

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ЛОКАЛИЗАЦИИ АНДЕРСОНА В ЖИДКОМ СЕЛЕНЕ

*В.А.Алексеев, В.Г.Эвчаренко, Ю.Ф.Рыжков,
М.В.Садовский*

Измерена электропроводность селена в области высоких температур ($\sim 2000^\circ\text{C}$) и давлений (до 1000 атм) значительно превышающих критические. Обнаружено резкое уменьшение электропроводности селена при уменьшении плотности после достижения насыщения на уровне $\sim 2 \cdot 10^2\text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, что по известному критерию Мотта, соответствует минимальному значению металлической электропроводности. Такое поведение электропроводности есть следствие андерсоновской локализацией электронов, что подтверждается приведенными расчетами. Предлагается метод проверки формулы электропроводности вблизи порога подвижности и определения критического индекса.

В области высоких температур электропроводность жидкого селена σ_{Se} с увеличением температуры достигает значений $\sigma \sim 1 - 2 \cdot 10^2\text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [1]. При этом полупроводниковая зависимость σ от температуры изменяет свой характер на близкий к металлическому. По известному критерию Мотта эта величина соответствует минимальному значению металлической электропроводности [2]. Такое низкое значение металлической электропроводности позволяет наблюдать эффект локализации электронов Андерсона при понижении плотности селена. В металлах этот эффект явно не проявляется. Возможно, это связано с тем обстоятельством, что в области перехода металл-неметалл при уменьшении плотности электропроводность σ_{Se} начинает падать со значений, более чем на два порядка величины превышающих их минимальное металлическое значение.

Этот факт может оказаться решающим в неоднородных системах, проводимость которых определяется количеством связанных между собой областей высокой металлической электропроводности [3]. На-

личие таких проводящих областей приведет к тому, что эффект, вызываемый локализацией Андерсона, будет ими шунтироваться.

Эффект локализации электронов должен проявляться в резком падении электропроводности при повышении температуры. Для исключения скачков σ , вызываемых кипением селена, эксперименты приводились при давлениях и температурах, превышающих критические ($T_{кр} = 1766\text{K}$ и $P_{кр} = 268 \text{ атм}$ [4]). Для измерения электропроводности селена в области высоких температур была изготовлена ячейка из окиси бериллия с четырьмя графитовыми электродами (рис. 1). Ячейка состояла из двух частей: стержня — 2 и стакана — 4. Внутри стержня имелись шесть вертикальных каналов — четыре для электродов — 3, два для термодпар — 5. Перпендикулярно четырем электродным каналам высверливался горизонтальный измерительный канал — 1, в котором находился селен. В собранном виде стержень помещался в стакан, выполняющий роль расширителя для каждого селена в процессе нагрева. Ячейка нагревалась графитовой печью, установленной в камере высокого давления. В качестве среды, передающей давление использовался аргон, подробно установка была описана ранее в [5].



Рис. 1. Ячейка из окиси бериллия для измерения электропроводности селена при высоких температурах: 1 — круглый канал, в котором содержится жидкий селен, просверленный в теле стержня из BeO , 2 — стержень из окиси бериллия, 3 — два токовых и два потенциальных графитовых электрода, 4 — стакан из BeO , 5 — два канала, в которые вставляются термодпары ВР5—ВР-20 для измерения температуры

Зависимость электропроводности от температуры измеряли при постоянном давлении. На рис. 2 приведены четыре изобары; две из них ниже критического давления (165 и 103 атм). На этих изобарах кипение начинается раньше выхода на уровень металлизации. Две других изобары (500 и 100 атм) превышают критическое давление, поэтому наблюдаемое резкое падение электропроводности не может быть связано с кипением. Такое резкое уменьшение электропроводности от значений порядка минимальной металлической, где шунтирование почти не сказывается, позволяет интерпретировать наблюдаемый переход в диэлектрическое состояние как переход Андерсона, связанных с полной локализацией электронов [2, 6].

Полная локализация происходит, когда отношение W/V , где W — амплитуда разброса энергетических уровней электронов на атомах, V —

амплитуда перехода электрона с атома на атом, достигает критического значения $(W/V)_c$ [6]. Это отношение, очевидно, растет по мере нагрева (расширения) системы.

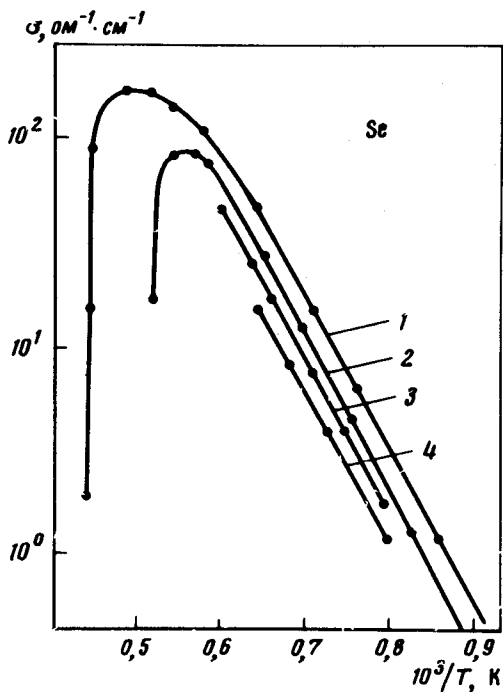


Рис. 2. Зависимость электропроводности жидкого селена от температуры при разных давлениях: 1 — 1000 атм; 2 — 500 атм; 3 — 165 атм; 4 — 103 атм

Определим температуру, при которой происходит переход Андерсона из условия:

$$\frac{W(T_c)}{V(T_c)} = \left(\frac{W}{V} \right)_c \quad (1)$$

В закритическом металле нет основания считать отношение W/V неаналитической функцией температуры так, что вблизи T_c :

$$\frac{W(T)}{V(T)} \approx \left(\frac{W}{V} \right)_c + B \frac{T - T_c}{T_c} \quad (2)$$

Вблизи перехода ($T \lesssim T_c$) (на "плато") проводимость является медленной функцией температуры. В условиях описываемого эксперимента плотность соответствующая "плато" оценивается $\rho \approx 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$. При $T = T_c$ система скачком (размытым в условиях эксперимента эффектами конечной температуры) [2] переходит от металлического к прыжковому механизму проводимости $\sigma \ll \sigma_{min}$. Выход на прыжковый режим проводимости в данном эксперименте не виден. Прыжковая проводимость вблизи порога подвижности имеет вид [2]

$$\sigma = \sigma_k \exp \left\{ - \frac{a^3}{R_{loc}^3} \frac{W}{T} \right\}, \quad (3)$$

где R_{10c} – радиус локализации электронных волновых функций:

$$R_{10c} \approx a \left| \frac{W - W_c}{W_c} \right|^{-\nu}, \quad (4)$$

где ν – критический индекс, определяемый только размерностью пространства [7], совпадающий с индексом корреляционной длины фазового перехода второго рода с нулькомпонентным параметром порядка [8]. В трехмерном пространстве $\nu \approx 0,6$ [6, 7], поэтому при $T \gtrsim T_c$ из (2), (3) и (4) имеем:

$$\ln \frac{\sigma}{\sigma_h} \sim - \left(\frac{T - T_c}{T_c} \right)^{3\nu}. \quad (5)$$

Обнаружение выхода проводимости в селене на прыжковый режим при $T \gtrsim T_c$ представляет большой интерес в связи с возможностью проверки зависимости типа (5) и экспериментального определения индекса ν .

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
5 июля 1976 г.

Литература

- [1] В.А.Алексеев, В.Г.Овчаренко, Ю.Ф.Рыжков, А.А.Андреев. V Междунар. конф. по физике и технике высоких давлений, Москва, 1975 г; VI Междунар. конф. по аморфным и жидким полупроводникам. Ленинград 1975 г.
- [2] N.F.Mott. Metal-Insulator Transitions. Taylorand Francis. London, 1974.
- [3] В.А.Алексеев. Письма в ЖЭТФ, 14, 295, 1971; V.A.Alekseev, A.N.Starostin. Phys. Lett., 40A, 41, 1972; S.Kirpatrick : Proc., 2-nd Int. Conf. Properties of Liquid Metals, Tokyo, 1972.
- [4] N.J.Rau. Chem. Thermodynamics, 6, 525, 1974.
- [5] В.А.Алексеев. ТВТ, 6, 961, 1968; ТВТ, 8, 641, 1970.
- [6] P.W.Anderson. Phys. Rev., 109, 1492, 1958; Proc. Nat. Acad. Sci. USA 69, 1097, 1972.
- [7] М.В.Садовский. ЖЭТФ, 70, 1936, 1970.
- [8] P.L. de Lenos. Phys. Lett., 38A, 339, 1972; J. des Cloizeaux. Phys. Rev., A10, 1665, 1972.