

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПИНОВОГО СТЕКЛА $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$

Мицук А.А.

Научный руководитель – к. ф.-м. н., доцент Дрокина Т.В.

*Сибирский федеральный университет*

### 1. Введение

В связи с постоянно растущим интересом материаловедов, инженеров, технологов к поиску новых и совершенствованию известных материалов, перспективных для использования в различных технологических, в том числе микроэлектронных устройствах, проблема целенаправленного получения веществ в виде кристаллов, керамик, порошков и стекол, обладающих разнообразными свойствами, является одной из наиболее актуальных задач в физике твердого тела.

Среди сложных многокомпонентных окисных соединений 3d- и 4f- элементов велика вероятность обнаружения материалов с различными типами магнитного упорядочения.

$\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  – представитель ряда соединений системы  $\text{ABTi}_2\text{O}_7$  ( $A = \text{Sm} - \text{Lu}, \text{Y}$ ;  $B = \text{Ga}, \text{Fe}$ ). Известно, что соединение  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  изоструктурно соединению  $\text{GdGaTi}_2\text{O}_7$  с заменой Gd на Sm, Ga на Fe.

Согласно результатам рентгеновского исследования цирконолит  $\text{GdGaTi}_2\text{O}_7$  при комнатной температуре кристаллизуется в центросимметричной орторомбической пространственной группе  $\text{Pcnb}$  с параметрами ячейки  $a=9.7804(3) \text{ \AA}$ ;  $b=13.605(4) \text{ \AA}$ ;  $c=7.4186(2) \text{ \AA}$ ; объемом элементарной ячейки  $V=987.16(1) \text{ \AA}^3$

### 2. Синтез образцов и техника эксперимента

Соединение было получено с помощью твердотельной реакции, основные этапы представлены на рис. 1.

Исходные вещества для  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  были взяты в следующих количествах:  $\text{Sm}_2\text{O}_3 - 4,358 \text{ г}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,996 \text{ г}$ ,  $\text{TiO}_2 - 3,993 \text{ г}$ .

Все компоненты были высушены в сушильном шкафу при температуре  $T=104^\circ \text{C}$ , взвешены на электронных весах и тщательно перетерты с добавлением спирта в агатовой ступке в течение 1 - 2 ч до образования однородной массы. Однородность и гомогенность оценивалась визуально с помощью микроскопа (ОГМЭ-П2).

Из полученного порошка (шихты) были изготовлены таблетки, так как если смесь окислов обжигать в виде рыхлого порошка, то вследствие плохого контакта между отдельными частицами смеси реакция между ними протекает плохо. Лучшие условия создаются, если шихту предварительно спрессовать в таблетки.

Последние формовались с помощью металлической пресс-формы под давлением  $\approx 10 \text{ кбар}$ . Затем они были помещены в алундовый тигель. Синтез проходил в муфельной печи с силитовыми нагревателями.

Этапы перетирания, прессования и отжига повторялись три раза. Максимальная температура составляла  $T_{\text{max}} \approx 1250^\circ \text{C}$ , выдержка длилась 24 часа.

По окончании синтеза цвет таблеток - темное какао с сиреневым оттенком.

На полученном продукте проведен рентгеноструктурный анализ, который установил, что соединение имеет искомый состав -  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  и не содержит дополнительных примесей.

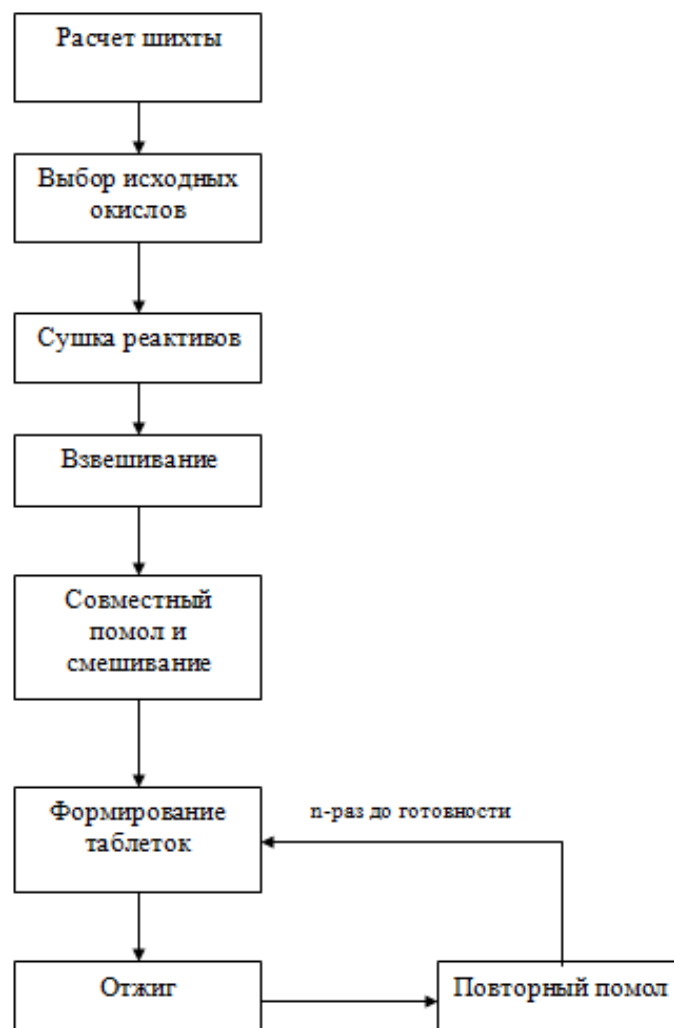


Рис. 1. Схема технологического процесса изготовления поликристаллов методом твердофазной реакции.

### 3. Экспериментальные результаты

Данные, полученные методом рентгеновской дифракции, свидетельствуют о том, что синтезированный материал имеет ромбическую кристаллическую структуру, пространственную группу  $R\bar{3}m$  с параметрами элементарной ячейки  $a=7.4718(1) \text{ \AA}$ ;  $b=13.6904(2) \text{ \AA}$ ;  $c=9.8338(2) \text{ \AA}$ ; объемом элементарной ячейки  $V= 1005.72(4) \text{ \AA}^3$ .

Тепловые измерения, результаты которых приведены на рис. 2, показывают, что на зависимости удельной теплоемкости  $C_p$  от температуры  $T$  в температурном интервале 2,0 - 300 К аномалий, характерных для термодинамического фазового перехода, не наблюдается. Это свидетельствует об отсутствии дальнего магнитного порядка в  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$ . Заметим, что зависимость  $C_p(T)$  в области низких температур (ниже 7 К) близка к линейной, при  $T \approx 7 \text{ К}$  наблюдается плавный максимум (вставка на рис. 2). Температурная зависимость теплоемкости в магнитном поле  $H=5 \text{ Т}$  похожа на аналогичную зависимость в отсутствии поля.

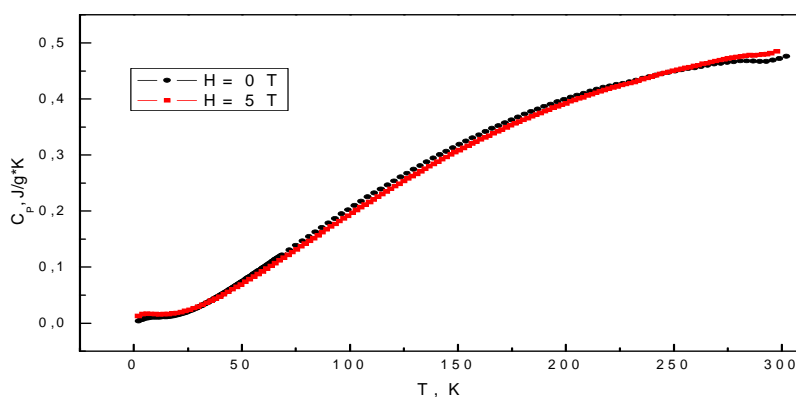


Рис. 2. Зависимость удельной теплоемкости от температуры в полях  $H=0$  и  $H=5$  Тл в поликристаллическом соединении  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$

Результаты магнитных измерений керамических образцов  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  приведены на рис. 3, 4.

На рис. 3 представлена зависимость намагниченности соединения  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  от температуры в поле  $0,5$  Т. Эксперимент показывает, что в области низких температур в образце, охлажденном без магнитного поля, появляется намагниченность, она растет при понижении температуры, достигая максимального значения при  $T=7$  К. На рис. 3 также показана зависимость намагниченности от температуры в образце, к которому при его охлаждении было приложено поле  $H=0,05$  Тл. Намагниченность в этом случае достигает большего значения в температурном интервале  $2-7$  К, чем в случае охлаждения образца без магнитного поля. Таким образом, в области низких температур имеет место зависимость намагниченности образца не только от температуры, а также от условий охлаждения (в нулевом магнитном поле и в поле  $H=0,05$  Тл), т.е. магнитный момент, наведенный в исследуемой системе  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  внешним полем, зависит от предыстории образца. В области низких температур наблюдается магнитный гистерезис. При температурах выше  $T=7$  К процесс намагничивания обратим.

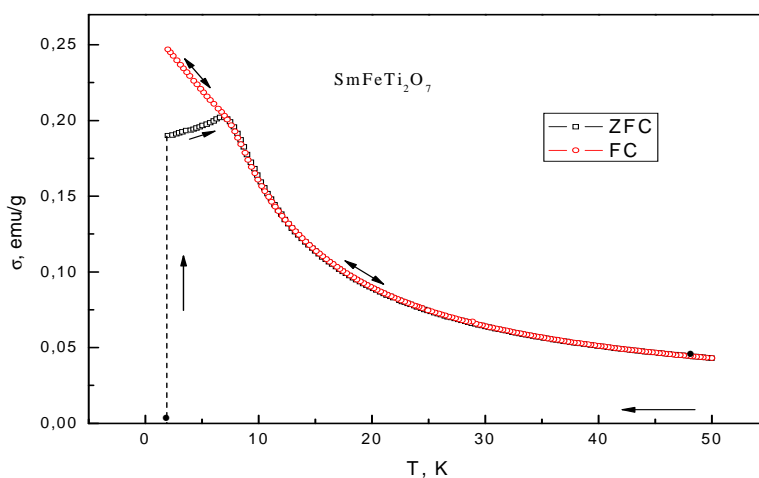


Рис. 3. Температурная зависимость намагниченности соединения  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  (FC – охлаждение образца в поле  $H=0,05$  Тл, ZFC – охлаждение образца без поля)

На рис. 4 приведена температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости  $\chi^{-1}(T)$  при условии охлаждения образца  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  без поля. Поведение кривой  $\chi^{-1}(T)$  в высокотемпературной области можно описать законом Кюри – Вейсса. Асимптотическая температура Нееля, определяемая как точка пересечения оси  $T$  с асимптотой к кривой  $\chi^{-1}(T)$  в области высоких температур, имеет значение  $\theta = -95$  К и свидетельствует о преимущественно антиферромагнитном взаимодействии в магнитной подсистеме образца.

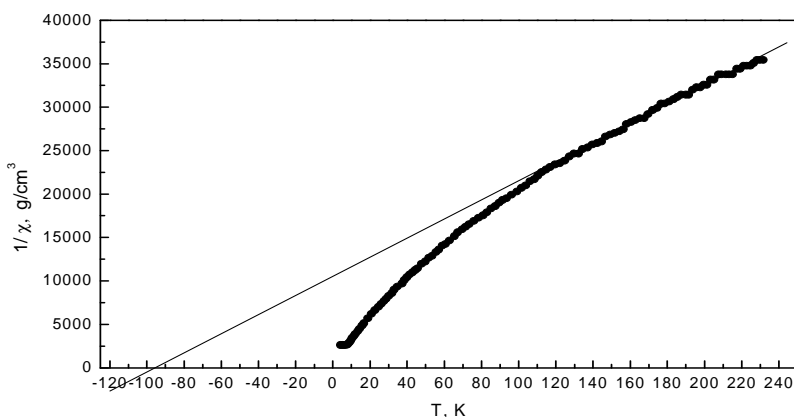


Рис. 4. Температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости образца  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$ , охлажденного без поля (асимптотическая температура Нееля  $\Theta = -95$  К)

Особенности зависимостей удельной теплоемкости и намагниченности образца от температуры и его магнитной предыстории, а также возможность существования метамиктного состояния позволяют предположить, что в соединении  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  с преимущественно антиферромагнитным обменным взаимодействием при температурах  $T < T_f = 7$  К реализуется состояние спинового стекла. Фазовый переход в спинстекловое состояние наблюдался ранее в ряде оксидных соединений, например, в  $\text{CrNbO}_4$ ,  $\text{CuGa}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{GeO}_7$  и имеет схожие признаки физических свойств.

#### 4. Заключение

Методом твердофазной реакции синтезировано поликристаллическое соединение  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$ . С целью определения его магнитного состояния проведены рентгеноструктурные, калориметрические и магнитные исследования. Экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, позволяют предположить, что в  $\text{SmFeTi}_2\text{O}_7$  при температуре ниже  $T_f = 7$  К реализуется термодинамическое неравновесное метастабильное магнитное состояние - спиновое стекло.

#### 5. Благодарность

Автор пользуется возможностью выразить благодарность за помощь в определении темы исследования и проведении измерений доктору ф.-м. н., проф., Заслуженному деятелю науки Петраковскому Г.А., к. ф.-м. н., доц. Великанову Д.А., к. ф.-м. н. Карташеву А.В., к. ф.-м. н. Молокееву М.С.