

## ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПЛЕНОК ПОЛУПРОВОДНИКА $\text{CuFeS}_2$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ф. Ю. Алиев, Э. Г. Касумова

Измерены тепловое расширение и электропроводность пленок антиферромагнитного полупроводника до 2°К. Обнаружено "исчезновение" сопротивления и скачок коэффициента теплового расширения в ограниченной области  $88 < T < 90^\circ\text{K}$ , что, по-видимому, указывают на осуществление сверхпроводящего перехода.

С целью обнаружения сверхпроводимости и квантового температурно-размерного эффекта (КТРЭ) исследованы тепловое расширение и электропроводность пленок полупроводника  $\text{CuFeS}_2$ .

Этот халькопирит синтезирован на основе соединений  $\text{CuS}$  и  $\text{FeS}$  [1, 2]. Рентгенофазным анализом установлено, что полученный продукт является соединением  $\text{CuFeS}_2$  стехиометрического состава с тетрагональной структурой. В экспериментальных исследованиях [1-4] массивного образца определены концентрация носителей заряда  $8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , ширина запрещенной зоны 0, 53 эВ, подвижность  $30 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ , коэффициент термоэдс  $480 \text{ мкВ}/\text{град}$  и показано, что  $\text{CuFeS}_2$  — антиферромагнитный полупроводник с температурой Нееля  $823^\circ\text{K}$ . Важной особенностью этого вещества является наличие двух ионных состояний

$\text{Cu}^1+\text{Fe}^3+\text{S}_2^{2-}$  и  $\text{Cu}^2+\text{Fe}^2+\text{S}_2^{2-}$  с ионной и ковалентной связями, что оказывает существенное влияние на кинетические и термодинамические свойства материала.

Пленки получались термическим испарением  $\text{CuFeS}_2$  в вакууме  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст. при параллельном и перпендикулярном расположении поверхности подложки относительно оси конусообразного вольфрамового испарителя.

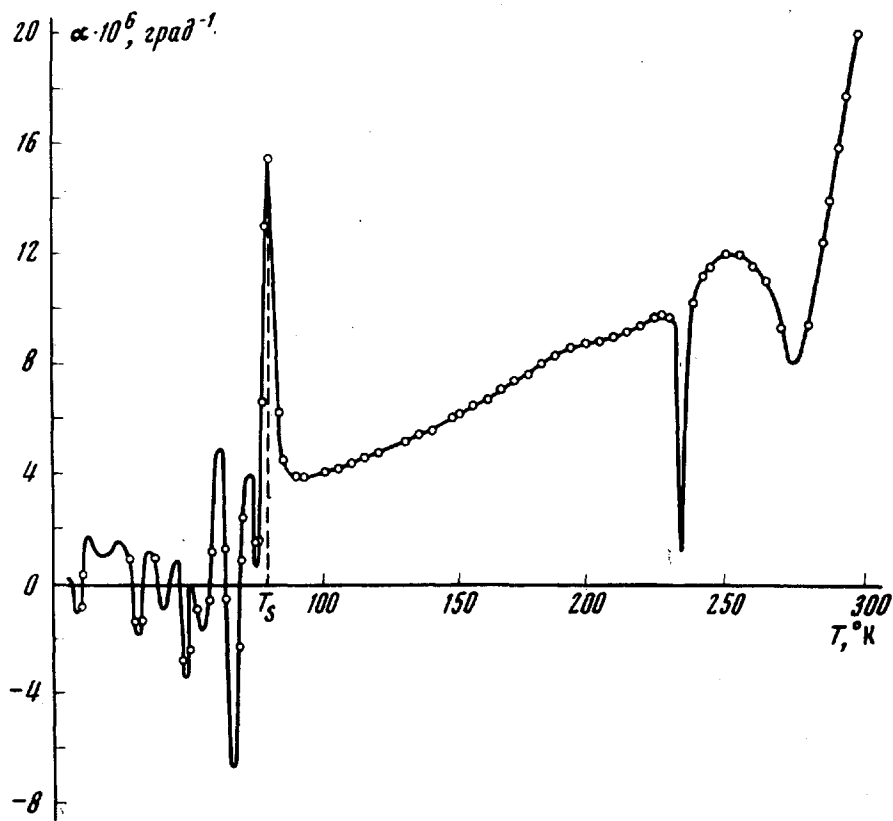


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплового расширения от температуры для пленки  $\text{CuFeS}_2$  толщиной  $\sim 400 \text{ \AA}$ .

Известно [5], что в случае конденсации подобных веществ под определенным углом на плоскости стеклянной подложки магнитные моменты имеют преимущественные направления. С учетом этих особенностей для исследования теплового расширения пленки получались на внутренней поверхности стеклянной спирали параллельным перемещением ее вдоль оси испарителя с помощью специального приспособления. Измерение теплового расширения от 4,2 до  $300^{\circ}\text{K}$  производилось применением прецизионного метода биспиралей Лазарева и Судовцова [6].

На рис. 1 приводится зависимость коэффициента теплового расширения (КТР) пленки  $\text{CuFeS}_2$  толщиной  $\sim 400 \text{ \AA}$  с учетом расширения стекла. Как видно, в области  $4,2 \div 79^\circ\text{K}$  КТР в некоторых интервалах температур принимает отрицательные значения и наблюдается КТРЭ, амплитуда которой экспоненциально растет с температурой [8], как и в случае  $\text{CuS}$  [7]. Здесь, кроме основных, обнаруживаются и дополнительные периоды осцилляции. При температуре  $79^\circ\text{K}$  КТР терпит скачок аналогично фазовым переходам II рода. Выше этой температуры осцилляция КТР исчезает.

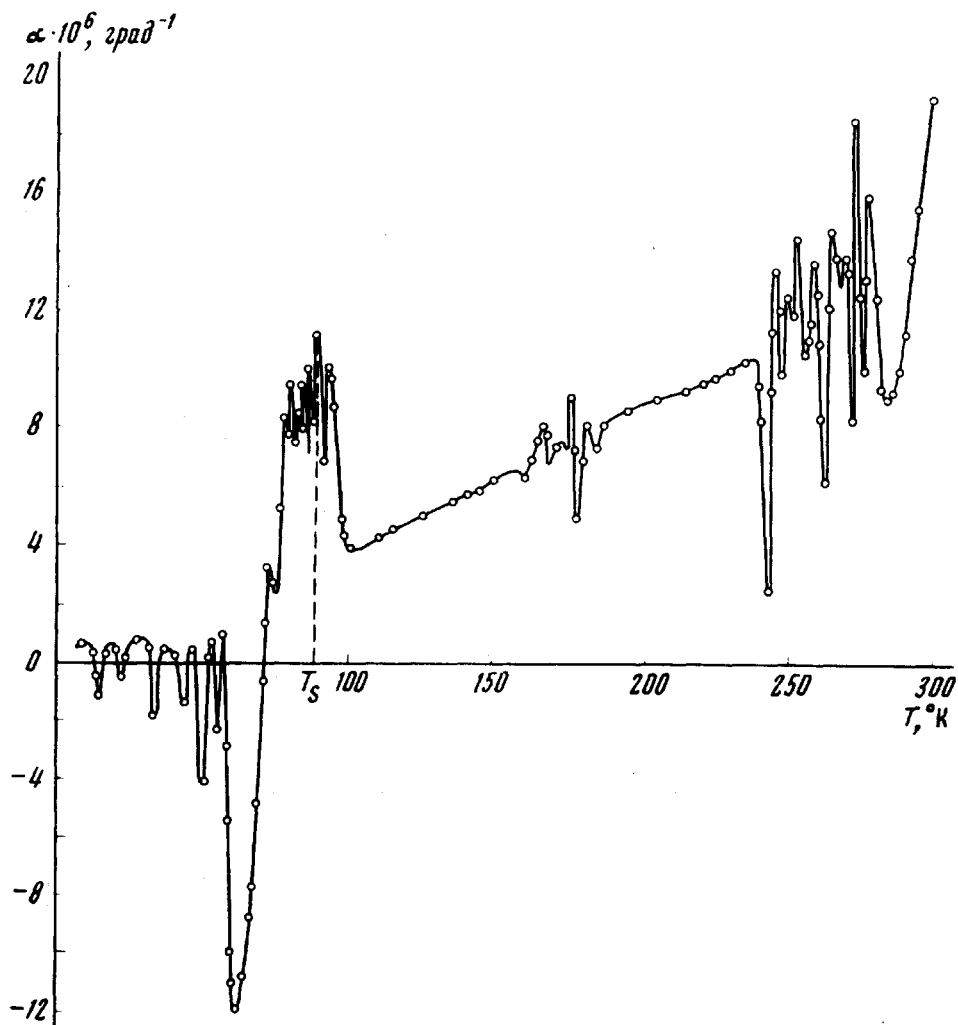


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплового расширения от температуры для пленки  $\text{CuFeS}_2$  толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$ .

Аналогичная картина получается и для пленки толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$ , где переход осуществляется около  $90^\circ\text{K}$  с той разницей, что в окрестности этой температуры имеет место осцилляция КТР (рис. 2). В области  $240 \div 280^\circ\text{K}$  снова происходит скачок КТР, связанный, по-видимому, с антиферромагнитным превращением.

Для выяснения характера перехода при  $90^\circ\text{K}$  измерялась также электропроводность пленок  $\text{CuFeS}_2$  до  $2^\circ\text{K}$ . На рисунке 3 приводится зависимость удельного сопротивления  $\rho$  от температуры пленки толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$ , полученной также на стеклянной плоской подложке параллельным перемещением ее вокруг испарителя. Как видно, и в данном случае температурная осцилляция  $\rho$  ясно проявляется до  $88^\circ\text{K}$ , где обнаруживается "исчезновение" сопротивления в узкой области температур шириной примерно в  $2^\circ$ . Величина сопротивления при этом

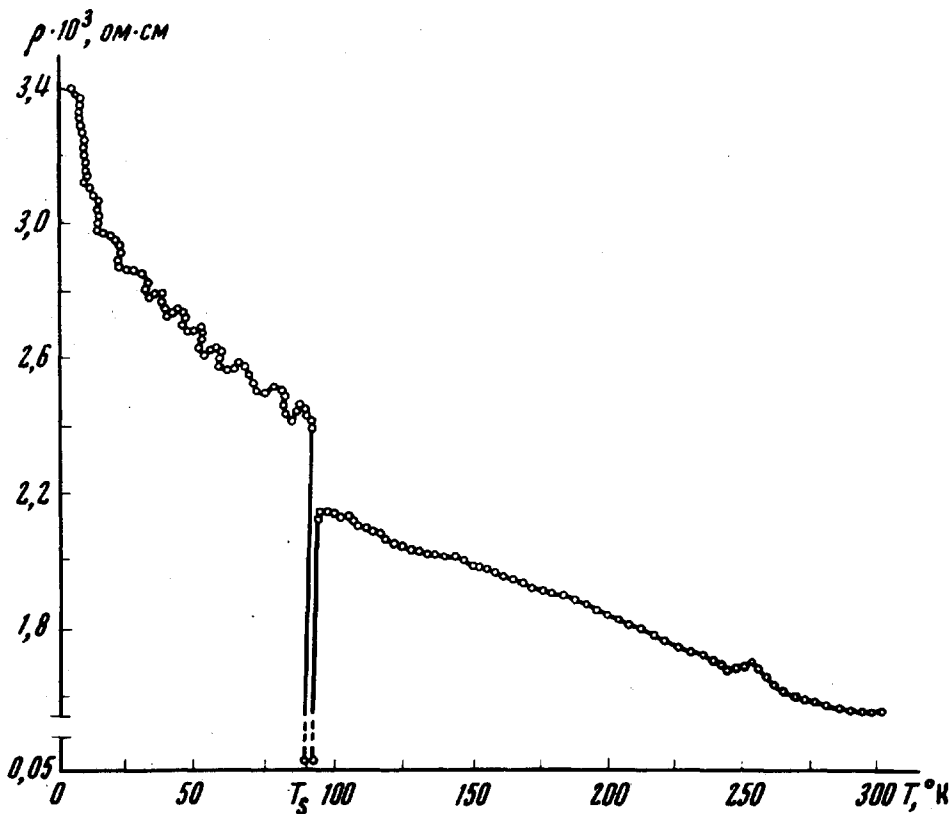


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления от температуры для пленки  $\text{CuFeS}_2$  толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$

уменьшается от  $483$  до  $12 \text{ \Omega}$ , т. е. приблизительно в  $40$  раз; в верхней границе провала удельное сопротивление  $2,42 \cdot 10^{-3}$ , а в нижней  $\sim 6 \cdot 10^{-5} \text{ \Omega} \cdot \text{cm}$ . Последнее еще не является нижним пределом сопротивления. В данном случае измерение нижнего предела сопротивления ограничено методическими возможностями. Выше  $90^\circ\text{K}$  сопротивление скачком восстанавливается и сохраняется прежний ход зависимости  $\rho$  от  $T$ . В случае перпендикулярной конденсации удельное сопротивление имеет полупроводниковый ход, без каких-либо особенностей, как у массивного образца. Интересно также отметить, что вышеуказанное явление — скачок сопротивления и КТР наблюдаются в пленках, в которых имеет место КТРЭ.

Таким образом, "исчезновение" сопротивления при 89°К, обнаружение фазового перехода II рода, определенного скачком КТР, позволяет сказать, что этот переход является сверхпроводящим переходом, обусловленным кулоновским взаимодействием электронов различных групп в соответствии с теорией Когана, Кресина и Тавгера [9, 10]. Согласно этой теории переход осуществляется в ограниченной области температур, выше и ниже которой сверхпроводник остается в нормальном состоянии.

Наблюденное явление по своему характеру является весьма сложным, так как здесь кроме указанного механизма существенную роль, по-видимому, играет магнитная анизотропия свойств в зависимости от условия конденсации пленок. Кроме этого, при испарении столь сложного соединения, стехиометрия может нарушаться. При нарушении одного из вышеуказанных условий сверхпроводимость и КТРЭ исчезают.

Авторы выражают благодарность Б.Г.Лазареву, В.Г.Барьяхтару за обсуждение результатов, Г.Б.Абдуллаеву, М.И.Алиеву и И.Г.Керимову за помощь и интерес к работе, Ю.Г.Асадову за рентгенофазные исследования.

Институт физики низких температур  
Академии наук  
Азербайджанской ССР

Поступила в редакцию  
4 апреля 1973 г.  
После переработки  
22 мая 1973 г.

### Литература

- [1] Б.И.Болтакс, Н.И.Тарновский. ЖТФ, 25, 402, 1955.
- [2] В.П.Жузе, В.М.Сергеева, Е.Д.Штрум. ЖТФ, 28, 233;28, 2093, 1958.
- [3] Г.Б.Абдуллаев, Г.М.Алиев, В.Б.Антонов, А.А.Башишалиев, А.З.Кулиев, Я.Н.Насиров. Известия АН Азерб. ССР, 2, 49, 1960.
- [4] Т. Teranishi. Jour. Phys., Japan. 16, 1881, 1961.
- [5] Р.Сиху. Магнитные тонкие пленки ИЛ., М., 1967.
- [6] Б.Г.Лазарев, А.И.Судовцов. ДАН СССР, 69, 345, 1949.
- [7] Ф.Ю.Алиев, Ф.Р.Фоджаев, И.Г.Керимов, Е.С.Крупников. Письма в ЖЭТФ, 13, 679, 1971; 15, 24, 1972.
- [8] С.С.Недорезов. ЖЭТФ, 59, 1353, 1970.
- [9] В.Г.Коган, Б.А.Тавгер. ФТТ, 8, 1008, 1966.
- [10] В.З.Кресин, Б.А.Тавгер. ЖЭТФ, 50, 1689, 1966.