

# Исследование нанослоев Co методами нейтронной и рентгеновской рефлектометрии

В.А. Матвеев, Н.К. Плешанов

ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики», Гатчина, Россия

## Введение

Поляризующие отражающие покрытия являются основным элементом современных нейтронно-оптических устройств. Одной из важнейших характеристик таких покрытий является величина флип-отношения, определяемая отношением числа отраженных нейтронов со спином «вверх» к числу нейтронов со спином «вниз». Основными факторами, уменьшающими поляризующую эффективность, являются немагнитные области на межслойных границах и окисный слой, формирующийся на поверхности поляризующего покрытия [1, 2]. Магнитно-мертвые области и окисный слой образуют потенциальные барьеры, от которых отражается часть нейтронов. Тонкие слои Co являются одним из перспективных материалов на роль «антибарьерных» слоев для нейтронной оптики.

## Факторы снижающие поляризующую эффективность

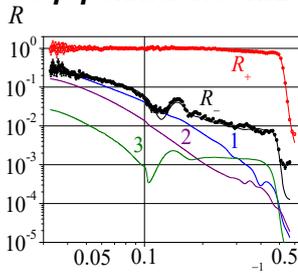


Рис.1. Вклады основных типов несовершенств структуры суперзеркала в отражение нейтронов с нежелательным спином «вниз». Символами обозначены экспериментальные кривые  $R_+(q)$  и  $R_-(q)$ , линиями – расчетные [1]:

1. Отражение от окисидного слоя на поверхности покрытия.
2. Отражение от поглощающего подслоя.
3. Отражение от границ из-за отличия потенциалов слоев.

Основной вклад в коэффициент отражения  $R_+$  в области  $q < 0.3 \text{ nm}^{-1}$  (холодные нейтроны) вносит окисидный слой на поверхности поляризующего покрытия.

## «Антибарьерные» слои

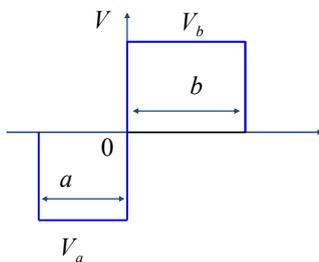


Рис.2. Система потенциалов «барьер-яма»

Для барьеров малой толщины, когда  $bq_b \ll 1$

$$R_{ab} \cong \left[ \frac{bq_b}{16} \left( 1 + \left( \frac{q_b}{q_a} \right)^2 \right) \right]^2 \ll 1$$

Если усредненный потенциал системы «барьер-яма»:

$$\langle V \rangle = \frac{V_a b + V_b a}{b + a} = 0$$

то, для нейтронов низких энергий:

$$R_{ab} \rightarrow 0, \quad q_b \ll 1/b$$

Идея метода: использование нанослоев с отрицательным нейтронно-оптическим потенциалом для подавления отражения нейтронов с нежелательным направлением спина.

## Исследование тонких слоев Co

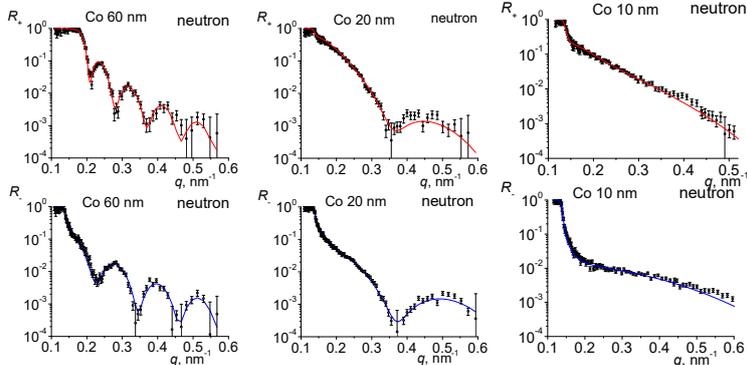


Рис. 3. Результаты нейтронной и рентгеновской рефлектометрии.

	Co 60 nm	Co 20 nm	Co 10 nm	Co 5 nm
$d$ [Co], нм	$58.5 \pm 0.4$	$18.9 \pm 0.6$	$7.5 \pm 0.6$	$3.2 \pm 0.6$
$\sigma$ [Co], нм	$2.9 \pm 0.5$	$2.0 \pm 0.7$	$1.4 \pm 0.7$	$0.4 \pm 0.3$
$d$ [CoO], нм	$2.4 \pm 0.4$	$2.5 \pm 0.6$	$3.2 \pm 0.6$	$2.9 \pm 0.7$
$\sigma$ [CoO], нм	$0.9 \pm 0.6$	$1.9 \pm 0.7$	$1.6 \pm 0.7$	$0.8 \pm 0.6$

## Кинетика окисления тонких слоев Co

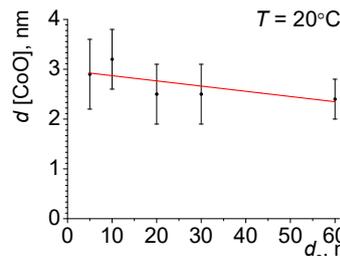


Рис.4. Зависимость толщины окисидного слоя  $d$  [CoO], формирующегося на поверхности пленок Co, от начальной (as-prepared) толщины, после длительного (более 45 суток) окисления на воздухе.

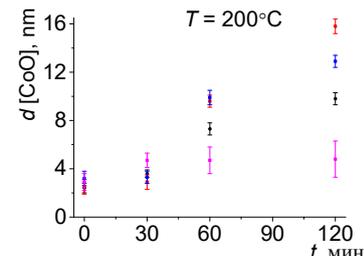


Рис. 5 Рост толщины окисидного слоя при отжиге пленок Co различной начальной (as-prepared) толщины при  $T = 200^\circ\text{C}$ .

Оценка оптимальной толщины Co слоя для создания «антибарьерного» покрытия:

$$a = \frac{V_b}{|V_a|} b = \frac{114 \text{ neV}}{45.6 \text{ neV}} \cdot 2.7 \text{ nm} = 6.75 \text{ nm}$$

Необходимая исходная толщина нанослоя Co с учетом окисления:

$$d_0 = a + \frac{b}{K} = 8.3 \text{ nm} \quad \text{где } K = 1.75 \text{ - параметр Пиллинга-Бедворта}$$

## Испытание на поляризующем зеркальном покрытии

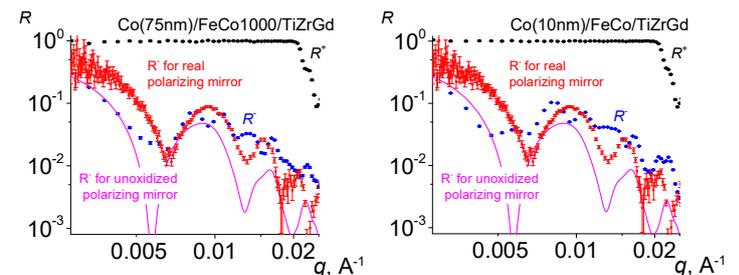


Рис. 6. Экспериментальные зависимости коэффициентов отражения нейтронов  $R_+(q)$  и  $R_-(q)$  от поляризующих зеркал с «антибарьерным» покрытием на основе Co, и без него. Линиями обозначены расчетные кривые отражения  $R_+(q)$  от поляризующего зеркала без окисидного слоя.

## Заключение

В процессе длительного окисления при нормальных условиях на поверхности тонких пленок Co образуется слой оксида толщиной  $2.7 \pm 0.6 \text{ nm}$ . При этом даже у пленки Co толщиной 5 нм наблюдается неокисленный слой металла, что важно для использования пленок Co в качестве «антибарьерных» слоев.

Получена оценка толщины пленки Co, необходимой для создания «антибарьерного» слоя. Экспериментальная проверка на поляризующем зеркале показала наличие эффекта подавления отражения нейтронов «антибарьерным» слоем в области малых  $q$ .

## Список литературы

1. Pleshanov N.K. // Nucl. Instrum. Methods A. 2010. V. 613. №1. 15-22.
2. Pleshanov N.K., Bulkin A.P., Syromyatnikov V.G. // Nucl. Instrum. Methods A. 2011. V. 634. №1. P. 63-66.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 12-02-31625 мол\_а