

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ СВЯЗИ**

**3-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Современная технология  
гибридных интегральных микросхем  
включая элементы сверхпроводниковой электроники**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Нарочь 1994**

ПЕРЕНОС ЗАРЯДА И СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaSi}_2\text{O}_x$ 

Присутствие кристаллографических плоскостей  $\text{Si-O}$ , сравнительно слабо связанных между собой, приводит к двумерности физических свойств висмутовой системы [1]. При этом существенно возрастает роль термодинамических флуктуаций, подобно термическим флуктуациям в тонких пленках обычных сверхпроводников, где диссипация связывается с движением термически возбужденных вихрей. В работе представлены результаты изучения сверхпроводимости в массивных образцах, представляющих собой конгломераты, состоящие из множества монокристаллических пластинок со средним размером,  $10 \cdot 5 \cdot 0.05$  мм, которые были разориентированы относительно некоторого направления в пределе  $2-3^\circ$ . Исследования проводили методом регистрации резистивных характеристик в процессе перехода образцов из нормального состояния в сверхпроводящее. Образцы выращивались в ИФТТ АНБ и имели форму параллелепипеда с размерами  $4 \cdot 4 \cdot 12$  мм. По данным рентгеноструктурного анализа система имеет ромбическую сингонию с параметрами решетки:  $a=5.4\text{Å}$ ,  $b=5.47\text{Å}$ ,  $c=30.846 \pm 30.852\text{Å}$ . Потенциальные и токовые контакты наносились посредством втирания индия в условиях слабого возбуждения ультразвуком. Стандартная методика переменного тока с величиной  $10^{-4}$ – $10^{-3}$  А, который протекал в плоскости (ав), позволяла регистрировать величины удельного сопротивления  $8 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  при  $T \approx 100 \text{ К}$ , а в районе "зачулениа" характеристики уверенно разрешать величины на два, два с половиной порядка меньше [2].

Влияние двумерности отдельного кристаллита на кинетические свойства массивных образцов было изучено методом анизотропии резистивного перехода в магнитных полях  $H$  до  $75 \text{ кЭ}$  при двух характерных ориентациях  $H$  по отношению к обобщенной оси  $C$ . Оказалось, что уширение, т.е. "затягивание" переходной характеристики в низкотемпературную область гораздо сильнее при  $H \parallel C$ . Как известно, избыточная резистивность, наблюдаемая в обычных сверхпроводниках, обусловлена вязкими динамическими эффектами. В этой связи анализ динамического сопротивления  $R$  и сопротивления в нормальном состоянии  $R_n$  дает возможность определить зависимость от  $T$  верхнего критического поля  $H_c$  (рис.1). Полученные значения показывают, что идентифицированные из различных участков переходной характеристики  $H_c(T)$  в целом удовлетворительно соответствуют

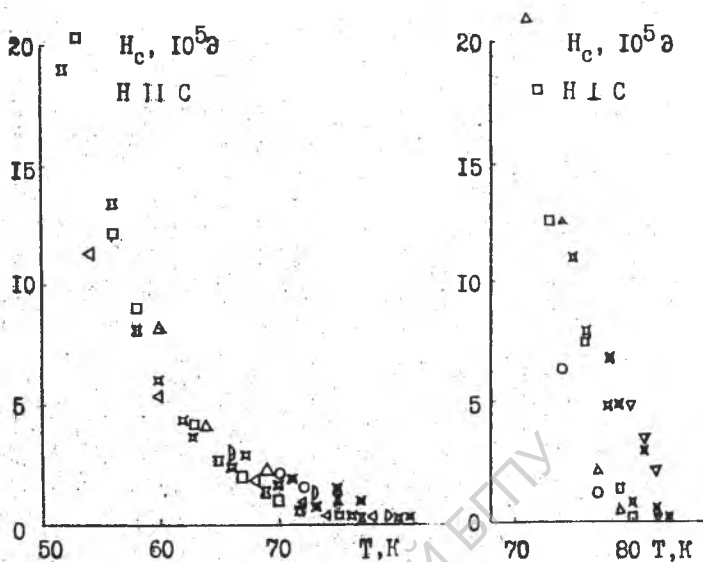


Рис. I Зависимость верхнего критического поля от температуры  $R/R$ , для H II C  $\circ$ -0.006,  $\Delta$ -0.012,  $\square$ -0.025,  $\times$ -0.037,  $\nabla$ -0.055,  $\square$ -0.12,  $\circ$ -0.24,  $\times$ -0.30,  $\times$ -0.36 для H I C  $\circ$ -0.008,  $\Delta$ -0.024,  $\square$ -0.04,  $\times$ -0.06,  $\times$ -0.1,  $\nabla$ -0.14

температурному скейлингу. Можно утверждать, что линейная зависимость  $H_c$  в области низких температур коррелирует с положениями теории Гинзбурга-Ландау. Двойные плоскости  $\text{SiO}_2$ , находящиеся на расстоянии  $\approx 15 \text{ \AA}$ , можно рассматривать как некие сверхпроводящие полости, и анизотропия качественно соответствует классическим представлениям о свойствах малых сверхпроводников, когда хотя бы один из размеров меньше параметров задачи - в данном случае глубины проникновения  $\lambda$ . Действительно, тонкая пленка обычного сверхпроводника I рода, находящаяся в H, имеет ограниченную толщиной  $d$  длину свободного пробега и соответствующие  $\lambda$  и длину когерентности  $\xi$ . Соответственно степень анизотропии  $H_c$  для двух заданных ориентаций определяется соотношением  $\lambda(T)/\xi(T)$

Присутствие термодинамических флуктуаций в тонких пленках приводит, как известно, к избыточной проводимости. При этом флуктуации имеют место и в нулевом магнитном поле и в поле конечной величины. Так, в соответствии с теорией Асламазова-Ларкина [3], поправка к проводимости в двумерной системе, не отличающейся вы-

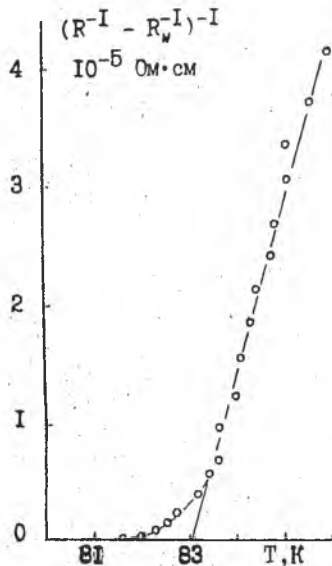


Рис.2 Сравнение поведения сопротивления вблизи фазового перехода с теорией Асламазова-Ларкина.

сокой чистотой, имеет вид:

$$\delta' = d^{-1} T_{CO} (T - T_{CO})^{-1}$$

здесь  $d$  - толщина пленки,  $T_{CO}$  - температура фазового перехода по Гинзбургу-Ландау.

Полученные данные были проанализированы с целью определения  $T_{CO}$  (рис.2). Определенная методом линейной экстраполяции обратной избыточной проводимости  $T_{CO}$  составляет порядка 83 К.

В условиях данного эксперимента, когда стабилизация температуры вблизи точки фазового перехода была затруднена, влияние магнитного поля на флуктуации анализировали путем построения некоторого семейства изотерм на базе полученных переходных характеристик. В соответствии с теорией, флуктуации становятся существенными в полях  $H$ , близких к критическому, при этом относительный вклад в про-

водимость определяется выражением:

$$\delta' \delta^{-1} \approx T_{CO} (T_{CO} - T_C) \cdot I H_C^2 (H^2 - H_C^2)^{-1}$$

здесь  $T_{CO}$  - критическая температура перехода без магнитного поля,  $T_C$  - критическая температура в поле  $H_C$ .

Относительная флуктуационная поправка к проводимости в виде  $(R_w R^{-1} - I)$  была определена из данных эксперимента для  $H \parallel C$ . При этом для каждого из семейств точек, соответствующего определенному значению  $T$ , величина  $H_C$  являлась фиксированной при сканировании  $H$ . Характерно, что экспериментальные расчетные значения в пределах определенного разброса прилично соответствуют теории для диапазона температур 73 - 80 К. При этом можно утверждать, что флуктуационная поправка не обнаруживает зависимости от температуры, поскольку данные эксперимента для различных температур зафиксированы на рис.3 совершенно нерегулярно.

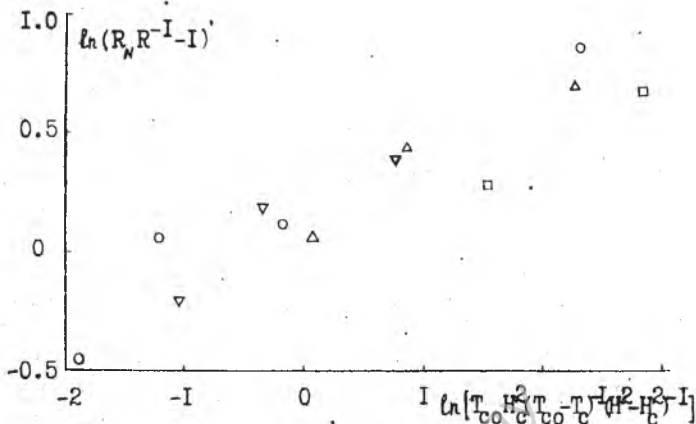


Рис.3 Флуктуационная поправка к проводимости в присутствии магнитного поля при температуре: ● -80К, ▽ -78К, ▲ -76К, □ -74К

Таким образом из полученных результатов следует, что имеет место определенное соответствие между экспериментом и классическими представлениями о сверхпроводимости, и формализм традиционных подходов в интерпретации в значительной степени адекватен к новой сверхпроводимости. Некоторые несоответствия, связанные с нелинейностью  $H_c$ , можно отнести к влиянию межкристаллитной границы как некоей джозефсоновской среды, воздействующей на кинетические свойства. В целом применение в данном случае уровней разрешения сигналов  $10^{-7}$  Ом·см позволяет идентифицировать параметры новых ВТСП материалов.

Работа поддерживается Фондом фундаментальных исследований Беларуси, проект №Ф40-249.

#### Литература

1. S.Martin, A.T.Fiory et al., Phys.Rev.Lett. 62, 677 (1989)
2. S.N.Barilo et al., Phys.Stat.Sol.(a) 126, k153 (1991)
3. L.G.Aslamakov and A.I.Larkin, Fiz.Tverd.Tela 10, 1104 (1968)