

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГИДРИДОВ $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$

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

Кафедра физики твердого тела, факультет физики, Софийский университет, София 1126,
Болгария

⁽¹⁾ Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Ленинский просп. 49,
Москва, 119991, Россия

⁽²⁾ МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, 119992, Россия

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

Введение

Соединения $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (R – редкая земля) поглощают значительное количество водорода и образуют стабильные гидриды при комнатной температуре. Изменение магнитных характеристик этих соединений вследствие поглощения водорода представляет значительный фундаментальный и технологический интерес.

Ранее [1] были исследованы магнитные свойства интерметаллического соединения $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Согласно литературным данным температура магнитного упорядочения T_C этого состава равна 554 К, а температура спин-переориентационного перехода (СПП) T_{SR} равна приблизительно 325 - 327 К. Цель этой работы состоит в исследовании влияния гидрирования на магнитные фазовые переходы в соединении $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}$. Существенной особенностью этого исследования является то, что измерения температурных зависимостей намагниченности были выполнены при постоянном давлении водорода в контейнере с образцом.

Результаты и обсуждение

Образцы $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ были приготовлены дуговой плавкой в атмосфере очищенного аргона из исходных материалов с чистотой не менее 99.99 %. После плавки выплавленные образцы были завернуты в танталовую фольгу, запаяны в кварцевые трубки и подвергнуты отжигу в течение 14 дней при 900° С. С помощью рентгеновской дифракции было установлено наличие однофазной структуры в образцах.

Для изучения процессов абсорбции и десорбции водорода использовалась волюметрическая установка с давлением водорода до 4 атм. в температурном диапазоне от 300 до 700 К.

Измерение намагниченности было выполнено в температурном диапазоне 300-700 К в постоянных магнитных полях до 12 кОе с помощью вибрационного магнетометра,

который обеспечивал магнитные измерения при давлении газа до 12 атм.

Для соединений $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ (x – концентрация H) проведено исследование влияния водорода на температуру Кюри. Зависимость температуры Кюри для указанных соединений показана на рис. 1.

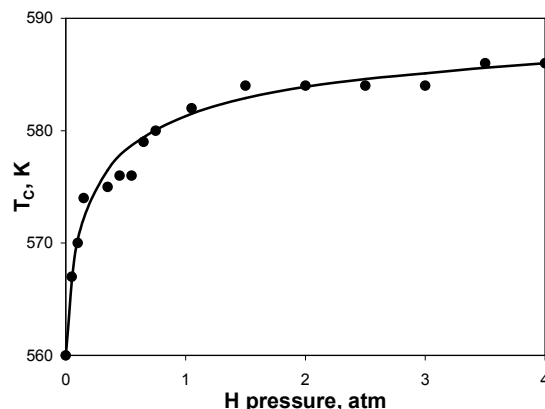


Рис. 1. Зависимость температуры Кюри соединений $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ от давления водорода.

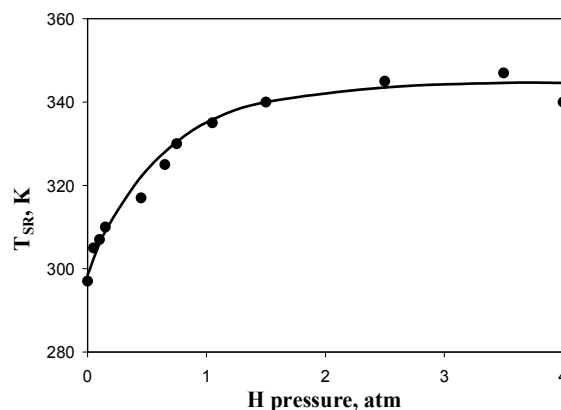


Рис. 2. Зависимость температуры СПП соединений $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ от давления водорода.

Как видно из рис. 1, температура Кюри сильно зависит от содержания водорода: при малых концентрациях водорода имеет место резкий рост T_C , который связан с увеличением параметров решетки и возможно, обусловлен уменьшением отрицательных обменных взаимодействий между атомами Fe.

СПП в соединении $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ можно объяснить конкуренцией одноосной магнитной анизотропии подрешетки Fe и плоскостной анизотропией от R подрешетки, причем первая преобладает при высоких температурах, а последняя – при низких.

На рис. 2 представлена зависимость температуры T_{SR} от содержания водорода, из которой видно, что существует корреляция между кривыми $T_{\text{C}}(p)$ и $T_{\text{SR}}(p)$. Следует отметить, что согласно нашим результатам в соединении $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ $T_{\text{SR}} = 297 \text{ K}$, что заметно меньше (на 30 K) значения T_{SR} по литературным данным [1]. Этот факт может быть объяснен следующим образом: поскольку данные соединения поглощают водород при комнатной температуре и атмосферном давлении, исходные соединения $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ возможно содержат некоторое количество H.

Исходя из значений T_{SR} в $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ и K_{1Fe} [2] мы вычислили параметр кристаллического поля (КП) B_{20} до и после гидрирования, используя формулу, полученную Кузьминым и др. [3].

$$B_{20} = \frac{20K_{\text{1Fe}}}{J(J+1)(2J-1)(2J+3)} \left(\frac{k_B T_{\text{SR}}}{\Delta_{\text{ex}}} \right)^2,$$

где $\Delta_{\text{ex}} = 2 |g_J - 1| m_B V_{\text{ex}}$ – обменное расщепление между двумя последовательными энергетическими уровнями, $J = 15/2$ – квантовое число полного момента иона Er^{3+} . Значения обменного поля V_{ex} и обменное расщепление Δ_{ex} были определены, используя значения T_{C} для $\text{Lu}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ и $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ в рамках теории молекулярного поля.

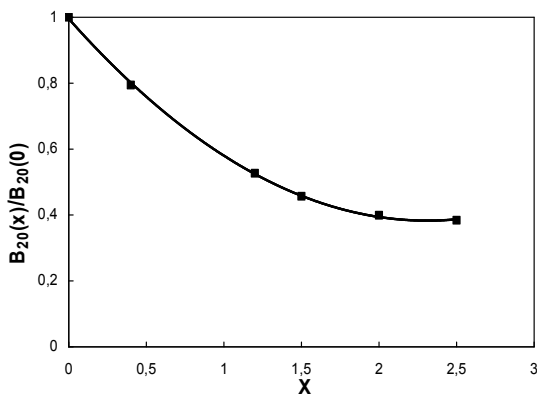


Рис. 3. Зависимость параметров КП $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ от количества поглощенного водорода x.

Параметр КП B_{20} уменьшается при возрастании концентрации водорода, следовательно, константа магнитной анизотропии K_{1R} редкоземельной подрешетки ($K_{\text{1R}} \sim -J^2 B_{20} B_J^2(x)$, где $B_J^2(x)$ обобщенная функция Бриллюэна второго порядка) также уменьшается. Гидрирование приводит к уменьшению одноосного вклада в анизотропию K_{1Fe} от Fe-подрешетки [2]. Компенсация констант редкоземельной и Fe-подрешеток для исходного состава происходит при $T_{\text{SR}} = 297 \text{ K}$, а для гидридов при более высоких температурах. Возрастание температуры спин-переориентационного перехода обусловлено усилением обменных взаимодействий ионов Fe-Fe и редкая земля-Fe.

Заключение

Синтезированы и исследованы интерметаллическое соединение $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ и его гидриды. Изучены зависимости температуры Кюри и температуры СПП от давления водорода. Обнаружено, что T_{C} и T_{SR} возрастают монотонно с увеличением давления водорода. Полученные экспериментальные результаты позволяют выяснить физические механизмы, определяющие изменение магнитокристаллических и обменных взаимодействий при поглощении водорода.

Работа поддержана Федеральной программой поддержки ведущих научных школ, НИИ -205.2003.2 и РФФИ грант № 04-03-32194.

Литература

1. Herbst J.F. $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ materials: Intrinsic properties and technological aspects. Review of Modern Physics 1991; 63:819-898.
2. Tereshina I.S., Andreev A.V., Drulis H., Tereshina E.A. Effect of hydrogen on magnetic properties of $\text{Lu}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ single crystal. J. Alloys and Comp. (in press).
3. Kuz'min M.D., Garcia L.M., Plaza I., Bartolome J., Fruchart D., Buschow K.H.J. Spin reorientation transitions in $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{ZH}_x$ ($Z = \text{B}, \text{C}$) compounds. J. Magn.Magn.Mater. 1995;146:77-83.