

## بررسی خواص مغناطیسی ترکیبات $YFe_{10}V_2Z$ ( $Z=H,N$ )

حسن خندان فدافان<sup>۱</sup>، محمدرضا علی‌نژاد<sup>۲</sup>، ناصر تجبر<sup>۲</sup>، دانیل فروشارت<sup>۳</sup>

۱- گرگان، دانشگاه گلستان، دانشکده علوم، گروه فیزیک. پست الکترونیکی: [Khandan@mail.gau.ac.ir](mailto:Khandan@mail.gau.ac.ir)

۲- مشهد، پردیس دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم، گروه فیزیک.

۳- فرانسه، گرونوبل، مرکز ملی تحقیقات علوم CNRS.

**چکیده:** در این تحقیق آلیاژ فرومغناطیس  $YFe_{10}V_2$  ساخته شد و پس از هیدروژن‌دهی و نیتروژن‌دهی، اثر نفوذ H و N بر خواص مغناطیسی آن بررسی گردید. نتایج اندازه‌گیری مغناطش در گستره دمایی ۵ تا ۳۰۰ K نشان دادند که مغناطش تمام نمونه‌ها در میدانی کمتر از ۱۰ T به مقدار اشباعی خود می‌رسد. به علاوه مقدار مغناطش اشباعی ترکیب پس از ورود اتم‌های H و بویژه N، به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با تعیین میدان ناهمسانگردی این ترکیبات در گستره دمایی ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که نفوذ اتم‌های کوچک H و N به ساختار ترکیبات  $RFe_{10}V_2$  باعث کاهش ناهمسانگردی مغناطیسی زیرشبکه آهن در آنها می‌شود. مقایسه طرح پراش پرتو X هر نمونه با طرح پراش آن در حالتی که تحت میدان مغناطیسی جهت داده شده بود، نشان داد که برای تمام نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق راستای آسان مغناطیسی در دمای اتاق، محور c است.

**واژه‌های کلیدی:** فرومغناطیس، ترکیبات هیدروژنه و نیتروژنه، Y-Fe-V.

## Studying magnetic properties of $YFe_{10}V_2Z$ ( $Z=H, N$ ) compounds

H. Khandan Fadafan<sup>1</sup>, M. R. Alinejad<sup>2</sup>, N. Tajabor<sup>2</sup>, D. Fruchart<sup>3</sup>

1- Dept. of Physics, Golestan Univ. of Gorgan, Iran. E-mail: [Khandan@gau.um.ac.ir](mailto:Khandan@gau.um.ac.ir)

2- Dept. of Physics, Ferdowsi Univ. of Mashhad, Iran.

3- Laboratoire de cristallographie, CNRS, Grenoble, France

**Abstract:** In this research,  $YFe_{10}V_2$  alloy was prepared and the effects of penetration of H and N atoms on its magnetic properties were studied. Magnetization measurements in temperatures ranging from 5 to 300 K show that all magnetization curves are saturated at magnetic fields below 10 T. Moreover, the amounts of saturated magnetizations considerably increase after hydrogenation and specially nitrogenation. Anisotropic field calculation leads to the conclusion that penetration of H and N atoms to  $RFe_{10}V_2$  compounds decreases magnetic anisotropy of Fe sublattice in the 5–300K range of temperature. To check the orientation of the easy magnetization direction at room temperature, XRD analysis was performed on samples which have been previously aligned in a field perpendicular to the flat surface of sample holder. It shows that c axis is easy magnetization direction for all compounds.

**Keywords:** Ferromagnetism, Hydrogenated and Nitrogenated compounds, Y-Fe-V.

**مقدمه:**

ترکیبات  $RFe_{1-x}M_x$ ، که در آن R بیانگر یکی از عناصر خاکی نادر یا Y است و M بیانگر شبه فلزی است که جهت پایداری ساختار بجای آهن جانشانی شده است، در ساختار چارگوشی درون مرکزدار  $ThMn_{12}$  بلوری می‌شوند. عنصر پایدارکننده ساختار، M، یکی از عناصر واسط  $d^3$  (Ti, V, Cr, Mn),  $d^4$  (Mo),  $d^5$  (Nb, Ta, W, Re) و یا عناصر sp (Al, Si, Ga) است. ظرفیت جانشانی این عناصر به جای آهن (بیشینه x در فرمول شیمیایی) به نوع عنصر بستگی دارد که در مورد  $M=V$ ، x بین  $1/3$  تا  $4$  تغییر می‌کند [۱].

از آنجا که اتم Y در ترکیبات  $YFe_{1-x}M_x$  غیرمغناطیسی است، می‌توان با بررسی خواص مغناطیسی این ترکیبات و مقایسه با نتایج مربوط به سایر ترکیبات  $RFe_{1-x}M_x$ ، نقش عنصر خاکی نادر را در خواص مغناطیسی این ترکیبات تشخیص داد. بنابراین مطالعه اثر اتم‌های H و N بر خواص مغناطیسی ترکیب  $YFe_{1-x}V_x$  در تحقیق حاضر، برای تشخیص تأثیر این اتم‌ها بر خواص مغناطیسی حاصل از زیرشبکه آهن در ترکیبات  $RFe_{1-x}M_x$  مفید خواهد بود.

**روش‌های تجربی**

پس از ساخت آلیاژ  $YFe_{1-x}V_x$  عملیات هیدروژن‌دهی و نیتروژن‌دهی پودرها در شرایط ذکر شده در مرجع [۲] انجام گرفت. بررسی‌های ساختاری و اثر اتم‌های H و N بر ساختار این ترکیب نیز با تحلیل طرح‌های پراش پرتو X ترکیبات مورد نظر بررسی شد که نتایج در مرجع [۲] گزارش شده است. برای اندازه‌گیری مغناطش، قطعاتی استوانه‌ای شکل به قطر ۵ mm از مخلوط پودری ترکیب و رزین به نسبت وزنی مشخص تهیه و در میدان مغناطیسی خارجی T ۰/۵ به موازات محور استوانه یا عمود بر آن نگه داشته شد تا رزین سخت شود. مغناطش نمونه‌ها در بازه دمایی ۵ تا ۳۰۰ K و میدان‌های خارجی تا ۱۰ T توسط دستگاه<sup>۱</sup> ESM در آزمایشگاه بلورشناسی مرکز تحقیقاتی CNRS فرانسه اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها در هر دما برای دو حالت میدان خارجی عمود ( $H \perp M$ ) و موازی ( $H \parallel M$ ) با محور استوانه، تکرار شدند.

برای تعیین راستای آسان مغناطیسی در دمای اتاق، طرح پراش پرتو X نمونه‌های مورد تحقیق با طرح پراش نمونه‌هایی که تحت میدان مغناطیسی خارجی T ۰/۵ جهت داده شده بودند، مقایسه گردید.

**نتایج و بحث**

نتایج مغناطش نمونه  $YFe_{1-x}V_x$  پیش و پس از نفوذ اتم‌های H و N، برای دو دمای ۵ و ۳۰۰ K در شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در حالت عمودی برای نمونه‌های استوانه‌ای شکل جهت داده شده به صورت عمود بر محور استوانه، و در حالت موازی برای نمونه‌های جهت داده شده به صورت موازی با محور استوانه انجام گرفته است. در هر دو حالت، میدان خارجی به موازات محور استوانه اعمال شده است. ملاحظه می‌شود که مغناطش هر سه ترکیب در هر دو راستا، با افزایش میدان خارجی، در میدانی کمتر از T ۱۰ به مقدار اشباعی خود می‌رسد، در حالی که محل برخورد دو منحنی مغناطش عمودی و موازی که تخمینی از میدان ناهمسانگردی در هر دماست، پیش و پس از ورود اتم‌های کوچک H و بویژه N تغییر می‌کند.

مغناطش اشباعی نمونه‌ها ( $M_S$ ) در هر دما از منحنی‌های مغناطش استخراج و وابستگی دمایی آن در شکل ۲-الف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مغناطش اشباعی همه نمونه‌ها به طور تقریباً یکنواختی با دما کاهش می‌یابد. همچنین مقدار مغناطش اشباعی در هر دما پس از ورود اتم‌های کوچک H و N، به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با توجه به غیرمغناطیسی بودن اتم Y در این ترکیبات، مغناطش میانگین اتم‌های آهن به ازای واحد فرمول از شکل ۲-الف استخراج و نتایج که با گزارش‌های قبلی [۳ تا ۶] سازگارند، برای دو دمای ۵ K و ۳۰۰ K در جدول ۱ آورده شده‌اند. با توجه به این جدول نتیجه می‌شود که تأثیر اتم‌های هیدروژن و نیتروژن بر مغناطش اشباعی این نمونه در دمای اتاق بیش از دمای پایین است و نیز تأثیر نیتروژن بر مغناطش اشباعی در هر دما به میزان قابل توجهی بیشتر از تأثیر هیدروژن است.

میدان ناهمسانگردی  $H_A$  در هر دما با بدست آوردن ثابت‌های ناهمسانگردی  $K_1$  و  $K_2$  تعیین شد [۷]. شکل ۲-ب وابستگی دمایی میدان ناهمسانگردی را برای ترکیبات مورد تحقیق نشان می‌دهد که در مورد ترکیب اصلی با نتایج گزارش شده، از جمله با مرجع [۸]، سازگار است. این شکل نشان می‌دهد که میدان ناهمسانگردی نمونه پس از هیدروژن‌دهی حدود ۲۵٪ کاهش می‌یابد ولی وابستگی دمایی آن تقریباً تغییر نمی‌کند. همچنین میدان ناهمسانگردی پس از نیتروژن‌دهی به طور قابل ملاحظه‌ای (به طور متوسط حدود

<sup>۱</sup> - Extracting Sample Magnetometer.

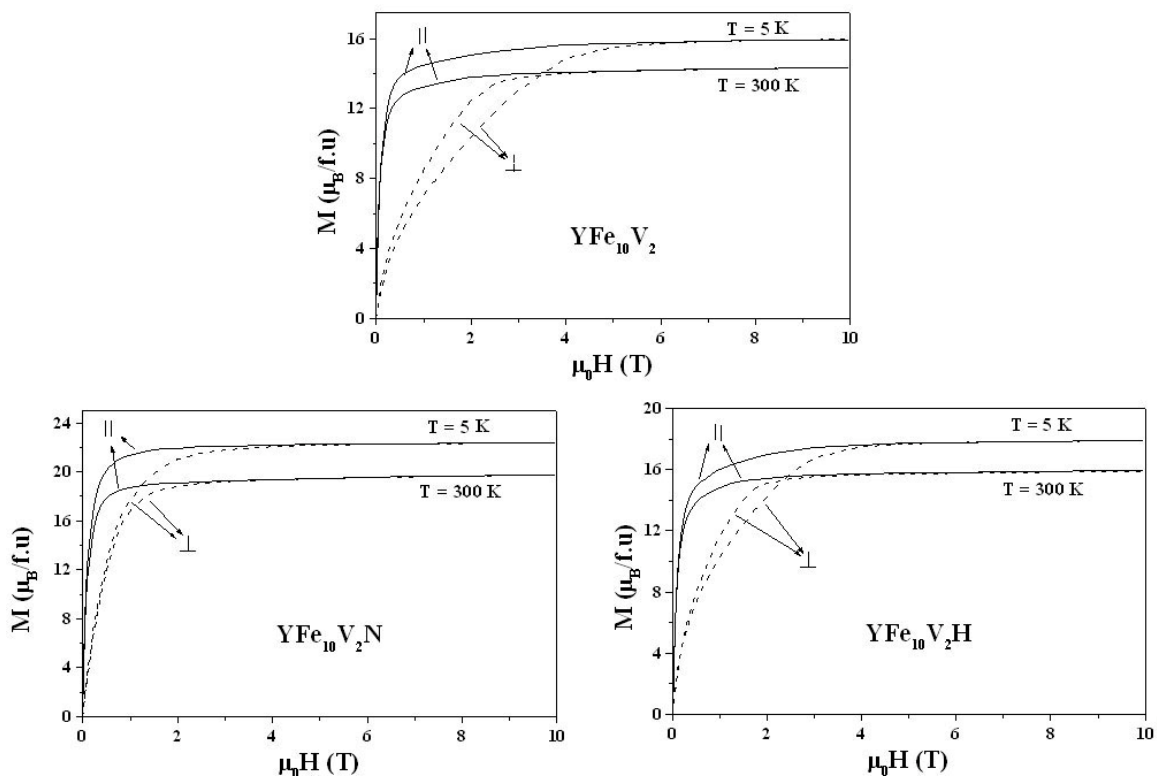
۶۰٪) کاهش می‌یابد و بستگی آن به دما نیز تقریباً از بین می‌رود. کاهش میدان ناهمسانگردی نمونه اصلی پس از ورود اتم‌های ناخالصی به ساختار را می‌توان به افزایش حجم یاخته یک‌ه پس از هیدروژن‌دهی و نیتروژن‌دهی نسبت داد و از آنجا که هم یون مثبت هیدروژن و هم یون منفی نیتروژن هر دو باعث کاهش میدان ناهمسانگردی نمونه شده‌اند، می‌توان گفت اثر افزایش حجم یاخته یک‌ه بر ناهمسانگردی زیرشبکه آهن بیشتر از اثر تغییر میدان الکتریکی بلوری است. علاوه بر این از آنجا که ناهمسانگردی مغناطیسی این ترکیبات بطور کامل ناشی از ناهمسانگردی محوری زیرشبکه آهن است، لذا می‌توان این نتیجه را به تمام ترکیبات  $RFe_{10}V_2$  تعمیم داد، یعنی می‌توان گفت نفوذ اتم‌های کوچک H و N به ساختار ترکیبات  $RFe_{10}V_2$  باعث کاهش ناهمسانگردی مغناطیسی زیرشبکه آهن در آن‌ها می‌شود.

شکل ۳ طرح‌های پراش پرتو X دو نمونه  $YFe_{10}V_2H$  و  $YFe_{10}V_2$  را در دمای اتاق، پیش و پس از جهت‌دهی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود بعد از جهت‌دهی، قله‌های پراشی مربوط به دسته صفحات عمود بر محور c تقویت و قله‌های مربوط به دسته صفحات دیگر تضعیف یا ناپدید شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که راستای آسان مغناطیسی این دو نمونه (و نیز نمونه نیتروژن‌دار که در شکل نشان داده نشده است) در دمای اتاق، محور c است.

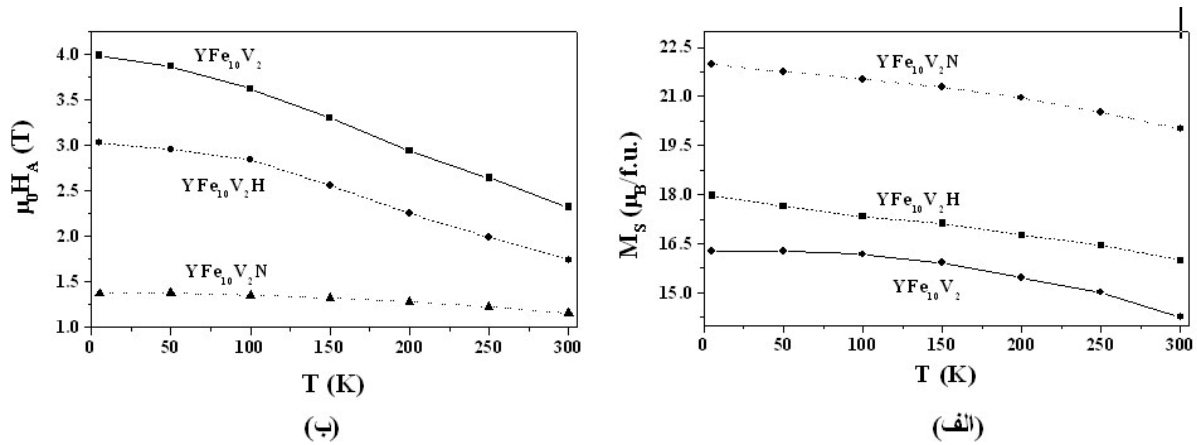
### مراجع

- [1] H. S. Li, M. D. Coey, "Handbook of Ferromagnetic Materials", Vol. 6, Elsevier Science Publ. (1991).
- [۲] خندان فدافان حسن، علی‌نژاد محمدرضا، تجبر ناصر، فروشارت دانیل، فشرده مقالات سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صفحه ۱۴۶ (۱۳۸۴).
- [3] S. S. Jaswal, Y. G. Ren, D. J. Sellmyer, J. Appl. Phys. 67 (1990) 4564.
- [4] Y. C. Chuang, D. Zhang, T. Zhao, Z. D. Zhang, W. Liu, X. G. Zhao, X. K. Sun, F. R. de Boer, J. Alloys Compds. 221 (1995) 60.
- [5] R. Verhoef, F. R. de Boer, Z. Zhi-dong, K. H. J. Buschow, J. Magn. Magn. Mater 75 (1988) 319.
- [6] I. Popa, D. Fruchart, P. De Rango, S. Rivoirard, P. Wolfers, J. Magn. Magn. Mater. 272 (2004) 539.
- [7] K. H. J. Buschow, "Handbook of Magnetic materials", Vol. 10, chap. 4, Elsevier Science Publ. (1997).
- [8] M. Solzi, L. Pareti, O. Moze, W. I. F. David, J. Appl. Phys. 64, No 10 (1988) 5084.

### شکل‌ها و جدول‌ها



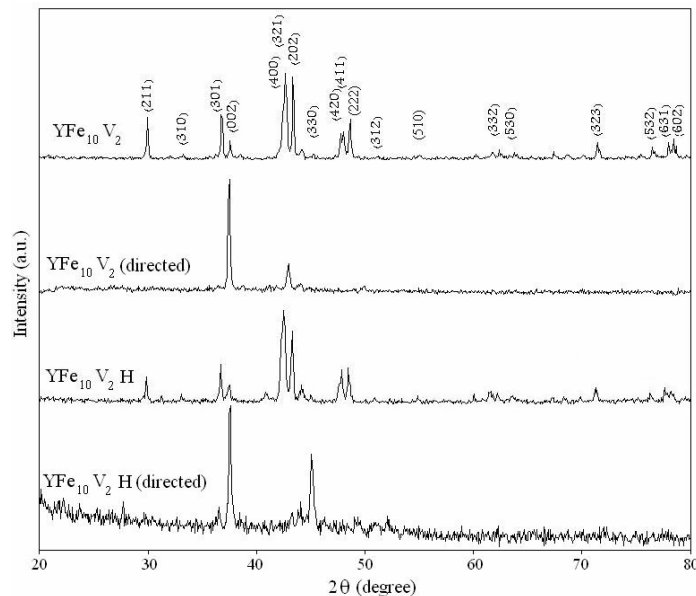
شکل ۱ مغناطش نمونه جهت داده شده  $YFe_{10}V_2$  پیش و پس از هیدروژن‌دهی و نیتروژن‌دهی در دمای پایین و دمای اتاق.



شکل ۲ وابستگی دمایی (الف) مغناطش اشباعی و (ب) میدان ناهمسانگردی نمونه‌های اصلی، هیدروژنه و نیتروژنه  $YFe_{10}V_7$ .

جدول ۱ مغناطش میانگین اتم‌های آهن در نمونه‌های اصلی، هیدروژنه و نیتروژنه  $YFe_{10}V_7$  در دو دمای ۵ و ۳۰۰ K.

$\langle m_{Fe} \rangle$ ( $\mu_B$ )		ترکیب
۳۰۰ K	۵ K	
۱٫۴۲	۱٫۶۳	$YFe_{10}V_7$
۱٫۶۰	۱٫۸۰	$YFe_{10}V_7H$
۲٫۰۰	۲٫۲۰	$YFe_{10}V_7N$



شکل ۳ طرح‌های پراش پرتو X نمونه‌های  $YFe_{10}V_7$  و  $YFe_{10}V_7H$  پیش و پس از جهت‌دهی.