

## بررسی اثر پخش کربن بر ساختار و خواص مغناطیسی ترکیب‌های $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$

لیلی متولی زاده<sup>۱</sup>، ناصر تجبر<sup>۱</sup>، محمدرضا علی نژاد<sup>۱</sup>، دانیل فروچارت<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

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

۳- فرانسه، گرونوبل، مرکز تحقیقات علوم CNRS

### چکیده

در این پژوهش اثر پخش کربن بر ساختار و خواص مغناطیسی ترکیبات  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  بررسی شده است. نتایج تحلیل طرح‌های پراش پرتو X نشان می‌دهد که پخش کربن ساختار بلوری ترکیب را تغییر نمی‌دهد. بررسی تغییرات مغناطش اشباع نشان می‌دهد که پخش کربن باعث افزایش مغناطش اشباع می‌شود اما میزان این افزایش چندان چشمگیر نیست.

**واژه‌های کلیدی:** فرومغناطیس، ساختار بلوری  $\text{ThMn}_{12}$ ، مغناطش اشباع، ترکیب‌های بین فلزی

### مقدمه

خواص ساختاری و مغناطیسی ترکیبات مختلف  $\text{RFe}_{11}\text{Ti}$  در اواسط دهه ۱۹۸۰ مورد بررسی قرار گرفتند [۱]. این مواد ساختار  $\text{ThMn}_{12}$  دارند و گروه فضایی آنها  $I4/mmm$  است. ناهمسانگردی مغناطیسی ترکیبات  $\text{YFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$ ،  $\text{ErFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  و  $\text{TbFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  توسط اندازه‌گیری مغناطش آنها بررسی شده است [۲، ۳]. خواص مغناطیسی ترکیبات  $\text{YFe}_{12-x}\text{M}_x$  نیز پیش از این گزارش شده‌اند [۴]. بنابر تحقیقات انجام شده، ترکیب فرومغناطیس  $\text{HoFe}_{11}\text{Ti}$  بازجهت‌گیری اسپینی ندارد و در تمام دماهای اندازه‌گیری شده، راستای آسان مغناطیسی آن تغییر نمی‌کند [۵]، در حالی که در دماهای پایین گذار مرتبه اول مغناطیسی (FOMP) نشان می‌دهد [۶]. اثر جاننشانی کبالت به جای آهن نیز در این ترکیب مورد بررسی قرار گرفته است و دیده شده است که با افزایش مقدار کبالت در ترکیب  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  ثابت‌های شبکه به طور خطی کاهش می‌یابند. همچنین کبالت باعث افزایش دمای کوری در این ترکیب‌ها می‌شود. بررسی‌های مغناطش این نمونه‌ها نشان دادند که منحنی مغناطش اشباع برحسب مقدار کبالت رفتاری مشابه منحنی پاولی-اسلیتر دارد [۷]. اثر هیدروژن‌دهی بر ساختار و مغناطش این ترکیب‌ها نیز بررسی شده است [۸]. همچنین اثرات اعمال نیتروژن، هیدروژن و کربن بر ترکیبات  $\text{RFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  با  $\text{R} = \text{Tb}, \text{Er}, \text{Y}$  مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۹]. در این مقاله اثر پخش ناخالصی کربن بر ساختار و خواص مغناطیسی ترکیبات  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  بررسی می‌شود.

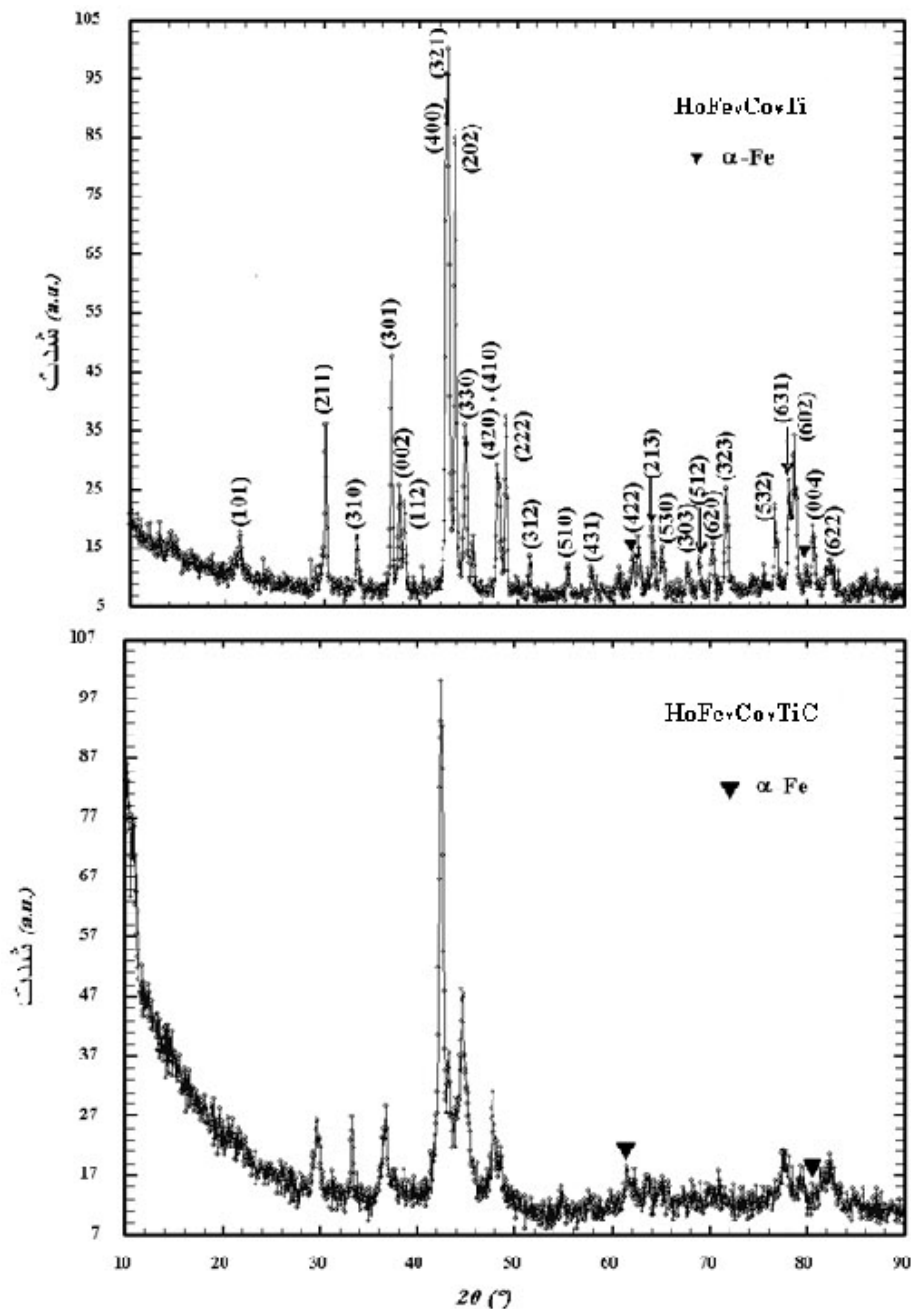
### مراحل تجربی

آلیاژهای  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  با استفاده از کوره قوس ذوب آرگون از عناصر سازنده ترکیب (Ho, Fe, Co, Ti) با درجه خلوص ۹۹/۹٪ و در حضور گاز خالص آرگون تهیه شدند. برای همگنی، نمونه‌ها در یک لوله کوارتز حاوی گاز آرگون با فشار کم قرار داده شد و سپس برای مدت ۱۰ روز در دمای ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد تحت بازپخت قرار گرفتند. برای کربن‌دهی نمونه‌ها، مقدار لازم از هر نمونه با مقدار مشخصی از آنتراسین ( $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ ) مخلوط شد، به طوری که موازنه عنصری ترکیب حاصل با در نظر گرفتن یک اتم کربن در هر واحد فرمولی حفظ شود. مخلوط حاصل در کپسول کوارتز که دارای یک گلوگاه بود ریخته و فضای گلوگاه با پنبه سیلیس پر شد، سپس روی آن مقداری منیزیم قرار داده شد. در مرحله بعد فضای داخل کپسول با چندین بار پمپ کردن گاز آرگون و تخلیه آن، کاملاً تخلیه شده و با حفظ حالت خلا در کپسول بسته شد. سپس نمونه‌ها تقریباً به طور قائم در کوره‌ای با دمای  $390^\circ\text{C}$  به مدت ۲ روز قرار داده شد. پس از آن نمونه‌ها در کوره رها شدند تا سرد شوند. ساختار بلوری نمونه‌های مادر و کربید نمونه‌ها در دمای اتاق و به روش معمول پراش پرتو X از پودر و با تابش  $\text{Cu}_K\alpha$  بررسی شدند. تغییرات مغناطش نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ESM و در بازه دمایی ۵ تا ۳۰۰ کلوین و میدان مغناطیسی صفر تا ۱۰ تسلا مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.

### نتایج و بحث

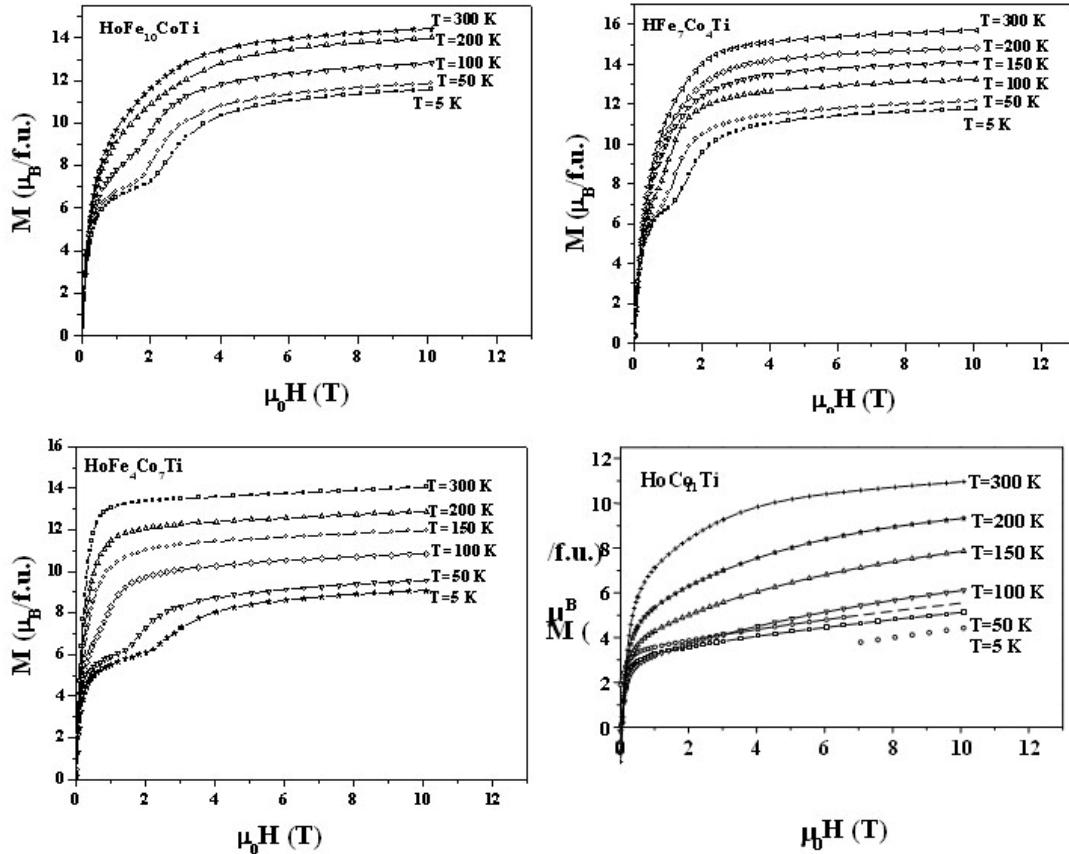
پراش پرتو X همه این نمونه‌ها تهیه شد. نتایج حاصل از پراش پرتو X نمونه‌های مادر نشان می‌دهند که ساختار بلوری تمام نمونه‌های تهیه شده، چارگوشی درون مرکزدار با گروه فضایی  $I4/mmm$  است. الگوهای پراش نمونه‌های کربن‌دهی شده نیز تهیه شد. شکل الگوهای پراش پرتو X نمونه  $\text{HoFe}_x\text{Co}_y\text{Ti}$  را پیش و پس از افزودن ناخالصی کربن نشان می‌دهند. الگوی پراش نمونه مادر برای مقایسه آورده شده است.

این الگوها به عنوان نمونه‌ای از الگوهای پراش همه ترکیب‌ها در اینجا آورده شده‌اند. در شکل ۱ دیده می‌شود که در اثر کربن دهی تعداد قله‌های پراش، کاهش یافته و قله‌ها پهن می‌شوند. به همین دلیل تعیین میزان تغییر ثابت‌های شبکه در اثر کربن دهی امکان پذیر نبود.

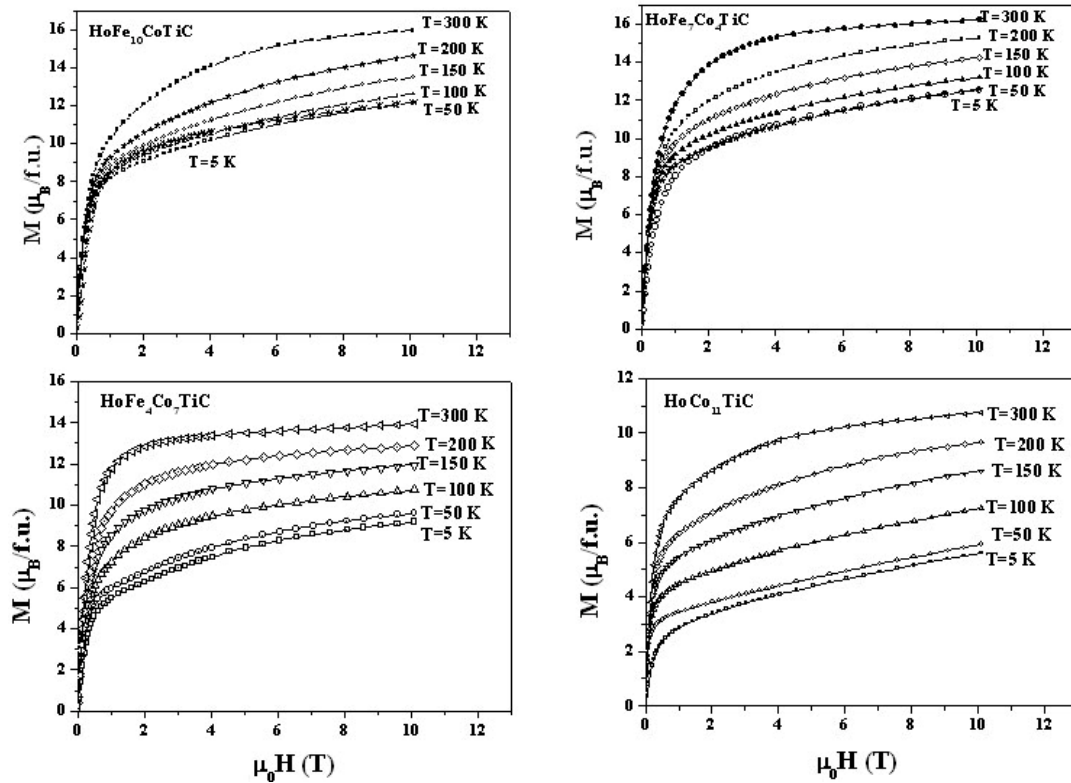


شکل ۱ الگوهای پراش پرتو X مربوط به ترکیب  $\text{HoFeCoTi}$  و کربید آن.

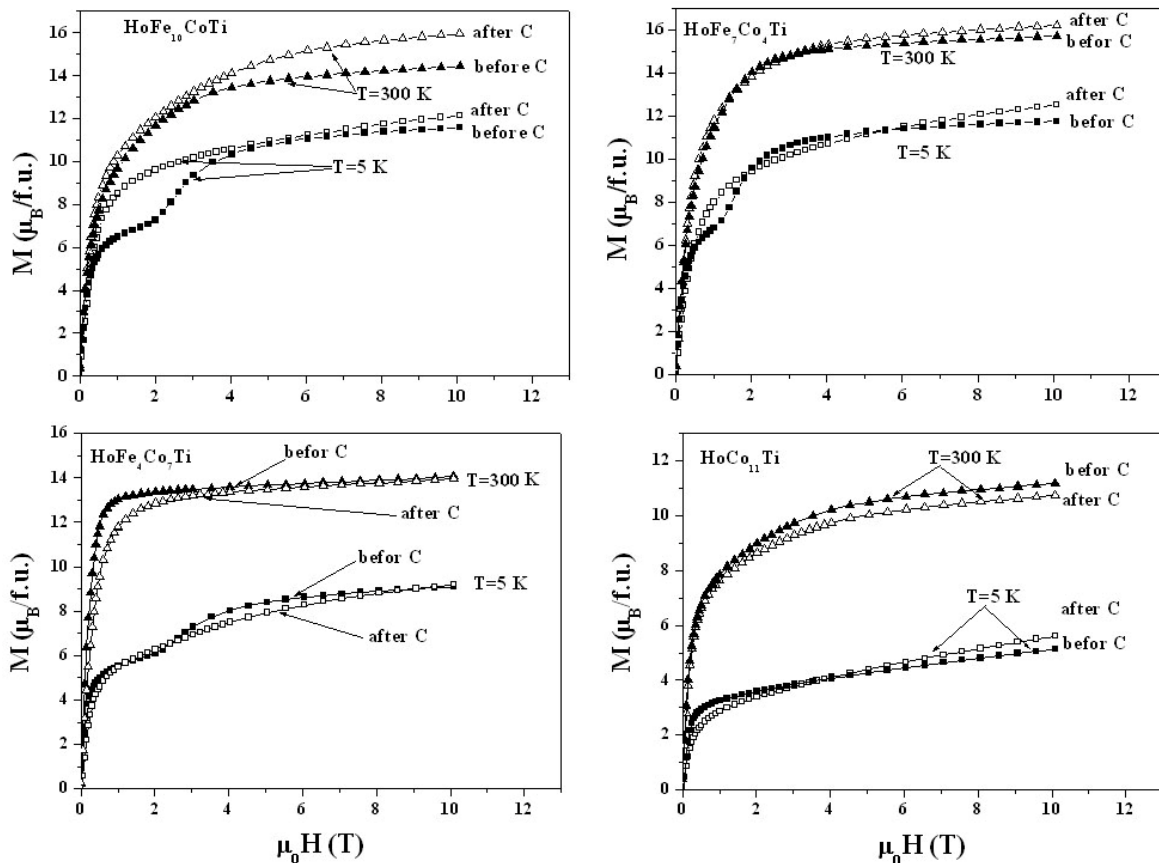
مغناطش نمونه‌ها پیش و پس از کربن دهی در دماها و میدان‌های مختلف اندازه‌گیری شد. شکل ۲ و ۳ منحنی تغییرات مغناطش نمونه‌های مادر و کربید نمونه‌ها را بر حسب میدان در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همچنین برای مقایسه، منحنی نمونه‌ها در دو دمای ۵ K و ۳۰۰ K، پیش و پس از پخش کربن در شکل ۴ ارائه شده‌است. شکل ۲ نشان می‌دهد که نمونه‌های مادر بجز نمونه  $\text{HoCo}_{11}\text{Ti}$  یک گذار مغناطیسی مرتبه اول، FOMP، را در دماهای پایین نشان می‌دهند. در شکل ۳ و شکل ۴ به خوبی دیده می‌شود که کربن باعث از بین رفتن این گذار شده است. این رفتار نمونه‌ها مانند رفتار آنها در اثر هیدروژن دهی است و از تغییر انرژی مغناطیسی نمونه‌ها در اثر ورود این اتم‌ها به داخل شبکه ناشی می‌شود [۸].



شکل ۲ منحنی‌های مغناطش ترکیب‌های  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  ( $x = 1, 4, 7, 11$ ) بر حسب میدان در دماهای مختلف.



شکل ۳ منحنی تغییرات مغناطش نمونه‌های  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{TiC}$  ( $x = 1, 4, 7, 11$ ) بر حسب میدان و در دماهای مختلف.



شکل ۴ منحنی‌های مغناطش بر حسب میدان در دماهای ۵ K و ۳۰۰ K برای نمونه‌های مادر و کربید آنها.

منحنی‌های شکل ۳ نشان می‌دهد که مغناطش اشباع نمونه‌ها در اثر کربن‌دهی افزایش یافته است. مغناطش اشباع نمونه‌های مادر و نمونه‌های کربن‌دهی شده از منحنی  $M$  بر حسب  $\frac{1}{H^2}$  برون‌یابی شد. مقادیر بدست آمده در جدول ۱ گردآوری شده است.

جدول ۱ مغناطش اشباع نمونه‌های مادر و کربید آنها در دو دمای ۵ و ۳۰۰ کلوین.

ترکیب	$M_s \left( \frac{\mu_B}{f.u.} \right) (T=5 K)$	$M_s \left( \frac{\mu_B}{f.u.} \right) (T=300 K)$
HoFe <sub>10</sub> CoTi	۱۱٫۹۷	۱۴٫۸۷
HoFe <sub>10</sub> CoTiC	۱۲٫۹۹	۱۶٫۵۱
HoFe <sub>7</sub> Co <sub>4</sub> Ti	۱۲٫۰۶	۱۵٫۹۹
HoFe <sub>7</sub> Co <sub>4</sub> TiC	۱۳٫۴۸	۱۶٫۶۵
HoFe <sub>4</sub> Co <sub>7</sub> Ti	۹٫۴۳	۱۴٫۳۹
HoFe <sub>4</sub> Co <sub>7</sub> TiC	۱۰٫۱۵	۱۴٫۳۲
HoCo <sub>11</sub> Ti	۵٫۸۴	۱۱٫۶۲
HoCo <sub>11</sub> TiC	۶٫۵۸	۱۱٫۱۹

با نگاهی به جدول ۱ دیده می‌شود که مغناطش اشباع نمونه‌های کربن‌دهی در دمای ۵ کلوین بیشتر است. اما این افزایش چندان چشمگیر نیست. از طرفی مغناطش کربیده‌ها در دمای ۳۰۰K برای دو نمونه  $\text{HoCo}_x\text{TiC}$  و  $\text{HoFe}_4\text{Co}_7\text{TiC}$  کمی کوچکتر از نمونه‌های مادر متناظرشان است. این مطلب با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد. این گزارش‌ها نشان می‌دهند که با وجودی که N و C آثار میدان بلوری یکسانی ایجاد می‌کنند اما افزایش مغناطش اشباع در کربید ترکیب‌هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته‌اند به مراتب کمتر از نیتريد آنهاست و در برخی موارد حضور کربن باعث کاهش مغناطش اشباع نمونه شده است. [۱۰].

### نتیجه‌گیری

ترکیبات  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  کربن‌دهی شدند. کربن ساختار ترکیبیات را تغییر نمی‌دهد. بررسی‌های مغناطش نشان می‌دهد که ورود اتم‌های کربن باعث از بین رفتن گذار مرتبه اول می‌شود. مغناطش اشباع نمونه‌ها نیز در اثر کربن‌دهی افزایش می‌یابد اما این افزایش چندان چشمگیر نیست.

### مراجع

- [1] L.Y.Zhang, E.B. Boltich, V.K. Sinha, W.E. Wallace, "Structure and magnetism of the  $\text{RTiFe}_{11}$  compounds (R= G, Tb, Dy, Ho and Er)", IEEE Trans. On Magn. 25 (1989) 3303.
- [2] J. L. Wang, N Tang, B Fuquan, W. H. Wang, W.Q. Wang, G. H. Wu and F. M. Yang, "A study of the magnetocrystalline anisotropy of  $\text{RFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  compounds with R = Y and Er", J. Condens. Matter 13 (2001) 1617.
- [3] T.I. Ivanovna, Y.G. Pastushenkov, K.P. Skokov, I.V. Telegina, I.A. Tskhaadze, "Spin-reorientation transitions and magnetic anisotropy in  $\text{TbFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  compounds", J. Alloys. Compounds 280 (1998) 20.
- [4] R. Coehoorn, "Electronic structure and magnetism of transition-metal-stabilized  $\text{YFe}_{12-x}\text{M}_x$  intermetallic compounds", Phys. Rev. B 41 (1990) 11790.
- [5] A. Apostolov, R. Bezdushnyi, N. Stanev, R. Damianova, D. Fruchart, J. L. Soubeyroux, O. Isnard, "Magnetic properties and magnetic structure of  $\text{HoFe}_{11}\text{Ti}$  and its hydrides", J. Alloys. Compounds 265 (1998) 1-5.
- [6] Y. Janssen, J.C.P. Klaasse, E. Bruck, F.R. de Boer, K.H.J. Buschow, J. Kamarad, N.V. Kudrevathykh, " three-dimentional magnetization process in  $\text{HoFe}_{11}\text{Ti}$ " , Phasica B 319 (2002) 59.
- [7] N. Tajabor, D. fruchart, D. Gignoux, S. Miraglia, L. Motevalizadeh, "Spin reorientation and first-order magnetisation process in  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  compounds", J. Magn. Magn. Magn. 314 (2007) 122.
- [8] N. Tajabor, M. R. Alinejad, L. Motevalizadeh, D. Fruchart, E. K. Hlil, D. Gignoux, S. Miraglia, "Influence of hydrogenation on structure and magnetic properties of  $\text{HoFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$ " , J. Alloys Compounds (2007), doi: 10.1016/j.jallcom.2007.04.213.
- [9] Z.F. Gu, D.C. Zexg, Z.Y. Liu, S.Z. Liazg, J. C.P. Klaasse, E. Bruck, F.R. de Boer, K.H.J. Buschow, "Spin reorientations in  $\text{RFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$  compounds (R = Tb, Er, Y)", J. Alloys. Compounds 321 (2001) 40-45.
- [10] H. Fujii, H. Sun, "Handbook of magnetic materials", Vol. 9, K.H.J. Buschow Ed., Elsevier Science Publ., (1995).