

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА СОСУЩЕСТВОВАНИЕ ФЕРРИ-АНТИФЕРРИМАГНЕТИЗМА В ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ АРСЕНИДАХ СО СТРУКТУРОЙ С38

С. А. Бужинский, В. И. Вальков, Э. А. Завадский

Как установлено, при понижении температуры в сплавах $\text{Fe}_{a-x}\text{Mn}_x\text{As}$ ($1.95 \leq a \leq 2.35$, $1.1 \leq x/(a-x) \leq 2.5$) наблюдается изоструктурный магнитный фазовый переход 1-го рода из антиферромагнитного (АФ) в ферри-магнитное (ФИМ) состояние, сопровождающийся анизотропным изменением параметров тетрагональной решетки С38: $\Delta c/c = -(0.5 \div 3) \%$, $\Delta a/a = -(0.1 \div 0.55) \%$ [1-3]. Низкотемпературное (НТ) состояние ФИМ представляет собой сосуществование однородной M_0 и периодической M_0^2

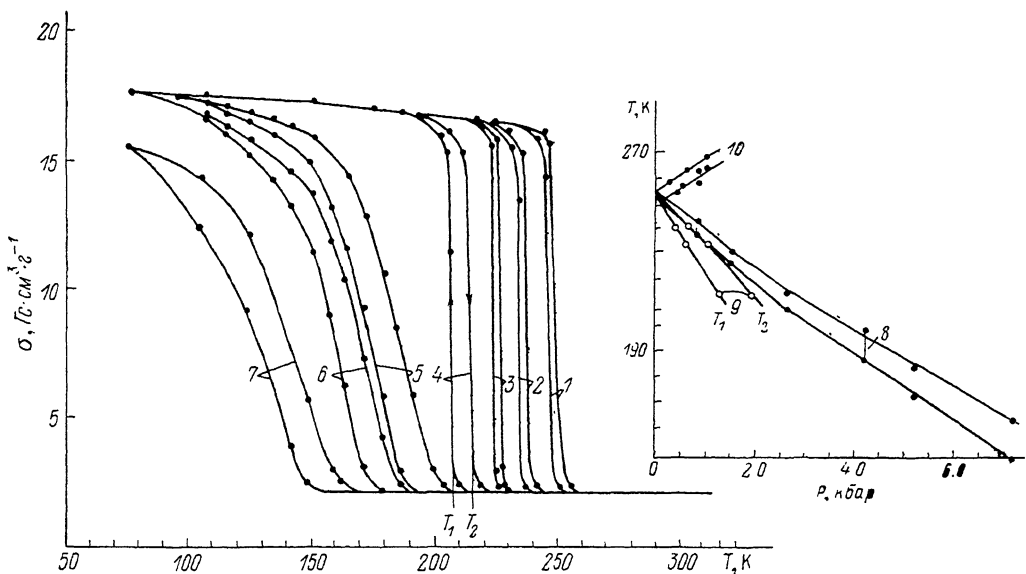


Рис. 1. Изобарические зависимости удельной намагниченности сплава $\text{Fe}_{0.935}\text{Mn}_{1.215}\text{As}$ от температуры $\sigma(T)$ и P - T диаграммы переходов АФ—ФИМ.

P , кбар: 1 — 0, 2 — 0.8, 3 — 1.5, 4 — 2.6, 5 — 4.2, 6 — 5.2, 7 — 7.3. Кривые 1—7 измерены в статическом поле $H_0 = 12$ кЭ при $H \perp c$ и гидростатическом давлении; 8 — зависимости $T_{1,2}$ от гидростатического давления на образец; 9 — то же, но при $P \parallel c$; 10 — то же, но при $P \perp c$.

компонент намагниченности [4], т. е. угловую структуру, один из вариантов которой предложен в [5, 6] и является частным случаем углового антиферромагнетизма, рассмотренного в [7]. Особенностью перехода АФ—ФИМ в этих сплавах является аномально большая зависимость температуры перехода T_1 от воздействия гидростатического давления $dT_1/dP = -17$ К/кбар [5, 8-10]. Поскольку исследования в [5, 8-10] дают лишь информацию о влиянии объемных изменений на стабильность магнитоупорядоченных состояний, то вопрос о роли типа зависимости эффективных обменных интегралов от направления деформации остается открытым. С целью получения более точной информации о природе магнитоупругой связи в исследуемых сплавах мы провели измерения воздействия одноосных давлений вдоль оси c и перпендикулярно ей. Для этого был выбран монокристаллический образец $\text{Fe}_{0.935}\text{Mn}_{1.215}\text{As}$ ($a = 2.15$, $T_N = 479$ К) с $T_1 = 250$, $T_2 = 254$ К, где T_1 , T_2 — температуры перехода АФ \rightarrow ФИМ и обратно. На рис. 1 приведены изобарические температур-

ные зависимости $\sigma(T)$, измеренные на магнитометре с вибрирующими катушками при использовании гидростатического давления на образец. Как видно из $P-T$ диаграммы (рис. 1, 8), величина $\Delta T = T_2 - T_1$ увеличивается, а $dT_{1,2}/dP$ уменьшается по модулю с возрастанием давления от -17 К/кбар при $0 \leq P \leq 4$ кбар до -13 К/кбар при $P > 4$ кбар.

При измерениях воздействия одноосного сжатия образца вдоль тетрагональной оси c нами строились изотермические зависимости дифферен-

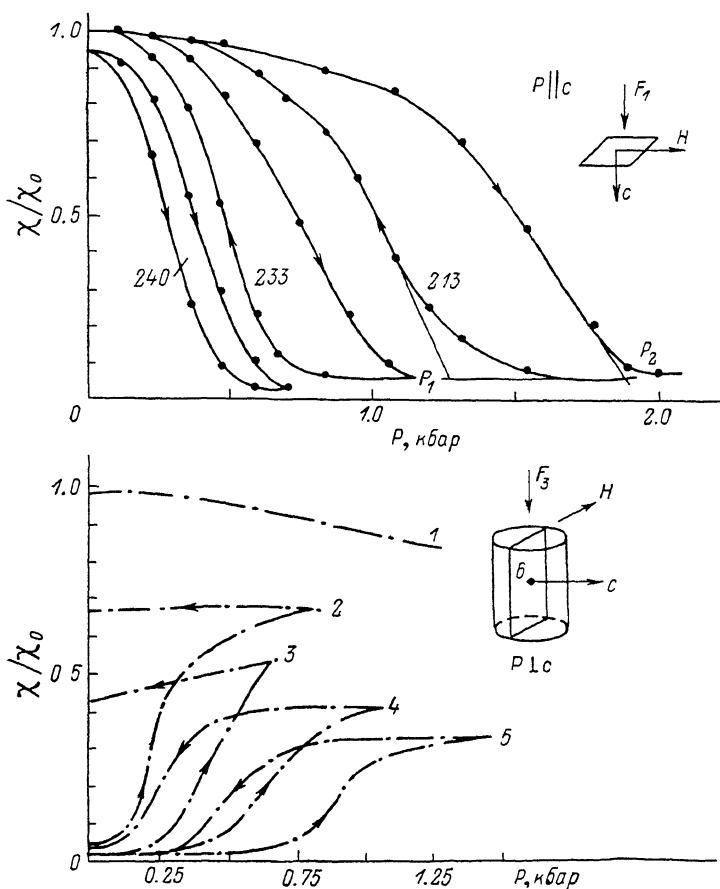


Рис. 2. Изотермические зависимости дифференциальной восприимчивости $\chi(P)$ от величины одноосных давлений.

Верхние кривые соответствуют измерениям при $P \parallel c$; цифры указаны температуры разверток. При этом $dT_{1,2}/dP < 0$; 1—5 измерены при $P \perp c$, при этом $dT_{1,2}/dP > 0$. Поддержка тонкого образца 6 эпоксидным бандажем 7 показана справа. T , К: 1 — 236, 2 — 250, 3 — 351, 4 — 255, 5 — 258.

циальной восприимчивости $\chi(P)$ (рис. 2, $P \parallel c$). Измерения проводились по индукционной методике в переменном магнитном поле с максимальной амплитудой $H_0 = 84$ Э и частотой 2 кГц. Из рис. 1, 9 видно, что $dT_1/dP = -28$ и $dT_2/dP = -22$ К/кбар, откуда следует, что отрицательная деформация вдоль оси c является более эффективным дестабилизирующим воздействием на состояние ФИМ. Интуитивно понятно, что при такой деформации решеточный параметр a в базисной плоскости увеличивается. Таким образом, одноосное давление вдоль оси c создает деформации в кристалле, моделирующие спонтанные деформации, возникающие при исчезновении состояния ФИМ.

Более интересными явились результаты, полученные при измерениях $\chi(P)$ для случая одноосного давления, перпендикулярного тетрагональной оси (рис. 2, 1—5). При этих измерениях образец — тонкая пластина 6 — укреплялся эпоксидной оболочкой 7. Давление P определя-

лось отношением силы $F_3 \perp z$ к площади основания цилиндра γ , боковая поверхность которого не закреплялась. Как видно из рис. 2, такое воздействие является сильным стабилизирующим фактором для состояния ФИМ, приводящим к возрастанию T_1, T_2 . Из рис. 1. 10 видно, что $dT_{1,2}/dP = +(12 \pm 2)$ К/кбар. Последние результаты можно объяснить расширением образца вдоль оси c при его сжатии силой F_3 . Такая деформация моделирует спонтанные деформации, возникающие при переходе АФ \rightarrow ФИМ ($\Delta c/c > 0, \Delta a/a < 0$). Покажем это. Пусть P_1, P_2, P_3 — давления, создаваемые на гранях образца силами $F_1 \parallel z, F_2 \parallel y, F_3 \parallel x$, где $z \parallel c$. Тогда выражение для уругой энергии кристалла с тетрагональной симметрией без учета сдвиговых деформаций имеет вид

$$E = 1/2 C_{11}e_1^2 + 1/2 C_{22}(e_2^2 + e_3^2) + C_{12}e_1(e_2 + e_3) + C_{23}e_2e_3 + P_1e_1 + P_2e_2 + P_3e_3, \quad (1)$$

здесь C_{ik} — упругие жесткости; $e_1 = \Delta c/c$; $e_2 = \Delta a_y/a_y$; $e_3 = \Delta a_x/a_x$; $\Delta c/c, \Delta a_x/a_x, \Delta a_y/a_y$ — изменение линейных размеров образца вдоль направлений z, x, y при однородных деформациях e_1, e_2, e_3 . При гидростатическом давлении $P_1 = P_2 = P_3 = P$ и $e_2 = e_3 < 0, e_1 < 0$ при выполнении условий $(C_{22} - C_{23}) > 0$ и $\Delta = (C_{22} - C_{23}) \{C_{11}(C_{22} + C_{23}) - 2C_{12}^2\} > 0$. При одноосном сжатии вдоль оси c $P_2 = P_3 = 0$ и $P_1 > 0$

$$e_1 = -P_1(C_{33}^2 - C_{23}^2)/\Delta < 0, \quad e_2 = e_3 = +P_1C_{12}(C_{22} - C_{23})/\Delta > 0. \quad (2)$$

Напротив, при $P \perp c$, например когда $P_1 = P_2 = 0$ и $P_3 > 0$, имеем

$$e_1 = +P_3C_{12}(C_{22} - C_{23})/\Delta > 0, \quad e_2 = +P_3(C_{23}C_{11} - C_{12}^2)/\Delta > 0, \\ e_3 = -P_3(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)/\Delta < 0. \quad (3)$$

Из (3) видно, что $e_1 > 0$. Таким образом, совокупность данных из измерений воздействий гидростатического давления ($e_2 = e_3 < 0, e_3 < 0$ и одноосного $P \parallel c$ ($e_1 < 0, e_2 = e_3 > 0$)) показывает, что изменение размеров образца в базисной плоскости не влияет на знак производной $dT_{1,2}/dP$. Напротив, изменение знака деформации e_1 при $P \perp c$ приводит к изменению знака этой производной. Это свидетельствует, что основной вклад в магнитоупругую энергию вносит деформация вдоль тетрагональной оси.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Rosenberg R. M., Cloud W. H., Darnell F. J., Flippen R. B., Bulter B. // J. Appl. Phys. 1969. V. 40. N 3. Pt 2. P. 1361—1363.
- [2] Kanomata T., Goto T., Ido H. // J. Phys. Soc. Jap. 1977. V. 43. N 4. P. 1178—1184.
- [3] Вальков В. И., Завадский Э. А., Каменев В. И., Кирбитов В. М. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 3. С. 870—872.
- [4] Goto T. // J. Magn. Magn. Mat. 1986. V. 54—57. Pt 2. P. 931—932.
- [5] Бужинский С. А., Вальков В. И., Завадский Э. А. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 12. С. 3534—3539.
- [6] Бужинский С. А., Вальков В. И., Завадский Э. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6.
- [7] Shimizu M. // J. Magn. Magn. Magnet. 1985. V. 50. P. 319—328.
- [8] Вальков В. И., Кирбитов В. М. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 9. С. 2737—2739.
- [9] Вальков В. И., Завадский Э. А., Кирбитов В. М. // УФЖ. 1987. Т. 32. № 9. С. 1418—1420.
- [10] Kanomata T., Shyrakawa T., Kaneko T. // Phys. Lett. A. 1987. V. 124. N 1, 2. P. 100—103.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
19 декабря 1988 г.