

Исследование окисления тонкопленочной структуры Ti/FeCo методом комбинации рефлектометрии нейтронного и рентгеновского излучения

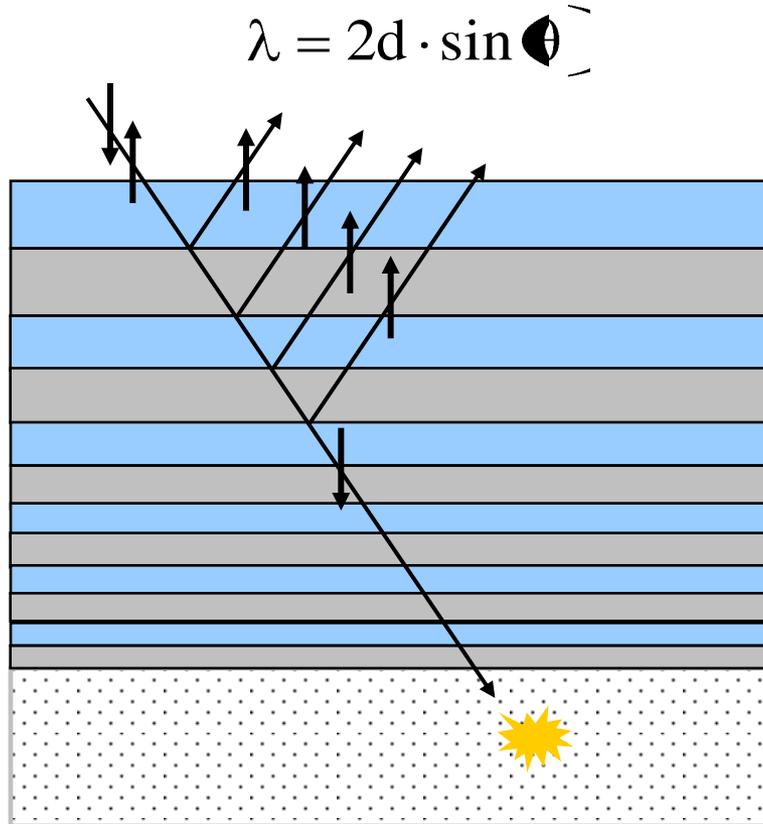
Матвеев В.А.¹⁾, Плешанов Н.К.¹⁾, Боднарчук В.И.²⁾, Якунин С.Н.³⁾

¹⁾Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова, Гатчина, Россия

²⁾Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³⁾Курчатовский институт, Москва, Россия

Поляризующее суперзеркало



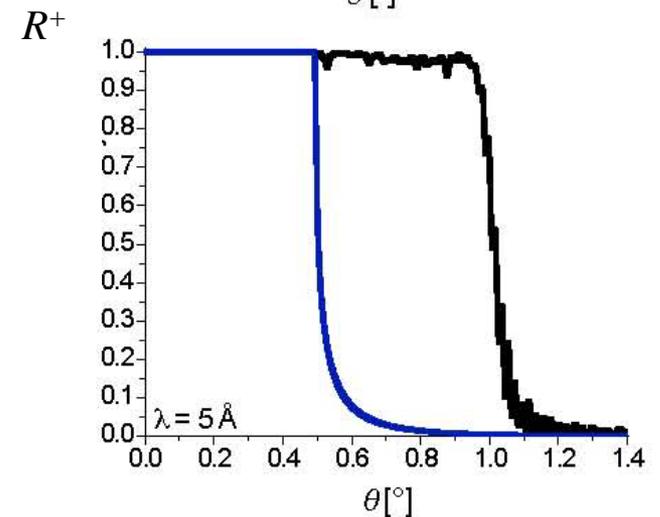
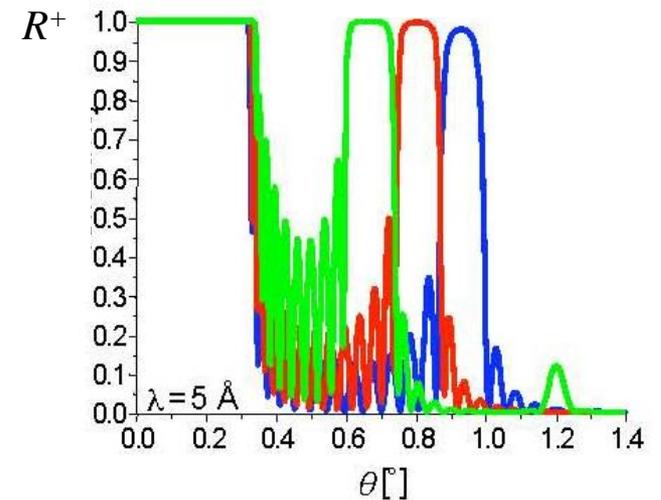
FeCo

TiZr

TiZrGd

$$|V_m [\text{FeCo}]| = V_n [\text{FeCo}] \sim 120 \text{ neV}$$

$$V_n [\text{TiZr}] = 0 \text{ neV}$$

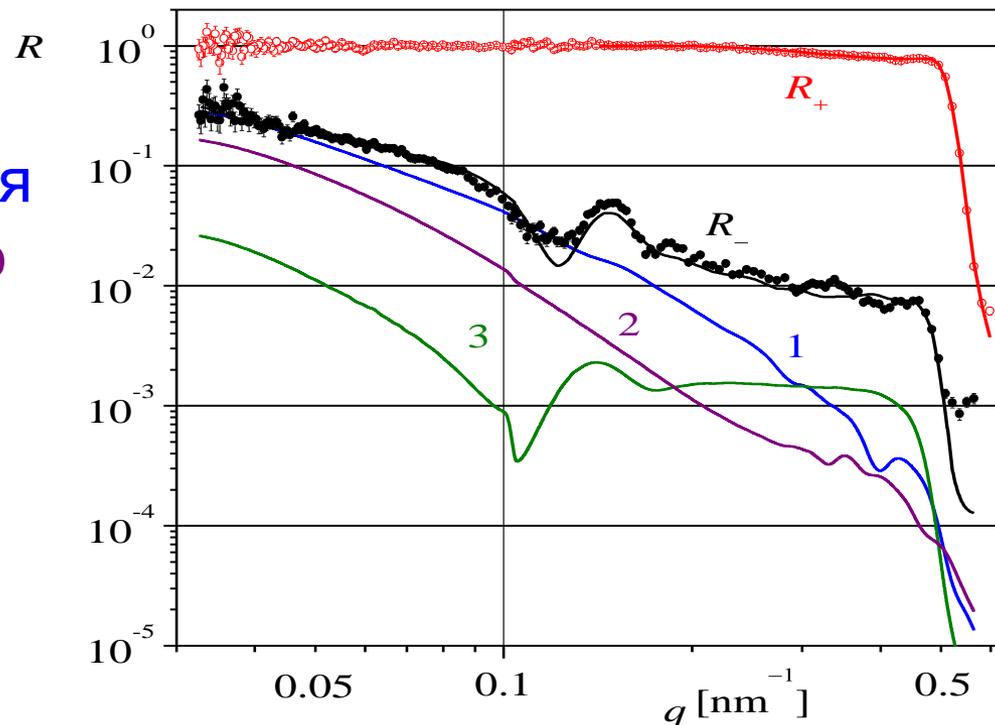


Вклад основных факторов усиливающие отражение нейтронов со спином “вниз”

1. Оксидный слой на поверхности поляризующего покрытия
2. Эффект металлического отражения от поглощающего слоя
3. Рассогласование потенциалов соседних слоев

Дополнительные факторы:

- Отклонение толщин слоев ~2%
- Шероховатости слоев

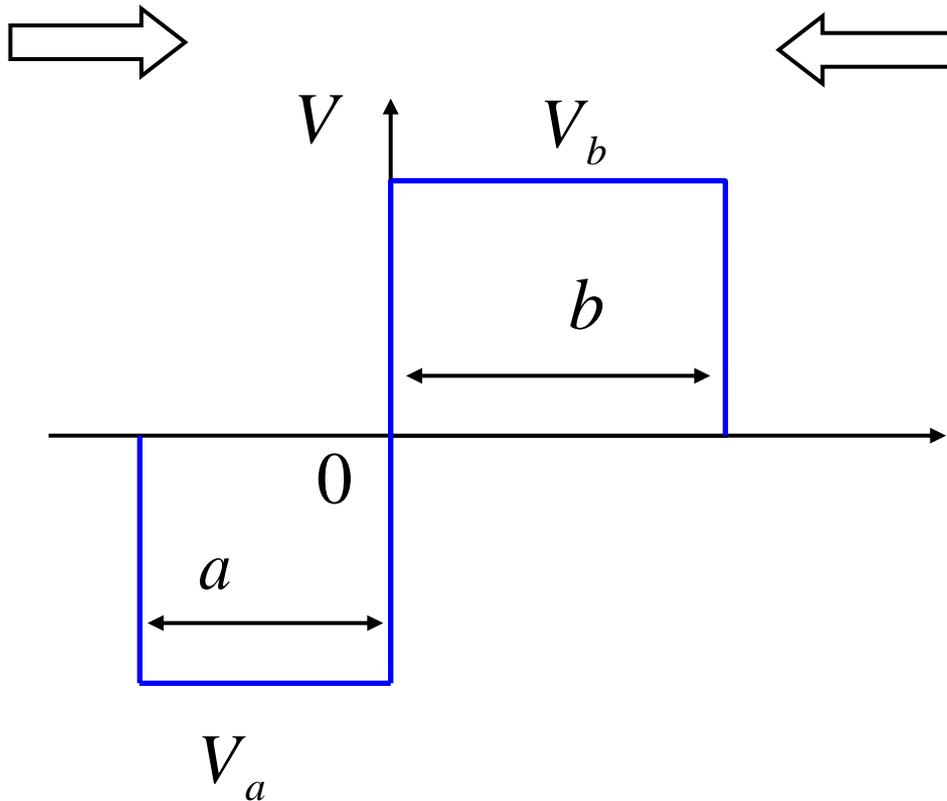


Экспериментальная (символы) и расчетные (кривые) $R(q)$

Pleshanov N.K. Nucl. Instrum. Methods A. 2010. № 613. p.15-22

«Антиотражающие» слои

Pleshanov N.K. Nucl. Instrum. Methods A. 2010. № 613. p.15-22



$$F = \frac{I_+}{I_-}$$

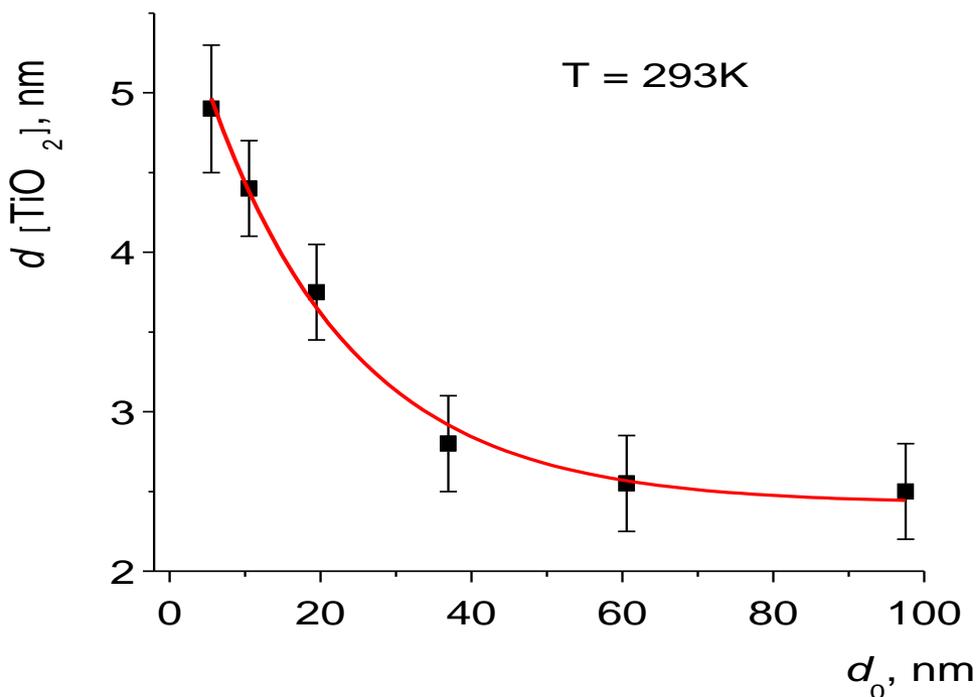
$$\langle V \rangle = \frac{V_a b + V_b a}{b + a} = 0$$

$$q \rightarrow 0 \quad R \rightarrow 0$$

Основные результаты предыдущих исследований

Образцы: тонкие пленки Ti толщиной от 5 до 100 нм, получаемые методом магнетронного напыления на стеклянную подложку.

Основные результаты:



- Толщина оксидного слоя зависит от исходной толщины Ti пленки d_0 .
- Тонкие пленки титана, после окисления при комнатных температурах, демонстрируют высокую устойчивостью к дальнейшему окислению.
- Получена оценка оптимальных параметров пленок Ti для использования в поляризирующих покрытиях нейтронной оптики

В.А. Матвеев, Н.К. Плешанов, и др. Комплексное исследование нанопленок титана, полученных методом магнетронного напыления // Поверхность. Рентген. синхротр. и нейтрон. исслед. 2014. № 10. с. 34



Второй этап исследований

Задачи исследования:

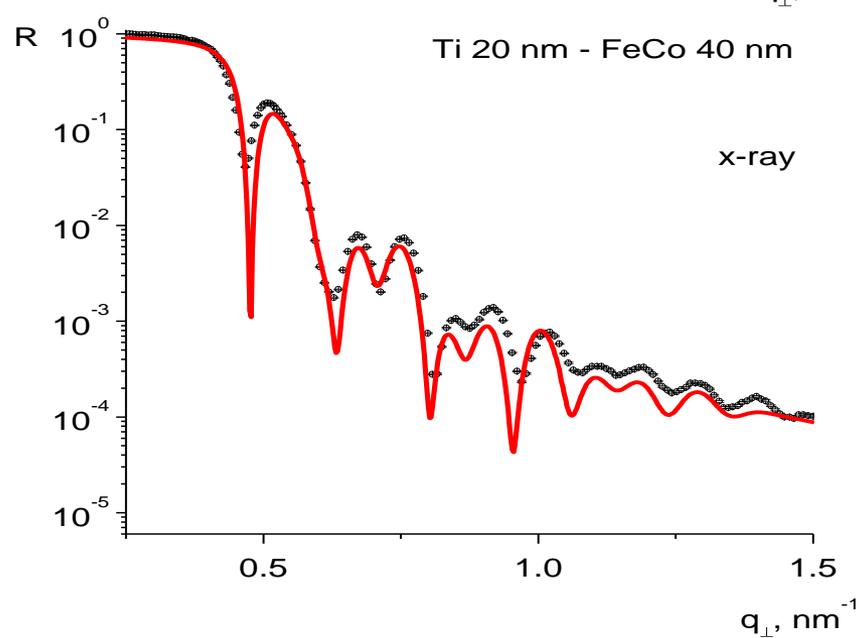
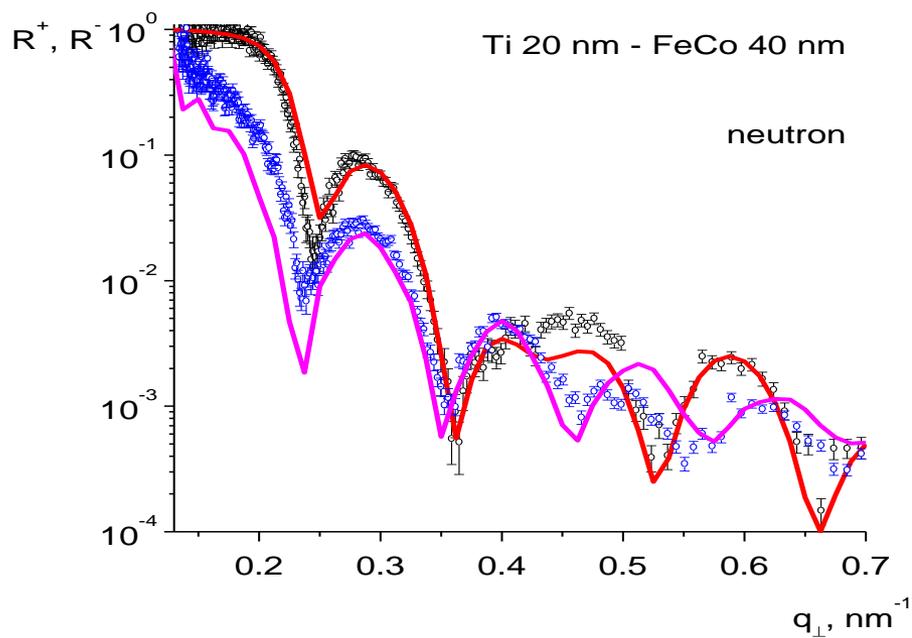
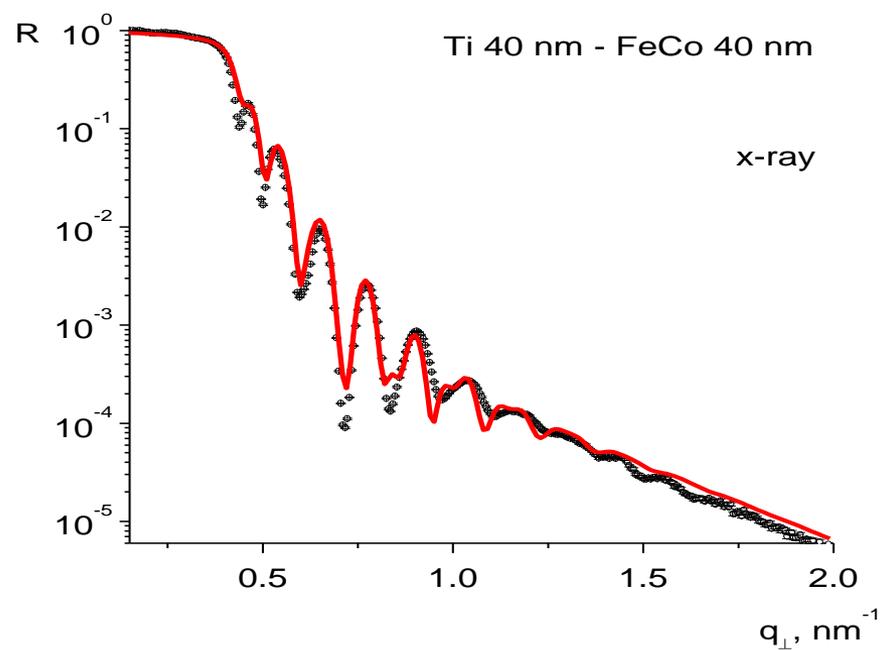
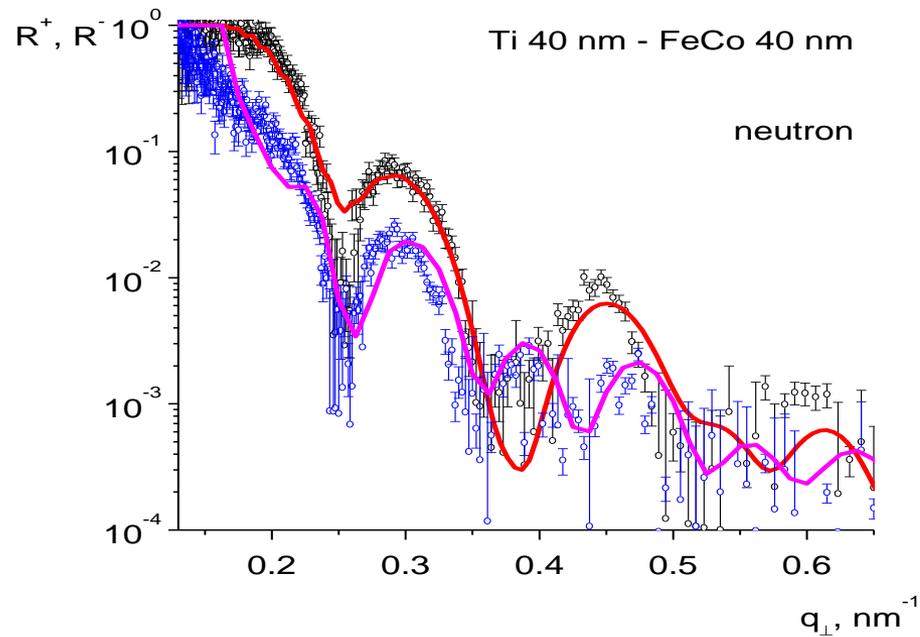
Определение толщины и шероховатости оксидного слоя, формирующегося на поверхности тонких пленок Ti в атмосфере воздуха, нанесенных на поляризующего слой нейтронного зеркала.

Оценка оптимальной толщины Ti пленки, которую необходимо напылять на поверхность поляризующих зеркальных и суперзеркальных покрытий.

Образцы: тонкие пленки Ti нанесенные на 40 нм слой FeCo. После напыления пленки выдерживались при комнатной температуре в течении 15 суток.

Метод исследования: комбинация рефлектометрии поляризованных нейтронов (рефлектометр РЕФЛЕКС, ОИЯИ, Дубна) и рефлектометрии рентгеновского излучения (рефлектометр Rigaku, КИ, Москва).

Нейтронная рефлектометрия	Рентгеновская рефлектометрия
Достоинства методов	
Слабое поглощение нейтронов	Высокая светосила метода
Оптические потенциалы близких элементов, изотопов и различных химических соединений одного и того же элемента могут существенно различаться	Возможность получать хорошее разрешение.
Чувствительность к магнитной структуре вещества (в случае рефлектометрии поляризованных нейтронов)	Высокая чувствительность к шероховатости
Недостатки методов	
Зачастую более низкое разрешение, чем в случае рентгеновской рефлектометрии	Оптические свойства близких элементов и ряда химических соединений одного и того же элемента часто слабо различны. Невозможность различать изотопы одного и того же химического элемента.
Низкая интенсивность нейтронных источников	Сильное поглощение рентгеновского излучения



Параметры слоев, полученные из совместной подгонки коэффициентов отражения рентгеновского и нейтронного излучения

Параметр	Ti40-FeCo40	Ti20-FeCo40	Ti10-FeCo40	Ti5-FeCo40
d [TiO ₂], nm	6.30 0.58	6.46 0.26	6.55 0.35	7.00 0.68
σ [TiO ₂], nm	2.37 0.09	2.15 0.10	2.00 0.14	1.54 0.43
d [Ti], nm	32.27 1.32	1.46 0.21	6.01 0.35	-
σ [Ti], nm	4.44 0.85	1.31 0.40	0.50 1.00	-
d [FeCo], nm	3.96 0.14	3.96 0.14	38.10 0.28	40.15 0.28
σ [FeCo], nm	2.05 0.12	1.89 0.12	2.11 0.16	3.04 0.74

Заключение

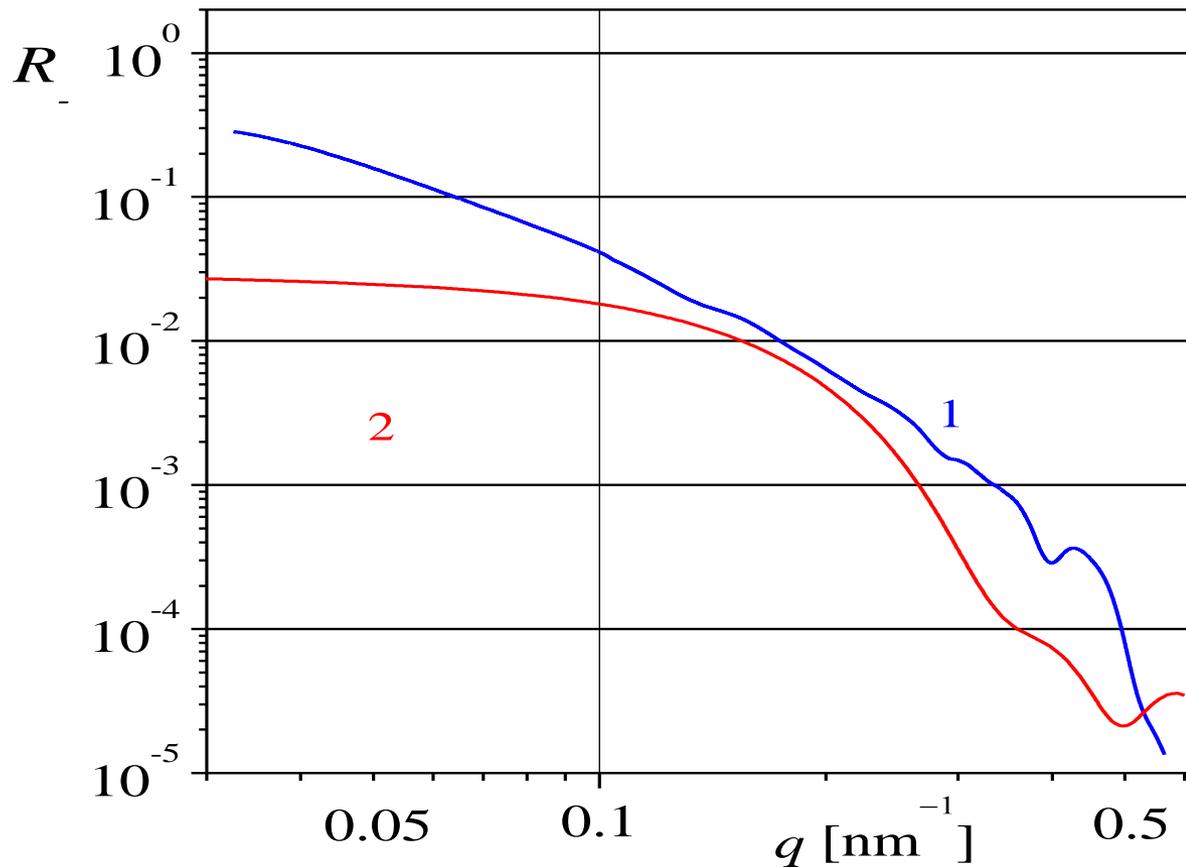
Показана возможность применения комбинации рефлектометрии нейтронного и рентгеновского для изучения тонких аморфных металлических пленок. Такой подход позволяет увеличить точность определяемых параметров и уменьшить количество возможных решений обратной рефлектометрической задачи по восстановлению профиля оптической плотности.

На поверхности всех изученных тонкопленочных систем Ti-FeCo формировался оксидный слой толщиной $d[\text{TiO}_2]=6.5\pm 0.5$ нм. Такой результат заметно отличается от полученных ранее данных, для случая окисления пленок Ti напыленных на стеклянную подложку. Толщина слоя оксида в этом случае зависела от исходной толщины Ti пленки и не превышала 4.9 ± 0.6 нм.

На основе новых результатов произведена оценка оптимальной исходной толщины Ti пленки $d_0[\text{Ti}]=12.6$ нм.

Полученные результаты подтверждают возможность использования систем Ti-TiO₂ в качестве «антиотражающих» покрытий в поляризующей нейтронной оптике.

Ожидаемый эффект использования «антиотражающего» слоя на поверхности суперполяризующего покрытия





Благодарю за внимание!