

PACS: 62.50.+p, 64.70.Kb, 72.15.Jf

А.И. Орлов, Л.Г. Хвостанцев

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИЯ

Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН
г. Троицк, Московская обл., 142190, Россия
E-mail: anatoly.orlov@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 26 января 2010 года

Впервые проведены измерения термоэдс индия при высоком давлении до 8 GPa. Обнаружено, что индий сохраняет положительный знак термоэдс во всем диапазоне давлений. Проведены прецизионные измерения электросопротивления индия под давлением. Предполагается, что при давлениях 3 GPa происходит изменение топологии ферми-поверхности индия без изменения кристаллической структуры.

Ключевые слова: высокие давления, термоэдс, электронный спектр, электросопротивление, индий

В настоящее время основное внимание исследователей посвящено изучению фазовых превращений в индии при сверхвысоких давлениях мегабарного диапазона [1,2].

Вместе с тем диапазон давлений до 10 GPa представляет самостоятельный интерес для исследований кинетических свойств индия. В работе [3] при сжатии чистого индия наблюдалась некоторая «нерегулярность» в поведении величин параметров решетки c/c_0 вблизи давления 3 GPa. Авторы [4] измеряли зависимость температуры сверхпроводимости индия от давления и обнаружили заметное изменение величины температуры сверхпроводимости и повышение критического магнитного поля при давлениях от 3.2 до 4 GPa. Сделано предположение, что эти аномалии связаны с изменением топологии ферми-поверхности индия.

Измерения электросопротивления индия под давлением не обнаружили никаких аномалий на его зависимостях [5]. Термоэдс металлов является кинетическим коэффициентом, чувствительным к изменениям кристаллической структуры и электронного спектра. В настоящей работе впервые изучено поведение термоэдс индия при высоком давлении до 8 GPa и комнатной температуре.

Техника эксперимента

Измерения термоэдс индия проводили на аппаратуре высокого давления типа «тороид» [6] по методике, описанной ранее при изучении под давлени-

ем термоэдс металлов лития, цезия и галлия [7–9]. В качестве среды, передающей давление, использовали полиэтиленсилоксановую жидкость (ПЭС), которая гидростатична при давлениях до 1.5 GPa и плавно создает квазигидростатические условия при дальнейшем повышении давления.

Термопары медь–константан (диаметром 0.1 mm) припаивали к образцу индия размерами $1 \times 1.5 \times 7$ mm. Градиент температуры образца был равен 5°C . Величину абсолютной термоэдс меди считали равной $+1.8 \mu\text{V/K}$. Незначительные изменения ее с повышением давления, а также влияние последнего на калибровку термопары медь–константан считали не существенными [10].

Зависимости термоэдс от давления были получены в нескольких экспериментах и показали качественную повторяемость как при увеличении, так и при уменьшении давления (рис. 1).

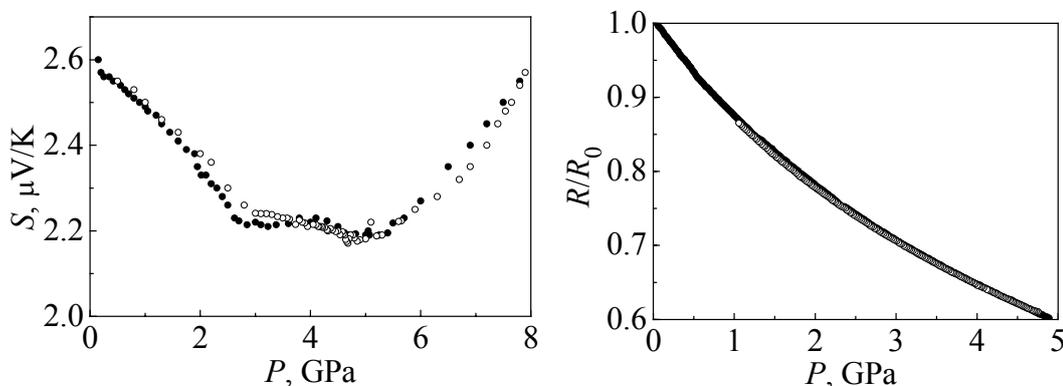


Рис. 1. Барические зависимости абсолютной термоэдс индия при увеличении (—●—) и уменьшении (—○—) давления

Рис. 2. Относительное электросопротивление индия при увеличении (—●—) и уменьшении (—○—) давления

Измерения электросопротивления индия под давлением проводили по четырехточечному методу на более длинном образце – проволочке длиной около 20 mm и диаметром 1 mm. В виде спирали ее располагали в ячейке высокого давления в гидростатической среде (смесь спиртов метанол–этанол). Давление при этом измеряли манганиновым датчиком (рис. 2).

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлена зависимость термоэдс индия от давления при его увеличении до 8 GPa и уменьшении в условиях комнатной температуры. По нашим результатам, абсолютная термоэдс индия при нормальном давлении составляет $+2.6 \mu\text{V/K}$. Это соответствует табличным данным в пределах точности измерений [11], равным $+2.4 \mu\text{V/K}$.

При увеличении давления до 2.7 GPa термоэдс плавно уменьшается до величины $+2.2 \mu\text{V/K}$, в диапазоне $P = 2.7\text{--}5$ GPa термоэдс практически не

изменяется, а при $P > 5$ GPa наблюдается ее рост. При уменьшении давления кривая зависимости совпадает в пределах точности измерений, что подтверждает отсутствие фазовых переходов в индии в исследуемом диапазоне давлений.

Электросопротивление индия, как уже отмечалось, измеряли на более длинном образце, что позволило повысить точность измерений. Кроме того, гидростатические условия дали возможность более точно определять значение давления в каждой точке измерений и существенно увеличить количество точек измерения.

При повышении давления до 5 GPa электросопротивление индия плавно уменьшается до значений $R/R_0 = 0.6$ (рис. 2). При уменьшении давления наблюдается полная обратимость зависимости электросопротивления от давления. Кроме того, поточечно строились зависимости производной электросопротивления от давления (dR/dp). На них также не обнаружилось никаких аномалий в поведении электросопротивления индия.

В исследуемой области давлений до 10 GPa индий имеет гранецентрированную тетрагональную структуру. С увеличением давления возрастает анизотропия кристаллической решетки (c/a) [12], а уменьшение анизотропии наблюдается при $P > 10$ GPa.

В работе [3] при рентгеновских исследованиях индия под давлением наблюдалась некоторая «нерегулярность» параметра c/c_0 кристаллической решетки вблизи значений относительного объема $V/V_0 = 0.95$. Эта величина сжимаемости соответствует давлениям около 3 GPa.

В работе [4] изучалось влияние квазигидростатического давления на критическую температуру сверхпроводящего перехода и критическое поле в индии до давлений 6 GPa. Была обнаружена некоторая нерегулярность в зависимости температуры сверхпроводимости при $P = 3.2-4$ GPa. Измерения критического поля сверхпроводимости подтверждают эту аномалию в данном интервале давлений. Позднее проводились аналогичные исследования [13] под давлением по более совершенной методике. Но, к сожалению, в них очень мало точек измерений, и фактически не изучался интересующий нас интервал давлений.

Таким образом, область давлений около 3 GPa для индия является областью аномального поведения термоэдс, его кристаллической решетки [3] и сверхпроводящих свойств [4]. Термоэдс индия под давлением при комнатной температуре подтверждает нерегулярность в поведении электронных свойств, связанных с поведением параметра c кристаллической решетки.

На основании этого сделано предположение, что в индии при $P = 3$ GPa происходит качественное изменение топологии ферми-поверхности. Но для окончательных выводов требуются более прямые методы исследования электронного спектра индия под давлением.

Индий является четвертым объектом после лития [7], цезия [8] и галлия [9] по изучению поведения термоэдс металлов, имеющих положительный

знак термоедс при нормальних умовах. В отличие от других металлов индий не испытывает фазовых превращений при давлении до 10 GPa. Общим в поведении термоедс всех четырех металлов при таком давлении является сохранение ее положительного знака.

Автори признательны чл.-кор. РАН Е.Г. Максимова за проявленный интерес к данным экспериментальным работам, а также д.ф.-м.н. В.А. Венцелю за предоставление образцов индия.

Работа поддержана грантом РФФИ № 08-02-00241-а.

1. *K. Taketura, H. Fujihisa*, Phys. Rev. **B47**, 8465 (1993).
2. *A.S. Mikhaylushkin, U. Haussermann, B. Johansson, S.I. Simak*, Phys. Rev. Lett. **92**, 195501-1 (2004).
3. *R.W. Vaughan, H.G. Drickamer*, J. Phys. Chem. Solids **26**, 1549 (1965).
4. *М.А. Ильина, Е.С. Ицкевич, А.В. Тумов*, ФТТ **16**, 2674 (1974).
5. *P.W. Bridgman*, Proc. Am. Acad. Arts Sci. **81**, 165 (1952).
6. *L.G. Khvostantsev, L.F. Vereshchagin, A.P. Novikov*, High Temp.–High Pressures **9**, 637 (1977).
7. *А.И. Орлов, Л.Г. Хвостанцев, Е.Л. Громницкая О.В. Стальгорова*, ЖЭТФ **120**, 445 (2001).
8. *А.И. Орлов, Л.Г. Хвостанцев, Е.Г. Максимов*, Письма в ЖЭТФ **84**, 165 (2006).
9. *А.И. Орлов, Л.Г. Хвостанцев*, Письма в ЖЭТФ **87**, 632 (2008).
10. *F.P. Bundy*, J. Appl. Phys. **32**, 483 (1961).
11. *М.Е. Дриц и др.*, Свойства элементов. Справочник, Наука, Москва (1997), т. 1.
12. *Л.Ф. Верещагин, С.С. Кабалкина, З.В. Троицкая*, Докл. АН СССР **158**, 1061 (1964).
13. *A. Eiling, J.S. Schilling*, J. Phys. F: Metal Phys. **11**, 623 (1981).

А.И. Орлов, Л.Г. Хвостанцев

ВПЛИВ ВИСОКОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА КІНЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІНДІЯ

Вперше проведено вимірювання термоерс індія при високому тиску до 8 GPa. Виявлено, що індій зберігає позитивний знак термоерс у всьому діапазоні тиску. Проведено прецизійні вимірювання електроопору індія під тиском. Передбачається, що при тиску 3 GPa відбувається зміна топології фермі-поверхні індія без зміни кристалічної структури.

Ключові слова: гідростатичний тиск, термоерс, електронний спектр, електроопір, індій

A.I. Orlov, L.G. Khvostantsev

INFLUENCE OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE ON KINETIC PROPERTIES OF INDIUM

Indium thermoemf has been for the first time measured under high pressure up to 8 GPa. It has been found that indium retains the positive value of thermoemf throughout the range of investigated pressure. Precise electroconductivity of indium has been measured under high hydrostatic pressure. It is assumed that at 3 GPa pressure indium topology of Fermi surface changes without its crystalline structure change.

Keywords: high pressures, thermoemf, electron spectrum, electroresistance, indium

Fig. 1. Pressure dependence of absolute thermoemf of indium: —●— — pressure increase, —○— — pressure decrease

Fig. 2. Pressure dependence of relative electroresistance of indium: —●— — pressure increase, —○— — pressure decrease