

ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫЙ ПЕРЕХОД В $TbMn_6Sn_6$

Н.К.Зайков¹⁾, А.Н.Пирогов, Н.В.Мушников, А.Е.Теплых, Э.З.Валиев,
Ю.А.Дорофеев

Институт физики металлов Уральского отд. РАН
620002 Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию 20 сентября 2000 г.

Методом дифракции нейтронов исследовано магнитное состояние интерметаллического соединения $TbMn_6Sn_6$ во внешнем магнитном поле $H = 0, 4$ и 5 кЭ. Определены величины и ориентации магнитных моментов Tb и Mn подрешеток. Показано, что магнитное поле свыше 4 кЭ вызывает при комнатной температуре спин-переориентационный переход от c -оси к базисной плоскости.

PACS: 75.25.+z, 75.30.Kz

В монокристаллических образцах ферро- и ферримангнетиков при приложении внешнего магнитного поля вдоль направления трудного намагничивания поворот вектора намагниченности к направлению поля может происходить как постепенно, так и скачком в некотором критическом поле. Такие скачкообразные процессы намагничивания первого рода получили название FOMP (First order magnetization processes) [1]. Они наблюдаются, например, в $Nd_2Fe_{14}B$ [2], $Pr_2(Co_{1-x}Fe_x)_{17}$ [3] и в ряде других соединений редкоземельных и $3d$ -переходных металлов. Имеющаяся информация о FOMP получена, как правило, из магнитных измерений и поэтому содержит лишь косвенные данные о поведении отдельных (редкоземельной и $3d$ -переходной) магнитных подрешеток. Нейтронографических исследований FOMP до сих пор не проводилось, так как для их изучения необходимы, как правило, высокие магнитные поля. Недавно нами [4] было показано, что FOMP имеет место в интерметаллиде $TbMn_6Sn_6$ при комнатной температуре, причем в относительно слабом магнитном поле (~ 4 кЭ). Этот интерметаллид имеет гексагональную структуру типа $HfFe_6Ge_6$ (пространственная группа $R\bar{6}/mmm$). Магнитные моменты подрешеток Tb и Mn связаны сильным отрицательным обменным взаимодействием и упорядочиваются одновременно при температуре Кюри $T_C = 423$ К [5]. В области $305 - 350$ К происходит спонтанная переориентация магнитных моментов Tb и Mn от c -оси к базисной плоскости [6].

Скачкообразное изменение намагниченности в $TbMn_6Sn_6$ при воздействии внешнего поля наблюдалось Дж.Гу и др. [7]. Они предположили, что такое поведение намагниченности указывает на существование или спин-флоп или метамагнитного перехода. Однако выполненные позднее измерения на монокристаллическом образце [8] показали, что скачок намагниченности имеет место только при намагничивании вдоль трудного направления (a -ось) и отсутствует при намагничивании вдоль легкой оси (c -ось). Согласно [8], это указывает на спиновую переориентацию типа "ось-плоскость".

¹⁾ e-mail: zajkov@imp.uran.ru

В настоящей работе проведено нейтронографическое исследование FOMP в $TbMn_6Sn_6$ и установлено поведение Tb и Mn подрешеток при спин-переориентационном переходе (СПП) во внешнем магнитном поле.

Сплав $TbMn_6Sn_6$ был выплавлен из исходных высокочистых компонент в индукционной печи в тиглях из Al_2O_3 в среде аргона. Гомогенизирующий отжиг сплава проводился при $800^\circ C$ в среде аргона в течение 10 суток. На рентгенограммах поликристаллического образца $TbMn_6Sn_6$ присутствуют, помимо линий основной фазы типа $HfFe_6Ge_6$, слабые отражения посторонней фазы. Измерения начальной магнитной восприимчивости в переменном магнитном поле показали, что T_C основной фазы составляет $419 K$, а температура спиновой переориентации $306 K$, что согласуется с [5, 6]. Посторонняя фаза не является магнитоупорядоченной выше $25 K$ и, следовательно, не может приводить к аномалии на кривой намагничивания в области комнатной температуры. Порошок соединения $TbMn_6Sn_6$ со средним размером частиц ~ 200 мкм ориентировали во внешнем магнитном поле $5 kЭ$ при комнатной температуре в эпоксидной смоле.

Нейтронографические измерения выполнены на дифрактометрах Д-2 и Д-3 реактора ИВВ-М (г.Заречный, Свердловская область) с длиной волны нейтронов 1.805 и 2.432 \AA . Поликристаллический неориентированный образец изучался на дифрактометре Д-3, а ориентированный – на Д-2. Все измерения проведены при комнатной температуре ($293 K$). При расчетах нейтронограмм использовалась программа "Fullprof".

Полученные нами результаты измерения намагниченности во внешнем магнитном поле на ориентированном образце $TbMn_6Sn_6$ (рис.1) согласуются с данными для

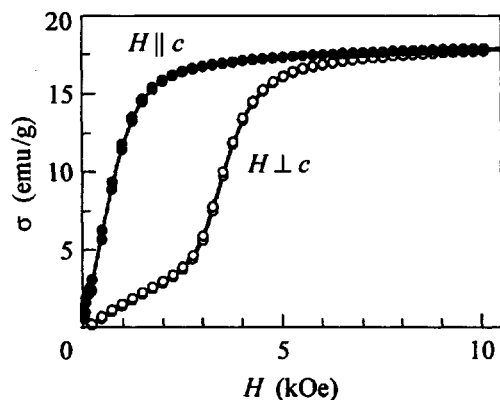


Рис.1. Кривые намагничивания ориентированного образца $TbMn_6Sn_6$, измеренные параллельно (\bullet) и перпендикулярно (\circ) направлению ориентации ($T = 293 K$)

монокристалла [8]. Из рис.1 видно, что при комнатной температуре скачок намагниченности существует уже в полях около $3.5 kЭ$. Как показано в [4], этот скачок связан с FOMP и возникает из-за относительно большой величины константы магнитокристаллической анизотропии K_2 . Она сравнима по абсолютной величине с K_1 и противоположна ей по знаку.

На рис.2 представлены нейтронограммы неориентированного образца $TbMn_6Sn_6$, измеренные в магнитных полях $H = 0, 4$ и $5 kЭ$. Как видно из рис.2, рост магнитного поля сопровождается заметным увеличением интенсивности рефлекса (001) . Хотя и в меньшей степени, но также увеличиваются интенсивности и других рефлексов $(00l)$. Поскольку интенсивность магнитных рефлексов $(00l)$ тем больше, чем боль-

ше проекция намагниченности на базисную плоскость, то можно сделать вывод о повороте магнитных моментов Tb и Mn ионов от *c*-оси к базисной плоскости при воздействии поля.

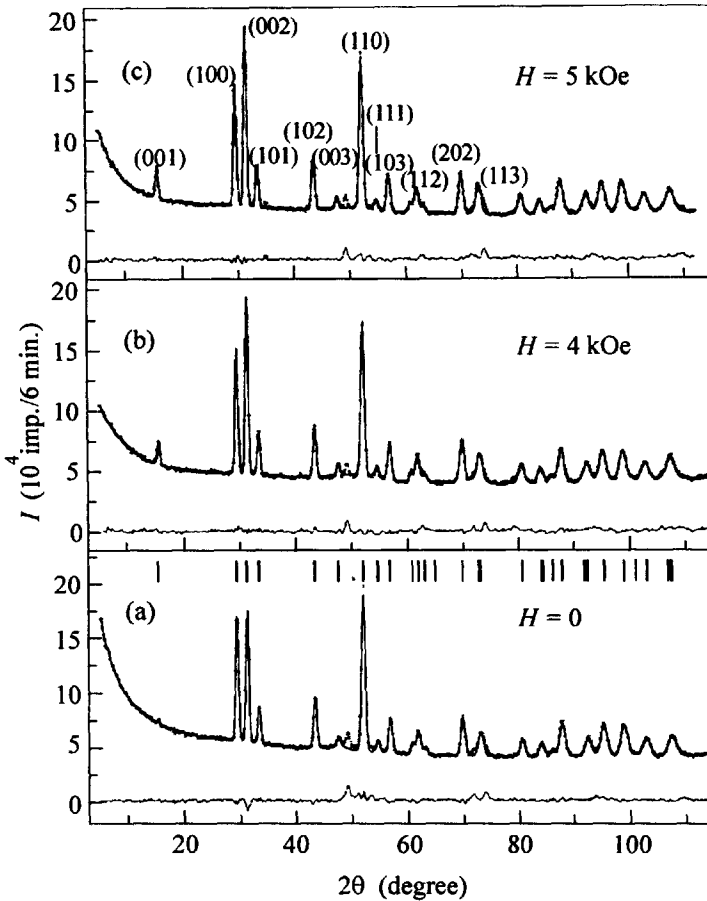


Рис.2. Нейтронограммы неориентированного образца TbMn₆Sn₆, измеренные в магнитных полях 0, 4 и 5 кЭ при 293 К

Чтобы более точно определить зависимость ориентации намагниченности от направления внешнего поля, были выполнены нейтронографические измерения на ориентированном образце TbMn₆Sn₆. На рис.3 приведены нейтронные сканы, полученные при съемках в режиме $\Omega-2\theta$ ориентированного образца TbMn₆Sn₆. Съемки были проведены для двух направлений внешнего поля ($H = 5$ кЭ): параллельно и перпендикулярно направлению ориентации частиц образца (в нашем случае это *c*-ось). Как видно из рис.3, если внешнее поле перпендикулярно *c*-оси, то имеет место магнитный рефлекс (001). Если поле направлено параллельно *c*-оси, то рефлекс отсутствует. Это указывает на то, что в магнитном поле $H \perp c$, в отличие от состояния $H \parallel c$, появляется значительная по величине проекция магнитного момента на базисную плоскость. Это полностью согласуется с данными работ [4] и [8] о существовании СПП из *c*-оси в базисную плоскость.

В таблице приведены величины магнитных моментов Tb и Mn подрешеток и их углов с *c*-осью, определенные на неориентированном образце для трех значений внешнего поля. Средние моменты Tb и Mn подрешеток и значение их угла (7°)

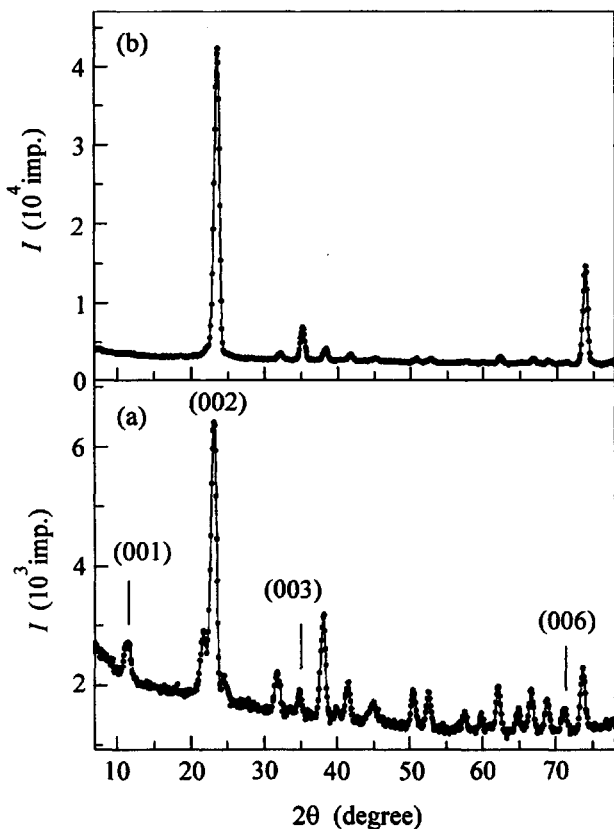


Рис.3. Нейтронограммы ориентированного образца $TbMn_6Sn_6$, измеренные при приложении магнитного поля перпендикулярно (а) и параллельно (б) направлению ориентации ($H = 5$ кЭ)

с c -осью, измеренные на образце в нулевом поле, хорошо согласуются с данными работы [6]. Как видно из таблицы, внешнее поле вызывает отклонение магнитных моментов подрешеток от c -оси к базисной плоскости примерно на 40° . Величины моментов обеих подрешеток несколько увеличиваются при воздействии поля. Возможно, этому способствует упорядочивающее действие внешнего поля на магнитные моменты Mn ионов, так как они ориентированы вдоль поля. Благодаря сильному межподрешеточному обмену происходит также рост магнитного момента Tb подрешетки. К сожалению, это трудно проверить с помощью магнитных измерений, так как рост магнитных моментов подрешеток таков, что средний магнитный момент, приходящийся на формульную единицу, может не измениться.

Как мы отмечали в [4], наши рассуждения о причине наблюдаемого СПП базируются на предположении сильной межподрешеточной обменной связи, то есть на сохранении коллинеарности между отдельными подрешетками. Как видно из таблицы, в пределах экспериментальной погрешности можно считать, что это предположение действительно выполняется.

Таким образом, в данной работе с помощью нейтронографических измерений ориентированного и неориентированного поликристаллических образцов $TbMn_6Sn_6$ был исследован индуцированный внешним полем спин-переориентационный переход первого рода. Измерения в нулевом и во внешних магнитных полях 4 и 5 кЭ свидетельствуют, что относительно слабое внешнее поле индуцирует при комнатной

температуре СПП от c -оси к базисной плоскости. Для разных значений внешнего магнитного поля приведены магнитные моменты Tb и Mn подрешеток и углы их отклонения от c -оси.

Магнитные моменты Tb и Mn подрешеток и их углы с c -осью при трех значениях внешнего поля

Атом	$\mu, \mu_B/f.u.$	$\theta, \text{degr.}$
$H = 0$		
Tb	5.2(1)	7(1)
Mn	1.89(8)	7(1)
$H = 4 \text{ кЭ}$		
Tb	5.8(2)	44(3)
Mn	2.1(1)	37(5)
$H = 5 \text{ кЭ}$		
Tb	5.9(1)	51(3)
Mn	2.1(1)	37(5)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранта # 98-02-16165) и программы “Нейтронные исследования вещества” (проект # 4). Авторы выражают благодарность А.К.Штольц и Е.Г.Герасимову за аттестацию образца.

-
1. G.Asti and F.Bolzoni, J. Magn. Magn. Mater. **20**, 29 (1980).
 2. F.Bolzoni, O.Moze, and L.Pareti, J. Appl. Phys. **62**, 615 (1987).
 3. D.Melville, W.I.Khan, and S.Rinaldi, IEEE Trans. Magn. **12**, 1012 (1976).
 4. N.K.Zajkov, N.V.Mushnikov, M.I.Bartashevich, and T.Goto, J. All. Comp. **309**, 26 (2000).
 5. G.Venturini, B.Chafik, El.Idrissi et al., J. Magn. Magn. Mater. **94**, 35 (1991).
 6. B.Malaman, G.Venturini, R.Welter et al., J. Magn. Magn. Mater. **202**, 519 (1999).
 7. J.Hu, K.Wang, B.Hu et al., J. Phys.: Condens. Matter **7**, 889 (1995).
 8. D.M.Clatterbuck and K.A.Gschneidner Jr., J. Magn. Magn. Mater. **207**, 78 (1999).