

## Электромагнитный эффект в высокотемпературной сверхпроводимости

15 лет исследований (1987–2002 гг.) на кафедре экспериментальной физики СПбГПУ

© А.В. Приходько

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
195251 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 3 февраля 2003 г. Принята к печати 4 февраля 2003 г.)

Приводится обзор экспериментальных исследований по высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), проводившихся под руководством профессора, доктора физико-математических наук В.Ф. Мастерова на кафедре экспериментальной физики СПбГПУ. Основное внимание уделяется исследованию обнаруженного в образцах ВТСП-селен эффекта слабой сверхпроводимости. В 1975 г. В.Ф. Мастеров по предложению заведующего кафедрой профессора Д.Н. Наследова становится руководителем лаборатории спектроскопии твердого тела. Одним из успешных направлений деятельности лаборатории начиная с 1987 г. являлось исследование высокотемпературной сверхпроводимости.

Со времени написания обзорной статьи В.Ф. Мастерова [1] на тему макроскопических эффектов в ВТСП прошло 12 лет и 15 лет с начала ВТСП-исследований на кафедре экспериментальной физики СПбГПУ. Все эти эффекты связаны с так называемым электромагнитным эффектом, обнаруженным практически одновременно В.Ф. Мастеровым и группами Ю.А. Осипьяна, Мюллера и Беднора в 1987 г. Речь идет о поглощении электромагнитной энергии ВТСП-образцом. Наблюдаемые при этом эффекты квантования магнитного потока при охлаждении образцов в магнитном поле позволяют получить информацию о структуре и организации сверхпроводящего состояния. В.Ф. Мастеров исследовал природу поглощения электромагнитной энергии и пришел к выводу об определяющей роли многосвязной джозефсоновской среды для организации сверхпроводящего состояния в гранулированных образцах. Считается, что характерный размер наименьшего отдельного контура с участком слабой связи определяется линейным размером зерна. Тогда при достаточно однородном распределении кристаллов по размерам можно наблюдать квантование магнитного потока. Было установлено, что слабая связь представляет собой межкристаллитные области. Был также сделан важный вывод: распределение по размерам контуров должно быть узким. Это приводит к поглощению СВЧ мощности в узком температурном интервале. Искусственное изменение площади контура при увеличении несверхпроводящей фазы, выполненное В.Ф. Мастеровым, подтвердило предложенную модель. При этом отдельные контуры слабо связаны между собой, так как увеличение магнитного поля не приводит к разрушению сверхпроводимости в отдельном контуре, а только уменьшает мейснеровский эффект. Полученный результат в виде зависимости напряженности магнитного поля от площади контура хорошо согласуется с известными представлениями о квантовании потока в сверхпроводящем кольце.

В начале 90-х годов на кафедре начинают развиваться работы по исследованию композитов ВТСП-полупроводник [2–4]. Были созданы объемные структуры

ВТСП-селен и выполнен цикл исследований, который послужил основой для продолжения работ в конце 90-х годов. Успешное выполнение работ было обусловлено несколькими причинами. Во-первых, был удачно выбран полупроводник — аморфный селен. Его выбор определялся тем, что Вадим Федорович Мастеров проводил исследование явления ЭПР в селене в своей кандидатской диссертации [5] и хорошо представлял объект исследования. Во-вторых, основной методикой экспериментов была СВЧ-методика, также хорошо известная В.Ф. Мастерову. На рис. 1 и 2 представлены два созданных в то время объекта: объемный образец ВТСП-Se и капилляр ВТСП-Se. При обработке вольт-амперных характеристик, полученных для объемных образцов ВТСП-Se, Вадим Федорович обратил внимание на существование джозефсоновского тока в структурах с размером слабой связи, превышающей критическую на порядок. При этом было выдвинуто предположение

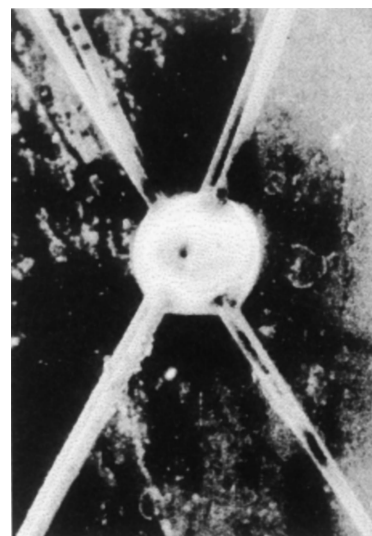
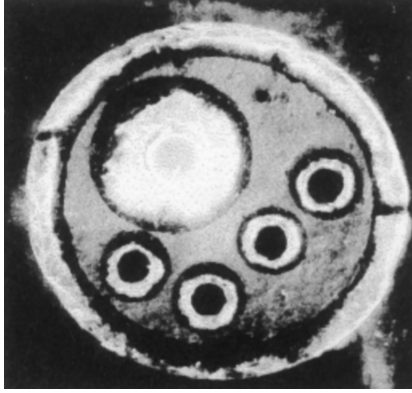
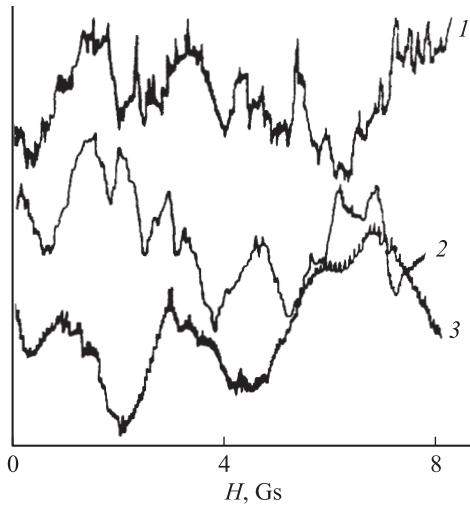


Рис. 1. Объемный ВТСП-Se образец, диаметр каждого из четырех вольфрамовых электродов — 50 мкм.



**Рис. 2.** Срез квазиодномерного образца. Внутренний диаметр основного капилляра — 110 мкм, в него помещены 5 капилляров с внутренним диаметром 20 мкм и длиной 10 мм каждый. В капилляры помещена ВТСР-Se среда.



**Рис. 3.** Мезо-структура сигнала микроволнового поглощения. Зависимость первой производной микроволнового поглощения по магнитному полю от величины магнитного поля.

о проявлении нового механизма протекания, формирующего джозефсоновскую среду. При обсуждении результата было обращено внимание на альтернативные механизмы сверхпроводимости, в частности на модель сверхпроводимости в структурах с  $U^-$ -центрами. Результата такого интереса [6], к сожалению, Вадим Федорович уже не застал.

Рассмотрим электромагнитный эксперимент на ВТСР-Se капиллярах. На рис. 3 представлена полевая зависимость поглощения при 77 К. Наблюдение мезоскопического вида сигнала позволяет оценить площади джозефсоновских контуров и сравнить с известным распределением размеров ВТСР-кристаллов в объеме селена. Обращает на себя внимание следующий факт — появление контуров большего размера, чем размер отдельного ВТСР-кристалла (14 мкм, величина напряженности магнитного поля  $B = 0.4$  Гс). После нескольких температурных циклов данные особенности

исчезают (ср. кривые 1 и 3 на рис. 3). В то же время наблюдается обычное квантование потока ( $B = 6-2$  Гс) на контурах, связанных с размером отдельного ВТСР-кристалла (примерно 3 мкм). Статистическая обработка результатов рентгеновского сканирования поверхности дает распределение со средним размером зерна 3 мкм. В настоящее время исследуется механизм появления необычных контуров в рамках представлений новой модели сверхпроводимости.

Следующий цикл исследований был начат на кафедре с открытием фуллеренов и обнаружением сверхпроводимости в структурах на их основе. Исследования, проводимые по данной тематике, подробно описаны в обзоре, посвященном фуллереновым исследованиям на кафедре [7]. Микроволновые исследования ВТСР-монокристаллов описаны в [8].

## Список литературы

- [1] В.Ф. Мастеров. *Высокотемпературная сверхпроводимость: фундаментальные и прикладные исследования*: Сб. статей, под ред. А.А. Киселева (Л., Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1990) вып. 1, с. 405.
- [2] А.В. Приходько, В.Ф. Мастеров. Письма ЖТФ, **19** (7), 17 (1993).
- [3] А.В. Приходько, С.Б. Козырев, В.Ф. Мастеров. Сверхпроводимость: физика, химия, техника, **3**, 1130 (1989).
- [4] А.В. Приходько, Л.З. Дапкус, В.Ф. Мастеров. Письма ЖТФ, **19**, 34 (1993).
- [5] В.Ф. Мастеров. Автореф. канд. дис. (Ленингр. политехн. ин-т, 1971).
- [6] А.В. Приходько, К.Д. Цендин, Б.П. Попов. ФТП, **35**, 707 (2001).
- [7] А.В. Приходько, О.И. Коньков. ФТП, **36**, 1286 (2002).
- [8] А.В. Приходько, Н.М. Шибанова. Научн.-техн. ведомости СПбГТУ, № 4, 118 (2001).

Редактор Л.В. Беляков

## Electromagnetic effect in HTSC 15 years of research (1987–2002) on the Experimental physics department of Saint-Petersburg State Polytechnical University

A.V. Prikhodko

St. Petersburg State Polytechnical University,  
195251 St. Petersburg, Russia

**Abstract** A brief review of experiments on high-temperature superconductivity performed in Saint-Petersburg State Polytechnical University under the direction of professor D.N. Nasledov and professor V.F. Masterov is presented.