

## ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ (YTB)SMFE<sub>2</sub>

© Умхаева Зарган Сайпудиновна (а), Илюшин Александр Сергеевич (б), Алероева Тамила Ахмадовна (с), Терешина Ирина Семеновна (д), Панкратов Николай Юрьевич (е)

(а) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория металлов, сплавов и композиционных материалов, заведующий лабораторией, доцент, доктор физико-математических наук, zargan.umhaeva@yandex.ru

(б) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва; кафедра физики твердого тела, заведующий кафедрой, профессор, доктор физико-математических наук, ilyushin1943@gmail.com

(с) Чеченский государственный университет, Российская Федерация, г. Грозный; кафедра общей физики, аспирант, tamila\_hinata.ru@mail.ru

(д) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова., Российская Федерация, г. Москва; кафедра физики твердого тела, профессор, доктор физико-математических наук, irina\_tereshina@mail.ru

(е) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова., Российская Федерация, г. Москва; кафедра общей физики и магнитоупорядоченного состояния, доцент, кандидат физико-математических наук, pankratov@phys.msu.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности поведения магнитных и магнитострикционных свойств сплавов многокомпонентной системы  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$ . В системе произведено замещение атомов магнитного тербия атома слабомагнитного самария и немагнитным иттрием. Параметром замещения в системе  $x = 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1$ . Исследования намагниченности и магнитострикции проведены в широком температурном интервале. Установлено наличие точек компенсации на кривых намагниченности как по концентрации, так и по температуре. Установлено, что продольная и поперечная магнитострикции претерпевают инверсию знака констант магнитострикции в области значений параметра замещения  $0,8 \leq x \leq 0,9$ .

**Ключевые слова:** Интерметаллические соединения, кристаллическая структура, фазы Лавеса, магнитострикция, температура Кюри.

## PECULIARITIES OF THE MAGNETIC BEHAVIOR OF (TBY)SMFE<sub>2</sub> SYSTEM ALLOYS

© Umkhaeva Zargan Saipudinovna (a), Ilyushin Alexander Sergeevich (b),

**Aleroeva Tamila Akhmadovna (c), Tereshina Irina Semenovna (d),  
Pankratov Nicolay Yurievich (e)**

- (a) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; laboratory of metals, alloys and composite materials, head of laboratory, associate professor, doctor of physical and mathematical sciences, zargan.umhaeva@yandex.ru
- (b) Moscow State University by M.V. Lomonosov, Russian Federation, Moscow; department of solid state physics, head of department, professor, doctor of physical and mathematical sciences, ilyushin1943@gmail.com
- (c) Chechen State University, Russian Federation, Grozny; department of general physics, graduate student, tamila\_hinata.ru@mail.ru
- (d) Moscow State University by M.V. Lomonosov, Russian Federation, Moscow; department of solid state physics, professor, doctor of physical and mathematical sciences, irina\_tereshina@mail.ru
- (e) Moscow State University by M.V. Lomonosov, Russian Federation, Moscow; department of general physics and magnetically ordered state, associate professor, candidate of physical and mathematical sciences, pankratov@phys.msu.ru

**Abstract.** The paper considers the behavior of magnetic and magnetostrictive properties of alloys of a multi-component system  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$ . In the system, the magnetic terbium atoms of the weakly magnetic samarium atom were replaced with non-magnetic yttrium. The substitution parameter in system  $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ . Magnetization and magnetostriction studies were performed in a wide temperature range. The presence of compensation points on the magnetization curves for both concentration and temperature is established. It is found that longitudinal and transverse magnetostrictions undergo inversion of the sign of the magnetostriction constants in the range of values of the substitution parameter  $0.8 \leq x \leq 0.9$ .

**Key words:** Intermetallic compounds, cristallic structure, Laves phases, magnetostraction, Cure temperature.

### **Введение**

В последние годы большое внимание уделяется изучению магнитных свойств интерметаллических соединений редкоземельных металлов с переходными металлами. Это объясняется, с одной стороны, развитием общей теории магнетизма, а с другой, тем, что некоторые из этих интерметаллических соединений, обладающие особыми магнитными свойствами, нашли в последнее время применение в технике и в ближайшем будущем области их использования будут только расширяться.

Интерметаллические соединения можно достаточно хорошо описать как системы из двух или более металлов с точно определённой и простой стехиометрией [5]. Наиболее многочисленный класс интерметаллических соединений составляют интерметаллические соединения f-, p- и d-металлов. Из двойных интерметаллидов наиболее распространены соединения, которые в честь немецкого кристаллохимика Фрица Лавеса названы фазами

Лавеса. Лавес в 1936 г. описал кристаллическую структуру и условия образования ряда двойных соединений на основе магния:  $MgZn_2$ ,  $MgCu_2$  и  $MgNi_2$ . Эти соединения образуются атомами 2 сортов А и В, причем атом сорта А имеет больший атомный радиус, чем атом сорта В. Идеальное соотношение радиусов компонент  $R_A:R_B = 1,225$ .

Кроме того, к фазам Лавеса причисляют интерметаллические соединения редкоземельных элементов с элементами группы железа (Mn, Fe, Co и Ni). Они сочетают в себе относительно простую структуру и уникальные магнитные свойства, такие как гигантская магнитострикция [9] и большой магнитокалорический эффект [10] при относительно высоких температурах Кюри. Прежде всего, это соединения стехиометрии  $RM_2$ , где R—редкоземельный элемент, а М – один из переходных металлов группы железа. Известно, что соединения данного типа могут обладать структурами 2 типов: кубическая структура С15 и гексагональная С14 [2].

Среди фаз Лавеса  $RM_2$  есть такие интерметаллиды, которые наряду с большой спонтанной магнитострикцией демонстрируют также гигантскую магнитострикцию, индуцированную внешним магнитным полем [1]. Такие соединения находят практическое применение в гидролокации, оптоэлектронике, гидравлике и автоматике в качестве ультразвуковых преобразователей, сенсоров, датчиков перемещения. В последнее время интерметаллиды интенсивно используются в медицине и в энергосберегающих технологиях.

Таким образом, поиск магнитных материалов, обладающих достаточно эффективными магнитными и магнитострикционными параметрами в области комнатных температур, является достаточно **актуальной** задачей для современного материаловедения.

В качестве объектов исследования нами были выбраны многокомпонентные сплавы системы  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$ , в которых идет замещение внутри редкоземельной подрешетки магнитоактивных атомов тербия немагнитным иттрием и слабомагнитным самарием. Такой тип замещения должен, с нашей точки зрения, влиять на величину обменных взаимодействий как в самой редкоземельной подрешетке R-R, так и на межподрешеточный обмен R-Fe.

**Экспериментальные результаты.** Синтез сплавов  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$  нами произведен на основе высокочистых РЗМ и Fe в дуговой печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом на медном водоохлаждаемом поду специальной конструкции в атмосфере очищенного инертного газа (аргона) при нормальном давлении. Затем образцы подвергались гомогенизирующему отжигу в течение 2 недель.

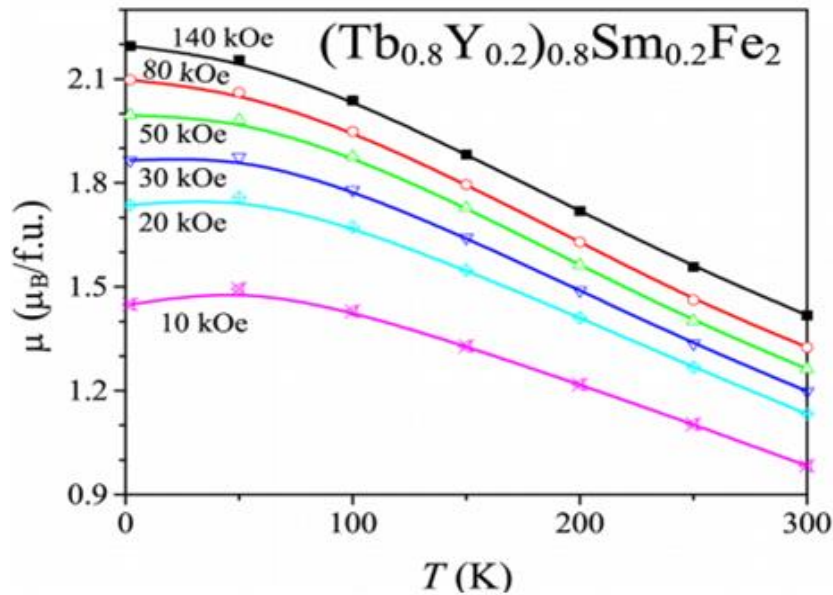
Указанным способом были получены сплавы, соответствующие значению параметра замещения  $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ . Рентгеноструктурный анализ показал их изоструктурность кубической фазе Лавеса С15 [4].

В качестве основных методов исследования использовались:

- измерения намагниченности с помощью стандартного оборудования PPMS -10 и PPMS-14;
- измерения магнитострикции тензометрическим методом.

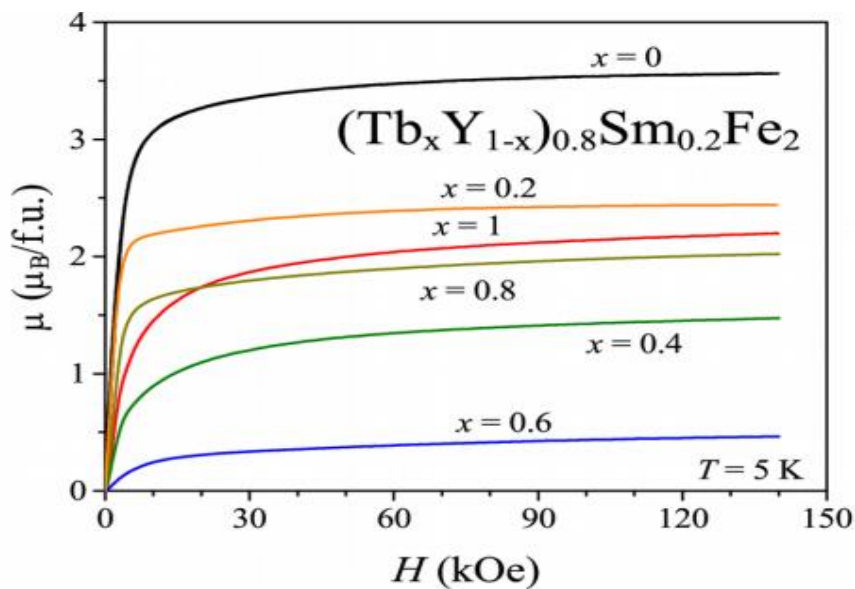
Исследование намагниченности сплавов  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$  проведено нами в магнитных полях напряженности до 140 кЭ в температурном интервале от 4.2 до 300 К [4,11]. Известно, что приведенный температурный интервал отстоит достаточно далеко от температур магнитного фазового перехода – температуры Кюри. Как следует из литературы, температура Кюри соединения  $TbFe_2$   $T_c = 711$  К, для  $SmFe_2$  -  $T_c = 700$  К, а

соединение  $\text{YFe}_2$  обладает  $T_c = 550 \text{ K}$  [5]. Поэтому намагниченность в области исследования, обладая достаточно малыми значениями, слабо зависела от температуры (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость намагниченности сплава  $(\text{Tb}_{0.8}\text{Y}_{0.2})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  от температуры в интервале от 5 до 300 К в магнитных полях 10, 20, 30, 50, 80 и 140 кОе

Более интересно поведение полевых зависимостей намагниченности для различных составах сплавов системы  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  в области гелиевых температур  $T = 5 \text{ K}$ :  $\text{Tb}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 0$ ),  $(\text{Tb}_{0.8}\text{Y}_{0.2})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 0.2$ ),  $(\text{Tb}_{0.6}\text{Y}_{0.4})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 0.4$ ),  $(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 0.6$ ),  $(\text{Tb}_{0.2}\text{Y}_{0.8})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 0.8$ ),  $\text{Y}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  ( $x = 1.0$ ). Результаты исследования намагниченности сплавов системы представлены на рис.2.



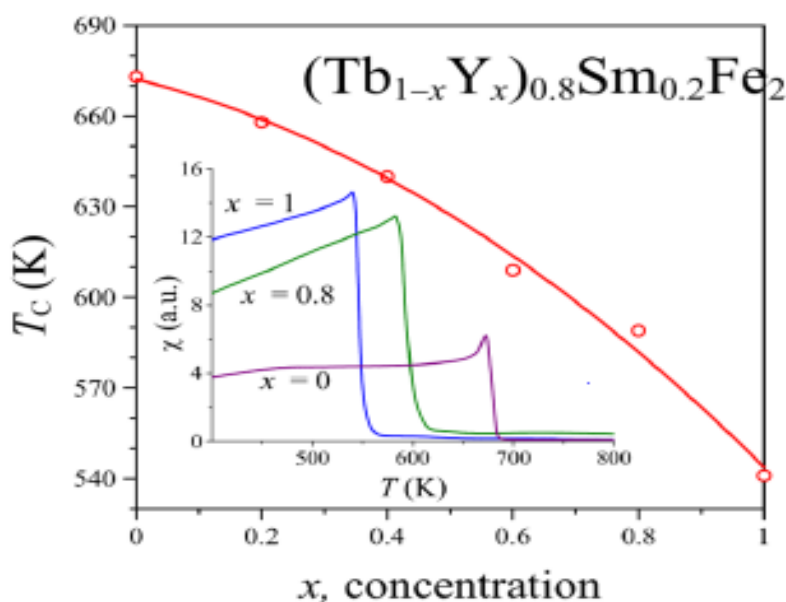
**Рис.2.** Зависимость намагниченности соединений системы  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  при 5 К от внешнего магнитного поля

Видно, что в области значений параметра замещения  $x = 0.6$  в системе  $(\text{TbY})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  наблюдается магнитная компенсация редкоземельной и железной подрешеток. В области данной концентрации намагниченность практически падает до нуля, т.е. сумма магнитных моментов редкоземельной и железной подрешеток (направленных антипараллельно друг другу) уравнивается друг друга. Наиболее важными факторами для трансформации данного эффекта являются концентрация атомов и температура. Состав и температура, при которых имеет место эффект компенсации, называют компенсирующим составом и температурой компенсации, соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации иттрия до  $x = 0.8$  приводит к резкому росту намагниченности до значений, практически сравнимых со значением намагниченности для исходного соединения  $\text{TbFe}_2$ . Далее увеличение содержания иттрия не приводит в данном поле к существенным изменениям намагниченности.

Температурные исследования данного состава  $\text{Tb}_{0.32}\text{Y}_{0.48}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  показывают, что есть не только компенсация по концентрации иттрия, но и по температуре. Температура компенсации для данного состава оказалась равной  $T_{\text{comp}} = 136 \text{ K}$  [12].

Таким образом, варьируя концентрации атомов замещения или внедрения вблизи компенсирующего состава, можно регулировать величину спонтанной намагниченности. Поэтому данное явление имеет очень важное практическое значение.

Из результатов исследования намагниченности нами определен целый ряд магнитных характеристик сплавов данной системы: намагниченность насыщения, спонтанная намагниченность и магнитный момент на атоме железа. На рис. 3 приведены концентрационная зависимость температуры Кюри сплавов, определенная по измерениям ас-восприимчивости.



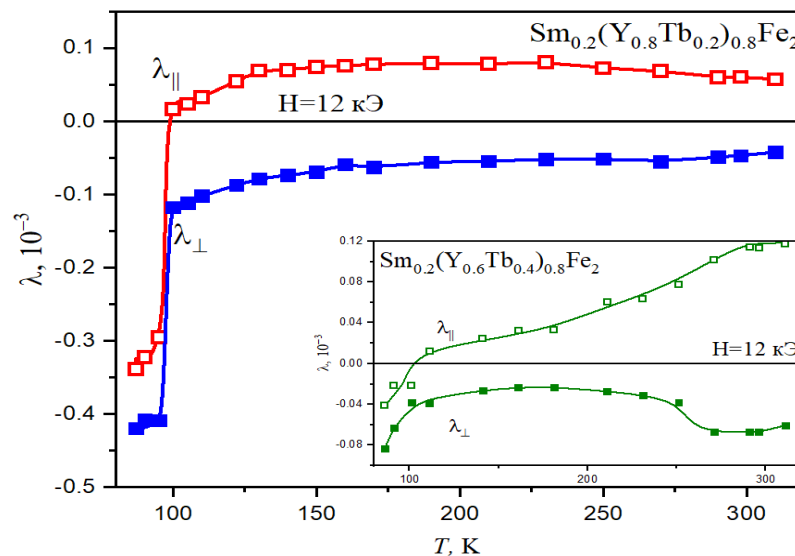
**Рис. 3.** Зависимость температуры Кюри сплавов системы  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  от концентрации иттрия. Вставка: зависимость ас-восприимчивости соединений  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  при  $x = 0, 0.8, 1.0$

Другой важной характеристикой магнетика является магнитострикция. Именно магнитострикция определяет область практического использования данного магнетика. Магнитострикция - это изменение формы и размеров тела при его намагничивании. Она равна относительному изменению размеров магнетика при включении магнитного поля  $\mathbf{H}$ . Различают, как правило, продольную магнитострикцию  $\lambda_{\parallel}$ , когда напряженность поля  $\mathbf{H}$  совпадает с направлением измерения, и поперечную магнитострикцию  $\lambda_{\perp}$ , когда указанные направления взаимно перпендикулярны.

Измерения магнитострикции сплавов данной системы нами проведены в интервале температур 80 – 300 К в магнитных полях до 12 кЭ тензометрическим методом [3]. на поликристаллических образцах. Использованные в данной работе тензодатчики были изготовлены из тензочувствительной проволоки, не обладавшей заметным гальваномагнитным эффектом. Датчики имели базу с линейным размером 5 мм и сопротивление 120  $\Omega$ . Коэффициент тензочувствительности составлял  $S = 2.15$  во всем температурном интервале. Сопротивление рабочего и компенсационного тензодатчиков отличались не более чем на 1%.

На рис. 4 приведены значения продольной и поперечной магнитострикции сплава  $(\text{Tb}_{0.2}\text{Y}_{0.8})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  в поле напряженности 12 кЭ.

Из рисунка видно, что поперечная магнитострикция во всем исследованном интервале температур отрицательна. При температуре кипения жидкого азота поперечная магнитострикция составила  $\lambda_{\perp} = -0.4 \cdot 10^{-3}$ , и с ростом температуры уменьшается на порядок. В то же время продольная магнитострикция для этого состава при температуре 80 К также отрицательна и при этом ее минимальное значение составило  $\lambda_{\parallel} = -0.34 \cdot 10^{-3}$ . С изменением температуры продольная магнитострикция для этого состава меняет знак в области 100 К. В интервале температур выше 100 К  $\lambda_{\parallel}$  положительна и демонстрирует широкий максимум в области температур 170-230 К, достигая максимального значения  $0.08 \cdot 10^{-3}$ .



**Рис. 4.** Температурные зависимости продольной и поперечной магнитострикции соединения  $(\text{Tb}_{0.2}\text{Y}_{0.8})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  в поле  $H = 12$  кЭ. Вставка: зависимости продольной и поперечной магнитострикции соединения  $(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{Fe}_2$  при  $H = 12$  кЭ от температуры

Таким образом, в этом соединении наблюдается фазовый переход в виде скачка магнитострикции при температуре  $T_{SR}=100$  К. При этом наблюдается инверсия знака константы продольной магнитострикции. На вставке к рис. 4 представлены зависимости продольной и поперечной магнитострикции от температуры в магнитном поле  $H = 12$  кЭ для сплава  $(Tb_{0.4}Y_{0.6})_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$ . И в данном случае поперечная магнитострикция во всем интервале температур отрицательна и при температуре кипения жидкого азота  $\lambda_{\perp} = -0.08 \cdot 10^{-3}$ . При  $T=180$  К достигает максимального значения  $-0.02 \cdot 10^{-3}$ , затем в области температуры  $T = 280$  К наблюдается минимум поперечной магнитострикции ( $\lambda_{\perp} = -0.07 \cdot 10^{-3}$ ). Продольная магнитострикция для этого состава также отрицательна в области азотных температур, а затем меняет знак в области температуры  $T = 104$  К.

Более того, нами установлено, что продольная магнитострикция всех сплавов системы  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$  с параметром замещения  $x \leq 0.8$  во внешнем магнитном поле  $H = 12$  кЭ положительна, а поперечная магнитострикция отрицательна. В сплавах со значением  $x \geq 0.9$ , наоборот, продольная магнитострикция отрицательна, а поперечная – положительна [4,12].

Таким образом, в данной системе в области значений параметра  $0.8 \leq x \leq 0.9$  происходит инверсия знака констант магнитострикции. Следует отметить, что явление инверсии знака констант магнитострикции наблюдалась нами и ранее для редкоземельных интерметаллидов  $TbSmFe_2$  [8].

Таким образом, комбинация в одной и той же редкоземельной подрешетке ионов легких и тяжелых элементов (Tb и Sm) позволило выявить состав сплава многокомпонентной системы  $(Tb,Y,Sm)Fe_2$ , у которого полностью или почти полностью скомпенсирована магнитокристаллическая анизотропия ( $x = 0,6$ ) и, следовательно, можно ожидать состав с наиболее оптимальными магнитострикционными характеристиками.

Следовательно, состав  $Tb_{0.4}Y_{0.6})_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$  является компенсационным. Наши расчеты согласуются с экспериментальными данными по намагниченности [12]. Подобное поведение намагниченности обнаружено в системе многокомпонентных сплавов  $(Tb_{0.2}Pr_{0.8})_xY_{1-x}Fe_2$  — внедрение немагнитного Y приводит к появлению компенсационного состава также при концентрации иттрия  $x = 0.6$  [7].

Данная экспериментальная работа проведена в рамках Договора о научно-техническом сотрудничестве между лабораторией металлов, сплавов и композиционных материалов КНИИ РАН и кафедрой физики твердого тела МГУ им. М.В. Ломоносова.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 159 с.
2. Илюшин А.С., Тебеньков Ю.В. Низкотемпературные модификации кристаллических структур интерметаллидов  $TbCo_2$  и  $TbFe_2$  // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика, астрономия, 1977. Т.18, № 5. С. 139-141.
3. Илюшин А.С., Умхаева З.С. Терешина И.С., Алероева Т.А., Панкратов Н.Ю. Магнитострикционные деформации в сплавах  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0.8}Sm_{0.2}Fe_2$  со структурой фаз

- Лавеса // XXIII Международная научная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах». М.: МИРЭА., 2018. С. 66-67.
4. Умхаева З.С., Илюшин А.С., Алероева Т.А., Терешина И.С., Панкратов Н.Ю. Магнитные и магнитострикционные свойства сплавов многокомпонентной системы  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$  // Сборник трудов 7 Международного молодежного симпозиума «Физика бесвинцовых пьезоактивных и родственных материалов». Ростов-на-Дону-Туапсе, 2018. С. 362-364.
  5. Тейлор К. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов. М.: Мир, 1974. 221 с.
  6. Barbara B. Giraud J.P., Laforest J., Lemaire R, Siaud E., Schweizer J. Spontaneous magnetoelastic distortion in some rare-earth-iron Laves phases // *Physica*, 1977. V 86. Pp.155-157.
  7. Buck S., Fahnle M.. Magnetostriction in  $TbFe_2$ : Weak influence of the internal structural distortion // *J. Magn. Mater.*, 1999. 204, P. L1-L4. DOI 10.1016/S0304-8853(99)00450-3
  8. Pushin A.S., Solodov Ye.V., Umkhaeva Z.S. Structural and magnetic transformations in pseudobinary systems alloys  $(Sm_{1-x}Tb_x)Fe_2$  compounds // *Perspektivnye Materialy*, 2013. V. 11. Pp. 42-47.
  9. Engdahl G. Handbook of giant magnetostrictive materials. London: Academic Press, 2000. 386 p.
  10. Gschneidner Jr.K.A.Recent Developments in Magnetocaloric Materials // *Rep. Progr. Phys.*, 2005. V. 68. Pp. 1479-1539.
  11. Umhaeva Z.S., Ilyushin A.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., and all. Phenomenon of magnetic compensation in the system  $(Tb,Y,Sm)Fe_2H_x$  ( $x = 0$  and  $3$ ) // Abstracts of VIII Baikal International Conference «Magnetic materials. New technologies». Irkutsk, Russia, 2018. Pp. 98-99.
  12. Umkhaeva Z.S., Ilyushin A.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., Pankratov N.U. Ittrium influence on exchange interactions in Laves phases  $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$ // *Advan. in Engin. Research*. 2018. 177, Pp. 198-202. DOI10.2991/isees-18.2018.38.

## REFERENCES

1. Belov K.P. Magnetostriction Phenomena and their Technical Application. М.: Nauka, 1987. 159 p.
2. Pyushin A.S., Tebencov U.V. Low-temperature modifications of crystal structures of  $TbCo_2$  and  $TbFe_2$  intermetallides // *Vestnik MU, Ser. 3. Physics, astronomy*, 1977. V. 18, № 5. Pp. 139-141.
3. Pyushin A.S., Umhaeva Z.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., Pankratov N.U. Magnetostrictive deformations in alloys  $(Tb_{1-x}H)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$  with the structure of laves phases // XXIII international scientific conference "New in magnetism and magnetic materials", Moscow: MIREA., 2018. Pp. 66-67.
4. Umhaeva Z.S., Ilyushin A.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., Pankratov N.U. Magnetic and magnetostrictive properties of multicomponent system alloys  $(Tb_{1-x}H)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$  //



- Proceedings of the 7th international youth Symposium "Physics of lead-free piezoactive and related materials". Rostov-on-Don-Tuapse, 2018. Pp. 362 - 364.
5. Taylor K. Intermetallic Rare-Earth Compounds. Weley, London, 1971; M.: Mir, 1974. 221 p.
  6. Barbara B. Giraud J.P., Laforest J., Lemaire R, Siaud E., Schweizer J. Spontaneous magnetoelastic distortion in some rare-earth-iron Laves phases // *Physica*, 1977. V 86. Pp. 155-157.
  7. Buck S., Fahnle M.. Magnetostriction in TbFe<sub>2</sub>: Weak influence of the internal structural distortion // *J. Magn. Mater.*, 1999. 204, P. L1-L4. DOI 10.1016/S0304-8853(99)00450-3
  8. Ilyushin A.S., Solodov Ye.V., Umkhaeva Z.S. Structural and magnetic transformations in pseudobinary systems alloys (Sm<sub>1-x</sub>Tb<sub>x</sub>)Fe<sub>2</sub> compounds // *Perspektivnye Materialy*, 2013. V. 11. Pp. 42-47.
  9. Engdahl G. Handbook of giant magnetostrictive materials. London: Academic Press, 2000. 386 p.
  10. Gschneidner Jr.K.A. Recent Developments in Magnetocaloric Materials // *Rep. Progr. Phys.*, 2005. V. 68. Pp. 1479-1539.
  11. Umkhaeva Z.S., Ilyushin A.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., and all. Phenomenon of magnetic compensation in the system (Tb,Y,Sm)Fe<sub>2</sub>H<sub>x</sub> (x = 0 and 3) // Abstracts of VIII Baikal International Conference «Magnetic materials. New technologies». Irkutsk, Russia, 2018. Pp. 98-99.
  12. Umkhaeva Z.S., Ilyushin A.S., Aleroeva T.A., Tereshina I.S., Pankratov N.U. Ittrium influence on exchange interactions in Laves phases (Tb<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>)<sub>0,8</sub>Sm<sub>0,2</sub>Fe<sub>2</sub> // *Advan. in Engin. Research*. 2018. 177, Pp. 198-202. DOI 10.2991/isees-18.2018.38.