



Научная конференция НИИЯФ МГУ по итогам 2024 года

24 февраля 2025, Москва, Россия

Применение лазерных технологий для изготовления компонентов магнитных биосенсоров



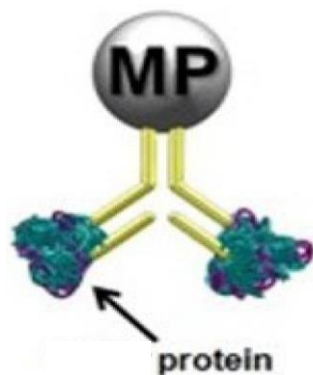
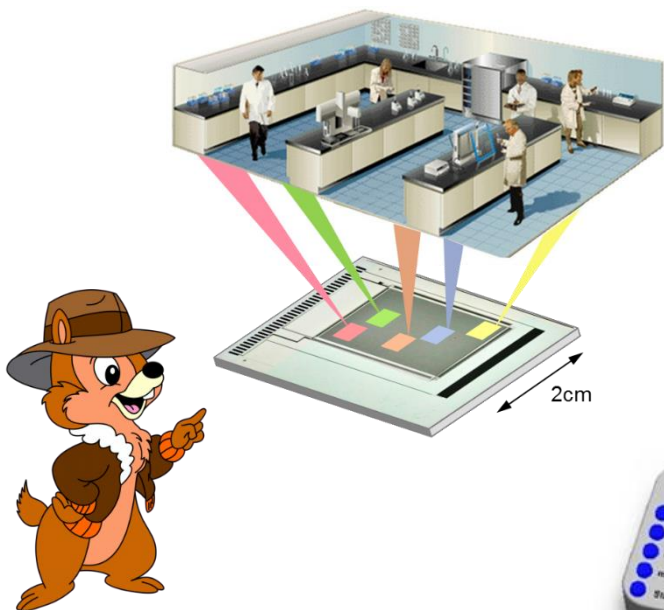
И.О. Джунь, А.В. Назаров, И.Л. Ромашкина, М.Г. Козин,

Н.Г. Чеченин

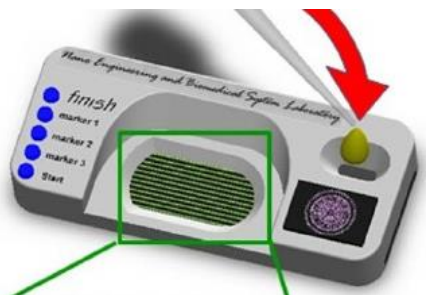


*Д.В. Шулейко, Д.Е. Преснов, В.Ю. Нестеров, Н.Н. Перова,
Н.С. Перов, Е.А. Константинова, С.В. Заботнов*

Введение. Лаборатория на чипе



Аналиты
(клетки или биомолекулы)



• Отделение



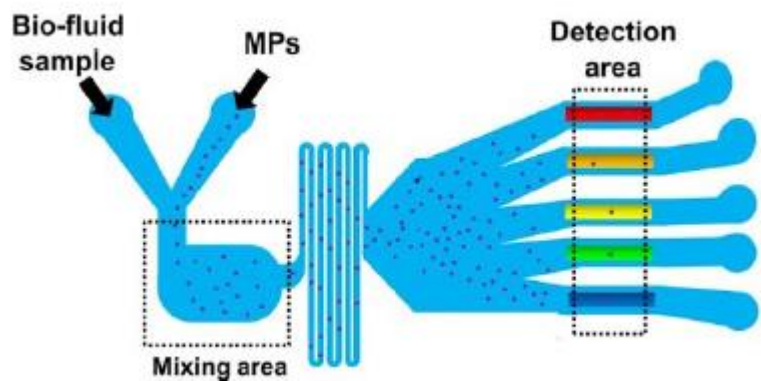
Магнитные
метки



- Детектирование
- Подсчет

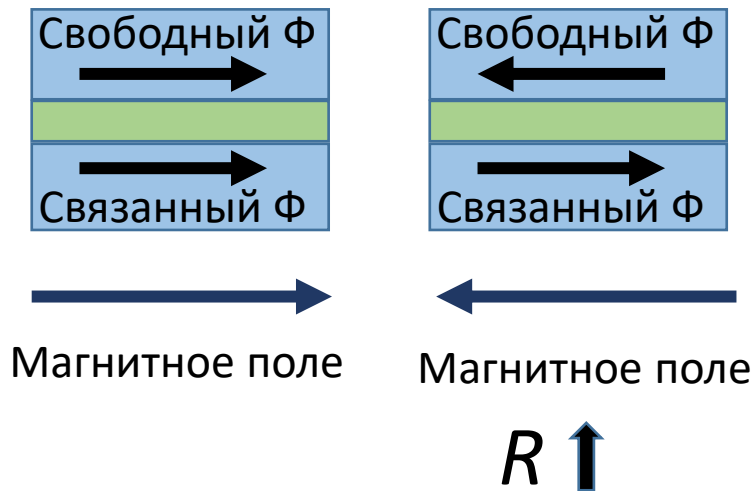
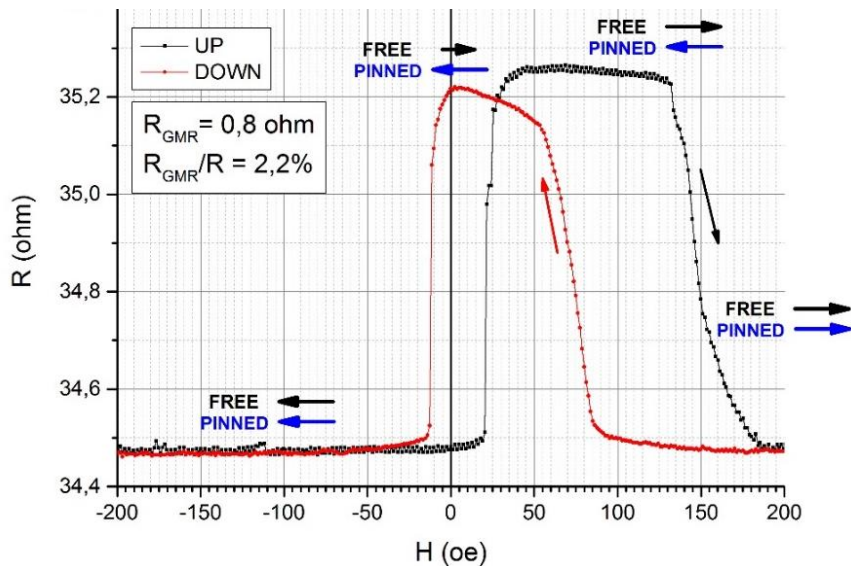
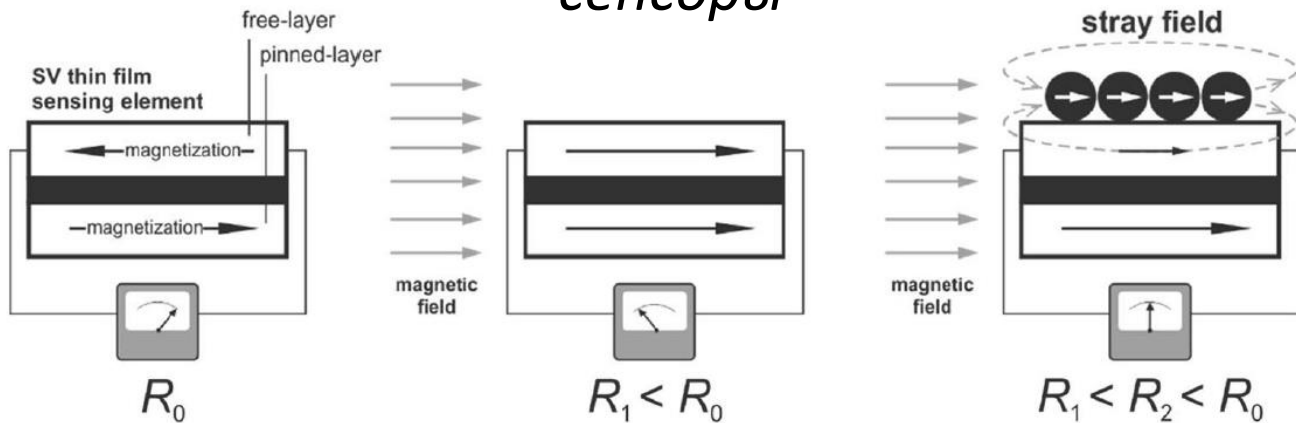


Сенсор
магнитного поля

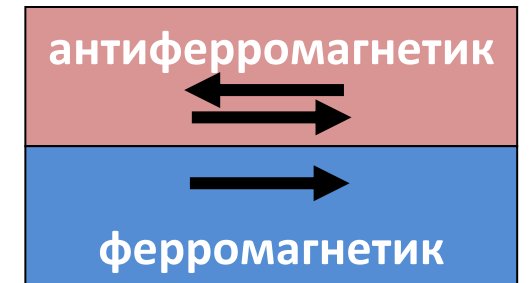


Введение. Магнитные биосенсоры

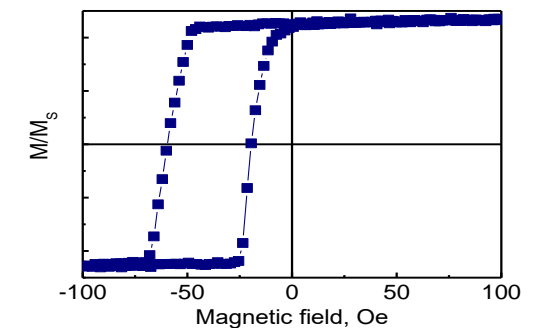
Магниторезистивные сенсоры



Связанный ферромагнетик

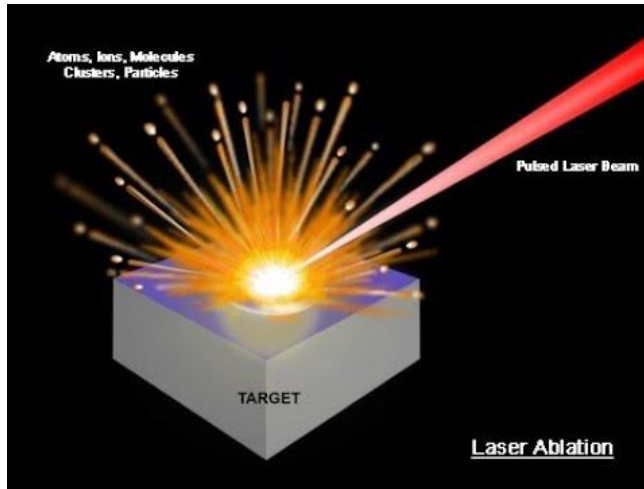


Обменное смещение



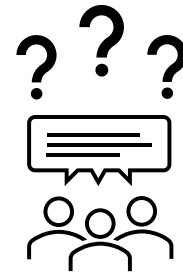
Постановка задачи

Лазерное структурирование

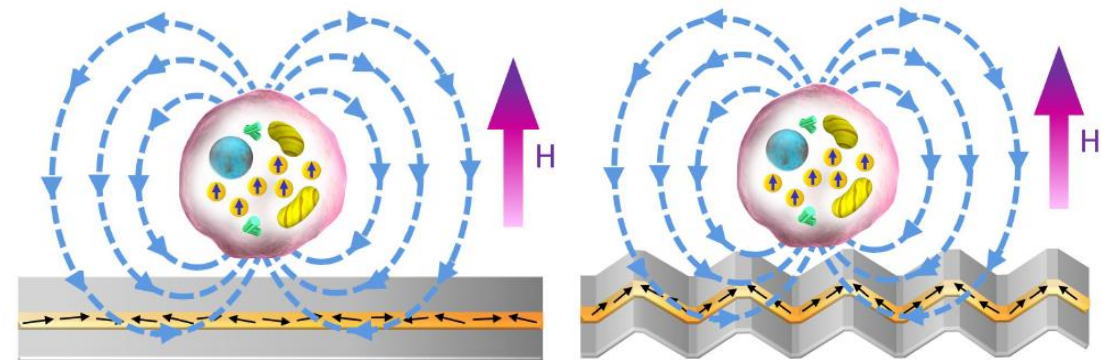


Предел обнаружения

Чувствительность сенсора



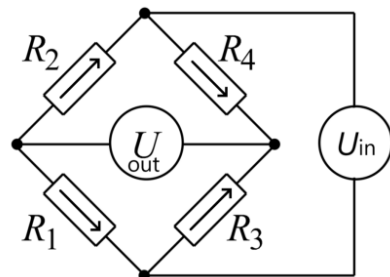
Эффективность захвата МНЧ !



Huang et.al. Lab Chip 13, 3098 (2013)

- Формирование МНЧ

- Модификация рельефа (магнитной структуры) поверхности



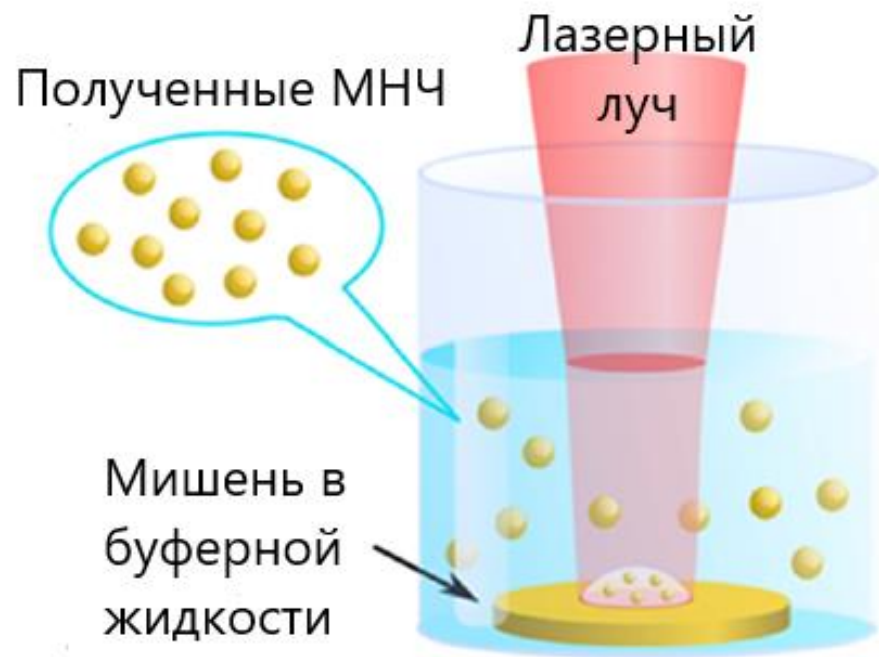
- Формирование контактной разводки



- Чувствительность к нормальной компоненте МП
- Удержание МНЧ за счет локальных МП
- Механическое удержание МНЧ

Методика эксперимента. Формирование МНЧ

Лазерный жидкофазный синтез



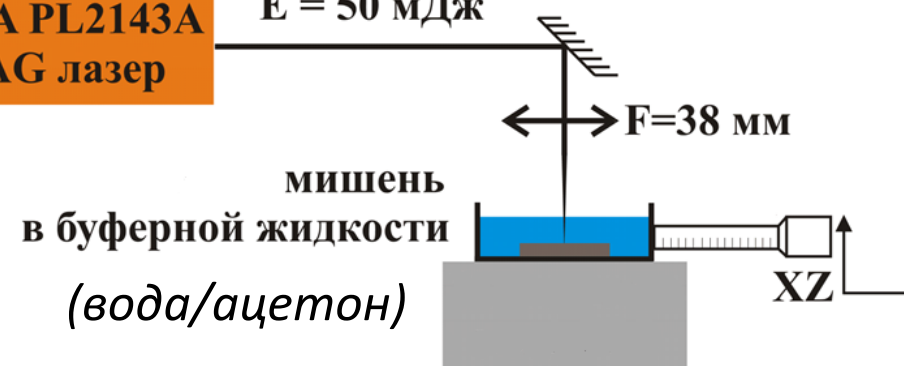
Мишень

- Стекло/Со 5-500 нм
- Стекло/Fe 250 нм



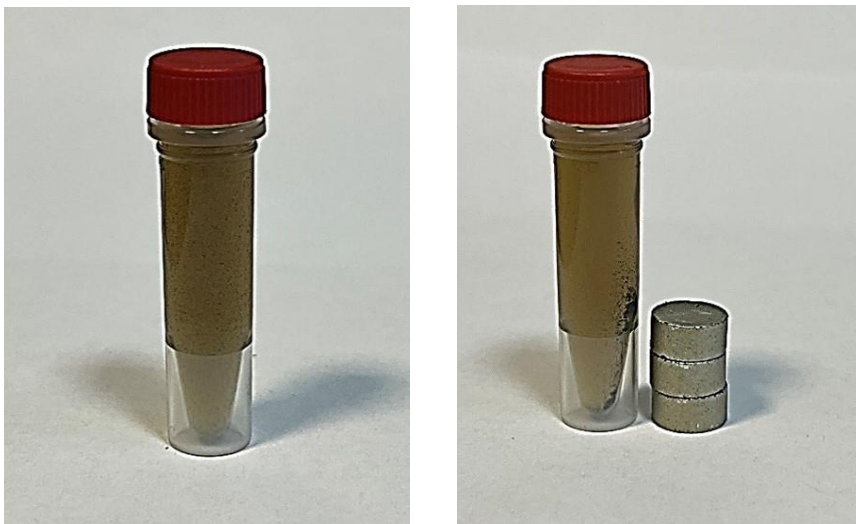
ЕКСРЛА PL2143А
Nd:YAG лазер

$\lambda = 1064$ нм
 $f = 10$ Гц
 $t = 34$ пс
 $E = 50$ мДж

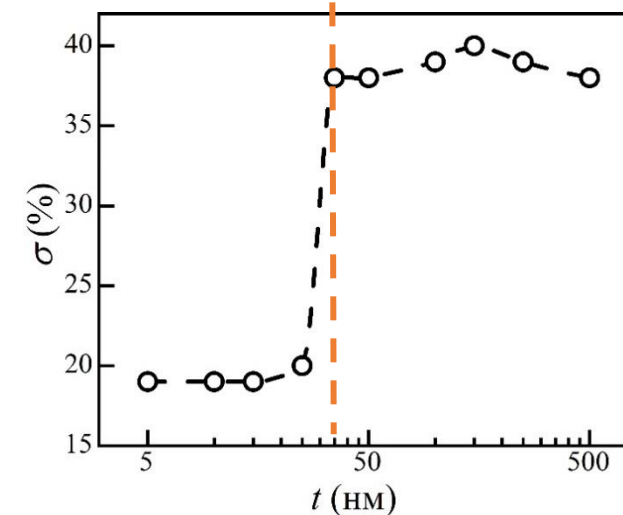
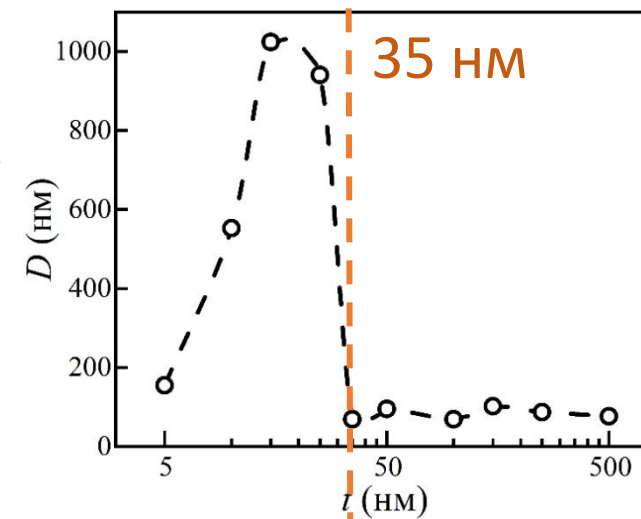
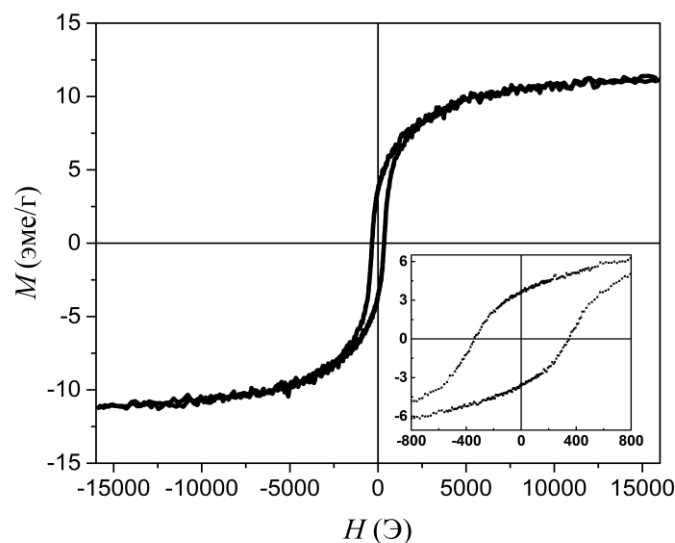
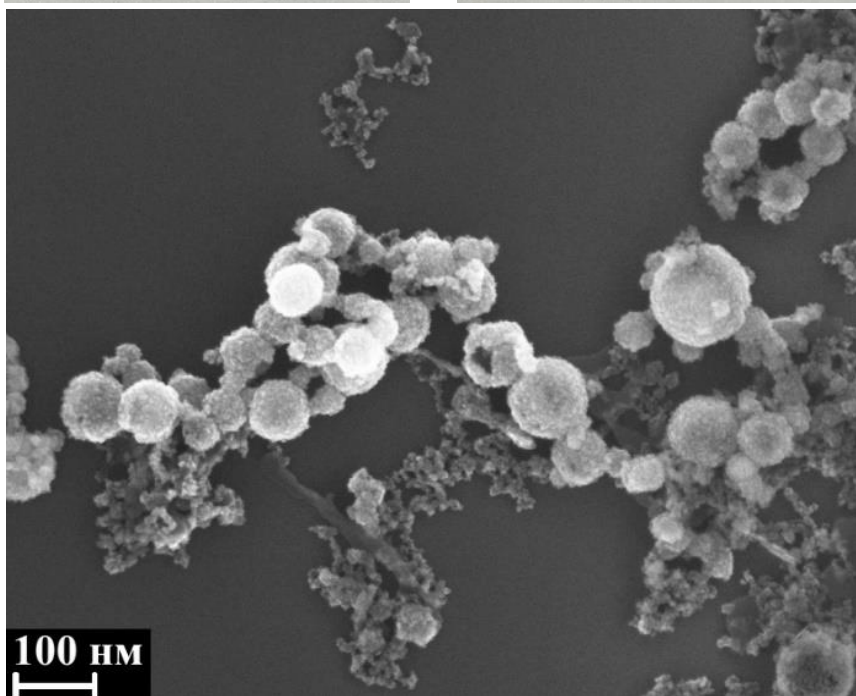


- Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия
- Комбинационное рассеяние света
- Динамическое рассеяние света
- Мессбауэровская спектроскопия
- Вибрационная магнитометрия
- Спектроскопия ЭПР

Магнитные наночастицы на основе Co

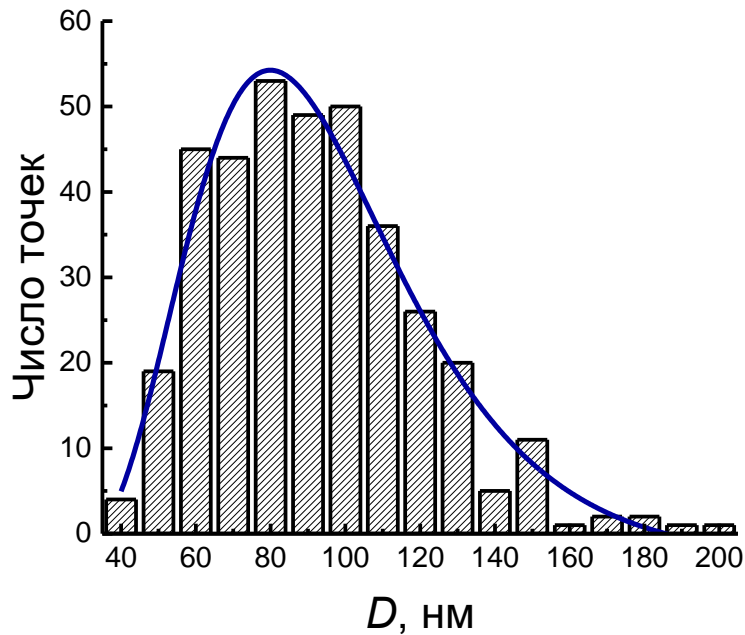
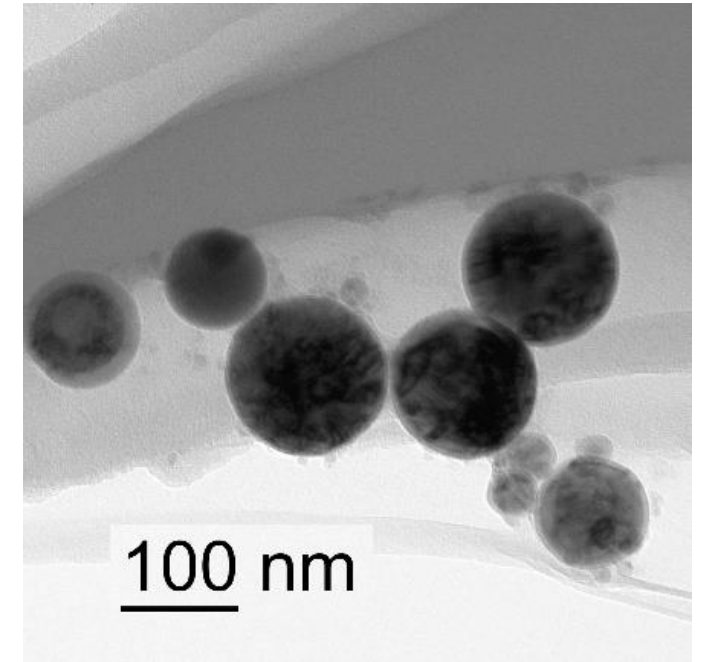
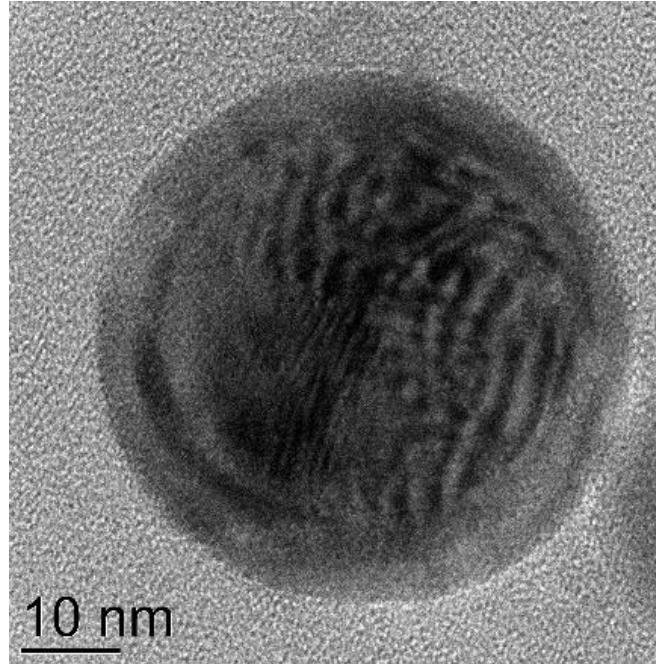
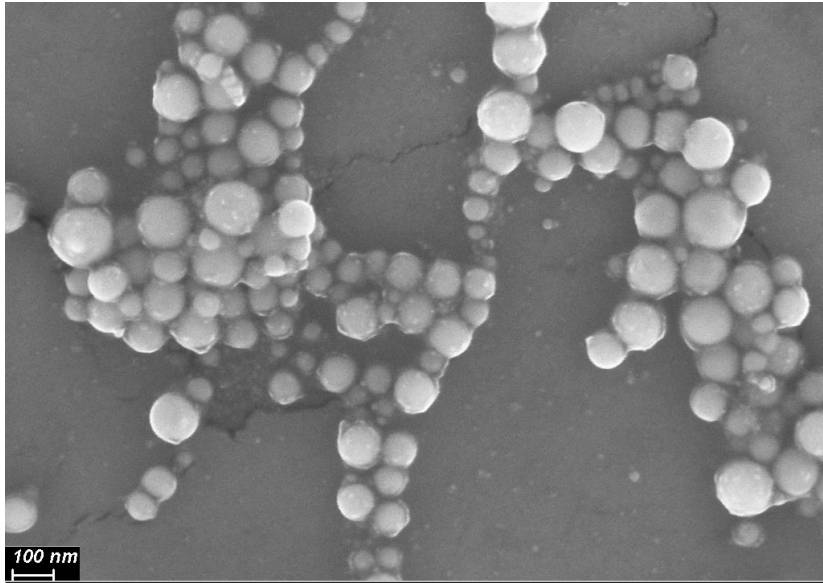


- Сферические МНЧ, состоят преимущественно из Co_3O_4
- Возможно наличие Co
- Толщина пленки < 35 нм приводит к двукратному уменьшению дисперсии и росту среднего р-ра МНЧ



Dzhun et. al. Bull. RAS: Phys., 88(4), 540-548 (2024)

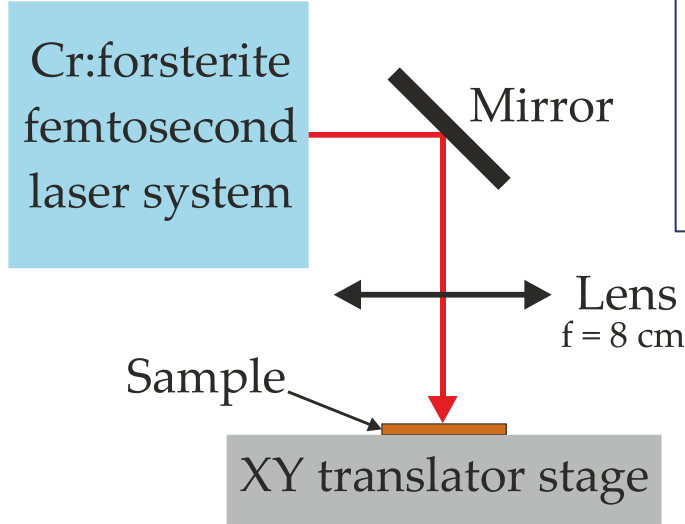
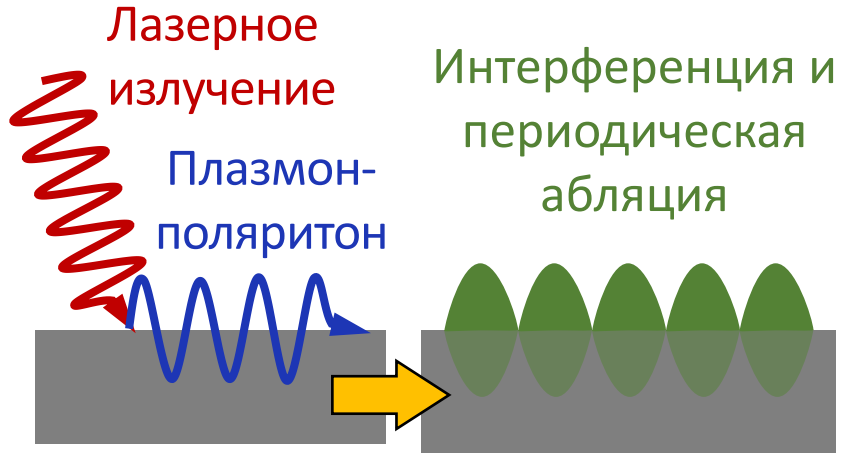
Магнитные наночастицы на основе Fe



- Сферическая форма МНЧ
- Средний размер 90 нм
- Дисперсия ~30%
- Состоят из железа (ядро) и оксида железа FeO (оболочка)
- Стабильны на воздухе при $T_{\text{комн}}$, при нагреве $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$

Методика эксперимента. Модификация поверхности

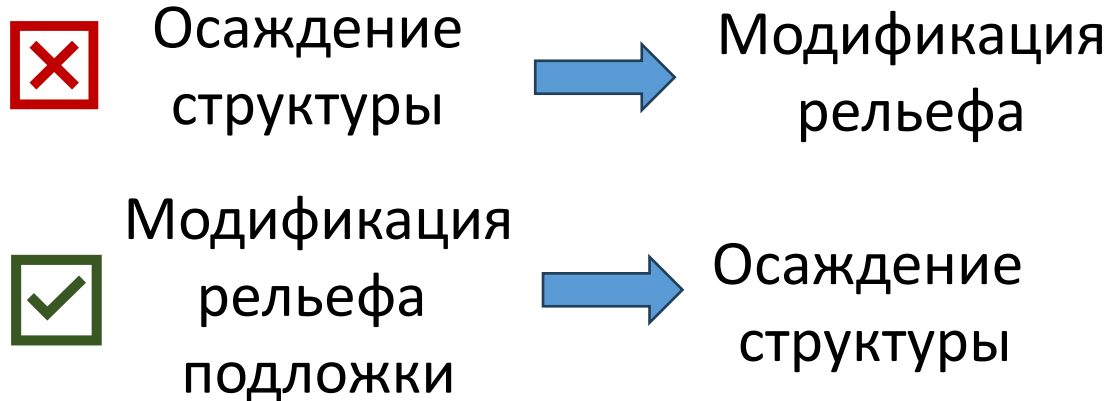
Формирование ЛИППС



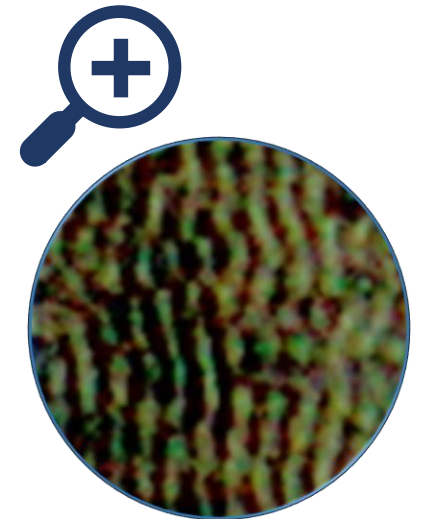
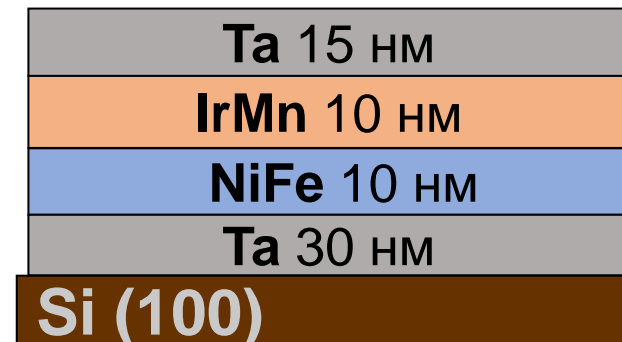
$\lambda = 1250 \text{ нм}$
 $t = 135 \text{ фс}$
 $E = 15 \text{ мкДж}$
 $f = 10 \text{ Гц}$



Подходы

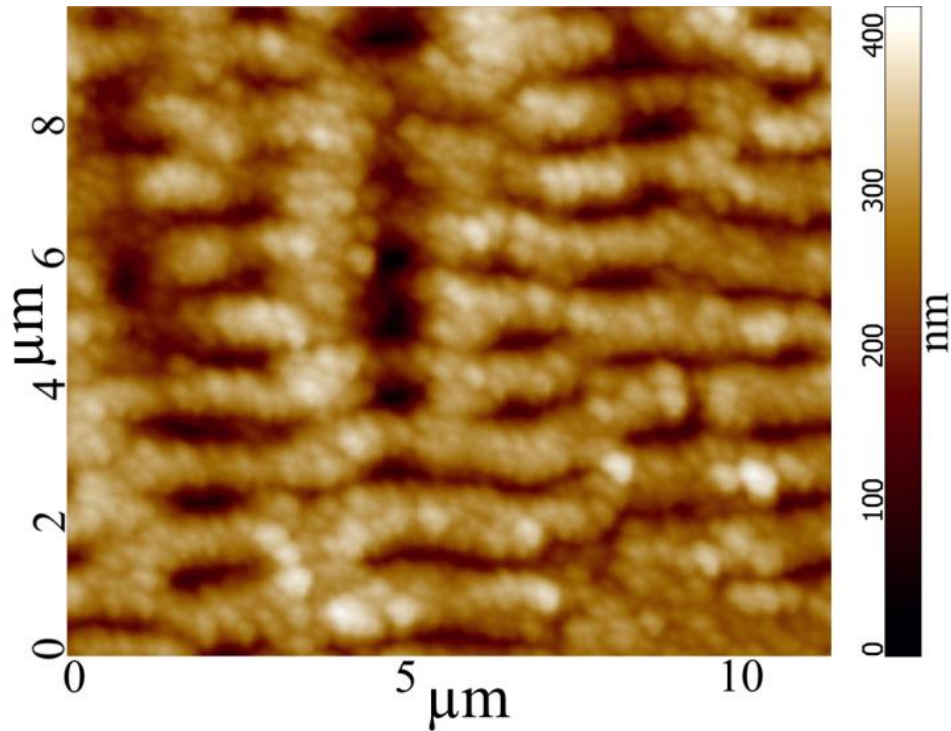


Связанный ферромагнетик



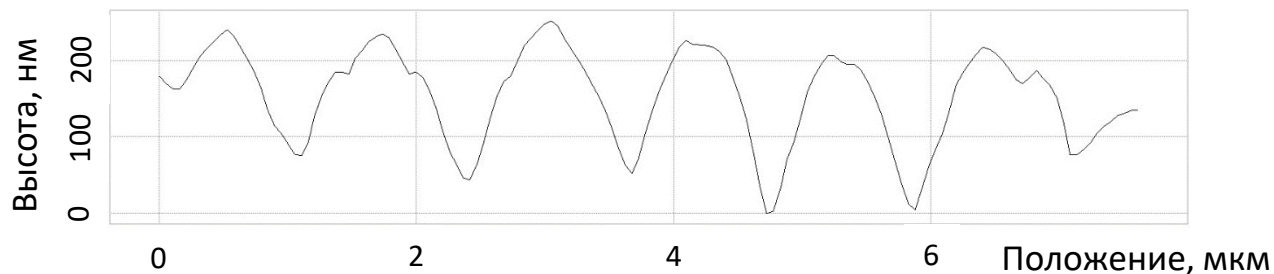
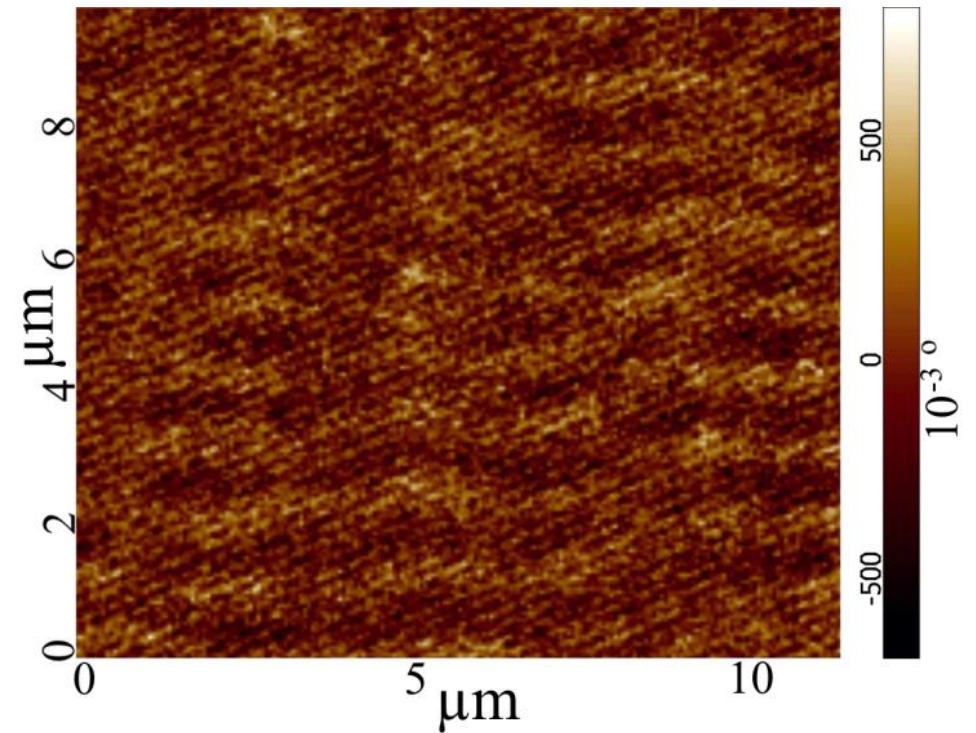
Результаты АСМ и МСМ

Рельеф поверхности
(АСМ изображение)



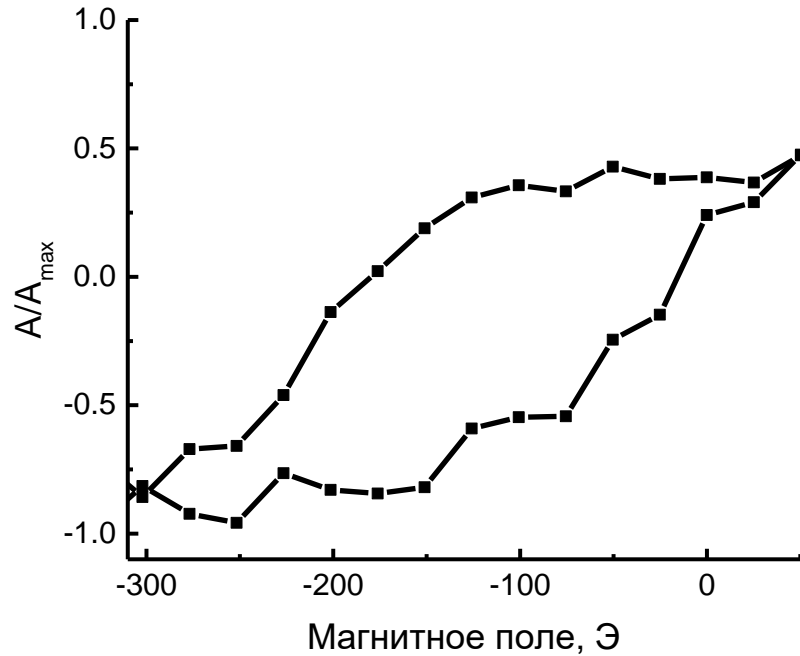
*Dzhun et. al. Bull.
RAS: Phys.,
88(Suppl.2), 166-173
(2024)*

Магнитная конфигурация
(МСМ изображение)



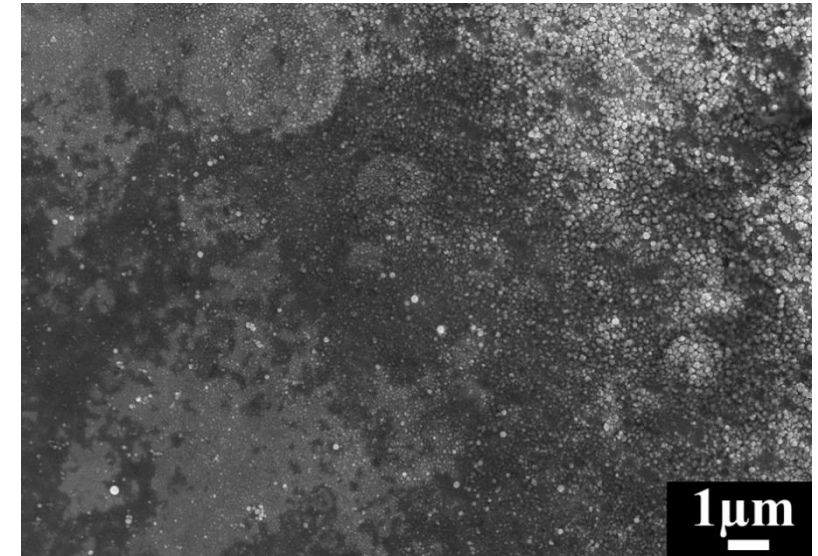
Глубина рельефа ~ 200 нм
Период рельефа = 1,2 мкм,
совпадает с периодом осцилляций
намагниченности

Применение в биосенсорах

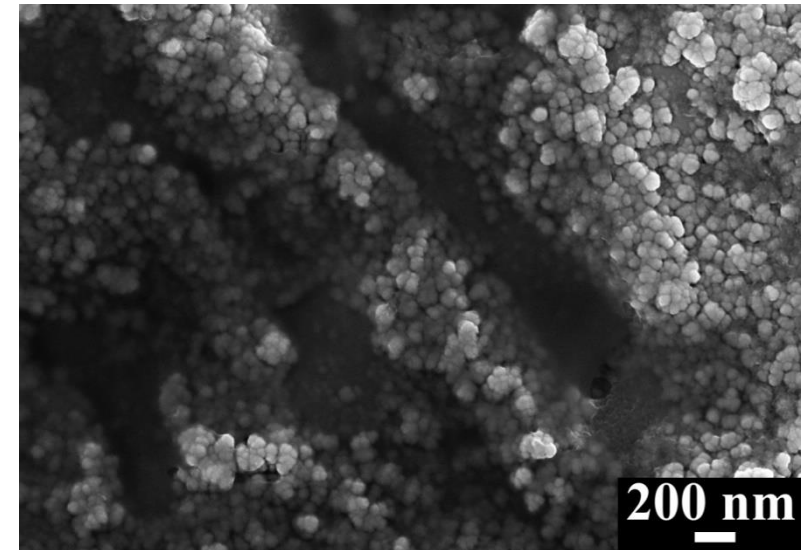


Обменное смещение ~ 150 Э в рельефной области обеспечивает потенциальную работоспособность биосенсора

- Скопление МНЧ около рельефной области



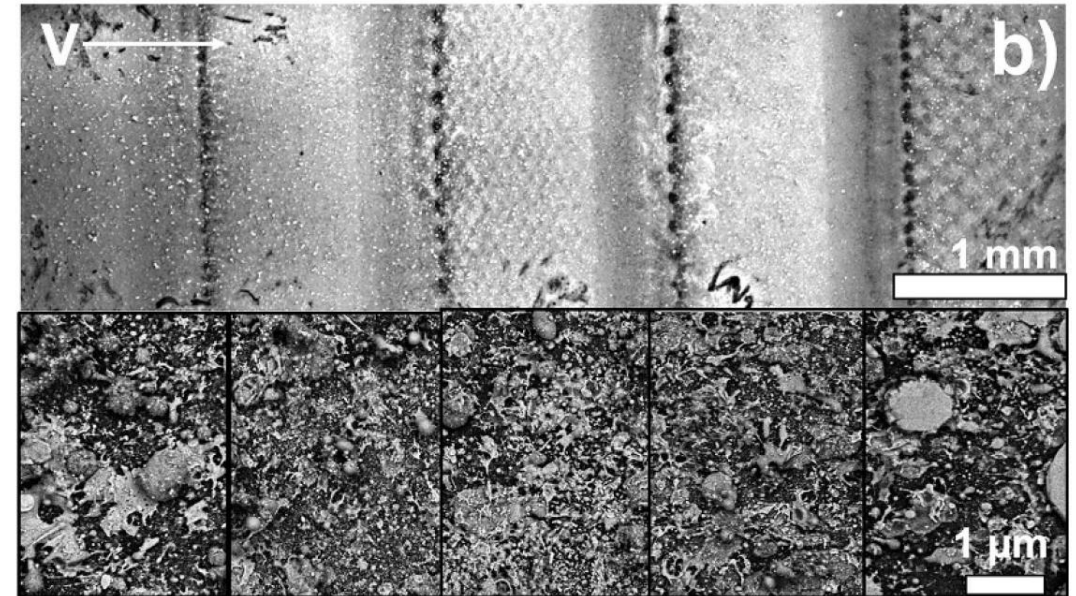
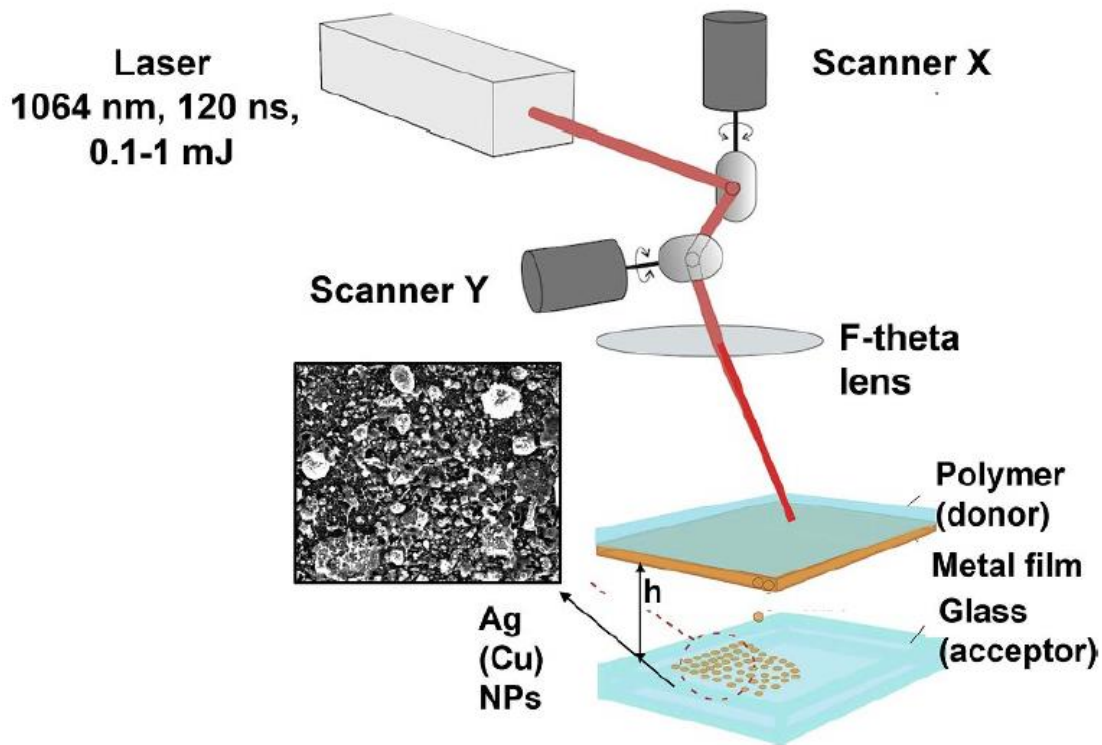
- МНЧ на выступах и внутри канавок



Лазерная печать проводящих дорожек



Прямой лазерный перенос



Наибольшее кол-во в-ва и наиболее высокие значения проводимости получены для двухимпульсного режима

Выводы

- Показана возможность синтеза наночастиц методом импульсной лазерной абляции тонких пленок кобальта в воде. Средний размер формируемых наночастиц варьируется в диапазоне 70–1000 нм в зависимости от толщины аблируемой пленки. При толщинах пленок менее 35 нм дисперсия наночастиц по размерам минимальна. Полученные наночастицы характеризуются магнитным откликом и по своим структурным свойствам наиболее близко соответствуют оксиду кобальта Co_3O_4 .
- Показана возможность синтеза магнитных наночастиц Fe@FeO путем лазерной абляции тонких пленок железа в ацетоне. Фемтосекундное лазерное структурирование кремниевой подложки с последующим осаждением связанного ферромагнитного слоя NiFe/IrMn приводит к возникновению дополнительного магнитного отклика вдоль нормали к поверхности образца с сохранением обменного смещения. Полученные с помощью лазерного структурирования магнитные наночастицы и периодически модулированные поверхности подложек являются перспективными базовыми компонентами для повышения чувствительности биосенсоров.
- Продемонстрирована возможность одностадийной печати медных проводящих элементов на стеклянной подложке с помощью метода лазерно-индуцированного прямого переноса. Максимальная удельная проводимость ≈ 6 тыс. см^{-1} была достигнута при оптимальной скорости сканирования 3800 мм с^{-1} , что обеспечивало двухимпульсную печать с лазерным переносом первым импульсом и лазерным отжигом вторым. Предлагаемый способ облегчает технологический процесс печати токопроводящих элементов и повышает его производительность

Спасибо за внимание!

- I.O. Dzhun, V.Yu. Nesterov, D.V. Shuleiko, et al., Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **88** (4), 540 (2024).
- I. O. Dzhun, D. V. Shuleiko, A. V. Nazarov, et al. “Laser-Assisted Nanomaterials Fabrication from Thin Films for Magnetic Biosensors”, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **88** (Suppl.2), S166 (2024).
- A. Nastulyavichus, ..., I. Dzhun et. al. “One-step additive LIFT printing of conductive elements” Las. Phys. Lett. **21**(3), 035630 (2024)



irina.dzhun@gmail.com

<https://istina.msu.ru/workers/384655/>

