



دانشگاه الزهرا
دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک

گرایش ماده چگال

ساخت و بررسی مشخصه‌های الکتریکی نانو کریستال YBCO

استاد راهنما

دکتر وحید دادمهر

استاد مشاور

دکتر فائزه فرزانه

دانشجو

مریم سعادت‌ی

تیر ماه سال ۱۳۸۸

والا ترین درسی که مسیر زندگی بشریت را تغییر داد، افکار و ایده‌های آن انسانی بود
که نبوغش، او را از محیط متمایز می‌ساخت.

جبران خلیل جبران

**The supreme teaching that changed the course of humanity was the ideas of a
man whose genius separated him from his environment.**

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که شمع

وجودشان روشنای زندگیست

تقدیم به وجود پیر از مهر همسرم.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

تشکر و قدردانی :

حمد و سپاس می گویم آفریدگار توانا را

و بر خود لازم می دانم از کلیه افرادی که در انجام پایان نامه به اینجانب کمک نموده و نهایت همکاری را داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

۱- آقای دکتر وحید دادمهر استاد محترم راهنما به خاطر راهنمایی‌های بسیار ارزنده و مؤثرشان

۲- خانم دکتر فائزه فرزانه استاد محترم مشاور به خاطر مشاوره‌های مفیدشان

۳- خانم‌ها فاطمه صائب و سمیه فلاحتی به خاطر راهنمایی‌های مؤثرشان

۴- دوستان عزیزم خانم‌ها مهدیه هوائی و زهرا فرائی به خاطر همکاری صمیمانه در انجام آزمایشها

۵- آقای مهندس مهدیلو به خاطر نهایت همکاری در آنالیز SEM و XRD نمونه‌ها در دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه امیرکبیر

۶- آقای مجید کاظمی به خاطر هماهنگی جهت استفاده از امکانات آزمایشگاه دانشکده فیزیک دانشگاه تهران

مریم سعادت

دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک ماده چگال

تیر ماه ۱۳۸۸

چکیده

همزیستی نانو و ابررسانایی از جمله موضوعاتی است که امروزه بسیار مورد توجه است. از نانو پودرهای ریز ابررسانای YBCO می‌توان در ساخت نوارهای ابررسانای بزرگ استفاده نمود که یک انقلاب تکنیکی را در تولید نوارهای ابررسانا ادعا می‌کند و نیز از آنها در ساخت سیمهای ابررسانا استفاده نمود. سیمهای ابررسانا ساخته شده از پودرهای سرامیکی میکرو مقیاس، انعطاف پذیری کمی دارند و بسیار شکننده هستند. بنابراین می‌توان با انتخاب روش مناسب و بهینه‌سازی پارامترهای موثر در ساخت ابررساناها موفق به تولید پودرهای سرامیکی با مقیاس نانو، جهت ساخت سیمهای ابررسانا با کیفیت مطلوب ترگشت که انعطاف‌پذیری بیشتری نیز دارند.

در تحقیق حاضر نانو کریستال ابررسانا YBCO به شکل پودری به روش سل-ژل ساخته شد. آنالیز فازی نمونه‌ها با طیف اشعه X مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد نمونه تک فاز و ارتورومبیک است. اندازه تک کریستال (ریز بلورک‌ها) نمونه‌های تهیه شده ۳۵-۲۹ نانومتر است.

ساختار کریستالی نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار MAUD ظریف سازی شد. نتایج ظریف‌سازی حاکی از آن است که نمونه‌ها تطابق خوبی با نمونه مرجع دارند. میزان اکسیژن نمونه‌ها با استفاده از روش تیتراسیون یدی تعیین شد. ریزساختار و مورفولوژی با میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار گرفت. تصاویر SEM کاهش تخلخل، افزایش سطح تماس دانه‌ها و افزایش اندازه دانه‌ها را با افزایش مدت زمان زینتر نشان می‌دهند. دمای گذار ابررسانا با استفاده از تکنیک اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC ابررساناها بدست آمد.

کلمات کلیدی:

نانو کریستال، ابررسانای دمای بالا YBCO، سل-ژل، اثر زمان، فرآیند حرارتی.

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

.....	چکیده
.....	فهرست شکل‌ها
.....	فهرست جداول

فصل اول : ابرسانایی و نانو

ابرسانایی

.....	تاریخچه ابرسانایی
.....	۱-۱- مفاهیمی از ابرسانایی
.....	۱-۱-۱- اثر مایسنر
.....	۱-۱-۲- نظریه BCS
.....	۱-۱-۳- اثر جوزفسون
.....	۱-۱-۴- اثر ایزوتوپی
.....	۱-۱-۶- عمق نفوذ
.....	۱-۱-۷- طول همدوسی
.....	۲-۱- انواع ابرسانا
.....	۱-۲-۱- ابرسانای متعارف
.....	۲-۲-۱- ابرسانا دمای بالا
.....	۲-۲-۱- الف- بررسی ساز و کار ابرسانایی دمای بالا

- ۱-۲-۲-ب-میدان مغناطیسی بحرانی در ابرسانای دمای بالا..... ۱۳
- ۱-۲-۲-ج-گردابه‌ها..... ۱۴
- ۱-۲-۲-د-میخکوبی شار..... ۱۶
- ۱-۲-۳-مقایسه ابرساناهای دمای بالا و متعارف..... ۱۶
- ۱-۲-۳-الف-تشابه‌ها..... ۱۶
- ۱-۲-۳-ب-تفاوت‌ها..... ۱۷
- ۱-۳-۳-ساختار بلوری..... ۱۸
- ۱-۳-۱-جامد بلوری..... ۱۸
- ۱-۳-۲-ساختار بلوری و ریز ساختار YBCO..... ۱۹
- ۱-۳-۳-اثرات ریز ساختاری..... ۲۴
- ۱-۳-۴-اثرات ریز ساختاری در YBCO..... ۲۴

نانو

- ۱-۴-۴-نانو..... ۲۸
- ۱-۴-۱-تاریخچه نانو..... ۲۸
- ۱-۴-۲-نانو چیست؟..... ۲۸
- ۱-۴-۳-تعریف نانو فناوری..... ۲۹
- ۱-۴-۴-ویژگی‌های مقیاس نانو..... ۲۹
- ۱-۴-۵-تاثیر مقیاس نانو بر خواص مواد..... ۲۹
- ۱-۵-۵-نانو مواد..... ۳۱
- ۱-۵-۱-نانو ذرات..... ۳۱

- ۳۱..... ۲-۵-۱- نانو کریستال
- ۳۲..... ۳-۵-۱- نقاط کوانتومی
- ۳۳..... ۶-۱- روش‌های تولید نانو مواد
- ۳۳..... ۱-۶-۱- روش‌های فاز بخار
- ۳۳..... ۱-۶-۱- الف- رسوب فیزیکی بخار (PVD)
- ۳۴..... ۱-۶-۱- ب- رسوب شیمیایی بخار (CVD)
- ۳۵..... ۱-۶-۱- ج- چگالش بخار شیمیایی (CVC)
- ۳۷..... ۱-۶-۱- د- چگالش گاز خنثی (IGC)
- ۳۷..... ۱-۶-۱- ه- روش ذوب در محیط فوق سرد
- ۳۸..... ۱-۶-۱- و- روش تخلیه قوس الکتریکی
- ۳۹..... ۱-۶-۱- ز- روش پیرولیز لیزر
- ۴۰..... ۱-۶-۱- ح- روش سیم انفجاری
- ۴۰..... ۲-۶-۱- روش‌های فاز جامد
- ۴۰..... ۲-۶-۱- الف- آلیاژسازی مکانیکی (روش خردایش مکانیکی)
- ۴۲..... ۲-۶-۱- ب- فرآیندهای شیمیایی- مکانیکی
- ۴۲..... ۳-۶-۱- روش‌های فاز محلول
- ۴۲..... ۳-۶-۱- الف- روش میکرومولسیون
- ۴۳..... ۳-۶-۱- ب- روش هیدروترمال
- ۴۵..... ۳-۶-۱- ج- روش سونوکیمیکال
- ۴۶..... ۳-۶-۱- د- روش سل- ژل
- ۴۶..... ۷-۱- چرا روش‌های شیمیایی و چرا سل- ژل؟

فصل دوم: ساخت و مشخصه‌یابی نانو کریستال YBCO

مقدمه.....	۴۷
۱-۲- روش‌های ساخت ابررسانا دمای بالا.....	۴۸
۲-۲- روش کلوخه سازی.....	۴۹
۱-۲-۲- روش واکنش حالت جامد.....	۵۰
۲-۲-۲- روش واکنش در حالت محلول.....	۵۰
۲-۲-۲- الف- روش هم رسوبی.....	۵۱
۲-۲-۲- ب- روش خشک کردن سرد.....	۵۱
۲-۲-۲- ج- روش سل- ژل.....	۵۲
تعریف سل- ژل.....	۵۲
فرآیند سل-ژل.....	۵۳
۱- فرآیند سل- ژل در مسیر آلکوکسیدی.....	۵۳
مراحل فرآیند در مسیر آلکوکسیدی.....	۵۴
۲- فرآیند سل- ژل در مسیر کلونیدی.....	۵۷
فرآیند سل-ژل در ساخت YBCO.....	۵۷
۱- مسیر آلکوکسیدی در ساخت YBCO.....	۵۹
۲- مسیر ترکیبی در ساخت YBCO.....	۵۹
۲-۲- تجهیزات و روش‌های مشخصه‌یابی.....	۶۰
۱-۲-۲- آنالیز حرارتی TA.....	۶۱
۱-۲-۲- الف- آنالیز حرارتی TGA.....	۶۱
۱-۲-۲- ب- آنالیز حرارتی DTA.....	۶۲

- ۶۳..... ۲-۲-۱-ج-آنالیز حرارتی STA
- ۶۴..... ۲-۲-۲-مشخصه‌یابی توسط پراش پرتو ایکس
- ۶۵..... ۲-۲-۳-میکروسکوپ الکترونی
- ۶۶..... ۲-۲-۳-الف-میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM)
- ۶۸..... ۲-۲-۳-ب-میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
- ۶۸..... ۲-۲-۴-اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در ابررسانا
- ۶۹..... ۲-۲-۴-الف-مواد دیامغناطیس
- ۶۹..... ۲-۲-۴-ب-اندازه‌گیری مشخصه‌های مغناطیسی مواد
- ۶۹..... ۲-۲-۴-ج-مغناطیس سنجی AC (AC Magntometry)
- ۷۱..... ۲-۲-۴-د-سیستم اندازه‌گیری پذیرفتاری AC ابررساناها
- ۷۲..... AC-۱ ساسپتومتر (Ac Susceptometer)
- ۷۵..... ۲-میدان مغناطیسی اولیه
- ۷۵..... ۳-اندازه‌گیری دما
- ۷۵..... ۴- آمپلی فایر Lock-in
- ۷۷..... ۲-۳-۳-ساخت نمونه‌های پودری نانو کریستال YBCO
- ۷۷..... ۲-۳-۱-استوکیومتری و توزین
- ۸۰..... ۲-۳-۲-محلول سازی
- ۸۱..... ۲-۳-۳-تنظیم PH
- ۸۲..... ۲-۳-۴-فرآیندهای حرارتی
- ۸۲..... ۲-۳-۴-الف-مرحله فایرینگ
- ۸۴..... ۲-۳-۴-ب-مرحله تکلیس

۱۵..... ۲-۳-۴-ج-مرحله قرص سازی

۱۶..... ۲-۳-۴-د-مرحله زینتر

فصل سوم: مشخصه‌یابی، نتایج و بحث

۹۲..... ۳-۱-تحلیل حرارتی

۹۴..... ۳-۲-نقش پراش اشعه X

۹۷..... ۳-۳-ظریف سازی طیف پراش اشعه X

۱۰۰..... ۳-۴-اندازه گیری اکسیژن نمونه‌ها

۱۰۰..... ۳-۴-۱-روش تحلیل جرمی TGA

۱۰۰..... ۳-۴-۲-روش پارامتر شبکه c

۱۰۱..... ۳-۴-۳-روش یدومتری

۱۰۲..... جزئیات روش یدومتری

۱۰۴..... ۳-۵-تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده

۱۲۱..... ۳-۶-تحلیل داده‌های سیستم اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی

۱۲۱..... ۳-۶-۱-دمای بحرانی

۱۲۱..... ۳-۶-۲-نتایج اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی ac نمونه‌ها ساخته شده

۱۲۳..... ۳-۷-نتیجه گیری

۱۲۴..... ۳-۸-پیشنهاد ادامه کار

۱۲۵..... مراجع

.....Abstract

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل

صفحه

فصل اول

- شکل ۱-۱: طرد میدان مغناطیسی خارجی از داخل یک ماده ابررسانا (اثر مایسنر) ۳
- شکل ۲-۱: برهمکنش الکترون-الکترون از طریق ارتعاشات شبکه و تشکیل جفت کوپر ۴
- شکل ۳-۱: وابستگی میدان مغناطیسی بحرانی به دما ۷
- شکل ۴-۱: تغییرات مغناطش بر حسب میدان مغناطیسی اعمال شده برای (a) ابررساناهای متعارف نوع I و (b) ابررساناهای متعارف نوع II ۹
- شکل ۵-۱: نمودار (H-T) برای ابررسانای نوع II و دمای بالا ۱۳
- شکل ۶-۱: جریانهای پوششی در اطراف یک مغزی گردابه ۱۵
- شکل ۷-۱: توزیع شبکه گردابی هگزاگونال در نمونه کامل ۱۵
- شکل ۸-۱: ساختار $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ ۲۰
- شکل ۹-۱: لایه‌ها و نوارها مس در ساختار فاز ارتورمبیک YBCO ۲۱
- شکل ۱۰-۱: پارامترهای شبکه در ساختار فاز ارتورمبیک YBCO ۲۲
- شکل ۱۱-۱: شکل دو بعدی یک جامد نانو ساختار. اتم‌های سیاه اتم‌های درون دانه‌ها و اتم‌های سفید اتم‌های موجود در مرز دانه‌ها هستند ۳۲
- شکل ۱۲-۱: اجزای مختلف و نحوه فرآیند اسپاترینگ ۳۴
- شکل ۱۳-۱: شماتیک روش چگالش بخار شیمیایی (CVD) ۳۵

شکل ۱-۱۴: روش ذوب تبریدی برای تولید نانو ذرات آلومینیوم [۱۸] و مخلوط نانو ذرات آلومینیوم و گاز آرگون	۳۸
شکل ۱-۱۵: شماتیکی از سیستم پیرولیز لیزر	۳۹
شکل ۱-۱۶: انواع آسیاب‌ها	۴۱

فصل دوم

شکل ۲-۱: تکنولوژی سل-ژل	۵۳
شکل ۲-۲: مراحل فرآیند سل ژل	۵۵
شکل ۲-۳: روش‌های مختلف فرآیند سل ژل	۵۸
شکل ۲-۴: منحنی DTA تیپیک	۶۲
شکل ۲-۵: میکروسکوپ الکترون روبشی مورد استفاده در تحقیق	۶۶
شکل ۲-۶: طرح کلی سیستم اندازه گیری پذیرفتاری AC	۷۲
شکل ۲-۷: پروب ساسیتومتر AC	۷۳
شکل ۲-۸: آمپلی فایر lock in و نحوه اتصال آن به مدار	۷۶
شکل ۲-۹: کوره استوانه‌ای دیجیتال مورد استفاده برای کلوخه‌سازی	۸۷
شکل ۲-۱۰: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۱ و ۲	۸۸
شکل ۲-۱۱: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۳	۸۸
شکل ۲-۱۲: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۴ با زمان زینتر ۱ ساعت در 880°C	۸۹
شکل ۲-۱۳: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۴ با زمان زینتر ۳ ساعت در 880°C	۸۹
شکل ۲-۱۴: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۴ با زمان زینتر ۷ ساعت در 880°C	۹۰
شکل ۲-۱۵: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۴ با زمان زینتر ۱۰ ساعت در 880°C	۹۰
شکل ۲-۱۶: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۶ با زمان زینتر ۲ ساعت در 880°C	۹۱
شکل ۲-۱۷: نمودار فرآیند حرارتی زینتر برای نمونه ۶ با زمان زینتر ۸ ساعت در 880°C	۹۱

فصل سوم

- شکل ۳-۱: نمودار TGA-DTA مربوط به ترکیب YBCO آماده‌سازی شده به روش سل-ژل ۹۲
- شکل ۳-۲: طیف پراش اشعه X نمونه ۳، زینتر شده در 880°C به مدت ۵ ساعت ۹۶
- شکل ۳-۳: طیف پراش اشعه X نمونه ۶، زینتر شده در 880°C به مدت ۲ ساعت ۹۶
- شکل ۳-۴: طیف پراش اشعه X نمونه ۶، زینتر شده در 880°C به مدت ۵ ساعت ۹۶
- شکل ۳-۵: طیف پراش اشعه X نمونه ۶، زینتر شده در 880°C به مدت ۸ ساعت ۹۷
- شکل ۳-۶: تصاویر SEM نمونه ۱ (پودر) بعد از فرآیند فایر با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ ۱۰۴
- شکل ۳-۷: تصاویر SEM نمونه ۱ (پودر) بعد از فرآیند کلسینه با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۰۵
- شکل ۳-۸: تصاویر SEM نمونه ۱ (پودر) بعد از فرآیند زینتر در 930°C با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ ۱۰۶
- شکل ۳-۹: تصویر SEM نمونه ۱ (قرص) بعد از فرآیند زینتر در 930°C با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ ۱۰۶
- شکل ۳-۱۰: تصویر SEM نمونه ۲ (پودر) بعد از فرآیند فایر با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰۰ ۱۰۷
- شکل ۳-۱۱: تصاویر SEM نمونه ۲ (پودر) بعد از فرآیند کلسینه با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ ۱۰۷
- شکل ۳-۱۲: تصاویر SEM نمونه ۲ (پودر) بعد از فرآیند زینتر در 930°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۰۸
- شکل ۳-۱۳: تصویر SEM نمونه ۳ بعد از فرآیند فایر با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰۰ ۱۰۹
- شکل ۳-۱۴: تصاویر SEM نمونه ۳ بعد از فرآیند زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ... ۱۰۹
- شکل ۳-۱۵: تصویر SEM نمونه ۴ بعد از فرآیند فایر با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ ۱۱۰
- شکل ۳-۱۶: تصاویر SEM نمونه ۴ بعد از ۱ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۰
- شکل ۳-۱۷: تصاویر SEM نمونه ۴ بعد از ۳ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۱
- شکل ۳-۱۸: تصاویر SEM نمونه ۴ بعد از ۵ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۲
- شکل ۳-۱۹: تصاویر SEM نمونه ۴ بعد از ۷ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۳
- شکل ۳-۲۰: تصاویر SEM نمونه ۴ بعد از ۱۰ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۴

- شکل ۳-۲۱: تصویر SEM نمونه ۴ (قرص) بعد از ۵ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ ۱۱۵
- شکل ۳-۲۲: تصویر SEM نمونه ۵ بعد از فرآیند فایر با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ ۱۱۵
- شکل ۳-۲۳: تصاویر SEM نمونه ۵ (سل با $\text{PH}=7$) بعد از ۵ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۶
- شکل ۳-۲۴: تصاویر SEM نمونه ۶ بعد از ۲ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۷
- شکل ۳-۲۵: تصاویر SEM نمونه ۶ بعد از ۵ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۸
- شکل ۳-۲۶: تصاویر SEM نمونه ۶ بعد از ۸ ساعت زینتر در 880°C با بزرگ‌نمایی مختلف ۱۱۹
- شکل ۳-۲۷: نمودار گذار ابررسانایی نمونه ۳ ۱۲۲

فهرست جداول

صفحه

عنوان جدول

فصل اول

جدول ۱-۱: تعدادی از ترکیبات ابررسانای دما بالا با مقادیر T_C تقریبی ۱۱

فصل دوم

جدول ۲-۱: مقادیر استوکیومتری شده مواد اولیه برای ساخت نمونه‌ها $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۷۸

فصل سوم

جدول ۳-۱: زاویه، صفحه پراش اصلی و اندازه بلورک نمونه‌های ۳ و ۶ زینتر شده در $880^\circ C$ ۹۵

جدول ۳-۲: مقایسه مشخصه‌های نمونه‌ها با نمونه مرجع ($YBa_2Cu_3O_7$) ۹۸

جدول ۳-۳: مقایسه پارامترهای شبکه کریستالی نمونه‌ها با نمونه مرجع ($YBa_2Cu_3O_7$) ۹۹

جدول ۳-۴: میزان اکسیژن نمونه‌ها با استفاده از روش یدومتری ۱۰۳

جدول ۳-۶: اندازه دانه‌ها ۱۲۰

تاریخچه ابرسانایی

ابرسانایی در سال ۱۹۱۱ در آزمایشگاه لیدن کشف شد. اچ. کامرلینگ اونس^۱ به هنگام مطالعه وابستگی دمایی مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ای از جیوه، مشاهده کرد که در دمایی نزدیک ۴K مقاومت به صفر سقوط می‌کند و در همه دماهای دسترس پذیر زیر ۴K مقاومت دیگر قابل اندازه‌گیری نیست [۱]. نکته مهم اینکه با کاهش دما مقاومت ناگهان به صفر سقوط می‌کند نه بتدریج. آشکار بود که نمونه باید دستخوش گذاری به حالت جدیدی با مقاومت الکتریکی صفر شده باشد که در آن زمان ناشناخته بوده است. این پدیده را ابرسانایی نامیدند. مدت کوتاهی پس از کشف ابرسانایی در جیوه، این خاصیت در سایر فلزات مانند: قلع، سرب، ایندیم، آلومینیوم، نیوبیم و غیره یافت شد. همچنین معلوم شد که تعداد زیادی آلیاژ و ترکیبات بین فلزی نیز ابرسانا هستند.

در سال ۱۹۳۳، مایسنر^۲ و اوکسنفلد^۳ دریافتند که ابرسانا و رسانای کامل با یکدیگر تفاوت دارند. در دماهای پایین‌تر از دمای بحرانی ($T < T_C$) در حضور میدان مغناطیسی خارجی H، اگر میدان مغناطیسی بحرانی ($H < H_C$) باشد، میدان درون ابرسانا همواره صفر است، یعنی طرد کامل شار مغناطیسی وجود دارد [۲]. این خاصیت مغناطیس‌زدایی ابرساناها به اثر مایسنر^۴ معروف است و این یعنی ابرسانا، دیامغناطیس کامل است.

کشف رفتار غیر عادی ظرفیت گرمایی در نزدیکی دمای گذار ابرسانایی و ارائه نظریه ترمودینامیکی گورتر-کایزمیر^۵ در سال ۱۹۳۳ و نظریه الکترومغناطیسی برادران لندن در ۱۹۳۵ گام‌های بعدی در فهم و شناخت پدیده ابرسانایی بودند. از سال ۱۹۳۵ تا ۱۹۵۰ یک دوره رکود ۲۵ ساله به چشم می‌خورد و در طی این سالها هیچ کار عمده نظری یا تجربی در مورد ابرسانایی صورت نگرفت. تا اینکه در سال ۱۹۵۰ اثر مهم ایزوتوپ کشف شد که وابستگی دمای گذار را با جرم اتمی (فونون‌های شبکه) نشان می‌داد. با ارائه نظریه پدیده

¹ Kimberling ones

² Meissner

³ Ochsenfeld

⁴ Meissner effect

⁵ Gorter_Casimir

شناختی گینزبرگ- لاندائو^۱ در ۱۹۵۰ و نظریه الکترودینامیک غیر موضعی پپارد^۲ در ۱۹۵۳ قدم‌های مهمی در دستیابی به نظریه میکروسکوپی ابرسانایی برداشته شد. تا آنکه در سال ۱۹۵۷ نظریه مهم و استثنایی BCS توسط باردین-کوپر-شریفر^۳ ارائه داده شد [۳] ، که بر همکنش ضعیف بین الکترون‌ها و فونون‌ها را عامل جاذبه الکترون-الکترون و تشکیل زوج کوپر می دانست. جلوه دیگر ماهیت کوانتومی ابرسانایی، ابرسانندگی ضعیف است که اثر جوزفسون نیز خوانده می‌شود. در سال ۱۹۶۲ جوزفسون^۴ با تکیه بر پدیده تونل‌زنی در فیزیک هسته‌ای پی برد که دو ابرسانای مختلف میتوانند توسط ارتباط ضعیف به یکدیگر متصل شوند [۴]. برهم‌کنش الکترون فونون مطرح شده در نظریه BCS امکان وجود ابرسانایی با دمای گذار بالاتر از 30K را رد می‌کرد. این موضوع با تمام مشاهدات تجربی ابرسانایی در ترکیبات فلزی، آلیاژها، بین فلزی و نیمه رساناها نیز تأیید می‌شد بطوریکه تا سال ۱۹۸۶ بالاترین دمای گذار مشاهده شده $23/3\text{K}$ بود. تا اینکه در سال ۱۹۸۶ بدنورز^۵ و مولر^۶ ترکیباتی را مورد آزمایش قرار دادند که ساختار آنها از لایه‌های اکسید مس تشکیل می‌شد. این ترکیب La_2CuO_4 بود که گذار ابرسانایی در آن مشاهده نشده بود. اتفاق عجیبی رخ داده بود، چرا که ماده‌ای عایق در دمایی بالاتر از پیش‌بینی BCS تبدیل به ابرسانا می‌شد. آنها این‌گونه مواد را ابرساناهای دمای بالا (دمای گذار بالاتر از 30K) نامیدند [۵]. با توجه به دمای گذار ابرساناها به دو دسته متعارف و دمای بالا تقسیم می‌شوند. YBCO ابرسانای دمای بالا است، از این جهت در این تحقیق به ویژگیهای ابرسانای دمای بالا اشاره می‌شود.

1 Kinzberg-landau

2 Pippard

3 Bardeen-Cooper-schrieffer

¹ Josephson

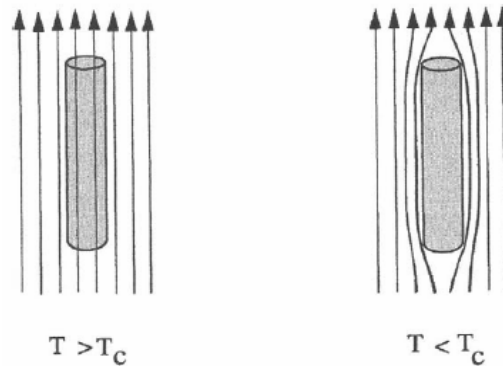
⁵ J. D. Bednorz

⁶ A. K. Muller

۱-۱- مفاهیمی از ابررسانایی

۱-۱-۱- اثر مایسنر

در سال ۱۹۳۳، مایسنر و اوکسنفلد دریافتند که ابررسانا، چیزی متفاوت از رسانای کامل است. آزمایشها نشان داد رسانای کامل بودن به تنهایی برای ابررسانا نامیدن یک جسم کافی نیست، بلکه جسم ابررسانا خصوصیت ویژه مهم و لازم دیگری دارد و آن دیامغناطیس کامل بودن آن است. به این معنی که اگر ماده در حضور میدان ($H < H_C$) تا حالت ابررسانش سرد ($T < T_C$) شود، شار از داخل آن طرد شده این اثر به طرد شار مغناطیسی یا اثر مایسنر معروف است و این یعنی ابررسانا چنان رفتار می‌کند که گویی تراوایی آن صفر است یا پذیرفتاری دیامغناطیس کامل دارد [۶]. این آزمایشها همچنین نشان داد که صرفنظر از اینکه میدان در حالت ابررسانش اعمال شود یا اینکه در حالت بهنجار اعمال شود و سپس نمونه سرد شود، شار مغناطیسی از ابررسانا رانده می‌شود. بر خلاف رسانای کامل، گذار از حالت ابررسانشی به حالت بهنجار یک فرآیند کاملاً بازگشت پذیر است. خاصیت دیامغناطیس کامل بودن در ابررساناها نشان می‌دهد که ابررسانایی به معنای یک تغییر در حالت ترمودینامیکی سیستم است نه یک تغییر شدید در مقاومت الکتریکی. (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱: طرد میدان مغناطیسی خارجی از داخل یک ماده ابررسانا (اثر مایسنر).

۱-۱-۲- نظریه BCS

در سال ۱۹۵۷ سه محقق به نامهای باردین، کوپر و شریفر نظریه‌ای موسوم به نظریه BCS را ارائه دادند که برهمکنش ضعیف بین الکترون‌ها و فونون‌ها را عامل جاذبه الکترون-الکترون