

дают разную окислительную способность, что в значительной степени определяет интенсивность формирования антиферромагнитных пар соответствующих ионов через валентные электроны кислорода группы Ю_2 .

Следует отметить, что, кроме сильносвязанных антиферромагнитных пар редких земель, в кристаллах $\alpha\text{-Li}(\text{O}_2)_3$ могут возникать обменные пары со слабым взаимодействием, которые обладают ван-Флековским парамагнетизмом [2], что проявляется в виде соответствующего «излома» в температурной зависимости магнитной восприимчивости (рис. 1). Поведение магнитной восприимчивости описывается в этом случае следующей зависимостью [2]:

$$\chi = \frac{\mu_B^2 g^2 N_1 |I|^2}{3kT} + \frac{2\mu_B^2 g^2 N_2 \sum_I I(I+1) \exp(-aI(I+1)/2kT)}{3kT \sum_I \exp(-aI(I+1)/2kT)}. \quad (1)$$

Первый член описывает вклад в магнитную восприимчивость одиночных ионов редких земель; μ_B — магнетон Бора; I — момент иона редкой земли; N_1 — концентрация одиночных центров. Второе слагаемое описывает вклад в магнитную восприимчивость антиферромагнитных пар ионов редких земель (пары со слабой обменной связью); N_2 — концентрация редкой земли, образующей в кристалле обменные антиферромагнитные пары. Зависимость (1) хорошо описывает поведение кривых магнитной восприимчивости (рис. 1). Следует отметить, что проведенные нами исследования радиочастотного дискретного насыщения свидетельствуют о том, что в процессах трансформации сильносвязанных пар в слабосвязанные принимает участие водород.

Таким образом, поведение температурных зависимостей магнитной восприимчивости в кристаллах $\alpha\text{-Li}(\text{O}_2)_3$, содержащих примеси редких земель, находится в хорошем согласии с данными ЭПР. Сравнительный анализ результатов, полученных этими методами при термическом отжиге кристаллов $\alpha\text{-Li}(\text{O}_2)_3$, содержащих редкие земли, свидетельствует об интенсивном формировании антиферромагнитных пар ионов редких земель при их введении в кристалл, что в значительной степени может уменьшать амплитуду сигнала ЭПР от одиночных ионов.

Список литературы

[1] Алчангян С. В., Дараселия Д. М., Джанаридзе Д. Л., Санадзе Т. И. // *ФТ*. 1989. Т. 31. № 3. С. 268—270.

[2] Баграев Н. Т. // *Изв. АН СССР, сер. физ.* 1983. Т. 47. № 12. С. 2331—2337.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР

Ленинград

Поступило в Редакцию

1 февраля 1990 г.

УДК 548.0 : 539.37

© Физика твердого тела, том 32, № 9, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 9, 1990

О СВЯЗИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В РАСПЛАВЕ С ТЕНЗОРОМ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ МЕТАЛЛА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

А. Д. Дорогим

В известной зависимости, например [1],

$$\sigma_K = C_{KM} \epsilon_M, \quad K, M = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (1)$$

теории упругости между тензором напряжений σ_K и тензором деформаций ϵ_M тензор упругих модулей C_{KM} при комнатной температуре изменяется

при изменении температуры металла или сплава. Например, при поликристаллическом состоянии металла компоненты тензора C_{KM} могут быть определены как для изотропного тела из известных соотношений

$$\begin{aligned} C_{11} = C_{22} = C_{33} &= E(1 - \mu)/(1 + \mu)(1 - 2\mu), \\ C_{12} = C_{13} = C_{21} = C_{31} = C_{23} &= \\ &= C_{32} = E\mu/(1 + \mu)(1 - 2\mu), \\ C_{44} = C_{55} = C_{66} = G &= E/2(1 + \mu). \end{aligned} \quad (2)$$

где E — модуль Юнга; G — модуль сдвига; μ — коэффициент Пуассона; остальные компоненты тензора C_{KM} равны нулю.

В работах [2, 3] и других показано, что при понижении температуры по сравнению с комнатной модули Юнга и сдвига металла или сплава возрастают, а коэффициент Пуассона незначительно уменьшается. При повышении температуры обратная ситуация.

Если рассчитать по известным в [2, 3] модулям Юнга и сдвига при различных температурах компоненты тензора C_{KM} , то изменение их с изменением температуры аналогично упомянутым модулям. В частности, при возрастании температуры компоненты тензора C_{KM} уменьшаются. В предельном случае, когда металл переходит в жидкое состояние при температуре плавления, он перестает воспринимать статический сдвиг. Тензор C_{KM} принимает новый вид, в котором все компоненты равны нулю, за исключением компонент $C_{11}^p = C_{22}^p = C_{33}^p$, равных объемному модулю сжатия K_p расплава металла.

Представляет интерес вопрос, существует ли связь между тензором C_{KM} твердой фазы при комнатной температуре и тензором C_{KM}^p расплава металла. Оказывается такая связь имеет место в виде

$$C_{11}^p = K_p = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^6 \sum_{M=1}^6 C_{KM}, \quad (3)$$

где n — количество ненулевых компонент тензора C_{KM} . Для экспериментального доказательства зависимости (3) можно сделать по ней расчет скорости распространения звуковых волн в жидкости по известной формуле

$$c = \sqrt{\frac{K_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{n\rho} \sum_{K=1}^6 \sum_{M=1}^6 C_{KM}}, \quad (4)$$

где ρ — плотность расплава металла, и сравнить с экспериментальными данными.

В таблице приведены результаты такого расчета по данным [4-6]. Металлы,

Металл	$\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	T_p , °C	E_p , 10^{10} Н/м ²	μ	$\frac{\Delta V}{V}$, %	v_d , м/с	C , м/с	Погрешность, %
Bi	9.786	271.3	3.235	0.330	-3.32	1635—1674	1628	1.6
In	7.280	156.6	1.450	0.435	2.50	2215—2315	2025	10.6
Cd	8.636	321.0	5.740	0.295	4.74	2220—2256	2218	0.9
K	8.868	63.4	0.305	0.360	2.41	1880	1920	2.1
Cu	8.778	1083.0	10.158	0.349	3.70	3270	3324	1.6
Na	0.972	97.8	0.535	0.370	2.50	2395	2513	4.9
Sn	6.810	231.9	6.005	0.293	2.60	2270—2480	2517	6.0
Pb	11.470	327.3	1.573	0.432	3.60	1790—1810	1653	8.1
Ag	10.522	960.8	8.080	0.363	4.99	2770	2845	2.7
Zn	7.080	419.5	10.338	0.253	6.90	2790—2850	3075	9.0

для которых информация о модуле Юнга E и коэффициенте Пуассона μ приведена только в одном источнике, не принимались во внимание. Расчет проводился по средним значениям E и μ . Плотность расплава определялась по плотности металла в естественном состоянии и известному изменению объема при плавлении $\Delta V/V$ [4]. Из сравнения расчетной величины C со средней скоростью звука v_n в расплаве металла, по данным [5], видно, что она близка к последней с погрешностью, не превышающей 11 %.

Связь (4) имеет место не только для поликристаллического состояния металла, но и для кристаллического. Например, для кристалла индия тетрагональной системы в [7] приведены данные о модулях упругости (Н/м^2): $C_{11}=4.53 \cdot 10^{10}$, $C_{12}=4.00 \cdot 10^{10}$, $C_{13}=4.15 \cdot 10^{10}$, $C_{33}=4.51 \cdot 10^{10}$, $C_{44}=0.651 \cdot 10^{10}$, $C_{66}=1.21 \cdot 10^{10}$, $C_{16}=0$. Отсюда получим $C=1943$ м/с и погрешность, не превышающую 15 % в сравнении со средней скоростью звука в расплаве индия при температуре плавления T_n (см. таблицу).

Для того чтобы окончательно убедиться, что обнаруженная связь между тензором модулей упругости металла при комнатной температуре и скоростью звука в расплаве металла существует, необходимы специальным образом поставленные эксперименты.

В заключение отметим, что, видимо, существует характеристическое значение температуры твердой фазы вещества, при которой имеет место закономерная связь компонентов тензора упругих модулей со скоростью звука в расплаве этого же вещества при температуре плавления.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Мейз Д. Теория и задачи механики сплошных сред. М., 1974. 536 с.
- [2] Гудков С. И. Механические свойства промышленных цветных металлов при низких температурах. М., 1971. 304 с.
- [3] Каптелян Ю. А. Характеристики упругости материалов при высоких температурах. Киев, 1970. 112 с.
- [4] Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М., 1982. 208 с.
- [5] Таблицы физических величин. Справочник. М., 1976. 1007 с.
- [6] Справочник кадастр физических свойств горных пород. М., 1975. 280 с.
- [7] Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. М., 1982. 424 с.

Гипротюменнефт

Поступило в Редакцию
19 февраля 1990 г.

УДК 537.312.62

© Физика твердого тела, том 32, № 9, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 9, 1990

ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИКИ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Л. К. Марков, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман

В настоящее время считается установленным перколяционный характер проводимости высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1]. Поэтому особый интерес представляют работы, посвященные исследованию слабых связей, которыми определяются критический ток и некоторые другие параметры этих материалов. Основными факторами, воздействующими на слабые связи, являются магнитное и силовое (механическое) поля. Так, критический ток j_c уже в сравнительно небольших магнитных полях уменьшается в несколько раз: при напряженности магнитного поля $H=100$ Э величина j_c падает в 6–7 [2] и 10 раз [3]. Результаты магнитных исследований ВТСП приводят к необходимости введения двух