

шении χ эффект ФР значительно уменьшается [3]. Действительно, мы наблюдали уменьшение числа осцилляций с уменьшением при одинаковой толщине пленок. Величина же достигаемого ФДв оказалась практически не зависящей от содержания As .

3. Явления ФДв и ФР показали разную чувствительность к методике приготовления образцов. В частности, в пленках As_2S_3 , приготовленных методом ионно-плазменного высокочастотного распыления, наблюдалось сильное уменьшение эффекта ФР, в то время как эффект ФДв был практически такой же, как в пленках As_2S_3 , приготовленных методом термического испарения в вакууме.

Результаты, изложенные в пп. 2, 3, также свидетельствуют о различии микроскопических механизмов ФДв и ФР.

Таким образом, приведенные в настоящей работе данные являются существенным подтверждением сделанного ранее [2] заключения о том, что природа явления ФА существенно отличается от природы фотоиндуцированного изменения скалярных оптических параметров и ее выяснение должно быть целью последующих исследований.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Z h d a n o v V.G., K o l o m i e t s B.T.,
L y u b i n V.M., M a l i n o v s k i i V.K. //
Phys. St. Sol. (a), 1979. V. 52. P. 621.
- [2] Л ю б и н В.М., Т и х о м и р о в В.К. // Письма в ЖТФ.
1989. Т. 15. В. 1. С. 29.
- [3] З в о н а р е в а Т.К., К о л о м и е ц Б.Т., Л ю б и н В.М.,
Ф е д о р о в В.А. // ЖТФ. Т. 48. В. 5. С. 1021.
- [4] С и в у х и н Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука,
1980.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
24 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

12

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ АНТИОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ НЕЙТРОННЫХ ЗЕРКАЛ

Н.К. П л е ш а н о в

Поляризованные нейтроны используются в различных методиках с поляризационным анализом [1-3]. В качестве поляризаторов и анализаторов нейтронного пучка широко применяются полярирующие зеркала и суперзеркала [4-8]. Использование высококачественной поверхности стекла при изготовлении полярирующих зеркал приводит к необходимости создания антиотражающего подслоя [4], на который напыляется ферромагнитная пленка.

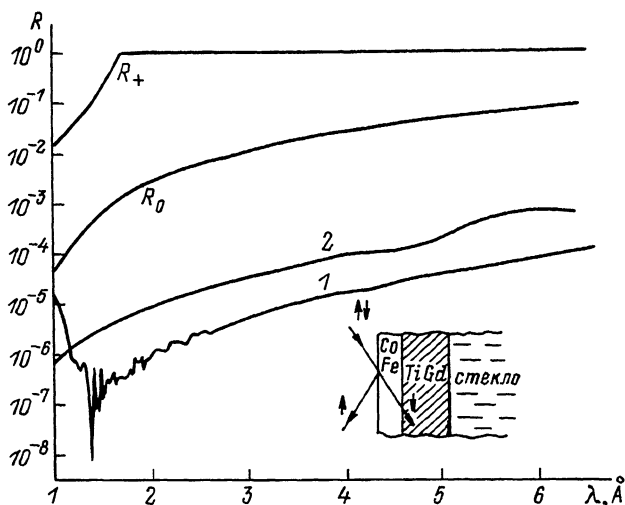


Рис. 1. Расчетные коэффициенты отражения нейтронов под углом скольжения 10° от различных антиотражающих покрытий. Для сравнения приведен коэффициент отражения нейтронов с параллельной ориентацией спина от толстой ферромагнитной пленки $CoFe$ 40, по данным [11]. На вставке — принцип зеркального поляризатора с поглощающим подслоем.

Ферромагнетик по составу подбирается так, чтобы плотности длин ядерного ρ_j и магнитного ρ_m когерентного рассеяния были равны. В этой случае отражения нейтронов с антипараллельной ориентацией спина от ферромагнитной пленки не происходит, поляризующие свойства зеркала полностью определяются антиотражающими свойствами подслоя. Чтобы подавить отражение нейтронов от стекла, подслоя должен быть сильно поглощающим. При этом заметную роль [9] играет «металлическое» отражение нейтронов [10]. Расчет дает оптимальное (минимум отражения) содержание гадолиния, равное 30% (сплав $TiGd$ 30) при толщине слоя $>2000 \text{ Å}$.

Отражение от подслоя, как показывает расчет, можно значительно уменьшить путем сглаживания оптического потенциала (как реальной, так и мнимой его частей) поглощающей пленки соответствующим изменением по глубине ее химического состава.¹ Плавное изменение потенциала можно осуществить, разбавляя исходный

¹ Предположение о существенном влиянии плавного изменения потенциала на антиотражающие свойства поглощающего слоя высказывал более 10 лет назад В.А. Рубан. Автор признателен коллегам, указавшим на это.

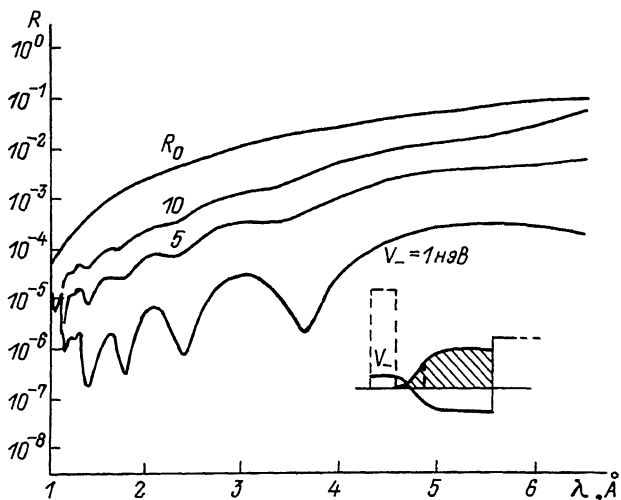


Рис. 2. Расчетные коэффициенты отражения нейтронов от однородной пленки толщиной 1200 \AA с потенциалом V_- (указанных значений), согласованным с переходным слоем на основе сплава $TiGd$ 30. Для сравнения приведен коэффициент отражения от обычного покрытия из этого же сплава (R_0). На вставке — принцип зеркального суперполяризатора в терминах потенциалов. Пунктиром показан потенциал ферромагнитной пленки для нейтронов с параллельной ориентацией спина. Заштрихована мнимая часть потенциала антиотражающего покрытия с переходным слоем.

состав материалом с $\rho_a = \rho_m = 0$ (например, сплавом $TiZr$). Полученные при расчете (данные табулированы в [12, 13]) по матричному методу [14] кривые 1 и 2 (рис. 1) соответствуют коэффициенту отражения R от антиотражающего подслоя с переходным слоем 0.4 мкм , в котором потенциал по глубине (ось z) плавно меняется по закону

$$U(z^*) = \frac{U_0}{1 + \exp(-2z^*/\sigma)} \quad (1)$$

в интервале z^* ($z^* = z - z_m$, где z_m — координата середины переходного слоя) от -2σ до 2σ при $\sigma = 0.1 \text{ мкм}$. Здесь U_0 — уровень потенциала массивного образца $TiGd$ 30 (1) и чистого гадолиния (2). Общая толщина подслоя в обоих случаях 1 мкм .

Коэффициент отражения R очень чувствителен к толщине и форме переходного слоя, но при достаточно большой его толщине всегда уменьшался на несколько порядков по сравнению с R_0 , коэффициентом отражения от обычного покрытия $TiGd$ 30. При этом минимуму отражения соответствовала не предельно гладкая

форма потенциала, а потенциал в виде сравнительно небольшого числа ступенек.

Поляризация пучка зеркалом определяется отношением

$$\rho = \frac{R_+ - R_-}{R_+ + R_-}. \quad (2)$$

При $R_+ \gg R_-$ величина $\rho = 1 - R_-/R_+$. Увеличение поляризационного отношения R_+/R_- означает увеличение отношения сигнал/фон и разрешения различных поляризационных методик.

При наличии высокоэффективного антиотражающего подслоя основным фактором, определяющим поляризующую эффективность зеркала, становится нескомпенсированность ρ_g и ρ_m . Предварительная обработка экспериментальных данных по R_- с обычным подслоем при условии однородности ферромагнитной пленки в пересчете на потенциал дает нескомпенсированность $V_- < 10$ нэВ. Расчет с переходным слоем на основе сплава *TiGd* 30 показывает, что при наличии однородной пленки минимумы коэффициента отражения лежат ниже соответствующего коэффициента отражения от антиотражающего подслоя (рис. 1, кривая 1), а максимумы - ниже коэффициента отражения от данной пленки на обычном подслое на 1 порядок при $V_- = 5$ нэВ, на 2 порядка при $V_- = 1$ нэВ.

Максимумы коэффициента отражения еще можно снизить, уменьшив отражение от второй границы ферромагнитной пленки плавным изменением реальной части потенциала переходного слоя не с нуля, а с величины V_- . Рассчитанные для этого случая коэффициенты отражения (рис. 2) прекрасно коррелируют с коэффициентами отражения от полубесконечной среды потенциала V_- , где „работает“ одна граница.

Проделанные расчеты, таким образом, свидетельствуют о возможности создания нейтронных зеркал, значительно превосходящих существующие по поляризующим свойствам, - зеркальных суперполяризаторов. Основной технической трудностью создания высокоэффективного антиотражающего слоя является „разбавление“ поглощающего материала непоглощающим с плавным переходом от одного материала к другому.

Другой проблемой, требующей отдельного исследования, является влияние различных неидеальностей ферромагнитной пленки на поляризующие свойства зеркала. Расчеты показывают перспективность использования поглощающего подслоя для этих исследований.

Сглаживание потенциала может использоваться также для уменьшения толщины антиотражающего подслоя, в том числе с целью применения его в суперзеркалах. Необходимо отметить, что эффект ослабления отражения от поглощающей пленки переменного состава уже наблюдался Шерфом [7]. Ему удалось за счет этого в несколько раз уменьшить толщину подслоя, но удовлетворительного объяснения этого эффекта дано не было.

Эффективно работающее антиотражающее покрытие может найти и другие применения в нейтронной оптике, например в соллеровских

коллиматорах. Пара зеркал с таким покрытием может работать как перестраиваемая (поворотом) тонкая диафрагма. Особенно эффективного использования антиотражающего покрытия следует ожидать при формировании пучков малой расходимости.

Работа была инициирована А.Ф. Шебетовым. Автор признателен В.Я. Кезерашвили за дискуссии на этапе подготовки расчетной программы, А.И. Окорокору за полезное обсуждение работы, Н.М. Кусовой за участие в оформлении работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Moon R.M., Riste T., Koehler W.C. // Phys. Rev. 1969. V. 181. N 2. P. 920-931.
- [2] Окорокор А.И. Использование ядерных реакторов и ускорителей в физике конденсированного состояния. Л., 1986. С. 278-309.
- [3] Топерверг Б.А. Использование ядерных реакторов и ускорителей в физике конденсированного состояния. Л., 1986. С. 300-336.
- [4] Драбкин Г.М., Окорокор А.И., Шебетов А.Ф., Боровикова Н.В., Гукасов А.Г., Егоров А.И., Рунов В.В. // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. С. 1916-1926.
- [5] Mezei F. // Commun. Phys. 1976. V. 1. P. 81-85.
- [6] Mezei F., Dagleish P.A. // Commun. Phys. 1977. V. 2. P. 41-43.
- [7] Schärpf O. // AIP Conference Proceedings. 1981. N 89.
- [8] Кезерашвили В.Я., Шебетов А.Ф., Песков Б.Г., Плешанов Н.К., Сороко З.Н., Сыромятников В.Г. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. С. 676-681.
- [9] Докукин Е.Б., Корнеев Д.А., Лебнер В., Пасюк В.В., Петренко А.В., Ржаны Х. // Кр. сообщ. ОИЯИ. Дубна, 1987. № 4(24)-87. С. 22-30.
- [10] Гуревич И.И., Немировский П.Э. // ЖЭТФ. 1961. Т. 41. С. 1175-1177.
- [11] Кудряшев В.А. Автореф. канд. дис. Л., 1984.
- [12] Mughabghab S.F., Divadeenam M., Holden N.E. // Neutron Cross Sections. V. 1. N.Y.: Academ. Press, 1981.
- [13] Sears V.F. // Atomic Energy of Canada Limited. Report. 1984. N AECL-8490.

[14] Гукасов А.Г., Рубан В.А., Бедризов
в а М.Н. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. С. 130-135.

Ленинградский институт
ядерной физики
им. Б.П. Константинова АН СССР

Поступило в Редакцию
6 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

11; 12

СТОЯЧИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

С.И. Желудева, М.В. Ковальчук,
Н.Н. Новикова, А.Н. Сосфенов,
И.Ю. Харитонов, Ю.Я. Платонов,
А.Д. Ахсахалян, Н.Н. Салашенко

Интенсивное развитие рентгеновской оптики в последние годы, связанное с использованием новых интенсивных источников, например, синхротронного излучения, потребовало развития методов изготовления оптических элементов для рентгеновского диапазона. Это, прежде всего, многослойные интерференционные покрытия, изготовление которых стало возможным благодаря развитию новых технологий вакуумного нанесения (магнетронное, лазерное распыление, молекулярно-лучевая эпитаксия) тонких однородных слоев на сверхгладкие подложки.

Дело в том, что многослойные зеркала обычно представляют собой последовательность чередующихся тонких (часто просто аморфных) слоев двух веществ с различной электронной плотностью (показателем преломления). В результате формируется как бы искусственный кристалл — так называемая слоистая синтетическая микроструктура МСС. Высокая отражающая способность такого кристалла есть результат когерентного сложения слабых отражений от большого числа поверхностей раздела. Таким образом, существует практическая возможность искусственного изготовления кристаллов с заданным периодом решетки и отражательной способностью.

Естественно, что один из наиболее интенсивно развиваемых в последнее время рентгенодифракционных методов — метод СРВ [1], начал включать в свой арсенал дифракцию на МСС. Период стоячей волны определяется периодом кристаллической структуры, на которой происходит дифракция рентгеновских лучей, а значит использование многослойных структур дает принципиальную возможность получения стоячей волны с любым заданным периодом, что крайне важно, например, при решении задачи о местоположении атомов и атомных слоев на поверхности. Такого рода исследования велись в