

**ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ
(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe₂**

Алероева Тамила Ахмадовна, к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры физики ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», E-mail: aleroeva_ta@rgau-msha.ru

Алероев Абду-Рахман Ахмадович, младший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова», E-mail: a22bdu@mail.ru

Аннотация: В данной статье представлена зависимость теплового расширения сплавов системы (Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe₂ от параметра замещения *x*.

Ключевые слова: Фаза Лавеса, редкие земли, тепловое расширения.

Введение. Одной из важнейших научно-технических задач современной физики конденсированного состояния является поиск новых магнитных материалов с высокими магнитоотрицательными параметрами для современной инновационной техники. В связи с этим большое распространение в науке и технике, благодаря своим выдающимся физическим свойствам, получили интерметаллические соединения редкоземельных металлов с 3d - переходными металлами (Mn, Fe, Co и Ni), в частности соединения типа RM₂ (R - редкоземельный элемент, M - 3d - металл). Указанные соединения обладают структурой фаз Лавеса C15 или C14. Наиболее интересны их магнитные свойства, которые зависят, прежде всего, от их структурных особенностей.

Фазы Лавеса являются удобными модельными объектами для исследования ряда фундаментальных проблем современной физики конденсированного состояния, в том числе – установление взаимосвязи между электронными характеристиками атомов или ионов, составляющих твердое тело, и его физическими свойствами. Они сочетают в себе относительно простую структуру и уникальные магнитные свойства, такие как, например, гигантская магнитоотрицательность и большой магнитокалорический эффект. Поэтому изучение структуры фаз Лавеса и физических свойств в их органической взаимосвязи является актуальной задачей и позволяет прогнозировать и получать материалы с заданным комплексом физических свойств.

Данные соединения имеет кубическую структуру типа MgCu₂, показанную на рисунке справа, и представляет собой 2 решетки – ионов железа и ионов редкоземельного металла, вставленных одна в другую.

Соединения RFe_2 с легкими РЗМ имеют ферромагнитное упорядочение, а именно магнитные моменты железной подрешетки сонаправлены моментам редкоземельной подрешетки [1].

Соединения RFe_2 с тяжелыми РЗМ имеют ферримагнитное – магнитные моменты подрешеток направлены противоположно друг другу.

На данный момент актуальны многокомпонентные фазы Лавеса, в которых присутствуют конкурирующие обменные взаимодействия, имеющие разные знаки. Комбинируя состав элементов в одной из магнитных подрешеток, можно изменять величину и знак обменных взаимодействий, а так же наблюдать поворот магнитных моментов отдельных подрешеток [2].

И целью является исследования теплового расширения в сплавах системы $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$. Система интересна тем, что содержит два типа решеточных взаимодействий, Tb-Fe и Sm-Fe. Эти взаимодействия имеют противоположные знаки. Поэтому тип магнитного упорядочения сплавов в этой системе и весь спектр магнитных свойств, включая магнитострикционные свойства, определяется знаком и величиной доминирующего взаимодействия R-Fe[3].

В нашей работе мы продолжили исследования проводя разбавление подрешетки Tb немагнитным иттрием. В таких сплавах можно добиться усиления конкуренции магнитных моментов тербия и самария.

Материалы и методы. Многокомпонентная система $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$, была предложена профессором Илюшениным и синтезирована нами впервые как система с конкурирующими обменными взаимодействиями. Параметры замещения в этой системе $x = 0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0$. Эти образцы были нами получены методом дуговой плавки при атмосферном давлении в атмосфере спектрочистого аргона.

Измерение теплового расширения проводилось тензометрическим методом. Используемые в данной работе тензодатчики были изготовлены из тензочувствительной проволоки, не обладавшей заметным гальваномагнитным эффектом. Датчики имели базу размером 5 mm и сопротивление около 120 Ω . Коэффициент тензочувствительности составлял $S = 2$ во всем температурном интервале. При измерениях один датчик наклеивался на образец, а другой, компенсационный, наклеивался на тонкую кварцевую пластинку, которая прижималась к образцу. Оба датчика включались в противоположные плечи моста Уинстона. Сопротивление рабочего и компенсационного тензодатчиков отличались не более чем на 1%.

Образцы предварительно охлаждались до температуры 80 К. Далее производился нагрев системы с образцом, причем скорость изменения температуры не превышала 1 К/мин. Измерения проводились в интервале температур 80–310К без магнитного поля.

Результаты и их обсуждение.

В [3, 4, 5] представлены фазовый состав, свойства атомной структуры и поведение основных магнитных и магнитострикционных свойств сплавов системы. Аномалии теплового расширения в редкоземельных сплавах тесно связаны с магнитострикционными эффектами. Это связано с тем, что магнитострикционные деформации из-за сил решеточного обмена происходят не только при наличии магнитного поля, но и при нагреве в отсутствие магнитного поля. Если эти изменения объема наложить на обычное тепловое расширение, то можно получить некоторые характеристики теплового расширения $\Delta l/l_0$ для редкоземельных соединений в зависимости от температуры или параметра замещения x . Если эта деформация отрицательная, то она может нивелировать или полностью свести на нет эффекты теплового расширения. Именно это явление наблюдается в исследованных сплавах системы $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$.

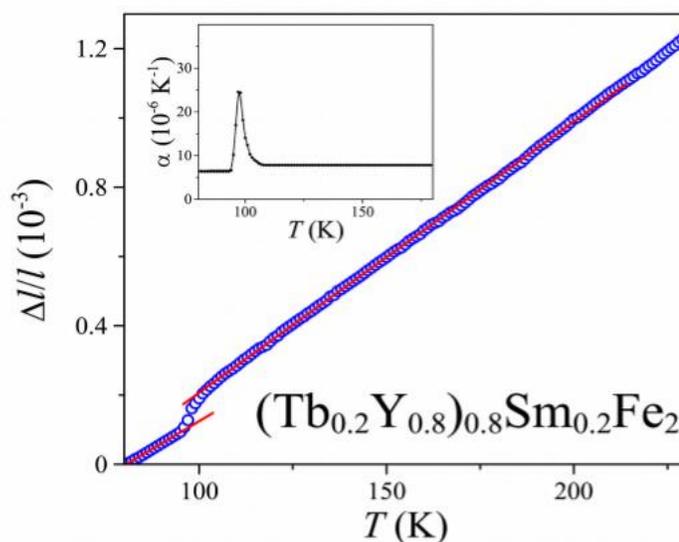


Рис. 1. Температурная зависимость теплового расширения $(Tb_{0,2}Y_{0,8})_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$

На рис. 1 показана температурная зависимость теплового расширения для соединения $(Tb_{0,2}Y_{0,8})_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$ в области температур от 80 до 250 К. Как ожидалось, с увеличением температуры наблюдается рост линейного размера образца.

Для данного состава на температурных зависимостях теплового расширения наблюдается скачок вблизи температуры 100 К. Более ярка эта аномалия появляется на температурной зависимости коэффициента теплового расширения, которая КТР показана на вставке к рисунку. В точке аномалии виден пик КТР. Эту аномалию можно трактовать следующим образом: концентрация атомов здесь Sm немного превышает концентрацию атомов Tb.

В работе Илюшина и Умхаевой была предложена фазовая диаграмма для системы $(Tb,Sm)Fe_2$. Согласно этой фазовой диаграмме при повышении

концентрации атомов Sm в системе (Tb,Sm)Fe₂ выше 50%, наблюдается спин-переориентационный магнитный фазовый переход (СПП) с поворотом магнитного момента от кристаллографической оси [111] к направлению [110] при понижении температуры. Таким образом, что в нашем соединении также наблюдаются СПП из высокотемпературной ромбоэдрической фазы в низкотемпературную ромбическую вблизи температуры 100 К, который проявляется в аномалии ТР.

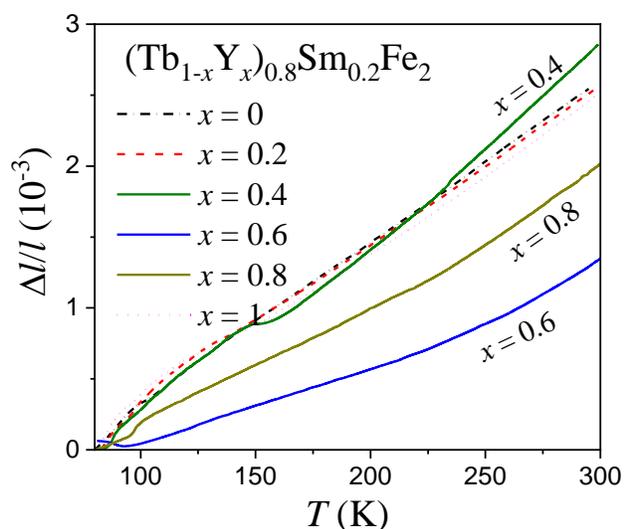


Рис. 2. Зависимость теплового расширения сплавов от температуры системы (Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe₂

На рис. 2 показана зависимость теплового расширения наших сплавов от температуры в области температур от 80 до 300 К, в этой области температур соединения являются магнитоактивными, поскольку температуры Кюри всех этих сплавов превышают 600 К. В исследуемой области температур ТР вызвано как фонным вкладом, так и вкладом от спонтанной магнитострикции. На рисунке видно, что для сплавов с концентрации $x=0; 0,2; 0,4, 1$ ТР имеют схожее поведение. Про аномалию состава $x=0,8$ рассказано в предыдущем слайде. Состав с $x=0,6$ имеет наименьшее значение ТР среди наших составов. Магнитные измерения данного состава показали, что величины магнитных моментов подрешеток самария, тербия и железа скомпенсированы. Результаты для ТР позволяет предположить, что данные концентрации ионов тербия и самария позволили скомпенсировать отрицательные и положительные вклады в спонтанную магнитострикцию от самария и тербия. Что в свою очередь вызвало минимизацию КТР.

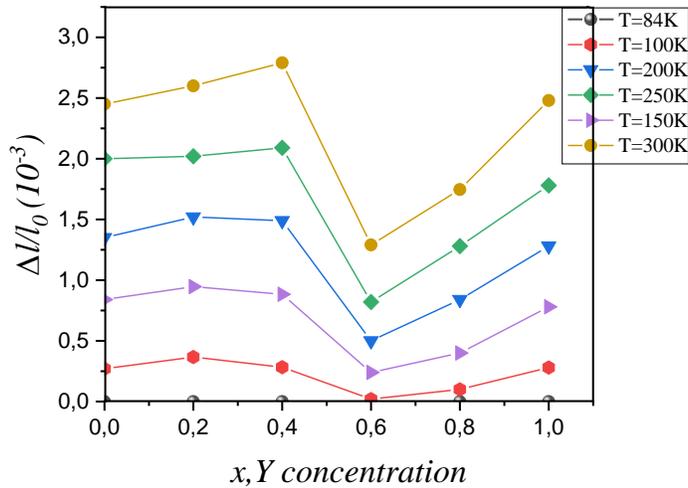


Рис. 3. Зависимость теплового расширения сплавов от концентрации системы $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$

На левом рисунке показаны те же значения ТР в виде концентрационных зависимостей при разных температурах. Кроме того, в области значений параметра замещения $x = 0,6$ наблюдается ярко выраженный минимум. Оценка теплового расширения показывают, что данный сплав обладает наименьшим коэффициентом теплового расширения среди сплавов данной системы, приблизительно равным $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Конкуренция между обменными взаимодействиями Tb-Fe и Sm-Fe и влияние спонтанной магнитострикции, которая также противоположного знака в исходных соединениях TbFe₂ и SmFe₂, и приводит к наблюдаемым эффектам.

Исходя из выше сказанного можно сделать следующие выводы:

- проведено исследование тепловое расширение ферромагнитных соединений $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$ (обладающий с кубической кристаллической структурой при температурах выше температуры перехода в магнитоупорядоченое состояния);

- установлено, что в исследуемых сплавах причиной низкосимметричных модификаций (ромбических и ромбоэдрических) при низких температурах является спонтанная магнитострикция;

- найдено, что причиной аномалии на тепловое расширение является СПП, который сопровождается возникновением угловых магнитных фаз, что приводит к искажению кристаллической структуры;

- показано, что комбинации ионов легких и тяжелых РЗМ в многокомпонентных сплавах $(Tb_{1-x}Y_x)_{0,8}Sm_{0,2}Fe_2$ позволяет выявить составы со скомпенсированным магнитным моментом и со скомпенсированной спонтанной магнитострикцией.

Библиографический список

1. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 159 с.
2. 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 Вестник КНИИ РАН № 2 (2), 2020 131 Лавеса // XXIII Международная научная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах». М.: МИРЭА., 2018. С. 66-67.
3. 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 бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов». Ростов-на-Дону-Туапсе, 2018. с. 362-364.
4. Ilushin 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.
5. 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.
6. Агробиотехнология-2021 : Сборник статей Международной научной конференции, Москва, 24–25 ноября 2021 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – 1320 с. – ISBN 978-5-9675-1855-3. – EDN NWTQEX.