

МОДУЛИ ЮНГА, СДВИГА И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПУАССОНА НИЗШИХ СИЛИЦИДОВ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$

Л. Ф. Луцкая

Изучены модули Юнга, сдвига и коэффициенты Пуассона низших силицидов железа и марганца, а также твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ с $x=0.2, 0.67, 0.834$ между 20 и 300 К. Аномальные изменения упругих модулей при критических температурах зависят от состава препарата. В сплавах с $x=0.2, 0.67, 0.834$ магнитострикция связана как с обменными, так и с магнитными взаимодействиями. Из изученных твердых растворов наибольший вклад энергии кристаллографической магнитной анизотро-

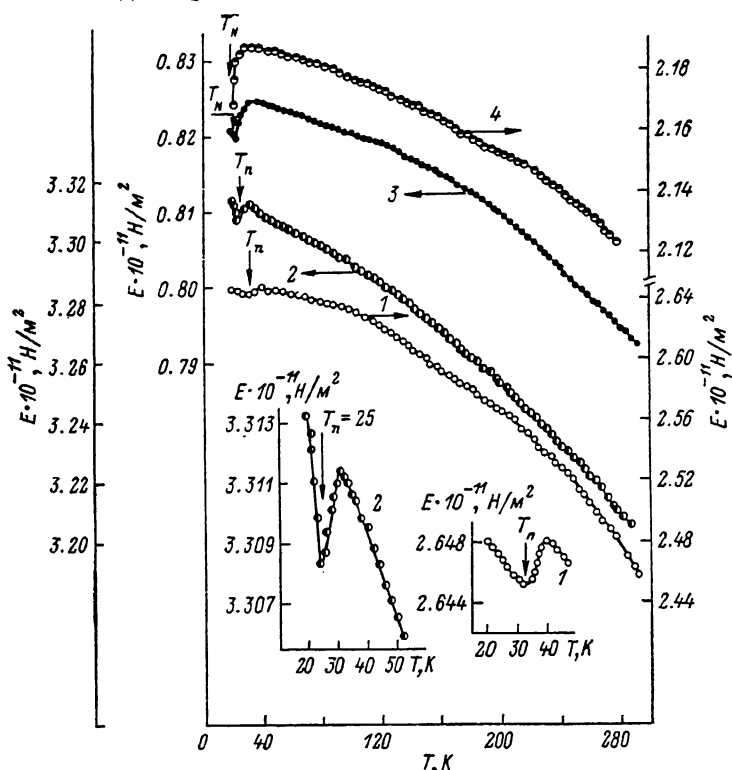


Рис. 1. Политермы модуля Юнга твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$.
 x : 1 — 0, 2 — 0.2, 3 — 0.834, 4 — 1.

пии в полную энергию кристалла имеет место у препарата $(\text{Fe}_{0.33}\text{Mn}_{0.67})_3\text{Si}$, а большой вклад энергии обменного взаимодействия наблюдается при температуре Нееля в образце с $x=0.834$. Результаты исследования упругих модулей низших силицидов железа, марганца и твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ с $x=0.2, 0.67, 0.834$ подтверждают критические температуры превращений и их сложную магнитную структуру.

Для получения дополнительной информации о характере переходов в сплавах, близких по составу к Fe_3Si и Mn_3Si , для уточнения критических температур превращений изучались температурные зависимости от 20 до 300 К модулей Юнга, сдвига и коэффициентов Пуассона в образцах $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ с $x=0, 0.2, 0.67, 0.834, 1$. Настоящая работа является продолжением исследований [1]. Методика приготовления образцов и их

аттестация были теми же, что и в [2]. Измерение скоростей ультразвука осуществлялось резонансным методом на установке, описанной ранее [3].

По результатам экспериментального исследования скоростей ультразвуковых волн [4] рассчитаны изотропные упругие модули по известным соотношениям [5]

$$G = \rho v_t^2 \mu = \frac{2 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2}{2 \left[1 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2\right]},$$

$$E = 2G(1 + \mu),$$

G и E — модули сдвига и Юнга, μ — коэффициент Пуассона, ρ — плотность образца, v_l и v_t — продольные и поперечные скорости ультразвука в образце.

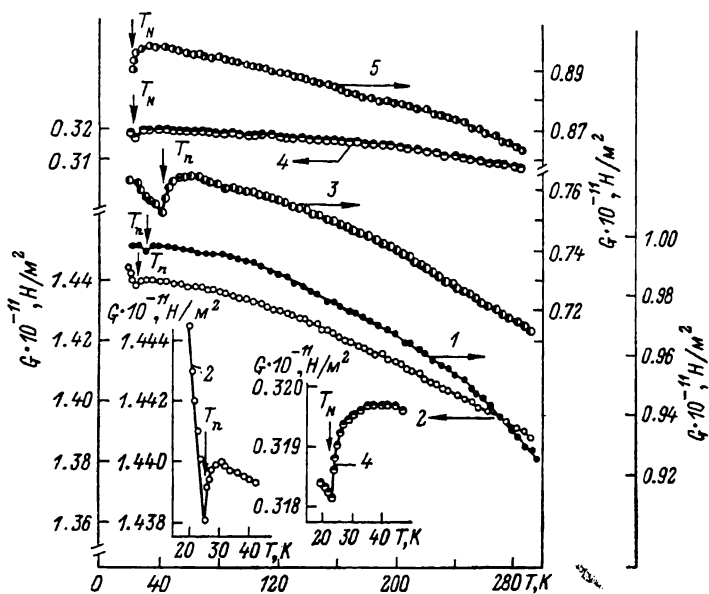


Рис. 2. Температурные зависимости модулей сдвига твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$.
1 — 0, 2 — 0.2, 3 — 0.67, 4 — 0.834, 5 — 1.

Как видно из результатов исследований (рис. 1, 2), на политермах $E(T)$ и $G(T)$ в препаратах с $x=0.2, 0.67, 0.834$ и 1 наблюдаются аномалии при температурах 25, 43, 23 и 21 К соответственно. На политерме модуля Юнга для Fe_3Si имеется небольшой минимум вблизи 33 К.

Коэффициенты Пуассона (рис. 3) отличаются своеобразными температурными зависимостями. На политермах $\mu(T)$ перегибы кривых обнаруживаются не только вблизи критических температур. Так, для Fe_3Si температурная зависимость $\mu(T)$ достаточно слабая, а вид политермы «волнообразный» с максимумом вблизи 40 К. Для твердого раствора с $x=0.2$ при $T=T_n$ значение коэффициента Пуассона минимально.

Рассмотрим несколько подробнее температурно-концентрационные зависимости упругих модулей в изученных сплавах. Оценочные расчеты относительных изменений («скачков») модулей Юнга $\Delta E/E$ вблизи температуры перестройки магнитного порядка (T_n) для образца с $x=0.2$ и вблизи температуры Нееля (T_N) для сплава с $x=0.834$ равны соответственно 0.15 и 0.87 %. На температурных зависимостях модулей сдвига (рис. 2) в сплавах с $x=0.2, 0.67$ при T_n и в образце с $x=0.834$ при T_N имеют место «скачки», соответственно достигающие 0.4 %, 1.6 % и 0.6 %. Из полученных результатов следуют выводы. 1) В сплавах с $x=0.2, 0.67, 0.834$ магнитострикция связана как с обменными, так и с магнитными взаимо-

действиями. 2) Из изученных твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ наибольший вклад энергии кристаллографической магнитной анизотропии в полную энергию кристалла имеет место у сплава $(\text{Fe}_{0.33}\text{Mn}_{0.67})_3\text{Si}$. Для него «скачок» модуля сдвига на политерме $G(T)$ самый большой и равен (при T_n) 1.6%. Кроме того, в этом образце перестройка магнитной структуры сопровождается искажением кристаллической структуры [6-8]. 3) Большой вклад энергии обменного взаимодействия в общую энергию кристалла наблюдается при $T=T_N$ в образце с $x=0.834$ (наибольший «скачок» модуля Юнга на политерме $E(T)$ составляет 0.87%).

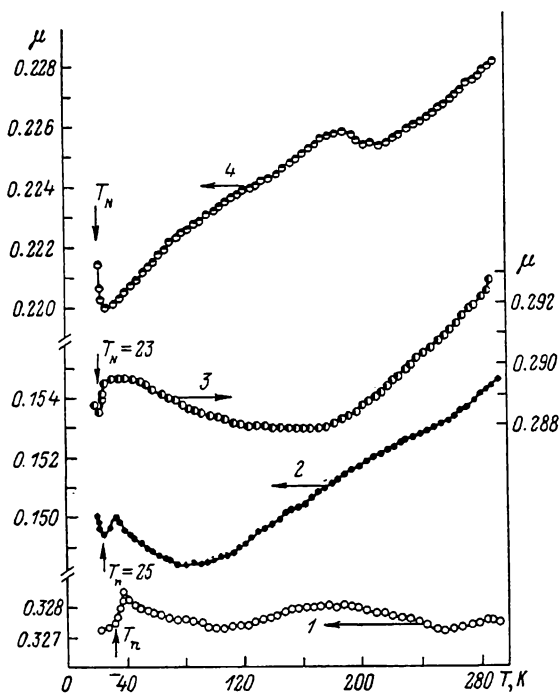


Рис. 3. Политермы коэффициента Пуассона твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$.
 x : 1 — 0, 2 — 0.2, 3 — 0.834, 4 — 1.

Аномальное поведение модуля Юнга в температурном интервале от 23 до 40 К в низшем силициде железа указывает на изменение энергии обменного взаимодействия, которое ответственно за магнитный порядок спинов.

Для препарата $(\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2})_3\text{Si}$ на характер изменения зависимости $\mu(T)$ оказывает влияние перестройка магнитного порядка при T_n . Так как поперечная деформация (от которой зависит величина μ) своим возникновением обязана действию внутренних сил межатомных связей в кристалле [9], то, возможно, с их изменением (при увеличении температуры) и связано непостоянство коэффициента Пуассона у твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ с $x=0, 0.834, 1$.

Результаты настоящих исследований упругих модулей низших силицидов железа, марганца и твердых растворов $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_3\text{Si}$ с $x=0.2, 0.67, 0.834$ подтверждают критические температуры превращений и их сложную магнитную структуру.

Л и т е р а т у р а

- [1] Луцкая Л. Ф. ФТТ, 1985, т. 27, № 3, с. 652—655.
- [2] Луцкая Л. Ф., Андреева Л. П., Гельд П. В. УФЖ, 1977, т. 22, № 4, с. 591—595.
- [3] Синовова Г. П., Андреева Л. П. В кн.: Физические свойства металлов и сплавов. Свердловск, Труды УПИ им. С. М. Кирова, № 231, 1974, с. 119—120.

- [4] Луцкая Л. Ф., Андреева Л. П. Межвузовский сборник «Физические свойства металлов и сплавов». Свердловск: Изд-во УПИ им. С. М. Кирова, 1981. 32 с.
- [5] Жданов Г. С. Физика твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1961. 166 с.
- [6] Yoon S., Booth J. G. Phys. Lett., 1974, vol. 48A, с. 381—382.
- [7] Сидоренко Ф. А., Верещагин Ю. А., Бабанова Е. Н. ЖЭТФ, 1976, т. 70, № 2, с. 628—638.
- [8] Yoon S., Booth J. G. J. Phys. F: Met. Phys., 1977, vol. 7, N 6, p. 1079—1095.
- [9] Иванов Г. П., Лебедев Т. А. Труды Ленинградского политехнического института, № 236, 1964, с. 38—40.

Омский политехнический институт
Омск

Поступило в Редакцию
21 июля 1987 г.
В окончательной редакции
4 ноября 1987 г.

УДК 537.226

Физика твердого тела, том 30, в. 3, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 3, 1988

ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСОРАЗМЕРНОЙ ФАЗЫ В КРИСТАЛЛЕ NH_4HSeO_4

В. М. Зражевский

Кристаллы гидроселената аммония NH_4HSeO_4 при комнатной температуре имеют моноклинную структуру $B2$ ($I2$ в псевдоромбической установке) [1]. При $T_{c1}=250$ К происходит сегнетоэлектрический фазовый переход [2, 3], структура становится триклинной $B1$ ($I1$) [4]. При $T_{c2}=100$ К спонтанная поляризация скачком исчезает. Известен также высокотемпературный переход в состояние с высокой ионной подвижностью [5]. В ряде работ [6–9] сообщалось о существовании фазового перехода при $T_i=260$ К. По данным ЯМР [10], фаза между $T_i=260$ К и $T_{c1}=250$ К является несоизмерной. Исследования [11, 12] диэлектрической проницаемости вдоль полярной оси обнаружили гистерезисные явления, также характерные для кристаллов с несоизмерной фазой [13].

Анализ проведенных нами исследований [14] температурных зависимостей скоростей упругих волн в NH_4HSeO_4 также показывает, что их поведение является типичным для кристаллов с несоизмерной фазой [15]. Так, в области T_i скорость продольных волн $V_{[010]}$ по полярной оси аномально уменьшается, на некоторых температурных зависимостях скоростей продольных и поперечных волн наблюдаются изломы. В области сегнетоэлектрического фазового перехода ведет себя аномально скорость поперечной волны $V_{[001][010]}$, распространяющейся по оси второго порядка с поляризацией по полярной оси. Вследствие сильного поглощения этой волны измерения вблизи T_{c1} импульсным ультразвуковым методом оказались невозможными. Поскольку кристалл NH_4HSeO_4 является пьезоэлектриком в парафазе, нами были проведены пьезорезонансные исследования.

Использовался резонатор 45° -X-среза длиной ~ 17.6 мм, у которого резонансная частота f_R определяется эффективной константой упругой податливости

$$s'_{22} = \frac{1}{4} (s_{22} + s_{33} + s_{44} + 2s_{23}).$$

В данной установке ось второго порядка параэлектрической фазы параллельна Z , а спонтанная поляризация в сегнетофазе направлена вдоль Y . Измерения проводились со стабилизацией температуры, скорость изменения температуры вблизи переходов составляла ~ 0.05 К/мин.