

# Магнитные свойства твердых растворов $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$

© Г.И. Маковецкий, С.С. Дорофейчик, Т.М. Ткаченко, О.Ф. Демиденко

ГО „Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению“, Минск, Беларусь

E-mail: makovets@ifftp.bas-net.by

(Поступила в Редакцию 3 апреля 2008 г.

В окончательной редакции 10 июня 2008 г.)

Методом реакции в твердой фазе с использованием ступенчатого температурного режима получены твердые растворы системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ) со структурой типа  $\text{Ni}_2\text{In}$ . Постоянные кристаллической ячейки  $a$  и  $c$  уменьшаются с увеличением концентрации железа в сплавах и для сплава  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$  составляют  $a = 0.430$  nm,  $c = 0.538$  nm. Обнаружено присутствие сверхструктуры с параметрами ячейки  $a_{ss} = 3a$  и  $c_{ss} = c$ . Удельная намагниченность сплавов нелинейно возрастает от  $53 \text{ G} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  в сплаве  $\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$  до  $72 \text{ G} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  в твердом растворе  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$ . Температура Кюри изменяется от 270 К в исходном  $\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$  до 365 К в сплаве состава  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$ . Все твердые растворы системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ) в области температур 77–450 К проявляют металлический характер проводимости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф06-091).

PACS: 75.25.+z, 75.50.Gg

## 1. Введение

Станниды переходных металлов кристаллизуются в гексагональную структуру типа  $\text{Ni}_2\text{In}$  и обладают интересными магнитными и электрическими свойствами. Авторами [1,2] в системе твердых растворов со структурой  $B8_2$  на основе станнида марганца  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x)_{1.68}\text{Sn}$  при температурах ниже 170 К обнаружено существование состояния спинового стекла. Так как магнитные и электрические свойства твердых растворов в значительной мере определяются концентрацией и типом катионов замещения, то, вероятно, их можно в определенных пределах варьировать, изменяя тип замещающих катионов и их концентрацию. Поэтому представляется вероятным, что если в станниде марганца произвести замещение части атомов марганца атомами железа, то можно ожидать получения широкой области твердых растворов с изменяющимися свойствами.

## 2. Методика эксперимента

Образцы твердых растворов  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x = 0 \div 0.5$ ) синтезированы из порошков исходных элементов с интервалом по концентрации  $\Delta x = 0.1$  в кварцевых ампулах при нагревании в электрической печи с последующей закалкой в холодную воду. Рентгенографический анализ осуществлен в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении при комнатной температуре на порошках, приготовленных из синтезированных слитков сплавов. Измерения их удельной намагниченности выполнены методом Фарадея в области температур 77–450 К в поле  $H = 0.86$  Т. Удельное электросопротивление образцов в виде спрессованных таблеток диаметром 12 mm и высотой 5 mm измеряли четырехзондовым методом в атмосфере аргона.

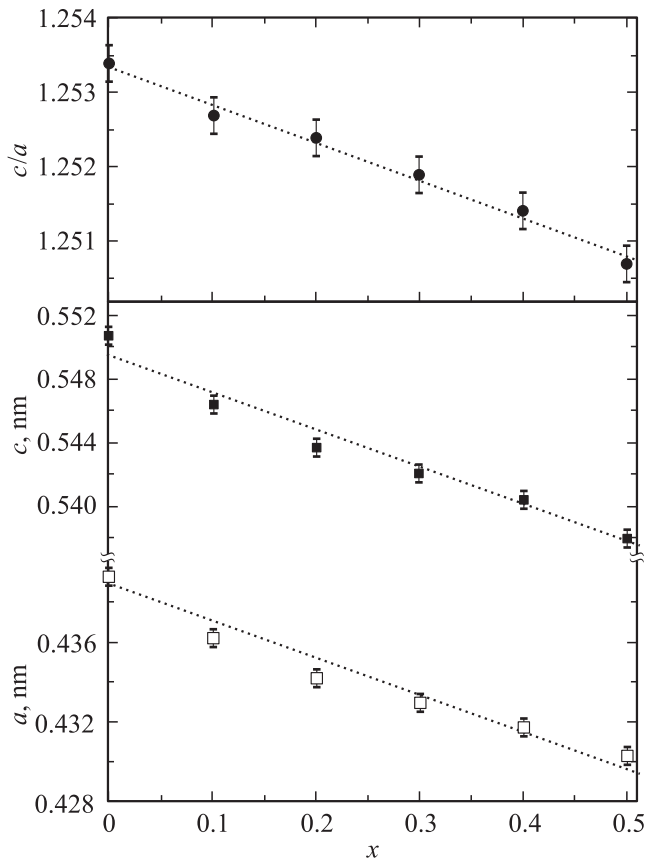
## 3. Результаты исследований

Расчет постоянных элементарной кристаллической ячейки сплавов системы произведен на базе структуры типа  $\text{Ni}_2\text{In}$  с помощью программы FullProf. На рентгенограммах кроме рефлексов основной фазы типа  $\text{Ni}_2\text{In}$  пространственной группы  $P6_3/mmc$  наблюдаются сверхструктурные рефлексy, которые индицируются на основе кристаллической ячейки той же пространственной группы с параметрами  $a_{ss} = 3a$ ,  $c_{ss} = c$ . Результаты расчетов постоянных элементарной ячейки сплавов системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  представлены в таблице и на рис. 1. Из рисунка видно, что постоянные  $a$  и  $c$  линейно уменьшаются с увеличением содержания железа в сплавах.

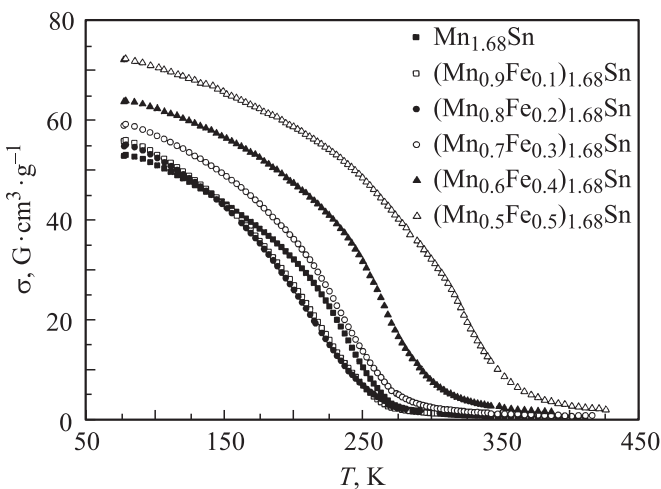
Температурные зависимости удельной намагниченности сплавов шести составов представлены на рис. 2, а численные величины удельной намагниченности, определенные из измерений при 77 К, приведены в таблице. В этой же таблице показаны и значения температур Кюри сплавов указанных составов, определенные с помо-

Параметры элементарной ячейки  $a$  и  $c$ , значения отношения  $c/a$ , удельной намагниченности при 77 К и температуры Кюри твердых растворов  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$

Состав	$a$ , nm	$c$ , nm	$c/a$	$\sigma_{77}$ , $\text{G} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$T_c$ , K
$\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$	0.4393	0.5506	1.253	53.1	270
$(\text{Mn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})_{1.68}\text{Sn}$	0.4362	0.5464	1.253	56.0	265
$(\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{1.68}\text{Sn}$	0.4342	0.5437	1.252	55.2	260
$(\text{Mn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3})_{1.68}\text{Sn}$	0.4330	0.5421	1.252	59.3	280
$(\text{Mn}_{0.6}\text{Fe}_{0.4})_{1.68}\text{Sn}$	0.4318	0.5404	1.251	64.0	320
$(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$	0.4302	0.5380	1.251	72.4	365



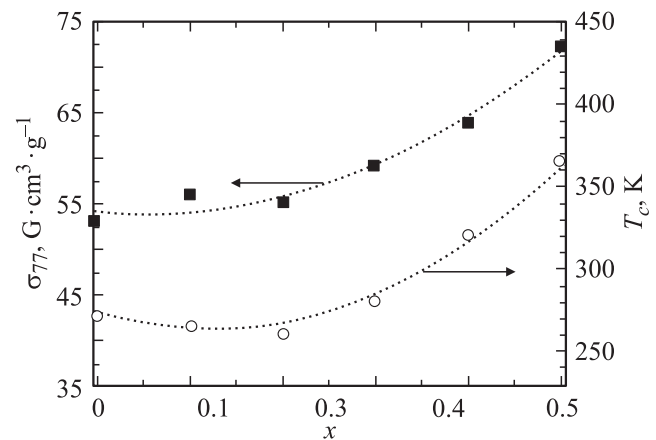
**Рис. 1.** Концентрационные зависимости параметров элементарной ячейки  $a$  и  $c$ , а также отношения  $c/a$  твердых растворов системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ).



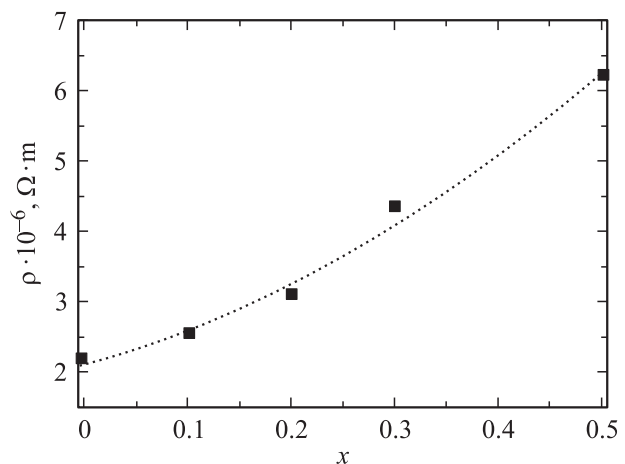
**Рис. 2.** Температурные зависимости удельной намагниченности твердых растворов  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ).

щью экстраполяции линейной части кривой зависимости квадрата удельной намагниченности от температуры к оси температур. Концентрационные зависимости температуры Кюри и удельной намагниченности  $\sigma_{77}$  сплавов системы представлены на рис. 3. Из приведенной табли-

цы и рис. 3 видно, что величина удельной намагниченности сплавов нелинейно возрастает от  $53 \text{ G} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  в сплаве  $\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$  до  $72 \text{ G} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  в сплаве состава  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$ . Температура Кюри сплава исходного состава  $\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$  близка к  $270 \text{ K}$ , что несколько выше значений, полученных другими исследователями. Температуры Кюри сплавов составов с  $x = 0.1$  и  $0.2$  несколько ниже, чем у исходного соединения. Такое ее понижение следует ожидать, если считать, что указанные сплавы являются ферримагнетиками. Начиная со сплава состава  $(\text{Mn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3})_{1.68}\text{Sn}$  температура Кюри повышается до  $280 \text{ K}$  и в сплаве состава  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$  достигает  $365 \text{ K}$ . Такое поведение магнитных характеристик исследованных сплавов, возможно, является проявлением магнитного фазового перехода. Надеемся, что характер и особенности концентрационного изменения магнитных параметров сплавов удастся объяснить на основании результатов дальнейших мессбауэровских и нейтронографических исследований.



**Рис. 3.** Зависимости величин удельной намагниченности  $\sigma_{77}$  и температуры Кюри твердых растворов системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ) от концентрации железа в сплавах.



**Рис. 4.** Концентрационная зависимость величины удельного сопротивления при  $77 \text{ K}$  сплавов системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ).

Ход температурных зависимостей удельного электросопротивления, измеренного в области температур 77–430 К, свидетельствует о металлическом характере проводимости исследованных сплавов. На рис. 4 представлена концентрационная зависимость удельного электросопротивления при 77 К. Видно, что с увеличением содержания железа в сплавах  $\rho_{77}$  возрастает, что обусловлено большими структурными нарушениями, возникающими в твердых растворах, по сравнению с исходным соединением.

#### 4. Заключение

Получены твердые растворы системы  $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_{1.68}\text{Sn}$  ( $x \leq 0.5$ ) со структурой типа  $\text{Ni}_2\text{In}$ . Установлено, что постоянные элементарной кристаллической ячейки линейно уменьшаются от  $a = 0.439$  nm и  $c = 0.551$  nm у  $\text{Mn}_{1.68}\text{Sn}$  до 0.430 nm и 0.538 nm соответственно у сплава  $(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{1.68}\text{Sn}$ . Обнаружено присутствие сверхструктуры в сплавах системы с параметрами ячейки  $a_{ss} = 3a$  и  $c_{ss} = c$ . Удельная намагниченность сплавов  $\sigma_{77}$  и температура Кюри нелинейно возрастают с увеличением содержания железа в сплавах. Ход температурных зависимостей удельного электросопротивления свидетельствует о металлическом характере проводимости исследованных сплавов.

#### Список литературы

- [1] N. Takiwa, T. Yoshida, T. Shimomura, R. Sugi, M. Matoba, S. Anzai. Phys. Status Solidi B **189**, 1, К 33 (1995).
- [2] R. Sugi, T. Shimomura, M. Matoba, S. Satsuzaka, S. Fujii, N. Hagiwara, S. Anzai. Phys. Status Solidi B **189**, К 65 (1995).