

УДК 539.32'89; 538, 945

© 1990

АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ZrV_2 ПРИ ВЫСОКИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Е. М. Гололобов, Е. Л. Магер, Э. В. Межевич

Проведены ультразвуковые исследования сверхпроводящего соединения ZrV_2 со структурой типа С-15. Обнаружено наличие аномалий в ходе температурных зависимостей скоростей распространения поперечных и продольных ультразвуковых волн, а также амплитуды поперечной волны при охлаждении от 300 К до температуры структурного превращения $T_x=123$ К. Установлено, что гидростатическое давление до 1 ГПа оказывает существенное влияние на температуру фазового перехода в ZrV_2 . Определено затухание ультразвуковых волн в зависимости от температуры и давления.

Интерес к исследованию физических свойств кубических фаз Лавеса со структурой типа С-15 (ZrV_2) прежде всего вызван обнаруженным у них аномальным поведением физических свойств, характеризующих электронный и фононный спектры [1-5].

Соединение ZrV_2 со структурой типа С-15 является сверхпроводником с относительно высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние для данного класса соединений, в котором при $T_x=123$ К происходит структурный переход. Наблюдаемые аномалии в упругих свойствах ZrV_2 [6] обусловлены структурной неустойчивостью.

Исследования структурной неустойчивости свидетельствуют о том, что в соединении ZrV_2 при структурном переходе происходит изменение числа свободных носителей за счет образования диэлектрической щели на части поверхности Ферми [7]. Диэлектризация электронного спектра сопровождается искажением кубической структуры типа С-15 в результате фазового перехода первого рода [8, 9].

Интересным представлялось исследование акустическими методами структурной неустойчивости соединения ZrV_2 при действии гидростатического давления.

Ультразвуковые исследования образца ZrV_2 проводились в температурном интервале 4.2—300 К. ZrV_2 представлял собой образец стехиометричного состава. Рентгенофазовый анализ показал однофазность соединения с кубической структурой С-15 ($a=0.7440$ нм). Температура перехода в сверхпроводящее состояние, измеренная индуктивным методом, составляет 8.8 К.

Упругие колебания продольных и поперечных ультразвуковых волн частотой 10 МГц возбуждались в образце с помощью кварцевых пластин. В связи с сильным поглощением ультразвука в области фазового перехода экспериментально определяли время распространения прошедшего через образец прямого ультразвукового сигнала, имеющего наибольшую амплитуду. Непосредственно методом совмещения импульсов измеряли частоты следования синфазных импульсных ультразвуковых сигналов.

Определенные нами температурные зависимости скоростей распространения как продольных, так и поперечных ультразвуковых волн в ZrV_2 имеют аномальный характер (рис. 1, а, б). При охлаждении от 300 до 123 К скорости продольных и поперечных волн при нормальном давлении умень-

падают, а при дальнейшем понижении температуры от 123 К резко увеличиваются. Увеличение гидростатического давления до 0.849 ГПа приводит к увеличению скорости распространения продольной волны v_l при температуре выше (273 К) и ниже (77 К) температуры структурного превращения (рис. 1, а). Скорость распространения поперечной ультразвуковой волны v_t увеличивается с ростом давления лишь при температурах, превышающих температуру перехода (прямые 2, 3). При 77 К, т. е. при температуре ниже температуры структурного превращения T_m , v_t практически не меняется.

Полученные результаты — аномальное уменьшение скорости звука с понижением температуры — указывают на размягчение решеточных мо-

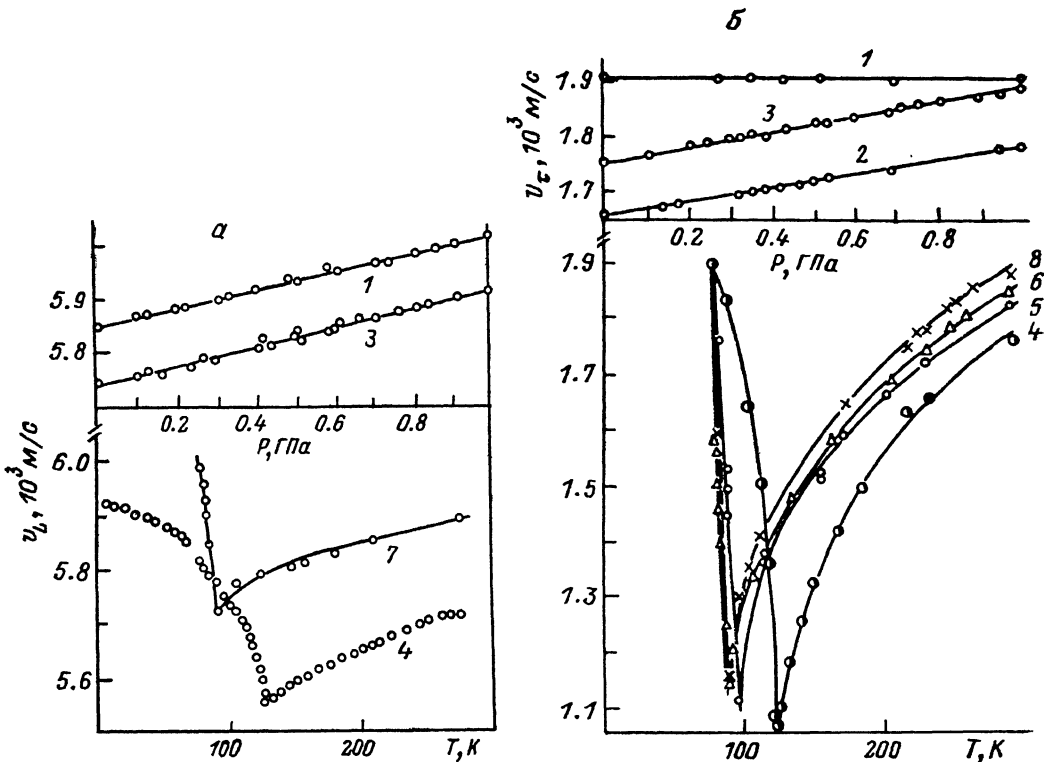


Рис. 1. Зависимость скорости распространения продольных (а) и поперечных (б) ультразвуковых волн в образце ZrV_2 от давления и температуры.

T , К: 1 — 77.4, 2 — 231, 3 — 273. P , ГПа: 4 — 0, 5 — 0.513, 6 — 0.691, 7 — 0.849, 8 — 0.944.

дулей в температурной области, близкой к температуре структурного превращения. Уменьшение скорости распространения поперечных мод — свидетельство смягчения и, следовательно, увеличения ангармоничности длинноволновых сдвиговых колебаний, что является признаком падения устойчивости кристаллической решетки. Все это говорит о том, что сравнительно высокие для данного класса соединений температуры сверхпроводящего перехода наблюдаются у тех соединений (ZrV_2 , HfV_2), для которых имеет место размягчение решеточных модулей при низких температурах и существует структурный переход, по-видимому, указывая тем самым на связь «высокотемпературной» сверхпроводимости с неустойчивостью решетки.

Увеличение действующего на ZrV_2 давления смещает температуру фазового превращения в область более низких температур. Это отчетливо видно на температурных зависимостях скоростей распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн при различных гидростатических давлениях (рис. 1, а, б). На рис. 2 представлено изменение тем-

пературы структурного превращения T_m в зависимости от приложенного гидростатического давления.

При исследовании температурной зависимости скоростей распространения ультразвука в образце ZrV_2 определены амплитуды эхо-отражений ультразвуковых колебаний. При нормальном давлении изменение амплитуды продольной волны незначительное. Поглощение же поперечной ультразвуковой волны в ZrV_2 аномально велико при температуре структурного превращения $T_m = 123$ К (рис. 3). Ниже температуры структурного превращения (61 К) амплитуда поперечной волны составляет $22.5 \cdot 10^{-5}$ В; при 196 К амплитуда равна $23.8 \cdot 10^{-5}$ В. При температуре структурного превращения амплитуда составляет $0.2 \cdot 10^{-5}$ В и серии отраженных импульсов практически не наблюдаются на экране осциллографа. При дальнейшем изменении температуры серии эхо-отражений вновь появляются.

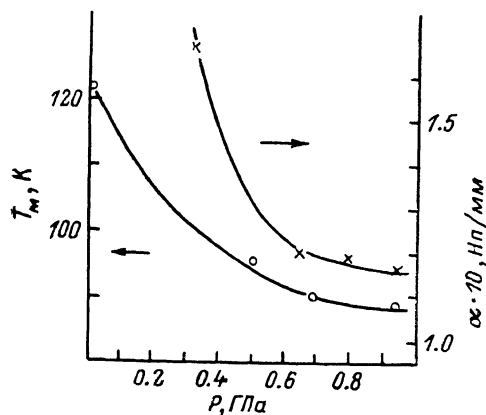


Рис. 2. Зависимости температуры структурного перехода T_m и коэффициента затухания ультразвука α от давления.

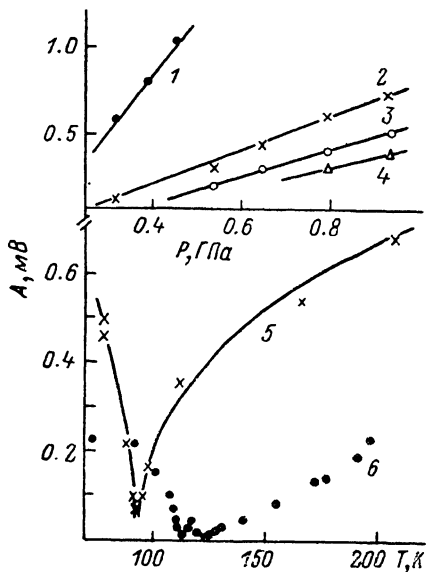


Рис. 3. Изменение амплитуды поперечной ультразвуковой волны в зависимости от температуры (5, 6) и давления.

На рис. 3 представлено изменение амплитуд A_1, A_2, A_3, A_4 (прямые 1, 2, 3, 4 соответственно) последовательных эхо-отражений при распространении поперечной ультразвуковой волны в ZrV_2 при комнатной температуре в зависимости от приложенного гидростатического давления (до 1 ГПа). По экспериментальным значениям амплитуд рассчитан коэффициент затухания α поперечной ультразвуковой волны.

Однако в сильно поглощающих материалах, что имеет место в области фазового перехода у ZrV_2 , расчет коэффициента затухания может привести к весьма значительным погрешностям. В таких случаях используется метод измерения поглощения ультразвука по изменению амплитуды единственного наблюдаемого импульса [10].

Изменение амплитуды поперечной ультразвуковой волны для зависимости от температуры при фиксированном гидростатическом давлении (0.691 ГПа) представлено на рис. 3, 5. Видно, что увеличение давления смещает температурный максимум поглощения поперечной ультразвуковой волны в сторону более низких температур. При нормальном давлении (рис. 3, 6) температурный максимум поглощения соответствует $T_m = 123$ К. Сильное затухание ультразвука наблюдается в районе температур, близких к структурному превращению.

Таким образом, результаты акустических исследований фазы Лавеса ZrV_2 показывают, что наблюдающиеся аномалии проявляются значительно выше температуры структурного перехода T_m ; после перехода аномалии исчезают. Действие гидростатического давления смещает T_m в область

более низких температур. Возможно, что относительно высокая температура перехода в сверхпроводящее состояние для данного класса соединений обусловлена решеточной неустойчивостью ZrV_2 , приводящей к сильному электрон-решеточному взаимодействию.

Список литературы

- [1] Вонсовский С. В., Изюмов Ю. А., Курмаев Э. З. Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений. М.: Наука, 1977. 384 с.
- [2] Finlayson T. R., Tomson K. W., Smith T. E. // J. Phys. F: Met. Phys. 1975. V. 5. P. 225—229.
- [3] Finlayson T. R., Lanston E. J., Simpson M. A. e. a. // J. Phys. F: Met. Phys. 1978. V. 8. P. 2269—2278.
- [4] Баланкин А. С., Баланкин С. А., Подпоренков А. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 5. С. 1419—1422.
- [5] Гололобов Е. М., Малишевский В. Ф., Томило Ж. М., Кофман Н. А. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1982. Т. 18. № 11. С. 1839—1841.
- [6] Баланкин А. С., Бычков Ю. Ф., Яковлев Е. И. // ФММ. 1983. Т. 56. № 1. С. 128—133.
- [7] Пан В. М., Булах И. Е., Касаткин А. Л., Шевченко А. Д. // Письма в ЖЭТФ. 1978. Т. 29. С. 629—633.
- [8] Баланкин А. С. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 11. С. 3475—3477.
- [9] Финкель В. А., Пушкарев Е. А. // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 842—846.
- [10] Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972. 507 с.

Институт физики твердого тела
и полупроводников АН БССР
Минск

Поступило в Редакцию
8 февраля 1990 г.
В окончательной редакции
23 мая 1990 г.