

## КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СВЕРХПРОВОДНИКЕ

Y–Ba–Cu–O.

*В.Н. Андреев, Б.П. Захарченя, С.Е. Никитин, Ф.А. Чудновский,  
Е.Б. Шадрин, Э.М. Шер*

В керамике Y–Ba–Cu–O обнаружена катодолюминесценция, инициированная сверхпроводящим фазовым переходом при 105 К.

В данной статье сообщается об обнаружении и исследовании катодолюминесценции, инициированной сверхпроводящим фазовым переходом в образцах керамики на основе Y–Ba–Cu–O.

Образцы керамики были синтезированы в виде таблеток диаметром 8 мм и толщиной 2 мм. Спекание производилось при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$  в фарфоровом тигле в течение 4 часов. Исследование катодолюминесценции проводилось на свежем сколе керамического образца с целью предотвращения возможных его загрязнений и исключения ложных люминисцентных сигналов. Возбуждение люминесценции осуществлялось электронным лучом с энергией 6–7 кэВ и плотностью тока до 300 мкА на  $\text{см}^2$ . Нами были исследованы образцы как состава  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (1–2–3), так и многофазные состава  $\text{Y}_{1,2}\text{Ba}_{0,8}\text{CuO}_{4-\delta}$ . При этом было обнаружено следующее.

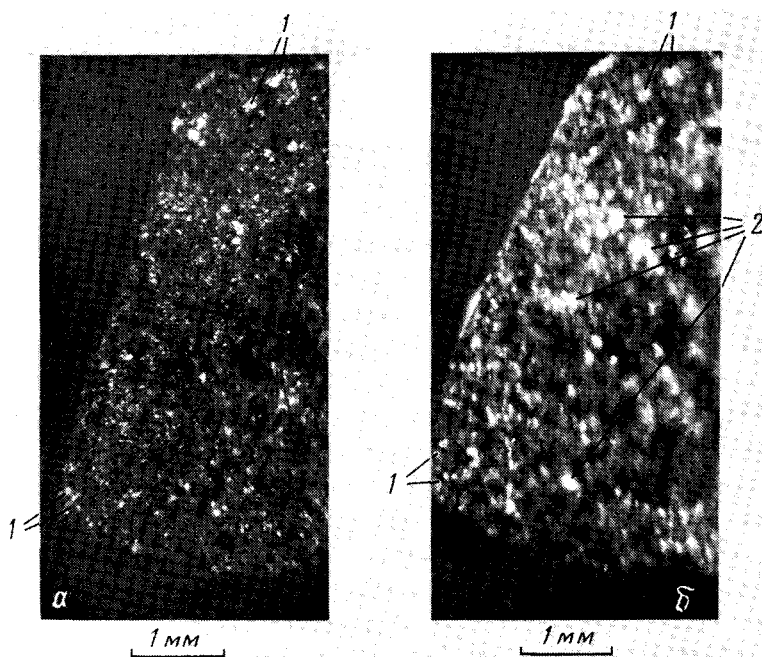


Рис. 1. Скол сверхпроводящей керамики, люминесцирующий под воздействием электронного луча: а – при 300 К, б – при 93 К; 1 – голубая люминесценция, 2 – красная люминесценция

В образцах состава 1–2–3, обладающих эффектом Мейсснера в 80–100% по отношению к свинцу, катодолюминесценция полностью отсутствует. В тех многофазных образцах, в которых эффект Мейсснера составляет 7% по отношению к свинцу, уже при комнатной темпе-

ратуре присутствует голубая катодолюминесценция в виде пятен, покрывающих около двух третей площади поверхности скола ( рис. 1 ).

При понижении температуры образца до 105 К интенсивность этой люминесценции возрастает приблизительно на порядок и одновременно в темных промежутках между пятнами голубой люминесценции появляются мелкие ( диаметром около 0,2 мм ) области красной люминесценции, интенсивность и количество которых с понижением температуры растет вплоть до 93 К, после чего картина стабилизируется.

При иной постановке опыта, а именно, если охлаждение производится до облучения электронами, полной яркости красное свечение достигает ( при 80 К ) примерно через 10 с после включения электронного луча, тогда как голубое свечение возгорается мгновенно. При этом оба типа люминесценции не обнаруживают заметного послесвечения.

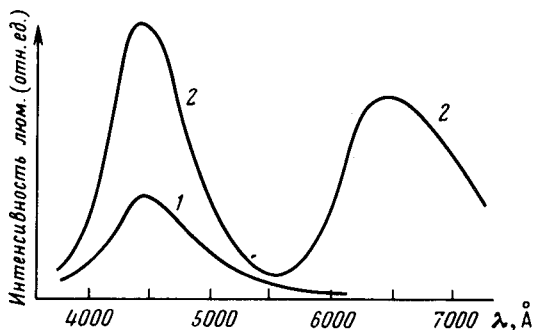


Рис. 1

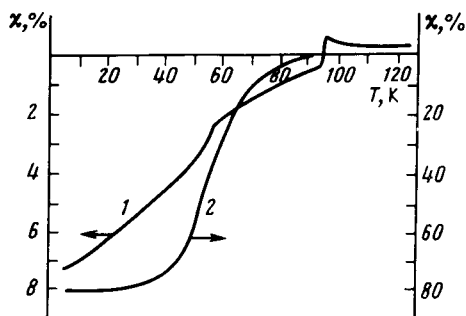


Рис. 2

Рис. 2. Спектры катодолюминесценции образцов сверхпроводящей керамики: 1 – при 300 К, 2 – при 93 К

Рис. 3. Температурная зависимость магнитной восприимчивости : 1 – многофазный образец, 2 – образец состава 1–2–3

Спектры излучения исследованных многофазных образцов ( рис. 2 ) содержат широкие пики, совпадающие по положению с центрами тяжести характерных групп линий, присутствующих в спектрах катодолюминесценции свободной окиси иттрия и в спектре исходной шихты, использованной при синтезе сверхпроводящей керамики. Особенностью этих спектров является то, что помимо сильного уширения пиков, возникающего после синтеза керамики, они приобретают необычную зависимость от температуры. Так при 300 К в спектре присутствует голубая полоса ( 4000 Å ) и отсутствуют характерные для окиси иттрия и исходной шихты пики в желтой ( 5700 Å ) и красной ( 6400 Å ) областях спектра. С понижением температуры спектры катодолюминесценции приобретают ярко выраженный пик в области 6400 Å, возгорающийся при 105 К и сохраняют голубую полосу на 4400 Å при практически полном отсутствии свечения в желтой области спектра – наиболее характерной для спектров катодолюминесценции  $Y_2O_3$  как в низко-, так и в высокотемпературной области.

Исследование температурной зависимости магнитной восприимчивости наших образцов показало наличие у этой зависимости особенностей в области температур 90–105 К ( рис.3 ) ( а также обнаружило присутствие некоторой доли парамагнетизма, особенно заметной при 105 К ), что коррелирует с температурным поведением катодолюминесценции.

Рентгенографическое исследование поверхности скола многофазных образцов керамики показало, помимо наличия в них хорошо развитой фазы 1–2–3, присутствие свободной окиси иттрия и двух неидентифицированных фаз X и Y .

Следует отметить, что наблюдавшееся в <sup>1</sup> возгорание вторичной электронной эмиссии образцов керамики вблизи температуры сверхпроводящего перехода, также имело вид мел-

ких пятен, хаотически разоросанных по поверхности образца. Это коррелирует с нашими результатами, поскольку, согласно общепринятым представлениям, возбуждение центров катодоллюминесценции осуществляется вторичными электронами <sup>2</sup>. Возбуждение же вторичных электронов особенно эффективно при бомбардировке сильно шероховатой поверхности <sup>3</sup>, которая образуется на образце сверхпроводящей керамики.

Выявленные особенности позволяют считать, что процесс возбуждения катодоллюминесценции обусловлен следующими причинами.

Электронный луч бомбардирует керамический скол, который представляет собой поверхность с хаотически расположенными кристаллитами, так что бомбардировка происходит под всевозможными углами, что сильно увеличивает число отраженных и вторичных электронов. При этом диэлектрические кристаллы окиси иттрия, заключенные в сверхпроводящую матрицу Y-Ba-Cu-O, играют роль центров свечения. Если предположить, что свечение исходит, в основном, из областей контакта диэлектрической и сверхпроводящей фаз, то представляется вероятным, что управление параметрами свечения осуществляется сверхпроводящей фазой за счет резкого изменения характера миграции энергии через границу контакта в момент сверхпроводящего фазового перехода. Таким образом, изменения в спектре катодоллюминесценции могут служить индикатором начала перехода в сверхпроводящее состояние.

В заключение авторы благодарят И.Р. Козлову за помощь в проведении измерений.

#### Литература

1. *Осипьян Г.А., Бародин С.Л., Гончаров К.А. и др.* Приложение к Письмам в ЖЭТФ, 1987, с. 16-20.
2. *Москвин А.В.*, Катодоллюминесценция. ч. 1 и 2, М. -Л., 1948-1949, 846 с.
3. *Шульман А.Р., Фридрихов С.А.* Вторично-электронные методы исследования твердого тела. М. Наука, 1977, с. 552.