

## КЛАСТЕР В ГРАНУЛЯРНОМ СВЕРХПРОВОДНИКЕ

А.П.Перов

В гранулярном сверхпроводнике – керамике  $\text{BaPb}_{0,75}\text{Bi}_{0,25}\text{O}_3$  методом локального подгрева установлено существование "бесконечного" кластера. Определено его положение в образце.

Исследование проведено на образце сверхпроводящей керамики  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ ,  $x = 0,25$ , имеющей критическую температуру  $T_{\text{кр}} = 11$  К. Керамика представляет собой гранулярную структуру, причем сверхпроводящие контакты между гранулами являются "слабыми связями", значения их критических параметров  $J_{\text{кр}}$  и  $H_{\text{кр}}$  обычно на два и более порядков меньше, чем для самих гранул<sup>1</sup>. Протекание тока через образец при  $T < T_{\text{кр}}$  определяется этими "слабыми связями". Теоретическое рассмотрение таких систем основано на теории протекания<sup>2,3</sup>. Вблизи порога протекания возникает "бесконечный кластер" – БК, в котором сосредоточен весь ток, т. е. образуется токовый шнур. Измерения параметров кластера при его разрушении позволяют проверить перколяционную теорию и ее приложения к критическим явлениям.

Метод определения положения БК в образце состоит в следующем: на сверхпроводящий БК, находящийся в предкритическом состоянии  $J < J_{\text{кр}}$  воздействуем сосредоточенным источником тепла так, чтобы разрушить его в этом месте. При разрыве БК на образце появляется напряжение  $\Delta U$ . При пренебрежении структурой БК, величина этого сигнала может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta U = JS\rho\delta, \quad (1)$$

где  $J$  – ток, текущий через образец,  $S$  – сечение БК,  $\rho$  – удельное сопротивление образца в нормальном состоянии,  $\delta$  – ширина разрыва.

Образец представляет собой пластину размером  $6 \times 4 \times 0,3$  мм<sup>3</sup> и размещался на холодном пальце криостата в вакууме. Локальный нагрев осуществлялся излучением He – Ne-лазера мощностью 2 мВт, которое фокусировалось на образце в пятно размером до 25 мкм. Криостат вместе с образцом перемещались относительно фокуса микрометрическими винтами.

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики исследованного образца при  $T = 4,5$  К, критический ток равен 25 мА. При освещении образца светом в том месте, где находится БК величина критического тока составляет 14,5 мА. На рис. 2 представлены зависимости сигнала  $\Delta U$  при перемещении фокуса поперек направления, соединяющего токовые контакты при последовательных значениях тока. Отсутствие сигнала означает, что при токе 14 мА локальный нагрев не приводит к разрушению БК. При следующем значении тока – 13 мА на образце появляется сигнал  $\Delta U$ , когда фокус находится на расстоянии  $\sim 1$  мм от края образца. Ширина чувствительной зоны  $\sim 1$  мм. Именно в этой части образца находится "бесконечный кластер". Появление сигнала указывает на совмещение максимума темпе-

ратуры температурного поля сосредоточенного источника тепла со сверхпроводящим БК, который при этом разрывается. При дальнейшем увеличении тока чувствительная зона расширяется. Это происходит из-за приближения БК к порогу протекания — критическому состоянию. Вследствие чего для разрыва БК достаточно меньшей величины  $\Delta T$ , т. е. разрыв вызывается не центральной частью области локального нагрева, где  $\Delta T$  максимальна, а ее периферией, что увеличивает наблюдаемую ширину кластера. Появление на первом плато — второго и при дальнейшем увеличении тока — третьего означает, что БК претерпевает второй и третий разрывы соответственно. Это позволяет сделать вывод, что в непосредственной близости к порогу протекания, перед образованием БК, существуют крупные фрагменты — блоки, слияние которых и формирует БК.

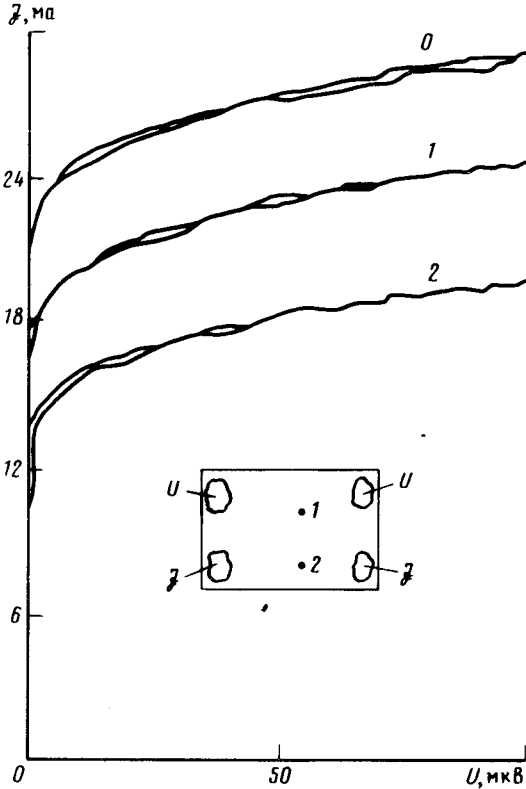


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика образца при различном положении фокусного пятна: 0 — без освещения, 1, 2 — соответствуют положениям фокуса, изображенным на вставке

Высота плато напряжения и его ширина (рис. 2) позволяют определить ширину разрыва кластера  $\delta$ . Удельное сопротивление образца в нормальном состоянии  $\rho = 0,01$  Ом/см и из (1) получаем  $\delta \approx 12$  мкм. Эту величину естественно сравнить с радиусом корреляции  $r_c$

$$r_c = |p - p_c|^{-\nu}$$

$p$  — параметр порядка,  $\nu$  — критический индекс радиуса корреляции. Для оценки  $r_c$  удобно воспользоваться выражением для критического поля  $H_{кр}$  системы "слабых связей"  $r_c^2 H_{кр}^2 \approx \phi_0$ ;  $\phi_0$  — квант магнитного потока. В нашем случае  $H_{кр} \approx 0,7$  Э, что дает для  $r_c \approx 8$  мкм.

Близость величин  $r_c$  и  $\delta$  позволяет сделать вывод, что ширина разрыва БК определяется радиусом корреляции  $r_c$ , а измерение  $\delta$  как независимый метод определения этой величины. С другой стороны формирование БК из блоков размер которых  $R \gg r_c$ , а расстояние между ними порядка  $r_c$  должно проявиться в поведении проводимости вблизи порога протекания. Действительно, критический индекс проводимости  $t$  в выражении для начального участка вольт-амперной характеристики рис. 1

$$\sigma = \sigma_H \left( \frac{J - J_{кр}}{J_{кр}} \right)^{-t}$$

равен  $0,8 - 0,9$ ; ( $\sigma_n$  — проводимость в нормальном состоянии). Эта величина близка к значениям критических индексов, определяющих поведение БК  $\beta' \approx \nu \approx 0,8 - 0,9$ ,  $\beta'$  — определяет полное число связей БК, а  $\nu$  — универсальный индекс радиуса корреляции.

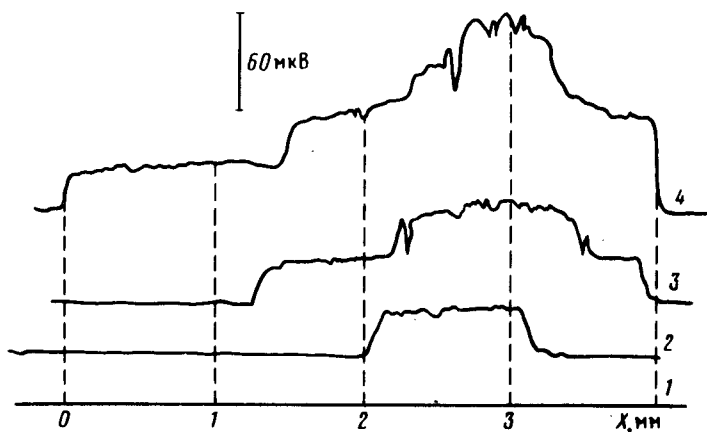


Рис. 2. Зависимости напряжения на образце от положения фокусного пятна при последовательных значениях тока через образец: 1 — 14 мА, 2 — 15 мА, 3 — 17 мА, 4 — 19 мА

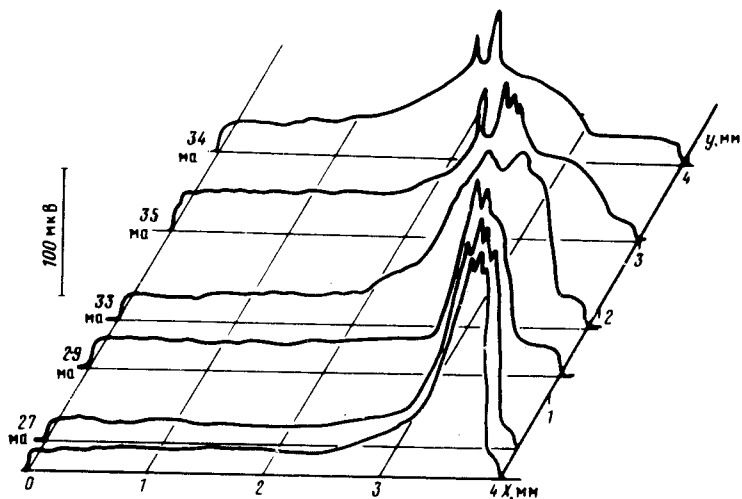


Рис. 3. Положение "бесконечного" кластера в образце

На рис. 3 показаны положения БК при различных расстояниях от токовых контактов. В непосредственной близости к порогу протекания, разрывы кластера вызываются все более отдаленными от центра частями подогретой области и, с другой стороны, увеличивается ширина разрыва, что увеличивает величину напряжения на образце.

#### Литература

1. Зайцев-Зотов С.В., Протасов Е.А. ФТТ, 1984, 26, 374.
2. Иоффе Л.Б., Ларкин А.И. ЖЭТФ, 1981, 81, 707.
3. Иоффе Л.Б. ЖЭТФ, 1981, 80, 1199.
4. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников, 1979, М.: Наука.