

این مجله بلورشناسی و فلزی شناسی ایران

مجله  
بلورشناسی  
و فلزی شناسی  
ایران

سال سیزدهم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۸۴، از صفحه ۳۲۳ تا ۳۲۸

## تغییر حجم یاخته بسیط بدون تغییر فاز بلوری و پیدایش اثر کوندو در نقطه بحرانی ترکیبات بین فلزی بر پایه عنصر مغناطیسی Gd

مهدی واعظ زاده<sup>۱</sup>، احمد یزدانی<sup>۲</sup>، مجید واعظ زاده<sup>۱</sup>، علی کنزه قی<sup>۳</sup>

۱- تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشگاه تربیت مدرس تهران

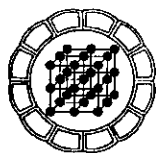
۳- دانشگاه آزاد تهران، واحد شمال

پست الکترونیکی: vaezmehdi@yahoo.fr

(دریافت مقاله ۱۳۸۳/۹/۷ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۴/۶/۳۱)

چکیده: در این مقاله نتایج اندازه گیری پراش پرتو X و تغییرات مقاومت الکتریکی برحسب دمای ترکیبات بین فلزی  $Gd_xAu_xAl_{1-x}$  گزارش شده است، تمامی نمونه ها دارای ساختار بلوری راستگوشه با گروه فضایی Pnma هستند. در اندازه گیری پارامترهای شبکه با استفاده از پراش پرتو X، انحراف از قاعده ویگارد دیده می شود. این انحراف در  $x = 0.4$  به بیشینه خود می رسد. همچنین، یک تغییر حجمی ناگهانی به میزان ۶٪ در مقدار بحرانی  $x = 0.4$  رخ می دهد. برای همه نمونه ها، با افزایش پارامتر x، شاهد افزایش دمای کوری  $T_c$  هستیم. پذیرفتاری مغناطیسی  $\chi(T)$  نیز برحسب پارامتر x کاهش می یابد. نتایج اندازه گیری مقاومت الکتریکی در نمونه با ترکیب بحرانی ( $x = 0.4$ ) رفتاری شبیه به کوندو را نشان می دهد که در دیگر نمونه ها مشاهده نشد. این رفتار غیر منتظره برای ترکیباتی بر پایه عنصر Gd را می توان به زیر تراز 4f نسبت داد که الکترونها را آزاد را حول یون Gd جمع می کند.

واژه های کلیدی: اثر کوندو، گشتاور مغناطیسی موضعی، برهم کنش تبادل، الکترونها، رسانش، ترکیبات بین فلزی، قانون ویگارد.



IRANIAN SOCIETY of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

Vol. 13, No. 2, 1384/2005 Fall & Winter



## Kondo effect with volume change in critical point for isostructural $Gd_2Au_xAl_{1-x}$ intermettalic compound

Mehdi Vaezzadeh<sup>1</sup>, A. Yazdani<sup>2</sup>, Majid Vaezzadeh<sup>1</sup>, A. Kanzeghi<sup>3</sup>

1- K.N. Toosi university of technology, Tehran Iran,

2- Tarbiat Modarres university, Tehran, Iran

3- Tehran North Azad university, Tehran, Iran

Email: vaezmehi@yahoo.com

(Received: 28/11/2004, received in revised form: 22/9/2005)

**Abstract:** In this paper, results from X-ray diffraction and the variation of electric resistance versus temperature of  $Gd_2Au_xAl_{1-x}$  intermetallic compound are reported. All samples formed in orthorhombic crystalline structure with Pnma space group. In measuring the lattice parameters by X-ray diffraction method, deviation from Vegard's rule has been seen. This deviation at  $x = 0.4$  maximizes. In addition, an abrupt volume change equal to 6% occurs at the critical point  $x = 0.4$ . For all samples, by increasing the x-parameter, we have seen increasing in the Curie temperature  $T_c$ . Magnetic susceptibility  $\chi(T)$  is increased versus x-parameter, too. The results of electric resistance measuring in sample with critical value ( $x = 0.4$ ) shows a behavior like Kondo effect which is not observed in other samples. For compounds based on Gd, this undesirable behavior could be related to 4f sublevel which it concentrates free electrons around Gd ion.

**Keyword:** Kondo effect, Local magnetic moment, Exchange interaction, Conduction electrons, Intermetallic compounds, Vigard's rule.

### مقدمه

اثر کوندو در سال ۱۹۷۱ توسط هاسیگاوا و تیسوی در ترکیبات آمورف PdSi که ناخالصیهای Cr, Mn, Fe و Co در آن جایگزین شده بودند مشاهده شد. این اثر که عبارت است از وجود کمینه مقاومت الکتریکی در دمایی مشخص، نخستین بار برای ترکیباتی با ناخالصی ۳d دیده شد. در واقع توجیه فیزیکی ارائه شده برای این اثر، مشاهده آن را در ترکیباتی با ناخالصی مغناطیسی ۴f غیر منتظره می‌نمود. اخیراً مارلیک و همکارانش [۱] در تغییرات منحنی مقاومت الکتریکی برحسب دمای ترکیبات  $Gd_2PdSi_3$ ، کمینه مشخصی را مشاهده کرده‌اند. در توجیه پدیده مشاهده شده، آنان مکانیسمی همچون اثر پیش‌درآمد مغناطیسی (Precursor effect) را که در آن الکترونهاى آزاد به دور یون متمرکز می‌شوند را پیشنهاد می‌کنند. پدیده قطبش‌پذیری مغناطیسی الکترونهاى رسانش در اثر گشتاور مغناطیسی موضعی ۴f، موضوع پژوهشهای گسترده‌ای بوده است [۲ تا ۴]. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که وقوع نظم مغناطیسی در این ترکیبات به واسطه الکترونهاى است که تحت تأثیر زیرتراز ۴f با برهم‌کنش تبادل حول یون Gd قطبیده می‌شوند [۵]. در واقع جفت‌شدگی الکترونهاى رسانش با گشتاور موضعی ۴f، به ویژه در مورد Gd، می‌تواند توجیهی برای رفتار غیرعادی، همچون وجود همزمان دو فاز مغناطیسی در ترکیبات بین‌فلزی هم ساختار باشد [۶]. در این مقاله نتایج برداشت شده از نمونه‌های  $Gd_xAu_{1-x}Al_{1-x}$  گزارش شده‌اند. البته خواص مغناطیسی این سیستم موضوع کار پژوهشی گسترده‌ای بوده است [۶ الی ۱۲]. در اینجا آنچه بیش از همه بر آن تأکید داریم، ظهور اثر کوندو است که تنها برای نمونه  $x = 0.4$  آشکار می‌شود [۱۳]. این نمونه در نقطه‌ای قرار دارد، که بدون تغییر فاز بلوری، ناگهان تغییر حجم می‌دهد.

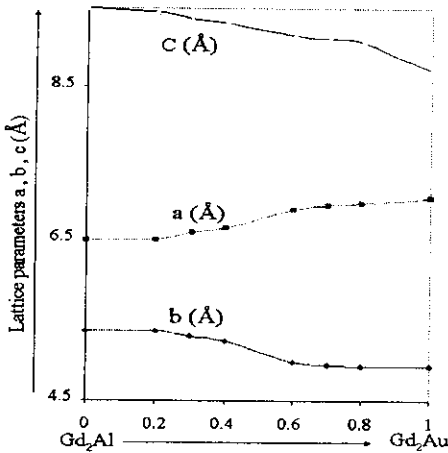
### روش تهیه نمونه‌ها و اندازه‌گیریها

نمونه‌ها به روش ذوب در کوره قوس‌گداز استاندارد که در فضای آن گاز آرگون وجود دارد، تهیه شده‌اند. اندازه‌گیری پارامترهای شبکه به روش XRD صورت پذیرفته است. در حالی که پارامترهای شبکه‌ای شدیداً تحت تأثیر فرایند پخت بوده‌اند، دمای پخت در این تحقیق ۹۳۷ K به مدت ۹۶ ساعت بوده است. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها با یک دستگاه مغناطش سنج ارتعاشی (V.S.M) انجام گرفت. این سیستم قادر به اندازه‌گیری مغناطش در بازه دمایی ۱۰ تا ۳۰۰ کلوین و میدان‌های مغناطیسی تا ۲۰ kOe است. اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی با استفاده از یخچال بسته و پس از ایجاد اتصالات الکتریکی توسط رزین نقره‌ای انجام شده است.

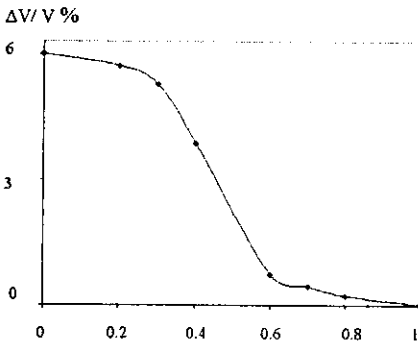
### بحث و برداشت

تغییرات ثابتهای شبکه برحسب x در شکل ۱ ارائه شده است. پرتو X این ترکیبات که قبل و بعد از فرایند پخت صورت گرفته است، ساختار بلوری راستگوشه با گروه فضایی Pnma را نشان می‌دهد، که البته تمام نمونه‌ها دارای ساختار بلوری یکسان هستند. بنابر قاعده ویگارد، با

جانشانی Al انتظار می‌رود که پارامترهای شبکه به طور خطی تغییر کنند. اما نتایج نشان دهنده انحراف از این قاعده هستند. در واقع جانشانی عنصر Al بجای Au صرفاً به خاطر افزایش تراکم الکترونهاى آزاد است. جالب اینکه حجم یاخته یکه با نشان دادن عنصر آلومینیوم، افزایش می‌یابد، و این در حالی است که شعاع یونی طلا از شعاع یونی آلومینیوم بزرگتر است. با توجه به این نکته کاهش حجم یاخته یکه انتظار می‌رفت، ولی در عمل عکس آنرا مشاهده کردیم. در شکل ۲ تغییرات نسبی حجم یاخته یکه برحسب پارامتر X رسم شده است. چنانکه شکل نشان می‌دهد نمونه‌ها به دو گروه حجمی تقسیم می‌شوند و شاهد تغییر حجمی در نقطه بحرانی  $x = 0.4$  هستیم، که به طور ناگهانی، به مقدار ۶ درصد رخ می‌دهد. این تغییر حجم ناگهانی را می‌توان با توجه به هم ساختار بودن نمونه‌ها، به تغییر شکل سطح فرمی در فضای شبکه وارون نسبت داد. بدین ترتیب که بردار فرمی به طور ناگهانی کاهش می‌یابد (چون افزایش حجم در فضای حقیقی را شاهدیم می‌توان آن را به کاهش بردار فرمی در فضای وارون نسبت داد). در چنین حالتی در دمایی پایین‌تر از دمای کوندو سطح مدارهای شکل گرفته (ابر کوندو) در شبکه وارون به صورت سطوحی مجزا از یکدیگر خواهند بود و در نتیجه برهمکنش ناکشسان بین الکترونهاى موضعی (ابر کوندو) و الکترونهاى رسانش را می‌توان انتظار داشت که موجب پدیدار شدن اثر کوندو در نمونه می‌شود (۱۶).



شکل ۱ تغییر پارامتر شبکه با  $x$  (با افزایش  $x$  تراکم الکترونهاى رسانش کاهش می‌یابد)



شکل ۲ تغییر حجم نسبی یاخته یکه برحسب پارامتر  $x$  در ترکیب  $Gd_2Au_{1-x}Al_x$ .

این نکته که تأثیر الکترونیهای رسانش در رفتار مغناطیسی نه تنها به تعداد الکترونها بلکه بیشتر از همه به شکل تراز رسانش بستگی دارد، توسط روبیو و همکارانش [۱۵] در مطالعه سیستم  $GdCu-GdPt$  به عنوان نتیجه‌ای مهم مورد تأکید قرار گرفته است. از طرفی دیگر در مطالعه تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها، شاهد بودیم که کاهش پارامتر  $x$  موجب کاهش  $\chi$  و افزایش  $T_c$  می‌شود [۱۶]. کاهش پذیرفتاری تأیید کننده روند رو به رشد حضور فاز پادرومغناطیسی و افزایش دمای کوری بیانگر پایدار شدن فاز فرومغناطیسی یعنی وجود همزمان دو فاز فرومغناطیسی و پادرومغناطیسی (یا به عبارتی دیگر حضور فاز سوپرپارامغناطیس در نمونه‌ها) است. شایان ذکر است که در دمای بالاتر از دمای کوندو، اعمال یک میدان مغناطیسی قوی باعث از میان رفتن فاز فرومغناطیسی می‌شود [۱۶]. در دمای کوندو، بار دیگر فاز فرومغناطیس شکل می‌گیرد که این امر را می‌توان به تشکیل ابر کوندو نسبت داد [۱۶].

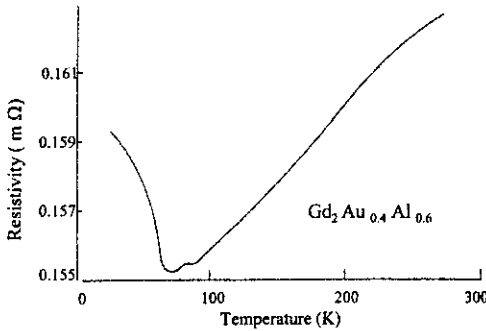
نتایج اندازه‌گیری تجربی مقاومت برحسب دما در شکل ۳ آورده شده‌اند. در این شکل می‌توان به وضوح افزایش ناگهانی مقاومت را در دمای  $T_x$  (دمای کوندو) مشاهده کرد. جالب اینکه ما تنها برای نمونه  $x = 0.4$  (یعنی نقطه بحرانی) شاهد پیدایش پدیده کوندو هستیم و دیگر نمونه‌ها این رفتار را نشان ندادند (مثال شکل ۴). دیگر نکته مهم، رقابت میان برهم‌کنش تبدالی RKKY درون یونی و اثر کوندو است. اثر کوندو در محلی که ثابت برهم‌کنش تبدالی  $J_{ij}$  کمینه است، ظاهر می‌شود [۱۴].  $J_{ij}$  تابعی از فاصله جدایی یونهای مغناطیسی است که در مدل RKKY به صورت مقابل است:

$$J_{ij} \propto \frac{z^2 F(2k_f |R_i - R_j|)}{E_f}$$

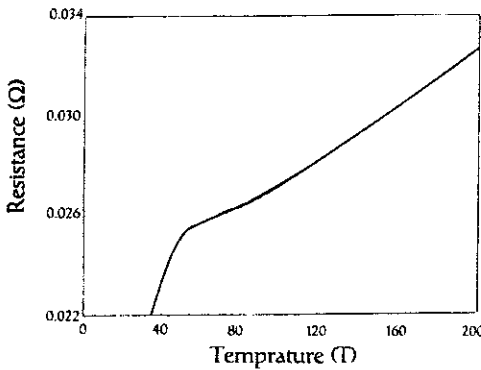
$$F(w) = \frac{1}{w^4} (w \cos w - \sin w) ; w = 2k_f |R_i - R_j| \quad \text{که در آن،}$$

$|R_i - R_j|$  برای جفت یونهای مختلف در مرجع [۱۴] محاسبه شده است. در نمودار تغییرات  $J_{ij}$  بر حسب  $x$ ، کمینه‌ای در  $x = 0.4$  دیده می‌شود که با تغییر حجم یاخته یکه مشاهده شده در این مقاله مطابقت دارد. در مطالعه دیگری که برای محصور ساختن اثر تبدالی RKKY، که در آن نمونه‌ها را به صورت پودر در آوردیم، که اثر کوندو در دو مرحله مجزا خود را نشان می‌دهد، و اگر انرژی حاصل از RKKY بر اثر کوندو غلبه کند، دیگر اثر کوندو را نمی‌توان دید [۱۶].

اکنون باتوجه به مطالب بالا می‌توان گفت که اثر کوندو تنها بخاطر حضور تراز مجازی صورت نمی‌گیرد، بلکه این اثر به شکل سطح فرمی بستگی مستقیم دارد (یعنی در جایی که سطح فرمی در کوچکترین حالت خود است و تراز انرژی قابلیت جذب انرژی را دارد). این ترازها، که از نظر انرژی به حد اشباع نرسیده‌اند، می‌توانند عامل پراکندگی الکترونیهای رسانش باشند و بدین ترتیب می‌توان آنها را عامل پیدایش اثر کوندو دانست.



شکل ۳ وابستگی دمایی مقاومت الکتریکی  
نمونه  $x = 0.4$



شکل ۴ وابستگی دمایی مقاومت الکتریکی  
نمونه  $x = 0.6$

### مراجع

- [1] Mallik R., et al., "Europhys", Lett. 41(3) (1998) pp.315-320
- [2] Baberschke K., Bachor B., "Physica B" 21(1980) 266
- [3] Freeman A. J., "Physica B" (1985) 1
- [4] Sun H., et al., phys J., "Condensed Matter", 2 (1990) 6465.
- [5] Harris I. R., Less J., "Common Metal", 131(1987) 245.
- [6] Still L. R., Bigger R. R., J.Appl.Phys. 49 (1978) 1500
- [7] Yakinthos J. K., et al., "J.M.M.M.", 8 (1978) 308.
- [8] Gamari-Seale H., Bredimas V., "J.M.M.M.", 36(1983) 131.
- [9] Boschow K. H. J., "Less Common Metal", 43(1975) 55.
- [10] Oesterreicher H. H., "Phys. Stat. Sol (a)", 39 (1977) K91.
- [11] Yazdani A., "J.M.M.M.", 90(1990) 563.
- [12] Yazdani A., Ramazani A., "J.Sci.I.R. Iran", 9 (1998) 273.
- [13] Vaezzadeh M., Yazdani A., "20<sup>th</sup> Conference Condensed Matter Division", EPS (2004) 237 Prague.
- [14] Yazdani A., "Rajaie Khorassani", Physica B 281 (2000) 178.
- [15] Rubio Temprano, et al., "J.M.M.M.", 196(1999) 770.
- [16] M. Vaezzadeh, A. Yazdani, Ma. Vaezzadeh, G. Daneshmand, Kanzeghi A., to be published in Physica B.