

КРИТИЧЕСКИЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АМОРФНОГО As_2Te_3 ВБЛИЗИ ПЕРЕХОДА ДИЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ

И.В.Берман, Н.Б.Брандт, И.Е.Костылева,
С.К.Павлов, В.И.Сидоров, С.М.Чудинов,

У аморфного As_2Te_3 измерены поля H_{c2} и токи J_c вблизи перехода диэлектрик – металл, вызванного давлением. Обнаружено, что при $P \approx 70$ кбар возникает сверхпроводимость с T_c увеличивающейся при сжатии. Большие значения $(dH_{c2}/dT)_{T_c} \approx 10 \text{ кЭ} \cdot \text{К}^{-1}$ при низких J_c указывают на переколяционный характер сверхпроводимости.

1. У ряда аморфных халькогенидов Ge и As под действием давления происходит переход диэлектрик – металл ($\text{Д} – \text{М}$) андерсоновского типа^{1–3}. У $a\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ и $a\text{-Ge}_2\text{Se}_3$ линейная экстраполяция к нулевому значению активационных энергий E_a , определенных по температурным зависимостям $R(T)$ при $P < 130$ кбар, дает для давлений перехода $\text{Д} – \text{М}$ величины $P_c = 160$ кбар у $a\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ и 180 кбар у $a\text{-Ge}_2\text{Se}_3$, соответственно^{2,3}. При $P \approx P_c$ появляется сверхпроводимость с T_c , резко возрастающей при увеличении P : $dT_c/dP \approx 0,1 \text{ К/кбар}$ у $a\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ и $0,05 \text{ К/кбар}$ у $a\text{-Ge}_2\text{Se}_3$. Полученные в работах^{2,3} данные указывают на то, что сверхпроводимость возникает, по-видимому, в непосредственной близости к точке, в которой E_a обращается в нуль, т.е. когда уровень Ферми E_F пересекает порог подвижности E_c .

Однако до настоящего времени остаются невыясненными причина сильного увеличения⁴ при сжатии, не характерного для непереходных металлов и их сплавов, а также вопрос о том, с какой стороны перехода $\text{Д} – \text{М}$ (металлической или диэлектрической) наблюдается сверхпроводимость. Возможность возникновения сверхпроводимости в диэлектрическом состоя-

нии с локализованными электронами у аморфных полупроводников рассматривалась в ⁴. Характерной особенностью "локализованной" сверхпроводимости является аномальный характер зависимости H_{c2} от T ^{5,6}, что может быть использовано для диагностики характера сверхпроводимости. Определенную информацию о природе сверхпроводимости вблизи точки перехода Д – М могут дать также вольт-амперные характеристики (ВАХ) V/J .

2. В настоящей работе исследованы зависимости электросопротивления R от T и T_c в области температур (300 – 0,06 К), а также ВАХ и кривые критических полей $H_{c2}(T)$ у аморфного $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ при давлениях до 200 кбар. Давление создавалось с использованием наковален из ВК-3 и из поликристаллических алмазов методом, описанным в ⁷. Сопротивление изменялось по четырехконтактной схеме. На одном и том же образце проводилось несколько измерений при последовательном увеличении и уменьшении давления, что позволяло увеличить точность в определении относительной величины изменения P и удельного сопротивления ρ и исследовать обратимость наблюдаемых эффектов. Для получения сверхнизких температур применялся рефрижератор растворения $\text{He}^3 - \text{He}^4$. Кривые критических полей измерялись в сверхпроводящем соленоиде при ориентации тока через образец перпендикулярно магнитному полю H .

3. У $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ R при $T = 300$ К плавно уменьшается при сжатии. При $P \lesssim 100$ кбар кривые $R(T)$ имеют полупроводниковый характер. Однако уже при $P \approx 70$ кбар регистрируется частичное понижение R в интервале $0,06 < T < 0,6$ К, связанное с переходом образца в сверхпроводящее состояние. При незначительном увеличении P (1 – 2 кбар) переход смещается в сторону более высоких T , при этом все большая часть образца становится сверхпроводящей. По мере дальнейшего роста P переход в сверхпроводящее состояние становится полным и ширина его сужается до 0,2 – 0,4 К. В интервале давлений (70 – 100 кбар) T_c у $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ увеличивается при сжатии с аномально большим значением $dT_c/dP = 0,2 \text{ K} \cdot \text{kбар}^{-1}$ и достигает

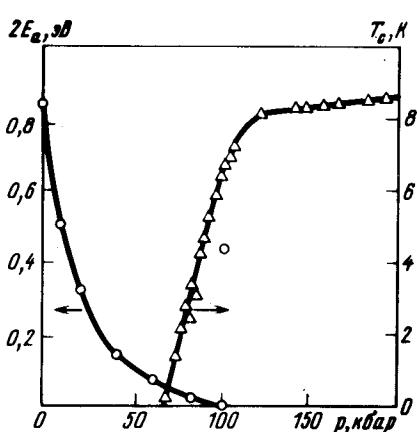


Рис. 1. Зависимости $2E_a$ (левая шкала) и T_c (правая шкала) от давления у $a\text{-As}_2\text{Te}_3$: треугольники – данные настоящей работы, кружки – данные работы ⁸

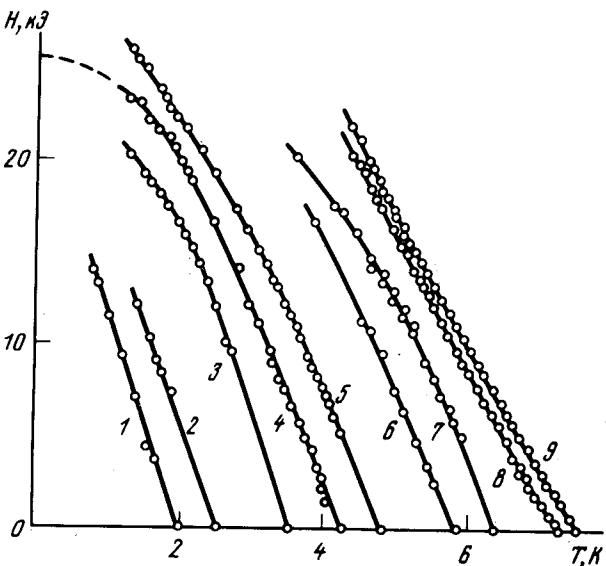


Рис. 2. Кривые критических магнитных полей у $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ при различных давлениях P : 1 – 77 кбар, 2 – 80 кбар, 3 – 86 кбар, 4 – 88 кбар, 5 – 90 кбар, 6 – 94 кбар, 7 – 98 кбар, 8 – 108 кбар, 9 – 110 кбар

значения 7 К при $P = 100$ кбар. При дальнейшем сжатии T_c растет значительно медленнее (рис. 1). Для сравнения на этом же рисунке приведена зависимость E_a от P и единственное, измеренное в ⁸, значение T_c при $P = 100$ кбар.

Кривые критических полей $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ приведены на рис. 2. Как видно из рисунка, $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ является жестким сверхпроводником. Значение $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$ составляет $10 \text{ кЭ} \cdot \text{К}^{-1}$ и, в пер-

вом приближении, постоянно в интервале давлений (80 – 100 кбар). При увеличении давления выше 100 кбар значение $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$ начинает уменьшаться и при $P = 110$ кбар $(dH_{c2}/dT)_{T_c} \approx 6,5$ кЭ · К⁻¹. При давлениях, соответствующих $T_c = 2$ К ($P = 80$ кбар) форма кривых $H_{c2}(T)$ почти не отличается от рассмотренной в теории ГЛАГ. Отношение $\frac{H_{c2}(0)}{(dH_{c2}/dT)_{T_c}}$, вычисленное с использованием значения $H_{c2}(0)$, полученного экстраполяцией (пунктир на рис. 2), близко к значению 0,69, которое следует из этой теории. Это обстоятельство дает возможность использовать для оценки изменения плотности электронных состояний на уровне Ферми $N(E_F)$ ¹⁾ под действием давления соотношение

$$N(E_F) = \frac{1}{8\pi c \hbar \rho} (dH_{c2}/dT)_{T_c}. \quad (1)$$

Расчет $N(E_F)$ по формуле (1) с использованием полученных значений ρ и $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$ показывает, что при увеличении давления от 80 до 110 кбар $N(E_F)$ растет от значения $0,2 \cdot 10^{34}$ до $0,8 \cdot 10^{34} \text{ см}^3 \cdot \text{эрг} \cdot \text{спин}$.

ВАХ вблизи перехода Д – М не имеют особенностей. Величина критического тока при соответствующих давлениях необычайно мала для жестких сверхпроводников и составляет $10 - 100 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$.

4. Полученные в настоящей работе данные о возникновении сверхпроводимости у $a\text{-As}_2\text{Te}_3$ при предельно низких температурах, достигнутых в эксперименте, свидетельствуют в пользу предположения о том, что возникновение сверхпроводимости и изменение T_c при сжатии связаны с изменением взаимного положения E_F и E_c . Низкие значения J_c в этой области давлений, а также монотонный характер зависимости V от J указывают на переколяционный характер возникновения сверхпроводимости. При этом, по крайней мере начиная с $P \approx 80$ кбар, сверхпроводимость существует в металлической фазе $a\text{-As}_2\text{Te}_3$, по-видимому, в условиях слабой локализации. В большинстве теоретических работ^{5, 9, 10} уменьшение T_c по мере приближения E_F к E_c с металлической стороны перехода М – Д связывается с увеличением эффективного кулоновского отталкивания за счет ослабления диффузии электронов. Наблюдаемое значительное увеличение $N(E_F)$ ¹⁾ при сжатии выше давления перехода Д – М указывает на то, что рост T_c по мере удаления E_F от E_c связан не только с изменением кулоновского псевдопотенциала, но и с ростом $N(E_F)$, обусловленным, по-видимому, увеличением числа делокализованных электронов.

Литература

1. Minomura S. Amorphous Semiconductors: Technol. and Devices, 1981, 245.
2. Берман И.В., Брандт Н.Б., Алексеев В.А., Костылев А.Е., Сидоров В.И., Пяткина О.П. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 472.
3. Берман И.В., Брандт Н.Б., Алексеев В.А., Костылев А.Е., Сидоров В.И. ФТТ, 1985, 27, 9, 2745.
4. Anderson P.W. Phys. Rev. Lett., 1975, 34, 953.
5. Булаевский Л.Н., Садовский М.В. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 524.
6. Булаевский Л.Н., Собянин А.А., Хомский Д.И. ЖЭТФ, 1984, 87, 1490.
7. Брандт Н.Б., Берман И.В., Куркин Ю.П., Сидоров В.И. ПТЭ, 1975, № 1, 204.
8. Sakai N., Fritzshe H. Phys. Rev., 1977, B15, 973.
9. Emry Y., Strongin M. Phys. Rev., 1981, B24, 6353.
10. Anderson P.W., Muttalib K.A., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev., 1983, B28, 117.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
15 ноября 1985 г.

¹⁾ Отметим, что вычисление $N(E_F)$ по приведенной формуле может привести к заниженным значениям $N(E_F)$ вблизи порога локализации⁵.