

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$** 

**Введение.** Изучение свойств полуметаллических ферро- ферри- и антиферромагнетиков представляет несомненный интерес, как для фундаментальной науки, так и для прикладных целей, поскольку эти вещества проявляют металлические свойства для одной спиновой зоны и полупроводниковые для противоположной спиновой зоны. Что делает перспективным их применение в спинтронных устройствах. К таким материалам можно отнести и  $NiMnSb$  [1-2]. Обзор литературных источников показал, что влияние магнитного поля, температуры, давления и катионного замещения на свойства  $NiMnSb$  остается мало изученным. Это определило цель эксперимента. В работе приведены результаты изучения кристаллической структуры и магнитных свойств твердых растворов замещения  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$ .

**Методы эксперимента.** Составы синтезированы методом твердофазных реакций в вакуумированных кварцевых ампулах. Синтез осуществлён при температуре 1020 К. После выдержки в течении 24 часов образцы подвергались закалке. Изучение кристаллической структуры и оценка фазового состава осуществлена методом дифракции рентгеновских лучей в  $Cu K\alpha$  – излучении при комнатной температуре. Температурные зависимости удельной намагниченности  $\sigma = f(T)$  и обратной величины магнитной восприимчивости  $1/\chi = f(T)$  изучены в магнитном поле с индукцией  $B = 0,86$  Тл пондеромоторным методом в диапазоне температур  $\sim 80 - 900$  К.

**Результаты эксперимента.** На рис. 1 представлены рентгенограммы твердых растворов  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$  в диапазоне углов  $20^\circ \leq 2\Theta \leq 97,5^\circ$  и концентрационные зависимости параметра элементарной кристаллической ячейки. При комнатной температуре твердые растворы  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$  имеют кристаллическую структуру кубической сингонии типа  $MgAgAs$  ( $C1_b$ ) пространственной группы  $F\bar{4}3m$ . На рентгенограмме исходного соединения присутствует рефлекс слабой интенсивности принадлежащий антимоиду никеля ( $NiSb$ ). Граница существования твердых растворов находится в интервале концентраций  $0,30 \leq x \leq 0,40$ . При увеличении замещения никеля магнием на рентгенограммах появляются дифракционные

рефлексы антимонида марганца (MnSb), интенсивность дифракционных рефлексов которых по мере увеличения содержания магния увеличивается.

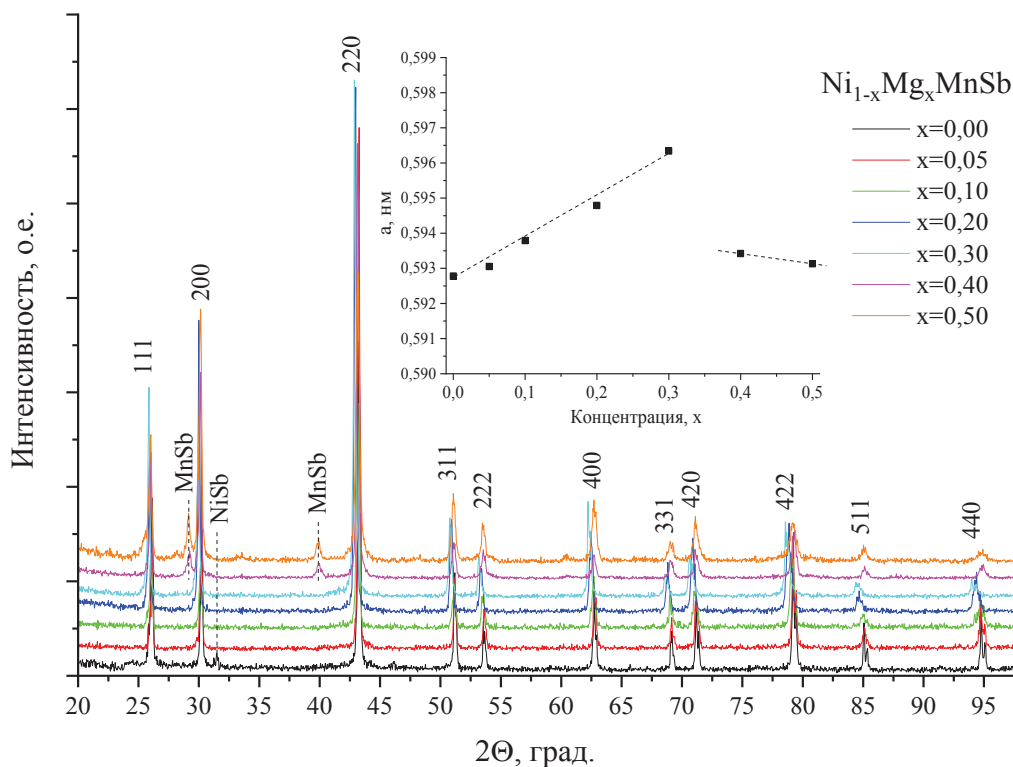


Рис 1. Рентгенограммы твердых растворов  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$ . На вставке представлены концентрационные зависимости параметра  $a$ .

Численные значения величин, характеризующих размеры кубических элементарных кристаллических ячеек, объемов элементарных ячеек и рентгеновская плотность твердых растворов  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$  при  $T \sim 300$  К, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения параметра  $a$ , объемов элементарных ячеек  $V$  и рентгеновской плотности  $\rho_{рен}$  твердых растворов  $Ni_{1-x}Mg_xMnSb$

$x$	$a, \text{нм}$	$V, 10^{-2} \text{нм}^3$	$\rho_{рен}(\text{г}/\text{см}^3)$
0,00	0,592(8)	20,832	7,52
0,05	0,593(1)	20,863	7,44
0,10	0,593(8)	20,937	7,36
0,20	0,594(8)	21,043	7,21
0,30	0,596(3)	21,203	7,05
0,40	0,593(4)	20,895	7,04
0,50	0,593(1)	20,863	6,95

Зависимости  $a = f(x)$  демонстрируют линейное изменение постоянной  $a$  элементарной кристаллической ячейки твердых растворах с увеличением содержания магния (выполнение правила Вегарда) в пределах границы растворимости.

Результаты измерений удельной намагниченности и обратной магнитной восприимчивости исследуемых твердых растворов представлены на рис. 2.

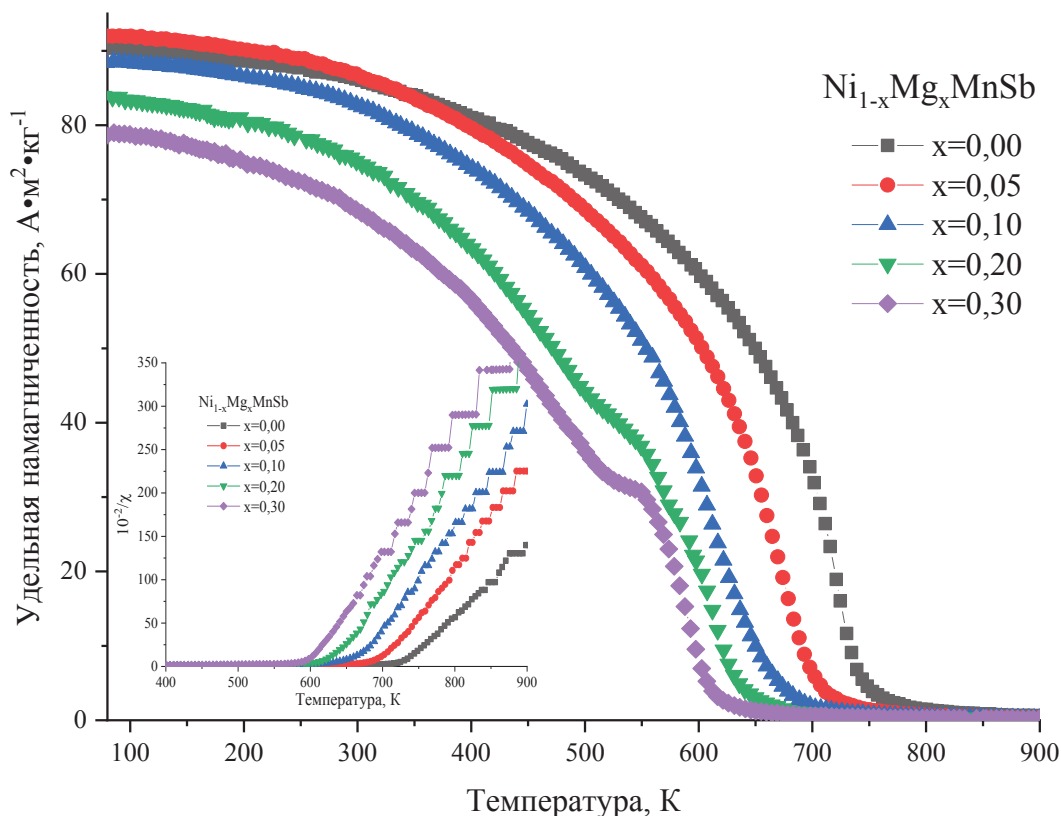


Рис 3. Температурные зависимости удельной намагниченности твердых растворов  $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MnSb}$ . На вставке представлены температурные зависимости величины обратной магнитной восприимчивости.

Наибольшим значением удельной намагниченности обладают твердые растворы  $\text{Ni}_{0,95}\text{Mg}_{0,05}\text{MnSb}$ . При дальнейшем увеличении концентрации магния в твердых растворах происходит уменьшение удельной намагниченности. Величины температур фазового превращения «магнитный порядок – магнитный беспорядок» в твердых растворах системы  $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MnSb}$  определены с использованием зависимости квадрата удельной намагниченности  $\sigma^2 = f(T)$ . Величины удельной намагниченности, средних магнитных

моментов при  $\sim 80\text{K}$  и температуры разрушения упорядоченного магнитного состояния твердых растворов  $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MnSb}$  представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Численные значения величин удельной намагниченности  $\sigma_{80\text{K}}$ , средних магнитных моментов  $\mu_{80\text{K}}$  и температуры Кюри  $T_C$  твердых растворов  $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MnSb}$

$x$	$\sigma_{80\text{K}}, \text{A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\mu_{80\text{K}}, \mu_B$	$T_C, \text{K}$
0,00	90,37	3,81	725
0,05	91,99	3,85	674
0,10	88,41	3,67	612
0,20	83,88	3,43	-
0,30	78,59	3,17	-

Проекция к оси  $T$  парамагнитной составляющей зависимостей  $10^{-2}/\chi = f(T)$  находится в положительной области значений температур. Это косвенным путем указывает на ферромагнитную природу обменного взаимодействия в твердых растворах.

**Выводы.** Методом твердофазных реакций впервые синтезированы растворы замещения  $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MnSb}$  в интервале концентраций  $0,00 \leq x \leq 0,50$ . Рентгеноструктурные исследования показали, граница существования однофазных твердых растворов находится в интервале концентраций  $0,30 \leq x \leq 0,40$ . Выявлено, что температура фазового превращения «магнитный порядок – магнитный беспорядок» исследованных твердых растворов уменьшается по мере увеличения замещения никеля магнием от 725 К для  $\text{NiMnSb}$  до 612 К для  $\text{Ni}_{0,80}\text{Mg}_{0,10}\text{MnSb}$ . Твердые растворы в интервале  $0,20 \leq x \leq 0,30$  демонстрируют магнитную двухфазность, что может свидетельствовать о термической неустойчивости твердых растворов в указанном интервале.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Katsnelson, M.I. Half-metallic ferromagnets: From band structure to many-body effects / M.I. Katsnelson, V.Yu. Irkhin, L. Chioncel et al. // *Reviews of Modern Physics*. – 2008. – 80, 2. – С. 315–378.
2. De Groot, R.A. New Class of Materials: Half-Metallic Ferromagnets / R.A. De Groot, F.M. Mueller, P.G. Engen, K.H.J. Buschow // *Phys. Rev. Let.* – 1983. – Vol. 50. – P. 2024-2027.