

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Сверхтонкие взаимодействия в сплаве $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$ Е. В. Солодов^{1,a}, А. А. Опаленко¹, А. И. Фиров¹, А. С. Илюшин¹, З. С. Умхаева²¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики твердого тела. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.²Чеченский государственный университет, физический факультет, кафедра молекулярной физики. Россия, 364907, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 31.E-mail: ^asolodov@phys.msu.ru

Статья поступила: 22.09.2011, подписана в печать 03.10.2011

При высоком давлении синтезирован сплав $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$. Определены кристаллоструктурные характеристики сплава. Методом мёссбауэровской спектроскопии исследованы сверхтонкие магнитные взаимодействия в интервале от 90 до 450 К и установлены температурные зависимости магнитных характеристик сплава в зависимости от конфигурации ближайшего окружения атома железа.

Ключевые слова: сверхтонкие взаимодействия, мёссбауэровские спектры, фазы Лавеса, редкоземельные сплавы.

УДК: 539.172.36, 539.2, 669.886.018, 448.7. PACS: 61.10.-i, 76.80.+y, 71.20.Eh, 31.30.Gs.

Введение

Редкоземельные фазы Лавеса на протяжении многих лет являются модельными объектами теоретического и экспериментального изучения [1, 2]. В последнее время заметный интерес для исследований стали представлять такие объекты, которые в обычных условиях синтеза не кристаллизуются в структурных типах C15 и C14 и для их получения необходимо использовать методики синтеза при высоких давлениях. Целью настоящей работы стало получение сплава с частичным замещением атомов железа атомами алюминия в 3d-подрешетке интерметаллида NdFe_2 .

Эксперимент

Сплав $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$ был синтезирован при высоком давлении 8 кбар в аппарате типа «тороид» путем закалки из расплава при пропускании электрического тока через наковальни с образцом.

В результате проведенного рентгенодифракционного анализа было установлено, что сплав является однофазным и изотипным кубической фазе Лавеса типа C15 с параметром элементарной ячейки $a = 7.49 \text{ \AA}$, что свидетельствует о расширении решетки при разбавлении алюминием, так как у исходного соединения NdFe_2 параметр элементарной ячейки равен $a = 7.46 \text{ \AA}$.

Мёссбауэровские измерения проводились на ЯГР-спектрометре MS-1104m в температурном интервале от 90 до 450 К. Обработка мёссбауэровских спектров осуществлялась с использованием программного обеспечения UNIVEM MS.

Известно, что интерметаллид NdFe_2 является ферромагнетиком с температурой Кюри $T_C = 580 \text{ К}$ [3] и направлением оси легкого намагничивания (ОЛН) вдоль кристаллографической оси [111]. Элементарная ячейка структуры C15 показана на рис. 1. Особенности кристаллографической структуры сплавов RFe_2 будут понятны из рис. 2. Атомы железа, занимающие узлы

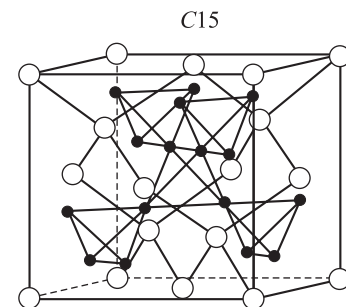


Рис. 1. Элементарная ячейка соединения NdFe_2 : темные кружки — атомы железа, светлые — атомы редкоземельного металла

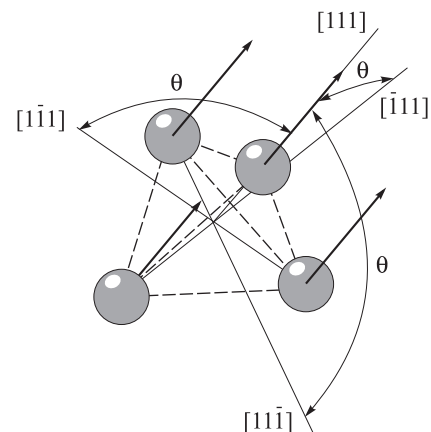


Рис. 2. Особенности расположения осей ГЭП (длинные стрелки) и осей ОЛН (короткие стрелки) в тетраэдре структуры C15

в углах тетраэдров структуры C15, оказываются в двух магнитонезквивалентных позициях. Три атома имеют одинаковое расположение градиента электрического поля (ГЭП) относительно осей ОЛН (этот угол составляет

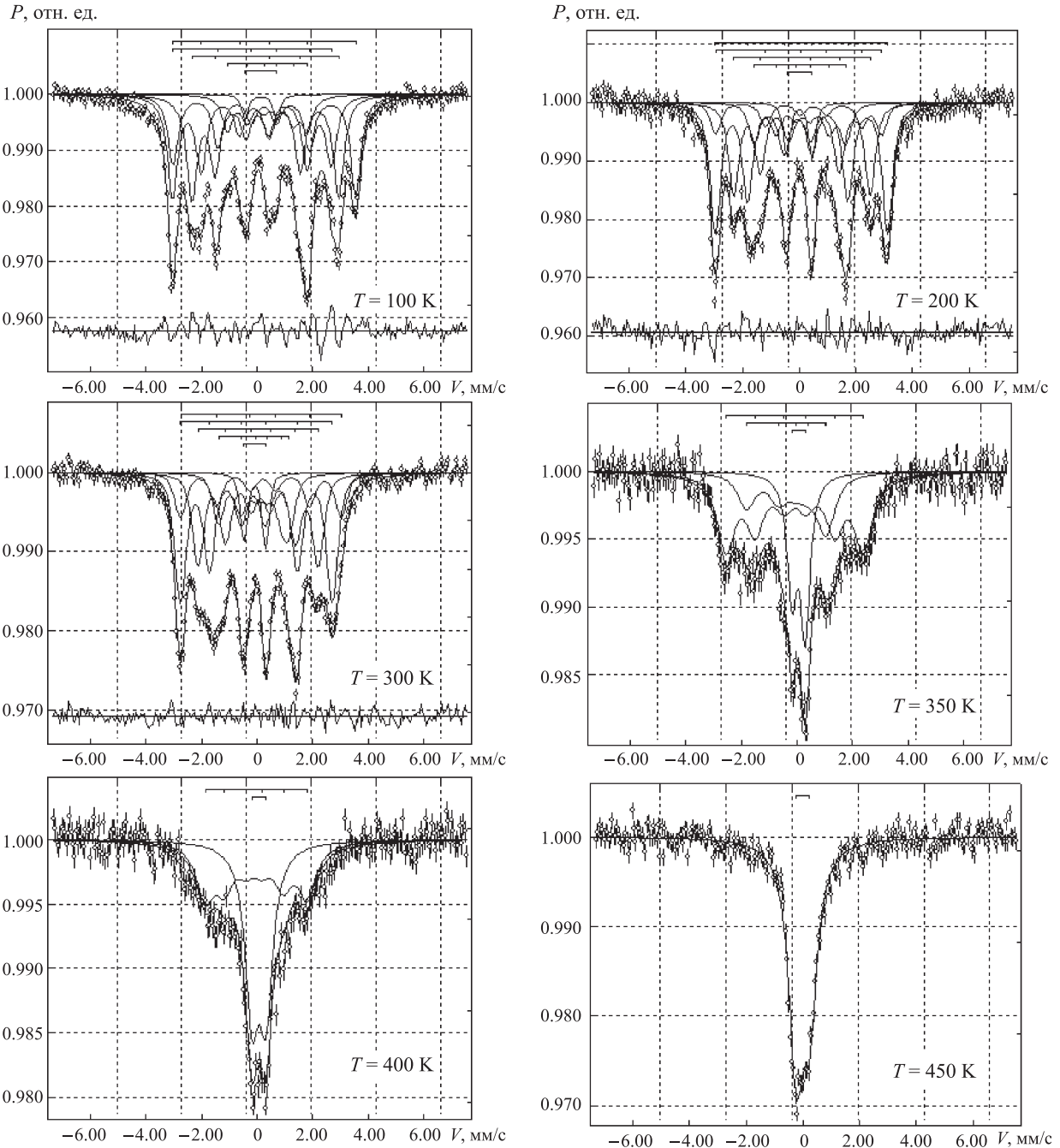


Рис. 3. Мёссбауэровские спектры сплава $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$ при разных температурах

$\theta = 74^\circ$) и только один атом имеет совпадающие по направлению оси ГЭП и ОЛН. Поэтому в мёссбауэровском спектре магнитоупорядоченного интерметаллида NdFe_2 присутствуют два секстета с отношением площадей этих парциальных спектров 3:1.

Полученные мёссбауэровские спектры при разных температурах для сплава $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$ приведены на рис. 3.

Математическая обработка спектров показала, что они представляют собой суперпозицию секстетов, отвечающих за магнитоупорядоченное состояние, и дублетов, характеризующих парамагнитное состояние. Спектр образца $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$ должен быть представлен в виде суммы нескольких секстетов, отвечающих разным конфигурациям окружения атома железа.

Известно, что в структуре фазы Лавеса типа C15 NdFe_2 каждый атом железа окружен шестью атомами железа [4]. При разбавлении соединения атомами алюминия есть определенная вероятность появления их в первой координационной сфере.

Статистические закономерности этого явления можно описать при помощи формулы $P_6^m(x) = C_6^m x^m (1-x)^{6-m}$. Здесь x — концентрация примеси в сплаве, P_m — вероятность обнаружить m атомов примеси на первой координационной сфере. Для состава $x = 0.1$ вероятность равна 53% для $m = 0$, 35% для $m = 1$ и 9.8% для $m = 2$. Такое же соотношение в этом случае должно быть между площадями парциальных секстетов в суммарном мёссбауэровском спектре сплава.

Однако вследствие магнитной неэквивалентности атомов железа в тетраэдрах структуры С15 спектр соединения при $m = 0$ аналогично спектру соединения NdFe_2 должен содержать два секстета с соотношением интенсивностей 3:1. Поэтому в данном разложении присутствует и четвертый секстет.

В пределах статистической погрешности мёссбауэровского эксперимента ($\sim 3\text{--}4\%$) именно такое соотношение площадей основных секстетов и наблюдается в спектре при температуре 100 К. При температурах 200 и 300 К в спектрах появляются ощутимые вклады от парамагнитных дублетов. При дальнейшем нагревании образца парциальный вклад от парамагнитных дублетов нарастает и при $T = 450$ К весь спектр представляет собой парамагнитный дублет.

Анализ полученных результатов мёссбауэровских экспериментов показал, что в сплаве состава $x = 0.1$ в фазе С15 реализуется однородное локальное распределение атомов примеси, отвечающее статистическим закономерностям.

Исходя из модели биномиального распределения атомов алюминия вокруг атома железа, мы определили величины сверхтонких магнитных полей на ядрах Fe^{57} для разных конфигураций окружения: $m = 0, 1$ и 2 в зависимости от температуры (рис. 4). Эти кривые подобны кривым Нееля для намагниченности насыщения антиферромагнетиков [5]. Однако наши кривые получены для локальных областей сплава и позволяют судить о температуре Кюри для каждого конфигурационного окружения.

Таким образом, нам удастся проследить поведение магнитных свойств различных атомных конфигураций окружения атомов железа в одном и том же сплаве.

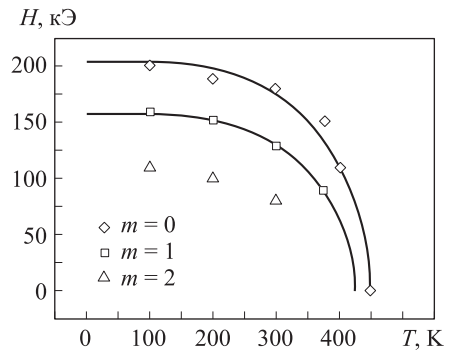


Рис. 4. Температурная зависимость сверхтонких магнитных полей на ядрах Fe^{57} для трех основных атомных конфигураций

Использованная нами методика позволяет ставить задачу изучения микроскопических свойств сплавов и их температурных зависимостей.

В заключение хотим поблагодарить профессора В. С. Русакова за помощь в компьютерной обработке результатов.

Список литературы

1. Тейлор К. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов. М., 1974.
2. Белов К.П. Магнитрострикционные явления и их приложения. М., 1987.
3. Kirchmayr H.R., Burzo E. // New Ser. Vol. III/19D2 / Ed. by H. P. J. Wijn. Springer-Verlag, 1990.
4. Илюшин А.С. Основы структурной физики редкоземельных интерметаллических соединений. М., 2005.
5. Куттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1962. С. 548.

Hyperfine interactions in the alloy $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$

E. V. Solodov^{1,a}, A. A. Opalenko¹, A. I. Firov¹, A. S. Ilyushin¹, Z. S. Umkhaeva²

¹Department of Solid State Physics, Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

²Faculty of Physics, Chechen State University, Sheripova str. 31, Grozny, Chechen Republic 364907, Russia.
E-mail: ^a solodov@phys.msu.ru.

In frames of this experimental work were synthesized high pressure phases in the quasibinary alloy $\text{Nd}(\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1})_2$. Chosen experimental methods were X-ray diffraction of polycrystals and temperature Mössbauer spectroscopy (90–450 K). We studied phase structure, atomic-crystal structure and hyperfine interactions in the alloy. The temperature dependence of magnetic properties of the alloy depending on the configuration of the nearest environment of the iron atom was carry out.

Keywords: Hyperfine interactions, Mössbauer spectra, Laves phases, rare-earth alloys.

PACS: 61.10.-i, 76.80.+y, 71.20.Eh, 31.30.Gs.

Received 22 September 2011.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 1(2012).

Сведения об авторах

1. Солодов Евгений Викторович — инженер; тел.: (495) 939-23-91, e-mail: solodov@phys.msu.ru.
2. Опаленко Анатолий Архипович — докт. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-23-91, e-mail: tellur125@mail.ru.
3. Фиров Александр Иванович — вед. электроник; тел.: (495) 939-23-91.
4. Илюшин Александр Сергеевич - докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой; тел.: (495) 939-23-87; e-mail: sols146i@phys.msu.ru.
5. Умхаева Зарган Сайпудиновна — канд. физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой молекулярной физики.