

[3] Бубнов Ю. З., Лурье М. С., Старос Ф. Г., Филаретов Г. А. Вакуумное нанесение пленок в квазизамкнутом объеме. М.: Сов. радио, 1975. 161 с.

[4] Бирюков С. В., Головки Ю. И., Дудкевич В. П. и др. Электронная пром-сть. 1983. № 8. С. 47—53.

Научно-исследовательский институт физики
Ростовский-на-Дону
государственный университет

Поступило в Редакцию
26 июля 1990 г.
В окончательной редакции
18 декабря 1990 г.

05

Журнал технической физики, т. 61, в. 8, 1991

© 1991 г.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ СПЕКТРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА-57 И СПЛАВА $Al_{0,98}Fe_{0,02}^{57}$ В ЛАЗЕРНОМ ИМПУЛЬСЕ

*Е. А. Зиборева, А. Е. Степанов, В. Л. Тараканов,
В. С. Демиденко*

Введение

Лазерное воздействие на твердое тело широко используется для решения технологических проблем. С другой стороны, характерные черты лазерного излучения, такие как когерентность, монохроматичность способны вызвать специфические изменения в электронной и фононной подсистемах [1-3] и тем самым изменить физические свойства твердого тела.

Экспериментальное изучение эффектов такого изменения представляет сложную задачу. Наиболее предпочтительными являются методики, дающие комплексную информацию при высокой чувствительности к изменению атомной и электронной структур твердого тела, в частности металлов и сплавов. С этой точки зрения уникальные возможности представляют мессбауэровские эксперименты, поскольку возбуждение лазерным импульсом электронной и фононной подсистем может быть зафиксировано с высокой точностью в единичных условиях.

В работе исследована эволюция мессбауэровского спектра Fe-57 в алюминии и металлического изотопа железа-57 в течение 160 мкс от момента воздействия лазера. В эксперименте использован лазер ЛГИ-505 с $\lambda=0.337$ мкм, $t=6-8$ нс и средней мощностью в импульсе 15 кВт. Источник гамма излучения — Co-57 в хrome.

Экспериментальная часть

Для изучения явлений, происходящих в твердом теле в процессе импульсного воздействия и релаксации возбуждений после окончания воздействия, методом ядерного гамма-резонанса (ЯГР), была разработана приставка¹ к серийному ЯГР спектрометру ЯГРС-4М. Приставка позволяет проследить изменение спектров ЯГР в различные моменты времени: до, во время периодического лазерного воздействия на поглотитель и после него, т. е. осуществить временную развертку спектров ЯГР.

Суть работы приставки заключается в том, что вместо регистров памяти спектрометра для положительной V_+ и отрицательной V_- скоростей в приставке имеется соответственно по пять регистров четырехразрядных десятичных

¹ Авторы выражают свою признательность А. П. Кальянову за помощь при разработке установки для эксперимента.

счетчиков временных каналов. Спектрометр работает в режиме постоянных скоростей. По приходу синхронизирующего импульса, сигнализирующего о начале воздействия и разрешающего начать временную развертку, открывается счетчик первого временного канала, куда начинают поступать рабочие импульсы данных после фотоэлектронного умножителя ФЭУ и дискриминатора ЯГРС-4М, потом второго и т. д. Ширина временного канала может устанавливаться от 0.17 до 1600 мкс, возможна задержка временной развертки от 0.17 до 3200 мкс.

Частоту импульсного воздействия на поглотитель можно менять от десятков герц до десятков килогерц.

Рассмотрим блок-схему приставки (рис. 1). Импульсы данных D подаются на входы пяти счетчиков положительной скорости $ПС_+$ и $ПС_-$. Открывание счетчиков временных каналов определяется сигналами V_{\pm} , разрешающими сигналами с «формирователя управляющих сигналов» (ФУС), сигналами «фор-

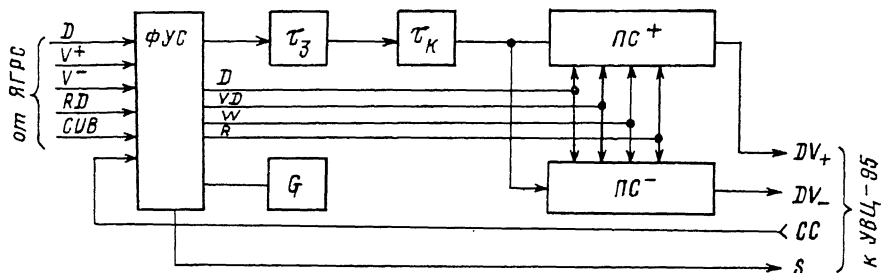


Рис. 1. Блок-схема приставки.

мирователя каналных импульсов» (ФКИ). ФКИ управляется через ФУС сигналами «синхроимпульса воздействия» (СИВ). СИВ разрешает прохождение импульсов с кварцевого генератора G к делителям — формирователям времени задержки τ_z и ширины временного канала τ_k .

В эксперименте исследовались фольги металлического железа-57 и сплава железа и алюминия. Сплав выплавлен в атмосфере аргона в электродуговой печи путем пятикратного переплава. Фольги получены прокаткой из шаровых слитков $\varnothing 10$ мм до 45—30 мкм с промежуточными отжигами в вакууме и последующим охлаждением с печью. Такой выбор образцов объясняется тем, что спектр металлического железа-57 представляет собой секстет, а вероятность эффекта Мессбауэра для него существенно выше, чем в естественном железе. С другой стороны, спектр железа в алюминии представляет собой одиночную линию. Наряду с этим учтено, что отношение энергии межатомного взаимодействия в сплаве AlFe к энергии ультрафиолетового кванта заметно отличается.

Чтобы исключить возможную механическую раскачку образца при лазерном импульсе, фольгу приклеивали к массивной бериллиевой пластинке и укрепляли на наклонной призме-коллиматоре, которая ограничивала пучок гамма-квантов участком фольги, облучаемой лазером.

Без лазерного излучения ЯГР спектр железа в алюминии представляет одиночную линию с изомерным сдвигом 0.168 мм/с относительно Co-57 в хrome (рис. 2, а), для металлического изотопа железа-57 — типичный секстет (рис. 3, а).

Материал	$\Gamma \cdot 10^6$, эВ		
	без воздействия лазера	во время воздействия лазера	после воздействия лазера
$Al_{0.98}Fe_{0.02}$	33.5	53.6	40.2
Fe^{57}	53.6	87.1	56.95

Как видно из рис. 2, б, усредненный за 40 мкс спектр во временном интервале, соответствующем импульсу лазера, асимметрично уширяется, происходит смещение центра тяжести линии на 0.142 мм/с к нулевой скорости. За последующие 120 мкс смещение центра тяжести исчезает, тогда как эффект уширения остается, как видно из таблицы, в которой приведены значения ширины мессбауэровского пика для сплава $Al_{0.98}Fe_{0.02}$, Fe-57 в зависимости от воздействия лазера.

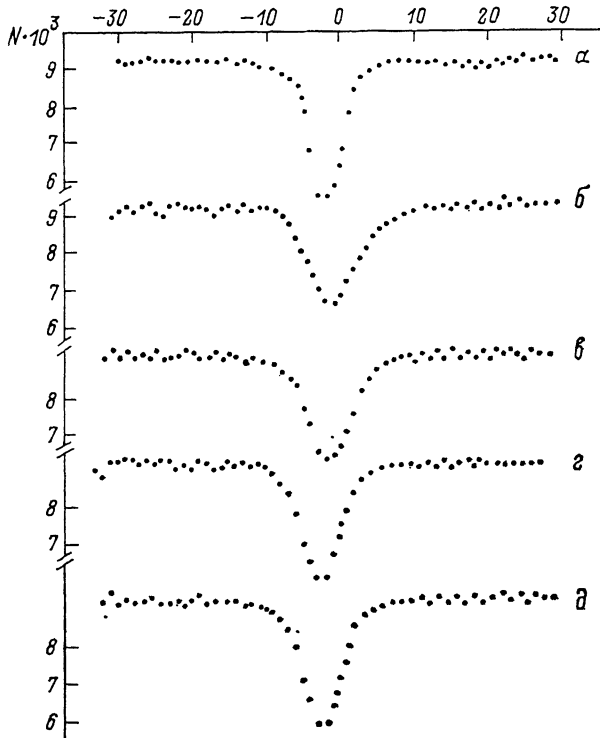


Рис. 2. Мессбауэровский спектр AlFe без воздействия лазера (а), в момент воздействия (б), после воздействия (в—г).

Воздействие лазерного импульса на металлическое железо-57 дает качественно аналогичный результат, причем из полученных спектров (рис. 3) явно виден эффект неодинакового уширения линий для скоростей источника разного знака. Но в данном случае не зафиксировано смещение центра тяжести.

При облучении образца лазером со стороны бериллиевой подложки и работе всех компонентов схемы мессбауэровские спектры не изменяются.

Обсуждение результатов

Из [4, 5] следует, что уширение пиков может быть вызвано нагреванием образца, диффузионными процессами, статическими смещениями резонансных атомов при фазовых превращениях. Тепловая природа наблюдаемого эффекта опровергается прямым измерением температуры термопарой и отсутствием изменения $N_{св}$ на ядрах металлического изотопа железа-57 (рис. 3). Оценка температуры нагрева по мощности лазера и теплоемкости образца привела к значению 10 К. Фазовые переходы при комнатной температуре в исследованных материалах, как известно, отсутствуют.

В литературе имеются данные, что в результате лазерного облучения в фольге может возбуждаться ультразвук [3], наличие которого приводит к появлению спутников [6], расположенных симметрично относительно главного пика. В принципе возможен вариант, при котором возбуждение ультразвука фор-

мирует слабые спутники вблизи главного пика, они сами не проявляются, но уширяют спектр. Анализ с учетом [6] показывает, что частота предполагаемых ультразвуковых колебаний должна быть $\nu \approx 12.5$ МГц, тогда длина волны $\lambda = 2.4 \cdot 10^{-4} = 240$ мкм.

Однако толщина исследуемых фольг лежит в интервале 30–50 мкм, что соответствует длине резонансной волны $\lambda_p = 100$ мкм. Это значение очевидно не согласуется с $\lambda = 240$ мкм, рассчитанной по модели [6].

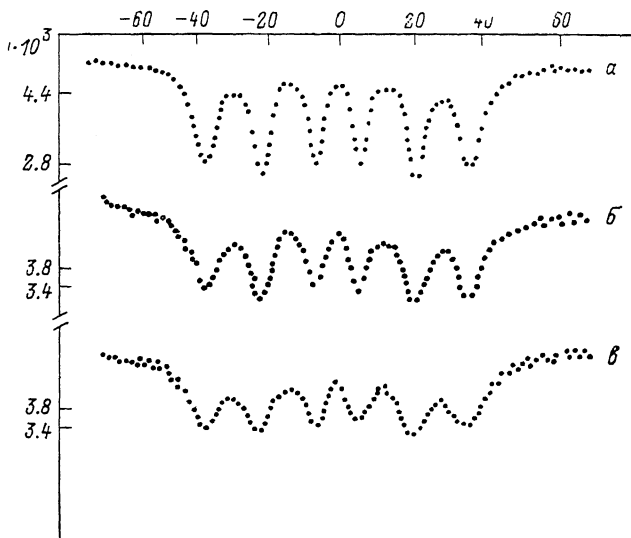


Рис. 3. Мессбауэровский спектр металлического изотопа железа-57 без воздействия лазера (а), в момент воздействия (б), после воздействия (в).

Заключение

Изложенный комплекс экспериментальных результатов требует специального рассмотрения. Возможным вариантом представляется обсуждение с учетом изменения в когерентном электромагнитном поле вероятности возбуждения в поглотителе низкоэнергетических фононов, обусловленное перестройкой и релаксацией электронной структуры металла.

Список литературы

- [1] Зинovieв А. В., Луговской В. Б. // ЖТФ. 1980. Т. 50. Вып. 8. С. 1635–1640.
- [2] Беньков А. В., Зинovieв А. В. // Квантовая электрон. 1985. Т. 12. № 5. С. 977–979.
- [3] Григорьев А. Н. // Деп. в ВИНТИ. № 5434-В 37. М., 1987.
- [4] Такака К., Soga N., Hirao K. // J. Appl. Phys. 1986. Vol. 60. N 2. P. 728–730.
- [5] Вокштейн Б. С., Клиндер Л. М. // ФТТ. 1975. Т. 17. Вып. 12. С. 3480–3482.
- [6] Ruby L. S., Vofsi. // Phys. Rev. Lett. 1960. Vol. 5. N 1. P. 5–7.

Сибирский физико-технический институт
им. В. Д. Кузнецова
при Томском государственном университете

Поступило в Редакцию
30 июля 1990 г.
В окончательной редакции
3 января 1991 г.