

АНОМАЛИИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ RCu_2

Впервые измерены и исследованы модуль Юнга и тепловое расширение соединений RCu_2 , где $R = Gd, Tb, Dy, Er, и Y$ в интервале температур 4,2 К - 300 К. Показано, что в соединениях с ненулевым орбитальным моментом ($L \neq 0$) параметры α , β и γ начинают отклоняться от обычного монотонного хода значительно выше T_N при температурах 110 - 140 К. Предполагается, что такое поведение параметров решётки связано с взаимодействием $4f$ -орбиталей ионов R^{3+} (из-за возрастания квадрупольных моментов при понижении температуры) с кристаллическим полем решётки.

Интерес к редкоземельным (РЗ) интерметаллическим соединениям вызван успешным использованием магнитных материалов на их основе в современных приборах и устройствах. В этом плане имеют определённый интерес исследования системы RCu_2 . В настоящее время интерметаллид серии RCu_2 изучен ещё недостаточно полно, в частности отсутствуют данные об упругих и магнитоупругих свойствах RCu_2 , тепловых расширений, которые в низкосимметричных системах зависят от направления измерения. Это обуславливает актуальность исследования магнитоупругих характеристик интерметаллида RCu_2 .

Интерметаллические соединения RCu_2 (R - редкоземельный элемент или иттрий) имеют ромбическую кристаллическую структуру типа $CeCu_2$ (пространственная группа $Imma$) [1].

Основной целью данной работы являлось получение данных о тепловом расширении и упругих свойствах RCu_2 .

Для решения поставленных задач были синтезированы интерметаллиды RCu_2 ($R = Gd, Tb, Dy, Er, Tb$ и Y). Поликристаллические образцы систем RCu_2 плавилась в электродуговой печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом в атмосфере аргона (марки ОСЧ) из исходных компонент: R - 99,94%, Cu - 99,999%. Полученные слитки отжигали в танталовых контейнерах в течение 180 часов при температуре $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, в режиме динамического вакуума. Ошибка по составу, определённая из суммарных весовых потерь слитка при плавке и термообработке меньше или равна 0,1 %. Отсутствие посторонних фаз контролировалось рентгенографическим (< 5%) и металлографическим (< 1%) методами.

Измерения теплового расширения проводились на дифрактометре “Гейгерфлекс” (Япония) с низкотемпературной приставкой CF - 100 Oxford Instruments на порошках с размером зерна меньше или равно 80 мкм с использованием излучения $Co K_{\alpha}$ от рефлексов (0, 31), (200), (103). Модуль Юнга (E) соединений RCu_2 измерялся методом составного вибратора [2] в интервале температур 4,2 - 300 К на частоте 200 КГц. Относительная ошибка измерения модуля Юнга по температуре не превышала 0,03 %.

Как известно, в парамагнитной области температур тепловое расширение является изотропным лишь в кристаллах кубической симметрии. Поэтому в ромбических соединениях RCu_2 коэффициент теплового расширения $\alpha = \alpha_{hkc}$ зависит от направления измерения. Исследования температурной зависимости параметров решетки $GdCu_2$ показывают, что возникающие в магнито-упорядоченной области аномалии $\alpha(T)$, $V(T)$ и $C(T)$ имеют резко анизотропный характер [3]. Следовательно, характер аномалий α_{hkc} интерметаллидов RCu_2 в магнито-упорядоченной области также будет зависеть от кристаллографического направления $\langle hkl \rangle$. На рис.1 показаны температурные зависимости параметров решетки $ErCu_2$, снятые в области 7-295 К. Как видно из этого рисунка, при низких температурах зависимости $\alpha(T)$, $V(T)$ и $C(T)$ отклоняются от обычного монотонного хода, наблюдаемого не магнитного в YCu_2 . Обращает на себя внимание, что эти отклонения начинаются значительно выше T_N (кроме $GdCu_2$ [3]) и имеют анизотропный характер. Качественные зависимости $\alpha(T)$, $V(T)$ и $C(T)$ ведут себя сходным образом во всех исследованных RCu_2 . В области температур (т.е. в парамагнитной фазе) 110-140 К параметр α начинает заметно расти, т.е становится отрицательным при понижении температуры. Вдоль оси V наоборот, наблюдается аномальное сжатие решетки. Менее заметными являются деформации вдоль оси C .

Модуль Юнга E ($R=Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Y$) изучался в интервале температур 4,2-300 К на поликристаллических образцах. На рис. 2 показаны зависимости $E(T)$ для соединений с $L=0$: антиферромагнитного $GdCu_2$ и ферромагнитного $Gd(Cu_{0,75}Ni_{0,25})_2$, а также для сравнения немагнитного YCu_2 . Обращает на себя внимание необычный характер температурной зависимости $E(T)$ этих интерметаллидов в парамагнитной области. Модуль Юнга растет вплоть до комнатной температуры. В то же время, согласно феноменологической модели в дебаевском приближении температурная зависимость модуля упругости дается выражение [4] :

$$E = E_0 [1 - k \Theta_D F(T / \Theta_D)] \quad (1)$$

Здесь E_0 - значение модуля упругости при ОК, k - константа, пропорциональная коэффициенту теплового расширения. Выражение (1), которое удовлетворительно описывает температурный ход $E(T)$ для подавляющего большинства кристаллов, показывает, что в отсутствие магнитного упорядочения $E(T)$ падает с ростом температуры.

В АФМ соединениях RCu_2 $L \neq 0$ магнитное упорядочение тоже приводит к аномалиям температурных зависимостей $E(T)$, а в парамагнитной области температур, как и в случае соединений с $L=0$, $E(T)$ растет с повышением температуры до 300 К.

Полученные результаты показывают, что упругие и тепловые свойства RCu_2 меняются с температурой сложным образом не только ниже T_N , но и в парамагнитной области температур.

Заметные аномалии теплового расширения немагнитной природы (т.е. выше T_N) в РЗ соединениях с $L \neq 0$ могут быть обусловлены взаимодействием 4f-орбиталей R^{3+} с кристаллическим полем из-за возрастания квадрупольных РЗ моментов. Такие аномалии параметров решетки в парамагнитной фазе, обусловленные возрастанием квадрупольных РЗ моментов, наблюдались, например, в тетрагональных соединениях RCu_2Si_2 [5]

Для полного понимания парамагнитного поведения $E(T)$ этих соединений требуется проведение дополнительных исследований на монокристаллических образцах.

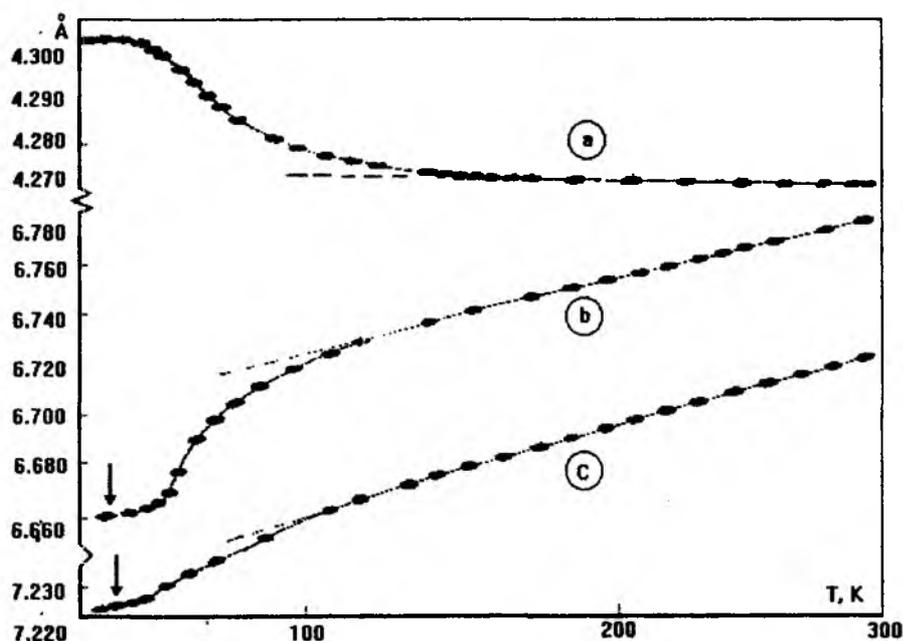


Рис. 1. Температурные зависимости параметров решётки а, b и c интерметаллида $ErCu_2$. Стрелками указаны T_N .

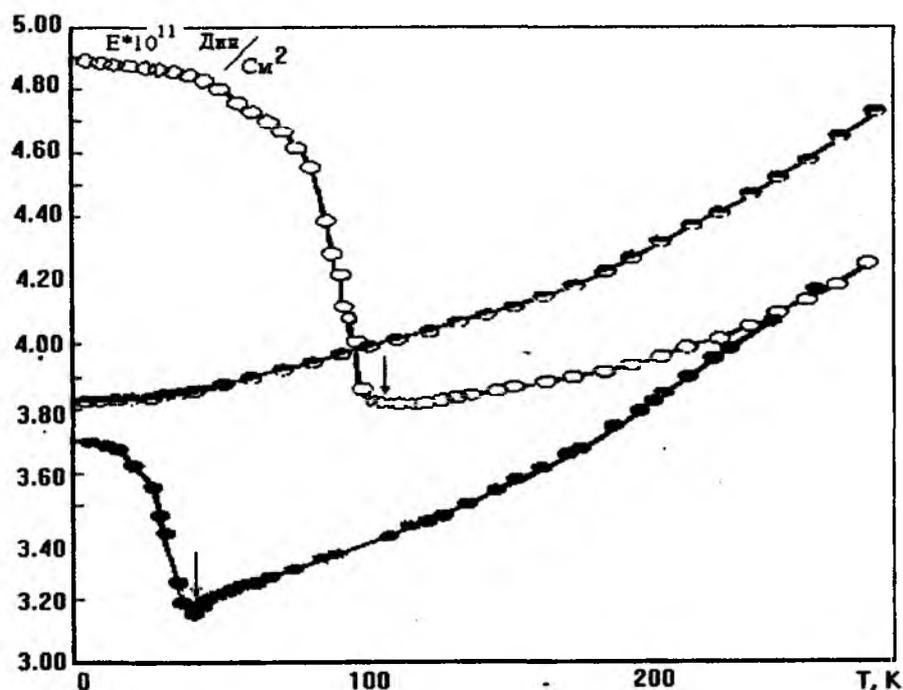


Рис. 2. Температурные зависимости модуля Юнга соединений YCu_2 (●), $GdCu_2$ (●), $Gd(Cu_{0,75}Ni_{0,25})_2$ (○). Стрелками указаны температуры магнитного упорядочения T_N и T_C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Larson A.S. and Cromer D.C. The crystal structure of $CeCu_2$ - Acta Cryst., vol. 14, 1961, pp 73-74.
2. Кэди У. Пьезоэлектричество и его практические применения. -М.: Иностранная литература, 1949. -717 с.
3. М. К. Borombaev, R.Z. Levivtin, A.S. Markosyan, V.A. Reimer, E.V. Sinitsyn and Z. Smetana. Magnetic properties of a $CdCu_2$ single crystal. Zh. Эксп. Теор. Fiz. 93, 1517-1525 (October 1987)
4. Lakkad S.C. Temperature dependence of the elastic constants-J.Appl. Phys., vol.42, 1971, p. 4277.
5. Schlabitiz W., Baumann J., Neumann G., Plumacher D. and Reggentik K. Qudrupole effects in the lattice parameters and magnetic ordering temperatures of $RECu_2Si_2$ (RE=rare earth). Hand book crystalline electric field effects in f-electron magnetism. 1982, pp. 289-299.