Исследование магнитной многослойной Co/Fe наноструктуры методом нейтронной рефлектометрии

Чжо Зо Лин[1], В.Г. Сыромятников[1, 2]
1 - СПбГУ (Санкт-Петербургский государственный университет)
2 - ПИЯФ (Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ КИ)

Аннотация

Интерес к магнитным многослойным наноструктурам не ослабевает на протяжении последних десятилетий. В частности, он обусловлен использованием таких структур в исследовательских нейтронно-физических установках в качестве нейтронно-оптических элементов. В данной работе представлены результаты исследований магнитной многослойной периодической *Co/Fe* наноструктуры методом нейтронной рефлектометрии. Измерения проведены на нейтронном рефлектометре НР-4М (реактор ВВР-М, ПИЯФ НИЦ КИ) по время-пролетной методике. В работе приведены экспериментальные и теоретические коэффициенты отражения нейтронного пучка от многослойной магнитной *Co/Fe* наноструктуры в зависимости от переданного импульса для нескольких величин магнитного поля и для обеих спиновых компонент пучка. Установлено и подтверждено расчетом, что коэффициенты отражения первых брэгговских пиков для исследуемой *Co/Fe* наноструктуры для обеих спиновых компонент пучка практически равны друг другу и слабо зависят от магнитного поля.

Цель работы

Исследовать магнитную многослойную периодическую *Co/Fe* наноструктуру в зависимости от внешнего магнитного поля. Рассмотреть коэффициенты отражения обоих спиновых компонентов от исследуемой структуры.

Схема образца Co/Fe

Рис. 1. Схема многослойной структуры из 20 пар **Co/Fe** на стеклянной подложке с толщиной 5 мм.

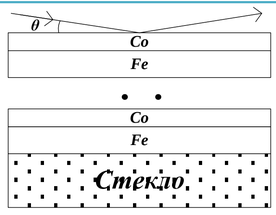


Схема нейтронного рефлектометра НР-4М

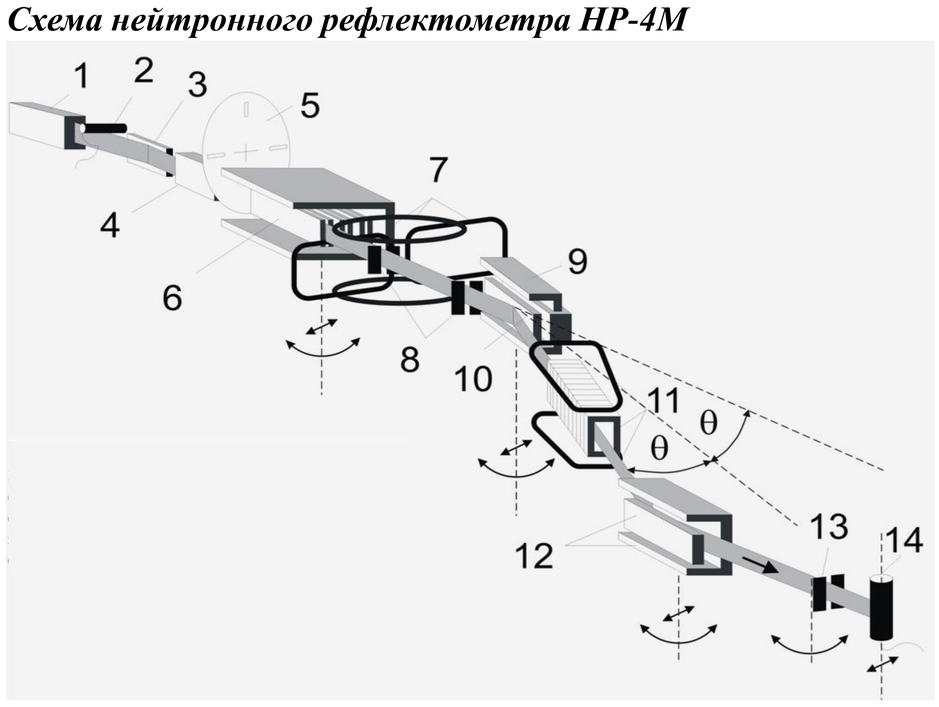


Рис. 2. Схема нейтронного рефлектометра НР-4М на пучке тепловых нейтронов №13 реактора ВВР-М ПИЯФ: (1) внутриканальный коллиматор, (2) монитор, (3) супезеркальный отклонитель пучка, (4) коллиматор, (5) прерыватель пучка (чоппер), (6) формирователь пучка в постоянном магните, (7) флиппер Корнеева, (8) коллимационные диафрагмы, (9) узел образца с постоянным магнитом, (10) образец, (11) радиочастотный адиабатический спин-флиппер, (12) суперзеркальный CoFeV/TiZr анализатор в постоянном магните, (13) диафрагма детектора, (14) детектор

Формирователь пучка установки НР-4М

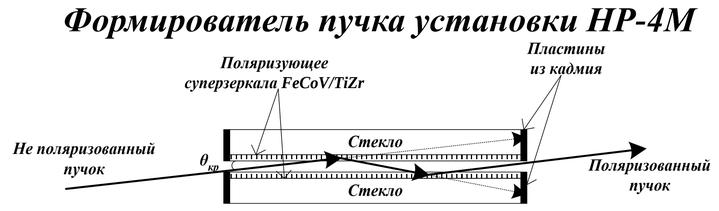


Рис . 3. Схема формирователя пучка

Падающий пучок	*Белый неполяризованный*
Пропускающий пучок	*Белый поляризованный*
Отражающая способность	*m = 2*
Поляризующие суперзеркала	*FeCoV/TiZr*
АППС	*TiZrGd* $3\times60\times210\,mm^3$
Размеры суперзеркала	

Параметры рефлектометра НР-4М

Диапазон по λ	*0.85-6.4 Å.*
Разрешение по длине волны:	*0.06 Å*
Углы скольжения	*7.5, 12.5, 30 угл. мин.*
Угловая расходимость	*0.8 угл. мин.*
Диапазон по Q	*0.005-0.08 $Å^{-1}$*
Магнитные поля	*30, 102.5, 470 Oe.*
Размер пучка на образце	*0.2*35 $мм^2$*

Уравнение Брэгга с учетом рефракции

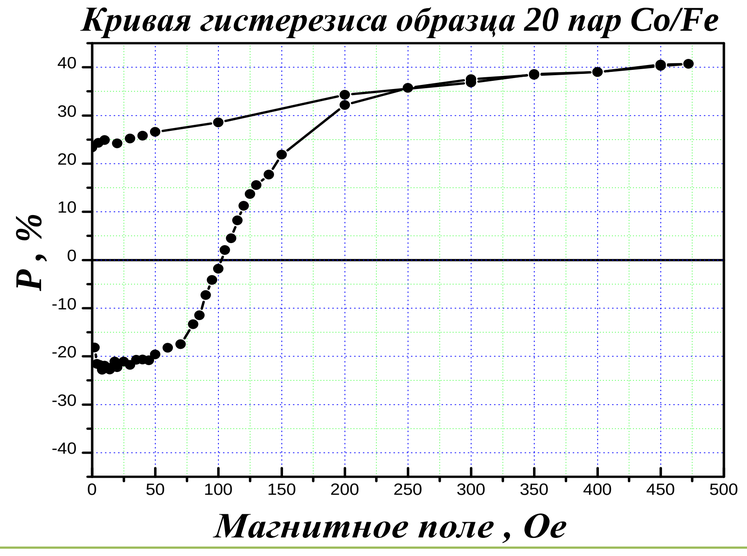
$$\lambda^{+}_{mB} = 2d_{Co}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda^{+}_{mB}}{\lambda^{+}_{cpCo}}\right)^2} + 2d_{Fe}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda^{+}_{mB}}{\lambda^{+}_{cpFe}}\right)^2}$$

$$\lambda^{-}_{mB} = 2d_{Co}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda^{-}_{mB}}{\lambda^{-}_{cpCo}}\right)^2} + 2d_{Fe}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda^{-}_{mB}}{\lambda^{-}_{cpFe}}\right)^2}$$

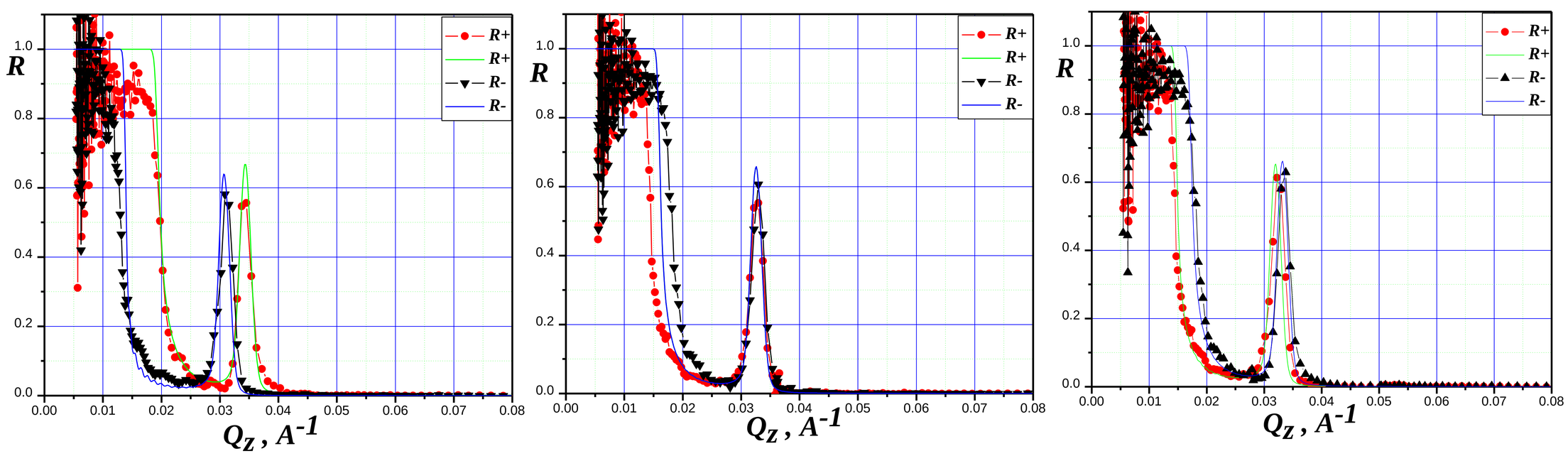
$$\lambda^{\pm}_{cp} = \sqrt{\frac{\pi(d_{Co}+d_{Fe})}{d_{Co}\rho_{Co}(b_c \pm p_m)+d_{Fe}\rho_{Fe}(b_c \pm p_m)}}$$

$\lambda^{\pm}_{mB}$ - перпендикулярная длина волны нейтронов со спином вверх в брэгговском пике для (+) и (-) спиновой компоненты.
$\lambda^{\pm}_{cp}$ - средняя граничная длина волны структуры для нейтронов для (+) и (-) спиновой компоненты.
$\lambda^{\pm}_{cpCo}$ - граничная длина волны кобальта для (+) и (-) спиновой компоненты.
$\lambda^{\pm}_{cpFe}$ - граничная длина волны железа для (+) и (-) спиновой компоненты.
d - толщина слоя.
ρ - плотность атомов.
b_c - длины когерентного ядерного рассеяния.
p_m - длины когерентного магнитного рассеяния.

Кривая гистерезиса образца 20 пар Co/Fe



Сравнение эксперимента с теорией



Параметры образца

Параметры	***Co***	***Fe***
d *(A)*	*120*	*100*
ρ *(10^{22}см$^{-3}$)*	*8.97*	*8.5*
$\boldsymbol{b_c}$ *(10^{-12}см)*	*0.249*	*0.945*
$\boldsymbol{p_m}$ *(10^{-12}см)*	*0.47*	*0.6*

Заданные магнитные поля и полученные магнитные индукции в структуре

H *(Oe)*	*472*	*102.5*	*30*
B	$B_{max}/2$	*0*	$-B_{max}/6$

Контакт: kyawzawlinn.49@gmail.com

Выводы

1. *Была изучена многослойная магнитная наноструктура Co/Fe методом нейтронной рефлектометрией.*
2. *Установлено экспериментально и подтверждено расчетом, что коэффициенты отражения брэгговских пиков первого порядка для исследуемой Co/Fe наноструктуры для обеих спиновых компонент пучка практически равны друг другу и слабо зависят от магнитного поля.*
3. *Экспериментальные результаты показывают, что при магнитном поле 102.5 Oe магнитная индукция в слоях Co и Fe равна нулю. А при 472 Oe магнитная индукция в слоях Co и Fe равна половине индукции насыщения слоев. И магнитное поле 30 Oe соответствует магнитной индукции $B= -B_{max}/6$ в слоях Co и Fe.*
4. *Мы считаем что, такое расхождение происходило из за не достаточности магнитного поля на исследуемой установке НР-4М.*