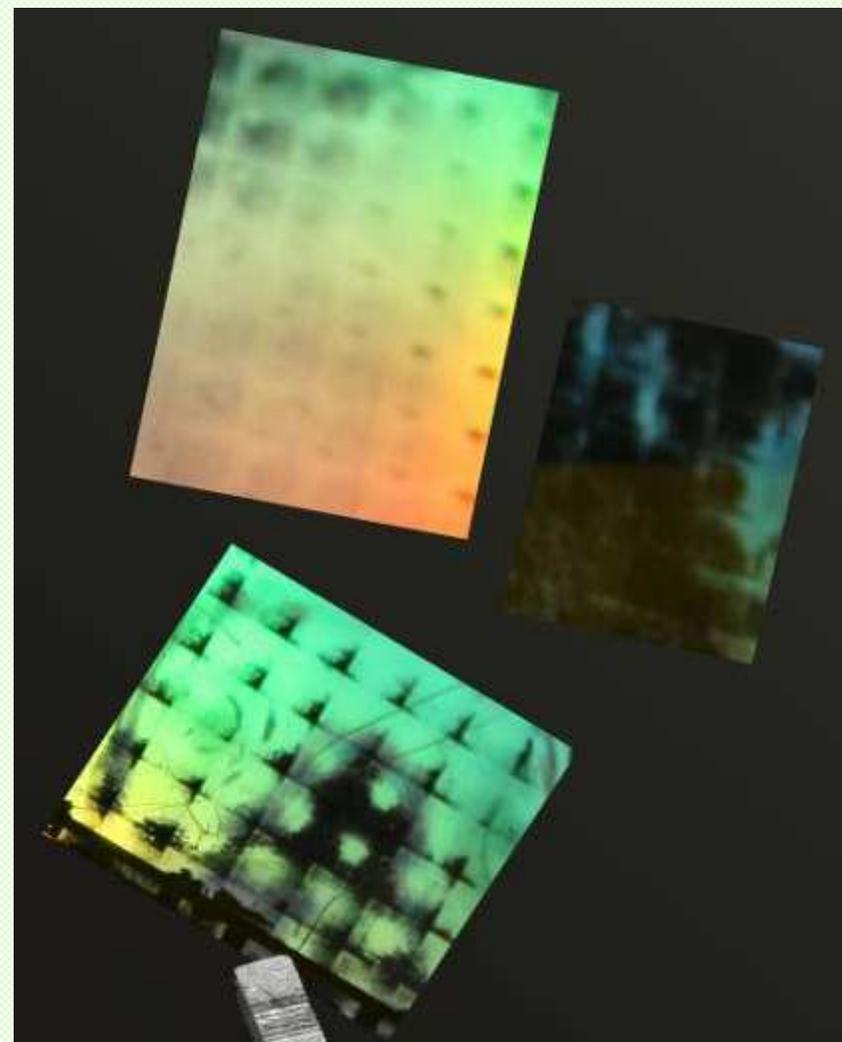
Теория

Практика

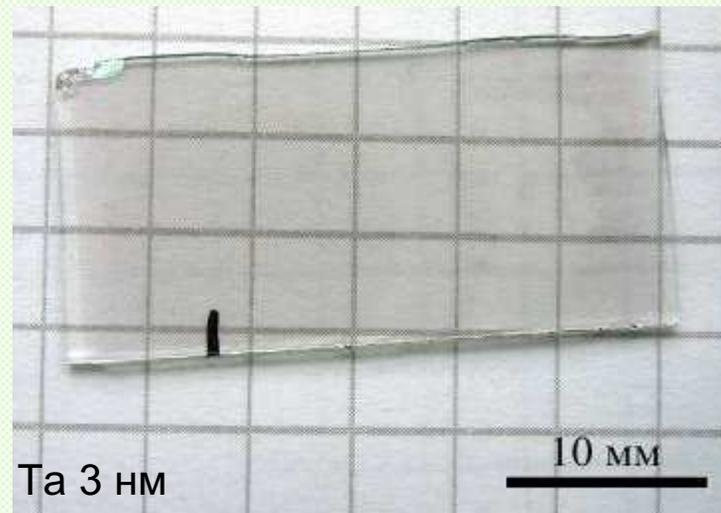
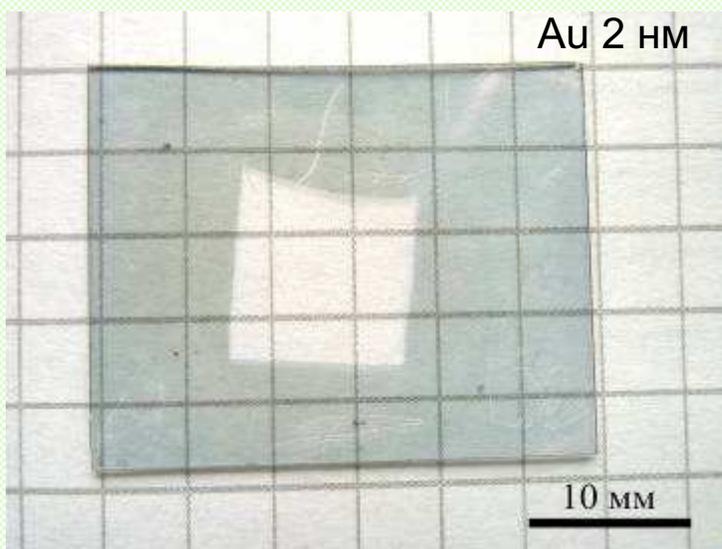
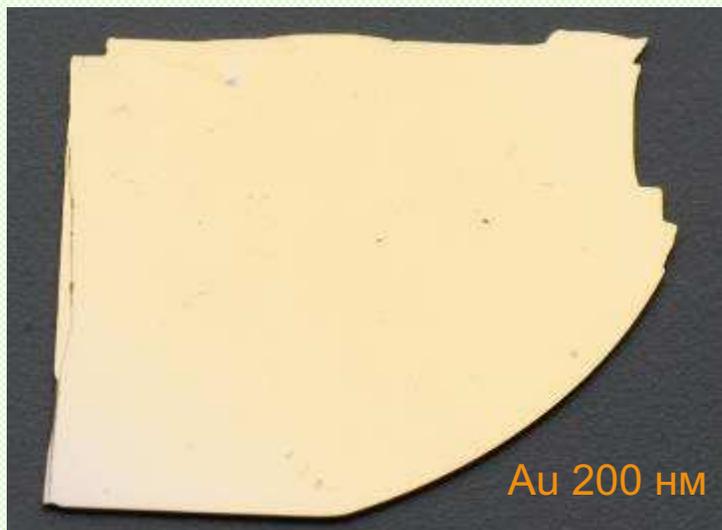


Au-film of thickness 68 nm and uniform
Bi:YIG film of thickness 118 nm; $d = 750$ nm,
 $r = 395$ nm

V. I. Belotelov, L. L. Doskolovich, A. K. Zvezdin PRL **98**,
077401 (2007)

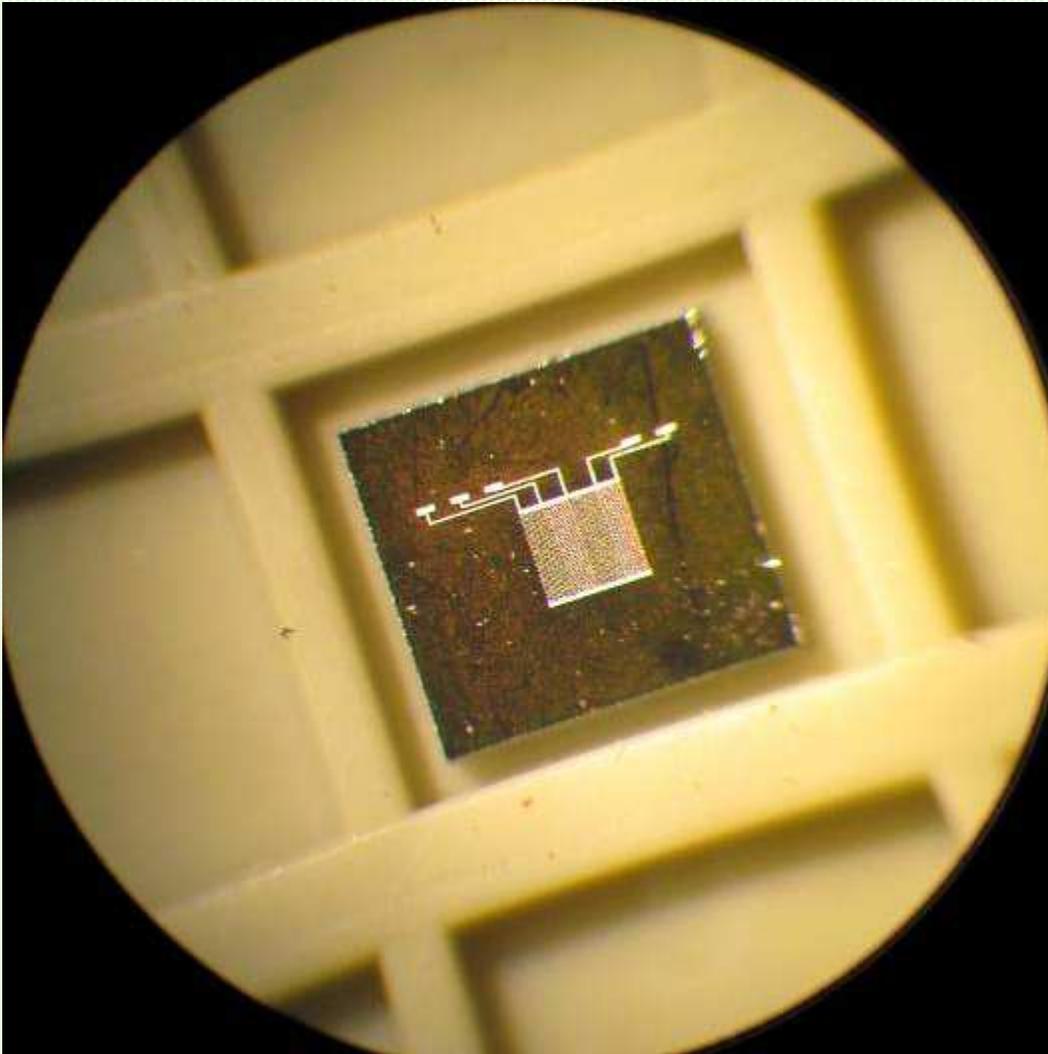


Нанослойные технологии



1. А. Формирование чувствительных элементов.
2. Химическая обработка пластины.
3. Ионно-лучевое напыление в едином вакуумном цикле активных слоев Ta (5 нм)/ Ni₇₆Fe₁₆Co₈ (12 нм) / Ta (3 нм) с защитным слоем Au (10 нм).
4. Фотолитография магниторезистивных полосок и колец.
5. Ионно-лучевое травление активного слоя.
6. Удаление фоторезиста.
7. Химическая обработка

Магниторезистивный датчик



8. Фотолитография заострений магнитных полосок.

9. Ионно-лучевое травление.

10. Удаление фоторезиста.

Б. Формирование металлизации.

11. Химическая обработка.

12. Напыление металлизации Ti (0,03 мкм)

/ Al (0,3 мкм).

13. Фотолитография металлизации.

14. Химическое травление.

15. Удаление фоторезиста.

В. Формирование защитного слоя.

16. Химическая обработка.

17. Напыление защитного слоя SiO_x.

18. Фотолитография контактных площадок.

19. Плазмохимическое травление SiO_x.

20. Удаление фоторезиста.

Г. Формирование защитного кольца.

21. Химическая обработка.

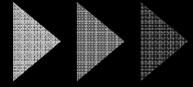
22. Нанесение полиимида $h=10$ мкм.

23. Напыление маски Al (0,3 мкм)

24. Реактивное ионно-лучевое травление пучками ионов кислорода.

25. Удаление фоторезиста.

26. Контроль параметров кристаллов.



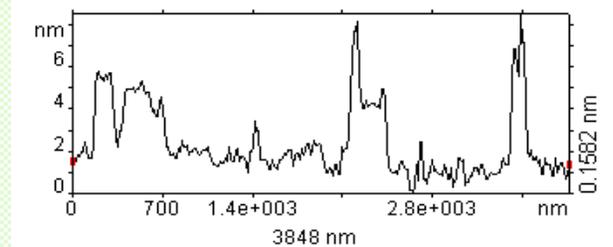
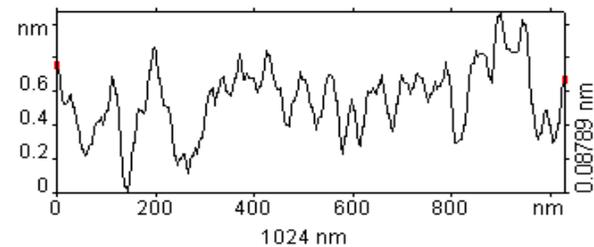
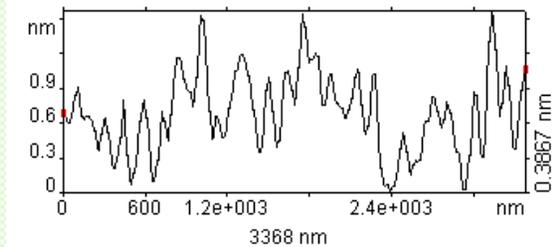
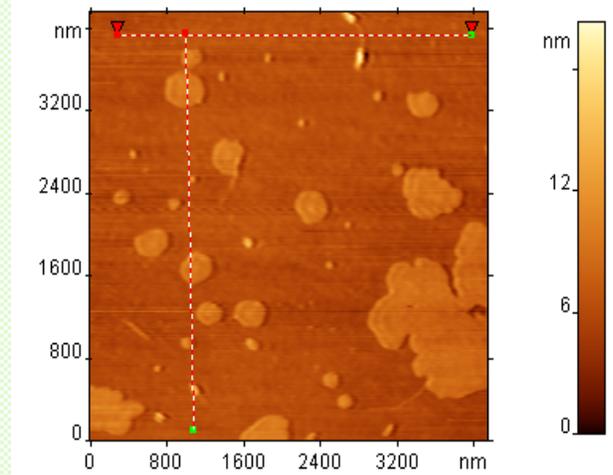
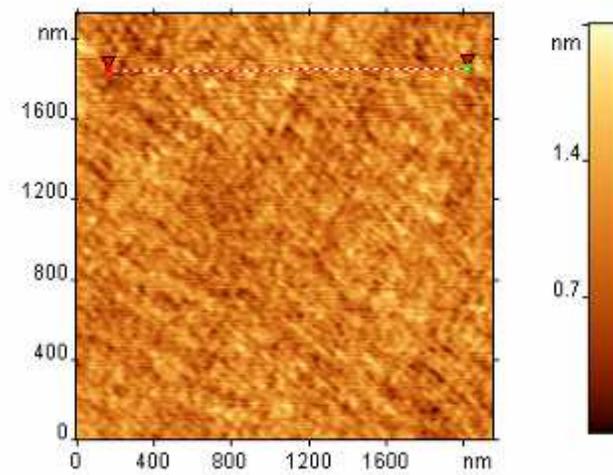
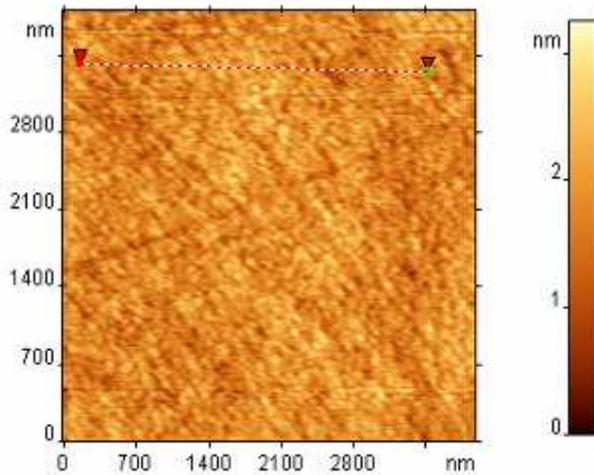
Над чем работаем?

- ❖ Co/ZnO и Fe/EuO на GaN, GaAs и InSb.
- ❖ Системы типа $\text{ZnGa}_2\text{O}_4\text{-MgFe}_2\text{O}_4$.
- ❖ Высокоомный нанослой кобальта + подбор подложки = спинтронный прибор?
- ❖ Co/SiO₂ – можно ли сделать контролируемой?

Проблемы:

1. Где вращает – там и поглощает.
2. Кластерный магнетизм – оптическая визуализация недостаточна. Нужен экспресс-метод оценки магнитной однородности. Рентген от структуры, а магнетизм от преципитатов?
3. Что важнее – ферромагнетизм или электросопротивление при зарождении?

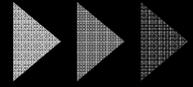
Подготовка поверхности GaAs



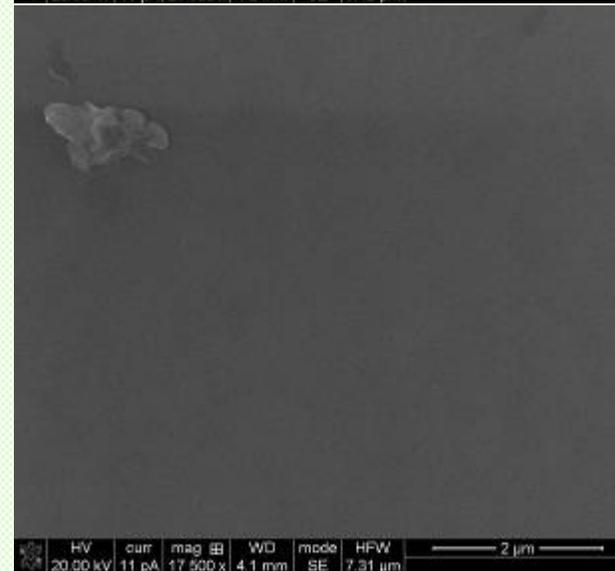
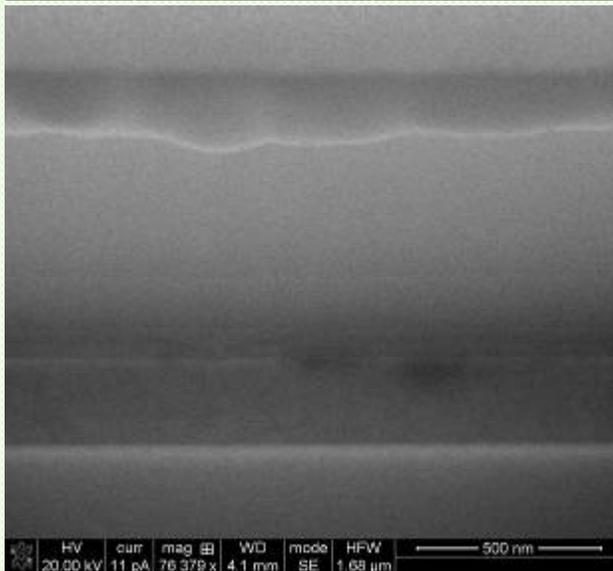
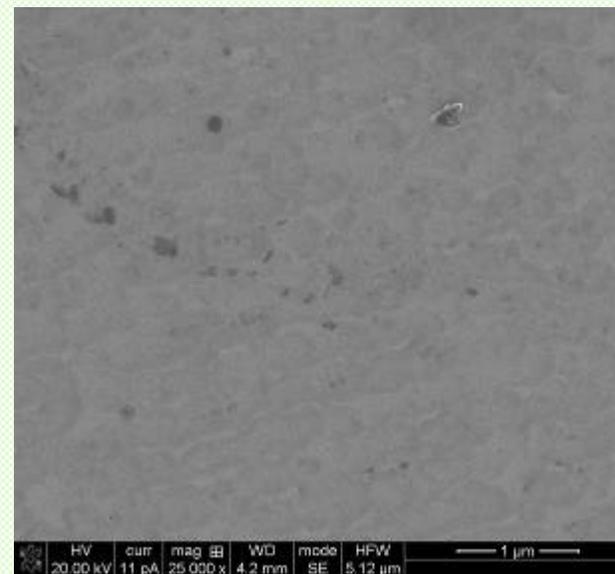
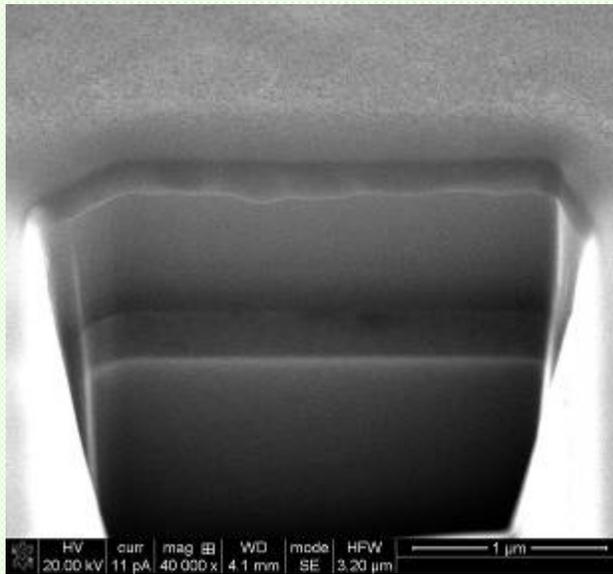
Исходная
поверхность GaAs

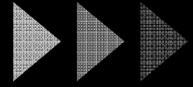
Поверхность GaAs
обработанная
водородом

Поверхность GaAs
обработанная
кислородом

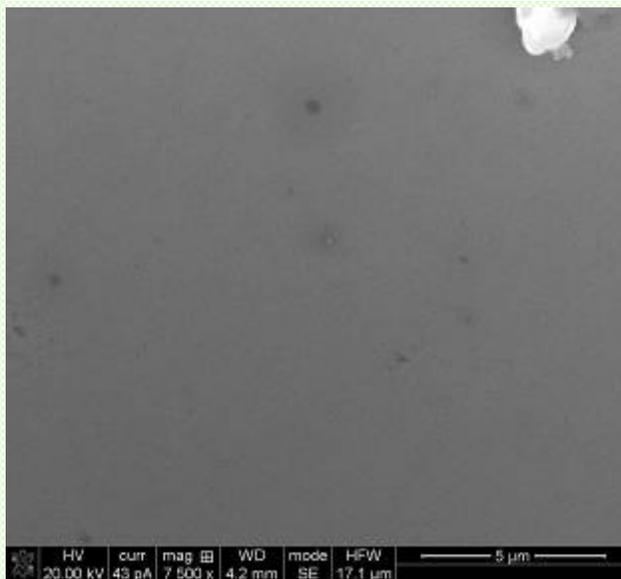
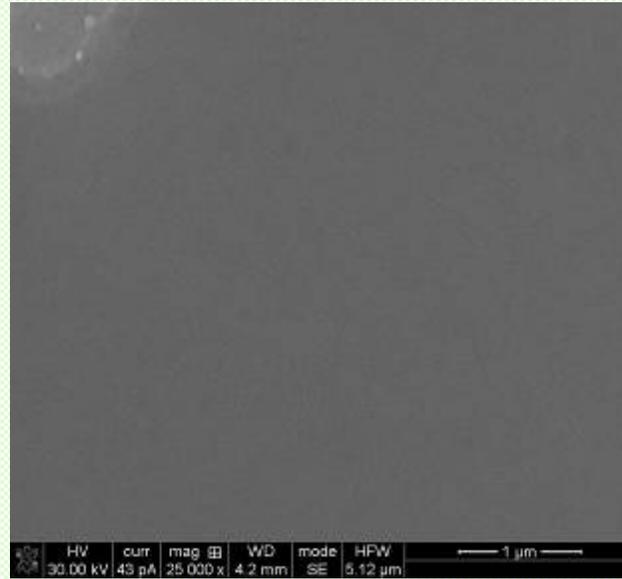
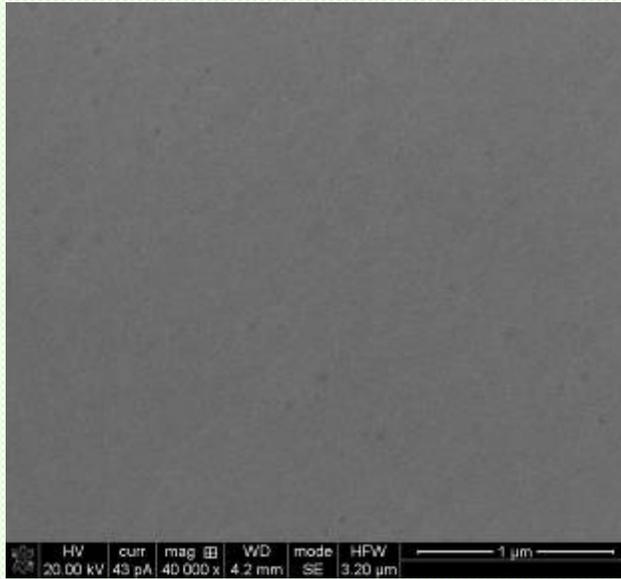


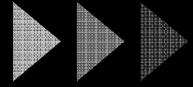
Подготовка поверхности GaN





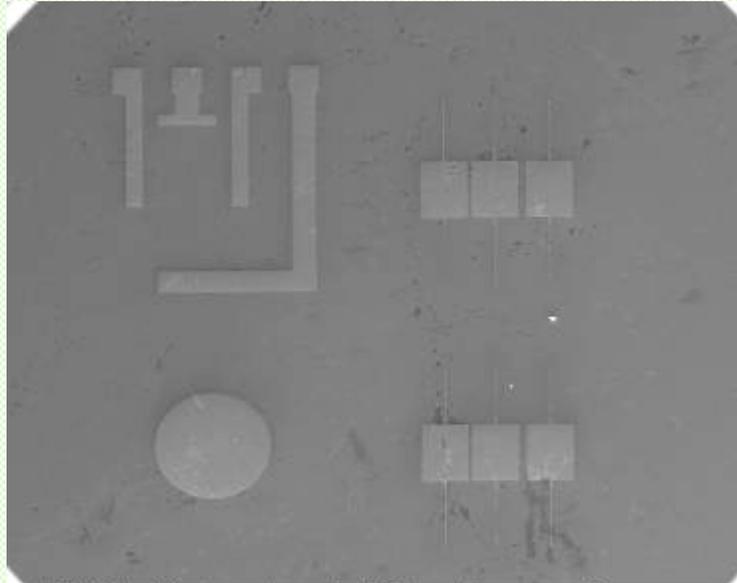
Подготовка поверхности GaN





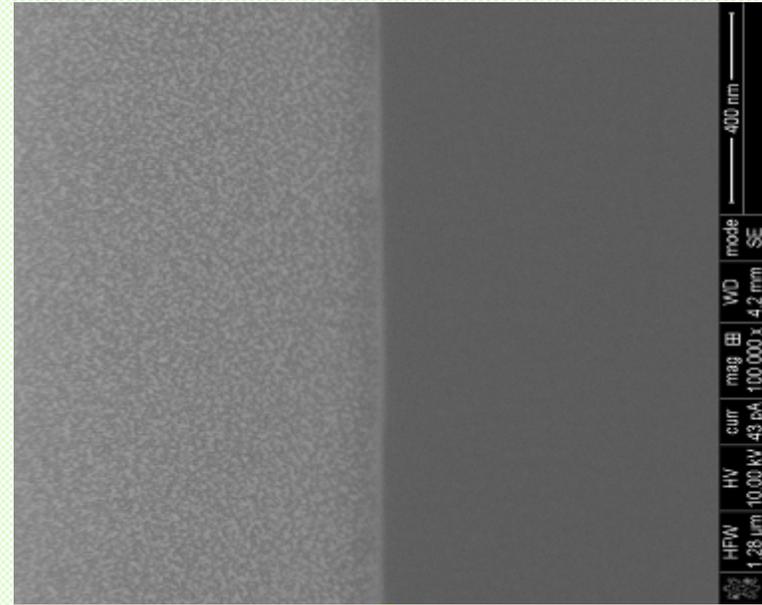
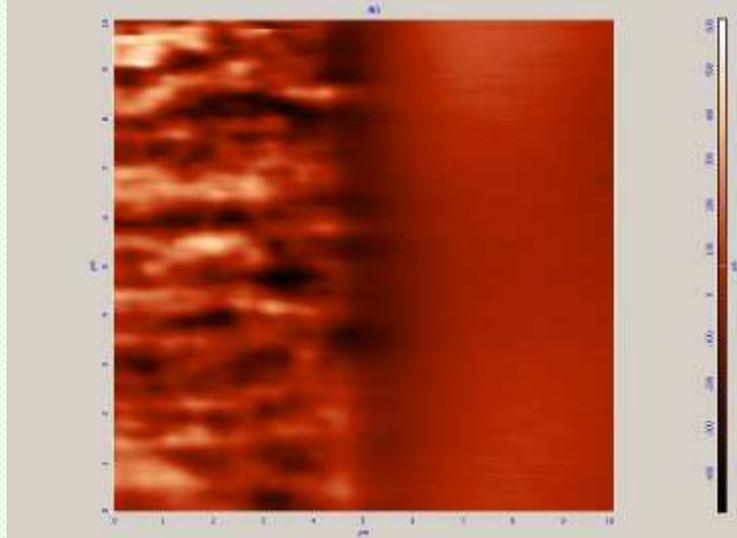
Au (2nm)/Co (1...2 nm)/GaAs

1



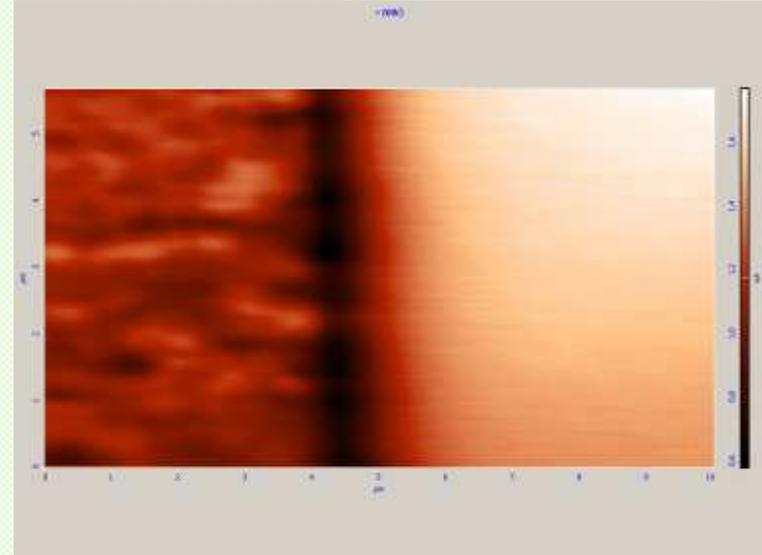
HPW 1.28 mm HV 10.00 kV curr 86 pA mag 100 x WD 4.3 mm mode SE

400 μ m

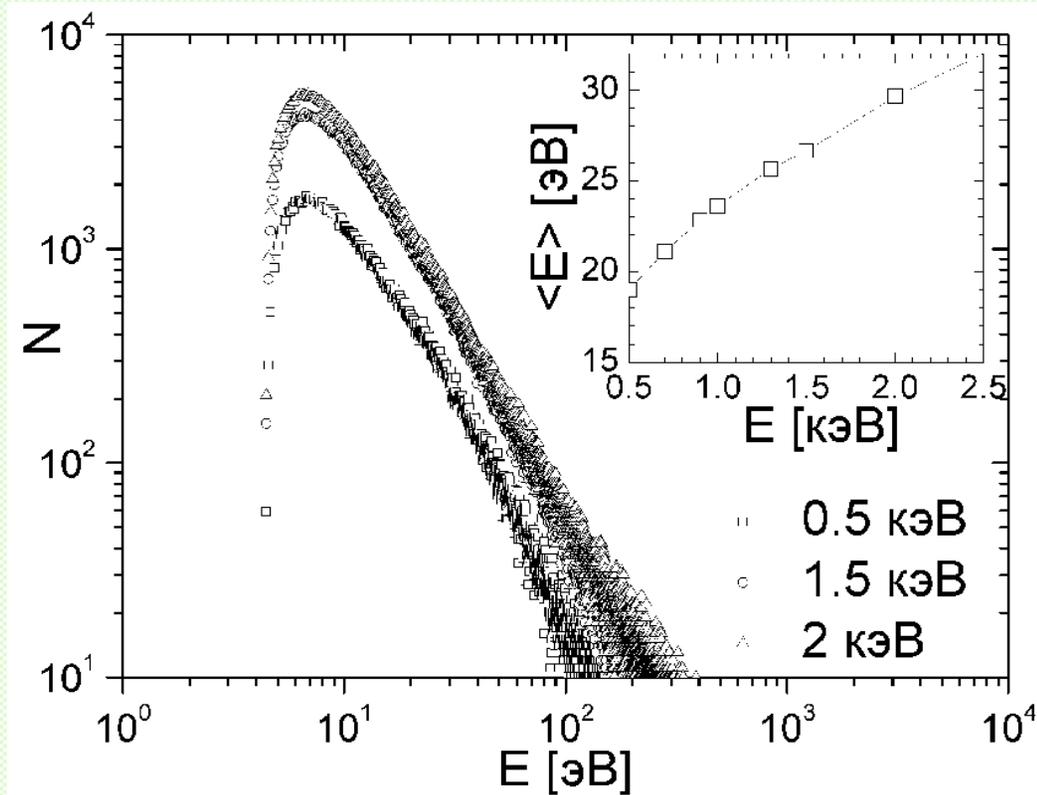
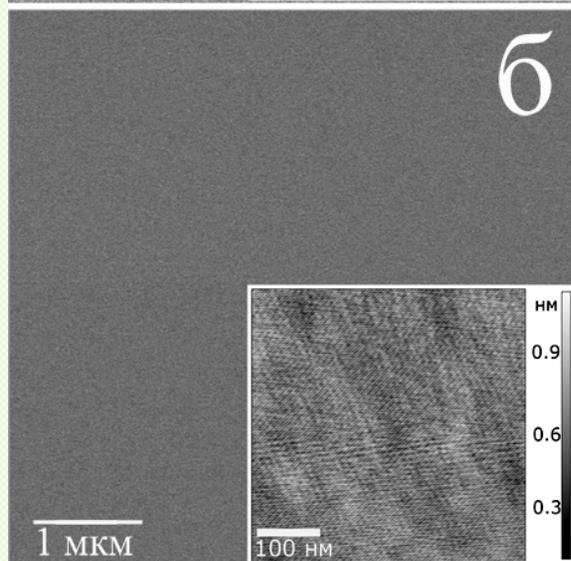
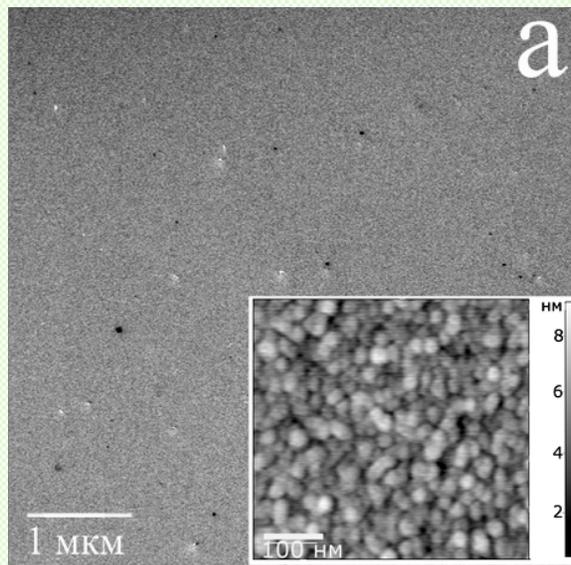


HPW 1.28 μ m HV 10.00 kV curr 43 pA mag 100,000 x WD 4.2 mm mode SE

400 nm



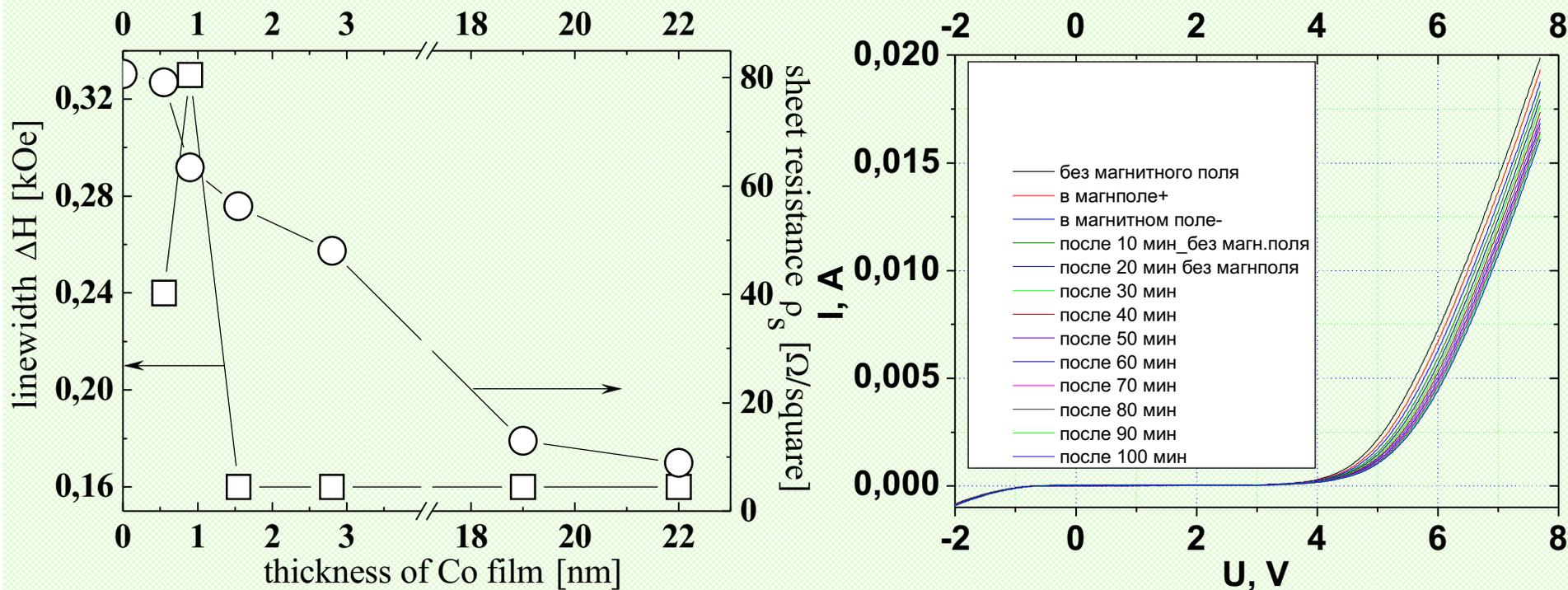
Au (2 нм)/Co (1...2 нм)/Si



РЭМ- и АСМ-изображения (на вставках) поверхности гетероструктур Au(2 нм)/Co(2 нм)/Si, полученных при энергии пучка ионов аргона 0.5 кэВ (а) и 1.5 кэВ (б). На графике показано распределение распыленных атомов кобальта по энергиям и зависимость средней энергии высокоэнергетической составляющей потока атомов кобальта от энергии пучка ионов аргона.

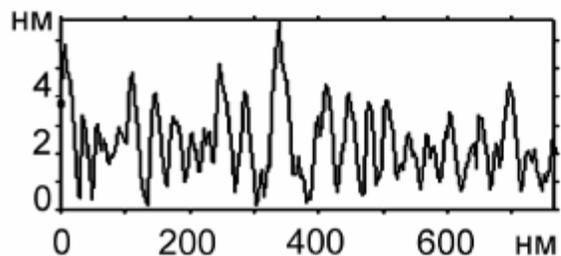
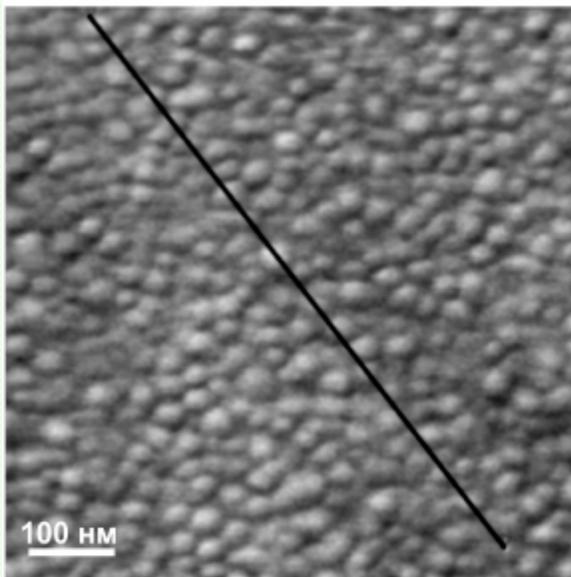
Au (2nm)/Co (1...2 nm)/GaAs

2

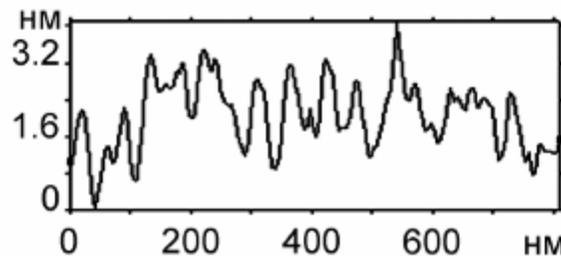
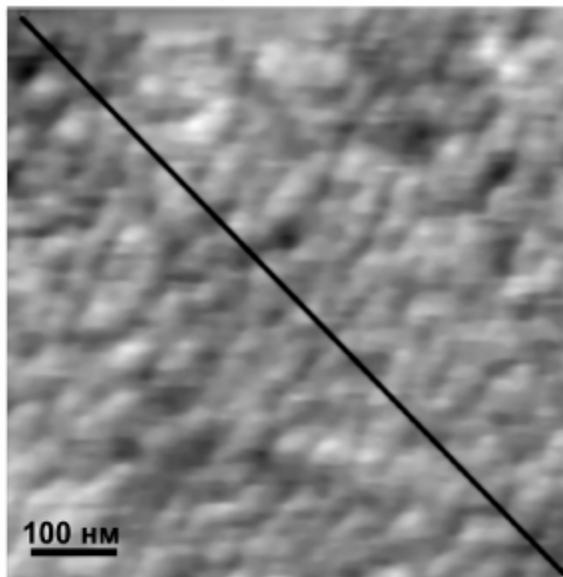


Магниторезистивные структуры. Гладкий интерфейс

Au(20 нм)/Co/
/Cu/Au(10 нм)
 $S_q=1,1$ нм



Au(20 нм)/Co/
{Ar 50 эВ 30 с}
/Cu/Au(10 нм)
 $S_q=0,7$ нм



Au(20 нм)/Co/
{Ar+He 50 эВ 30 с}
/Cu/Au(10 нм)
 $S_q=0,9$ нм

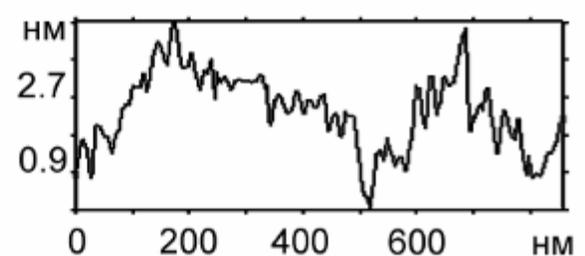
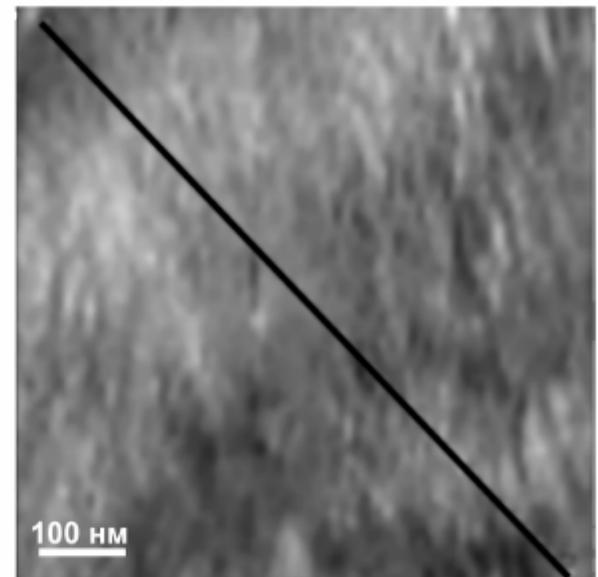
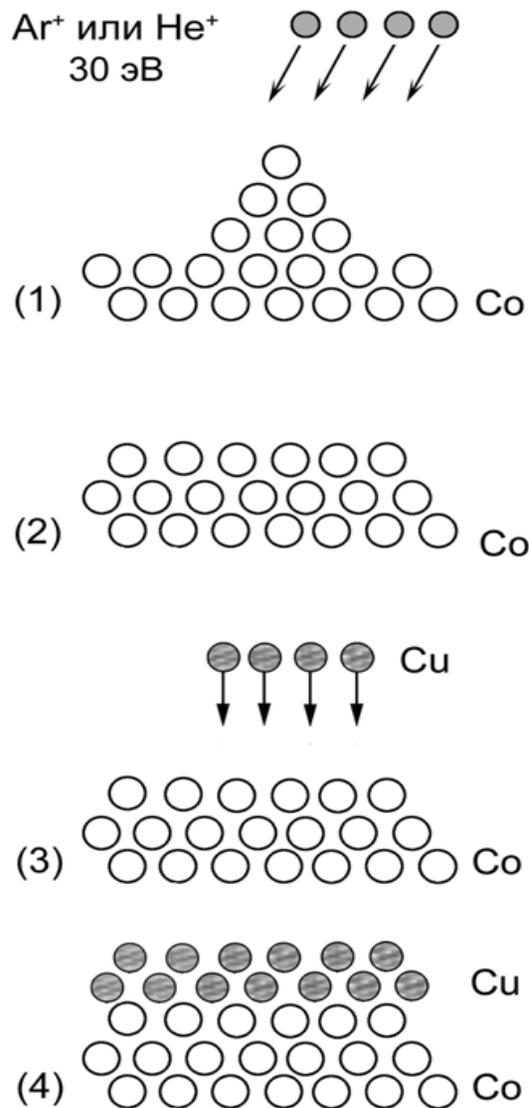


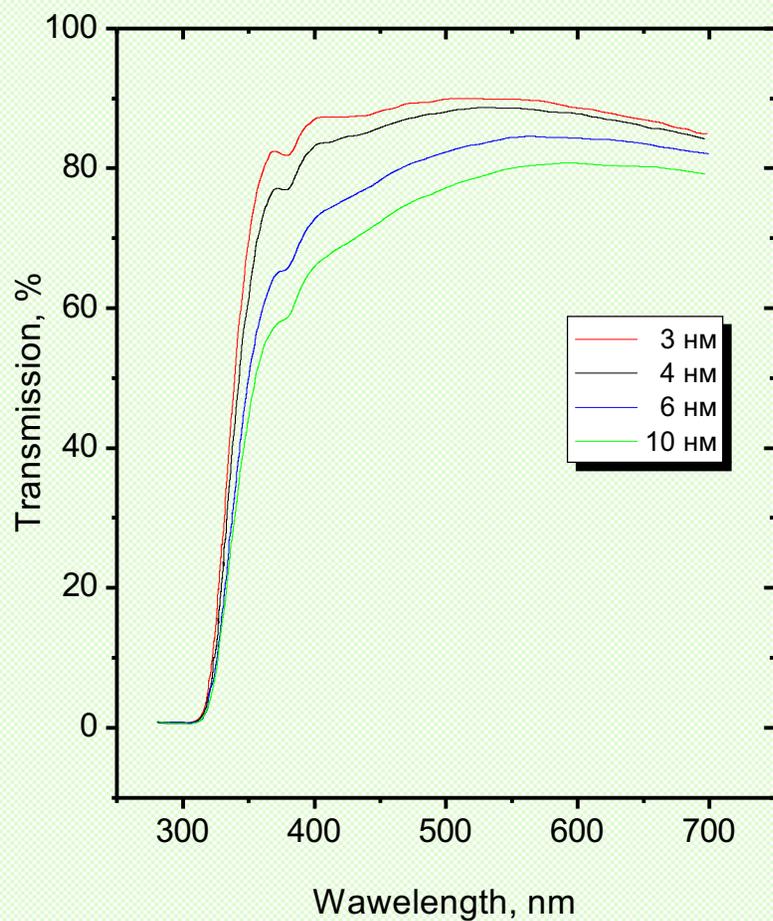
Схема эксперимента



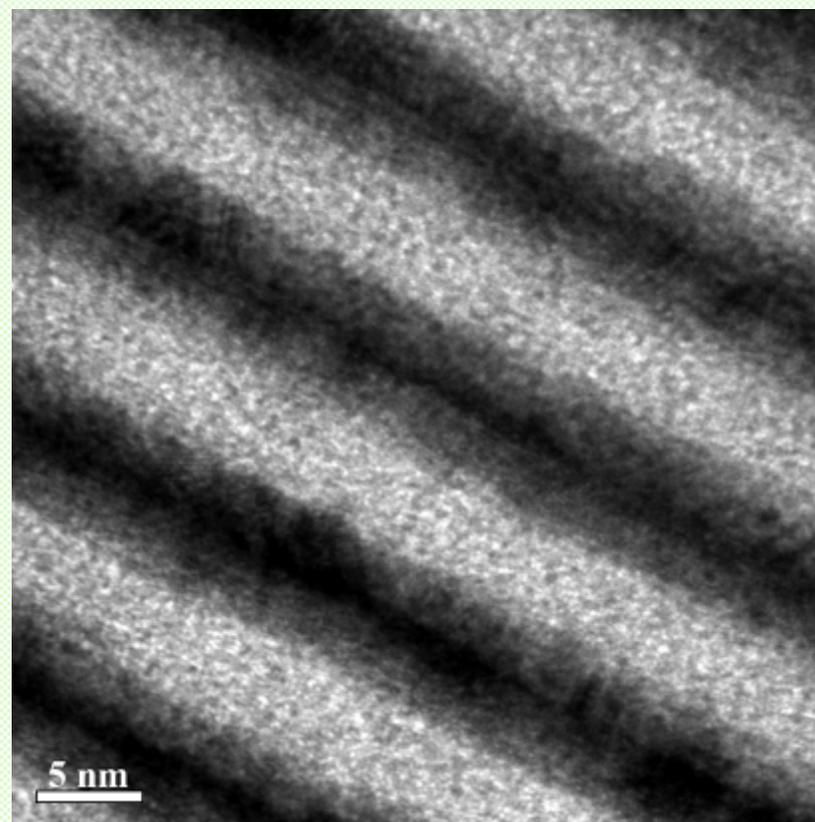
Поверхность напыленного слоя кобальта толщиной y Å облучалась низкоэнергетическими ионами аргона или гелия (1) для уменьшения её шероховатости. Затем на кобальт (2) осаждался слой меди толщиной x Å (3), при этом $x+y=60$ Å. Полученная структура (4) "закрывалась" слоем золота толщиной около 40 Å для защиты от окисления. Суммарная толщина многослойной пленки была близкой к 200 Å. В результате была получена структура, схематически представленная на рисунке

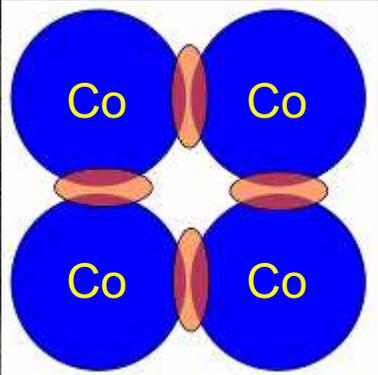
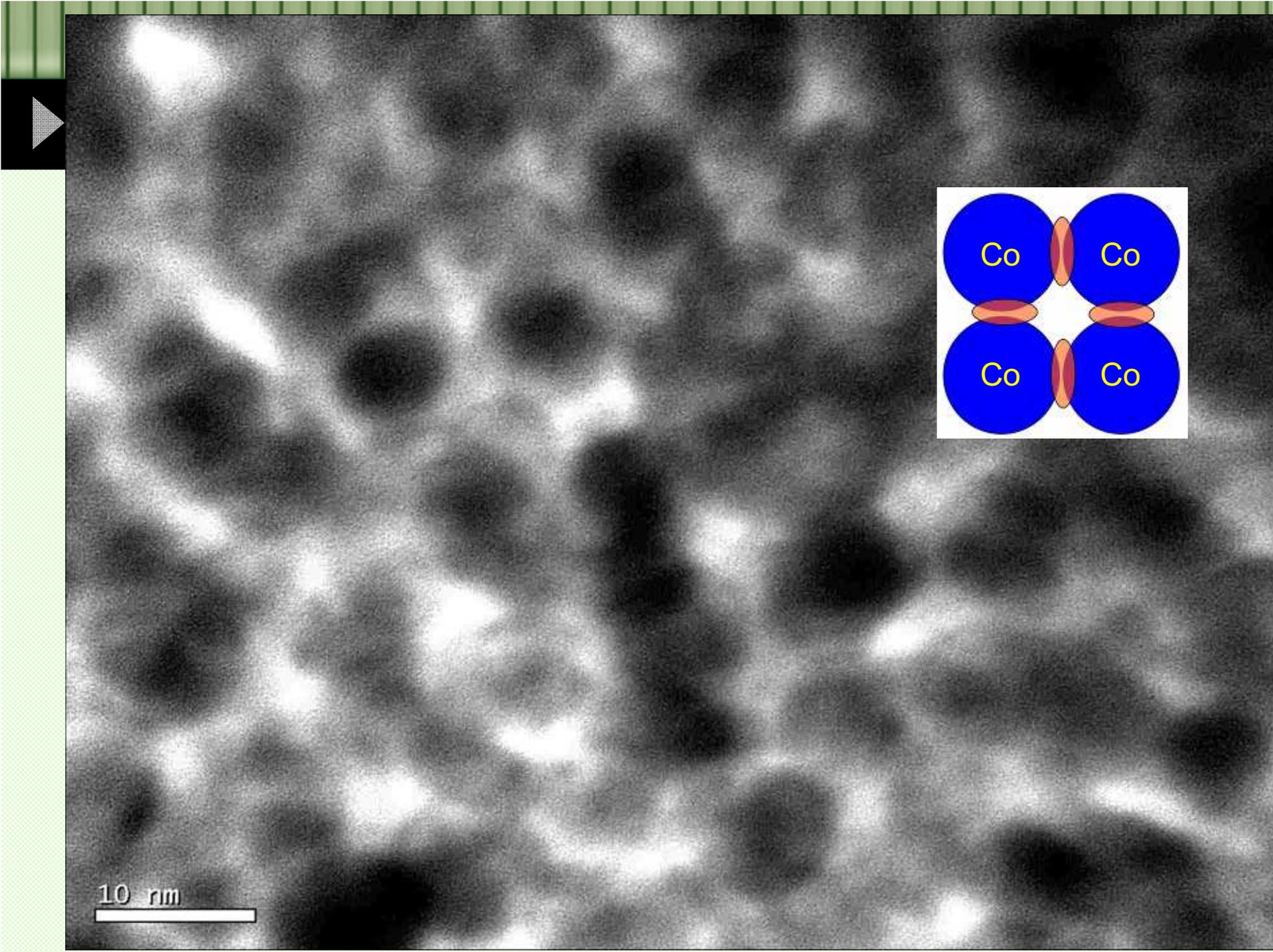
Гетероструктура с объёмоподобными нанослоями $(\text{Co/TiO}_x)_{10}$

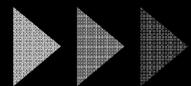
Спектры пропускания плёнок TiO_2 различной толщины



РЭМ-фото скола многослойной структуры Co/TiO_x

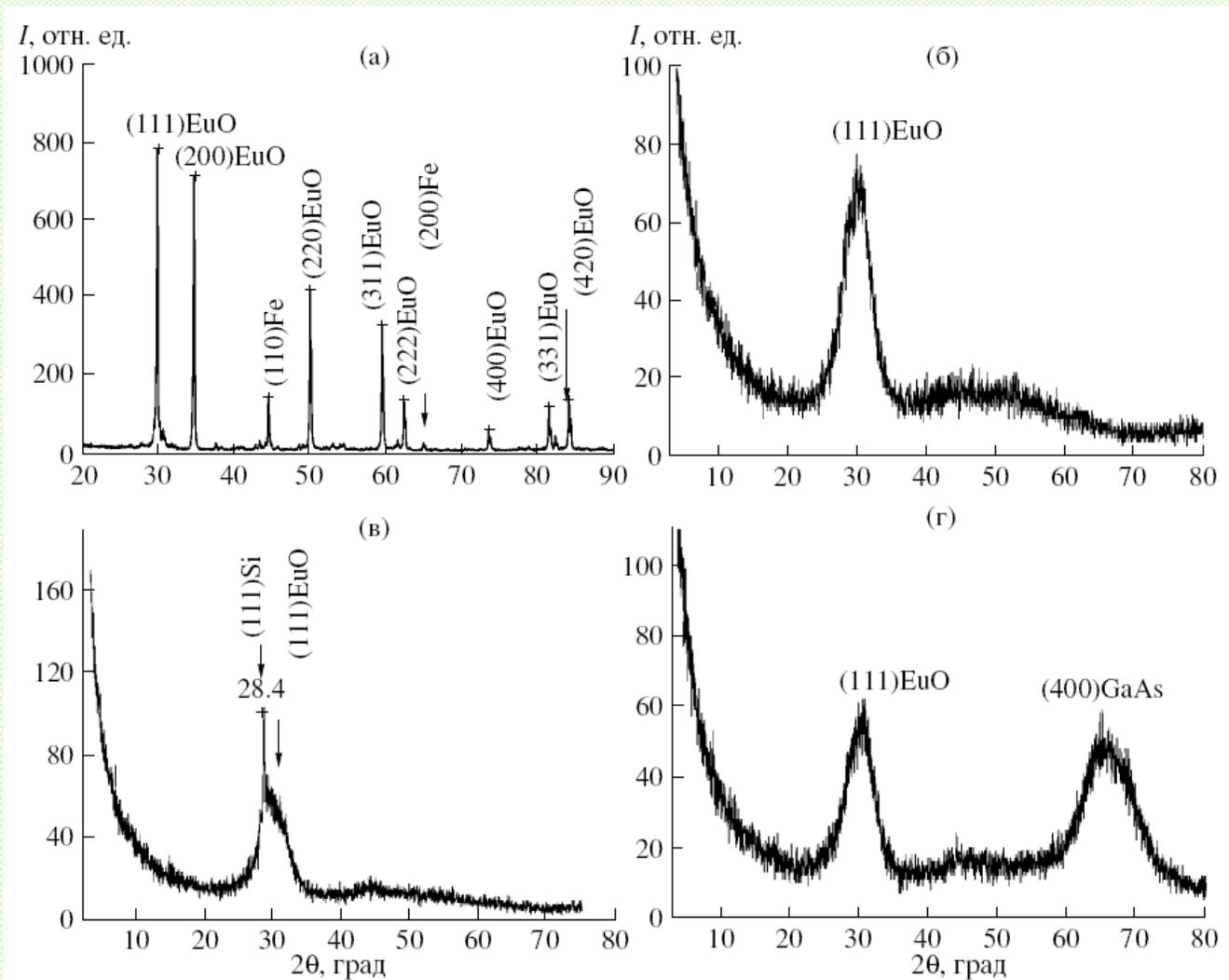






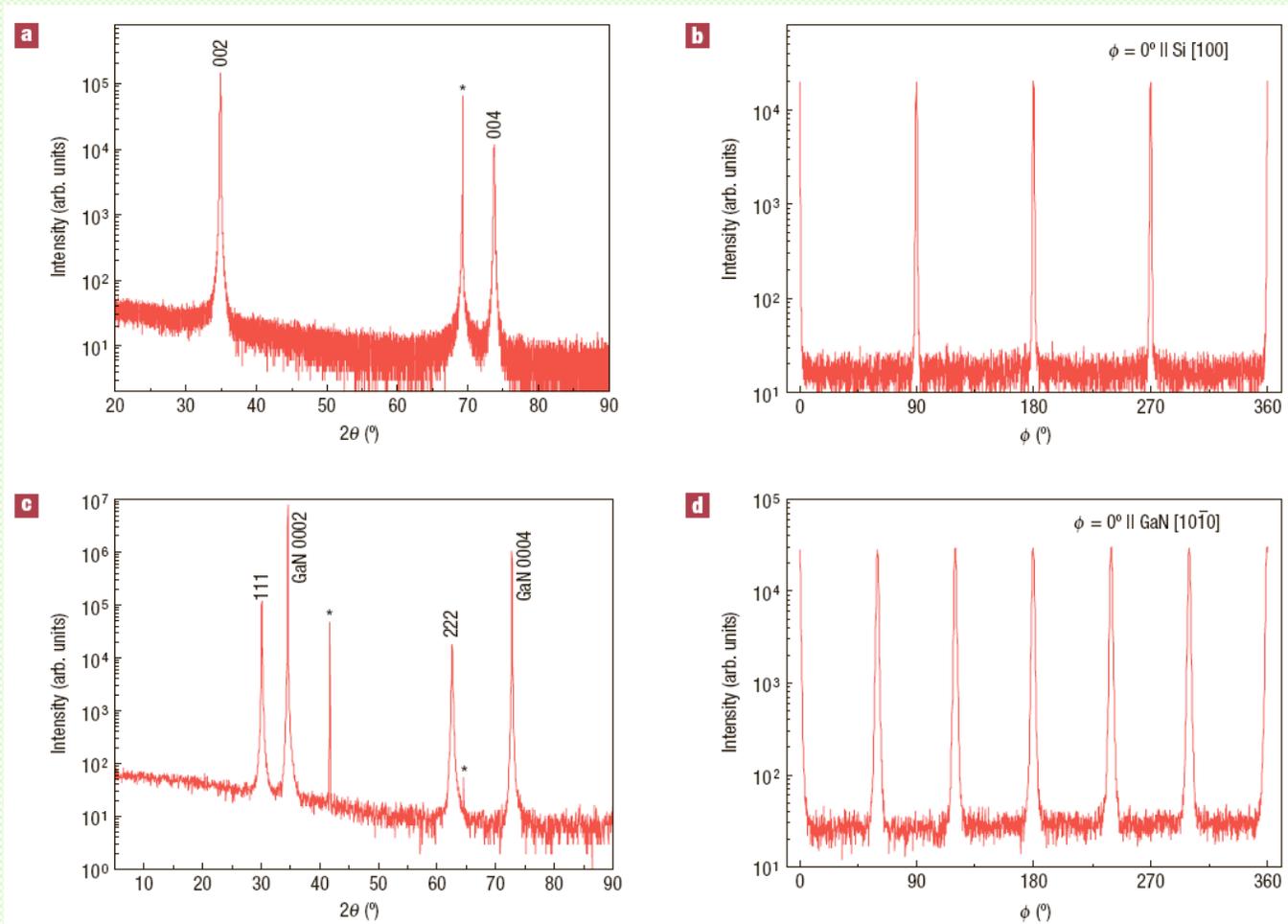
Новые объекты: Fe-EuO

А.С. Борухович и др. // НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, 2009, том 45, № 2

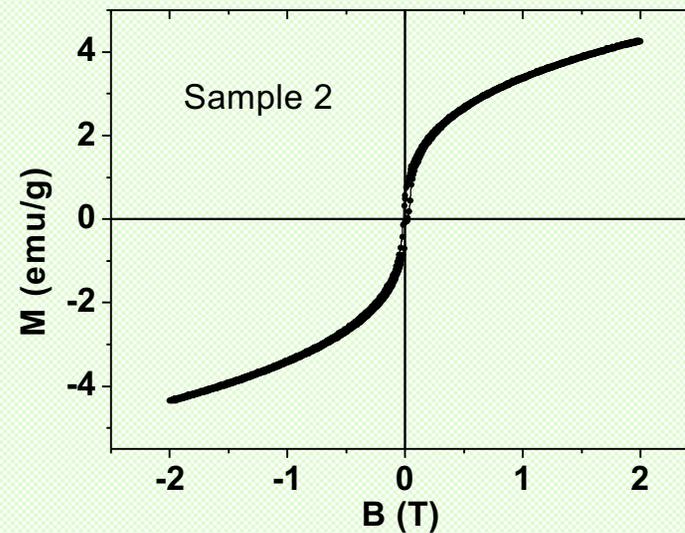
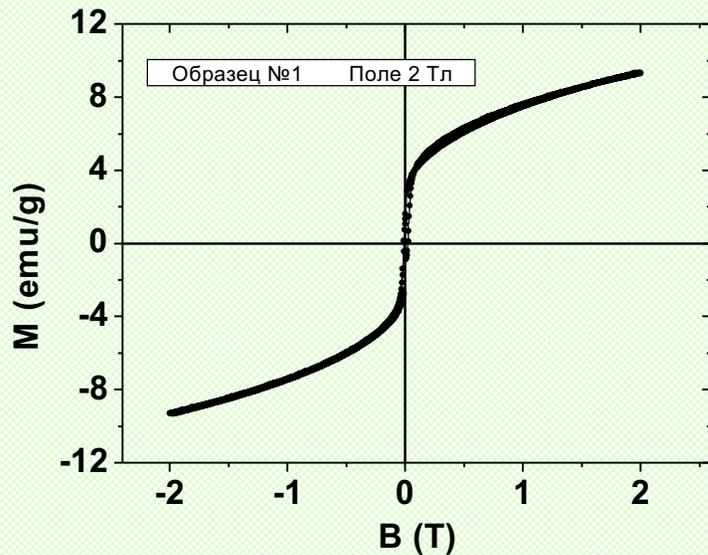
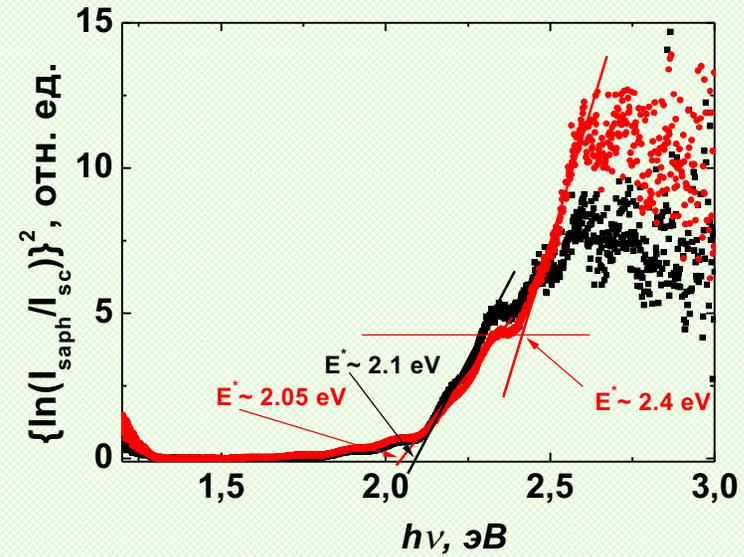
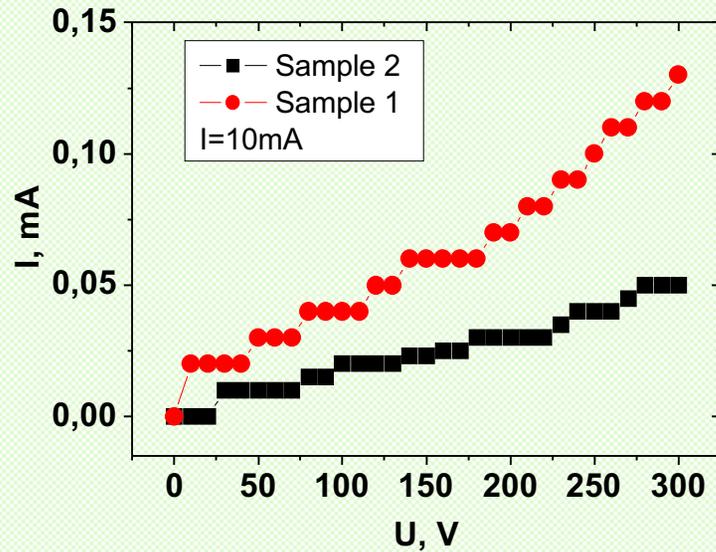


▶▶▶ Новые объекты: EuO with silicon and GaN

ANDREAS SCHMEHL et al. Epitaxial integration of the highly spin-polarized ferromagnetic semiconductor EuO with silicon and GaN // nature materials
ADVANCE ONLINE PUBLICATION, doi:10.1038/nmat2012



НОВЫЙ ОБЪЕКТ: $ZnGa_2O_4$ - $MgFe_2O_4$



Спасибо за внимание!

