

- [5] Wardzynski W., Baran M., Szynizak H. *Physica*, 1981, vol. 111B, N 1, p. 47—50.
 [6] Mülen K. A., Berlinger W., Albers J. *Phys. Rev. B*, 1985, vol. 32, N 9, p. 5837—5844.
 [7] Кудзин А. Ю., Волнянский М. Д., Антоненко А. М. Сб. научных трудов. «Физика активных диэлектриков», Днепропетровск: ДГУ, 1980, с. 107—119.
 [8] Леонов Е. И., Семенов А. Е., Щербakov А. Г. *ФТТ*, 1986, т. 28, № 5, с. 1590—1592.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
11 декабря 1987 г.

УДК 538.971

Физика твердого тела, том 30, в. 5, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 5, 1988

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АМОРФНЫХ СПЛАВОВ Tb—Co

А. С. Андреенко, Лин Жанда¹

В последние годы интенсивно исследуются физические свойства аморфных сплавов редкоземельных элементов с переходными $3d$ -металлами. Одной из важнейших характеристик металлических сплавов является их электронная структура, определяющая важнейшие магнитные и электрические свойства сплавов. Электронная структура большинства кристаллических соединений поддается теоретическому анализу на основе достаточно достоверных моделей. В аморфных же материалах ввиду отсутствия периодичности в структуре и статистического распределения окружения

ионов теоретический расчет сильно затруднен. В то же время в некоторых работах [1, 2] различия в таких магнитных свойствах как температура Кюри, величина магнитного момента $3d$ -металла и т. д. в кристаллических и аморфных материалах объясняются изменениями в электронной структуре. Поэтому большое значение имеют экспериментальные

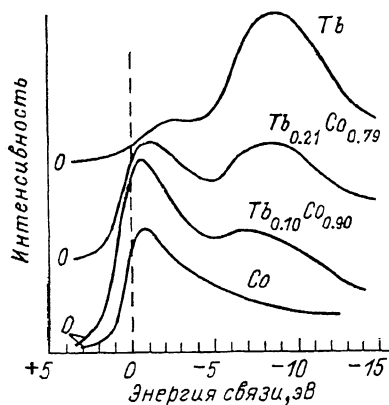


Рис. 1. Фотоэмиссионные спектры поликристаллических Tb, Co и аморфных сплавов Tb_xCo_{1-x} .

работы, в которых непосредственно исследуется электронная структура данных соединений. В настоящей работе представлены результаты исследования методом рентгеновской фотоэмиссионной спектроскопии (XPS) электронной структуры аморфных сплавов Tb_xCo_{1-x} в области температур 300—900 К.

Аморфные сплавы Tb—Co были получены методом ионного напыления. Методика получения аморфных пленок Tb—Co и их характеристики подробно описаны в [3].

Исследования рентгеновских фотоэмиссионных спектров были проведены в области температур 300—900 К на установке ESCA—LAB-5.

В качестве источника рентгеновских лучей использовалась мишень из Mg. Разрешение по энергиям было лучше, чем 0.8 эВ. Для очистки поверхности образцов применялась бомбардировка иона аргона.

На рис. 1 представлены XP спектры, снятые при комнатной температуре в области зоны проводимости в аморфных сплавах Tb_xCo_{1-x} и хими-

¹ Институт физики АН КНР, Пекин.

чески чистых поликристаллических образцах Tb и Co. Как видно из рисунка, спектр поликристаллического Co имеет максимум вблизи уровня Ферми E_F , который обусловлен s - и d -зонами проводимости. Спектр же поликристаллического Tb, имея небольшой максимум вблизи E_F , главную особенность, соответствующую $4f$ -уровню, обнаруживает приблизительно на 8.8 эВ ниже E_F . В сплавах Tb_xCo_{1-x} при возрастании содержания Tb происходит уменьшение интенсивности линии, соответствующей зоне проводимости Co, а также ее уширение и сдвиг в сторону более низких энергий. С другой стороны, $4f$ -уровень тербия с ростом содержания Co несколько сдвигается в сторону более высоких энергий.

На рис. 2 представлены XP спектры, соответствующие внутренним $2p_{3/2}$ и $2p_{1/2}$ уровням поликристаллического Co и аморфного сплава $Tb_{0.21}Co_{0.79}$. Как видно из рисунка, по форме и расположению максимумов эти кривые идентичны. Некоторое отличие в интенсивности связано с условиями эксперимента.

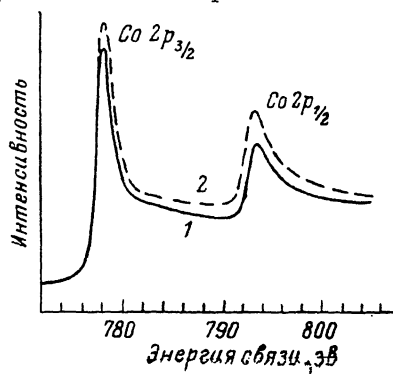


Рис. 2. Фотоэмиссионные спектры $2p_{3/2}$ и $2p_{1/2}$ уровней кобальта в поликристаллическом Co (1) и в аморфном сплаве $Tb_{0.21}Co_{0.79}$ (2).

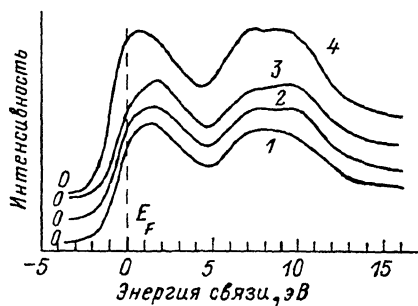


Рис. 3. Фотоэмиссионные спектры аморфного сплава $Tb_{0.21}Co_{0.79}$ при различных температурах.

Т, К: 1 — 300, 2 — 670, 3 — 870, 4 — 300 (после нагрева).

На рис. 3 приведены спектры аморфного сплава $Tb_{0.21}Co_{0.79}$, снятые при различных температурах. Проведенные нами измерения дифференциального термического анализа и электронной дифракции при различных температурах показали, что температура кристаллизации данного сплава находится приблизительно при 800 К, но частичная кристаллизация начинается уже при 650 К. Таким образом, кривая 2 на рис. 3 соответствует частично кристаллизованному сплаву, а кривые 3 и 4 — полностью кристаллизованному.

Как известно, температуры Кюри в большинстве аморфных сплавов редкая земля—кобальт существенно превышают температуры Кюри аналогичных кристаллических соединений [1, 4]. Существуют различные объяснения этого явления. Так, в [1] различие в температурах магнитного упорядочения связывается с уменьшением величины заряда, перенесенного от редкоземельного иона к иону Co в аморфном состоянии по сравнению с кристаллическим. Другая модель, предложенная в [5], предполагает, что в некристаллических материалах вследствие неравновесных процессов изменяется ближний химический порядок, что приводит к увеличению координационного числа для пар Co—Co и уменьшению расстояния между ионами Co, а следовательно, и к увеличению обменного взаимодействия между ними. Измерения фотоэмиссионных рентгеновских спектров в сплавах Tb—Co, проведенные в данной работе, дают дополнительную информацию для решения этой проблемы.

Является очевидным, что перенос электрического заряда от ионов Co к ионам Tb должен привести к изменению электронной структуры ионов. Однако из рис. 2 видно, что внутренняя электронная оболочка Co сохраняется и в аморфном сплаве Tb—Co. Разница в переносе заряда в аморфном

и кристаллическом состояниях должна также сказаться на местоположении и форме максимумов ХР спектров, соответствующих зоне проводимости и $4f$ -уровню. Однако спектры остаются практически неизменными в аморфном и кристаллизованном в результате термообработки сплавах (см. кривые 1 и 4 на рис. 3).

Расчет плотности состояний на уровне Ферми, проведенный по методу отношения площадей, ограниченных кривыми спектров [6], показал, что плотности состояний в аморфных сплавах Tb—Co и кристаллизованных в результате нагревания выше температуры кристаллизации практически совпадают. Небольшое различие в этих спектрах (рис. 3, кривые 1 и 4) наблюдается вследствие уширения максимума, соответствующего $4f$ -уровню. Однако сдвига этого максимума по энергиям, что могло бы свидетельствовать об изменении электронной структуры в результате кристаллизации, не обнаружено.

При нагревании сплавов максимум, прилегающий к уровню Ферми на кривых ХР спектров, несколько сдвигается в сторону более низких энергий (рис. 3, кривые 1, 2, 3). Вследствие этого незначительно падала плотность состояний на уровне Ферми. Этот эффект нельзя объяснить частичной (кривая 2) или полной (кривая 3) кристаллизацией сплава, так как после остывания до комнатной температуры (кривая 4) плотность состояний вновь становилась равна исходной плотности состояний исходного образца. Скорее всего различие в спектрах следует связать с некоторым размытием уровня Ферми под действием температуры.

Таким образом, можно сделать вывод, что электронные структуры аморфных сплавов Tb—Co и их кристаллических аналогов являются идентичными. Это свидетельствует о том, что разница в переносе заряда от ионов Co к ионам Tb пренебрежимо мала и не может служить объяснением существенного различия в температурах Кюри (более 100 К) аморфных сплавов и кристаллических соединений редкая земля—Co.

Л и т е р а т у р а

- [1] Tao L. J., Kirkpatrick S., Gambino L. J., Cuomo J. J. Sol. St. Commun., 1973, vol. 13, N 9, p. 1491—1494.
- [2] Oelhafen P., Liard M., Guhtherodt H. J., Berresheim K., Polaschegg M. D. Sol. St. Commun., 1979, vol. 39, N 10, p. 641—644.
- [3] Никитин С. А., Золотухин И. В., Соловьев А. С., Андреевко А. С., Суходолов Б. Г. ФТТ, 1987, т. 29, № 5, с. 1526—1529.
- [4] Clark A. E. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth, N. Y.: North-Holland Publishing Company, 1978, p. 231—258.
- [5] O'Handley R. C. J. Appl. Phys., 1987, vol. 61, N 8, p. 3225—3227.
- [6] Zhao J. G., Sellmyer D. J. Phys. Rev., 1984, vol. B30, N 5, p. 2913—2919.

Московский государственный
университет имени М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
14 апреля 1987 г.
В окончательной редакции
15 декабря 1987 г.