

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР КЮРИ И ЭФФЕКТИВНЫХ ОБМЕННЫХ ПОЛЕЙ В ФЕРРИМАГНИТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ $R_2Fe_{14}B$ ПРИ ГИДРИРОВАНИИ

Терешина И.С.*, Терешина Е.А.⁽¹⁾, Никитин С.А.⁽¹⁾, Чистяков О.Д., Бурханов Г.С., Друлис Г.⁽²⁾

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Ленинский просп. 49, Москва, 119991, Россия

⁽¹⁾ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, 119992, Россия

⁽²⁾ Институт низких температур и структурных исследований ПАН, ул. Окольная, 2, Вроцлав, 50-950, Польша

* Fax: (095) 135 4438 E-mail: teresh@ultra.imet.ac.ru

Введение

Введение атомов легких элементов внедрения в кристаллическую решетку интерметаллических соединений $R_2Fe_{14}B$ (где R – редкоземельный металл и Y) приводит к значительному изменению их магнитных свойств (температуры Кюри, намагниченности насыщения, магнитной анизотропии и спин-переориентационных фазовых переходов) [1]. Цель данной работы – изучить влияние гидрирования на обменные взаимодействия (Fe – Fe, R – Fe) в соединениях $R_2Fe_{14}B$.

Результаты и обсуждение

С использованием высокочистых редкоземельных металлов (99.956-99.983 ат. %), армко железа и Fe(1.2-1.5 мас. %)-В лигатуры были синтезированы высокочистые соединения $R_2Fe_{14}B$ (R = Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er) с направленной структурой. Однофазные соединения $R_2Fe_{14}B$ (R = Gd, Tb, Dy, Ho, Er и Y) были получены в результате трехкратной дуговой плавки (в печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом на медном водоохлаждаемом поду) в атмосфере очищенного гелия. Использованное вначале быстрое и затем медленное охлаждение сплава в печи позволяло избежать кристаллизации примесной фазы α -Fe и реализовать полное протекание перитектической реакции для образования основной фазы типа - $Nd_2Fe_{14}B$. Образцы были помещены в кварцевые ампулы и подвергнуты гомогенизирующему отжигу при температуре 700°C в течение 200 часов. Гидрирование соединений проводилось водородом высокой чистоты (содержащим не более, чем 10^{-3} - 10^{-4} % примесей). Отношение R/H изменялось от 2.3 до 2.5. Такое содержание водорода позволило нам получить образцы без разрушения направленной структуры зерен.

Для определения температур Кюри T_c как

исходных соединений, так и их гидридов был использован терромагнитный анализ (ТМА). Значительное увеличение температур магнитного упорядочения наблюдалось при гидрировании. Обнаружено уменьшение температур Кюри соединений $R_2Fe_{14}B$ и их гидридов $R_2Fe_{14}BH_{2.5}$ в ряду R = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu (соединения $Lu_2Fe_{14}B$ и $Lu_2Fe_{14}BH_{2.5}$ были исследованы ранее в работе [2]).

Температура Кюри зависит от трех типов обменных взаимодействий: Fe-Fe, R-Fe и R-R. Хорошо известно, что обменные взаимодействия между атомами железа в этих соединениях являются наиболее сильными по сравнению с обменными взаимодействиями между подрешетками редкой земли и железа (R – Fe). Один из способов получения информации об межподрешеточном обмене – это сравнение температур Кюри соединений, содержащих магнитный и немагнитный R атом с последующим вычислением обменного поля h_{21} , действующего на подрешетку редкой земли со стороны подрешетки железа в рамках модели молекулярного поля [3].

Результаты вычислений для соединений $R_2Fe_{14}B$ и их гидридов помещены в таблицы 1 и 2, соответственно.

Таблица 1.

Соединение	T_c , К	h_{21} , 10^6 Ое	h_{11} , 10^6 Ое
Gd ₂ Fe ₁₄ B	661	1.14	-
Tb ₂ Fe ₁₄ B	620	1.11	-
Dy ₂ Fe ₁₄ B	598	1.14	-
Ho ₂ Fe ₁₄ B	573	1.09	-
Er ₂ Fe ₁₄ B	554	1.00	-
Lu ₂ Fe ₁₄ B	535	-	5.93
Y ₂ Fe ₁₄ B	565	-	6.26

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

(1) Введение атомов водорода в кристаллическую решетку соединений $R_2Fe_{14}B$ приводит к усилению Fe-Fe обменных взаимодействий (поле h_{11}).

(2) Гидрирование практически не изменяет значение междодрешеточного обменного поля h_{21} .

Таблица 2.

Соединение	T_C , К	h_{21} , 10^6 Ое	h_{11} , 10^6 Ое
$Gd_2Fe_{14}BH_{2.5}$	746	1.12	-
$Tb_2Fe_{14}BH_{2.5}$	705	1.10	-
$Dy_2Fe_{14}BH_{2.5}$	683	1.13	-
$Ho_2Fe_{14}BH_{2.5}$	658	1.09	-
$Er_2Fe_{14}BH_{2.5}$	639	1.01	-
$Lu_2Fe_{14}BH_{2.5}$	620	-	6.50
$Y_2Fe_{14}BH_{2.5}$	650	-	6.81

Согласно теории, учитывающей спиновые флуктуации, температура Кюри зонных ферромагнетиков обратно пропорциональна плотности состояний в подзонах вблизи уровня Ферми $N\uparrow(E_F)$ и $N\downarrow(E_F)$. Увеличение параметров решетки, наблюдаемое при введении атомов внедрения (H и N), вызывает снижение степени гибридизации волновых функций $3d$ -электронов атомов Fe и $5d$ -электронов атомов РЗ-металлов и приводит к уменьшению плотности состояний как в зоне $N\uparrow(E_F)$, так и в зоне $N\downarrow(E_F)$. Это уменьшение степени гибридизации, по-видимому, играет важную роль в подавлении спиновых флуктуаций и возрастанию температуры Кюри, основной вклад в которую вносят обменные взаимодействия в подрешетке Fe (обменное поле h_{11}). Из наших результатов следует, что введение атомов водорода не приводит к изменению междодрешеточных обменных взаимодействий в интерметаллических соединениях $R_2Fe_{14}B$. Объяснение этого факта может быть дано, принимая во внимание несколько факторов: 1) объемный эффект, связанный с увеличением объема элементарной ячейки

и межатомных расстояний Fe-Fe и R-Fe при введении атомов внедрения, 2) возрастание намагниченности подрешетки Fe, вследствие упругих напряжений, которые создает вокруг себя атом внедрения, 3) изменение локальной электронной концентрации вокруг атома внедрения («химический эффект»). На основании полученных результатов можно утверждать, что все эти эффекты компенсируют друг друга, приводя к тому, что междодрешеточные обменные взаимодействия остаются практически неизменными.

Заключение

Таким образом, нами установлено, что введение атомов H в кристаллическую решетку соединений $R_2Fe_{14}B$ приводит к значительному увеличению температур Кюри T_C , усилению обменных взаимодействий Fe-Fe при сохранении величины обменных взаимодействий R-Fe, что можно объяснить компенсацией эффектов от изменения объема элементарной ячейки и электронной структуры данных соединений.

Работа поддержана грантом Поддержки ведущих научных школ НШ -205.2003.2 и грантом РФФИ № 04-03-32194.

Литература

1. Pourarian F. Review on the influence of hydrogen on the magnetism of alloys based on rare earth – transition metal systems. *Physica*. В 2002;321:18-28.
2. Tereshina I.S., Andreev A.V., Tereshina E.A., Drulis H., Effect of hydrogen on magnetic properties of $Lu_2Fe_{14}B$ single crystal. *J. Alloys Comp.* 2005 (in press).
3. Никитин С.А., Терешина И.С., Влияние атомов внедрения на эффективные обменные поля в ферромагнитных соединениях редких земель и $3d$ -переходных металлов R_2Fe_{17} и $RFe_{11}Ti$. *Физика твердого тела* 2003;45(10):1850-1856.