

ДИФРАКЦИЯ ЯДЕРНОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА МНОГОСЛОЙНОЙ СИНТЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

А.И.Чумаков, Г.В.Смирнов, С.С.Андреев¹⁾, Н.Н.Салащенко¹⁾,
С.И.Шинкарев¹⁾

*Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова
123182, Москва*

¹⁾*Институт прикладной физики АН СССР
603600 Нижний Новгород*

Поступила в редакцию 23 июля 1991 г.

Исследована брэгговская дифракция ядерного γ -излучения ^{57}Co энергии 14.4 кэВ на многослойной искусственной структуре $^{57}\text{Fe} - \text{Sc}$. Полученный магнетронным напылением образец содержал 20 слоев ^{57}Fe и Sc толщиной 20 и 33 Å соответственно. Параметры структуры изучались с помощью рентгеновской дифрактометрии, эффекта Холла и мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов. Обнаружена аморфность и немагнитность слоев ^{57}Fe . Сверхтонкая структура ядерных подуровней представляет собой нерасщепленную систему из нескольких компонент общей шириной около 8,5Гэ. Измерены угловые и энергетические спектры дифракции мессбауэровского излучения.

В настоящее время быстро развивается сверхтонкая спектроскопия низколежащих ядерных уровней, основанная на измерениях временных спектров ядерной флуоресценции, возбуждаемой импульсами синхротронного излучения (СИ) ¹⁻⁷. Актуальной задачей этих исследований является разработка методов фильтрации из широкого спектра СИ субмикронэлектронвольтовых полос в областях резонансных энергий различных изотопов.

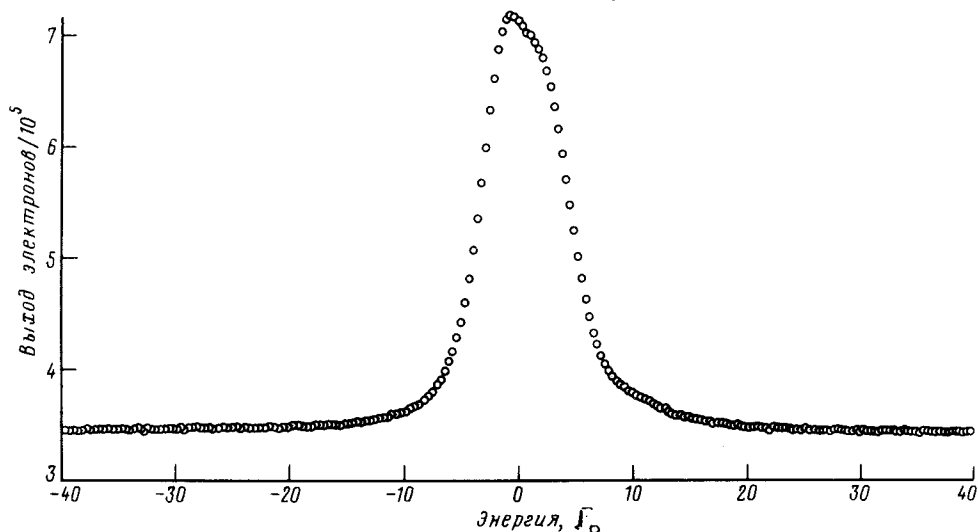


Рис. 1. Мессбауэровский спектр конверсионных электронов многослойной структуры $^{57}\text{Fe} - \text{Sc}$

Одним из решений этой проблемы могло бы быть создание резонансных зеркал - многослойных синтетических структур (МСС), содержащих слои с

резонансным изотопом ⁸. Значительные успехи в изготовлении МСС, достигнутые в последние годы ⁹⁻¹³, позволили выдвигать в качестве предложений конкретные структуры таких резонансных зеркал ¹⁴⁻¹⁵.

Идеальное резонансное зеркало для, например, изотопа ⁵⁷Fe должно отражать излучение только в энергетическом диапазоне около 1 мкЭВ в области резонансной энергии 14,4 кэВ. Качество резонансного зеркала определяется как совершенством МСС, что может быть исследовано методом рентгеновской дифрактометрии, так и ядерными параметрами слоев резонансного изотопа (сверхтонкой структурой расщепления ядерных уровней, магнитными свойствами слоя и т.п.), что требует исследований с использованием мессбауэровского излучения.

В данной работе проведены исследования резонансной дифракции ядерного γ -излучения энергии 14,4 кэВ на МСС ⁵⁷Fe – Sc. Такая структура позволяет исследовать основные свойства резонансных МСС.

Образец изготовлялся методом магнетронного распыления в среде аргона при давлении $6,0 \cdot 10^{-3}$ торр. На сверхгладкую стеклянную подложку размером 80×40 мм было нанесено попеременно 20 слоев ⁵⁷Fe и Sc толщиной соответственно 20 и 33 Å. Напыление ⁵⁷Fe проводилось в режиме постоянного тока, напыление Sc - в режиме высокочастотного разряда. Точность поддержания технологических параметров ¹⁰ была не хуже 1%. Качество структуры проверялось на рентгеновском дифрактометре с использованием излучения $\text{CuK}\alpha$. Рентгенографические исследования МСС показали аморфное состояние слоев как железа так и скандия. Измерение эффекта Холла выявило отсутствие намагниченности в образце.

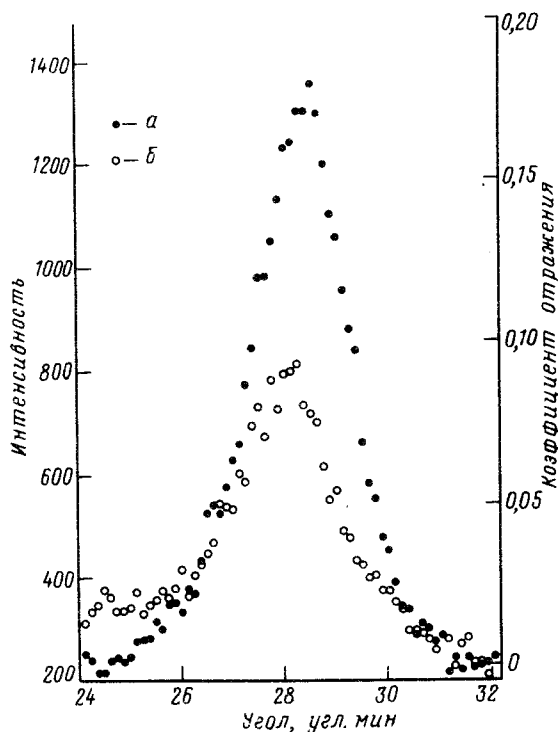


Рис. 2. Угловые зависимости коэффициента отражения МСС при энергии мессбауэровского излучения вне резонанса (а) и в резонансе (б)

Сверхтонкая структура ядерных уровней ⁵⁷Fe исследовалась с помощью мессбауэровской спектроскопией конверсионных электронов (МККЕ). Вид спектра дает основание для нескольких предположений. Можно считать, что спектр (рис.1) представляет собой нерасщепленную структуру из нескольких

квадрупольных дублетов. В пользу такого предположения говорят и данные по аморфному и немагнитному состоянию слоев, полученные рентгеновскими исследованиями и измерением эффекта Холла. Эти данные согласуются с результатами работ ^{11,13}, где было показано, что железные слои в системах Fe/Dy и Fe/Nd при толщине слоев 20 Å и менее остаются в немагнитном аморфном состоянии. Однако подобные характеристики могли бы быть свойственны и для системы с быстрой релаксацией магнитного момента. Эти вопросы требуют дальнейшего изучения.

Угловые и энергетические спектры резонансной дифракции ядерного γ -излучения измерялись на двукристалльном мессбауэровском дифрактометре. Активность мессбауэровского источника ⁵⁷Co(Cr) составляла около 200 мКи. Для повышения светосилы эксперимента в качестве монохроматора и коллиматора излучения использовался небогащенный кристалл Fe(110) с угловой шириной отражения 30°. Интенсивность падающего на МСС 14,4 кэВ излучения составляла 5,4 кВ/с.

На рис.2 показаны угловые зависимости отражения вдали от резонанса (а) в резонансе (б). Максимальные коэффициенты отражения составляют 17 и 9% соответственно, угловые ширины отражения - 2,1 и 2,6 угловых минут. Широкий диапазон отражения в обоих случаях определяется малым значением угла Брэгга - 0,46°. Относительно большая угловая расходимость падающего излучения не дает возможности выявить тонкие детали угловых зависимостей. Тем не менее видно, что максимум отражения в резонансе (2б) смещен влево по отношению к максимуму отражения вдали от резонансной энергии (2а), что согласуется с различием процессов резонансного рассеяния на ядерной системе кристалла и потенциального рассеяния на электронной.

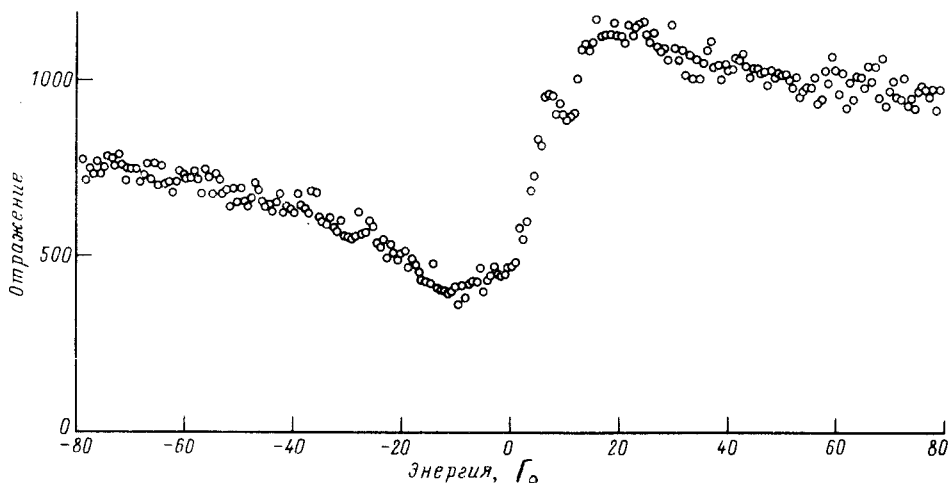


Рис. 3. Мессбауэровский спектр дифракции излучения на МСС в угловом положении, соответствующем максимуму отражения, $\theta_{Br} = 0,46^\circ$

На рис.3 показан мессбауэровский спектр дифракции в угловом положении, соответствующем максимуму отражения. Зависимость имеет асимметричную форму, обусловленную интерференцией резонансного ядерного и релеевского электронного процессов рассеяния: деструктивной слева и конструктивной справа от резонансной энергии. Немонотонность в спектре при энергии около 7Г₀ обусловлена проявлением одной из линий сверхтонкой структуры. Интересно отметить, что в спектре дифракции эта линия проявляется четче, чем 222

в спектре МСКЕ, где она видна как слабая приподнятость на правом склоне. Обращает на себя внимание большая энергетическая ширина минимума и максимума мессбауэровского спектра - десятки естественных ширин линий, что говорит о значительной амплитуде ядерного рассеяния и свидетельствует о большом когерентном уширении ядерного резонанса.

Результаты исследования многослойной искусственной структуры $^{57}\text{Fe} - \text{Sc}$ позволяют сделать вывод о перспективности использования резонансных МСС в различных областях физики взаимодействия излучения с веществом. Например, проблему фильтрации резонансной компоненты СИ можно решать, чередуя изотопный состав слоев железа. При этом возникнет периодичность плотности ядер ^{57}Fe на удвоенном периоде структуры и, соответственно, чисто ядерное отражение при вдвое меньшем угле Брэгга. С другой стороны, резонансные МСС могут служить удобными объектами в физике когерентного взаимодействия мессбауэровского и синхротронного излучения с резонансными мишенями. Наконец, измерение мессбауэровских спектров ядерной дифракции может дать новую информацию относительно активно изучаемых в настоящее время магнитных свойств МСС.

-
1. Ruffer R., Gerdau E., Grote M. et al. *Hyp.Int.*, 1990, 61, 1279.
 2. Hastings J.B., Siddons D.P., Faigel G. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1989, 63, 2255.
 3. Arthur J., Brown G.S., Brown D.E., Ruby S.L. *Phys.Rev.Lett.*, 1989, 63, 1629.
 4. Sturhahn W., Gerdau E., Hollatz R. et al. *Euro.Phys.Lett.*, 1991, 14, 821.
 5. Rüter H.D., Ruffer R., Gerdau E. et al. *Hyp.Int.* 1990, 58, 2473.
 6. Chumakov A.I., Zelepukhin M.V., Smirnov G.V. et al. *Phys.Rev.B.* 1990, 41, 9545.
 7. Hastings J.B., Siddons D.P., van Bürck U. et al. *Phys. Rev. Lett.* 1991, 66, 770.
 8. Trammell G.T. Hannon J.P., Ruby S.L. et al. *AIP Conf.Proc.*, 1977, 38, 46.
 9. Желудева С.И., Ковальчук М.В., Новикова Н.Н. и др. Письма в ЖТФ, 1989, 15, 49.
 10. Платонов Ю.В., Полушкин Н.Н., Салащенко Н.Н., Фраерман А.А. ЖТФ, 1987, 57, 2192.
 11. Yoden K., Hosoito N., Kavaguchi K. et al. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1988, 27, 1680.
 12. Shinjo T., Yoden K., Hosoito N. *J. of Phys. Soc. Japan.*, 1989, 58, 4255.
 13. Mibu K., Hosoito N., Shinjo T. *J. of Phys. Soc. Japan.*, 1989, 58, 2916.
 14. Чумаков А.И., Смирнов Г.В. Письма в ЖЭТФ 1991, 53, 258.
 15. Кабаник В.А. Вариант ядерного резонансного фильтра для мессбауэровской дифракции с использованием синхротронного излучения. Препринт ИЯФ, 1989.