



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. В. Паршуков, С. С. Бацанов, Измерение коэффициентов Грюнайзена металлов с помощью электроразряда под давлением, *Физика твердого тела*, 1984, том 26, выпуск 11, 3438–3440

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.171

22 марта 2025 г., 02:03:00



ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГРЮНАЙЗЕНА МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А. В. Паршуков, С. С. Бацанов

Коэффициенты Грюнайзена ряда металлов были определены в настоящей работе путем измерения зависимости давления от внутренней энергии при постоянном объеме с использованием электроимпульсного нагрева образца, находящегося под статическим давлением.

Исследуемый металл помещался в тонкий канал, просверленный в цилиндрической таблетке, изготовленной из смеси аморфного бора и эпоксидной смолы. С помощью гидравлического пресса таблетка с образцом зажималась между двух бриджменовских наковален из твердого сплава на основе WC. Через наковальни к образцу подводилось напряжение от батареи конденсаторов. Под действием электрического тока плотностью до 10^7 А/см² металлический образец разогревался до температур в несколько тысяч градусов. RLC — константа электрической цепи была выбрана значительно меньше постоянной времени теплообмена образца с окружающей средой, поэтому можно считать, что вся выделившаяся в образце тепловая энергия шла на приращение его внутренней энергии.

В результате импульсного нагрева при постоянном объеме в исследуемом металлическом образце развивалось некоторое давление P , для регистрации которого служил пьезокерамический датчик, помещенный под одну из наковален. Электрический сигнал датчика \mathcal{P} пропорционален давлению, т. е. силе N , действующей на единицу его площади. В свою очередь N пропорциональна давлению в образце, умноженному на площадь торцевой поверхности последнего s . Таким образом

$$\mathcal{P} = AP, \quad (1)$$

где A — некоторый коэффициент пропорциональности. По уравнению Ми-Грюнайзена [1]

$$P = \frac{E}{V} \gamma. \quad (2)$$

Здесь E — удельная энергия, V — удельный объем, а γ — коэффициент Грюнайзена вещества. Обозначив теперь через \mathcal{P} максимальное значение сигнала датчика, получим

$$\mathcal{P} = \gamma A \frac{E}{V} = \gamma A \frac{\mathcal{E}}{sh} = \gamma B \mathcal{E}, \quad (3)$$

откуда

$$\gamma = \frac{\mathcal{P}}{B \mathcal{E}}. \quad (4)$$

Здесь h — высота образца; \mathcal{E} — полное количество выделившейся в образце энергии; B — коэффициент пропорциональности, в который входят лишь параметры экспериментальной техники, одинаковые для всех образцов. Взяв некий металл в качестве стандарта и составив отношение

$$\frac{\gamma}{\gamma_{\text{ст}}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{ст}} \mathcal{E}}{\mathcal{P} \mathcal{E}_{\text{ст}}}, \quad (5)$$

получим

$$\gamma = \gamma_{\text{ст}} \frac{\mathcal{E}_{\text{ст}} \mathcal{P}}{\mathcal{P}_{\text{ст}} \mathcal{E}}. \quad (6)$$

Это итоговое выражение для γ не содержит, как видно, никаких неизвестных или трудноопределимых параметров. Значение \mathcal{E} легко определить из осциллограмм тока и напряжения, \mathcal{P} — из осциллограммы давления. Важно отметить,

что поскольку измерения стандартного и исследуемых металлов проводятся на одной и той же установке, систематические погрешности в измерениях не влияют на точность результата, так как в выражении (6) фигурируют отношения $\epsilon_{ст}/\epsilon$ и $\mathcal{P}/\mathcal{P}_{ст}$.

В наших измерениях в качестве стандарта была выбрана медь, которая является типичным и одним из самых распространенных металлов. Медь хорошо изучена, и расхождения в данных о ее коэффициенте Грюнайзена сравнительно невелики и составляют 1—2%. Это обстоятельство весьма существенно, ибо, как следует из выражения (6), точность измерения определяется точностью, с которой известен $\gamma_{ст}$. Для каждого из изученных металлов на нескольких образцах было проведено от 9 до 15 измерений γ в диапазоне удельных энергий от 10^4 до 10^6 Дж/кг. Средняя ошибка измерений при этом не превышала 2—2.5%. С учетом этого мы оцениваем точность измеренных коэффициентов Грюнайзена не хуже 5%. Результаты измерений, а также имеющиеся в литературе данные о γ исследованных нами металлов приведены в таблице. Там же представлены и литературные данные о γ меди. Отметим весьма хорошее совпадение измеренных γ Mo, Pb и Ni с данными других исследователей (в случае Pb нужно сделать поправку, связанную с высокой сжимаемостью свинца). Данцы о γ для Mn в литературе мы не обнаружили. Возможно, наши измерения для этого металла являются первыми. Цирконий, как известно, имеет фазовый переход при давлении ~ 5.9 ГПа [2], так что наши измерения относятся к фазе высокого давления (литературных данных об этом γ также не имеется).

Значения коэффициентов Грюнайзена
(литературные данные и настоящий эксперимент)

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Данные настоящей работы
Cu	2.04	2.00	2.04	2.06	1.983	2.06	2.04
Cr	—	1.29	—	—	—	—	1.91
Pb	2.78	2.77	2.78	2.72	2.457	2.64	2.53
Mn	—	—	—	—	—	—	2.39
Zr	0.771	0.771	—	—	—	—	1.60
Mo	1.58	1.58	1.58	—	—	—	1.58
Ni	1.91	1.83	1.81	2.12	—	2.18	1.79

Мы не можем объяснить большое расхождение измеренного нами γ хрома с данными работы [3], тем более что авторы этой работы Р. Мак-Куин и С. Марш не указывают ни источник, ни способ определения приведенного ими значения $\gamma=1.29$. Отметим, однако, что это значение сильно расходится с вычисленными по формуле Слейтера [4] $\gamma=2.07$ и по формуле Дагдейла—Мак-Дональда [3] $\gamma=1.93$, которые, напротив, очень хорошо согласуются с результатом наших измерений.

В заключение приведем оценку максимальных импульсных температур (в 10^3 К) и давлений (в ГПа) в металлах, достигнутых в наших опытах. Для Cu эти параметры составляют соответственно 4.5 и 32, для Cr — 2.7 и 18, Pb — 10 и 34, Mn — 2.7 и 22, Zr — 9.5 и 27, Mo — 4.0 и 17, Ni — 3.0 и 26.

Авторы выражают благодарность В. Н. Исаеву за большую помощь в обработке результатов измерений.

Л и т е р а т у р а

- [1] Жарков В. Н., Калинин В. А. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1968. 310 с.
- [2] Банди Ф. П., Стронг Г. М. Поведение металлов при высоких температурах и давлениях. М.: Metallurgia, 1965. 59 с.
- [3] Мак-Куин Р., Марш С. В кн.: Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. М.: Мир, 1965, с. 93—143.
- [4] Райс М., Мак-Куин Р., Уолш Дж. В кн.: Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. М.: Мир, 1965. 235 с.

[5] Корнер С. Б., Фунтиков А. И., Урлин В. Д., Колесникова А. Н. ЖЭТФ, 1962, т. 42, № 3, с. 686—703.

[6] Альтшулер Л. В., Корнер С. Б. ЖЭТФ, 1960, т. 38, № 3, с. 790—798.

[7] Альтшулер Л. В., Баканова А. А., Трунин Р. Ф. ЖЭТФ, т. 42, № 1, с. 91—104.

ВНИИФТРИ
Московская область

Поступило в Редакцию
22 мая 1984 г.

УДК 539.2.097/.098;541.5—1/62

Физика твердого тела, том 26, в. 11, 1984
Solid State Physics, vol. 26, № 11, 1984

ПОТЕНЦИАЛ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СО СТРУКТУРОЙ ЦИРКОНА

В. Р. Пекуровский, С. И. Андроненко

Редкоземельные фосфаты, арсенаты и ванадаты (RMO_4 , $M=\text{P, As, V}$) широко последуются в последнее время как модельные системы теории структурных фазовых переходов, индуцированных кооперативным эффектом Яна-Теллера. В высокотемпературной фазе эти кристаллы имеют тетрагональную симметрию (пространственная группа симметрии D_{4h}^{19} [1]), при низких температурах структура решетки зависит от типа редкоземельной (R) и катионной подрешетки. Симметрия низкотемпературной фазы и температура фазового перехода T_d определяются особенностями структуры энергетических спектров редкоземельных ионов. При $T > T_d$ кристаллическое поле, действующее на редкоземельные (РЗ) ионы, имеет структуру D_{2d} [1]. Небольшие различия в структурных параметрах кристаллов с различными катионами в M -узлах приводят к качественным изменениям потенциала кристаллического поля и штарковской структуры основных термов РЗ ионов. Так, в ванадате и арсенате тулия основное состояние — дублет ($\Gamma_{3,4}$), а в TmPO_4 — синглет (Γ_1). Если записать гамильтониан РЗ иона в виде $H = \sum_{pk} B_p^k O_p^k$, где O_p^k — одночастичные операторы, пропорциональные операторам-эквивалентам Стивенса, то в соответствии с симметрией окружения отличными от нуля будут только пять параметров кристаллического поля (КП) B_p^k с $k=0,4$: $B_2^0, B_4^0, B_6^0, B_4^4$ и B_6^4 . Параметр B_2^0 отрицателен в арсенатах и ванадатах, а в фосфатах $B_2^0 > 0$ (табл. 1), поэтому арсенаты проявляют свойства, близкие к свойствам ванадатов в эффектах, определяемых знаком параметра B_2^0 и близкие к свойствам фосфатов в эффектах, определяемых другими параметрами КП. Кроме приведенных в табл. 1 в литературе имеются также и другие наборы параметров КП для этих кристаллов. В частности, в [2] из измерений оптического спектра иона Tm^{3+} : TmPO_4 определены следующие значения параметров КП (в см^{-1}): $B_2^0=132, B_4^0=4, B_6^0=-44, B_4^4=642, B_6^4=11$, а в [3] для опи-

Таблица 1
Параметры кристаллического поля B_p^k (в см^{-1})
в кристаллах Li^{3+} : RMO_4 ($\text{Lu}=\text{Er, Tm}$; $\text{R}=\text{Y}$; $\text{M}=\text{P, As, V}$)

p	k	Er^{3+} в YPO_4		Tm^{3+} в YPO_4		Er^{3+} в YAsO_4		Tm^{3+} в YAsO_4		Er^{3+} в YVO_4		Tm^{3+} в YVO_4	
		1 ^a	2	1 ^b	2	1 ^b	2	1 ^г	2	1 ^a	2	1 ^б	2
2	0	141	178	185	185	-30	-25	-37	-39	-103	-95	-87	-93
4	0	18	39	18	32	12	26	16	32	45	37	42	34
6	0	-40	-36	-40	-32	-37	-38	-42	-36	-43	-40	-38	-36
4	4	837	878	800	778	869	894	680	791	968	919	870	903
6	4	88	5	88	2	70	-60	60	-69	-22	-94	-35	-81

Примечание. 1 — экспериментальные данные, 2 — результаты расчета, выполненного в данной работе. Экспериментальные данные из работ: а — [1], б — [2], в — [3], г — [10] (данные для Tm^{3+} в TmAsO_4).