

6. J.Ni, T.Y.Ma, X.G.Cui, Y.R.Wu, M.Yan. Improvement of corrosion resistance and magnetic properties of Nd–Fe–B sintered magnets by Al85Cu15 intergranular addition // Journal of Alloys and Compounds. 2010. V. 502, Issue 2. P. 346-350.
7. H. Yang, S. Mao and Z. Song. The effect of absorbed hydrogen on the corrosion behavior of sintered NdFeB magnet// Materials and Corrosion. 2012, V.63, No. 4. P.292-296.
8. M.Budzynski, V.Constantin, et all. Mössbauer Effect study of treated Nd2Fe14B // Nukleonika. 2015. V.60 (1), P.7-10. DOI: 10.1515/nuka-2015-0003.
9. T.Zak, N.Talijan, et all. NdFeB Permanent Magnets with various Nd Content // Acta Phys. Polonica A. 2008.V.113. P. 279-282.

Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент;

Белорусский государственный аграрный технический университет,

Минск Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с.

НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ

ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ IV-VI ГРУПП

Как известно, магнитные материалы широко применяются в энергетике и электротехнике – постоянные магниты, сердечники трансформаторов, магнитные системы электрических машин. Для применений в качестве постоянных магнитов используют, например, углеродистые и вольфрамовые стали, магниты состава неодим-железо-бор, для изготовления сердечников трансформаторов – магнитомягкие пермаллои, альсиферы, низкоуглеродистые кремнистые стали. Однако развитие техники требует соответствующих изменений в ее материальной базе, что стимулирует постоянный поиск и исследование новых магнитных материалов. С этой целью были получен и исследован ряд новых магнитных материалов на основе антимонидов, станнидов, фосфидов и арсенидов марганца, кобальта, железа, никеля [1-6].

Наиболее интересным из перечисленного списка представляется антимонид марганца состава $Mn_{1+x}Sb$ ($0 \leq x \leq 0.22$) со структурой типа B8. Этот сплав и другие сплавы на его основе наиболее интересны из всех полученных нами с практической точки зрения, так как они находят широкое применение в качестве материалов для магнитооптической записи информации, материалов электродов литиевых аккумуляторных батарей, материалов термодатчиков [7]. На основе антимонида марганца созданы новые композиционные материалы [8], которые могут найти применение для создания магниточувствительных диодных структур, магнитных переключателей и сенсоров магнит-

ных полей, созданы наноструктурированные гибридные материалы с высокими критическими температурами, эти материалы используют даже в качестве материала постоянного магнита [9] и т.п.

На основе известного антимонида марганца MnSb нами были получены и исследованы твердые растворы с медью, цинком, алюминием и кремнием. Синтез каждого сплава проводился прямым сплавлением компонентов с последующей термообработкой в вакуумированных кварцевых ампулах. Компоненты брались в соответствующих весовых соотношениях с целью получения сплава точного состава. В работе выполнены структурные, магнитные и мессбауэровские исследования.

Структура всех полученных материалов (на порошковых образцах) была исследована методом рентгенографического фазового анализа в $\text{CuK}\alpha$ -излучении при комнатной температуре. Материалы однофазны и соответствовали структурному типу B8.

Исследования магнитных свойств – удельной намагниченности и температуры Кюри - проведены на установке, работающей по методу Фарадея в поле 8.6Т при температуре 77К–700К.

Для уточнения структурных и магнитных свойств были проведены также Мессбауэровские исследования. Эксперимент был выполнен в геометрии прохождения и режиме постоянных ускорений, температуры измерений составляли 77К и 291К. Использован источник γ -излучения $^{57\text{m}}\text{Co}$ (Rh). Мессбауэровские параметры были рассчитаны относительно α -Fe.

Результаты – структурные параметры решеток, удельные намагниченности и температуры Кюри – для материалов, полученных на основе антимонида марганца, приведены в таблице 1. Мессбауэровские исследования подтвердили структурные и магнитные характеристики.

Таблица 1. Структурные и магнитные характеристики твердых растворов на основе антимонида марганца со структурой типа B8.

Состав	a [Å]	c [Å]	σ [emu/g]	T_c [K]
$\text{Mn}_{1,1}\text{Sb}$	4.157	5.757	99.7	520
$\text{MnZn}_{0,1}\text{Sb}$	4.150	5.758	97.9	570
$\text{MnCu}_{0,1}\text{Sb}$	4.133	5.770	97.8	590
$\text{Mn}_{1,2}\text{Sb}$	4.197	5.723	92.9	540
$\text{Mn}_{1,1}\text{Zn}_{0,1}\text{Sb}$	4.175	5.726	90.2	570
$\text{Mn}_{1,1}\text{Cu}_{0,1}\text{Sb}$	4.164	5.775	90.5	580
$\text{Mn}_{1,5}\text{Sb}$	4.281	5.648	26	230
$\text{Mn}_{1,4}\text{Zn}_{0,1}\text{Sb}$	4.302	5.656	27	260
$\text{Mn}_{1,3}\text{Cu}_{0,2}\text{Sb}$	4.236	5.674	44	350
$\text{Mn}_{1,2}\text{Cu}_{0,3}\text{Sb}$	4.243	5.671	38	450*
$\text{Mn}_{1,1}\text{Si}_{0,1}\text{Sb}_{0,9}$	4.167	5.742	93	470
$\text{Mn}_{1,1}\text{Al}_{0,1}\text{Sb}_{0,9}$	4.177	5.734	88	465

Из приведенных данных видно, что введение в состав антимонида марганца меди или цинка существенно сказывается на величине намагниченности и температуре Кюри, чем замещение алюминием или кремнием. Высокая точность метода эффекта Мессбауэра позволила рассчитать распределение атомов по подрешеткам структуры и показать, что атомы Cu и Zn предпочтительнее замещают атомы марганца в тригонально-бипирамидальных позициях структуры типа B8, а атомы Al и Si предпочтительнее замещают атомы металлоида- сурьмы - в структурной сетке материала. Именно эта особенность замещений атомов влияет на температуру Кюри.

Полученные в работе магнитные сплавы представляют интерес тем, что их температуры Кюри лежат в области невысоких, близких к комнатным температурам, что важно для решения целого ряда технических задач. Другой важной особенностью полученных сплавов является сильная зависимость их температур магнитных фазовых переходов от степени отклонения состава сплава от стехиометрического. Такой характер зависимости температур Кюри от крайне малых вариаций составов дает практическую возможность выполнять непрерывный ряд материалов с непрерывно-последовательным изменением температуры Кюри на одном и том же соединении – антимониде марганца, что может найти применение в производстве различных термомагнитных устройств.

Список использованных источников

1 Магнитный материал В.И. Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М. Ткаченко. Патент РБ № 11937 (2009).

2 Магнитный материал Г.И.Маковецкий, О.Ф. Демиденко, Т.М.Ткаченко. Патент РБ № 12025 (2009).

3 Магнитный материал В.И. Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М. Ткаченко. Патент РБ № 13034 (2010).

4 Магнитный материал на основе антимонида марганца. В.И.Митюк, В.М.Рыжковский, Т.М.Ткаченко. Патент РБ №16317 (2012).

5 Магнитный материал на основе антимонида кобальта. Галяс А.И.,Маковецкий Г.И., Ткаченко Т.М. Патент РБ №16318 (2012)

6 Магнитный материал. В.И.Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М.Ткаченко Патент РБ №16320 (2012).

7 Negative electrodes for lithium cells and batteries. Vaughey; John T. Fransson; Linda M. L.; Thackeray; Michael M. United States Patent: 6,855,460 (2005).

8 Магниточувствительный композит. Аронзон Б.А., Федорченко И.В., Новодворский О.А.,Маренкин С.Ф. Патент РФ № 2633538.

9 Boron doped manganese antimonide as a useful permanent magnet material. Patent US9968999B2 (2018). Nidhi Singh. Jiji Thomas Joseph Pulikkotil, Anurag Gupta, Kanika Anand, Ajay Dhar, Ramesh Chandra Budhani.