

Отношение этого вклада к фононному ($Z=1$) равно $(\pi\tau\mathcal{E}_F)^{-1/2}$. Предельные значения T_c будут меньше, чем приведенные выше для фононного механизма. Рассеяние на динамических дефектах становится более существенным, когда электроны взаимодействуют через поперечную моду. Разделение обоих механизмов рассеяния имеет четкий смысл для длинноволновых фононов, т. е. когда p_F мал.

3. Оценим T_c в случае рассеяния на сегнетоэлектрической моде ω для перехода типа порядок—беспорядок. Константа связи $g = \mathcal{J}V_n \sim \mathcal{J}ZN^{-1}(0)$, пропорциональная интегралу перекрытия \mathcal{J} волновых функций иона в двух эквивалентных положениях. В этом случае $X = X_2$, $\Omega = g^2 N(0) = \mathcal{J}^2 / N(0)$,

$$T_c = \mathcal{J}^2 N^{-1}(0) f_2(\omega N(0) \mathcal{J}^{-2}). \quad (6)$$

Как видно из рисунка, T_c обращается в нуль вместе с ω в точке сегнетоэлектрического перехода. Максимальное значение f_2 чуть больше 0.1.

Л и т е р а т у р а

- [1] Дубовский Л. Б., Козлов А. Н. ЖЭТФ, 1975, т. 68, № 6, с. 2224—2235.
- [2] Bednorz J. G., Müller K. A. Z. Phys., 1986, vol. B64, N 2, p. 189—192.
- [3] Chu C. W., Hor P. H., Meng R. L., Gao L., Huang Z. J., Wang Y. Q. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 4, p. 405—407.
- [4] Cava R. J., van Dover R. B., Battlog B., Rietman E. A. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 4, p. 408—410.
- [5] Wu M. K., Ashburn J. R., Torng C. J., Hor P. H., Meng R. L., Gao L., Wang Y. Q., Chu C. W. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 9, p. 908—910.

Поступило в Редакцию
15 июля 1987 г.

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД «ПОЛУПРОВОДНИК—МЕТАЛЛ» В АНТИМОНИДЕ ИНДИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

М. М. Александрова, В. Д. Бланк, А. Э. Голобоков, Ю. С. Коняев

Фазовые превращения антимионида индия под давлением изучены достаточно подробно [1]. Давление перехода «полупроводник—металл» в InSb при комнатной температуре, определенное разными авторами, колеблется от 1.9 до 3.0 ГПа [2-6]. Переход характеризуется значительным гистерезисом, который зависит от исходной структуры, ориентировки кристалла и сдвиговых напряжений [7].

Данная работа посвящена изучению влияния на фазовый переход под давлением в InSb пластической деформации сдвига, которая, как известно, приводит к уменьшению гистерезиса превращения и позволяет тем самым локализовать точку фазового равновесия [8].

Эксперименты проводились при комнатной температуре на установке с наковальнями Бриджмена, описанной в [9]. Скорость поворота наковальни v_x составляла $5 \cdot 10^{-1}$ и $5 \cdot 10^{-3}$ град/с. Монокристаллический образец InSb ($N_p = 4.3 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$) размером $30-50 \cdot 10^{-6}$ м помещался в центр предварительно опрессованной бумажной таблетки. Переход регистрировался по изменению электросопротивления InSb, которое измерялось

потенциметрическим методом непосредственно в процессе сдвига (как при непрерывном нагружении, так и при фиксированных нагрузках). Токовводами являлись твердосплавные наковальни из ВК-6 диаметром $\varnothing = 1.5 \cdot 10^{-3}$ м с наклепанными на них прокладками из медной фольги толщиной $3 \cdot 10^{-5}$ м. Поворот наковальни проводился на 5 градусов в одну сторону, затем на тот же угол в другую сторону. Таким образом, наковальня возвращалась в исходное положение, т. е. деформация сдвига соответствовала углу поворота $\gamma = 10$ град при каждой нагрузке.

Калибровка давления проводилась двумя способами: по изменению электросопротивления висмута при переходе $Bi I \rightarrow Bi II$ ($P = 2.55$ ГПа) и по люминесценции рубина (в последнем случае в качестве одной из наковален использовался природный алмаз).

Для сравнения переход «полупроводник—металл» в InSb исследовался в квазигидростатических условиях в камере типа поршень—ци-

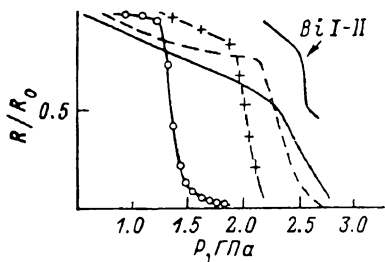


Рис. 1. Зависимость электросопротивления InSb от давления.

Кружки — $v_d = 5 \cdot 10^{-1}$ град/с, $\gamma = 10^\circ$, крестики — $v_d = 5 \cdot 10^{-3}$ град/с, $\gamma = 10^\circ$; штриховая — $v_d = 0$, $\gamma = 0$; сплошные — $v_d = 5 \cdot 10^{-3}$ град/с, $\gamma = 1.5^\circ$.

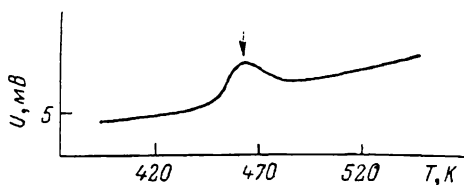


Рис. 2. Термограмма образца InSb, деформированного сдвигом под давлением.

Стрелкой указано выделение тепла, обусловленное переходом вюртцит—сфалерит ($B4 \rightarrow B3$).

линдр, где в качестве среды, передающей давление, использовался индий чистой 99.99 %.

На рис. 1 приведены кривые изменения электросопротивления R/R_0 InSb в зависимости от давления, полученные при различных условиях. Из таблицы, в которой отражены результаты проведенных экспериментов в сравнении с данными [7], видно, что давление перехода антимонида индия в металлическое состояние зависит не только от степени, но и от скорости деформации. Увеличение скорости сдвига от $5 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ град/с при заданной величине деформации ($\gamma = 10$ град) приводит к понижению давления перехода от 1.9 до 1.4 ГПа.

Обратный переход «металл—полупроводник» в InSb в условиях, близких к гидростатическим (камера типа поршень—цилиндр), происходит при давлении 1.5 ± 0.1 ГПа. Гистерезис превращения в этом случае составляет $P = 1.5 \pm 0.3$ ГПа, что хорошо согласуется с данными [7].

Рентгенографическое исследование образцов InSb после обработки давлением показало, что фазовый переход сопровождается уменьшением размера зерен и появлением дополнительных слабых линий, отвечающих метастабильной фазе типа «вюртцит».

О метастабильности вюртцитной модификации свидетельствуют данные термографического анализа, проведенного на дифференциальном сканирующем микрокалориметре ДСМ-2М со скоростью нагрева $v_n = 16$ К/мин (рис. 2). Так как после нагрева линии вюртцитной фазы исчезают, наблюдающееся тепловыделение в интервале $445 \div 495$ К связано с переходом вюртцитной фазы в сфалеритную.

Тот факт, что давление перехода «полупроводник—металл» в условиях ступенчатого нагружения и быстрой деформации ($v_n = 5 \cdot 10^{-1}$ град/с) оказывается близким и даже меньшим давления обратного перехода в гидростатических условиях, нельзя объяснить уменьшением только гистерезиса превращения. Области гистерезиса прямого и обратного пере-

Изменение параметров фазового перехода полупроводник—металл
в InSb в зависимости от различных условий эксперимента
в сравнении с данными [7]

Условия эксперимента	P^{I-II} , ГПа	P^{II-I} , ГПа	$P_{ср}$, ГПа	P , ГПа	Приложение
Гидростатика	3.15	1.38	2.26	1.75	[7]
Квазигидростатика	3.0	1.5	2.2	1.5	[7]
	2.7	—	—	—	
Одноосное сжатие	2.4	—	—	—	[7]
	$1.8 \div 2.2$	$0.5 \div 0.7$	$1.1 \div 1.5$	$1.3 \div 1.5$	
Сжатие + сдвиг					
а) непрерывное нагружение	2.35	—	—	—	
б) ступенчатое нагружение $v_d = 5 \cdot 10^{-3}$ град/с	1.9	—	—	—	
в) ступенчатое нагружение $v_d = 5 \cdot 10^{-1}$ град/с	1.4	0.4	0.9	1.0	

ходов при сдвиге ($\gamma = 10$ град, $v_d = 5 \cdot 10^{-1}$ град/с) и в гидростатике не совпадают. Область гистерезиса при сдвиге оказывается близкой к области гистерезиса, полученной в [7] при одноосном сжатии. Среднее давление, определяемое как $P_{ср} = \frac{P_{пр} + P_{обр}}{2}$, составляет 2.2 ± 0.1 ГПа в гидростатике и 0.9 ± 0.15 ГПа при сдвиге.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что под действием сдвиговых напряжений гистерезис превращения сужается и смещается за пределы области гистерезиса при гидростатическом давлении. Рассчитанные в рамках модели сферического зародыша [10] параметры фазового перехода в InSb удовлетворительно согласуются с полученными экспериментальными данными.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Banus M. D., Lavine M. C.* J. Appl. Phys., 1969, vol. 40, N 1, p. 409—413.
- [2] *Понятовский Е. Г., Пересада Г. И.* ДАН СССР, 1962, т. 144, № 1, с. 129—131.
- [3] *Jamieson J. C.* Science, 1963, vol. 139, N 3557, p. 845—847.
- [4] *Hanneman R. E., Banus M. D., Gatos H. C.* J. Phys. Chem. Sol., 1964, vol. 25, N 3, p. 293—302.
- [5] *Banus M. D., Hanneman R. E., Mariano A. N.* Appl. Phys. Lett., 1963, vol. 2, N 2, p. 35—36.
- [6] *Jena A. K., Bever M. B., Banus M. D.* Trans. Metallurg. Soc. AIME, 1967, vol. 239, N 5, p. 725—730.
- [7] *Okai B., Yoshimoto J.* J. Phys. Soc. Japan, 1978, vol. 45, N 6, p. 1880—1886.
- [8] *Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И.* Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1977. 238 с.
- [9] *Аксёненко В. В., Бланк В. Д., Коняев Ю. С., Кузнецов А. И., Эстрин Э. И.* ФММ, 1984, т. 57, № 2, с. 394—396.
- [10] *Богуславский Ю. Я.* ФТТ, 1985, т. 27, № 1, с. 140—143.

Институт физики высоких давлений
им. Л. Ф. Верещагина АН СССР
Троицк
Московская обл.

Поступило в Редакцию
10 декабря 1986 г.
В окончательной редакции
17 июля 1987 г.