

Член-корреспондент АН СССР П. В. ГЕЛЬД, Г. И. КАЛИШЕВИЧ,
В. И. СУРИКОВ, А. К. ШТОЛЬЦ, В. Л. ЗАГРЯЖСКИЙ

ТЕПЛОЕМОСТИ СИЛИЦИДОВ И ГЕРМАНИДОВ ВАНАДИЯ И ХРОМА СО СТРУКТУРОЙ A15

В данной работе излагаются результаты измерения теплоемкости V_3Si , V_3Ge , Cr_3Si и Cr_3Ge в широком интервале температур от 13 до 300° К. Теплоемкость измерялась с помощью адиабатического калориметра, погрешность измерения $\leq 1\%$. Полученные данные приводятся на рис. 1.

Соединение V_3Si испытывало сверхпроводящий переход при температуре T_c , близкой к 17° К, и в нем отсутствовало мартенситное превращение, наблюдаемое у некоторых образцов другими авторами.

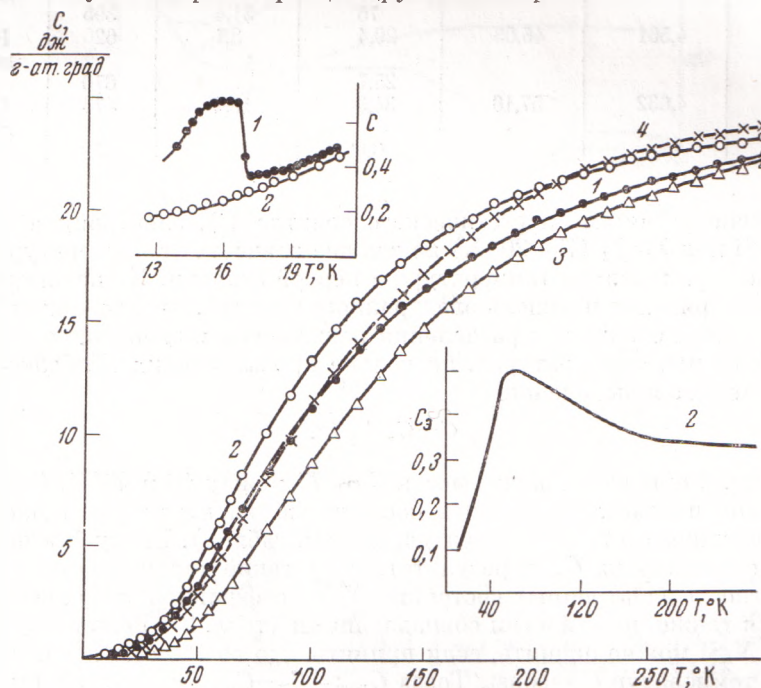


Рис. 1. Зависимость от температуры общей C_p и электронной C_e теплоемкостей V_3Si (1); V_3Ge (2), Cr_3Si (3) и Cr_3Ge (4)

Экспериментальные данные, относящиеся к низким температурам, описывались уравнением

$$C = \gamma T + \beta T^3. \quad (1)$$

Рассчитанные по (1) значения коэффициентов электронной теплоемкости γ и дебаевских характеристических температур Θ_D приведены в табл. 1 вместе с результатами других авторов. По экспериментально установленным значениям C_p обычными приемами рассчитывались C_v .

Выделение электронной и решеточной составляющих теплоемкости V_3Si осложнено узостью его энергетической полосы и весьма высокой плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми (⁵), поэтому для него сле-

дует ожидать значительного уменьшения $N(E_F)$ с ростом температуры и отсутствия линейной температурной зависимости электронной теплоемкости. С другой стороны, на основании данных об упругих постоянных был сделан вывод ⁽⁶⁾ о размягчении решетки V_3Si и, следовательно, существенной зависимости Θ_D от температуры. В связи с этим уравнение (1) для соединений типа V_3Si при низких температурах оказывается неприемлемым.

Таблица 1

Коэффициенты электронной и решеточной теплоемкости V_3Si , V_3Ge , Cr_3Si и Cr_3Ge

Соединение	Параметр решетки, Å	Средний г-ат. вес	$\gamma \cdot 10^4$, дж/г-ат·град ²	$\beta \cdot 10^6$, дж/г-ат·град ⁴	Θ_D , °K	Источник
V_3Si	4,725	45,23	156	15,39	501	Наши данные
			171		700	(¹)
			145	19,6	341	(²)
			146	18,8	470	(³)
V_3Ge	4,780	56,14	74	32,2	392	Наши данные
			76	31,4	395	(³)
Cr_3Si	4,561	46,03	29,4	8,1	620	Наши данные
			25,7		670	(⁴)
Cr_3Ge	4,632	57,16	34,3	18,4	473	Наши данные
			40,0		670	(⁴)

Согласно расчетам энергетического спектра ⁽⁷⁾, электронная теплоемкость V_3Si при $T > T_1$ ($T_1 \sim 20^\circ K$) не должна зависеть от температуры, а при $T < T_1$ пропорциональна температуре в первой степени. К аналогичным результатам приводит и модель электронного спектра, предложенная в работе ⁽⁸⁾. В связи с этим для разделения решеточной и электронной теплоемкостей V_3Si при температурах, несколько превышающих T_1 , более обоснованным является выражение

$$C = C_\infty + \beta T^3. \quad (2)$$

На рис. 2 приведена зависимость C от T^3 между 18 и $40^\circ K$. Она близка к линейной и позволяет оценить постоянную электронную теплоемкость C_∞ , коэффициент β и, следовательно, Θ_D (см. табл. 2). Ввиду близости установленного значения C_∞ к результатам ⁽⁴⁾ такие характеристики полосы, как плотность электронных состояний N_0 и коэффициент заполнения Q получаются также практически совпадающими (табл. 2). Решеточную теплоемкость V_3Si можно оценить, если принять, что во всем исследованном интервале температур $C_s = \text{const}$. Тогда $C_{\text{реш}} = C_V - C_\infty$. Результаты такого расчета приведены на рис. 1.

Таблица 2

Характеристики энергетических полос V_3Si и V_3Ge
(расчет по модели электронного спектра ⁽⁸⁾)

Соединение	C_∞ , дж/г-ат·град	Θ_D , °K (при $T < 40^\circ K$)	Q , электрон на атом V	N_0 , электрон эв·атом V	Источник
V_3Si	0,22	420	0,035	9,0	Наши данные
V_3Ge	0,20	409	0,03	8,1	(¹)
	0,50	—	0,08	5,2	Наши данные

В энергетическом спектре V_3Ge также имеется узкая полоса с высокой (но меньшей, чем у V_3Si) плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми ⁽⁹⁾ и, следовательно, большим, чем у V_3Si коэффициентом заполнения. С точки зрения модели ⁽⁸⁾ для V_3Ge температура T_1 значительно выше установленной для V_3Si , в силу чего выражение (1) при низких температурах достаточно корректно. В то же время данные об упругих постоянных ^(10, 6, 3) свидетельствуют о слабом изменении фононного спектра

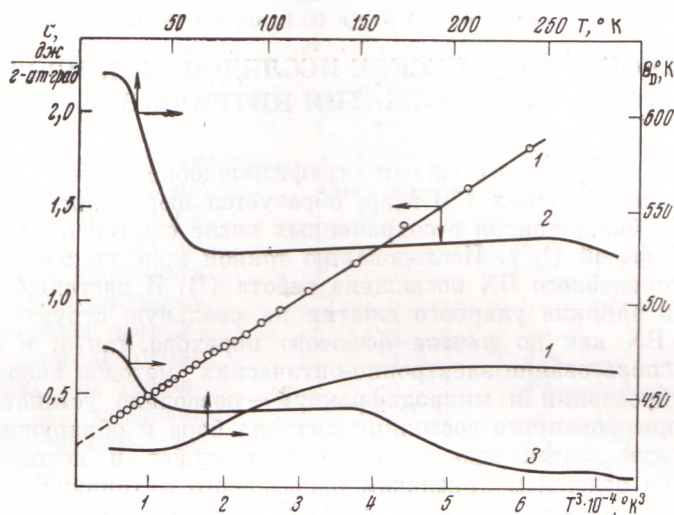


Рис. 2. Зависимость от температуры общей теплоемкости C и характеристических температур Θ_D

V_3Ge в широком интервале температур. Поэтому, полагая $\Theta_D = \text{const}$, можно рассчитать $C_{\text{рем}}$ и C_0 при повышенных температурах. Результаты такой оценки приведены также на рис. 1, из которого следует, что электронная теплоемкость V_3Ge меняется по сложному закону, причем ее изменение между 55 и $300^\circ K$ не превышает погрешности измерения C_p . Это говорит о справедливости модели ⁽⁸⁾ и позволяет на основании значений T_1 и C_∞ рассчитать N_0 и Q (см. табл. 2). Кроме того, так как согласно ⁽¹⁾ $\gamma = C_\infty T^{-1}$, то $\gamma = 90 \cdot 10^{-4}$ Дж/(г-ат·град²), что близко к значению $\gamma = 74 \cdot 10^{-4}$ Дж/(г-ат·град²), полученному по уравнению (1).

В заключение отметим, что несверхпроводящие соединения Cr_3Si и Cr_3Ge являются парамагнетиками и имеют практически не зависящую от температуры магнитную восприимчивость. Это позволяет считать, что у них плотность состояний вблизи уровня Ферми $N(E_F)$, а, следовательно, γ меняются незначительно. В связи с этим $C_{\text{рем}} = C_v - C_0$. Результаты таких расчетов приведены на рис. 1. Причина резкого изменения Θ_D у Cr_3Si при низких температурах неясна.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило
25 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Junod, J.-L. Staudenman et al., J. Low Temperature Phys., v. 5, 1, 25 (1971).
- ² R. Viswanathan, H. Luo, Solid State Commun., v. 9, 1733 (1971).
- ³ L. B. Testardi, J. E. Kunzler et al., Phys. Rev., v. 3, 1, 107 (1971).
- ⁴ R. Flükiger, F. Heiniger et al., J. Phys. Chem. Solids, v. 32, 459 (1971).
- ⁵ A. M. Clogston, Phys. Rev., v. 121, 1357 (1961).
- ⁶ L. B. Testardi, T. B. Bateman, Phys. Rev., v. 154, 2, 399 (1967).
- ⁷ P. J. Bannerot, J. Hallais et al., J. Phys., v. 30, 701 (1969).
- ⁸ R. W. Cohen, G. D. Cody, J. J. Halloran, Phys. Rev. Letters, v. 19, 840 (1967).
- ⁹ B. С. Сущиков, В. И. Прадеин и др., Физ. мет. и металловед., т. 34, 4, 724 (1972).
- ¹⁰ M. Rosen, H. Klimker, M. Weger, Phys. Rev., v. 184, 2, 466 (1969).