

Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15,20) 合金的制备及磁性能研究*

Preparation and Study of Magnetic Property for Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15 and 20) Alloys

欧阳义芳¹,王 进¹,庞 智¹,王戎丞¹,陈红梅¹,钟夏平²

OUYANG Yi-fang¹,WANG Jin¹,PANG Zhi¹,WANG Rong-cheng¹,CHEN Hong-mei¹,ZHONG Xia-ping²

(1. 广西大学物理科学与工程技术学院,广西南宁 530004;2. 广西科学院,广西南宁 530007)

(1. The College of Physics Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. The Academy of Guangxi, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:分别采用电弧熔炼和机械合金化法制备 Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15,20) 晶态和纳米非晶态合金,并利用 X 射线衍射仪、振动样品磁强计等对制备的晶态合金和纳米非晶态合金的结构及其磁性能进行分析,研究 Fe 和 Zr 相对含量的变化对合金相的组成及磁性能的影响。结果表明: Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15,20) 合金晶态及纳米非晶态合金均显示软磁性;对于晶态样品,随着 Zr 含量的增加,样品的磁化强度逐步降低;对于纳米非晶态合金,随着 Zr 含量的增加,合金的饱和磁化强度降低;相同成分的纳米非晶态合金的饱和磁化强度高于相应的晶态合金的饱和磁化强度。Nd₆₀Fe₂₀Zr₁₀Al₁₀ 混合粉末球磨 100 h 后达到了完全非晶化,说明 Nd₆₀Fe₂₀Zr₁₀Al₁₀ 有较好的非晶形成能力。

关键词:软磁 饱和磁化强度 非晶

中图分类号:O472+.5 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2013)04-0299-04

Abstract: Crystalline and nano-amorphous Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15 and 20) alloys were prepared by arc melting and mechanical alloying, respectively. The evolution of microstructures and magnetic properties for the alloys were investigated by X-ray diffraction (XRD) and Vibrating Sample Magnetometer (VSM). The results indicate that both of crystalline and nano-amorphous Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15,20) alloys exhibit soft magnetic properties. The saturation magnetization of the alloys decreases when Fe is substituted by Zr. The saturation magnetizations of nano-amorphous alloys are larger than those of the corresponding crystalline alloy. Nd₆₀Fe₂₀Zr₁₀Al₁₀ mixture powder is fully amorphization after ball-milling for 100 hours, indicating that Nd₆₀Fe₂₀Zr₁₀Al₁₀ exhibits high amorphous forming ability.

Key words: soft magnet, saturation magnetization, amorphous

稀土由于其独特的 4f 电子层结构,可以在一些与 3d 元素化合物组合成的晶体结构中形成单轴磁各向异性,具有十分优异的磁性能^[1-5]。稀土磁性材料主要包括稀土永磁材料、磁致伸缩材料、磁致冷材料、磁光存贮材料与稀土巨磁阻材料等。其中稀土永磁材料在稀土磁性材料的研发和产业化过程中得到了

极大的关注^[6]。Inoue 等人用吸注方法制备了 Nd-Fe-Al 大块非晶后^[7],开展了对该体系的磁性能研究^[7-9]。文献^[10]探讨了锆(Zr)等的加入对 Nd-Fe-Al-B 非晶形成能力和磁性能的影响。从文献来看尚未有用机械合金化方法制备 Nd-Fe-Zr-Al 体系的研究报道。为了探讨锆对 Nd-Fe-Al 非晶体系的形成能力和性能的影响,以及不同的制备方法对该体系非晶形成的结构和性能的影响,本文拟分别通过电弧熔炼及均匀化退火和机械合金化法制备 Nd₆₀Fe_{30-x}Zr_xAl₁₀ (x=5,10,15,20) 合金,并对 Nd-Fe-Zr-Al 合金的结构演变和磁性能进行研究,制备出高性能钕基

收稿日期:2013-08-05

修回日期:2013-09-18

作者简介:欧阳义芳(1965-),男,教授,主要从事凝聚态物理研究。

* 国家自然科学基金项目(51061004)资助。

非晶态合金。

1 材料与方法

将 Nd(99.9%)、Fe(99.99%)、Zr(99.5%)和 Al(99.9%)按名义成分称量后,采用电弧炉熔炼,在氩气的保护气氛下用铜坩锅反复熔炼 3 次使其充分均匀化制备 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金锭。制备的合金样品封装在石英管里,封装时石英管内抽真空,然后置于管式炉中在 500°C 均匀化退火 180 h。

在机械合金化制备过程中,由于 Nd 容易氧化,我们首先将 Al 和 Nd 按照一定成分比在真空电弧炉中预熔,取出后研磨成 Al-Nd 粉末,然后将纯 Zr 粉(99.9%,300 目)、纯 Fe 粉(99.8%,200 目)与 Al-Nd 粉末按原子百分比配制成 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 成分的混合粉末,与不锈钢球一起置于 QM-ISP 型行星式球磨机中。球磨用的不锈钢球直径为 20mm,球磨机转速为 300r/min,球粉质量比为 20:1,球磨机每 10min 改变一次旋转方向,经不同球磨时间后在手套箱里取出少量粉末样品进行分析。

结构测定采用 Rigaku D/Max-2500V 型 X 射线衍射仪(XRD),扫描范围为 $20 \sim 80^\circ$,扫描速度为 10deg/min,步长为 0.02° ,Cu K_α 辐射($\lambda = 0.1542$ nm),工作电压和电流分别为 40 kV 和 120 mA。磁性能的测试采用美国 Quantum Design 公司的 PPMS 磁性测试单元,磁场范围为 $0 \sim 2\text{T}$,测试温度为 300K。

2 结果与分析

采用电弧熔炼制备 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金并对其进行退火处理。由图 1 可以看出,在 500°C 退火 180 h 后, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金中均有 Nd 单质存在。 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金在 500°C 退火 180 h 后的相组成主要是有 Nd、 Fe_2Zr 和 AlNd_3 。 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 及 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 合金中有少量的 Fe_2Zr 相存在,而 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金中几乎没有 Fe_2Zr 相的存在。从 Al-Fe-Nd、Al-Zr-Nd 和 Al-Fe-Zr 等相图可知,在所研究的合金成分中,可能存在的相有 $\text{Fe}_{17}\text{Nd}_2$ 、Nd、 λ - $\text{Al}_{4.5}\text{Fe}_{9.5}\text{Nd}_6$ 和 Fe_2Zr 等。从图 1 可以看到,XRD 图谱只显示出 Nd、 Fe_2Zr 和 AlNd_3 等相,可能的原因是其余相的含量相对较少或其形成能与已出现的相相比能量更高,从而抑制了未观察到的相的生长所致。

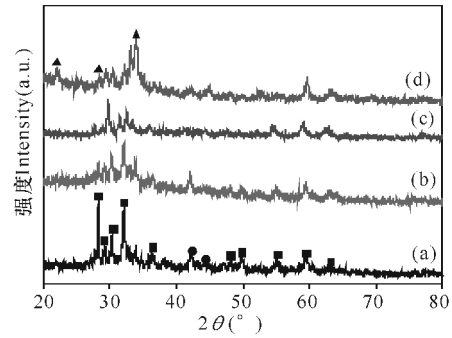


图 1 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ 合金的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD patterns of $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ alloys

(a) $x = 5$, (b) $x = 10$, (c) $x = 15$, (d) $x = 20$; ■: Nd, ●: Fe_2Zr , ▲: AlNd_3 .

将 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 混合粉末在球磨机中球磨不同时间。从图 2 可以看出, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 在球磨 15h 后只剩下 Nd 及 Fe 主峰。随着进一步的球磨,衍射峰逐渐宽化,且 Nd 和 Fe 的衍射峰逐渐消失,出现非晶的漫散射峰,这是由于球磨过程中,球的不断撞击产生了大量的微层状结构,使合金的晶粒不断细化,原子可以通过层间的界面扩散形成非平衡固溶体^[11]。晶粒的内应力和内应变不断增大,大量位错积累的结果导致位错胞的形成,并最终发展为纳米晶。当晶格畸变和位错密度增加到系统自由能足够高的时候可以获得非晶结构^[12]。从图 2 可见 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 球磨 100h 后已经完全非晶化。 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 中其余 3 个样品在球磨过程中的结构演变与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 相似,从 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 球磨 100 h 后的 XRD 衍射图谱(图 3)可以看出,该体系的衍射峰的形状基本相似,只是除了 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 外,其余 3 个样品中有少量的纳米晶铁存在,因而形成了非晶和纳米晶的混合物。

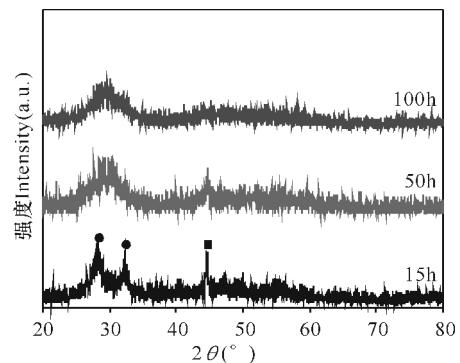


图 2 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 混合粉末球磨不同时间后的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD patterns of $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ mixture powders at different milling time

■: Fe, ●: Nd.

从晶态 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金在 300K 温度下的磁滞回线(图 4)可见:合金皆显示软磁性。而一般来说, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30}\text{Al}_{10}$ 合金无论是晶态还是非晶态均表现出硬磁性^[7~9], 钆的加入改变了钆基合金的磁性能。当外加磁场为 2T 时, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 和 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金的磁化强度分别为 8.1 emu/g、5.5 emu/g、1.9 emu/g 和 0.7 emu/g。磁化强度随着 Zr 替代 Fe 量的增加而逐步降低。说明随着 Zr 逐步替代 Fe, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金的磁性能下降。由图 1 可知, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金系主要由 Nd、 Fe_2Zr 和 AlNd_3 组成。Nd 固溶相是非磁性相,由 ALLOY DATABASE(<http://alloy.phys.cmu.edu/>)可知: Fe_2Zr 与 AlNd_3 相磁矩的理论计算值分别为 $5.994\mu_B$ 和 $0.000\mu_B$,即 AlNd_3 也是非磁性相,只有 Fe_2Zr 显示出磁性。

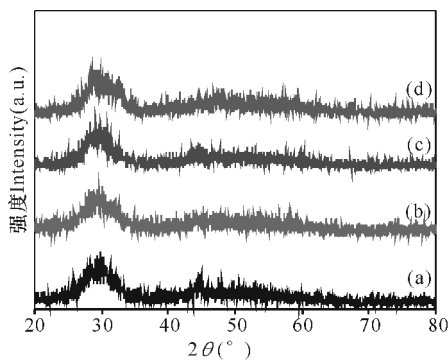


图 3 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ 混合粉末球磨 100h 后的 XRD 图谱

Fig. 3 XRD patterns of $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ mixture powders after milling for 100h

(a) $x = 5$, (b) $x = 10$, (c) $x = 15$, (d) $x = 20$.

从图 4 可知: $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 合金在外加磁场为 2T 时合金磁化强度分别为 8.1 emu/g 与 5.5 emu/g;而 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金在外加磁场为 2T 时合金磁化强度分别为 1.9 emu/g 和 0.7 emu/g。很明显, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 合金的磁性要高于 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金。由图 1 可知,只有 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 及 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 合金中有少量的 Fe_2Zr 相存在,而 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 与 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金中几乎没有 Fe_2Zr 相的存在。所以正是由于 Fe_2Zr 相的存在导致合金磁性的差异。

从图 4 还可以发现, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 合金的磁滞回线有明显的无饱和趋势。这有可能是因为在铁磁体中的空隙、弱磁性和非磁性掺杂物产生了散磁场,使晶体内部磁化不均匀,因而阻止其达到饱和;也有可能是因为晶体内部有剧烈的不均

匀局部形变,影响到很大体积范围内的电子自旋分布,使其发生微扰,因而推迟了趋近饱和的过程。由于合金中的主要相组成为 Nd、 Fe_2Zr 及 AlNd_3 ,其中 Nd、 AlNd_3 皆不显示磁性,而有着磁性的 Fe_2Zr 相含量很少,这点比较符合是由于大量的弱磁性和非磁性掺杂物所产生的散磁场导致晶体内部磁化不均匀,从而阻止了样品磁化达到饱和的过程。

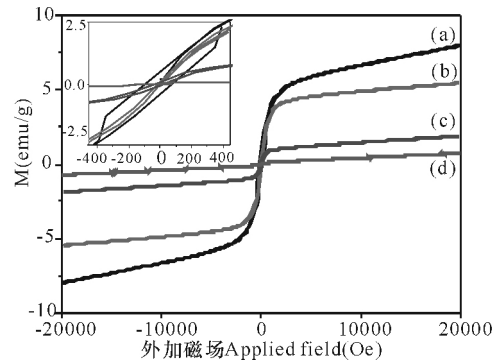


图 4 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ 系列合金的磁滞回线

Fig. 4 Magnetic hysteresis loops of $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ alloys

(a) $x = 5$, (b) $x = 10$, (c) $x = 15$, (d) $x = 20$.

从 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 系混合粉末在球磨 100 h 后形成的纳米非晶态合金在 300K 温度下的磁滞回线(图 5)可见,合金均表现出软磁性。 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 和 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 的饱和磁化强度分别为 17.4 emu/g、13.8 emu/g、13.0 emu/g 和 9.7 emu/g,即随着 Zr 含量的增加,混合粉末的饱和磁化强度逐步递减。由此可知, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x = 5, 10, 15, 20$) 系混合粉末中随着 Zr 的逐步替代 Fe,其磁性能是逐步减弱的。与图 4 相比较可以发现,同成分纳米非晶态合金的磁性能略优于相应的晶态材料的磁性能。从图 4 和图 5,并结合图 1 和图 3 可以看出,随着钆含量增加,合金磁化强度的降低主要取决于样品中 Fe_2Zr 含量的减少。

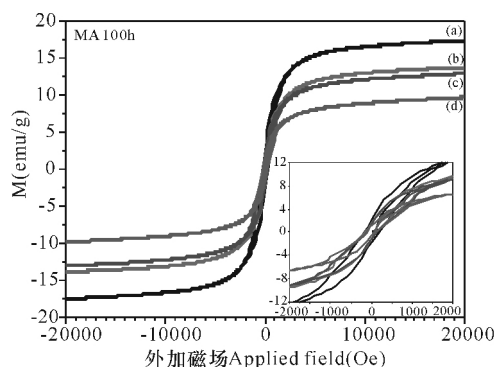


图 5 球磨 100 h $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ 混合粉末的磁滞回线

Fig. 5 Magnetic hysteresis loops of $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ mixture powders after milling for 100h

(a) $x = 5$, (b) $x = 10$, (c) $x = 15$, (d) $x = 20$.

3 结论

分别采用电弧熔炼和机械合金化方法制备了晶态和纳米非晶态 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x=5, 10, 15, 20$) 合金, 并对其结构和磁性能进行了研究, 结果表明:

(1) 采用电弧熔炼制备的晶态 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x=5, 10, 15, 20$) 合金主要由 Nd 、 Fe_2Zr 和 AlNd_3 组成, 其中对于合金磁性能起主导作用的为有磁性的 Fe_2Zr 相。晶态的 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ 合金均为软磁性合金。随着 Zr 的逐步替代 Fe , 合金磁性逐步减弱。

(2) 采用机械合金化方法制备的纳米非晶态 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x=5, 10, 15, 20$) 合金中, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 完全非晶化。 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Zr}_5\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 、 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Zr}_{15}\text{Al}_{10}$ 和 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{10}\text{Zr}_{20}\text{Al}_{10}$ 合金的饱和磁化强度分别为 17.4 emu/g、13.8 emu/g、13.0 emu/g 和 9.7 emu/g。随着 Zr 含量的增加, 混合粉末的饱和磁化强度下降。

(3) 锆替代铁, 使得钕基合金的磁性能由硬磁变为软磁。相同成分的纳米非晶态 $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x=5, 10, 15, 20$) 合金的饱和磁化强度要高于相应的晶态材料的饱和磁化强度。

(4) 从非晶形成来看, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{30-x}\text{Zr}_x\text{Al}_{10}$ ($x=5, 10, 15, 20$) 合金中, $\text{Nd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Al}_{10}$ 的非晶形成能力最强。

参考文献:

- [1] Yang Y C, Zhang X D, Kong L S, et al. New potential hard magnetic material- $\text{NdFe}_{11}\text{TiN}_x$ [J]. Solid State Commun, 1991, 78(4): 317-320.
- [2] Li Y P, Coey J M D. Electronic structure and magnetism of $\text{Y}(\text{Fe}_{11}\text{Ti})$ and $\text{Y}(\text{Fe}_{11}\text{Ti})\text{N}$ [J]. Solid State Commun,

1992, 81(6): 447-449.

- [3] Asano S, Ishida S. Electronic structures and improvement of magnetic properties of RFe_{12}X ($\text{R}=\text{Y}, \text{Ce}, \text{Gd}$; $\text{X}=\text{N}, \text{C}$) [J]. J Phys: Condens Matter, 1993, 2: 155-168.
- [4] Yang Y C, Zhang X D, Ge S L, et al. Magnetic and crystallographic properties of novel Fe-rich rare-earth nitrides of the type $\text{RFe}_{11}\text{TiN}_{1-\delta}$ [J]. J Appl Phys, 1991, 70(10): 6001-6005.
- [5] Tetean R, Burzo E, Chioncel L, et al. Electronic structures and magnetic properties of $\text{YFe}_{12-x}\text{V}_x$ compounds [J]. J Magn Magn Mater, 2002, 242-245: 836-838.
- [6] 林河成. 中国稀土永磁材料的发展现状及前景(续) [J]. 矿业快报, 2006: 1-4.
- [7] Inoue A, Zhang T, Takeuchi A. Hard magnetic bulk amorphous Nd-Fe-Al alloys of 12 mm in diameter made by suction casting [J]. Mater Trans JIM, 1996, 37: 636-640.
- [8] Inoue A, Zhang T, Zhang W. Bulk Nd-Fe-Al amorphous alloys with hard magnetic properties [J]. Mater Trans JIM, 1996, 37: 99-108.
- [9] Bai Q, Xu H, Tan X H. Magnetic properties of the Fe-Nd-Al alloys prepared by suction casting [J]. J Mater Sci, 2007, 42: 8248-8250.
- [10] Bai Q, Xu H, Tan X H. Effect of Zr addition on glass-forming ability and magnetic properties of Fe-Nd-Al-B alloys prepared by suction casting [J]. Chin Phys Lett, 2009, 26: 057503-1-4.
- [11] 庞秋, 谷万里, 冯柳, 等. 机械球磨法制备 CNTs/Al 复合粉末的工艺过程研究 [J]. 热加工工艺, 2009(04): 46-48.
- [12] 余宗森, 田中卓. 金属物理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982.

(责任编辑: 陈小玲)

广西认定首批 60 个院士工作站

新闻时间: 2013-05-28

广西柳工机械股份有限公司、广西科学院等 50 家企事业单位建立的 60 个院士工作站, 日前被认定为首批广西院士工作站。首批 60 个广西院士工作站中, 建在企业的有 24 家, 建在大学的有 16 家, 建在科研事业单位的有 20 家。据了解, 借助院士等高层次人才智力, 推进“富民兴桂”、“人才强桂”战略, 是实现“广西梦”的重要举措。此前, 广西已聘请 116 位院士担任自治区主席院士顾问。

摘自科学网