

ускорений. Спектры обработаны по программам FfitA и FCFCORE_3. Мессбауэровские данные позволили уточнить магнитные свойства атомов железа, а также различить магнитные свойства атомов сурьмы и олова, которые статистически распределены по позициям металлоида в структуре никельарсенидного типа.

По результатам магнитных и мессбауэровских измерений показано существование спинстекольного состояния в антимониде железа $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ со структурой типа B8 в области температур $20\text{K} \leq T \leq 130\text{K}$.

Сурьма в $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ при $T=77\text{K}$ в магнитных взаимодействиях не участвует, в отличие от олова, введенного в состав антимонида в качестве мессбауэровского зонда.

Значение температуры магнитного фазового перехода $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$, определенное по мессбауэровским данным, составляет $T_N=150\text{K}$, что выше $T_N=130\text{K}$, полученной из температурных измерений намагниченности.

Список использованных источников

1. M.F. Thomas, T.M. Ткаченко. Сверхтонкие магнитные взаимодействия в антимониде железа на ^{57}Fe , ^{121}Sb и ^{119}Sn . ФНТ, 2013. Том 39, N 12, с.1346-1349.
2. Y.F. Guo, Y.G. Shi, S. Yu, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Phys.C:Superconductivity 470, S428 (2010).

Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент,

Белорусский государственный аграрный технический университет.

Минск, Республика Беларусь

Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с.

НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, РБ

А.И. Мартынюк, ст. преподаватель

Международный университет "МИТСО". Минск, Республика Беларусь

СПЛАВ $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ - МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕФРИЖЕРАТОРОВ

В последние годы значительно вырос интерес к возможностям магнитного охлаждения с помощью магнитных – твердотельных хладагентов и созданию рефрижераторов, основанных на таком охлаждении [1–2]. Причиной этого интереса является перспектива снижения в магнитных рефрижераторах затрат энергии на 20–30 % по сравнению с холодильными устройствами, работающими по технологии газового сжатия. Кроме того, использование магнитных рефрижераторов позволило бы исключить выброс вредных газовых составляющих. Магнитокалорический эффект (МКЭ) достигает наибольшего значения в области магнитных фазовых

переходов. К числу материалов обладающих данным эффектом относятся материалы на основе MnAs [3].

Цель работы – синтез монокристалла и поликристаллического порошка $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$, изучение магнитных свойств и МКЭ в твердом растворе $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$, обладающим магнитным фазовым переходом в области комнатных температур.

Монокристаллы $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ были получены выращиванием по методу Стокбаргера-Бриджмена в вакуумированных кварцевых ампулах с коническим наконечником. Диаметр используемой ампулы составлял 6–10 мм при угле конуса ампулы 45° . Ампула опускалась из зоны расплава вдоль зоны кристаллизации со скоростью 2–3 мм/час. Для улучшения условий зарождения и роста монокристаллов внутренняя поверхность кварцевой ампулы покрывалась тонким слоем оксида алюминия.

Для определения фазового состава были измерены дифрактограммы в $\text{CuK}\alpha$ излучении на порошковых образцах при $T = 285$ К. Анализ дифрактограмм показал, что образцы являются однофазными. Из результатов рентгенографических исследований следует, что $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ обладает кристаллической структурой типа NiAs с пространственной группой $R\bar{6}/mmm$.

Были выполнены измерения полевых зависимостей намагниченности в магнитном поле до 100 кЭ при последовательном повышении температуры (с небольшим шагом ΔT) перехода. При температурах вблизи T_u наблюдаются скачки намагниченности в полях, превышающих критическое значение H_{cr} . Этот эффект связан с тем, что при $H > H_{cr}$ магнитное поле индуцирует в парамагнитной фазе ферромагнитное упорядочение. Вблизи H_{cr} наблюдается заметный полевой гистерезис, что указывает на сосуществование метастабильных парамагнитных и ферромагнитных фаз. Изотермическое изменение энтропии (ΔS) при заданном изменении магнитного поля H рассчитано, используя соотношение Максвелла.

Из изотерм намагничивания были рассчитаны изотермические изменения энтропии (ΔS) при заданном изменении магнитного поля для ряда температур и построены зависимости $-\Delta S(T)$.

Было найдено, что максимальное изменение магнитной энтропии для $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ составляет примерно 28 Дж/кг·К для изменения магнитного поля от 0 до 100 кЭ.

Оценка МКЭ вычисленная используя соотношение Максвелла, является несколько не корректной, поскольку при таких вычислениях не учитывается наличие сильного гистерезиса намагниченности в области перехода, что является характерным для фазовых переходов первого рода.

Оценить изменение энтропии магнитной подсистемы можно на основе уравнения Клапейрона–Клаузиуса, справедливого для фазовых переходов

первого рода. Если при этом переходе происходит скачок намагниченности ΔI при критическом поле H_{cr} , то выполняется соотношение:

$$dH_{cr}/dT = -\Delta S_T / \Delta I \quad (4),$$

где ΔS_T - скачок энтропии вследствие структурной трансформации кристаллической решетки.

Учитывая, что $\Delta I = \Delta \sigma \cdot \rho$, $\Delta \sigma = 100 \text{ emu/g}$, $\rho = 6.5 \text{ g/cm}^3$, $dH_{cr}/dT = 0.2 \cdot 10^4 \text{ Oe/K}$, получим $\Delta S_m = 16,3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса учитывает, что вследствие магнито-структурного перехода происходят скачки как намагниченности, так и объема элементарной. Вычисления по формуле Максвелла могут давать завышенные значения ΔS , поскольку вносится ошибка из-за скачкообразного изменения намагниченности почти вблизи H_{cr} , а также сосуществования ферро- и парамагнитной фаз в области перехода. Таким образом, реализация высоких значений магнитокалорического эффекта за счет изменения магнитной энтропии в области магнитного перехода лимитируется наличием неоднородных магнитных состояний и смеси гексагональных и ромбоэдрических кристаллических фаз в области перехода.

Список использованных источников

1. Franco V. Magnetocaloric effect: From materials research to refrigeration devices / V. Franco, J.S. Blazquez, J.J. Ipus, J.Y. Law, L.M. Moreno-Ramirez, A. Conde // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 93. – P. 112–232.

2. Gschneidner K. A. The Magnetocaloric Effect, Magnetic Refrigeration and Ductile Intermetallic Compounds / K.A. Gschneidner // Acta Materialia. – 2009. – Vol. 57. – P. 18–28.

3. Материал для магнитного холодильника : пат. 19913 Респ. Беларусь, МПК F 25B 21/00, F 25B 9/00, C 09K 5/14, H 01L 37/04/ В.И. Митюк, Г.А. Говор, Н.Ю. Панкратов, С.А. Никитин// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1. – С. 111–112.

4. Материал для магнитных рефрижераторов на основе монокристаллов арсенида марганца: пат. 16493 Респ. Беларусь, МПК C 30B 29/10, H 01F 1/01, C 01G 45/00 / В.И. Митюк, Г.А. Говор, В.М. Рыжковский// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4. – С. 120–121.

Тульев В. В., к.ф.-м.н., доцент,

Белорусский государственный технологический университет, Минск

Мышковец М.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ГРУБИНЕ В СТРУКТУРАХ Me/Ti, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

Метод ионно-ассистированного осаждения покрытий в вакууме является перспективным методом модифицирования состава и свойств поверх-