

возрастает, а затем при $T \approx 15-30$ К выходит на константу. Причиной подобного поведения кривых $E(T)$ проанализированы в [1, 6]. Увеличение концентрации Gd приводит к уменьшению скачка модуля в точке θ_1 .

Из рис. 2 видно, что в окрестности температуры 40 К на кривых Q^{-1} наблюдается гигантский максимум. Установлено, что величина этого максимума сильно зависит от частоты измерения ν . Поскольку вследствие различной зависимости $\nu(T)$ частоты, на которых проводились измерения, в области низких температур отличались при изменении концентрации Gd, то проследить зависимость Q^{-1} от x представлялось возможным только на качественном уровне. Отметим, что максимум внутреннего трения при низких температурах в исследованных сплавах наблюдался даже при малой концентрации Dy, хотя величина пика Q^{-1} при этом сильно уменьшалась. Пик внутреннего трения практически не смещался по температуре и приблизительно соответствовал температуре 40 К. В чистом Gd этот максимум нами не обнаружен.

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что данный максимум в основном связан с наличием в сплавах ионов Dy и может быть обусловлен вращением под действием упругих напряжений векторов спонтанной намагниченности относительно осей легкого намагничивания.

Авторы выражают благодарность О. Д. Чистякову за предоставление образцов для исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бурханов Г. С., Никитин С. А., Тишин А. М. и др. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1993. 34, № 2. С. 46. [2] Шубин В. В. // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1986. [3] Никитин С. А., Спичкин Ю. И., Тишин А. М. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1992. 33, № 5. С. 88. [4] Бодряков В. Ю., Никитин С. А., Тишин А. М. // ФТТ. 1991. 33, № 7. С. 2233. [5] Никитин С. А. Магнитные свойства редкоземельных металлов и их сплавов. М., 1989. [6] Левитин Р. З. // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1962.

Поступила в редакцию
03.07.92

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 2

УДК 669.866.018:448.7

МОРФОТРОПНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СПЛАВАХ КВАЗИБИНАРНОЙ СИСТЕМЫ $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$

А. С. Илюшин, И. А. Никанорова, М. Аль-Дервиш*), Ши Лей**),
Дзо Гуэнь**)

(кафедра физики твердого тела)

Методом рентгеновской дифрактометрии изучен морфотропный фазовый переход в сплавах системы $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$. Установлено, что при изоморфном замещении атомов эрбия атомами тербия структура С14 трансформируется в структуру С15 путем образования в гексагональной плотной упаковке дефектов двух типов.

В настоящей работе изучалось влияние изоморфного замещения атомов эрбия атомами тербия на стабильность гексагональной плотноупакованной фазы Лавеса С14 в квазибинарной интерметаллической системе $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$.

Образцы для исследований выплавлялись из металлов чистотой 99,99% в индукционной печи в атмосфере аргона методом бестигельной плавки [1]. Все слитки переплавлялись по 3-4 раза, после чего запаивались в кварцевые ампулы, наполненные аргоном, и подвергались гомогенизирующему отжигу при 950°C в течение двух недель. Образцы квазибинарной системы $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$ имели следующие составы по x : 0; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,20; 0,22; 0,25; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0.

Порошки для рентгеновского исследования получали путем растирания кусочков сплава в агатовой ступке под слоем этилового спирта. Рентгеновское исследование проводилось на дифрактометре ДРОН-1М в фильтрованном излучении от медного анода.

*) Сирия.

**) Китай.

Рентгеновский анализ двойных интерметаллидов ErMn_2 и TbMn_2 показал, что они являются однофазными. Кристаллическая структура ErMn_2 изотипна структуре фазы Лавеса MgZn_2 (пр. гр. $R\bar{6}_3/mmc-D_{6h}^4$). Элементарная ячейка содержит 12 атомов и имеет параметры: $a=5,273\pm 0,005$ Å и $c=8,632\pm 0,005$ Å; $c/a=1,633$, что соответствует идеальному отношению для гексагональных плотноупакованных структур. Кристаллическая структура интерметаллида TbMn_2 изотипна структуре фазы Лавеса MgCu_2 (пр. гр. $Fd\bar{3}m-O_h^1$). Элементарная ячейка содержит 24 атома и имеет параметр $a=7,620\pm 0,005$ Å. Каких-либо дополнительных максимумов на дифрактограммах интерметаллидов ErMn_2 и TbMn_2 , не относящихся к гексагональной или кубической фазам, не обнаружено.

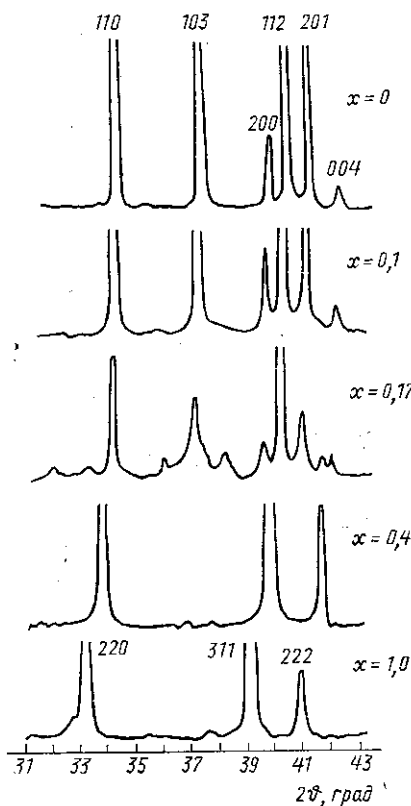


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм сплавов системы $\text{Er}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2$

Анализ рентгеновских дифрактограмм сплавов системы $\text{Er}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2$ (рис. 1) показал, что при изоморфном замещении 10% атомов эрбия атомами тербия ($x=0,1$) структура и фазовый состав сплава не меняются, т. е. сплав остается рентгеновски однофазным и изоструктурным интерметаллиду ErMn_2 .

На дифрактограммах сплава состава $x=0,12$ присутствуют все максимумы, характерные для гексагональной структуры типа C_{14} , но ширина и относительная интенсивность некоторых из них изменилась (максимумы 103, 200, 201 и др.). Подобная трансформация дифракционных картин обнаруживается и в сплавах системы $\text{Er}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2$ составов $x=0,17$; 0,20 и 0,25.

Дифрактограммы сплавов составов $0,3 \leq x \leq 0,8$ по числу, положению, ширине и относительной интенсивности максимумов полностью соответствуют дифрактограмме интерметаллида TbMn_2 , т. е. эти сплавы рентгеновски однофазны и изоструктурны кубической фазе Лавеса C_{15} .

Таким образом, из приведенного выше следует, что сплавы системы $\text{Er}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2$ в области составов $0 \leq x \leq 0,1$ обладают гексагональной структурой типа C_{14} , а в области $0,3 \leq x \leq 1,0$ — кубической типа C_{15} . Сплавы в области промежуточных концентраций $0,12 \leq x \leq 0,25$ можно рассматривать как двухфазные, состоящие из смеси фаз C_{14} и C_{15} .

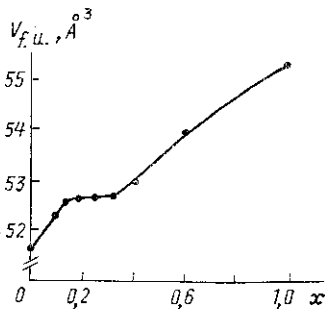


Рис. 2. Кривая концентрационной зависимости объема, приходящегося на формульную единицу, для сплавов системы $\text{Er}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2$

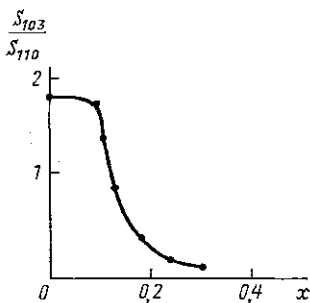


Рис. 3. Отношение интегральных интенсивностей для максимумов 103 и 110

На рис. 2 приведена кривая концентрационной зависимости объема, приходящегося на формульную единицу, для сплавов системы $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$. Из хода кривой $V_{f.u.}(x)$ видно, что объем с ростом x растет немонотонно и в области составов $0,12 \leq x \leq 0,25$ на кривой имеется горизонтальное плато. Наличие плато свидетельствует о том, что в этой области концентраций тербия сосуществуют фазы $C14$ и $C15$ с близкими структурными параметрами.

Отношение интегральных интенсивностей для максимумов 103 и 110 в гексагональной фазе $C14$ для сплавов составов $x=0$ и $0,1$ практически одинаково и составляет величину $1,83 \pm 0,05$. По мере увеличения концентрации тербия в сплаве от $x=0,12$ до $x=0,25$ это отношение монотонно уменьшается (рис. 3). Это говорит о том, что дифракционный максимум 110 на соответствующих дифрактограммах сплавов с гексагональной структурой фактически состоит из суперпозиции двух максимумов: 110 для фазы $C14$ и 220 для фазы $C15$. По изменению отношения интенсивностей максимумов 103 и 110 можно проследить за изменением объемных соотношений фаз $C14$ и $C15$ в сплавах системы $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$.

Итак, можно считать установленным, что в системе $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$ при замещении одного из компонентов (эрбия) другим (тербием) происходит переход структуры типа $C14$ в структуру типа $C15$, т. е. в ней происходит морфотропный переход между структурными типами фаз Лавеса.

Особенности трансформации рентгеновских дифракционных спектров позволяют предполагать, что наряду с наличием смеси фаз $C14$ и $C15$ в промежуточной области составов имеются еще и области, занятые дефектами упаковки [2, 3]. Из рис. 1 видно, что основной особенностью изменения рентгенодифракционных картин сплавов составов $0,12 \leq x \leq 0,25$ является изменение профиля и уширение максимумов с определенными hkl . Проведенный анализ показал, что для гексагональной плотноупакованной структуры типа $C14$ уширяются максимумы, для которых справедливо условие $h-k=3N \pm 1$, и не изменяются те, для которых $h-k=3N$. Этот эффект может быть интерпретирован как эффект от возникновения дефектов упаковки в гексагональных плотноупакованных структурах [4].

Для оценки концентрации дефектов как деформационного, так и двойникового вида по рентгеновским данным нами были использованы развитые в [2--4] подходы. Анализ полученных данных показал, что во-первых, в двухфазной области во всех сплавах возникают преимущественно дефекты упаковки деформационного типа, а концентрация дефектов упаковки двойникового типа не превышает 6% от общего их числа.

Во-вторых, концентрация дефектов деформационного вида с ростом содержания тербия в системе изменяется немонотонно. По нашему мнению, это может быть объяснено следующим образом. Вначале при малом содержании тербия возникающие в сплаве дефекты упаковки имеют небольшую концентрацию и распределены по всему объему кристалла. Затем их концентрация возрастает, и они, коагулируя, образуют области достаточно большой протяженности, т. е., по существу, представляют собой участки кубической фазы $C15$. С последующим увеличением содержания тербия в системе $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$ происходит монотонное увеличение объема, занятого второй фазой со структурой $C15$, а в оставшемся объеме гексагональной фазы $C14$ формируются участки с новыми дефектами упаковки. Основной причиной, определяющей морфотропный фазовый переход в системе $Eg_{1-x}Tb_xMn_2$, по нашему мнению, является размерный фактор, т. е. разница в величинах атомных радиусов эрбия и тербия: $r_{Er} = 1,941 \text{ \AA}$ и $r_{Tb} = 1,954 \text{ \AA}$, а $\Delta r/r \approx 0,022$. Изоморфное замещение атомов эрбия атомами тербия дестабилизирует гексагональную плотноупакованную структуру типа $C14$ и приводит к образованию в ней дефектов упаковки преимущественно деформационного типа, за счет коагуляции которых и возникает новая плотноупакованная кубическая структура типа $C15$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Il'yushin A. S., Wallace W. E. // J. Solid State Chem. 1976. 17. P. 131.
[2] Илюшин А. С. // ФММ. 1977. № 6. С. 1249. [3] Илюшин А. С., Гребенкин В. Т., Кириличева Л. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1981. 22, № 6. С. 41. [4] Warren B. E. // X-Ray Diffraction. N. Y., 1969. P. 298.

Поступила в редакцию
03.07.92