

О СУЩЕСТВОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ФЕРРОМАГНЕТИЗМА В Y_2Ni_7 И ВЛИЯНИИ МАЛЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ НИКЕЛЯ АЛЮМИНИЕМ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭТОГО СОЕДИНЕНИЯ

*Р.З.Левитин, А.С.Маркосян, А.Б.Петропавловский,
В.В.Снегирев*

Результаты исследования магнитных свойств интерметаллида Y_2Ni_7 и системы $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$ ($x \leq 0,1$) свидетельствуют о том, что в Y_2Ni_7 уровень Ферми расположен на участке с резкой зависимостью плотности состояний от энергии. Явления температурно-индуцированного ферромагнетизма, обнаруженного ранее в Y_2Ni_7 , не найдено.

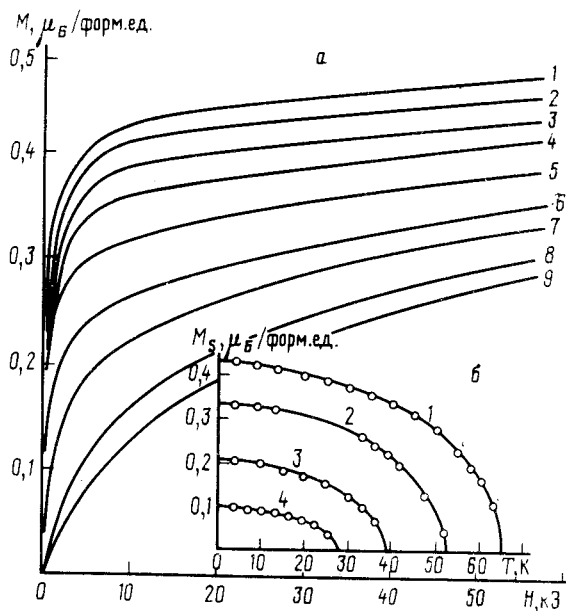
Магнитные свойства интерметаллического соединения Y_2Ni_7 в последние годы привлекают пристальный интерес исследователей. Этот интерес обусловлен тем, что согласно данным работ ^{1,2} Y_2Ni_7 в основном состоянии является парамагнетиком, а ферромагнитное упорядочение возникает в этом соединении выше 7 К и существует до температуры Кюри 58 К. Такое явление, получившее название температурно индуцированного ферромагнетизма, было ранее предсказано Шимизу ³ в рамках зонной теории магнетизма и обусловлено особенностями плотности состояний магнитных электронов вблизи уровня Ферми $N(E_F)$.

В дальнейшем были сделаны расчеты плотности состояний d -электронов Y_2Ni_7 , что позволило теоретически описать магнитные свойства этого соединения ^{4,5}. В большинстве теоретических работ делается вывод о существовании температурно-индуцированного ферромагнетизма в Y_2Ni_7 , хотя имеется исследование ⁶, в котором высказывается сомнение в его реальности. Что касается экспериментального состояния этой проблемы, то здесь также имеются противоречия. Температурно индуцированный ферромагнетизм в Y_2Ni_7 наблюдался в ^{1,2} и на некоторых образцах этого соединения в ⁷, в то время как по данным работы ⁸ Y_2Ni_7 является типичным очень слабым зонным ферромагнетиком.

С целью выяснения магнитного состояния Y_2Ni_7 мы синтезировали это соединение и исследовали его магнитные свойства. Кроме того, для анализа влияния смещения уровня Ферми и изменения обменных взаимодействий на свойства Y_2Ni_7 , исследовались смешанные соединения $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$.

Образцы для измерений выплавлялись из исходных элементов (чистотой Y – 99,94%, Ni – 99,99%, Al – 99,85%) в индукционной электропечи в медном водоохлаждаемом тигле, обеспечивающем квазилевитацию расплава. Полученные слитки отжигались в вакууме при температуре 1050°С в течение 150–180 часов, содержание примесных магнитных фаз контролировалось рентгеновским и терромагнитным методами, что позволяло выявлять наличие примесных магнитных фаз до 0,1% и немагнитных до 2%. Поскольку отклонение состава от стехиометрии может сильно модифицировать магнитное поведение Y_2Ni_7 , нами производилась оптимизация состава этого интерметаллида. Оказалось, что области гомогенности не наблюдается и однофазным является только стехиометрическое соединение состава 2 : 7. Параметры решетки этого соединения (гексагональная структура типа Gd_2Co_7) $a = 4,945 \pm 0,003 \text{ \AA}$, $c = 36,19 \pm 0,03 \text{ \AA}$ близки к литературным ⁸.

На рис. а показаны кривые намагничивания Y_2Ni_7 при различных температурах. Видно, что у этого соединения не наблюдается явления температурно индуцированного ферромагнетизма. При низких температурах спонтанная намагниченность отлична от нуля, а ее зависимость от температуры не обнаруживает каких-либо аномалий: при повышении температуры спонтанная намагниченность монотонно уменьшается и исчезает при температуре Кюри 65 К, значение которой близко к значениям T_C из других работ ^{1,7,8}. Экстраполированная к 0 К спонтанная намагниченность ($\mu_s = 0,43 \mu_B/\text{ф.ед.}$) мало отличается от найденной работе ⁸, в которой не наблюдалось температурно-индуцированного ферромагнетизма.



а) – Изотермы намагничивания интерметаллида Y_2Ni_7 при различных температурах: 1 – $T = 4,2 \text{ К}$; 2 – 13 К ; 3 – 25 К ; 4 – 35 К ; 5 – 45 К ; 6 – 55 К ; 7 – 60 К ; 8 – 66 К ; 9 – 69 К .

б) Температурные зависимости спонтанной намагниченности некоторых составов системы $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$: 1 – $x = 0,0$; 2 – $0,008$; 3 – $0,016$; 4 – $0,025$

Отметим, что изменение технологических параметров (чистоты исходных компонентов, температуры и длительности отжига и т.д.) слабо влияет на магнитные параметры Y_2Ni_7 .

Мы высказали предположение, что несовпадение наших результатов с результатами работ ^{1,2}, в которых был обнаружен температурно-индуцированный ферромагнетизм, связано с присутствием в использовавшихся образцах соединения Y_2Ni_7 некоторого количества немагнитных примесей, что приводит к смещению уровня Ферми в сторону меньших энергий и ослаблению обменных взаимодействий. Это, согласно теоретическим расчетам ^{4,5}, может приводить к температурно индуцированному ферромагнетизму. Для проверки этого предположения нами были изучены замещенные составы $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$ с небольшими концентрациями алюминия, не изменяющими исходную кристаллическую структуру типа Gd_2Co_7 . Оказалось, что действительно малые замещения никеля алюминием очень сильно уменьшают как магнитный момент, так и температуру Кюри и составы с $x \geq 0,04$ являются парамагнитными (рис. б). Такое резкое подавление ферромагнетизма указывает на то, что в Y_2Ni_7 плотность состояний на уровне Ферми и величина обмена сильно уменьшаются при замещениях. Однако при этом, как видно из рис. б, температурно индуцированного ферромагнетизма в замещенных составах не возникает: все они являются нормальными очень слабыми зонными ферромагнетиками. Для всех исследованных соединений системы $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$ выполняется известное соотношение $M_s(T)/M_s(0) = [1 - (T/T_C)^2]^{1/2}$ теории зонного магнетизма, описывающее температурную зависимость спонтанной намагниченности очень слабого зонного ферромагнетика ⁹.

Таким образом, из наших данных следует, что интерметаллид Y_2Ni_7 является нормальным очень слабым зонным ферромагнетиком и не обнаруживает явления температурно-индуцированного ферромагнетизма. По-видимому, отсутствие этого явления в Y_2Ni_7 связано с влиянием спиновых флуктуаций. По оценкам Мориа ⁶ при учете спиновых флуктуаций температурно индуцированный ферромагнетизм в Y_2Ni_7 может наблюдаться при нереалистической зависимости плотности состояний d -электронов от энергии вблизи уровня Ферми: $N'(E_f)/N(E_f) \approx N''(E_f)/N(E_f) \approx 4000 \text{ эв}^{-1}$.

Отметим, что резкая энергетическая зависимость плотности состояний d -электронов вблизи уровня Ферми, следующая из исследований системы $Y_2(Ni_{1-x}Al_x)_7$, делает соединение Y_2Ni_7 удобным модельным объектом для исследования особенностей магнитного поведения зонных электронов в зависимости от положения E_f путем малых замещений.

Когда статья была уже подготовлена к печати, появилось сообщение ¹⁰, что уменьшение магнитного момента Y_2Ni_7 при низких температурах, обнаруженное в ¹ и интерпретированное как явление температурно индуцированного ферромагнетизма, обусловлено наличием в исследованном образце небольших количеств магнитной примеси (гадолия).

Литература

1. Gignoux D. et al. J. Appl. Phys., 1981, 52, 2087.
2. Beille J. et al. Physica B, 1983, 119, 133.
3. Shimizu M., Katsuki A. Phys. Lett., 1964, 8, 7.
4. Shimizu M., Inoue J. Journ. Magn. Magn. Mater., 1986, 54–57, 963.
5. Shimizu M., Inoue J. J. Phys. F: Met. Phys., 1987, 17, 1221.
6. Moriya T. J. Phys. Soc. Jap., 1986, 55, 357.
7. Lehtinen M. et al. Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. AVI, No 430, 1984.
8. Lemaire R. et al. Compt. Rend. B, 1967, 265, 1280.
9. Shimizu M. Rep. Progr. Phys., 1981, 44, 329.
10. Rouault P. Thèse d'Université, Université de Grenoble, 1989.