



*Институт физики металлов
УрО РАН
г. Екатеринбург*



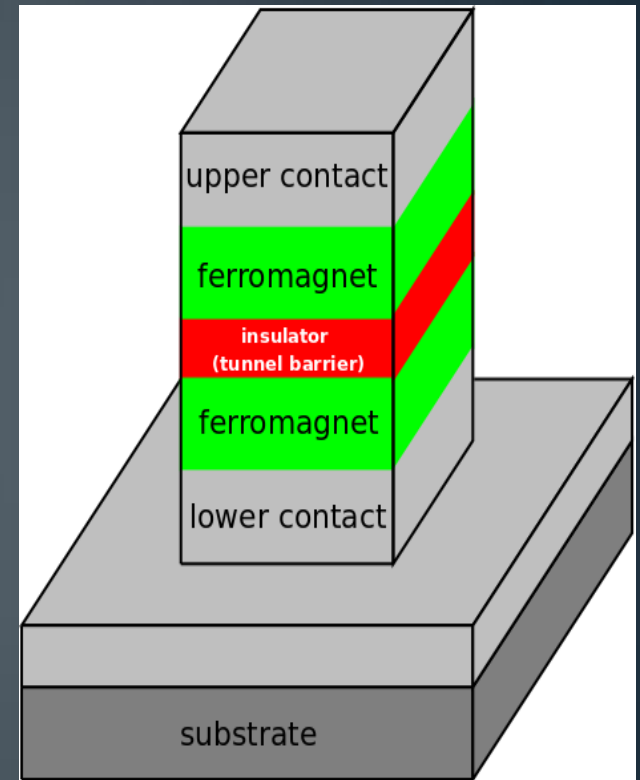
Структура и магнетизм многослойных наносистем на основе MgO

Е. М. Якунина

27-31 октября 2014, Санкт-Петербург

Мотивация

- ❖ Пленочные наноструктуры, состоящие из чередующихся слоев ферромагнитного и „немагнитного“ материалов - перспективные материалами для микро- и наноэлектроники;
- ❖ Эффект гигантского магнитосопротивления (ГМС) (значительное уменьшение электросопротивления при приложении магнитного поля);
- ❖ Физическая природа ГМС связана с зависимостью рассеяния электронов проводимости от проекции спина на намагниченность;
- ❖ 2 случая взаимной ориентации магнитных моментов соседних ФМ слоев: параллельной и антипараллельной;



Giant room-temperature magnetoresistance in single-crystal Fe/MgO/Fe magnetic tunnel junctions

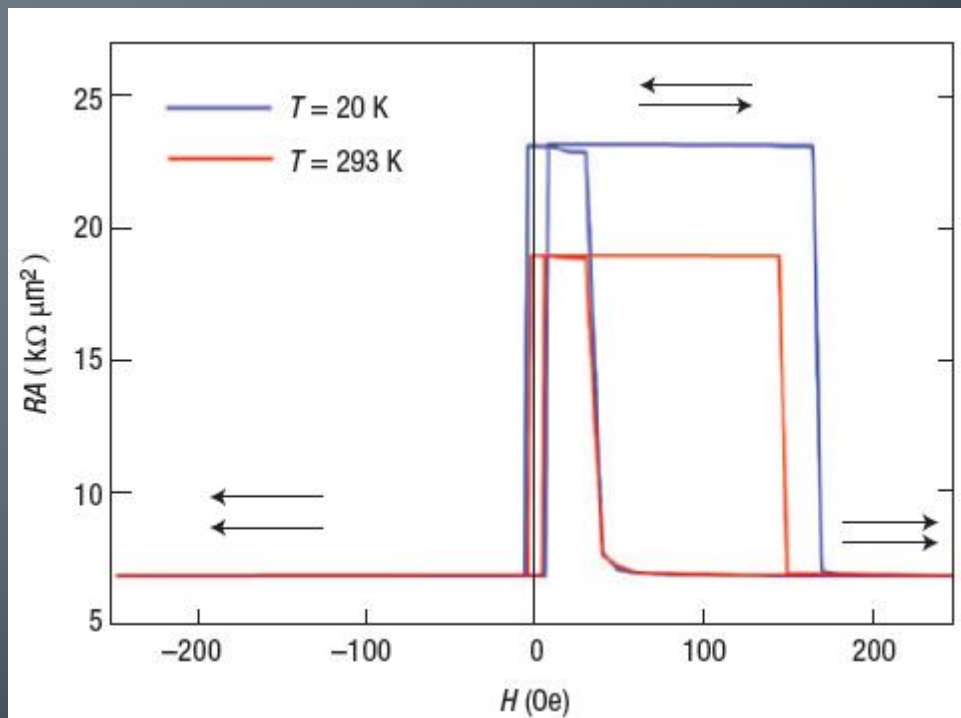
SHINJI YUASA^{1,2*}, TARO NAGAHAMA¹, AKIO FUKUSHIMA¹, YOSHISHIGE SUZUKI¹ AND KOJI ANDO¹

¹NanoElectronics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

²PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

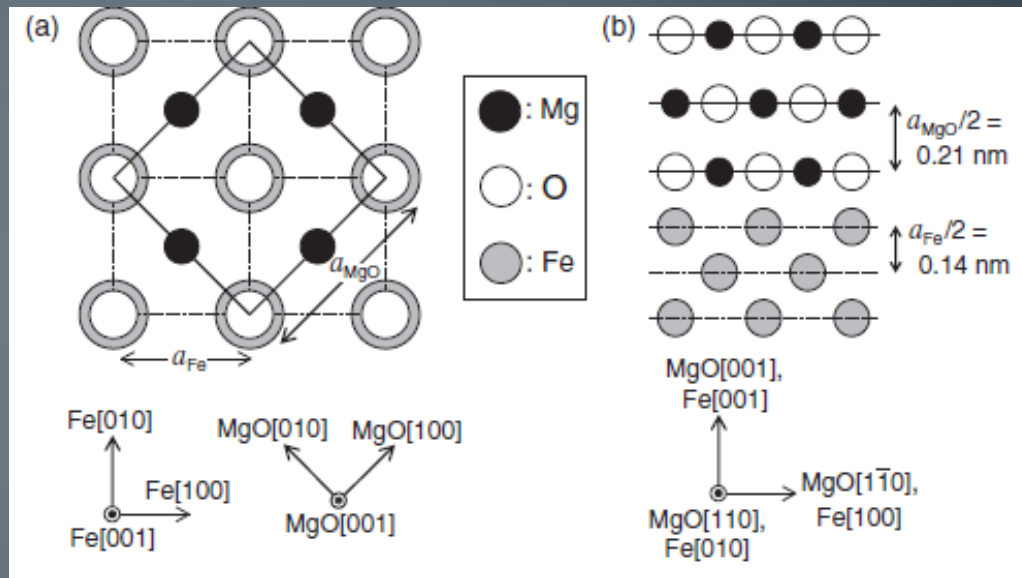
*e-mail: yuasa-s@aist.go.jp

nature **materials** | VOL 3 | DECEMBER 2004 | www.nature.com/naturematerials



Условия, необходимые для реализации эффекта ГТМС

Эпитаксиальное соотношение $(001)_{\text{Fe}}/(001)_{\text{MgO}}$. Структуры повернуты друг относительно друга на 45° . Параметры решётки MgO в $\sqrt{2}$ раз больше параметров решётки Fe (a) вид сверху (b) боковое сечение



- Антипараллельное упорядочение магнитных моментов
- Наличие текстуры 001 в диэлектрической прослойке MgO;
- Высокое качество синтезируемых многослойных наноструктур (наличие резких межслойных границ, отсутствие перемешивания слоёв);

Способы получения АФ упорядочения магнитных моментов в многослойных структурах



Исследуемые структуры

- Способ получения структур Fe/MgO/Fe: высоковакуумное магнетронное распыление (ULVAC MPS-4000-C6)
- **Fe(200 Å)/MgO(t Å)/Fe(50 Å)/Ta(50 Å)**
- $t \text{ MgO} = 15..25 \text{ Å}$
- **Отжиг** $T = 180 \text{ C}..450 \text{ C}$
- Подложки MgO (100) (Перед напылением, отжигались в камере Me при 450 C)

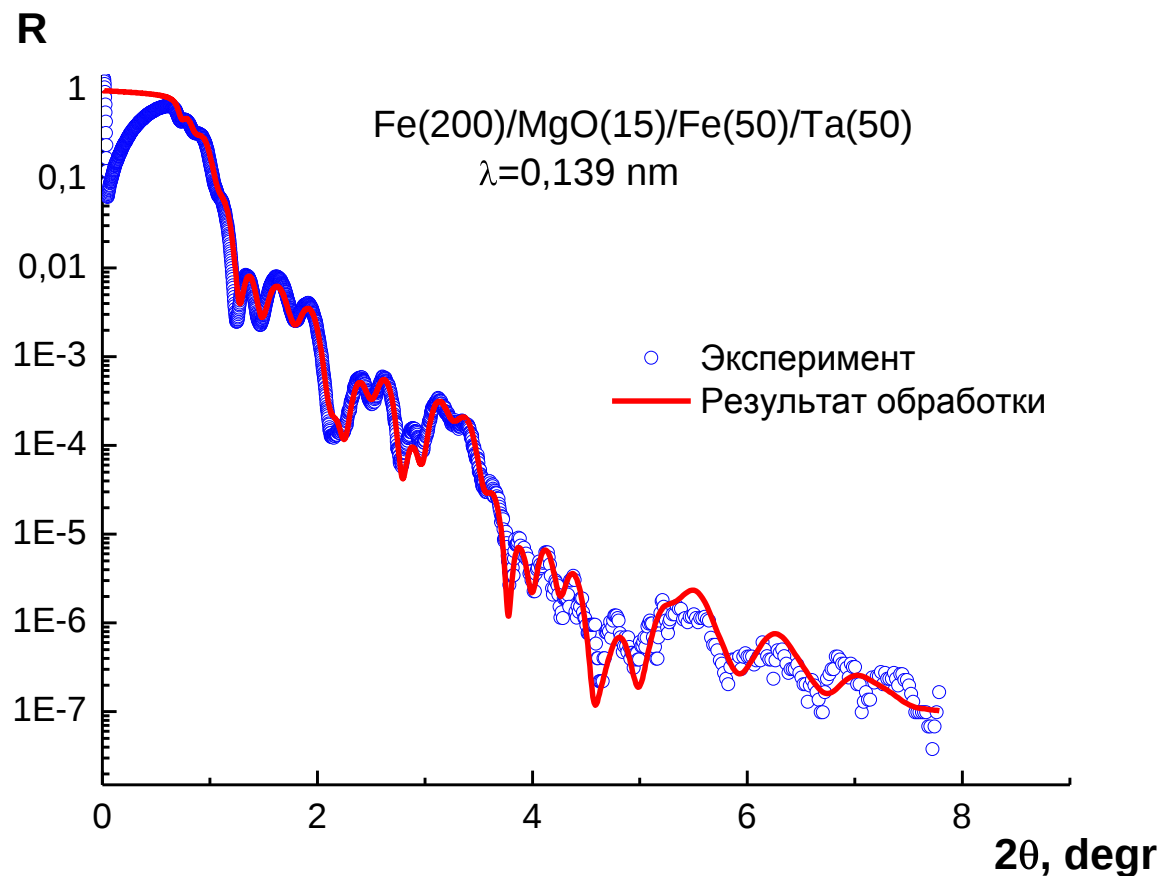


Давление остаточных газов:
В камере металлов – 10^{-7} Па
в камере MgO – 10^{-6} Па

Скорости роста, Å/мин
MgO (7,08), Fe (25,3), Ta (24,4)

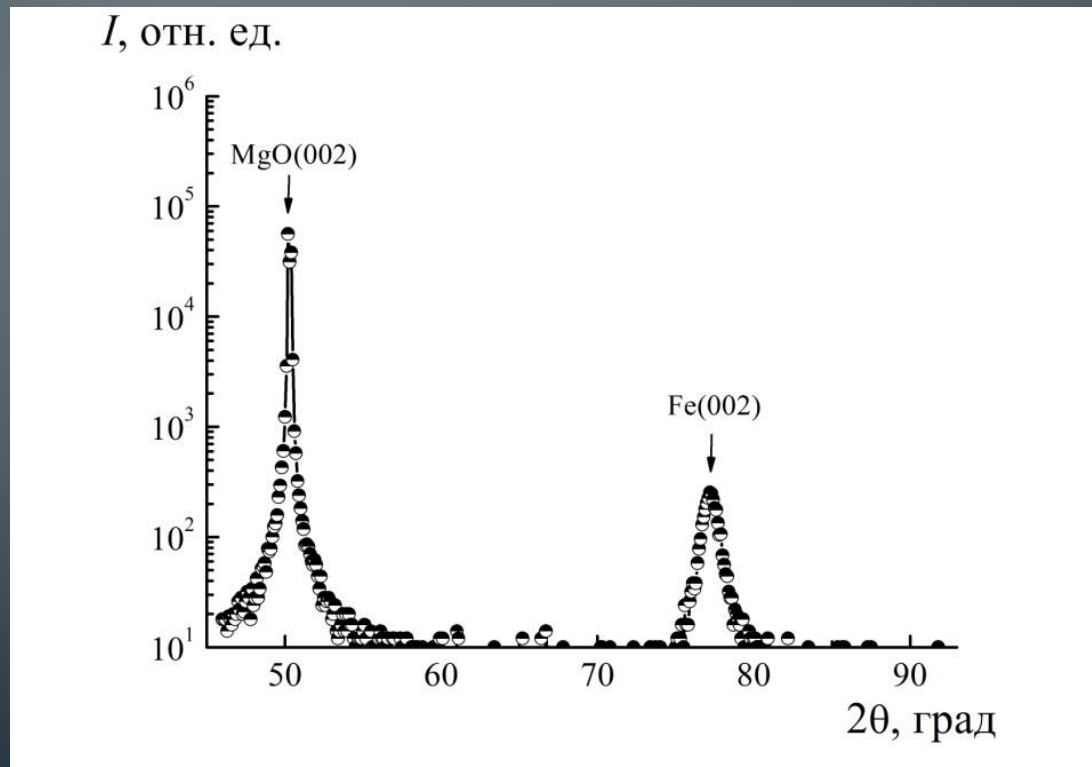
Структурные свойства

Рентгеновская аналитическая система CompuXRAY
REFLECT C6 (ФИАН, г. Москва)



Структурные свойства

- Рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М (ИФМ, Екатеринбург)
- Наличие слоистой структуры
- Постоянная решётки оцк Fe - **2.86 Å**, расчётная - **2,87 Å**
- Корреляционная длина **L=108 Å**, значение L близко по значению к средней толщине слоёв Fe

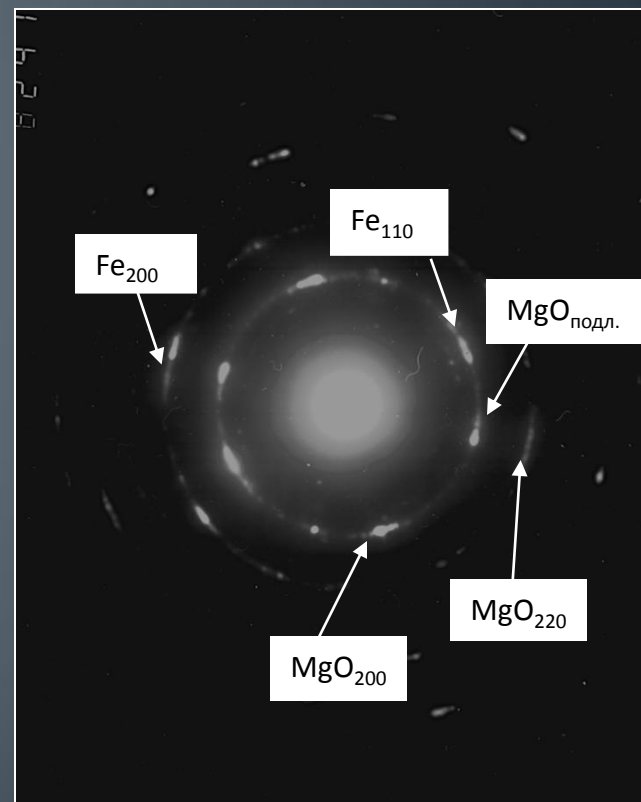
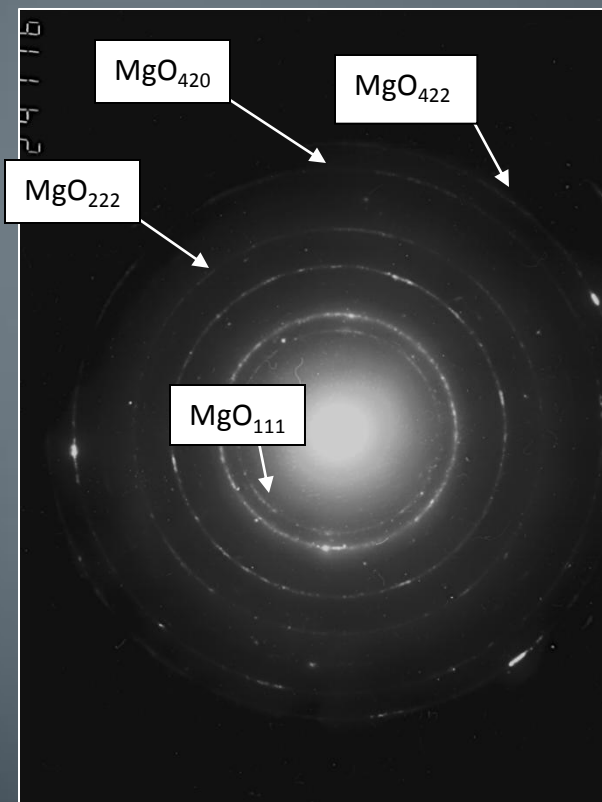


()

Формула Дебая-Шеррера

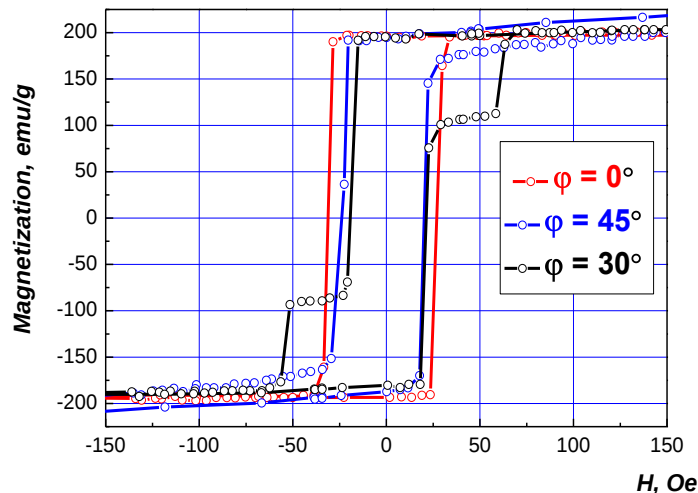
Структурные свойства

- Просвечивающий электронный микроскоп JEM-200СХ (ИФМ, Екатеринбург)
- Аксиальная текстура $\text{MgO}[001]$

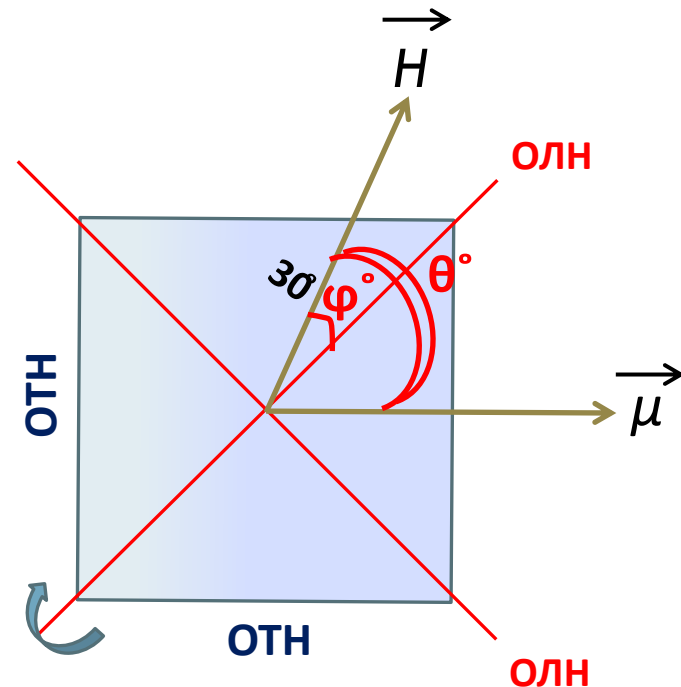


Магнитные свойства

- ❖ Магнитокристаллическая анизотропия четвёртого порядка
- ❖ Различное магнитное поведение при измерениях в лёгкой оси намагничивания и при повороте образца на 30°

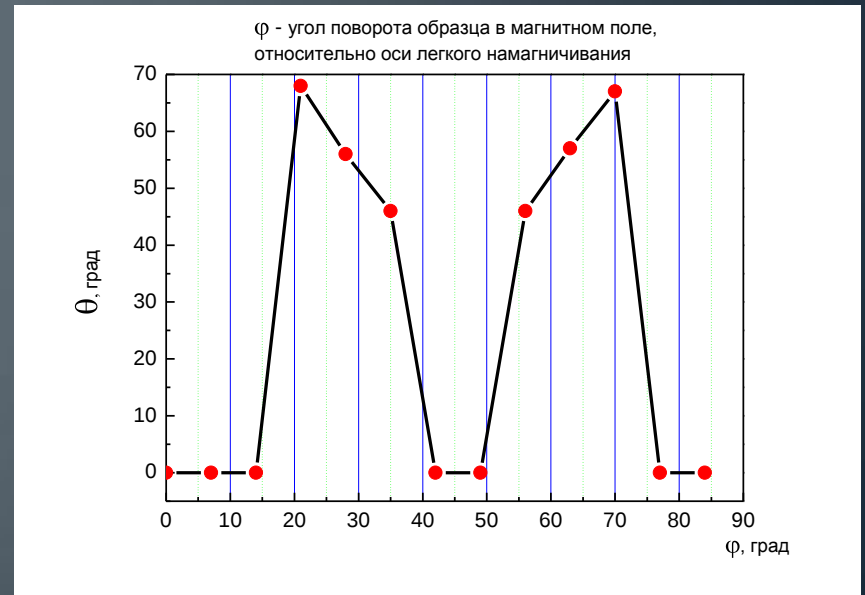
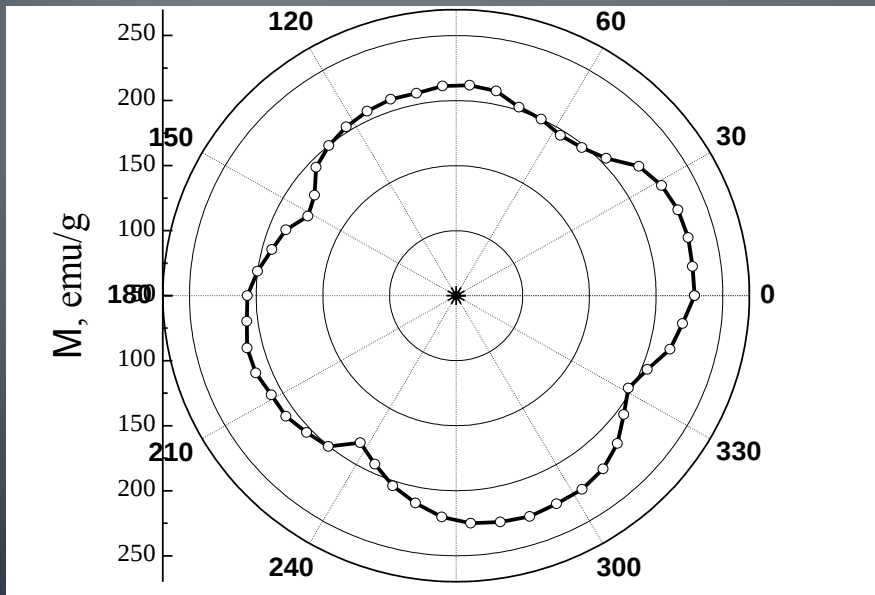


Схематическая иллюстрация измерений намагниченности



Магнитные свойства

- ❖ Магнитокристаллическая анизотропия четвёртого порядка
- ❖ Различное магнитное поведение при измерениях в лёгкой оси намагничивания и при повороте образца на **30°**



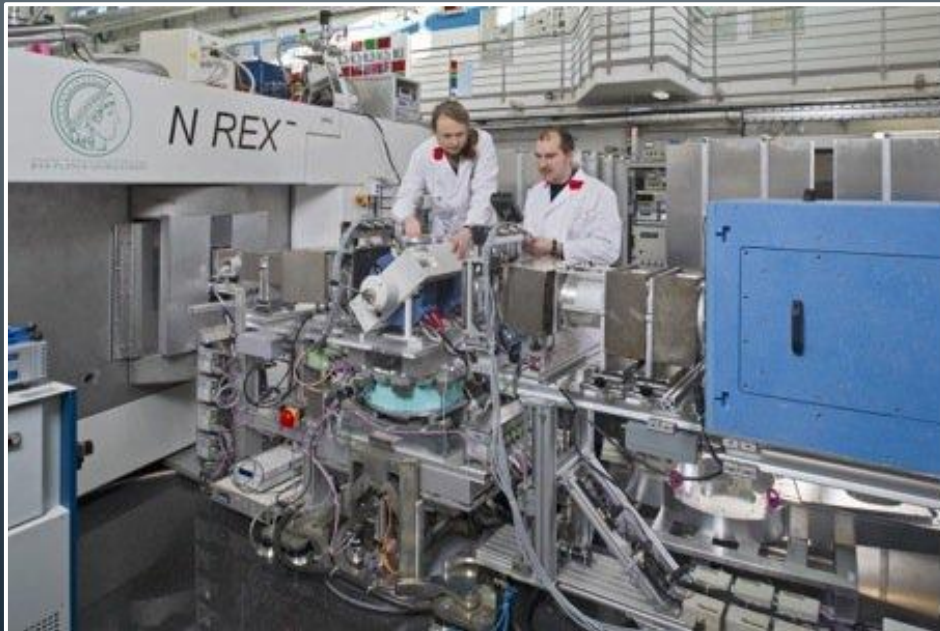
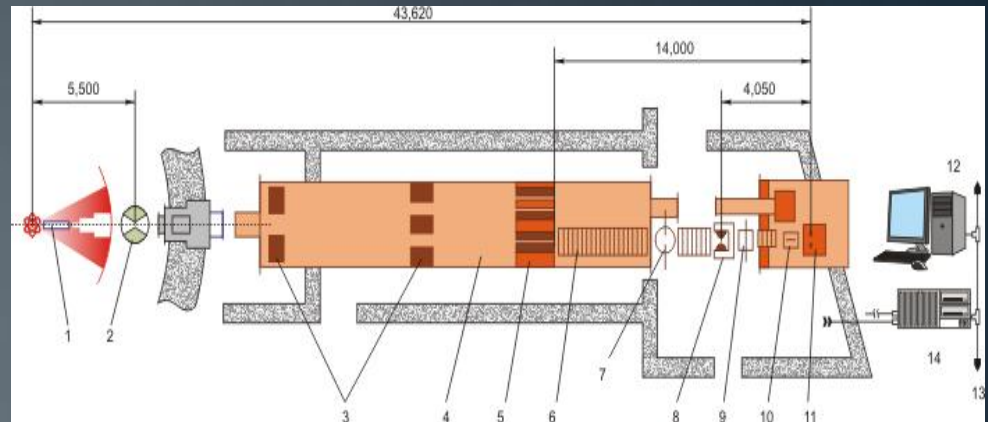
Нейтронные данные

NREX – поляризационный
нейтронный рефлектометр,
(Max Planck Institute for Solid
State Research, FRM II,
Garching, Germany)

Wavelength: $4.3 \text{ \AA}$

Wavelength resolution: $1 - 2 \%$

Q : $0.005 - 0.5 \text{ \AA}^{-1}$

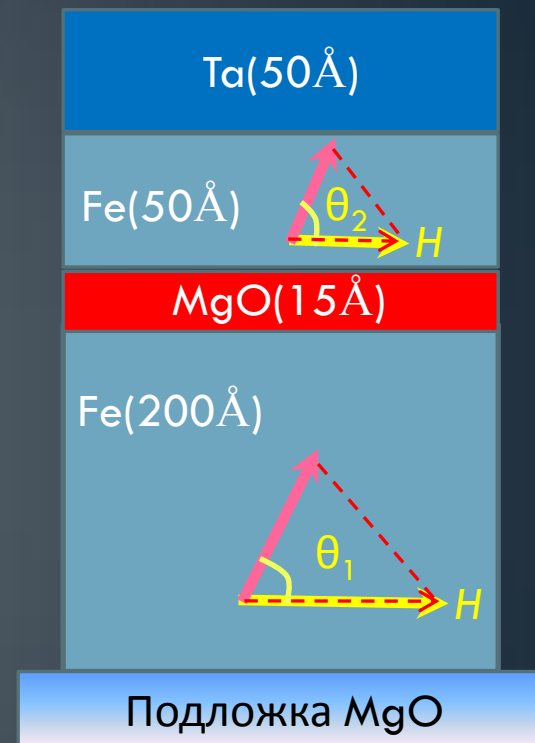
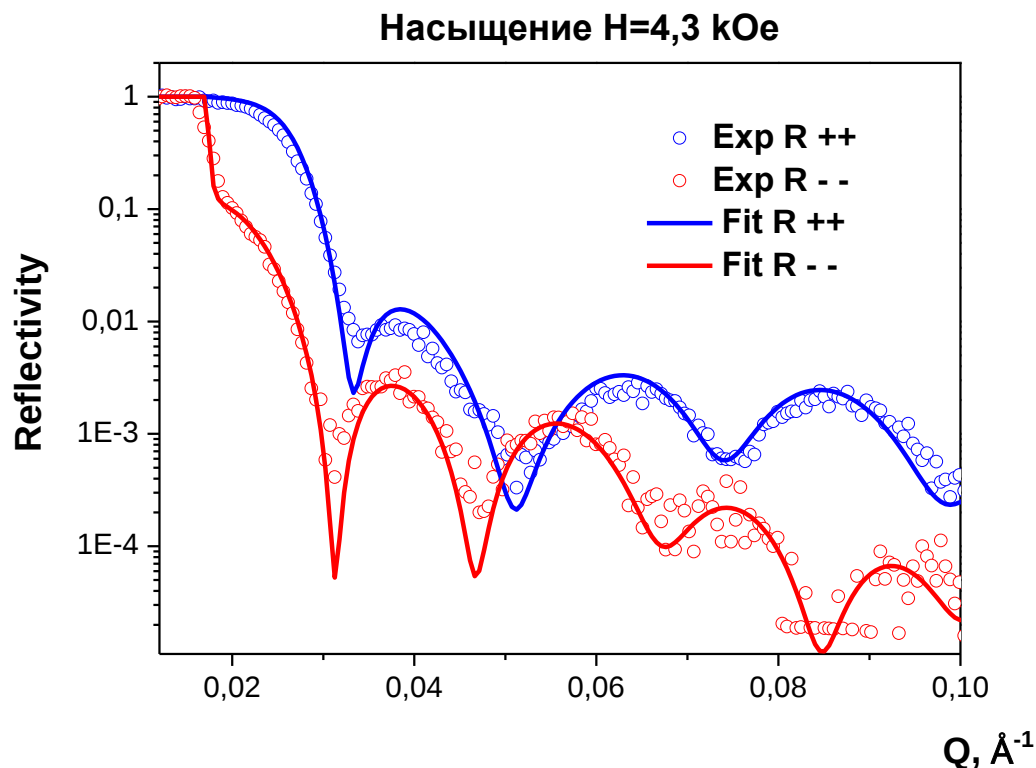


REFLEX –
поляризационный
нейтронный рефлектометр,
(ЛНФ, ОИЯИ, г. Дубна)
(λ : $0.7-10 \text{ \AA}$, Q : $0.003 - 0.2 \text{ \AA}^{-1}$)

Нейтронные данные

NREX— поляризационный нейтронный рефлектометр, (Max Planck Institute for Solid State Research, FRM II, Garching, Germany)

$$\theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$$



Нейтронные данные

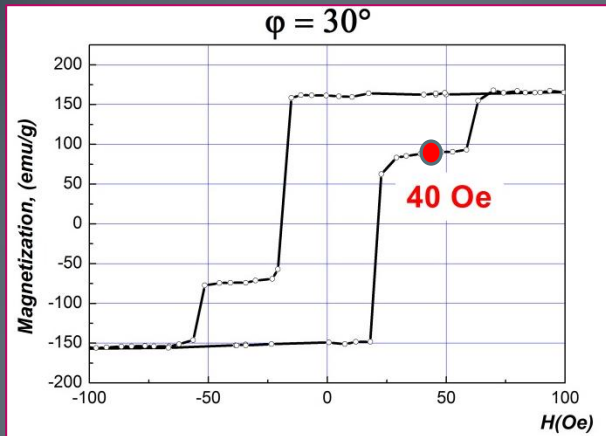
NREX— поляризационный нейтронный рефлектометр, (Max Planck Institute for Solid State Research, FRM II, Garching, Germany)

Насыщение $H = 4,3$ kOe

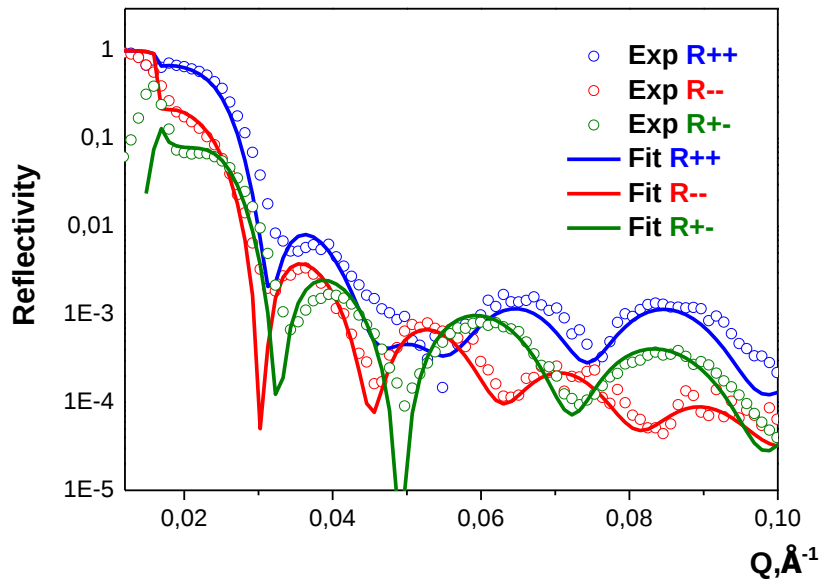
Материал слоя	Номинальная толщина слоев, $\text{\AA}$	Фактическая толщина слоёв, $\text{\AA}$	Межслойная шероховатость, $\text{\AA}$	$M, \mu B$	$\theta_1 = \theta_2,$ град
Fe (нижний слой)	200	202 ± 1	3 ± 1	2	0
MgO	15	15 ± 1	3 ± 1	0	0
Fe (верхний слой)	50	51 ± 1	3 ± 1	2	0
Ta	50	42 ± 1	4 ± 1	0	0
Ta ₂ O ₅	0	30 ± 1	4 ± 1	0	0

Нейтронные данные

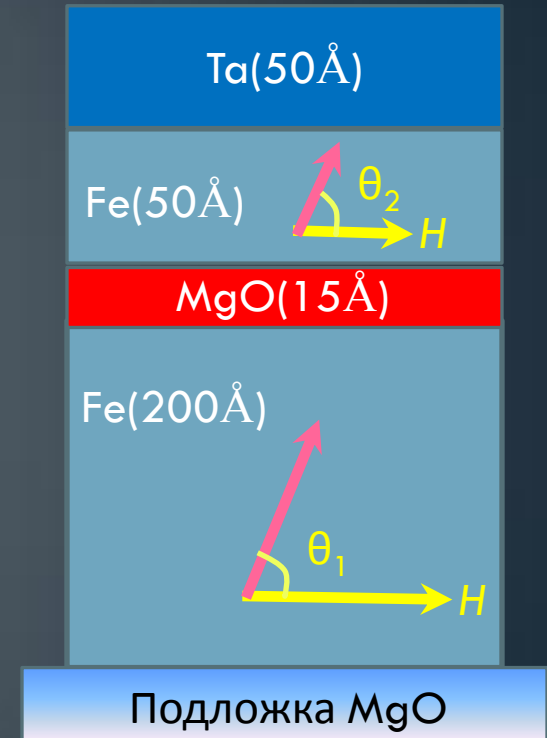
NREX— поляризационный нейтронный рефлектометр, (Max Planck Institute for Solid State Research, FRM II, Garching, Germany)



$H=40$ Oe



$$\theta_1 = \theta_2 = 57^\circ$$



Нейтронные данные

NREX— поляризационный нейтронный рефлектометр, (Max Planck Institute for Solid State Research, FRM II, Garching, Germany)

На ступеньке H = 40 Oe

Материал слоя	Номинальная толщина слоев, Å	Фактическая толщина слоёв, Å	Межслойная шероховатость, Å	$m_1=m_2=m_3$, $\mu\text{В}$	$\theta_1=\theta_2$, град
Fe (нижний слой)	200	202 ± 1	3 ± 1	2	57
MgO	15	15 ± 1	3 ± 1	0	0
Fe (верхний слой)	50	51 ± 1	3 ± 1	2	57
Ta	50	42 ± 1	4 ± 1	0	0
Ta ₂ O ₅	0	30 ± 1	4 ± 1	0	0

Заключение

- 1) Реализация хорошего качества слоистой структуры;
 - 2) формирование магнитокристаллической анизотропии четвёртого порядка;
 - 3) наличие текстуры 001 в диэлектрической прослойке MgO и в слоях Fe;
- 1) Для создания систем с эффектом ГТМС необходимо синтезировать системы с дополнительным АФ слоем

Благодарности

1. Боднарчук Виктор Иванович (ОИЯИ ЛНФ, г Дубна)
2. Турьянский Александр Георгиевич (ФИАН, г. Москва)
3. Кравцов Евгений (ИФМ, Екатеринбург)
4. Устинов Владимир Васильевич (ИФМ, Екатеринбург)
5. Криницина Татьяна Павловна (ИФМ, Екатеринбург)
6. Проглядо Вячеслав Викторович (ИФМ, Екатеринбург)
7. Хайдуков Юрий Николаевич (Max Planck Institute for Solid State Research, FRM II, Garching)

Спасибо за внимание!

В докладе были использованы материалы статей:

[1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices, Physical review letters, November 1988

[2] S. Yuasa and D. D. Djayaprawira, Giant tunnel magnetoresistance in magnetic tunnel junctions with a crystalline MgO(001) barrier, Journal of physics D: Applied physics, October 2007