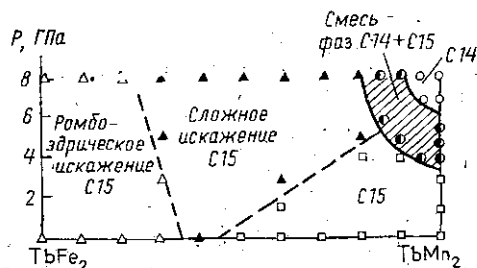


лениях образуется кубическая фаза Лавеса двухфазной областью. По мере увеличения



С15. Эти фазы отделены друг от друга концентрацией железа в системе кубическая фаза С15 претерпевает сложное искажение атомно-кристаллической структуры, а затем структура становится ромбоэдрической.

Итак, нами показано, что методами синтеза сплавов при высоких давлениях в системе $Tb(Fe_{1-x}Mn_x)_2$ удается сформировать метастабильную полиморфную гексагональную модификацию типа С14, в которой при давлении

Фазовая диаграмма квазибинарной системы $Tb(Fe_{1-x}Mn_x)_2$

нии 8 ГПа можно заместить более 5% атомов марганца атомами железа. Это обстоятельство позволило изучить влияние полиморфизма на сверхтонкие магнитные взаимодействия в сплавах этой системы методами мёссбауэровской спектроскопии [5], т. е. установить корреляцию между типом атомно-кристаллической структуры сплавов и их физическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Илюшин А. С. // ФММ. 1977. 43. С. 1249. [2] Стронг Г. // Современная техника сверхвысоких давлений. М., 1964. С. 154. [3] Khvostantsev L. G. // High Temp.-High Pressure. 1977. 9, N 6. P. 637. [4] Илюшин А. С., Кириlicheва Л. А., Перов А. П., Тебеньков Ю. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1983. 24, № 6. С. 18. [5] Илюшин А. С., Никанорова И. А., Русаков В. С. и др. // Тез. докл. 5-го Междунар. совещ. по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий. Дубна, 1993.

Поступила в редакцию
28.06.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1994. Т. 35, № 1

УДК 539.126

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АМОРФНОГО СПЛАВА $Fe_{84}B_{16}$ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

А. А. Новакова, Т. Ю. Киселева, И. А. Александрова
(кафедра физики твердого тела)

Исследованы механизм и кинетика кристаллизации аморфного сплава $Fe_{84}B_{16}$ с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии, термомагнитного анализа, рентгенодифракционного анализа и температурной съемки мёссбауэровских спектров в интервале температур от 25 до 575 °С. Определены температуры кристаллизации, эффективная энергия активации начала кристаллизации, температуры Кюри и температурные зависимости магнитных сверхтонких параметров для аморфной матрицы и выделившихся кристаллических фаз.

Проблема термической стабильности аморфного состояния является одной из важнейших в физике аморфных металлических сплавов, так как в процессе кристаллизации изменяются практически все физические свойства этих материалов. Сочетание возможностей современных методик изучения материалов, таких, как дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), термомагнитный анализ (ТМА), рентгенодифракционный анализ и мёссбауэровская спектроскопия, позволяет дать полное описание процесса кристаллизации, его кинетики и изменения различных физических параметров аморфного состояния.

В данной работе изучался как модельная система аморфный сплав $Fe_{84}B_{16}$, полученный методом сплинигования расплава в виде ленты толщиной 20 мкм и шириной 10 мм. Полученные при этом результаты могут являться базисными при изучении характеристик кристаллизации более сложных систем аморфных сплавов. Аморфность исходного образца была проверена с помощью мёссбауэровской спектроскопии и рентгеновской дифракции.

Начало и кинетика кристаллизации сплава были определены с помощью дифференциального сканирующего калориметра типа ДСК 7 фирмы Перкин Элмер в режиме постоянного нагрева в инертной атмосфере аргона. Анализ кривой ДСК показал наличие двух экзотермических пиков, позволивших определить температуры кристаллизации сплава. Для скорости нагрева 20°/мин температура начала кристаллизации составила 375 °С, температура первого пика — соответствующая кристаллизации фазы α -Fe [1] — 418 °С, а температура второго пика — соответствующая кристаллизации фазы Fe₃B [1] — 441 °С.

Эффективная энергия активации начала кристаллизации, определенная методом Аврами [2] по данным кривых ДСК с разными скоростями нагрева (5, 10, 20, 40°/мин), составила 1,9 эВ.

Для изучения изменения магнитных свойств в процессе кристаллизации аморфного сплава Fe₈₄B₁₆ была использована методика ТМА с наложением магнитного поля $H=2,5$ кЭ и нагревом образца со скоростью 20°/мин в интервале температур от 25 до 700 °С. Таким образом, была получена зависимость намагниченности J_s от температуры (рис. 1, а). По этой зависимости определена температура Кюри аморфного сплава $T_c=320$ °С. Анализ кривой намагниченности позво-

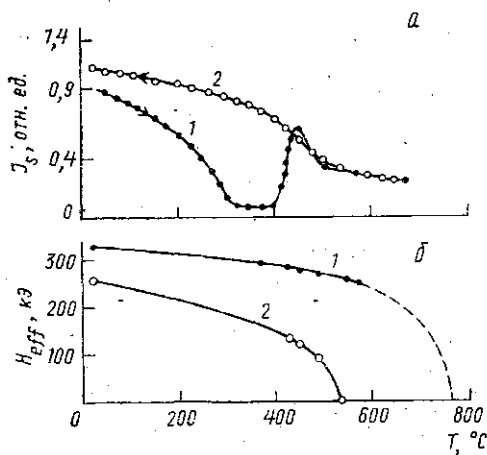


Рис. 1

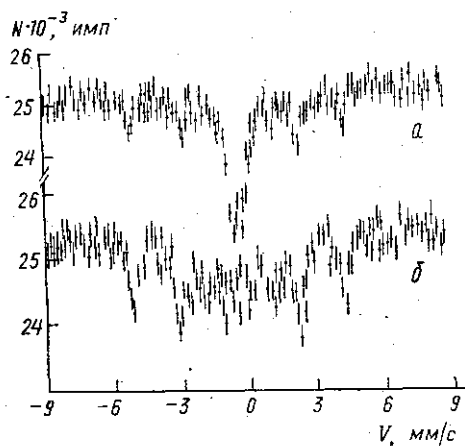


Рис. 3

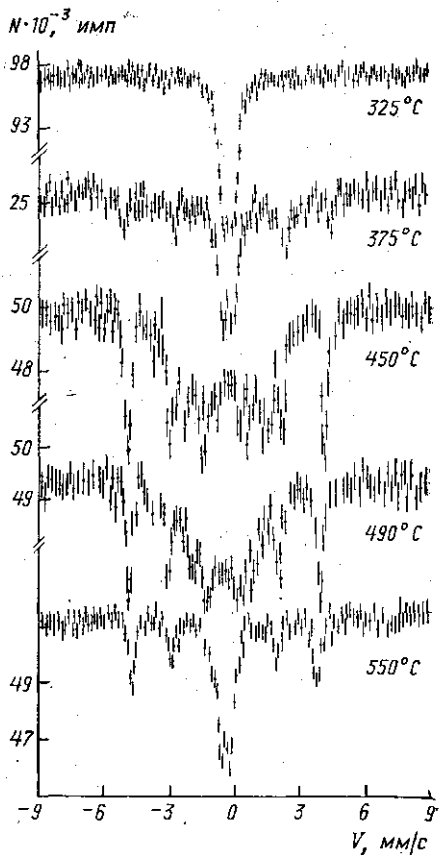


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость относительной намагниченности J_s аморфного сплава Fe₈₄B₁₆ от температуры (а): 1 — нагрев, 2 — охлаждение и зависимость H_{eff} от температуры (б) для α -Fe (1) и Fe₃B (2)

Рис. 2. Мёссбауэровские спектры аморфного сплава Fe₈₄B₁₆ при различных температурах

Рис. 3. Две стадии кристаллизации сплава Fe₈₄B₁₆ при температуре 375 °С: первые 20 мин (а) и следующие 20 мин съемки спектра (б)

ляет выделить три основные области магнитного состояния сплава: область перехода ферромагнетик—парамагнетик для аморфного состояния (от 25 до 350 °C); область перехода парамагнетик—ферромагнетик при кристаллизации сплава (от 350 до 450 °C); область перехода ферромагнетик—парамагнетик для выделившихся кристаллических фаз (от 450 °C). Перегиб на ТМА-кривой в районе 540 °C соответствует температуре Кюри кристаллической фазы Fe₃B [3]. Проведенный после ТМА рентгendifракционный анализ подтвердил наличие кристаллических фаз α -Fe и Fe₃B.

Для выяснения механизма и кинетики кристаллизации, уточнения температур Кюри была проведена мёссбауэровская температурная съемка *in situ* в интервале температур от 25 до 575 °C. Образец помещался в печь, последовательно нагревался со скоростью 10°/мин до температур 325, 375, 430, 450, 490, 550, 575 °C, которые выбирались из анализа ТМА-кривой с учетом температур кристаллизации, и при этих температурах снимались мёссбауэровские спектры, статистика которых набиралась небольшая ($N=50\,000$), так как температура кристаллизации фаз исследуемого нами аморфного сплава зависит от времени экспозиции. Чем дольше мы держим аморфный сплав при температуре ниже температуры кристаллизации, тем ниже становится сама температура кристаллизации. Мёссбауэровский спектр при 325 °C (рис. 2) подтверждает, что исследуемый сплав перешел в парамагнитное состояние (наличие дублета вместо секстета) с параметрами $\Delta=0,44$ мм/с, $\delta=-0,22$ мм/с около температуры Кюри $T_c=320$ °C, определенной по ТМА. При 375 °C (по данным ДСК) был зафиксирован процесс начала кристаллизации. Кинетика этого процесса хорошо видна на рис. 3. На нем представлены два спектра, снятые при 375 °C. Спектр (а) снят за первые 20 мин, а спектр (б) — за следующие 20 мин отжига при этой температуре. Таким образом, мы видим две стадии процесса кристаллизации: сначала на фоне парамагнитного дублета аморфного сплава начинает появляться сверхтонкое магнитное поле α -Fe ($H_{eff}=292$ кЭ), характерное для этой температуры [4]. Затем (см. рис. 3, б) мы видим, как увеличивается интенсивность подспектра α -Fe и в то же время вместо парамагнитной компоненты начинает появляться сверхтонкое расщепление с величиной поля, существенно меньшей, чем 292 кЭ, что свидетельствует о выделении фазы Fe₃B. При 450 °C (см. рис. 2) мы наблюдаем выделившуюся фазу Fe₃B с $H_{eff}=121$ кЭ, при 490 °C эффективное поле фазы Fe₃B начинает схлопываться и трансформироваться в дублет, что свидетельствует о приближении к температуре Кюри этой фазы (540 °C), определенной по кривой ТМА, и при 550 °C мы видим, что фаза Fe₃B действительно перешла в парамагнитное состояние, она имеет вид дублета с параметрами $\Delta=0,39$ мм/с, $\delta=-0,32$ мм/с.

Расчет параметров температурных мёссбауэровских спектров позволил построить кривые $H_{eff}(T)$ для кристаллических фаз α -Fe и Fe₃B, изображенных на рис. 1, б.

В заключение авторы выражают благодарность Т. С. Гендлер за консультации при проведении терромагнитного анализа, а также Американскому физическому обществу, частично финансировавшему данную работу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Matsuura M.//Solid State Commun. 1979. 30. P. 231. [2] Altuzar P., Valenzuela R.//Materials Lett. 1991. 11, N 3, 4. P. 101. [3] Takahashi M., Koshimura M., Abuzuka T.//Japan. J. Appl. Phys. 1981. 20, N 10. P. 1821. [4] Preston R. S., Hanna S. S., Heberle J.//Phys. Rev. 1962. 128, N 5. P. 2207.

Поступила в редакцию
30.06.93