

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Захарова М. И., Сорокин А. В., Хунджуа А. Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1984. 25, № 4. С. 80. [2] Васильев Д. М. Физическая кристаллография. М., 1972. [3] Сплавы с эффектами памяти форм. М., 1990.

Поступила в редакцию  
03.12.90

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1991. Т. 32, № 5

УДК 669.866

### СТРУКТУРА И МАГНИТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ФАЗ ЛАВЕСА ТИПА C15

Г. В. Бондарькова, А. С. Илюшин, И. А. Никанорова

(кафедра физики твердого тела)

Представлены результаты теоретического расчета спин-ориентационных магнитных фазовых диаграмм для ряда сечений системы  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Ho}_x)_{1-y}\text{Dy}_y\text{Al}_2$ , температурные и концентрационные зависимости энергии магнитокристаллической анизотропии.

Редкоземельные фазы Лавеса C15 и сплавы на их основе являются перспективными магнитоупругими материалами, уже нашедшими применение в современной технике [1—3]. В качестве основных требований, предъявляемых к их магнитным характеристикам, выделяют в первую очередь два: большую величину магнитоупругости  $\lambda$  и малую энергию магнитокристаллической анизотропии  $W_{ma}$ . Решение поставленной задачи может быть найдено с помощью синтеза фаз Лавеса типа C15, содержащих три или более редкоземельных компонента.

Эмпирический поиск сплавов с оптимальными магнитными характеристиками сопряжен со значительными экспериментальными трудностями, большей части которых можно избежать, если использовать расчетные методы [4]. Из работ [3, 4] известно, что для редкоземельных фаз Лавеса можно вполне корректно провести расчеты на основе теории кристаллического поля для одноионной модели, в которой при ограниченном числе подгруппочных параметров удается связать электронные свойства редкоземельных ионов с магнитными и структурными состояниями сплавов с оптимальными магнитоупругими характеристиками. Методика таких численных расчетов подробно изложена в работе [4].

Интерметаллические соединения  $\text{RAI}_2$  и многокомпонентные сплавы на их основе, изоструктурные фазам Лавеса типа C15, являются удобными модельными объектами для всесторонних теоретических и экспериментальных исследований. Теоретическое описание обменных магнитных взаимодействий в них сравнительно

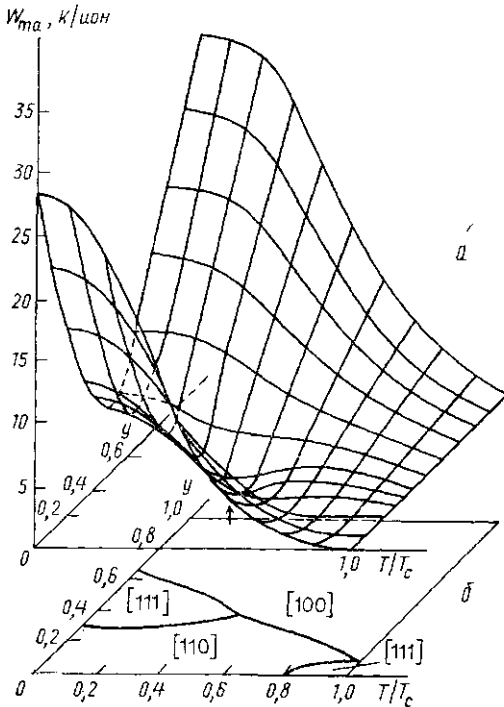


Рис. 1. Температурные и концентрационные зависимости энергии магнитокристаллической анизотропии  $W_{ma}$  (а) и спин-ориентационная магнитная фазовая диаграмма (б) для сплавов системы  $(\text{Tb}_{0,5}\text{Ho}_{0,5})_{1-y}\text{Dy}_y\text{Al}_2$

просто, так как алюминий — немагнитный металл и необходимо учитывать только взаимодействие между R-ионами. Гигантская величина спонтанной магнитострикции вызывает при магнитных фазовых переходах структурные фазовые переходы дисторсионного типа, которые достаточно легко удается исследовать с помощью низкотемпературной рентгеновской дифрактометрии поликристаллов и проводить качественные измерения магнитоупругих свойств.

Цель настоящей работы — теоретический расчет спин-ориентационных магнитных фазовых диаграмм для ряда сечений квазитернарной системы  $(Tb_{1-x}Ho_x)_{1-y}Dy_yAl_2$  и изучение температурных и концентрационных зависимостей энергии магнитокристаллической анизотропии  $W_{ма}$  для этих сечений, а также экспериментальное изучение структурных и магнитоупругих свойств для сплавов, у которых при определенных условиях полностью скомпенсирована магнитная анизотропия. Методика теоретических расчетов и значения параметров кристаллического поля для редкоземельных фаз Лавеса  $RAI_2$  подробно описаны в работах [4, 5], а детали эксперимента изложены в [6].

Состав		$T_{sr}/T_c$	
$x$	$y$	расчет	эксперимент
0,45	0,345	0,60	0,60
0,50	0,365	0,49	0,50
0,55	0,380	0,39	0,38
0,60	0,395	0,30	0,30
0,65	0,410	0,20	0,21

В результате проведенных расчетов было установлено, что состояния сплавов с полностью скомпенсированной магнитной анизотропией отвечают тройным точкам на спин-ориентационных магнитных фазовых диаграммах. В таких точках одновременно сходятся три магнитоупорядоченные фазы с осями легкого намагничивания вдоль направлений [100], [110] и [111]. На рис. 1, б приведена магнитная фазовая диаграмма для сплавов системы  $(Tb_{0,5}Ho_{0,5})_{1-y}Dy_yAl_2$ , а на рис. 1, а изображены температурные и концентрационные зависимости энергии магнитокристаллической анизотропии  $W_{ма}(T, y)$  для сплавов этой же системы. Видно, что  $W_{ма}=0$  именно в тройной точке (показана стрелкой). Аналогичные зависимости были обнаружены и в ряде других сечений квазитернарной системы  $(Tb_{1-x}Ho_x)_{1-y}Dy_yAl_2$ .

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено пять сплавов, для которых расчеты предсказывали компенсацию магнитной анизотропии. Составы этих сплавов приведены в таблице. Основной целью низкотемпературных рентгеновских измерений было выяснение согласия рассчитанных температур спиновой переориентации с определенными экспериментально, а также измерение коэффициентов спонтанной анизотропной магнитострикции  $\lambda_{111}$  и  $\lambda_{100}$  и изучение их зависимости от температуры.

Во всех пяти сплавах закономерности структурных изменений имели общий характер, поэтому ниже будут подробно рассмотрены только результаты, относящиеся к одному сплаву состава  $x=0,5$ ;  $y=0,365$  с температурой Кюри  $T_c=63$  К.

При охлаждении сплава от 300 до 63 К его рентгенодифракционный спектр не меняется, что свидетельствует о стабильности кубической структуры типа  $C15$  в этом тем-

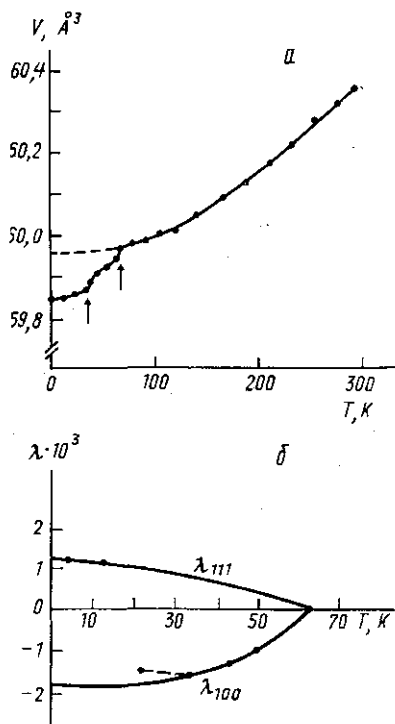


Рис. 2. Температурные зависимости объема  $V(T)$ , приходящегося на формульную единицу сплава  $(Tb_{0,5}Ho_{0,5})_{0,635}Dy_{0,365}Al_2$  (а) и констант анизотропной магнитострикции  $\lambda_{111}(T)$  и  $\lambda_{100}(T)$  (б)

пературном интервале. Дальнейшее охлаждение сплава сопровождается изменениями формы профилей дифракционных максимумов, причем характер этих трансформаций зависит от температуры. Проведенный анализ рентгеновских данных показал, что в интервале температур от 63 до 32 К структура сплава имеет тетрагональные искажения. Это указывает на то, что ось легкого намагничивания в сплаве параллельна [100]. Ниже 32 К и вплоть до 4,2 К структура сплава искажена ромбоэдрически, т. е. ось легкого намагничивания параллельна направлению [111]. При 32 К в сплаве происходит спиновая переориентация оси легкого намагничивания от направления [100] к направлению [111].

На рис. 2, а приведена кривая температурной зависимости объема  $V(T)$ , приходящегося на формульную единицу сплава. Видно, что переход сплава в магнитоупорядоченное состояние при  $T_c=63$  К и спиновая переориентация при  $T_{sr}=32$  К сопровождаются аномалиями теплового расширения (на рис. 2, а отмечены стрелками).

Температурные зависимости констант анизотропной спонтанной магнитострикции  $\lambda_{111}(T)$  и  $\lambda_{100}(T)$  изображены на рис. 2, б. Соответствующие численные расчеты даны на рис. 2, б сплошными линиями. Проведенная нормировка кривых показала, что значения  $\lambda_{100}$  и  $\lambda_{111}$ , экстраполированные к  $T=0$ , равны соответственно  $-1,8 \cdot 10^{-3}$  и  $1,2 \cdot 10^{-3}$ . Вблизи температуры спиновой переориентации  $T_{sr}$  в сплаве реализуется состояние с оптимальными магнитострикционными характеристиками.

Подобные закономерности обнаружены и в остальных четырех сплавах. Данные эксперимента о температурах спиновой переориентации  $T_{sr}$  в сплавах, приведенные в таблице, хорошо согласуются с расчетными значениями, что свидетельствует в пользу достоверности проведенных расчетов и для  $W_{ма}$ . Вблизи температур, соответствующих компенсации магнитной анизотропии, коэффициенты спонтанной магнитострикции достаточно велики. Отсюда следует, что путем варьирования состава в сплавах системы  $(\text{Tb}_{1-x}\text{Ho}_x)_{1-y}\text{Dy Al}_2$  можно получать вещества с оптимальными магнитострикционными характеристиками в сравнительно широкой температурной области.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белов К. П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. М., 1987. [2] Белов К. П., Звездин А. К., Кадомцева А. М., Левитин Р. З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М., 1979. [3] Илюшин А. С. Введение в структурную физику редкоземельных интерметаллических соединений. М., 1984. [4] Тебеньков Ю. В., Илюшин А. С., Перов А. П. Деп. ВИНТИ № 3415-82. М., 1982. [5] Бондарькова Г. В., Илюшин А. С., Колпаков С. А. Деп. ВИНТИ № 3416-В86. М., 1986. [6] Илюшин А. С., Николаев А. А., Михнев О. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1984. 25, № 5. С. 133.

Поступила в редакцию  
10.01.91

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1991. Т. 32, № 5

УДК 669.863 : 538

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА МАГНИТНУЮ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ВЫСОКОЧИСТЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

С. А. Никитин, Ю. И. Спичкин, А. М. Тишин, О. Д. Чистяков

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Данные по исследованию действия всестороннего сжатия на магнитную восприимчивость в высокочистых редкоземельных металлах используются для определения сдвига температур магнитных фазовых переходов при изменении давления. Рассчитана величина изменения при уменьшении атомного объема интегралов косвенного обмена в редкоземельных металлах Gd, Tb, Dy, Ho, Er.

Изучение влияния давления на температуры магнитных фазовых переходов редкоземельных металлов (РЗМ) может дать информацию о зависимости обменных интегралов от межатомных расстояний в этих веществах [1]. Однако выполненные ранее измерения, проведенные в основном на поликристаллических образцах [2—8], являются недостаточными для получения такой информации, поскольку в поликристаллах трудно исключить вклад в эффект смещения температур магнитных превра-