

Локальная симметрия и электронная структура атомов олова в решетках $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$

© С.А. Немов, Ю.В. Кожанова, П.П. Серегин, Н.П. Серегин*, Д.В. Шамшур⁺

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

* Институт аналитического приборостроения Российской академии наук,
198103 Санкт-Петербург, Россия

⁺ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 10 декабря 2002 г. Принята к печати 17 декабря 2002 г.)

Методом мессбауэровской спектроскопии на изотопе ^{119}Sn показано, что для твердых растворов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ переход в сверхпроводящее состояние не сопровождается изменением локальной симметрии атомов олова и их электронной структуры.

Для твердых растворов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ с $x \approx 0.8$ и $z \approx 0.16-0.20$ обнаружена сверхпроводимость с необычайно высокой для полупроводников критической температурой ($T_c \approx 4\text{ K}$), зависящей от концентрации олова [1]. В настоящее время отсутствует объяснение этих экспериментальных данных в рамках какого-либо варианта микроскопической теории сверхпроводимости. Не исключено, что явление сверхпроводимости в указанных полупроводниках связано с резонансными уровнями, создаваемыми примесью индия на фоне валентной зоны кристаллов [2].

Перспективным методом изучения электронной структуры твердых тел является мессбауэровская спектроскопия. Параметры мессбауэровских спектров (изомерный сдвиг и квадрупольное расщепление) позволяют надежно определять зарядовое состояние исследуемых центров и симметрию их локального окружения, а измерение температурной зависимости центра тяжести мессбауэровского спектра S в области температур как выше, так и ниже температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c позволяет проводить исследование процесса образования куперовских пар.

С целью обнаружения возможных изменений локальной симметрии узлов олова, электронной структуры атомов олова, а также наблюдения процесса образования куперовских пар мы предприняли исследование твердых растворов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ методом мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{119}Sn .

Твердые растворы $(\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ ($T_c \approx 4\text{ K}$), $\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5}\text{Te}$ ($T_c < 1.8\text{ K}$), $(\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ ($T_c \approx 4\text{ K}$), $\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6}\text{Te}$ ($T_c < 1.8\text{ K}$), $(\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6})_{0.97}\text{In}_{0.03}\text{Te}$ ($T_c < 1.8\text{ K}$) и соединение SnTe ($T_c < 1.8\text{ K}$) были синтезированы методом сплавления исходных компонент полупроводниковой чистоты в вакуумированных кварцевых ампулах с последующим отжигом при 650°C в течение 120 ч. Рентгеновский анализ показал однофазность всех исследованных образцов (они имели структуру типа NaCl). Мессбауэровские спектры ^{119}Sn измерялись на промышленном спектрометре СМ-2201 при 295, 195, 78, 4.2 и 2 К, причем температура источника ($\text{Ca}^{119}\text{SnO}_3$) была 295 К. Ширина спектра

указанного источника с поглотителем CaSnO_3 (поверхностная плотность 0.1 мг/см^2 по ^{119}Sn) была $0.78(1)\text{ мм/с}$, которая принималась за аппаратную ширину спектральной линии ^{119}Sn .

Мессбауэровские спектры ^{119}Sn всех образцов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ представляли собой одиночные линии (рис. 1), для которых ширины на полувысоте W_{exp} близки к аппаратной ширине спектров (в зависимости от состава образцов W_{exp} изменялась от 0.96 до 1.04 мм/с). Перевод сплава в сверхпроводящее состояние не приводит к заметному изменению величины W_{exp} . Поэтому можно сделать вывод о неизменной локальной симметрии катионных узлов решеток твердых растворов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ при переводе их в сверхпроводящее состояние.

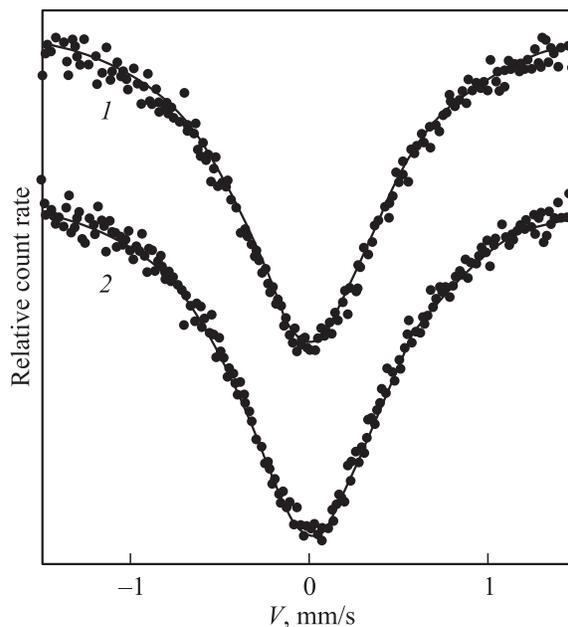


Рис. 1. Мессбауэровские спектры ^{119}Sn для твердого раствора $(\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ ($T_c \approx 4\text{ K}$) при температурах $T = 4.2$ (1) и 2 К (2). Изомерные сдвиги приводятся относительно спектра, измеренного при 4.2 К.

Изомерный сдвиг мессбауэровских спектров определяется химической природой атомов в локальном окружении мессбауэровского зонда. Поскольку при изменении состава твердого раствора $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ ближайшее окружение атомов олова остается неизменным, то не является неожиданным постоянство изомерного сдвига мессбауэровских спектров ^{119}Sn , который для всех составов в пределах погрешности измерений совпадает с изомерным сдвигом спектра соединения SnTe .

Как известно, явление сверхпроводимости объясняется образованием бозе-конденсата куперовских пар, описываемых единой когерентной волновой функцией, так что распределение электронной плотности в узлах кристаллической решетки сверхпроводника в принципе должно различаться при температурах выше и ниже температуры перехода в сверхпроводящее состояние [3]. Поскольку изомерный сдвиг мессбауэровских спектров зависит от электронной плотности на ядре зонда, по температурной зависимости центра тяжести S мессбауэровского спектра сверхпроводника в области $T < T_c$ можно обнаружить появление бозе-конденсата [4]. При этом следует иметь в виду, что в отсутствие фазовых переходов температурная зависимость S определяется доплеровским сдвигом 2-го порядка и для модели Дебая она имеет вид [5]

$$\left(\frac{\delta D}{\delta T}\right)_p = -\frac{3kE_0}{2Mc^2}F\left(\frac{T}{\theta}\right), \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана, E_0 — энергия изомерного перехода, M — масса ядра-зонда, c — скорость света

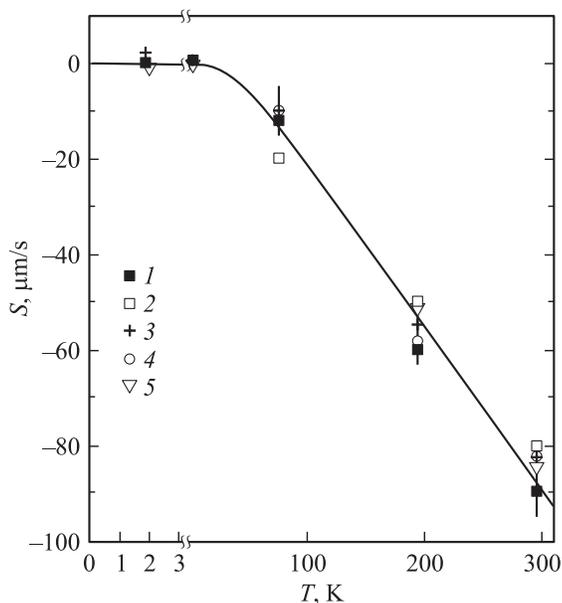


Рис. 2. Температурные зависимости центра тяжести S мессбауэровских спектров ^{119}Sn для твердых растворов: 1 — $(\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$, 2 — $\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5}\text{Te}$, 3 — $(\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$, 4 — $\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6}\text{Te}$, 5 — $(\text{Pb}_{0.4}\text{Sn}_{0.6})_{0.97}\text{In}_{0.03}\text{Te}$, измеренные относительно их значений при 4.2 К. Сплошной линией показана теоретическая температурная зависимость S для случая доплеровского сдвига 2-го порядка при $\theta = 130$ К.

в вакууме, θ — температура Дебая, $F(T/\theta)$ — функция Дебая. Отклонение экспериментальной зависимости $S(T)$ от зависимости типа (1) должно свидетельствовать об изменении электронной плотности кристалла в узлах мессбауэровской зоны, связанной с процессом бозе-конденсации.

На рис. 2 приведены экспериментальные (точки) и теоретические, проведенные согласно соотношению (1) (сплошные линии), температурные зависимости центра тяжести спектров ^{119}Sn для твердых растворов $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$. Видно, что во всей области температур (выше и ниже температуры перехода в сверхпроводящее состояние) экспериментальные зависимости $S(T)$ хорошо описываются доплеровским сдвигом 2-го порядка для температуры Дебая $\theta = 130$ К.

Таким образом, следует заключить, что мессбауэровская спектроскопия на изотопе ^{119}Sn не обнаруживает изменений ни локальной симметрии узлов, ни электронной структуры атомов в твердых растворах $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ при переходе их в сверхпроводящее состояние.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 02-02-17306).

Список литературы

- [1] R.V. Parfeniev, D.V. Shamshur, M.F. Shakhov. *J. Alloys Comp.*, **219**, 313 (1995).
- [2] С.А. Немов, Ю.И. Равич. *УФН*, **168**, 817 (1998).
- [3] Дж. Шриффер. *Теория сверхпроводимости* (М., Мир, 1965).
- [4] Н.П. Серегин, П.П. Серегин. *ЖЭТФ*, **118**, 1421 (2000).
- [5] Д. Надь. В кн.: *Мессбауэровская спектроскопия замороженных растворов*, под ред. А. Вергеш, Д. Надь (М., Мир, 1998) с. 11.

Редактор Т.А. Полянская

Lokal symmetry and electronic structure of tin atoms in $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ lattices

S.A. Nемов, Yu.V. Kozhanova, P.P. Seregin, N.P. Seregin,* D.V. Shamshur⁺

St. Petersburg State Polytechnical University,
195251 St. Petersburg, Russia

* Institute for Analytical Instrumentation, Russian
Academy of Sciences,

198103 St. Petersburg, Russia

⁺ Ioffe Physicotechnical Institute,

Russian Academy of Sciences,

194021 St. Petersburg, Russia

Abstract Using the Mössbauer spectroscopy it has been shown on a ^{119}Sn isotope that the superconducting transition in $(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-z}\text{In}_z\text{Te}$ solid solutions is not accompanied by changes in the local symmetry and electronic structure of tin atoms.