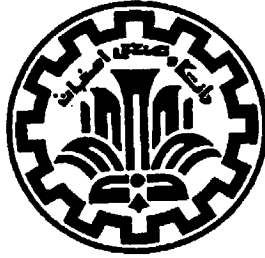


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

۳۸۰ / ۱ / ۱۰

دانشکده فیزیک

ساخت و بررسی سیمهای ابررسانای بر پایه بیسموت

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

مریم خانمحمدی

10128

استاد راهنما

دکتر هادی سلامتی

دی ماه ۱۳۷۹

۳۳۰۳۱



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک خانم مریم خانمحمدی
تحت عنوان

ساخت و بررسی سیمهای ابررسانای بر پایه بیسموت

در تاریخ ۷۹/۱۰/۱۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت .

۱- استاد راهنمای پایان نامه

۲-استاد مشاور پایان نامه

۳-استاد مدعو

۴- استاد داور

۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

دکتر هادی سلامتی

دکتر سید محسن ذهبی

دکتر محمود برانی

دکتر سید محمد امینی

دکتر منصور حقیقت

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از استاد راهنمای بزرگواریم جناب آقای دکتر هادی سلامتی که در مدت زمان انجام پایان نامه از راهنمایی های ایشان بسیار استفاده نمودم نهایت تشکر خویش را ابراز نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر سید محسن ذهبی که به عنوان استاد مشاور بازبینی و تصحیح پایان نامه را به عهده گرفتند و از جناب آقای دکتر محمود براتی که تقبل زحمت نموده و علاوه بر مطالعه پایان نامه در جلسه دفاعیه نیز حضور یافتند سپاسگزارم. از آقای دکتر منصور حقیقت ریاست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده و کلیه اساتید محترم و نیز کارمندان دانشکده بخصوص خانم نمازی همچنین آزمایشگاه XRD و SEM دانشکده مواد تشکر نموده و موفقیت همه این عزیزان را از خداوند متعال آرزو مندم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی
از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله)
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

مادر و پدر فداکار و گرامیم

و

سایر عزیزانم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
سه	قدردانی
چهار	تقدیم
شش	فهرست مطالب
	چکیده

فصل اول: مقدمه‌ای بر ابرسانایی

۱	۱-۱- تاریخچه ابرسانایی
۴	۲-۱- برخی از خواص ابرساناها
۴	۱-۲-۱- مقاومت صفر
۵	۲-۲-۱- میدان مغناطیسی صفر
۶	۳-۲-۱- دیامغناطیس کامل
۸	۴-۲-۱- برهمکنش الکترون-فونون وگاف انرژی
	۵-۲-۱- نظریه BCS
۱۵	۳-۱- انواع ابرساناها
۱۵	۱-۳-۱- ابرساناهای نوع I
۱۶	۲-۳-۱- ابرساناهای نوع II

فصل دوم: مروری بر ویژگی‌های ابرساناهای گرم

۱۸	۱-۲- مقدمه
۲۰	۲-۲- خواص ابرساناهای گرم
۲۲	۳-۲- ساختار بلوری ابرساناهای دمای بالا
۲۳	۱-۳-۲- ساختار لایه‌ای
۲۶	۲-۳-۲- ساختار دانه‌ای
۲۷	۴-۲- چگالی جریان بحرانی

۲۸	۵-۲- گاف انرژی
۲۹	۶-۲- کاربرد ابررساناهای گرم
۳۱	۷-۲- ابررسانای پایه - بیسموت
۳۴	۸-۲- نمودار فاز
۳۷	۹-۲- نمودار فاز سیستم $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SrO-CaO-CuO}$
۴۰	۱۰-۲- مکانیسم تشکیل فاز (۲۲۲۳)
۴۲	۱۱-۲- اثر اکسیژن بر ابررسانای پایه - بیسموت
۴۲	۱۲-۲- ناراستیهای بلوری در ابررسانای پایه - بیسموت
۴۳	۱-۱۲-۲- نقص میان رشدی

فصل سوم: بررسی ساخت سیمهای ابررسانا بر پایه - بیسموت

۴۵	۱-۳- مقدمه
۴۷	۲-۳- تعاریف مقدماتی
۵۰	۳-۳- انواع حاملهای جریان و روشهای ساخت آنها
۵۱	۱-۳-۳- مواد پوششی و زیرلایه ها
۵۱	۲-۳-۳- فیلمهای ضخیم
۵۳	۳-۳-۳- روش $\text{Mettalic Precursor}$
۵۳	۴-۳- روش (PIT) یا (OPIT)
۵۵	۱-۴-۳- تهیه پودر
۶۰	۲-۴-۳- اثر ترکیب آغازین
۶۱	۳-۴-۳- تغییر شکل مکانیکی
۶۲	۱-۳-۴-۳- مقدمه‌ای بر فرآیند تغییر شکل مکانیکی
۶۵	۲-۳-۴-۳- فشردن
۶۶	۳-۳-۴-۳- نوردکردن
۶۷	۵-۳-۴-۳- کشیدن و Extrusion
۶۹	۴-۴-۳- باز توزیع جرم در طی تغییر شکل

- ۷۰ ۳-۴-۵- شارش پودر
- ۷۱ ۳-۴-۶- چگالی مغزه ابررسانا
- ۷۴ ۳-۴-۷- باز توزیع جرم و ناهمگنی
- ۷۴ ۳-۴-۷-۱- توزیع جرم چگالی
- ۷۷ ۳-۴-۸- تشکیل بافت در طی باز توزیع جرم
- ۷۷ ۳-۵- تشکیل Sausaging
- ۸۰ ۳-۵-۱- جهت Sausaging
- ۸۱ ۳-۶- عملیات حرارتی
- ۸۶ ۳-۷- بررسی چگالی جریان بحرانی در سیمها
- ۸۷ ۳-۷-۱- وابستگی چگالی جریان بحرانی به میدان مغناطیسی
- ۸۸ ۳-۷-۲- وابستگی چگالی جریان بحرانی به دما
- ۸۹ ۳-۸- رفتار اتصال ضعیف
- ۹۰ ۳-۹- همسوسازی دانه ها
- ۹۳ ۳-۱۰- مکانیسم میخکوبی شار عاملی مؤثر در افزایش چگالی جریان بحرانی
- ۹۳ ۳-۱۰-۱- میخکوبی ذاتی
- ۹۳ ۳-۱۰-۲- میخکوبی توسط ناراستی
- ۹۴ ۳-۱۱- اثر آرایش
- ۹۷ ۳-۱۲- افزایش میخکوبی شار به وسیله فرآیند بازپخت
- ۱۰۰ ۳-۱۳- اثر آهنگ خنک کردن سیستم روی مقادیر J_c و T_c
- ۱۰۱ ۳-۱۴- اثر فشار گرم (HP) روی J_c در نوارهای Bi-۲۲۲۳/Ag
- ۱۰۲ ۳-۱۴-۱- اثر درصد کاهش HP روی J_c
- ۱۰۵ ۳-۱۴-۲- مقایسه بین فشار گرم و سرد
- ۱۰۷ ۳-۱۵- ضخامت پوشش نقره ای
- ۱۱۰ ۳-۱۶- ساخت نوارهای Bi(pB)-۲۲۲۳ با استفاده از مواد پیشرو
- ۱۱۲ ۳-۱۷- یک روش جدید برای پیوند نوارهای کوتاه

فصل چهارم: ساخت مشخصه یابی و بررسی خواص الکتریکی و مغناطیسی ابررسانای پایه - بیسموت

۱-۴-۱- مقدمه	۱۱۴
۲-۴-۲- ساخت نمونه های سرامیکی بر پایه بیسموت	۱۱۵
۳-۴-۳- ساخت سیم از ابررسانای پایه - بیسموت	۱۱۸
۴-۴-۴- اندازه گیریها و آزمایشها	۱۲۲
۱-۴-۴-۱- پراش پرتو - X	۱۲۲
۲-۴-۴-۲- تصاویر SEM و نتایج مربوط به آنها	۱۲۵
۳-۴-۴-۳- آنالیز EDX	۱۲۸
۴-۴-۴-۴- اندازه گیری پذیرفتاری A.C.	۱۲۹
۵-۴-۴-۵- اندازه گیری مقاومت الکتریکی	۱۳۵
۶-۴-۴-۶- چگالی جریان بحرانی	۱۴۰
نتیجه گیری و پیشنهادها	۱۴۳
مراجع	۱۴۶
چکیده انگلیسی	

چکیده:

ساخت سیم‌های ابررسانا بر پایه بیسموت با استفاده از روش PIT در طول سالهای اخیر به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. در این روش پودر ابررسانا را درون لوله نقره‌ای ریخته و سپس با بستن مجاری لوله، کامپوزیت حاصله را تحت تغییر شکل مکانیکی قرار می‌دهند. بعد از این مرحله نمونه آماده شده تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد.

عوامل زیادی در مقدار چگالی جریان بحرانی سیم و یا نوار حاصل از روش فوق مؤثر هستند، از جمله: کیفیت مواد اولیه، ضخامت پوشش نقره‌ای، چگالی فشردن پودر اولیه، تعداد دفعات فرآیند تغییر شکل مکانیکی و نیز عملیات حرارتی، آهنگ خنک سازی سیستم و... با توجه به اینکه دست یابی به چگالی جریان بحرانی بالا یکی از فاکتورهای مهم در کاربرد ابررساناهای گرم به صورت سیم یا نوار محسوب می‌شود، مطالعات و تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است. در این پروژه نیز با استفاده از روش PIT، دو نمونه به صورت نوار و سیم به ترتیب از پودر Bi-۲۲۲۳ و Bi-۲۲۳۴ (Bi, Ag) تهیه شدند و آنالیزهای SEM، XRD و EDX، همچنین اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری و مقاومت الکتریکی A.C. بر روی این نمونه‌ها انجام شد. در نهایت نیز این نتایج با نتایج حاصل از نمونه‌های حجمی مقایسه شدند. علاوه بر این چگالی جریان بحرانی نیز برای این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به بالا بودن مقدار چگالی جریان بحرانی مربوط به مغزه اکسیدی پس از دو بار کشیدن نسبت به چگالی جریان بحرانی نمونه حجمی و نیز مغزه اکسیدی پس از یکبار کشیدن می‌توان گفت که فرآیند کشیدن، یک فرآیند تغییر شکل مکانیکی مؤثر در افزایش J_c نمونه‌ها است.

فصل اول

مقدمه‌ای بر ابررسانایی

۱-۱- تاریخچه ابررسانایی

قبل از کشف پدیده ابررسانایی، نشان داده شده بود که مقاومت الکتریکی فلزات با کاهش دما به گونه‌ای خطی کاهش می‌یابد و تصور می‌شد که این رفتار تا دمای صفر مطلق نیز ادامه می‌یابد ولی با کشف تصادفی پدیده ابررسانایی توسط کامرلینگ انس^(۱) زمینه تحقیقات فیزیک دماهای پایین ایجاد شد. سه سال بعد از این تاریخ، او مشاهده نمود که مقاومت DC جیوه در دمای پایین‌تر از $4/15K$ به مقدار صفر افت پیدا می‌کند. با این کشف حوزه مطالعات ابررسانایی به وجود آمد. پس از آن مشاهده نمودند که یک میدان قوی مغناطیسی جیوه را به حالت هنجار باز می‌گرداند و نیز دمای گذار $7/2K$ برای سرب کشف شد.

1- Kamerlingh Onnes

کشف مواد با دمای گذار بالاتر بسیار کند صورت می‌گرفت. مثلاً دمای گذار $9/2K$ برای نئوبیوم 17 سال پس از کشف دمای گذار سرب صورت گرفت. این پدیده جالب، منحصر به محدوده بعضی از فلزات باقی نماند بلکه هم اکنون در طول مدت حدود 90 سال محدوده وسیعی از مواد شامل آلیاژها، ترکیبات اکسیدی و حتی ترکیبات آلی را در بر می‌گیرد. جالب توجه‌ترین ترکیبات ابررسانا، ابررساناهای اکسیدی می‌باشند که به عنوان نمونه می‌توان از ترکیباتی مانند NbO_8 و $SrTiO_3$ نام برد که دارای دمای گذار پایین می‌باشند. به تدریج با گسترش دامنه تحقیقات در این شاخه ترکیبات اکسیدی مانند $BaBi_{1-x}Pb_xO_3$ کشف شدند که دارای دمای گذار بالاتر از $10K$ بودند. در سال 1933 مایسنر^(۱) و اشنفلد^(۲) به این واقعیت دست یافتند که در حالت ابررسانایی ماده دیامغناطیس کامل است. این کشف برادران لندن^(۳) را برانگیخت تا معادله‌ای کمی برای این اثر جستجو کنند و به این واقعیت دست یابند که میدان مغناطیسی در حالت استاتیک می‌تواند به طور نمایی به داخل جسم ابررسانا نفوذ کند که اندازه مؤثر آن عمق نفوذ لندن، λ ، نامیده می‌شود. در سال 1950 گینزبرگ^(۴) و لاندائو^(۵) تئوری خود را که بر پایه پارامتر نظم بنا نهاده شده بود و به توصیف ماکروسکوپی ابررسانایی می‌پرداخت ارائه کردند در این سال فرولیش^(۶) نیز به طور نظری اثر ایزوتوپی را پیش بینی کرد. ساخت آلیاژهایی از فلزات که دمای گذاری در حدود $15K$ داشتند نیز در این سال انجام شد. اولین توصیف میکروسکوپی ابررسانایی توسط باردین^(۷)، کوپر^(۸) و شریف^(۹) در سال 1957 ارائه شد. در این تئوری فرض می‌شود که در حالت ابررسانایی جفت الکترون‌ها که مسئول حمل ابرجریان می‌باشند، تشکیل می‌شوند که این عمل منجر به ایجاد یک شکاف انرژی بین حالت هنجار و ابررسانا می‌شود. نتایج تئوریهای ماکروسکوپی گینزبرگ - لاندائو و لندن به نحوی بر نتایج نظریه BCS منطبق می‌شود. در سال 1962 جوزفسون یک مدل تونل زنی کوانتومی را ارائه کرد که در آن ابرجریان از

1- Meissner
3- London
5- Londau
7- J. Bardeen
9- J. R. Shrieff

2- Ochsenfeld
4- Ginzburg
6- H. Frohlich
8- Cooper

میان یک لایه نازک ($10^{\circ}A$) تونل می‌زند. این مدل بعد از یکسال به طور تجربی تأیید شد و امروزه تکنولوژی الکترونیک ابررسانایی بر پایه آن قرار دارد. کشف مواد ابررسانا با دمای بالاتر همچنان ادامه یافت اما هیچگاه به مرز $30K$ نرسید. در ۱۷ آوریل ۱۹۸۶ با مقاله‌ای تحت عنوان «امکان ابررسانایی دمای بالا در سیستم $Ba-La-Cu-O$ » نوشته مولر^(۱) و بدنورز^(۲) زمینه ابررسانایی دمای بالا آغاز شد. منحنی مقاومت نمونه افت سریعی را نشان می‌داد ولی آنها پاسخ دیامغناطیسی لازم را پیدا نکردند. تنها بعد از کار یک گروه در ژاپن (یوچیدا^(۳) و همکارانش) و گروهی دیگر در آمریکا (چو^(۴) و همکارانش) که کار مولر و بدنورز را تکرار و نتایج لازم را بدست آوردند، صحت نتایج مولر و بدنورز به اثبات رسید.

در اوایل سال ۱۹۸۷ دانشمندان ترکیبات لانتانیم با دمای گذار نزدیک به $40K$ در فشار اتمسفری و $52K$ در فشارهای بالا را کشف کردند. بعد از آن سیستم ایتریوم - باریوم - مس با دمای گذار $90K$ توسط چو و همکارانش کشف شد. رفته رفته دمای گذار ابررسانایی افزایش یافت به گونه‌ای که دمای گذار $110K$ برای سیستم $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$ ، $120K$ الی $125K$ برای سیستم $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$ ، $131K$ برای $HgBa_2Ca_nCu_{n+1}O_{2n+1}$ تحت فشارهای بالا، دمای بالاتر از $130K$ برای ترکیب $HgBa_2Ca_nCu_{n+1}O_{2n+1}$ ($n=1$ و 2) و دمای گذار $150K$ برای $HgBa_2Ca_2Cu_3O_x$ تحت فشارهای بسیار بالا، به ترتیب گزارش شدند. به مدت ۵۶ سال نئوبیم و آلیاژهای آن از قبیل $NbTi$ و Nb_3Sn علاوه بر داشتن دمای گذار بالا دارای بالاترین میدانهای بحرانی B_{c2} نیز بودند، به گونه‌ای که دوره‌ای که میان ۱۹۳۰ تا ۱۹۸۶ را عصر ابررسانایی نئوبیم نامیدند. جالب توجه این است که ابررسانایی با جیوه آغاز شد و هم اکنون نیز بعد از گذشت ۸۷ سال از آن تاریخ ترکیبات جیوه، تا به حال، بهترین دمای گذار را دارا می‌باشند.

۲-۱- برخی از خواص ابررساناها

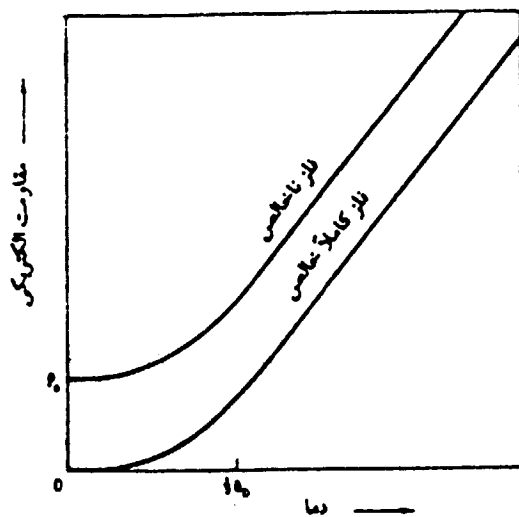
۱-۲-۱- مقاومت صفر

بر طبق قاعده ماتیسسن^(۱) مقاومت ویژه کل معمولاً به صورت

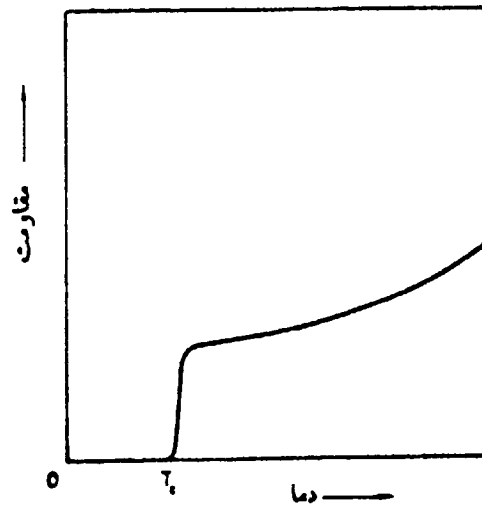
$$\rho(T) = \rho_I + \rho_{Def} \quad (1-1)$$

نوشته می‌شود. ρ_{Def} مقاومت ویژه غیر ذاتی است که به وسیله نقص‌های شبکه‌ای مانند ناخالصیها، مرزدانه‌ها^(۲) و حوزه‌های دوقلو^(۳) پدید می‌آید و به طور کلی به کیفیت نمونه وابسته است. ρ_I نیز مربوط به مقاومت ویژه ذاتی است که ناشی از پراکندگی الکترونیهای هدایت به واسطه حضور سایر الکترونها و یا ارتعاشات شبکه (فونونها) می‌باشد.

شکلهای (۱-۱) و (۲-۱) در حالت کلی تغییرات مقاومت ویژه مواد ابررسانا و رسانا را بر حسب دما (در دو حالت ایده‌آل و غیر ایده‌آل) نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) تغییرات مقاومت با دما در فلزات



شکل (۱-۱) صفر شدن ناگهانی مقاومت در ابررساناها