

СТРУКТУРНЫЙ И СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В V_3Si С РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЕФЕКТОВ

М.Н. Хлопкин

Экспериментально исследованы зависимости температур структурного перехода T_M и сверхпроводящего перехода T_C от концентрации дефектов в интерметаллическом соединении V_3Si . T_M монотонно падает с увеличением концентрации дефектов, а T_C достигает максимума при совпадении температур структурного и сверхпроводящего переходов.

В ¹ было обнаружено, что V_3Si стехиометрического состава в интервале температур 17 – 30 К претерпевает структурный переход, по-видимому второго рода, из кубической фазы в тетрагональную с $c/a = 1,0024$. Вопрос о физических причинах структурного перехода и о его влиянии на сверхпроводящие свойства V_3Si и других соединений А-15 неоднократно обсуждался ²⁻⁸ в основном с теоретической точки зрения. Высказывались мнения, что структурный переход способствует возникновению ⁹ или усилению ¹⁰ сверхпроводимости. В данной работе экспериментально исследованы структурный и сверхпроводящий фазовые переходы в образцах V_3Si с различной концентрацией дефектов, причем оба этих перехода регистрировались по соответствующим скачкам теплоемкости.

Исследуемые образцы V_3Si имели состав, близкий к стехиометрическому. Концентрация дефектов определялась измерением остаточного электросопротивления. Отношения сопротивлений $\alpha = \rho_{300\text{ К}} / \rho_{18\text{ К}}$ составляли: 50; 31; 21; 19; 16; 14; 12; 11; 3,4. Теплоемкость образцов массой порядка 1 г измеряли адиабатическим методом ¹¹ в интервале температур 4,5 – 30 К как без магнитного поля, так и в магнитных полях индукцией до 20 Тл. Температуру измеряли углеродным термометром сопротивления ¹² с учетом поправки на влияние магнитного поля ¹³. Работоспособность калориметра была проверена измерением теплоемкости образца чистой меди, при этом оказалось, что погрешность измерения теплоемкости не превышает 1% в магнитных полях до 8 Тл и 2% – в магнитных полях до 20 Тл.

Магнитное поле подавляло сверхпроводимость V_3Si , что позволяло исследовать его теплоемкость в нормальном (несверхпроводящем) состоянии вплоть до самых низких температур. Теплоемкости нескольких образцов V_3Si в нормальном состоянии (сверхпроводимость подавлена магнитным полем) в зависимости от температуры приведены на рис. 1. В теплоемкости образцов с малым содержанием дефектов отчетливо наблюдаются особенности типа скачка, обусловленные структурным переходом. Скачки эти несколько растянуты по температуре, по-видимому, вследствие неоднородности образцов. Температурное положение скачка T_M меняется от 20,5 К при $\alpha = 50$ до 13 К при $\alpha = 12$. Теплоемкость образцов с большой концентрацией дефектов ($\alpha \leq 11$) не имела особенностей, обусловленных структурным переходом. Резкая эволюция особенности при небольшом изменении числа дефектов еще раз доказывает, что наблюдаемые особенности теплоемкости обусловлены именно фазовым структурным переходом. На некоторых образцах наблюдалось небольшое уменьшение температуры структурного перехода T_M при увеличении магнитного поля. У образца с $\alpha = 50$ уменьшение T_M в поле 16 Тл составило 0,9 К, что хорошо согласуется с результатом, полученным в ¹⁴.

Согласно существующим представлениям ^{2,3,5}, причиной структурного перехода в интерметаллидах типа А-15 является резкая особенность (например узкий пик) в плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми. Наблюдаемые нами снижения температуры структурного перехода как при наложении магнитного поля, так и при увеличении числа дефектов возможно объяснить размытием особенности в плотности электронных состояний как вследствие расщепления в магнитном поле, так и вследствие рассеяния электронов на дефектах ^{15,16}.

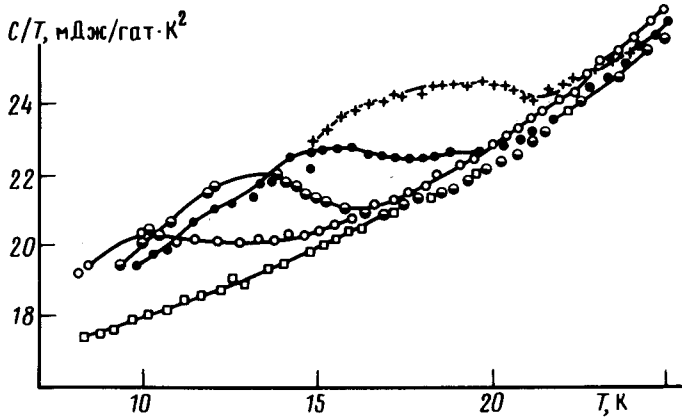


Рис. 1

Рис. 1. Теплоемкости нескольких образцов V_3Si в сильном магнитном поле, подавляющем сверхпроводимость: $+ - \alpha = 21$, $\bullet - \alpha = 19$, $\circ - \alpha = 16$, $\square - \alpha = 14$, $\circ - \alpha = 11$

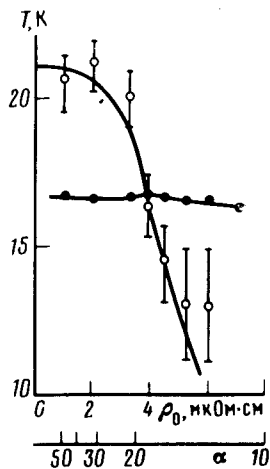


Рис. 2

Рис. 2. Зависимости температур структурного перехода T_M и сверхпроводящего перехода T_C от остаточного сопротивления: $\circ - T_M$, $\bullet - T_C$

На рис. 2 изображены температуры структурного перехода T_M и сверхпроводящего перехода T_C в зависимости от остаточного электросопротивления ρ_0 , пропорционального концентрации дефектов. Ширина структурного перехода обозначена вертикальными штрихами, ширина сверхпроводящего перехода соответствует размеру точки. Видно, что T_M падает с увеличением ρ_0 , а T_C сначала растет, достигает максимума при совпадении температур структурного и сверхпроводящего переходов, а затем медленно падает. Величина максимума не превышает 0,15 К, что составляет менее 1% от T_C . Таким образом, в момент структурного перехода не происходит значительного увеличения T_C , а по мере удаления от структурного перехода уменьшение T_C происходит весьма медленно.

В литературе ^{3-5, 8} неоднократно обсуждался вопрос, не является ли структурная неустойчивость главной причиной высоких T_C в соединениях со структурой A-15. Предлагались различные механизмы, повышающие T_C вблизи или в момент структурного перехода: усиление электрон-фононного взаимодействия при структурном переходе ⁹, смягчение решетки вследствие структурной неустойчивости ⁸, увеличение плотности электронных состояний при диэлектризации электронного спектра ¹⁰, взаимодействие электронов с так называемыми структурными возбуждениями ⁷. Наблюдаемый нами характер изменения T_C вблизи структурного перехода свидетельствует, что вышеперечисленные механизмы, по-видимому, не реализуются в соединениях со структурой A-15, и подтверждает выводы работ ^{5,6}, согласно которым изменения T_C обусловлены изменениями плотности электронных состояний, сопровождающими структурный переход.

Литература

1. Battersman B.W., Barrett C.S. Phys. Rev. Lett., 1964, 13, 390; Phys. Rev., 1966, 145, 295.
2. Изюмов Ю.А., Курмаев Э.З. УФН, 1974, 113, 193.
3. Тестарди Л., Вегер М., Гольдберг И. Сверхпроводящие соединения со структурой β -вольфрама. М.: Мир, 1977.
4. Изюмов Ю.А., Курмаев Э.З. УФН, 1976, 118, 53.

5. Горьков Л.П., Дорохов О.Н. ЖЭТФ, 1978, 71, 1934.
6. Pytte E. Phys. Rev. Lett., 1970, 25, 1176.
7. Vujicic G.M. et al. J. Phys., 1981, C14, 2377.
8. Testardi L.R. et al. Phys. Rev., 1971, B3, 107.
9. Брандт Н.Б., Толмачев В.В. Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, 439.
10. Копаев Ю.В., Тимеров Р.Х. ЖЭТФ, 1972, 63, 290.
11. Хлопкин М.Н., Черноплеков Н.А., Черемных П.А. Препринт ИАЭ-3549/10, М., 1982.
12. Варфоломеев С.Ф. и др. ПТЭ, 1977, № 1, 262.
13. Хлопкин М.Н., Черемных П.А. ПТЭ, 1981, № 4, 255.
14. Maita J.P., Bucher E. Phys. Rev. Lett., 1972, 29, 931.
15. Williamson C.J., Ting C.S., Fung H.K. Phys. Rev. Lett., 1974, 32, 9.
16. Александров А.С., Елесин В.Ф., Казеко М.П. ФТТ, 1979, 21, 2062.

Поступила в редакцию
24 января 1984 г.
