

ЯДЕРНЫЙ ГАММА-РЕЗОНАНС НА ЯДРАХ ЖЕЛЕЗА-57, НАХОДЯЩИХСЯ НА ГРАНИЦАХ ЗЕРЕН МЕДИ

B.H.Кайгородов, С.М.Клоцман

Обнаружена тонкая структура спектра ядерного гамма-резонанса (ЯГР) на ядрах Fe⁵⁷ находящихся на границах зерен чистой меди. Характер спектра указывает, что атомы Co⁵⁷ занимают в большеугловых границах зерен меди несколько различных типов мест.

Известные возможности ЯГР были успешно использованы для изучения точечных дефектов и их группировок [1 – 3]. Однако этот метод до сих пор не использовался для изучения дислокаций и границ зерен, хотя отдельные попытки таких исследований и предпринимались [4,5].

В настоящей работе описаны первые результаты исследования большеугловых границ зерен чистой меди методом ЯГР. Образцы в виде поликристаллических фольг меди толщиной $10 \cdot 10^{-4}$ см со средним размером зерна $(2 - 4) \cdot 10^{-4}$ см, получены термическим испарением катодной меди чистотой 4N. Co⁵⁷ (материнское ядро мессбауэровского ядра Fe⁵⁷ вводился в границы зерен преимущественной межкристаллитной диффузией [6] (температура – 385 °C, время – 15 минут). При этом глубина объемного проникновения ($D_{об} t$)^{1/2}) составляла $5 \cdot 10^{-8}$ см, а граничного – порядка толщины образца. После отжига остатки диффузионного источника и объемная зона диффузии удалялись травлением. Качество этого этапа подготовки образцов контролировалось авторадиографически. В качестве эталона использовалась аналогичная медная фольга, в которой диффузионное насыщение Co⁵⁷ проводилось при температуре 780 °C в течение 2 часов. При этих условиях ($D_{об} t$)^{1/2} – порядка толщины образца и, следовательно, практически все ядра Co⁵⁷ располагались в бездефектных областях образца, занимая узлы решетки меди. Эмиссионные ЯГР спектры снимались на спектрометре ЯГРС-4 в режиме постоянных скоростей при комнатной температуре. Поглотителем являлся ферроцианид калия, обогащенный Fe⁵⁷. Статистическая погрешность измерений не превышала 0,1%.

На рис. 1 приведены эталонный (объемный) и зернограничный ЯГР спектры, измеренные в идентичных условиях. Этalonный ЯГР спектр представляет собой одиночную линию лоренцевской формы, параметры которой хорошо совпадают с литературными [7]. В зернограничном ЯГР спектре видна слабо разрешенная тонкая структура. Центральная, наиболее интенсивная часть спектра по положению близка к линии объемного спектра. Естественно, что часть атомов Co⁵⁷, занимающих узлы решетки в зоне объемного отсоса ($(D_{об} t)$)^{1/2} = $5 \cdot 10^{-8}$ см) или места в границе зерна, близкие по симметрии и свойствам к узлам правильной решетки, обуславливает появление наиболее интенсивной составляющей этого спектра – линии 3.

Выделение такой линии из зернограничного ЯГР спектра позволяет получить еще четыре компоненты. Линии 4 и 5 имеют одинаковую интенсивность, что является характерной особенностью квадрупольного дублета. Изомерный сдвиг центра тяжести дублета относительно эталонной линии составляет $\Delta \delta_{4,5}^{\text{ГР}} = 0,5$ мм/сек, а величина квадрупольного расщепления $E_{4,5}^{\text{ГР}} = 0,3$ мм/сек. Положительный изомерный сдвиг указывает, что электронная плотность на ядрах Co^{57} в этих позициях выше, чем в узлах правильной решетки, что является, по-видимому, следствием уменьшения атомного объема резонансного ядра, как это было установлено в опытах по влиянию высокого давления на изомерные сдвиги линий объемных ЯГР спектров в меди [8]. Следовательно, квадрупольный дублет с положительным изомерным сдвигом обусловлен ядрами Co^{57} , расположенными в областях сжатия большеугловых границ зерен.

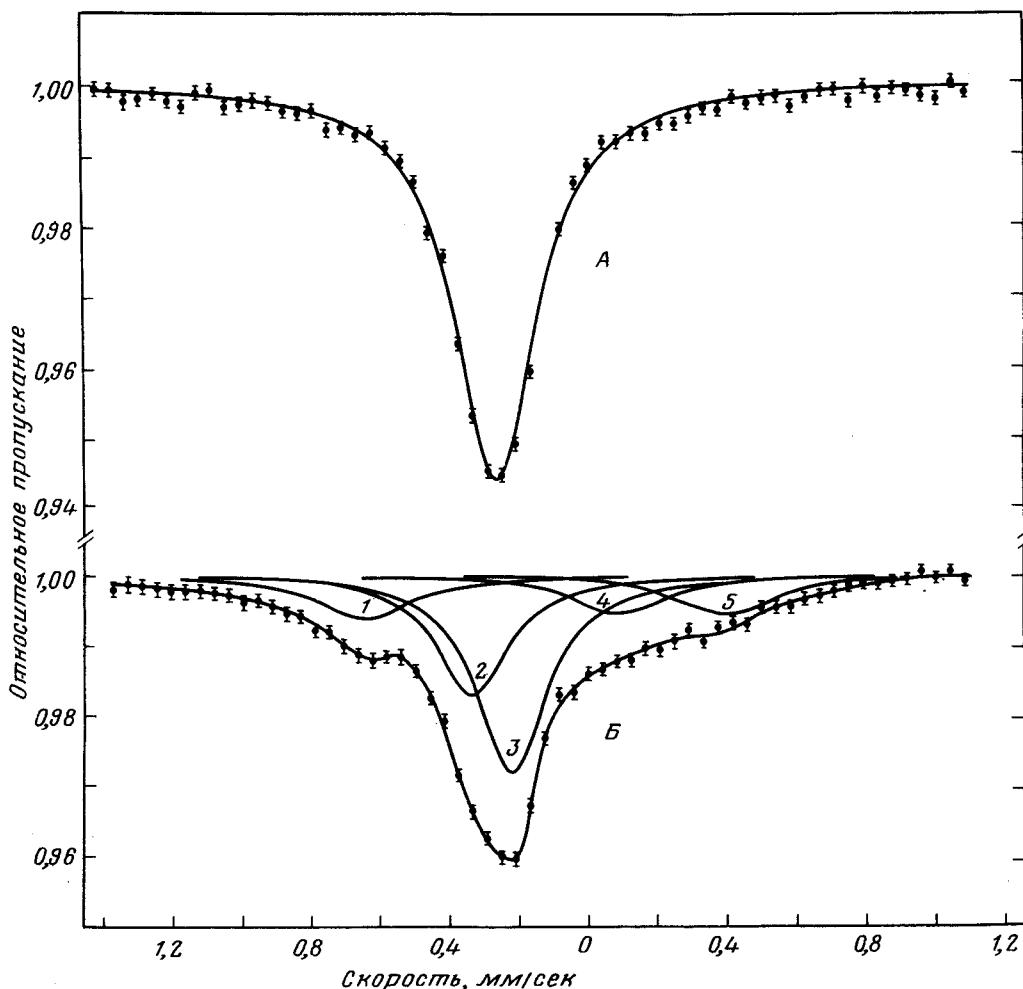


Рис.1. Эмиссионные объемный (A) и зернограничный (Б) спектры ЯГР в меди

Свойства таких областей должны быть близки к свойствам междоузлий в правильной решетке и параметры соответствующих ЯГР спектров должны практически совпадать. Действительно, как было показано в [2], в ЯГР спектре облученного нейтронами твердого раствора Co^{57} в алюминии появлялась дополнительная "дефектная" линия (рис.2) с изомерным сдвигом $\Delta\delta^{\text{обл}} = 0,4$ мм/сек и квадрупольным расщеплением $E^{\text{обл}} = 0,2$ мм/сек. Эта "дефектная" линия, как было показано в [2], обусловлена ядрами Co^{57} , образующими смешанную междоузельную гантель с собственными внедрениями.

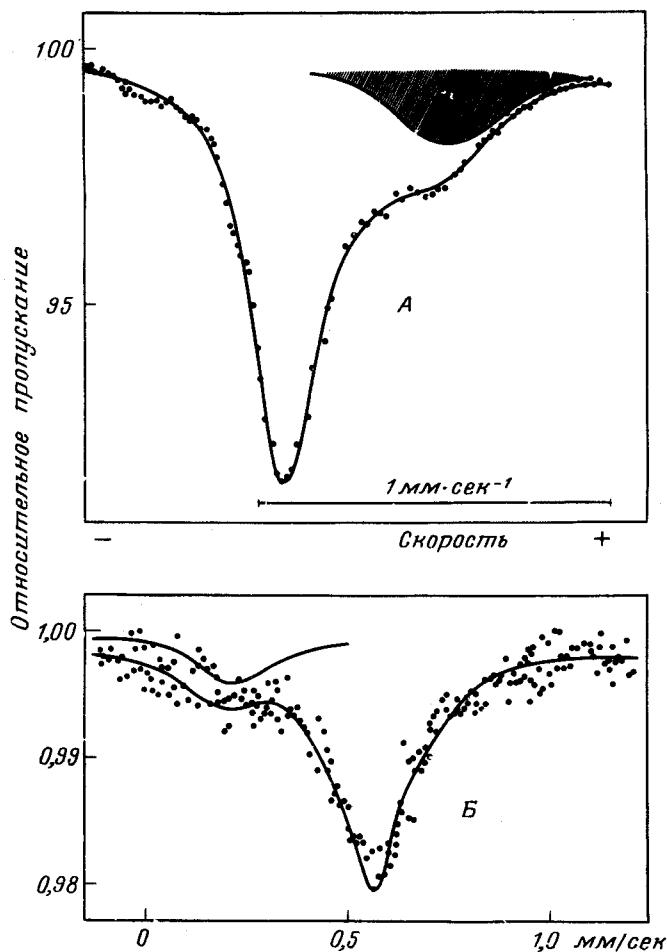


Рис.2. ЯГР спектр Co^{57} в алюминии после облучения нейтронами при 4,6 К и отжига при 41 К [2] (A); ЯГР спектр Fe^{57} в алюминии, закаленном от температуры 893 К [3] (Б)

Линии 1 и 2, расположенные в области отрицательных скоростей, имеют разную интенсивность и, по-видимому, отражают наличие еще двух состояний ядер Co^{57} в границе. Отрицательные изомерные сдви-

ги ($\Delta\delta_1^{\text{ГР}} = -0,4$ мм/сек, $\Delta\delta_2^{\text{ГР}} = -0,1$ мм/сек). указывают, что электронная плотность на ядрах Co^{57} в этих положениях ниже, чем в узлах правильной решетки, следовательно, в этих положениях атомный объем больше, чем в узлах решетки. Свойства таких областей границ зерен должны быть близки к свойствам кластеров (малых группировок) вакансий. Как видно из рис. 2, в ЯГР спектре [3] закаленного твердого раствора Fe^{57} в алюминии появляется "дефектная" линия с изомерным сдвигом $\Delta\delta^{\text{зак}} = -0,35$ мм/сек. Поскольку температура закалки в этих опытах была близка к температуре плавления, то в закаленном состоянии преобладали не одиночные вакансы, а кластеры вакансий, формирующиеся на остаточных примесях [9].

Описанная качественная трактовка зернограничного ЯГР спектра является пока одной из возможных. Измерения факторов Дебая – Вальлера для всех составляющих зернограничного ЯГР спектра, которые проводятся в настоящее время, позволят получить более детальную информацию о природе отдельных компонент зернограничного ЯГР спектра.

Авторы глубоко благодарны С.В.Вонсовскому за постоянное внимание и поддержку.

Институт физики металлов
Академии наук СССР
УНЦ

Поступила в редакцию
26 июля 1978 г.

Литература

- [1] G. Vogl, W.Mansel, W. Vogl. J.Phys. F: Metal Phys., 4, 2321, 1974.
- [2] W.Mansel, G.Vogl. J.Phys. F: Metal Phys., 7, 253, 1977.
- [3] H.Jchinose, K.Sassa, Y.Ishida, M.Kato. Scripta Metal., 11, 539, 1977.
- [4] Б.С.Бокштейн, Ю.В.Войтовский, А.А.Жуховицкий, Г.Н.Пауткина. ФТГ, 10, 3699, 1968.
- [5] G.Martin. Phys. Stat. Sol., (a), 18, 683, 1973.
- [6] С.М.Клоцман, А.Н.Тимофеев, И.Ш.Трахтенберг. Труды ИФМ АН СССР, вып. 27, 275, 1968.
- [7] E .Fluck, W.Kerler, W.Neuwirth. Angew. Chem., 75, 461, 1963.
- [8] G.M.Kalvius, U.F.Klein, G.Wortmann. J. Physique Coll., 35, 139, 1974.
- [9] J.Levi, J.M.Lanore, J.Hillairet. Phylos. Mag., 28, 373, 1973.