

اثر هال و تغییر علامت ضریب هال در حالت بهنجار و آمیخته سیستم $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$

طاهری، مهدی؛ اخوان، محمد

آزمایشگاه تحقیقاتی مغناطیس (MRL)، دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف، خیابان آزادی، تهران

چکیده

اندازه گیری اثر هال در حالت بهنجار و ابررسانایی نمونه $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$ ($0 < x < 0.2$) انجام شده است. در حالت بهنجار رفتار $1/T$ برای R_H این نمونه مشاهده شده است که چنین رفتاری در اکثر خانواده ابررسانا مشاهده می شود. در فاز ابررسانایی مسأله تغییر علامت مورد بررسی قرار گرفته است و مشخص شد که نمونه با آرایش 0.1 در توافق خوبی با تئوری ارائه شده توسط *Kopnin* و *Dorsey* است. که مطابق آن رسانش هال، σ_{xy} ، را در حالت گردشاری حاصل جمع دو قسمت، رسانندگی حالت بهنجار، که از ناحیه بهنجار در مغزه گردشاره سرچشمه می گیرد و متناسب با H است، و رسانش حالت گردشاری σ_{xy}^V که از حالت گردشاره ها ناشی می گردد و متناسب با $\frac{1}{H}$ است، می دانند.

Hall Effect and Sign Reversal In Normal and Mixed State Of $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$ System

Taheri, Mehdi ; Akhavan, Mohammad

Magnet Research Lab. (MRL), Physics Department, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract

Hall effect measurements have been performed for $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$, ($0 < x < 0.2$) system in normal and mixed states. In the normal state $1/T$ behavior have been seen for R_H in this system as in other HTSC systems. In the superconducting state the sign reversal have been studied and it became clear that the system with 0.1 doping agrees with *Kopnin-Dorsey* theory, which according to it Hall conductivity, σ_{xy} , in vortex state is sum of two parts; σ_{xy}^n normal hall conductivity, which comes from normal state in the center of vortex and is proportional to H , and vortex state conductivity σ_{xy}^V , which comes from state of vortices and is proportional to H^{-1} .

PACS Number(s): 74.72.Bk, 74.25.Fy, 74.90.+n

1/T رفتار می کند. R_H برای ترکیبات hole-doped مثبت، و برای ترکیبات electron-doped منفی است. مقاومت الکتریکی ρ نیز در HTSC رفتار جهانی به فرم $\rho \propto T$ از خود نشان می دهد که با رفتار مایع فرمی، $\rho \propto T^2$ کاملاً متفاوت است. اندرسون پیشنهاد کرد که خواص تراپردی ابررساناهای اکسید مسی به وسیله دو زمان واهلش قابل تمیز از یکدیگر قابل توصیف است، که عبارتند از زمان واهلش سیکلوترونی $\tau_H \propto T^{-1}$ و زمان واهلش تراپردی $\tau_{tr} \propto T^{-2}$ که τ_{tr} در رسانندگی طولی دخالت مستقیم دارد. در حالیکه حاصلضرب دو زمان واهلش سیکلوترونی و تراپردی در رسانندگی هال دخالت دارند.

مقدمه

آزمایش اثر هال در حالت بهنجار ابررساناهای دمای بالا، یک رفتار ناهنجار دمایی را نشان می دهد [۱]. این رفتار جزو بحث انگیزترین مسائل حالت بهنجار ابررساناهای دمای بالاست که محققین زیادی روی آن تمرکز داشته اند. زیرا که محققین هنوز روی تعیین سازوکار معینی که مسئول رسانش در حالت بهنجار و یا عبارتی مبین رفتار فلزگونه ابررساناها در حالت بهنجار باشد، به توافق نرسیده اند.

ضریب هال R_H در حالت بهنجار رفتاری به صورت غیر مایع فرمی (non-Fermi-Liquid) از خود نشان می دهد. و به صورت

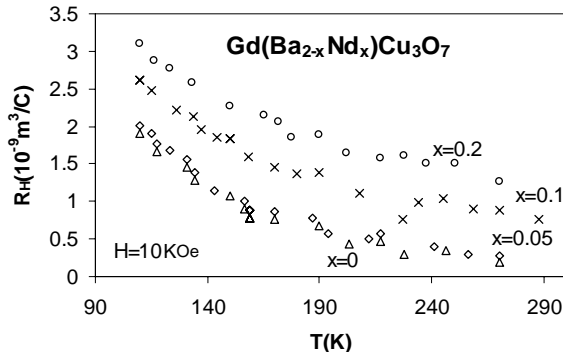
ناهنجاری اثر هال در حالت آمیخته ابررساناهای نوع دوم، مورد مهمی در شناخت سازوکار دینامیک شار محسوب می شود. ناهنجاری تغییر علامت ضریب هال در چندین مواد ابررسانا همچون تک کریستالهای $YBa_2Cu_3O_7$ ، $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ و فیلم نازک $YBa_2Cu_3O_7$ مشاهده شده است. همچنین وابستگی به میدان مغناطیسی تغییر علامت ضریب در نمونه $Gd_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_7$ مشاهده شده است [۲].

علامت اثر هال به شکل سطح فرمی در حالت بهنجار بستگی دارد. در حالیکه حرکت گردشاره ها در حالت آمیخته تعیین کننده تغییر علامت ضریب هال هستند. تئوری کلاسیکی دینامیک شار علامت یکسانی را در حالت بهنجار و آمیخته پیش بینی می کند. که قابل کاربرد برای توجیح تغییر علامت هال نمی باشد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهند که ناهنجاری تغییر علامت هال از خواص ذاتی ابررساناهاست و از دینامیک حرکت شار ناشی می شود. در این کار وابستگی دمایی ضریب هال در حالت بهنجار و وابستگی به دما و میدان مغناطیسی تغییر علامت هال در حالت گردشاری نمونه $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$ را مورد بررسی قرار داده ایم.

بحث و نتیجه گیری

در حالت بهنجار اکثر ابررساناهای دمای بالا، حاملین بار حفره ها هستند و ضریب هال مثبت است. تنها ابررساناهای با پایه Nd دارای حاملین بار الکترون میباشند. و ضریب هال در این سیستم ها منفی است.

ولتاژ هال نمونه $GdBa_{2-x}Nd_xCu_3O_7$ در حالت بهنجار در میدان $H = 10kOe$ ، بر حسب دما اندازه گیری شده است و رفتار I/T برای ضریب هال که در اکثر خانواده های ابررسانای دمای بالا مشاهده می شود، در این نمونه نیز دیده می شود. به علت افت و خیز زیاد ولتاژ در حالت بهنجار، این اندازه گیری را فقط در میدان $10kOe$ انجام داده ایم. شکل (۱) نمودار ضریب هال بر حسب دما را برای نمونه $GdBa_{2-x}Nd_xCu_3O_7$ ($x=0,0.05,0.1,0.2$) را نشان می دهد.



شکل ۱: ضریب هال نمونه ها بر حسب دما در جریان $I = 30 \text{ mA}$

با افزایش آلیش، اکسیژن نمونه که با روش یدومتری اندازه گیری شده است، افزایش یافته است اما از طرفی دیگر افزایش Nd^{3+} در سیستم باعث از بین رفتن حفره ها در صفحات CuO_2 و تخریب ابررسانایی می شود.

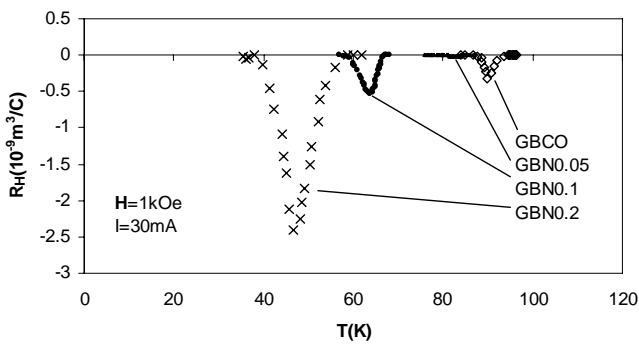
چگالی حاملین بدست آمده برای نمونه های با آلیش بالاتر، کمتر می باشد. همچنین در این نمونه ها یک رفتار خطی بر حسب دما برای چگالی حاملین وجود دارد.

با جایگزینی Nd^{P+} به جای Ba^{A+} ، در واقع به صفحات مس الکترون تزریق شده و حفره ها از بین می روند و با افزایش x

مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهند که ناهنجاری تغییر علامت هال از خواص ذاتی ابررساناهاست و از دینامیک حرکت شار ناشی می شود. در این کار وابستگی دمایی ضریب هال در حالت بهنجار و وابستگی به دما و میدان مغناطیسی تغییر علامت هال در حالت گردشاری نمونه $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$ را مورد بررسی قرار داده ایم.

روش آزمایش

سرامیک ابررسانای $Gd(Ba_{2-x}Nd_x)Cu_3O_7$ ($0 < x < 0.2$) به روش واکنش حالت جامد ساخته شده است [3]. ساختار کریستالی نمونه توسط آزمایشهای SEM و XRD مورد بررسی قرار گرفته است. ابعاد نوعی نمونه در حدود $1 \times 5 \times 10 \text{ mm}^3$ بوده و شارش جریان در نمونه به موازات ضلع بزرگتر آن صورت گرفته است. اندازه گیری ولتاژهای طولی و عرضی به روش اتصال چهار میله ای انجام شده است، و از یک تقوت کننده قفلی PAR-124، و ولتمتر HP 3490A استفاده شده است. و جریان AC با فرکانس 33Hz و بزرگی 30mA به نمونه اعمال شده است. میدان مغناطیسی اعمالی در بازه 0-1T بوده است. دما توسط کنترل کننده دمایی Lake Shore 330 اندازه گیری شده است. ولتاژ آفست ناشی از روبروی هم نبودن اتصالات عرضی با میانگین گیری $V(H)$ و $V(-H)$ حذف شده است. اندازه گیری DC مغناطش بر روی نمونه توسط دستگاه اندازه گیری vibrating sample



شکل ۳: وابستگی دمایی ضریب هال نمونه هادرمیدان ثابت H=1kOe

تغییر علامت ضریب هال در این نمونه ها در دمای $0.9T_c$ (T_c دمایی است که مقاومت نمونه به ۵۰٪ حالت بهنجار می رسد) رخ داده است.

تغییر علامت ضریب هال هنگامی رخ می دهد که σ_{xy}^V دارای علامتی مخالف با σ_{xy}^n باشد. Kopnin و همکارانش رابطه ای برای σ_{xy} در میدانهای ضعیف یعنی $H_{c1} \leq H \leq H_{c2}$ به صورت زیر ارائه کردند:

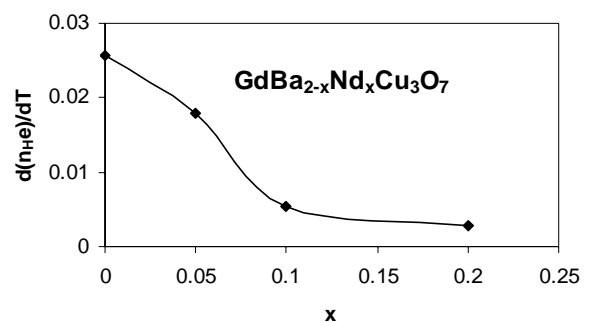
$$\sigma_{xy}(H) = \sigma_{xy}^n(H) - \frac{P\gamma_2 m}{4\pi\hbar^2 \kappa^2} \frac{H_{c2}}{H}$$

که P یک ضریب ثابت از مرتبه واحد و κ پارامتر لانداو-گینزبورگ، و H_{c2} حد بالای میدان بحرانی، m جرم موثر جفت کوپر و γ_2 بخش موهومی زمان واهلش مختلط است. با افزایش میدان مغناطیسی، اگر $\gamma_2 > 0$ باشد، σ_{xy} به $-\infty$ واگرا می شود و اگر $\gamma_2 < 0$ باشد σ_{xy} به $+\infty$ واگرا می شود. بعبارت دیگر تمامی مساله در زمان واهلش نهفته است که از ماهیت بر همکنش ها نشات می گیرد.

حال به این موضوع می پردازیم که چگونه R_{Hmin} با میدان تغییر می کند. به همین منظور نمودار آنرا بر حسب H^{-1} رسم کرده و نتیجه را با تئوری Kopnin و Dorsey [4,5] مقایسه کردیم. نتیجه این برازش نشان می دهد که نمونه با آرایش 0.1 از Nd در بیشترین توافق با این مدل هست. شکل (۴) نمودار پیک ضریب هال بر حسب معکوس میدان نمونه $GdBa_{1.9}Nd_{0.1}Cu_3O$ را نشان می دهد.

چگالی حاملین نیز کم می شود. با اندازه گیری های الکتریکی مشخص شده است که شکست جفت ابریکوسوف گورکوف (AG) عامل اصلی ازین رفتن ابررسانایی می شود.

شیب چگالی حاملین بر حسب T به ازای آرایش های متفاوت که در شکل (۲) آمده است نشان می دهد که با افزایش x ، شیب n_H نسبت به دما کاهش می یابد. یک چنین رفتاری در جایگزینی مس با یون هایی نظیر Ni، Co، Zn نیز مشاهده شده است.



شکل ۲: شیب چگالی حاملین بر حسب دما برای آرایش های مختلف

از آنجا که میدان مغناطیسی اعمالی به نمونه در محدوده $H_{c1} \ll H \ll H_{c2}$ باید اعمال گردد، لذا اولین گام تعیین H_{c1} نمونه هاست. برای نمونه بدون آرایش $GdBa_2Cu_3O_7$ مقدار H_{c1} از حلقه مغناطش آن، برابر با ۲۰۰ Oe بدست آمد. لذا محدوده اعمال میدان مغناطیسی برای بررسی مسأله تغییر علامت ضریب هال را بالاتر از این مقدار انتخاب کردیم.

در میدان ثابت نمودار ضریب هال بر حسب دما در شکل (۳) برای نمونه های متفاوت رسم شده است. همانطوریکه در نمودار (۳) دیده می شود، با افزایش میزان Nd در نمونه که به جای Ba در نمونه قرار می گیرد، در آرایش های کم ($x=0.05$) میزان R_{Hmin} کاهش می یابد و بعد از آن با افزایش آرایش Nd R_{Hmin} به ازای $x=0.1$ و بالاتر، افزایش می یابد. این تغییر روند در یک آرایش بین $x=0$ ، $x=0.05$ رخ میدهد.

