

Взаимосвязь локальных кристаллических полей с магнитными свойствами псевдобинарных редкоземельных интерметаллидов

Кучин А.Г., Ермоленко А.С., Куликов Ю.А., Розенфельд Е.В., Храбров В.И., Макарова Г.М., Лапина Т.П., Белозеров Е.В.



На примере псевдобинарных редкоземельных интерметаллидов $RNi_{5-x}Cu_x$ показано, что замещение никеля медью в некоторых из них сопровождается необычно сильными изменениями магнитных свойств. Предложена модель, удовлетворительно объясняющая наблюдавшиеся эффекты влиянием случайных локальных кристаллических полей, создаваемых примесными ионами меди, на спектр основного J-мультиплета редкоземельных ионов.

Хорошо известно, что кристаллическое поле играет важную роль в формировании магнитных свойств соединений на основе редкоземельных (R) металлов. Теория кристаллического поля в большинстве случаев удовлетворительно объясняет наблюдающиеся экспериментально магнитные свойства и их температурные изменения в случае упорядоченных интерметаллидов типа R_mT_n , где T – нередкоземельный металл. Много хуже ситуация с описанием свойств псевдобинарных интерметаллидов типа $R_mT_{n-x}M_x$ (M – металл, отличный от R и T), которые являются неупорядоченными твердыми растворами. При таких замещениях сохраняется кристаллическая структура, но нарушается зарядовый порядок, если ионы T и M имеют в кристалле различающиеся электрические заряды. Это приводит к нарушениям локальной зарядовой симметрии ближайшего окружения R ионов, имеющим случайный характер. Последнее и создает обстоятельство, затрудняющее теоретическое описание свойств псевдобинарных редкоземельных соединений.

Целью данного исследования было систематическое экспериментальное исследование магнитных свойств соединений $RNi_{5-x}Cu_x$ и разработка метода их теоретического описания. Исходные соединения RNi_5 являются весьма удобными объектами для решения поставленной задачи. Они имеют простую гексагональ-

ную структуру и практически одну магнитную подрешетку R металла. На фоне слабых обменных взаимодействий и слабой магнитокристаллической анизотропии в базисной плоскости, роль локальных хаотических кристаллических полей (ЛХКП) ожидалась легко выявляемой.

Действительно, нам удалось обнаружить следующие эффекты ЛХКП в псевдобинарных соединениях $RNi_{5-x}Cu_x$:

1. В соединениях $RNi_{5-x}Cu_x$ с $R = Tb, Dy, Ho$, имеющих магнитокристаллическую анизотропию типа «легкая плоскость», наблюдалось резкое уменьшение спонтанного магнитного момента уже при небольших значениях x (рис.1), в то время как в соединениях с $R = Sm, Er, Tm$ с анизотропией типа «легкая ось» это уменьшение было незначительным [1,2].

2. Псевдобинарные соединения $PrNi_{5-x}Cu_x$ в интервале $0.7 \leq x \leq 2.7$ являются ферромагнетиками [3], тогда как крайние соединения этой системы $PrNi_5$ и $PrCu_5$ – парамагнетики Ван Флека. Это хорошо видно из сравнения кривых намагничивания вдоль оси легкого намагничивания b в базисной плоскости монокристаллов соединений $PrNi_5$ и $PrNi_4Cu$, приведенных на рис.2.

3. Во всех псевдобинарных соединениях $RNi_{5-x}Cu_x$, кроме $GdNi_{5-x}Cu_x$, наблюдалась высокая, порядка 10^3 – 10^4 Э, коэрцитивная сила (рис.3), в то время как в исходных бинарных соединениях она составляет единицы Эрстед [1,2].

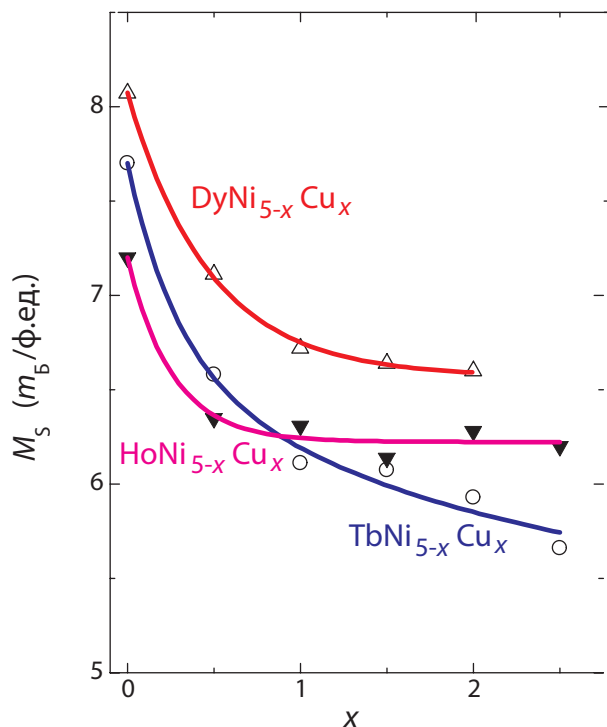


Рис. 1

Концентрационная зависимость спонтанного магнитного момента в соединениях $RNi_{5-x}Cu_x$ при 4.2 К.

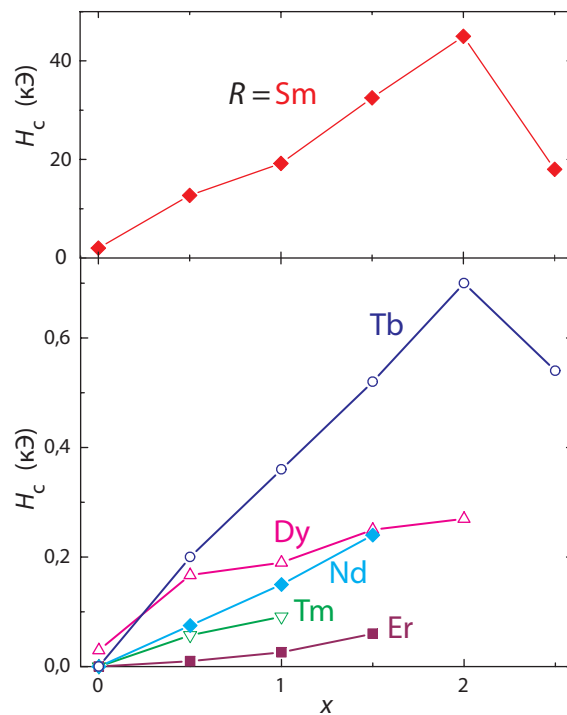


Рис. 3

Зависимость коэрцитивной силы, измеренной вдоль направления легкого намагничивания монокристаллов соединений $RNi_{5-x}Cu_x$ при 4.2К (для $R = Tm$ – при 1.8К), от концентрации меди x .

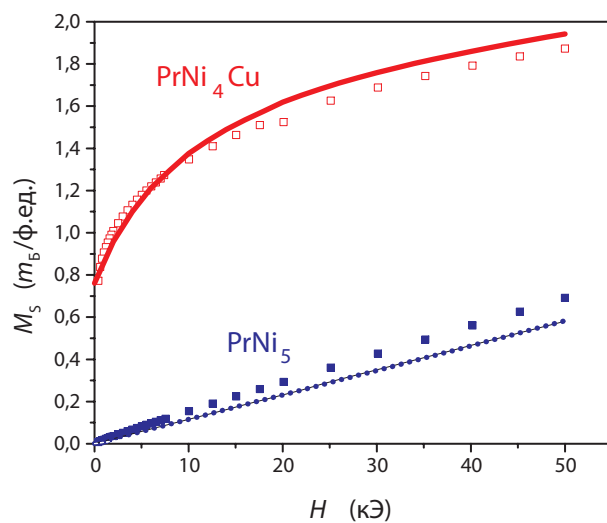


Рис. 2

Кривые намагничивания монокристаллов соединений $PrNi_5$ и $PrNi_4Cu$ вдоль оси b при 1.8К: точки – эксперимент, линии – расчет по нашей модели.

Нами предложена модель, в которой учитывается, что примесные атомы меди, обладая в составе соединений эффективным электрическим зарядом, отличающимся от такового у атомов никеля, создают дополнительные локальные, хаотически ориентированные, кристаллические поля на ближайших к ним редкоземельных ионах. Статистический учет ЛХКП позволил рассчитать кривые намагничивания монокристаллов соединений $RNi_{5-x}Cu_x$ в хорошем согласии с экспериментом и удовлетворительно объяснить все отмеченные выше особенности их магнитных свойств, включая магнитный фазовый переход «парамагнетик – ферромагнетик» в системе $PrNi_{5-x}Cu_x$.

¹ Kuchin A.G., Ermolenko A.S., Kulikov Yu.A., Khrabrov V.I., Rozenfeld Ye.V., Makarova G.M., Lapina T.P., Belozeroz Ye.V., Journal of Magn. Mater. 303 (2006) 119

² Kuchin A.G., Ermolenko A.S., Khrabrov V.I., Kourov N.I., Makarova G.M., Belozeroz Ye.V., Lapina T.P., Kulikov Yu.A., Journal of Magn. Mater. 238 (2002) 29

³ Kuchin A.G., Ermolenko A.S., Khrabrov V.I., Makarova G.M., Belozeroz Ye.V. Journal of Magn. Mater. 159 (1996) L309