

- [5] Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термодинамическая обработка металлов и деталей машин. Л.: Машиностроение, 1989. 255 с.
- [6] Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1979. 640 с.
- [7] Бокштейн Б.С., Бокштейн С.З., Жуховицкий А.А. Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах. М.: Металлургия, 1974. 280 с.
- [8] Мартин Дж. Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов. М.: Металлургия, 1983. 167 с.
- [9] Беляева Л.А., Лихачев В.А., Михайлин А.И. В кн.: Кинетика и термодинамика пластической деформации / Ред. М.Д. Старостенков. Барнаул: АПИ 1988. С. 43-45.

Ленинградский
политехнический институт
им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
31 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 24

26 декабря 1989 г.

05.4

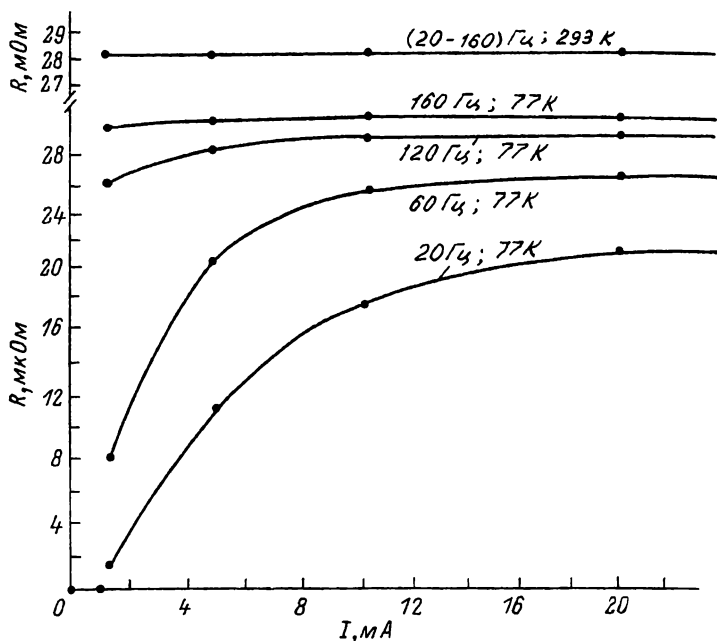
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Э.Г. Миронов, Б.А. Гижевский,
Н.М. Чеботаев

В [1] приводятся экспериментальные данные, которые свидетельствуют о наличии остаточного сопротивления у сверхпроводящей керамики на переменном токе при температуре жидкого азота. Аналогичные результаты были получены авторами настоящей работы.

В данном сообщении представлены новые результаты, касающиеся зависимости сопротивления ВТСП на основе $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ от значения и частоты измерительного тока. Помимо образцов из обычной керамики (с плотностью ~80% от теоретической) исследовались также высокоплотные горячепрессованные образцы (с плотностью ~98%) и монокристаллы.

Существенное отличие электрических свойств на переменном токе от свойств на постоянном токе было замечено еще у классических сверхпроводников. В работе [2], например, отмечается, что в классических сверхпроводниках второго рода на переменном токе наблюдаются потери энергии, затрудняющие использование этих материалов для прикладных целей. В [3] это явление объясняется потерями энергии за счет гистерезиса и вихревых токов.



Зависимость электросопротивления образца из сверхпроводящей керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при комнатной (293 К) и азотной (77 К) температурах от значения переменного тока на фиксированных частотах.

Авторами проведена работа по определению электрических характеристик керамических сверхпроводников из материала $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц при температурах от комнатной (293 К) до азотной (77 К). Измерение электросопротивлений образцов проводились стандартным 4-х контактным методом. Контакты на образцы (токовые и потенциальные) наносились ультразвуковой пайкой индием, а сопротивление контактов составляло (0.01–0.1) Ом. Значения токов через образцы и падение напряжения измерялись селективными приборами (типа „Unipam” разных модификаций). Причем полезный сигнал превосходил сигнал наводки от измерительного тока через образец более чем на порядок. Значения сопротивлений образцов R (между потенциальными контактами) определялись по закону Ома по измеренным токам I и разности потенциалов между потенциальными контактами. Основное внимание при эксперименте было уделено зависимости $R = f(I)$. Эта зависимость для одного из обычных керамических образцов с размерами 12x1x1 мм (расстояние между потенциальными контактами 4 мм) приведена на рисунке.

Отметим, что $R = f(I)$ в значительной степени зависит от технологии изготовления образцов, сохраняя при этом общий характер.

Полученные результаты свидетельствуют, что при комнатной температуре сопротивление образцов на переменном токе не зависит от частоты (в рассматриваемом диапазоне частот) и равно сопротивлению на постоянном токе. При температуре жидкого азота (в сверхпроводящем состоянии) остаточное сопротивление образца зависит от частоты и от тока. Например, на частоте 20 Гц сопротивление образца начинает уменьшаться при токах, меньших 20 мА, на частоте 60 Гц – при токах, меньших 10 мА и т.д. (см. рисунок). При частоте 160 Гц (и более) зафиксировать ток, при котором уменьшается сопротивление образца, не удалось, т.к. значение этого тока оказалось меньше порога чувствительности использованной аппаратуры.

Для горячепрессованных образцов и монокристаллов наблюдаются качественно такие же зависимости, как на рисунке 1, однако увеличение остаточного сопротивления отмечается при более высоких частотах. При низких частотах (порядка десятков герц) фиксируется аппаратный ноль сопротивления ($\sim 10^{-8}$ Ом).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о возникновении потерь в образцах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в сверхпроводящей области на переменном токе, которые возрастают с увеличением частоты и силы тока через образец. Формально это можно рассматривать, как уменьшение критического тока $I_{кр}$ на переменном токе по сравнению с $I_{кр}$ на постоянном токе. Например, для образца, характеристики которого приведены на рисунке, $I_{кр}$ на постоянном токе составляет около 1 А, а на переменном – зависит от частоты и для наименьшей из рассмотренных частот не превышает десяти миллиампер.

В общем случае для разных образцов, изготовленных по разным технологиям, можно сделать следующий вывод: на переменном токе $I_{кр}$ зависит от частоты и для исследованных образцов составляет при частотах около 20 Гц десятки и сотни миллиампер, при частотах от 20 до 100 Гц – единицы и десятки миллиампер, при частотах от 100 до 200 Гц – менее десяти миллиампер и при частотах больших 200 Гц $I_{кр} < 1$ мА.

Таким образом, наличие остаточного сопротивления у образцов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ можно рассматривать как следствие различия $J_{кр}$ на переменном и на постоянном токах, причем значение критического тока быстро убывает с ростом частоты тока, протекающего через исследуемый образец.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Афанасьев Н.В., Васютин М.А., Головашкин А.И., Григорашвили Ю.В., Иванова Л.И., Кузьмичев Н.Д., Левченко И.С., Мотулевич Г.П., Русаков А.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 55-56.
- [2] Альтов В.А., Благоев Е.В., Кулысов Н.А., Сычёв В.В., Гласник И.М. Исследование сверхпро-

водников на переменном токе и перспективы их использования. Техническая сверхпроводимость в электроэнергетике и электротехнике. Опыт и основные результаты сотрудничества стран - членов СЭВ: Сб. тр. М., 1986. С. 123-136.

[3] У и л ь я м с Дж. Сверхпроводимость и ее применение в технике. М.: Мир, 1973. 262 с.

Институт
физики металлов
АН СССР

Поступило в Редакцию
10 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 24

26 декабря 1989 г.

04

О ЯВЛЕНИИ КРИТИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ СКОРОСТИ В ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

С.В. К о р о б ц е в, Д.Д. М е д в е д е в,
Я.Р. Р а х и м б а б а е в, В.Д. Р у с а н о в

Процессы, происходящие при взаимодействии потоков заряженных частиц с нейтральным газом, играют огромную роль во многих областях физики плазмы. Одно из самых интересных - это явление критической ионизационной Альвеновской скорости. Движение плазмы через нейтральный газ поперек магнитного поля со скоростью выше критической $V_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_i}{M}}$ (ϵ_i и M - потенциал ионизации и масса атома соответственно) вызывает лавинную ионизацию газа, при этом расходуется энергия относительного движения и плазма тормозится [1]. Гипотеза Альвена была подтверждена в большом числе различных плазменных экспериментов [2], а для ее объяснения предложено несколько теоретических моделей, однако ни одна из них не является сегодня общепризнанной [3].

Нами исследовались особенности и диапазон существования явления критической скорости в плазменной центрифуге. Для этого измерялись параметры разряда, когда существуют стабилизация разрядного напряжения и его пропорциональность величине магнитного поля, связываемые с явлением критической скорости [1]. Исследования проводились при относительно высоких давлениях в отличие от работы [4], где рассматривались лишь пучковые эксперименты с редкой плазмой.

Э к с п е р и м е н т а л ь н а я у с т а н о в к а

Эксперименты проводились в импульсной центрифуге с частично ионизованным газом [5]. Разрядная камера установки представляла