

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

УДК 539.2; 539.9; 537

ББК 22.37

Ф503

Организаторы:

- Томский государственный университет
- Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова при ТГУ
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
- Институт сильноточной электроники СО РАН
- Институт физики полупроводников СО РАН

Редакционная коллегия:

канд. физ.-мат. наук В.А. Новиков; д-р физ.-мат. наук, профессор И.В. Ивонин;
канд. физ.-мат. наук И.А. Дитенберг; канд. физ.-мат. наук А.А. Тухфатуллин;
д-р физ.-мат. наук Ю.Ю. Эрвье; мл. науч. сотр. К.В. Гриняев

Физика твердого тела : сб. материалов
Ф503 XV Российской научной студенческой конференции
(18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия). – Томск : Издательский
Дом Томского государственного университета, 2016. – 276 с.

ISBN 978-5-94621-561-9

Сборник содержит материалы, представленные студентами, аспирантами и молодыми учеными на XV Российской научной студенческой конференции по физике твердого тела. Тематика конференции посвящена исследованию электронного строения, кристаллической структуры, фазовых переходов, электрофизических, поверхностных, оптических и механических свойств твердого тела.

Для широкого круга исследователей, занимающихся проблемами физики твердого тела.

УДК 539.2; 539.9; 537

ББК 22.37

Определение контролирующей стадии процесса фазового распада сплава Y_2Fe_{17}

Р.М. Шестаков, С.Б. Рыбалка

Брянский государственный технический университет, 241035, г. Брянск
E-mail: kineticx@bk.ru

Controlling stage determination of the phase decomposition process of the Y_2Fe_{17} alloy

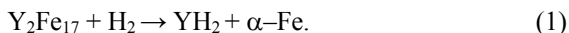
R.M. Shestakov, S.B. Rybalka

Bryansk state technical university, 241035, Bryansk
E-mail: kineticx@bk.ru

С целью повышения коэрцитивной силы постоянных магнитов из магнитотвердых сплавов типа Y_2Fe_{17} , Sm_2Fe_{17} , $Nd_2Fe_{14}B$ и др. используют так называемый HDDR-процесс (Hydrogenation-Decomposition-Desorption-Recombination) [1], основанный на индуцированных водородом обратимых фазовых и структурных превращениях в этих сплавах [2].

Установлено, что взаимодействие сплава Y_2Fe_{17} с водородом ($\sim 300\text{--}850^\circ\text{C}$) приводит к развитию прямого фазового превращения, т.е. фазовому распаду исходного сплава Y_2Fe_{17} на фазы $\alpha\text{-Fe}$ и YH_2 . Ранее, например, было показано [2], что кинетика подобного превращения в сплаве $Nd_2Fe_{14}B$ контролируется диффузией больших атомов замещения (атомов Fe и Nd). Поэтому для выяснения контролирующей стадии вышеозначенного фазового распада сплава Y_2Fe_{17} нами было проведено исследование процесса диффузии атомов водорода как атомов внедрения в сплав Y_2Fe_{17} .

Итак, на первом этапе при температуре выше $\sim 300\text{--}400^\circ\text{C}$ в сплаве Y_2Fe_{17} развивается фазовый распад исходного сплава Y_2Fe_{17} по следующей схеме:



Результаты исследования развития фазового распада сплава Y_2Fe_{17} [3] показаны на рис. 1. Как видно из рисунка, при температуре превращения 750°C для полного завершения распада потребовалось 9120 с.

Важно отметить, что, как правило, HDDR-процесс используется для обработки порошков из сплавов Y_2Fe_{17} , Sm_2Fe_{17} и других, имеющих форму сферы, с последующим изготовлением из обработанных порошков этих сплавов либо прессованных, либо связанных на полимерной основе постоянных магнитов [1]. Таким образом можно рассматривать начальный этап процесса фазового распада как диффузию атомов водорода из газовой фазы в частицу сплава Y_2Fe_{17} , имеющую сферическую форму. С учетом этого нестационарное уравнение диффузии для атомов водорода в сплав Y_2Fe_{17} было записано в сферических координатах:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_H \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где c – концентрация атомов водорода в сплаве Y_2Fe_{17} , r – расстояние от центра образца сферической формы Y_2Fe_{17} , D_H – коэффициент диффузии атомов водорода в сплаве Y_2Fe_{17} .

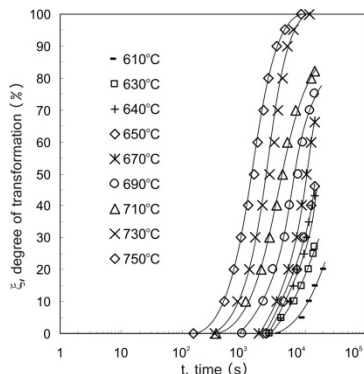


Рис. 1. Кинетика фазового распада сплава Y_2Fe_{17} в атмосфере водорода при $P_{H_2}=0.1$ МПа.

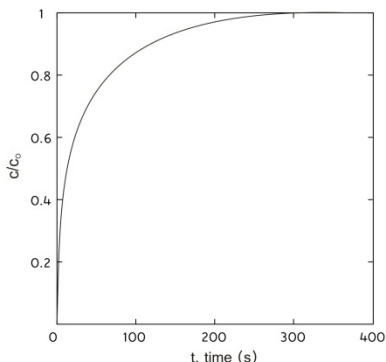


Рис. 2. Расчет относительной концентрации c/c_0 атомов Н при диффузии водорода в сплав Y_2Fe_{17} .

Расчет диффузии атомов водорода производили для частиц сплава Y_2Fe_{17} , имеющих форму сферы радиусом $R = 1$ мм. Начальные и граничные условия для уравнения (2): концентрация водорода внутри частицы Y_2Fe_{17} в начальный момент времени $c(r,0) = 0$; на поверхности частицы в любой момент времени поддерживается концентрация водорода $c(1,t) = 1$. Коэффициент диффузии атомов водорода в сплаве Y_2Fe_{17} при расчетах принимался $D_H = 5,025 \times 10^{-3}$ мм²/с² при $T = 750^\circ\text{C}$, согласно данным Дж.М.Д. Койя, Р. Скомски и др. [4]. Уравнение диффузии атомов водорода (2) в сплаве Y_2Fe_{17} при заданных выше начальных и граничных условиях решалось численными методами в среде Mathcad.

На рис. 2 показаны расчеты относительной концентрации атомов водорода c/c_0 в сплаве Y_2Fe_{17} . Как следует из рис. 2, при 750°C относительная концентрация атомов водорода c/c_0 в сплаве Y_2Fe_{17} достигает значения ~ 1 уже через 360 с после начала диффузии в частицу сплава Y_2Fe_{17} радиусом 1 мм. Однако, согласно данным из работы [3], приведенным на рис. 1, для завершения индуцированного водородом прямого фазового распада сплава Y_2Fe_{17} при температуре 750°C требуется $9,12 \times 10^3$ с, т.е. приблизительно на три порядка величин больше, чем необходимо для диффузии

атомов водорода в сплав Y_2Fe_{17} , как видно из рис. 2, в соответствии с проведенными расчетами.

Таким образом, проведенные нами расчеты однозначно свидетельствуют о том что диффузия атомов водорода в сплаве Y_2Fe_{17} является наиболее быстрой стадией, и процесс дальнейшего развития индуцированного водородом прямого фазового распада в сплаве Y_2Fe_{17} контролируется наиболее медленной стадией превращения, т.е. диффузией больших атомов замещения (Y, Fe) аналогично тому, как это было обнаружено нами ранее в магнитотвердом сплаве $Nd_2Fe_{14}B$.

Литература

1. *Okada M., Saito K., Nakamura H. et al.* Microstructural evolutions during HDDR phenomena in Sm_2Fe_{17} compounds // *J. Alloys Comps.* 1995. Vol. 231. P. 60–65.
2. *Rybalka S.B., Goltsov V.A., Didus V.A., Fruchart D.* Fundamentals of the HDDR treatment of $Nd_2Fe_{14}B$ type alloys // *J. Alloys Comps.* 2003. Vol. 356–357. P. 390–394.
3. *Dodonova E.V., Rybalka S.B.* Kinetics of hydrogen-induced direct phase transformation in Y_2Fe_{17} hard magnetic alloy // *Letters on Materials.* 2013. Vol. 3, No. 3. P. 209–211.
4. *Coey J.M.D., Skomski, Wirth S.* Gas phase interstitial modification of rare-earth intermetallics // *IEEE Trans. Magn.* 1992. Vol. 28, No. 5. P. 2332–2337.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Физика металлов

<i>Аккузин С.А.</i> Способ повышения прочности аустенитных сталей	5
<i>Алмаева К.В., Ясенчук Ю.Ф., Артюхова Н.В.</i> Модификация поверхности пористого никелида титана при СВС под влиянием примесных газов	8
<i>Бабихина М.Н., Кудияров В.Н.</i> Исследование процессов активации, сорбции и накопления водорода в порошке чистого титана при различных параметрах наводороживания из газовой среды	11
<i>Байгонакова Г.А., Марченко Е.С., Гюнтер В.Э.</i> Влияние серебра на мартенситные превращения сплавов на основе никелида титана	12
<i>Бардова А.Е., Федорищева М.В., Калашиников М.П.</i> Фазовые превращения в наноструктурных покрытиях на основе Zr–Y–O, сформированных методом магнетронного напыления	15
<i>Буюков А.С., Васильева Е.О., Кульков С.Н.</i> Исследование структуры спеченного композита ZrO ₂ (Mg)–MgO	18
<i>Ветошкина Н.Г., Панченко Е.Ю., Тимофеева Е.Е., Чумляков Ю.И.</i> Эффект памяти формы и сверхэластичность в [123]- и [001]-монокристаллах Ni ₄₉ Fe ₁₈ Ga ₂₉ Co ₆	21
<i>Вязовская А.Ю.</i> Электронная структура поверхности интерметаллидов редкоземельных и переходных элементов GdTM ₂ Si ₂ (TM = Cu, Ag, Au)	24
<i>Ефтифеева А.С., Панченко Е.Ю.</i> Стабилизация L1 ₀ -мартенсита под нагрузкой в монокристаллах ферромагнитного сплава CoNiAl	27
<i>Жакипбекова А.С., Бикбаева З.Г., Иванов Ю.Ф.</i> Структура и свойства системы «пленка (Ti) / (керамика В ₄ C) подложка», облученной интенсивным электронным пучком	30

<i>Тагильцев А.И., Тимофеева Е.Е., Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И.</i> Ориентационная зависимость сверхэластичности в [117]- и [011]- монокристаллах сплава Ni _{45,3} Ti _{29,7} Hf ₂₀ Pd ₅ при деформации сжатием	94
<i>Топорова Н.М., Шерокалова Е.М., Селезнева Н.В., Баранов Н.В.</i> Влияние интеркаляции хрома на формирование гидридов на основе диселенида ниобия	97
<i>Филинкова М.С., Надольский А.Л., Стулов И.Е.</i> Фазовый состав и магнитные свойства кальциевых и стронциевых перовскитов, легированных железом	100
<i>Шабалина О.И., Гудимова Е.Ю.</i> Изменение топографии поверхности образцов сплава TiNi после обработки пучками ионов кремния и тантала	103
<i>Шамиева А.Р., Толкачев О.С., Петрикова Е.А., Лопатин И.В., Иванов Ю.Ф.</i> Структура нитрида алюминия, синтезированного на поверхности алюминия при азотировании в плазме газового разряда низкого давления	106
<i>Швец И.А., Еремеев С.В.</i> Теоретическое исследование травления поверхности BiTeCl атомарным водородом	109
<i>Шестаков Р.М., Рыбалка С.Б.</i> Определение контролирующей стадии процесса фазового распада сплава Y ₂ Fe ₁₇	112
<i>Шмидт Е.Ю., Гирсова С.Л.</i> Исследование градиентной структуры поверхностных слоев NiTi, формирующейся при ионной имплантации	115

Секция 2. Физика полупроводников и диэлектриков

<i>Алмаев А.В., Максимова Н.К., Минникеева Р.Д.</i> Характеристики сенсоров водорода на основе тонких пленок Pt/Pd/SnO ₂ :Sb, Ag, Y	121
<i>Бацанов С.А., Гутаковский А.К.</i> Атомная структура и механизм формирования нанокристаллов сульфидов металлов в плёнках Ленгмюра–Блоджетт	124

Научное издание

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА
СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия

Редактор Н.А. Афанасьева
Оригинал-макет А.И. Лелоюр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано к печати 07.09.2016 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 8.
Тираж 250 экз. Заказ № 1829.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)–53-15-28
Сайт: <http://publish.tsu.ru>
E-mail: rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-94621-561-9



9 785946 215619