

## تغییرات طول جایگزیدگی با آلایش وانادیوم در ساختار Gd<sub>123</sub>

حسین جوانمرد و محمد اخوان

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

### چکیده

رفتار حالت هنجار نمونه‌های Gd<sub>123</sub> آلییده با وانادیوم بررسی شده است. یک گذار فلز به عایق در این نمونه‌ها در  $x = 0/15$  دیده می‌شود، که با برآش دادن حالت هنجار این نمونه‌ها با مدل رسانش پرشی با برد متغیر دیده می‌شود، سازوکار رسانش حالت هنجار این نمونه‌ها با مدل VRH-2D و CG سازگاری بیشتری دارد و با محاسبه طول جایگزیدگی یک افت شدید در آلایش  $x = 0/15$  دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ابررسانای Gd<sub>123</sub>، آلایش وانادیوم، حالت بهنجار، طول جایگزینی، سازوکار رسانش

### ۱. مقدمه

شده است. در این مدل مطرح شده است که الکترونیایی که در نزدیکی سطح فرمی هستند می‌توانند به طور گرمایی فعال شده و با پرش از یک حالت به حالت دیگر باعث رسانش شوند، البته در این حالت باید سطح فرمی در محدوده انرژی حالات موضعی باشد. به دلیل اینکه فاصله پرش با دما کاهش می‌یابد، به این رسانش، هدایت پرشی با برد متغیر<sup>۱</sup> می‌گویند. این مطلب اولین بار در ۱۹۸۶ توسط مات<sup>۲</sup> مطرح شد. وی نشان داد که رسانندگی در سه بعد متناسب با  $\exp(-\frac{1}{T^4})$  و در دو بعد به صورت  $\exp(-\frac{1}{T^3})$  است [۴].

به منظور بررسی اثر آلایش در خواص ابررسانایی ساختار Gd<sub>123</sub>، عنصر وانادیوم را انتخاب کردیم که به دلیل ساختار اریتمالی و شعاع یونی مشابه با مس امکان جایگزیدگی در این

در بررسی ابررساناهای دمای بالا دیده شده، که حالت بهنجار این مواد خواص غیرعادی از خود نشان می‌دهد. وجود رابطه‌ای بین حالت هنجار و خواص ابررسانایی مواد، زمینه جالبی است که به فهم سازوکار ابررسانش می‌تواند کمک کند. با توجه به اینکه آلایش در ترکیبات ابررسانای دمای بالا می‌تواند باعث گذار فلز - عایق شود، بنابراین مطالعه تغییر خواص ترابردی در حالت بهنجار با تغییر آلایش و یا میزان آلایش می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد سازوکار رسانش در این مواد به ما بدهد.

حالت هنجار ابررساناهای دمای بالا نه دقیقاً مانند یک فلز ساده (رفتار کاملاً خطی) و نه به صورت گاز فرمی (رفتار  $T^2$ ) رفتار می‌کند. مدل‌های مختلفی برای توضیح خواص ترابردی در حالت هنجار این مواد ارائه شده است. از میان نظریه‌های مطرح شده رسانش پرشی از یک حالت جایگزیده به حالت دیگر برای حالت هنجار ابررساناهای دمای بالا و پروسکیت‌ها [۱-۳] استفاده

۱. Variable range hopping

۲. Mott

و استفاده از یک تقویت کننده قفلی اندازه‌گیری شد و با استفاده از یخچال مدار بسته هلیوم، اندازه‌گیری مقاومت از دمای اتاق تا ۲۰K انجام شد و تغییرات رفتار مقاومت بر حسب دمای نمونه‌ها به دست آمد.

### ۳. نتایج و بحث

اندازه‌گیری طیف XRD نمونه‌های ساخته شده، نشان می‌دهد که نمونه‌ها در بازه آلایشهای اعمال شده در فاز اورتورومبیک قرار دارند، اما با افزایش آلایش به ساختار تتراگونال نزدیک می‌شوند که برای  $x=0/3$  این اثر بسیار مشهودتر است [۵].

نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که از بررسی نمودارها برمی‌آید، آلایش سبب شده دمای گذار و پهنای گذار تغییر قابل ملاحظه‌ای کند. که بررسی علل این پدیده در مقاله دیگری مطرح شده [۵] و ما در اینجا تنها روی حالت هنجار آن تمرکز می‌کنیم. در اثر آلایش حالت هنجار نمونه‌ها از حالت تقریباً فلزی خارج شده و در  $x=0/15$  نمونه رفتار عایقی از خود نشان می‌دهد، ضمن آنکه یک پرش ناگهانی در نمودار رفتار مقاومتی نمونه دیده می‌شود.

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد و در بررسی سایر گزارشات ارائه شده روی ساختار ابررساناها در حالت بهنجار، مشاهده می‌شود، مدل رسانش پرسی بین حالت‌های جایگزیده در بررسی این رفتار در ابررساناهای دمای بالا و همچنین مواد آلاییده مورد استفاده قرار گرفته است. ما حالت بهنجار نمونه‌ها را با استفاده از مدل رسانش پرسی با برد متغیر برازش در دو سه بعد و مدل گاف کولمبی برازش (در این حالت برهم‌کنش الکترونها از طریق پتانسیل کولنی غیر پوششی<sup>۱</sup> انجام می‌گیرد.) داده‌ایم.

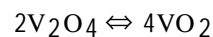
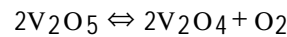
در مدل هدایت پرسی وابستگی دمایی مقاومت بصورت  $r(T) = r_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{2P} \exp\left(\frac{T_0}{T}\right)^P$  است [۹]. زمانی که انرژی چگالی حالت‌های الکترونی DOS مستقل از انرژی است، مدل

مکان امکان‌پذیر است. در عین حال که این عنصر با دارا بودن ظرفیتهای متنوع (۵+ و ۴+ و ۳+ و ۲+) و ممان مغناطیسی کوچک امکان بررسی مشاهدات جدیدتری را نسبت به سایر آلایشهای معمول امکان‌پذیر می‌سازد. بررسی خواص الکتریکی و مغناطیسی این آلایش در مقالات دیگر [۵-۶] ذکر گردیده و در اینجا تنها به بررسی خواص حالت بهنجار این نمونه با آلایش وانادیوم و اثرات آن اشاره می‌کنیم.

### ۲. روش آزمایش

نمونه‌های  $GdBa_2Cu_{3-x}V_xO_{7-d}$  با از آلایشهای  $x=0,0/05,0/1,0/15,0/2,0/3$  به روش استاندارد حالت جامد ساخته شدند. در ابتدا پودرهای  $CuO$ ،  $V_2O_5$ ،  $Gd_2O_3$ ،  $BaCO_3$  با خلوص ۹۹/۹٪ با ترکیب جرمی مناسب با یکدیگر مخلوط شده و به مدت ۱-۲ ساعت ساییده شدند تا مخلوط شده و همگن شوند سپس در دمای  $850^\circ C$  برای مدت ۲۴ ساعت تکلیس شدند و برای رسیدن به همگنی بیشتر، مراحل سایش و تکلیس دوباره تکرار شدند. پودرهای به دست آمده تحت فشار  $10 \text{ ton/cm}^2$  به صورت قرص پرس شدند و در دمای  $930^\circ C$  بمدت ۳۶ ساعت تحت شارش اکسیژن کلوخه‌سازی شدند. سپس با آهنگ  $10^\circ C/\text{min}$  دمای کوره تا دمای اتاق پایین آمده و برای جذب اکسیژن، در دماهای  $650^\circ C$  و  $550^\circ C$  و  $450^\circ C$  هر یک بمدت ۱ ساعت، نمونه‌ها تحت شارش اکسیژن نگه داشته شدند.

نکته‌ای که در اینجا حائز اهمیت است، این است که پودر  $V_2O_5$  دمای ذوب حدود  $658^\circ C$  دارد، در حالیکه  $V_2O_4$  نقطه ذوب حدود  $1640^\circ C$  و  $CuO$  حدود  $1336^\circ C$  دارد. در دماهای بالاتر از  $700^\circ C$  اکسید  $V_2O_5$  به  $O_2$  و  $V_2O_4$  مطابق واکنش زیر تجزیه می‌شود [۷]:



بنابراین با توجه به دمای تکلیس اعمال شده ترکیب تجزیه شده و با ظرفیت +۴ در ماده شرکت می‌کند [۸].

مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از روش چهار میله‌ای

جدول ۱. نتایج حاصل از برازش با مدل رسانش پرشی با برد متغیر ( $R^2$  پارامتر برازش می باشد).

| x    | CG        |               |        |
|------|-----------|---------------|--------|
|      | $T_0$ (K) | $r_0$ (mΩ.cm) | $R^2$  |
| ۰    | ۱۰۴/۴۱    | ۸/۰۷          | ۰/۹۸۸۶ |
| ۰/۰۵ | ۳۹۹/۶۴۰   | ۱/۷۴          | ۰/۹۹۶۷ |
| ۰/۱  | ۳۳۶/۳۱۹   | ۳/۵           | ۰/۹۹۹۵ |
| ۰/۱۵ | ۸۰۷/۵۸۲   | ۱۰/۶۱         | ۰/۹۹۸۶ |
| ۰/۲  | ۸۷۲/۸۹۶   | ۷/۲۹          | ۰/۹۹۵۵ |
| ۰/۳  | ۹۴۰/۵۶۵   | ۱۰/۶          | ۰/۹۹۳۱ |
| x    | 2D-VRH    |               |        |
|      | $T_0$ (K) | $r_0$ (mΩ.cm) | $R^2$  |
| ۰    | ۱۷۴/۲۵۶   | ۰/۸           | ۰/۹۸۸۲ |
| ۰/۰۵ | ۴۸۰/۴۷۲   | ۱/۷           | ۰/۹۹۴۵ |
| ۰/۱  | ۳۵۳/۰۱۸۵  | ۳/۳۱          | ۰/۹۹۵۸ |
| ۰/۱۵ | ۳۳۰/۰۶۲۸  | ۹/۷           | ۰/۹۹۱  |
| ۰/۲  | ۴۴۳/۰۳۳۷  | ۹/۷۷          | ۰/۹۹۸  |
| ۰/۳  | ۳۲۱۶/۸۸۵  | ۱۳/۴۶         | ۰/۹۹۶۶ |

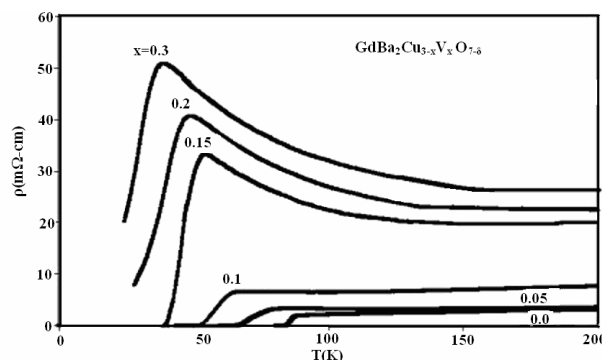
| x    | 3D-VRH    |               |        |
|------|-----------|---------------|--------|
|      | $T_0$ (K) | $r_0$ (mΩ.cm) | $R^2$  |
| ۰    | ۳۱۲/۱۵    | ۰/۴           | ۰/۹۷۸۸ |
| ۰/۰۵ | ۴۳۵/۱۸۷   | ۱/۵۷          | ۰/۹۲۷۴ |
| ۰/۱  | ۲۵۱/۷۰۱   | ۲/۹۵          | ۰/۹۴۷۶ |
| ۰/۱۵ | ۱۶۲۶۴/۳۷  | ۸/۴۵          | ۰/۹۸۱  |
| ۰/۲  | ۲۹۸۹۳/۱   | ۷/۲۹          | ۰/۹۹۸۷ |
| ۰/۳  | ۱۹۷۵۸/۴۵  | ۱۰/۶          | ۰/۹۹۷۸ |

$R$  دامنه یا برد پرش به صورت زیر است:

$$R_{2D} = \left[ \frac{d}{\rho N_{2D}(e_f) k_B T} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

با توجه به  $p$  و  $T_0$  که از برازش منحنی تجربی با معادله VRH بدست می آید می توان  $d$  و  $R$  و  $W$  را محاسبه کرد. طول جایگزیدگی برای حالت دو بعدی نمونه ها محاسبه شده و بر حسب آلیش در شکل ۲ ترسیم شده است:

با افزایش آلیدگی، طول جایگزیدگی کاهش می یابد و در



شکل ۱. مقاومت الکتریکی با دما برای آلیشهای مختلف وانادیوم.

رسانش هدایت پرشی با برد متغیر VRH به ازای  $p=1/3$  در دو بعد و به ازای  $p=1/4$  در سه بعد است. و هنگامیکه  $p=1/2$  باشد رژیم رسانش گاف کولنی است.

همانطور که از نتایج حاصل از برازش در جدول ۱ برمی آید، نتایج مربوط به مدل گاف کولنی و رسانش پرشی در دو بعد تطابق بهتری نسبت به حالت سه بعدی دارند. از آنجا که در بسیاری از گزارشات ابررسانایی، ابررسانش بیشتر به صفحات دو بعدی (لایه های مس) و برهمکنش بین آنها (بدلیل کوچک بودن طول همدموسی نسبت به فاصله بین صفحات در جهت عمود بر این صفحات) نسبت داده شده است [۱۰ و ۱۱]، شاید بتوان گفت که ابررسانایی در دو بعد اتفاق می افتد. در تحلیل تطابق بهتر حالت دو بعدی رسانش پرشی نسبت به سه بعدی در حالت هنجار، شاید بتوان آن را به حالت دو بعدی ابررسانایی در ابررساناهای دمای بالا ارتباط داد. با استفاده از مدل VRH-2D و رابطه (۱) می توانیم طول جایگزیدگی را برای نمونه هایمان محاسبه کنیم [۱۲]:

$$T_{02D} = \frac{27}{4\pi k_B N_{2D}(\epsilon_f) d^2} \quad (1)$$

$d$  طول جایگزیدگی یا پهن شدگی تابع موج است.  $N(e_f)$  تعداد حالات بر واحد حجم در واحد انرژی است که در دو بعد  $10^{14} \frac{\text{state}}{\text{eV} \cdot \text{cm}^3}$  است. انرژی لازم برای پرش به طول  $R$  به صورت زیر داده می شود:

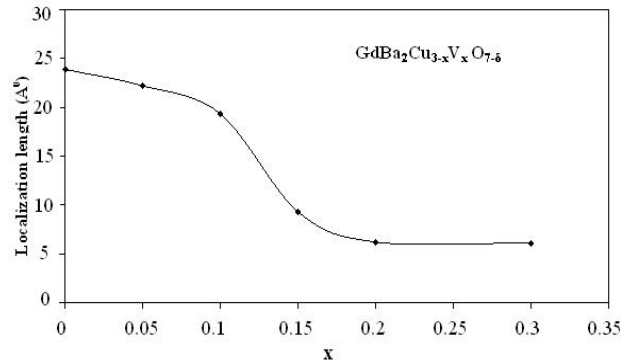
$$W_{2D} = \frac{1}{\pi R^2 N_{2D}(\epsilon_f)} \quad (2)$$

#### ۴. نتیجه گیری

لاییدن عنصر وانادیوم در ساختار  $Gd_{1-x}V_x$  سبب تغییراتی محسوس در خواص الکتریکی و حالت نرمال نمونه‌ها می‌شود. به طوری که یک گذار MIT اطراف  $x=0.15$  رخ می‌دهد که از بررسی داده‌های مربوط به برآزش حالت بهنجار با مدل رسانش با برد متغیر در دو بعد مشاهده می‌کنیم که طول جایگزیدگی نیز در این آرایش کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد آرایش سبب جایگزیدگی تابع موج شده و رسانش را تضعیف می‌کند.

#### سپاسگزاری

از صمد بازرگان برای کمکها و بحثهایشان تشکر می‌شود. این پژوهش توسط قطب علمی سیستمهای پیچیده و ماده چگال (<http://www.cscm.ir>) حمایت شده است.



شکل ۲. طول جایگزیدگی با افزایش آرایش وانادیوم.

آرایش  $x=0.15$  این افت قابل ملاحظه است. این افت شدید به همراه گذار فلز به عایق در این آرایش اطراف  $x=0.15$  نشان می‌دهد که افزایش آرایش سبب جایگزیدگی هر چه بیشتر تابع موج حاملها می‌گردد و در نتیجه احتمال همپوشانی بین آنها و رسانش از طریق سازوکار پرش با برد متغیر کاهش می‌یابد و در نتیجه شاهد چنین افتی در رسانش و گذار به حالت عایق در اثر آرایش می‌باشیم.

#### مراجع

1. C Quitmann, D Andrich, C Jarchow, M Fleuster, B Beschoten, G Guntherodt, V V Moshchalkov, G Mante, R Manzke, *Phys. Rev. B* **46** (1992) 11813.
2. A L Efros and B I Shklovskii, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **8** (1975) L49.
3. W H Tang, J Gao, *Physica C* **315** (1999) 66.
4. N F Mott and E A Davis, “*Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*”, 2nd ed., Clarendon, Oxford (1979).
5. H Jamanmard, S Bazargan and M Akhavan, *Phys. Stat. Sol. (b)* **245** (2008) 1449.
6. H. Javanmard, S. Bazargan, M. Akhavan, *5<sup>th</sup> Int'l Conf. on Magnetic and Superconducting Materials (MSM07)*, 25-30 Sept. (2007), Khiva, Uzbekistan.
7. R J H Clark, “*The chemistry of Titanium and Vanadium*” Amsterdam: Elsevier (1968).
8. A A Salem, L M Sharaf El-deen and M M Elkholy *J. Mater. Sci. Lett.* **18** (1999) 71.
9. B I Shklovskii and A L Efros, “*Electronic Properties of Doped Semiconductors*”, Springer, Berlin (1984).
10. P Phillips, Y Wan, I Martin, S Knysh and D Dalidovich, *Nature* **395** (1998) 253.
11. P W Anderson and Z Zou, *Phys. Rev. Lett.* **60** (1988) 132.
12. P B Littlewood and C M Varma, *Phys. Rev. B* **45** (1992) 12636.
13. P Mandal, A Poddar, B Ghosh and P Choudhury; *Phys. Rev. B* **43** (1991) 13102; references therein; N F Mott, “*Conduction in Non-Crystalline Materials*” Clarendon Press: Oxford (1993).