

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ В ПЛЕНКАХ ВИСМУТА И ГАЛЛИЯ

Б. Н. Белевцев, И. Б. Брандт, Ю. Ф. Комник

Обнаружено аномальное увеличение электропроводности пленок висмута и галлия на начальной стадии фазовых переходов "аморфный"  $\text{Bi} \rightarrow$  ромбоздрический  $\text{Bi}$  и  $\beta\text{-Ga} \rightarrow \alpha\text{-Ga}$ . Величина пика проводимости достигает  $\sim 4\%$  значения электропроводности начальной фазы.

В работе [1] было высказано предположение, что при фазовых переходах область перестройки кристаллической решетки должна характеризоваться большим электрон-фононным взаимодействием, т. е. обладать свойствами, заметно отличающимися от свойств исходной и образующейся фаз. В данной работе излагаются экспериментальные результаты, свидетельствующие, по-видимому, о том, что граничные межфазовые области вносят заметный вклад в характер изменения сопротивления при фазовом переходе. Эксперименты выполнены на пленках висмута и галлия, приготовленных при низкой температуре.

При осаждении молекулярного пучка висмута на подложку, имеющую гелиевую температуру, образуется неупорядоченный, практически аморфный, конденсат, обладающий сверхпроводимостью с  $T_c \approx 6\text{ K}$  и более высокой (при  $T > T_c$ ) проводимостью, чем кристаллические пленки ромбоздрического висмута [2]. Относительно высокая проводимость низкотемпературных пленок висмута обеспечивается металлической концентрацией электронов в этой фазе, а температурное изменение сопротивления хорошо описывается, в рамках модели почти свободных электронов, изменениями координационной структуры "аморфного" металла [3]. При нагреве при некоторой температуре  $T_L$  (либо при уве-

личении толщины [4]) происходит фазовый переход в ромбоэдрическую модификацию висмута, сопровождающийся скачкообразным ростом сопротивления (в 5 – 10 раз). Температура  $T_L$  растет при уменьшении толщины пленки [2, 3].

В низкотемпературных пленках галлия фазовый переход при нагреве происходит из состояния "аморфного" конденсата (с  $T_c \approx 8,4\text{K}$ ) в кристаллическую фазу  $\beta\text{-Ga}$  ( $T_c \approx 6\text{K}$ ), имеющую моноклинную решетку, а затем – в  $\alpha\text{-Ga}$  ( $T_c = 1,1\text{K}$ ) с орторомбической решеткой. Для пленок достаточно большой толщины ( $L > 1000\text{\AA}$ ) первый переход происходит при  $\sim 15\text{K}$ , а второй – при  $\sim 60\text{K}$  [5, 6]. При первом фазовом переходе сопротивление скачкообразно уменьшается в три – четыре раза. При втором фазовом переходе ( $\beta\text{-Ga} \rightarrow \alpha\text{-Ga}$ ) сопротивление, как и в случае пленок висмута, возрастает в несколько раз.

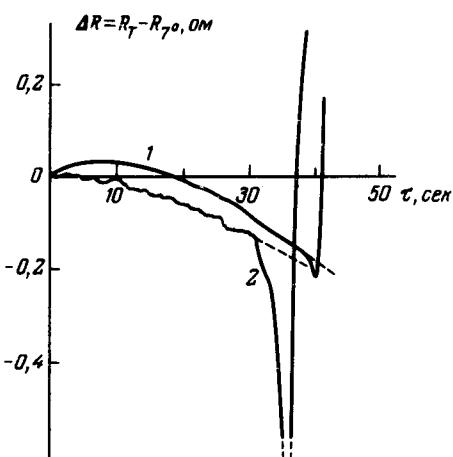


Рис. 1. Записи изменения сопротивления низкотемпературных пленок висмута при нагреве. Толщина пленок,  $\text{\AA}$ : 1 – 415, 2 – 380. Начальное сопротивление  $R_{70}$  при 7К (непосредственно после сверхпроводящего перехода),  $\text{ом}$ : 1 – 111,4; 2 – 109,7. Средняя скорость нагрева  $20\text{ град.мин}^{-1}$ . Фазовый переход наблюдался при  $25 - 30\text{K}$

Низкотемпературные пленки висмута и галлия приготавливались конденсацией металла в вакууме  $\sim 10^{-8}\text{ мм рт. ст.}$  на поверхность полированной сапфировой пластинки, приклеенной с помощью сплава индий – галлий к медному блоку с жидким гелием. Такая система обеспечивала хорошую тепловую связь пленки и криогенного блока. Температура сапфировой пластинки могла плавно изменяться при включении нагревателя. Сопротивление пленки регистрировалось на двухкоординатном потенциометре (при чувствительности  $(2 - 5) \cdot 10^{-3}\text{ ом на } \text{мм шкалы}$ ). По  $x$ -координате либо осуществлялась временная развертка, отвечающая некоторой средней скорости нагрева образца (рис. 1, 2), либо записывался сигнал с полупроводникового датчика температуры (рис. 3).

При относительно быстром нагреве (средняя скорость более  $2 + 3\text{ град.мин}^{-1}$ ) в районе скачка сопротивления при фазовом переходе "аморфного" висмута в ромбоэдрический наблюдается небольшой провал (пик проводимости), выделяющийся на фоне предшествующего температурного хода сопротивления. Характерная величина провала в среднем составляет  $\sim 0,05\text{ ом}$  (кривая 1 на рис. 1). В одном случае величина провала оказалась столь большой по сравнению с интервалом записи, что точка минимума вышла за пределы шкалы потенциометра (кривая 2 на рис. 1).

Аналогичный провал зарегистрирован также вблизи скачка сопротивления при фазовом переходе моноклинной фазы  $\beta$ -Ga в орторомбическую фазу  $\alpha$ -Ga (рис. 2). В отличие от висмута, в данном случае фазовый переход имеет место в кристаллических пленках с совершенной структурой (фазы  $\beta$ - и  $\alpha$ -Ga в пленках обладают текстурой). Кроме того, для достаточно толстых пленок галлия температурное изменение сопротивления  $\beta$ -фазы обладает металлическим характером, что делает эффект появления провала сопротивления вблизи температуры фазового перехода достаточно наглядным (рис. 2). Глубина провала сопротивления для пленок галлия составляет  $0,01 + 0,03 \text{ ом}$ . Относительное изменение сопротивления в провале для пленок галлия достигает  $3 + 4\%$ .

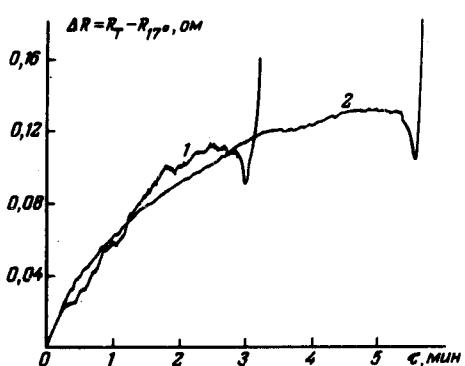


Рис. 2. Записи изменения сопротивления низкотемпературных пленок  $\beta$ -галлия при нагреве. Толщина пленок,  $\text{\AA}$ : 1 – 1200, 2 – 1300. Начальное сопротивление  $R_{17}$ , ом: 1 – 0,96; 2 – 0,74. Средняя скорость нагрева,  $\text{град} \cdot \text{мин}^{-1}$ : 1 – 20, 2 – 11. Фазовый переход наблюдался в районе 67К

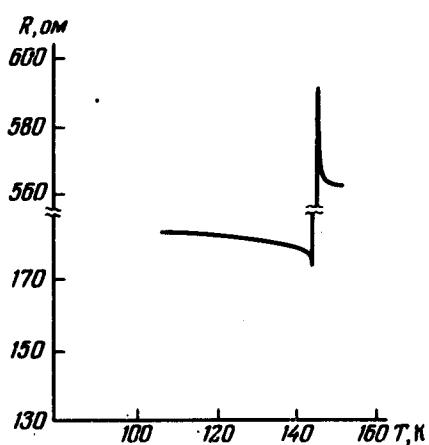


Рис. 3. Запись изменения сопротивления в районе фазового перехода  $\beta$ -Ga  $\rightarrow$   $\alpha$ -Ga в функции температуры. Толщина пленки галлия 60 $\text{\AA}$ . Скорость нагрева около  $5 \text{ град} \cdot \text{мин}^{-1}$

При уменьшении толщины пленок галлия появляется возможность повысить температуру фазового перехода. Эффект провала сопротивления сохраняется при повышении температуры перехода до 147K ( $L \approx 60 \text{\AA}$ ) и, по-видимому, исчезает при более высоких температурах. Запись изменения сопротивления не только в начале, но и в конце фазового перехода показала, что перед выходом сопротивления на уровень, отвечающий свойствам новой фазы, наблюдается пик сопротивления (рис.3). Относительная величина пика может достигать 5%.

Специальными измерениями на переменном токе полностью воспроизводят записи на постоянном токе, что свидетельствует о том, что наблюдаемые эффекты не являются следствием возможного влияния изменения термоэдс.

Наиболее интересной особенностью приведенных кривых, с нашей точки зрения, является пик электропроводности, появляющийся в начале фазового перехода. Отметим, что пик электропроводности не может быть связан с тепловыми эффектами при фазовом переходе, так как он наблюдается при любом характере изменения сопротивления в температурном интервале, предшествующем фазовому переходу.

Можно думать, что появление пика электропроводности связано с вкладом в проводимость граничных межфазовых областей, обладающих аномально высокой проводимостью. Если предположить, что толщина этих областей составляет несколько периодов кристаллической решетки, то для увеличения электропроводности пленки на 3 – 5% проводимость граничных областей должна, по крайней мере на порядок величины, быть выше, чем для начальной фазы, являющейся более проводящей, чем конечная фаза. В [1] указывалось на возможность возникновения сверхпроводимости при эволюции решетки в результате сильного повышения константы электрон-фононного взаимодействия. Возникновение реальной сверхпроводимости в граничных областях при фазовом переходе представляется нам маловероятным, так как в прослойках малой толщины, соседствующих с нормальными фазами, сверхпроводимость может быть подавлена "эффектом близости". Это, однако, не исключает возможности появления аномально высокой проводимости межфазовых областей и при отсутствии макроскопической когерентности, например, в результате механизмов, аналогичных механизму флуктуационной сверхпроводимости.

Физико-технический институт

низких температур

Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию

8 октября 1975 г.

Московский

государственный университет

им. М.В.Ломоносова

## Литература

- [1] Н.Б.Брандт, В.В.Толмачев. Письма в ЖЭТФ, 19, 439, 1974.
- [2] Н.В.Заварицкий. ДАН СССР, 86, 687, 1952; 91, 787, 1953.
- [3] Ю.Ф.Комник, Б.И.Белевцев, Л.А.Яцук. ЖЭТФ, 63, 2226, 1972.
- [4] Б.Г.Лазарев, В.М.Кузьменко, А.И.Судовцов, В.И.Мельников..  
ДАН СССР, 194, 302, 1970.
- [5] Б.Г.Лазарев, В.М.Кузьменко, А.И.Судовцов, В.И.Мельников. ФММ,  
32, 52, 1971.
- [6] Б.И.Белевцев, Ю.Ф.Комник. ФТТ, 14, 3240, 1972.