

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2012.03.003

NdFeB 表面磁控溅射沉积 Ti/Al 多层膜的 结构及耐腐蚀性能*

谢婷婷^a, 冒守栋^b, 郑必长^b, 余超^a, 汪少杰^a, 宋振纶^b

(中国科学院宁波材料技术与工程研究所 a. 浙江省磁性材料及其应用技术实验室 b. 中国科学院磁性材料与器件重点实验室, 浙江 宁波 315201)

摘 要: 采用直流磁控溅射技术在烧结 NdFeB 磁体表面沉积 Ti/Al 多层膜, 并研究其结构及在 NaCl 溶液中的耐腐蚀性能。在 Ti/Al 多层膜中, Ti 层为密排六方结构, 成功打断了 Al 层(面心立方结构)的柱状晶结构生长。与纯 Al 膜相比, Ti/Al 多层膜具有更致密的表面, 且周期数增加, 表面越平整致密。动电位极化曲线结果发现, 纯 Al 膜试样的自腐蚀电流密度为 $1.9 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 左右, 5 周期 Ti/Al 多层膜试样的自腐蚀电流密度约为 $1.1 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, 比纯 Al 膜小近两个数量级, 且随着多层膜周期数的增加, 其腐蚀电流密度进一步减小。这些结果表明在快速且破坏性强的腐蚀情况下, Ti/Al 多层膜抗腐蚀能力比纯 Al 膜好, 且随着周期数的增加进一步提高。NaCl 溶液中长期腐蚀试验时, Ti/Al 多层膜的耐腐蚀性能不如纯 Al 膜, 这可能是由 Ti 层和 Al 层间形成原电池且多层膜应力较大导致。

关键词: 磁体; Ti/Al 多层膜; 耐腐蚀; 磁控溅射

中图分类号: TG174.444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2012)03-0013-07

Structure and Corrosion Resistance of Ti/Al Multilayers Coated on NdFeB Magnets by Magnetron Sputtering

XIE Ting-ting^a, MAO Shou-dong^b, ZHENG Bi-zhang^b, YU Chao^a, WANG Shao-jie^a, SONG Zhen-lun^b
(a. Zhejiang Province Key Laboratory of Magnetic Materials and Application Technology b. Key laboratory of Magnetic Materials and Devices, Chinese Academy of Science, Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo, 315201, Zhejiang)

Abstract: Ti/Al multilayers were deposited on sintered NdFeB magnets by direct current magnetron sputtering. The structure and corrosion resistance of Ti/Al multilayers in a NaCl solution were studied. Ti layers with a hexagonal close packed structure were obtained in the Ti/Al multilayers. The columnar structure growth of Al layers was successfully interrupted by the intercalated Ti layers. The Ti/Al multilayers showed more compact surfaces than the Al single layer, and the more compact and smooth the surface are, the more the number of bilayer period is. For the NdFeB specimen coated with Al single layer, the corrosion current density was approximately $1.9 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$. The corrosion current density of 5-period Ti/Al multilayer was approximately $1.1 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, about two orders of magnitude lower than that of the Al single layer. With decreasing bilayer period, the corrosion current density further decreased. These findings show that the Ti/Al multilayers present better resistance to the fast and destructive corrosion than the Al single layer and show further improved resistance with decreasing bilayer period. However, the long-term corrosion resistance of Ti/Al multilayers is inferior to that of the Al single layer, which may be ascribed to the combined effects of galvanic corrosion and high stress.

Key words: magnet; Ti/Al multilayer; corrosion resistance; magnetron sputtering

收稿日期: 2012-03-12; 修回日期: 2012-05-21; 基金项目: * 国家科技支撑计划(2012BAE02B01); 浙江省宁波市资助项目(2009A31004, 2011B81001)

作者简介: 谢婷婷(1988-), 女(汉), 浙江温州人, 硕士生; 研究方向: 腐蚀与表面防护技术

网络出版日期: 2012-05-28 18:26; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120528.1826.001.html>

引文格式: 谢婷婷, 冒守栋, 郑必长, 等. NdFeB 表面磁控溅射沉积 Ti/Al 多层膜的结构及耐腐蚀性能 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(3): 13-19.

0 引言

烧结 NdFeB 磁体由于具有优异的磁性能而被广泛应用。然而, NdFeB 多相结构特点导致其在大部分环境中耐腐蚀性能极差^[1-2], 限制了其进一步的应用推广。NdFeB 由主相、富钕相和富硼相组成, 其中富钕相和富硼相绝大部分处于晶界处。相比主相和富硼相, 富钕相具有最高的化学活性, 在电化学环境中与其他相组成腐蚀微电池, 作为阳极而被优先腐蚀, 腐蚀严重时甚至会导致磁体粉化。因此, 提高 NdFeB 耐腐蚀性能对其应用和发展具有重要意义。

目前, 用于提高 NdFeB 耐腐蚀性能的方法主要有两类: 一是添加合金元素^[3-4]; 二是表面防护方法^[3, 5-6]。工业上, 电镀被广泛用于 NdFeB 磁体的表面防护。然而, 电镀常伴随着环境问题, 且会在一定程度上降低 NdFeB 磁体的磁性能^[7]。作为一种环境友好技术, 物理气相沉积技术(PVD)具有所沉积薄膜质量较高、薄膜/基体结合较好、对磁性能不影响等优点, 随着人们环保意识的日益提高, 物理气相沉积技术越来越多地应用于耐腐蚀薄膜领域^[8-10]。Ku^[11]、Mitchell^[12]等利用蒸发法、离子镀技术沉积 Al 膜, 用于 NdFeB 磁体的防护。Mao 等^[13]采用磁控溅射技术沉积, 得到柱状晶结构的 Al 膜, 但发现柱状晶间的微孔贯穿薄膜, 成为腐蚀液渗透到基体的快速扩散通道, 导致 Al 膜对 NdFeB 的腐蚀保护提前失效。通过交替沉积两种不同结构的薄膜, 打断柱状晶结构生长, 形成多层结构薄膜, 可以有效地抑制这些贯穿薄膜的缺陷^[14-16]。采用磁控溅射技术沉积得到的 Al 膜为面心立方(fcc)结构^[17], 已有研究^[18]利用磁控溅射沉积得到密排六方(hcp)结构的 Ti 膜, 其晶体结构与 Al 膜迥异, 有望用于打断 Al 膜的柱状晶结构生长。另外, Ti 与 Al 的标准电极电位十分相近(Al/Al^{3+} : -1.662 V ; Ti/Ti^{2+} : -1.628 V), 两者间的原电池腐蚀影响可能较小。

文中采用磁控溅射技术在 NdFeB 表面沉积 Ti/Al 多层膜, 并研究了其结构、形貌及耐腐蚀性能。

1 试验方法

1.1 薄膜的制备

规格为 $20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 的商用

N35 烧结 NdFeB 试样经机械打磨、抛光后, 依次在丙酮和酒精中超声清洗 10 min 并吹干。

采用磁控溅射技术在抛光的 NdFeB 表面和单晶 Si 片(111)上沉积 5、10、25 周期 Ti/Al 多层膜。沉积前, 利用 end-Hall 离子源提供氩离子束轰击 NdFeB 表面 45 min, 以去除表面的氧化物和污染物, 增强薄膜与基体的结合^[19]。所有沉积过程均在氩气气氛中进行, 主要沉积参数如表 1 所示。溅射沉积时试样交替地固定在 Ti 靶(99.995%)和 Al 靶(99.999%)下方, 实现 Ti 层和 Al 层的交替生长。鉴于 Al 的标准电极电位比 Ti 低, 为避免形成大阴极小阳极的腐蚀原电池, 沉积 Al 层作为最外层。控制单一 Ti 层的厚度为 50 nm 不变, 改变单一 Al 层的厚度使得 5、10、25 周期 Ti/Al 多层膜的总厚度均在 $4.5 \sim 5.5\ \mu\text{m}$ 。同时, 沉积纯 Al 和纯 Ti 膜作为参比。薄膜的种类及其沉积参数如表 2 所示。

表 1 薄膜沉积过程的主要参数

Table 1 Main deposition parameters of the coatings

Base pressure/Pa	9.0×10^{-4}
Ar flow rate/($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	20
Work pressure/Pa	0.2
Direct current power/W	Ti, 300; Al, 150
End-hall ion gun $U(\text{V})/I(\text{A})$	150/1

1.2 薄膜结构与性能表征

使用表面轮廓仪(Alpha-Step, IQ)测量薄膜厚度。使用连接着能谱仪(EDS)的场发射扫描电子显微镜(SEM, S-4800, Hitachi)观察薄膜的断面和表面形貌, 断面形貌在背散射电子成像模式下观察。使用 X 射线衍射仪(XRD, D8 Advance, Bruker)分析薄膜的晶体结构。

电化学测试使用 Autolab 电化学工作站(PGSTAT302, Ecochimie), 测定试样在质量分数为 3.5% NaCl 溶液中的动电位极化曲线及开路电位, 测试温度为 $(25 \pm 3)\text{ }^\circ\text{C}$ 。测试采用饱和甘汞电极作为参比电极, 铂电极作为对电极。动电位极化曲线测试前将工作电极置于溶液中放置 1 h 以获得稳定的电位, 扫描速度为 1 mV/s ; 开路电位测试范围为 $0 \sim 6\text{ h}$, 每隔 5 s 取点。中性盐雾试验(NSS)在标准盐雾试验箱内进行, 采用国标(GBT 10125-1997)设置试验参数。

表 2 薄膜的种类及其沉积参数

Table 2 Specific deposition parameters of the coatings

Coating	Layer	Deposition time/s	Controlled thickness/nm	Measured total thickness/ μm
Al single layer		6600		4.55
Ti single layer		9300		5.35
5-period Ti/Al multilayer	Ti	100	50	4.59
	Al	1265	950	
10-period Ti/Al multilayer	Ti	100	50	4.64
	Al	600	450	
25-period Ti/Al multilayer	Ti	100	50	4.78
	Al	200	150	

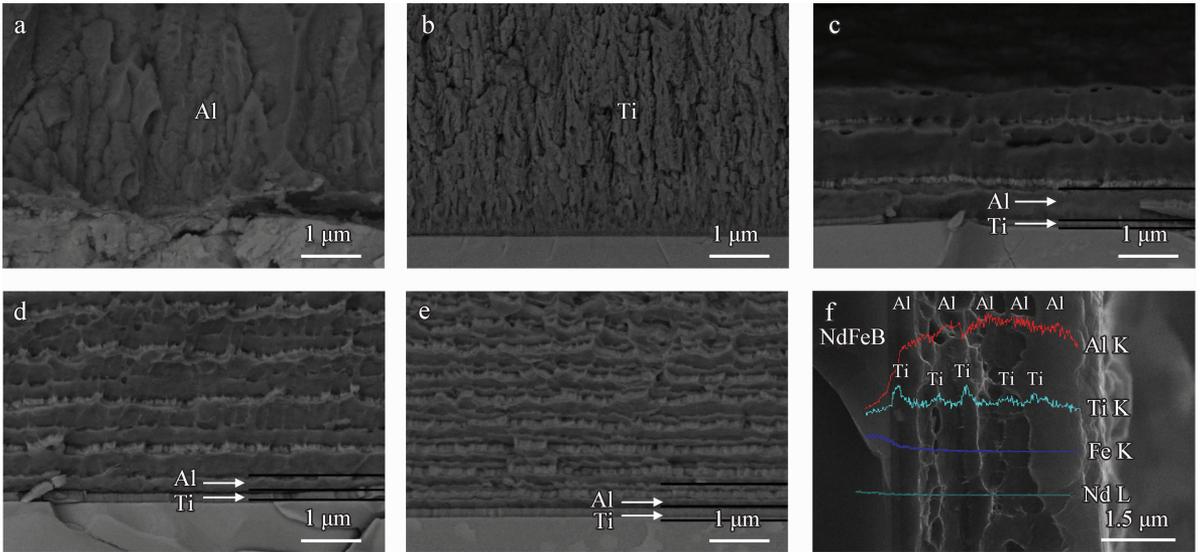
2 试验结果与分析

2.1 薄膜结构与形貌

在背散射电子成像模式下观察 NdFeB 上纯 Al、纯 Ti 膜和 Ti/Al 多层膜的断面形貌,如图 1 所示。可以看到,薄膜与基体结合良好。纯 Al (图 1(a))和纯 Ti(图 1(b))膜均为柱状晶结构。观察 Ti/Al 多层膜的断面形貌(图 1(c)~(e)),可明显看到多层结构,表明 Ti 层和 Al 层间并未形成外延生长,Ti 层打断了 Al 层的柱状晶结构

生长。结合断面线扫描能谱结果(图 1(f)),判断图 1(c)~(e)中白的部分应为 Ti 层,黑的部分为 Al 层。图 1(f)中对应不同 Ti 层的 Ti 峰的强度差异可能是由于断面不平整所致。

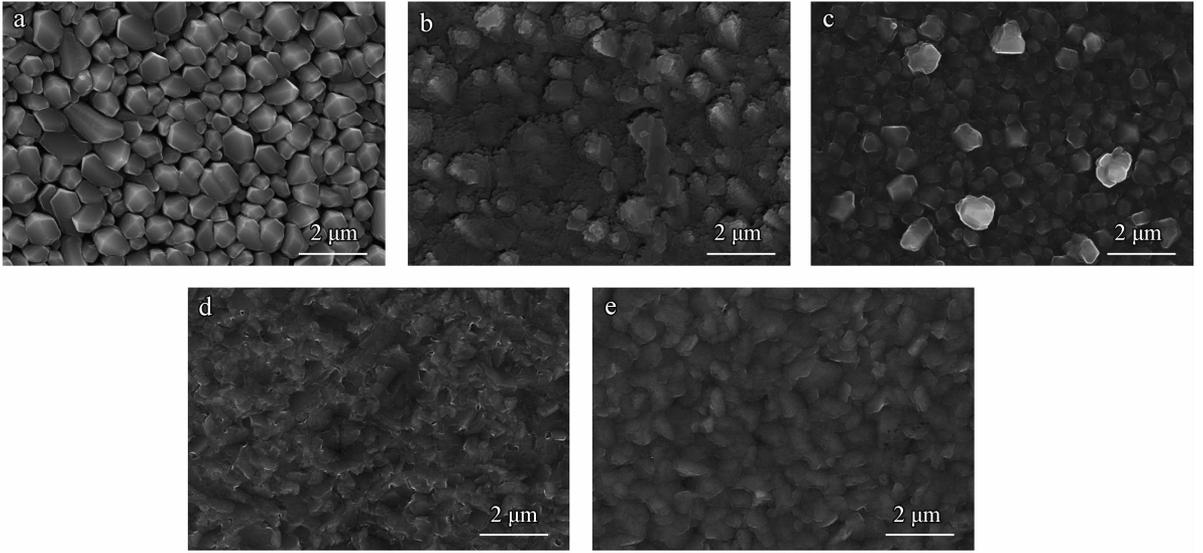
图 2 为纯 Al、纯 Ti 膜和 Ti/Al 多层膜的表面形貌,观察纯 Al 膜表面柱状晶间有明显的孔隙,纯 Ti 膜表面发现有许多凸起,随着周期数增加,薄膜表面逐渐变得致密、平整,25 周期 Ti/Al 多层膜(图 2(e))具有最平整致密的表面。这可能与柱状晶结构生长的抑制有关。



(a) Al single layer (b) Ti single layer (c) 5-period Ti/Al multilayer (d) 10-period Ti/Al multilayer (e) 25-period Ti/Al multilayer (f) EDS results of an element line-scan across the 5-period Ti/Al multilayer on the NdFeB specimens

图 1 断面形貌及断面线扫描结果

Fig. 1 SEM topographies and backscatter electron image of the cross-sections



(a) Al single layer (b) Ti single layer (c) 5-period Ti/Al multilayer (d) 10-period Ti/Al multilayer (e) 25-period Ti/Al multilayer

图2 NdFeB上纯Al、纯Ti膜和Ti/Al多层膜的表面形貌

Fig. 2 Surface micrographs of Al layer, Ti layer and Ti/Al multilayer on the NdFeB specimens

图3给出了纯Al、纯Ti膜和Ti/Al多层膜(Si(111)为基底)的XRD图谱。经标定,纯Al和纯Ti膜分别为fcc和hcp结构。对于Ti/Al多层膜,除了明显的fcc Al的衍射峰,同时检测到弱的hcp Ti(100)、(101)、(102)、(103)衍射峰,且随着周期数的增加,hcp Ti的衍射峰相对强度增加。表明多层膜中的Ti层仍为hcp结构,并未沿Al层外延生长,有效地打断了Al层fcc结构的生长。

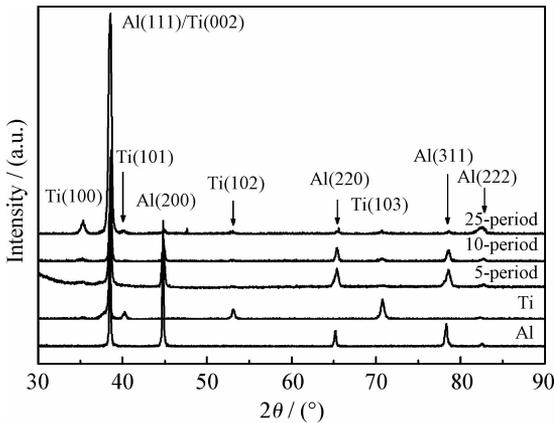


图3 Si片上纯Al、纯Ti膜和Ti/Al多层膜的XRD图谱
Fig. 3 XRD patterns of Al and Ti single layers as well as Ti/Al multilayers on the Si specimens

2.2 腐蚀性能

未镀膜NdFeB试样及各镀膜NdFeB试样在

3.5% NaCl溶液中浸泡1 h后测得的动电位极化曲线如图4所示。采用Tafel外延法对曲线进行拟合,得到各试样在3.5% NaCl溶液中的自腐蚀电位 E_{corr} 和自腐蚀电流密度 I_{corr} 列于表3。未镀膜试样的自腐蚀电流密度约为 $8.4 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$, Al/NdFeB和Ti/NdFeB试样具有相近的自腐蚀电流密度,约为 $1.9 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$,小于未镀膜试样,表明纯Al膜和纯Ti膜均能为NdFeB磁体提供一定的腐蚀防护作用。5周期Ti/Al多层膜试样的自腐蚀电流密度约为 $1.1 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$,

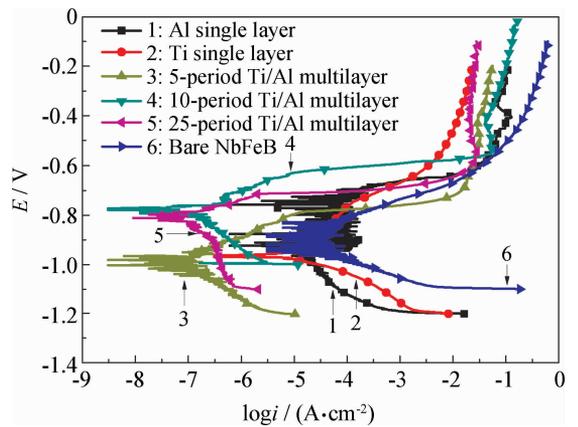


图4 镀有纯Al、纯Ti膜及Ti/Al多层膜的NdFeB试样在3.5% NaCl溶液中的动电位极化曲线

Fig. 4 Potentiodynamic polarization curves of the NdFeB specimens coated with Al and Ti single layers as well as Ti/Al multilayers in a 3.5% NaCl solution

比单一薄膜小近两个数量级,表明 Ti 层的置入提高了 Al 膜对这种快速且破坏性强腐蚀的抵抗能力。随着周期数的增加,自腐蚀电流密度进一步减小。

表 3 各试样在 3.5% NaCl 溶液中的自腐蚀电位和自腐蚀电流密度值

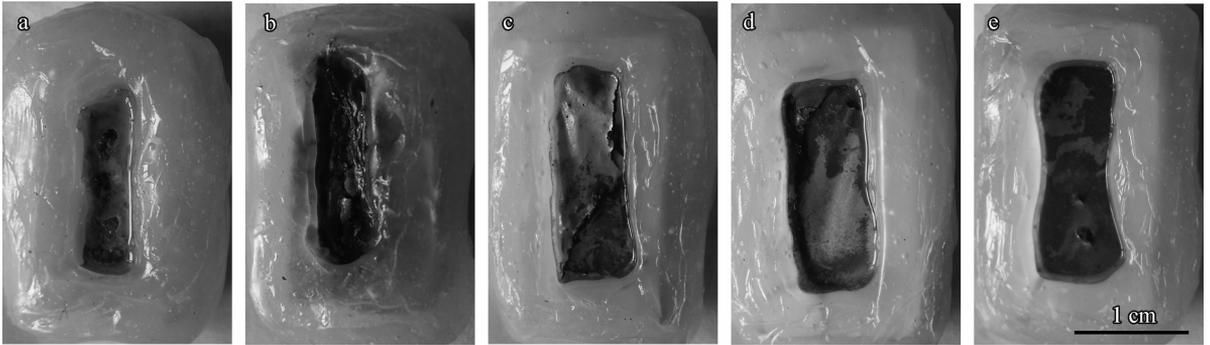
Table 3 Polarization data obtained from the NdFeB specimens coated with Al and Ti single layers as well as Ti/Al multilayers in a 3.5% NaCl solution

Coating	E_{corr}/V	$I_{corr}/(A \cdot cm^{-2})$
Bare NdFeB	-0.83	8.4×10^{-5}
Al single layer	-0.97	1.9×10^{-5}
Ti single layer	-0.96	1.8×10^{-5}
5-period Ti/Al multilayer	-0.98	1.1×10^{-7}
10-period Ti/Al multilayer	-0.77	1.1×10^{-7}
25-period Ti/Al multilayer	-0.80	7.9×10^{-8}

这种抗腐蚀能力的明显提高可能与薄膜的结构差异有关。对纯 Al 膜来说,在 NaCl 溶液中点蚀为主要的腐蚀方式,而 Al 表面柱状晶间的缺陷常易于成为点蚀开始的薄弱位置^[13,20],图 2

结果表明 Ti/Al 多层膜表面比纯 Al 膜更为致密、平整,具有更少的柱状晶间缺陷,这有利于提高薄膜的抗腐蚀能力。25 周期 Ti/Al 多层膜试样具有最平整致密的表面,从而对这种快速且破坏性强的腐蚀具有最好的抵抗力。

为进一步测试试样的耐腐蚀性能,对各试样进行中性盐雾试验(NSS)发现:3 h,纯 Ti 膜试样开始出现锈点;48 h,5 周期 Ti/Al 多层膜试样开始出现锈点;72 h,10 周期 Ti/Al 多层膜试样开始出现锈点;120 h,25 周期 Ti/Al 多层膜试样开始出现锈点;168 h,纯 Al 膜试样开始出现锈点。盐雾试验 9 天后各试样的光学图像如图 5 所示。纯 Ti 膜试样具有最差的耐蚀性;纯 Al 膜试样具有最好的耐蚀性;Ti/Al 多层膜试样的耐蚀性随着周期数增加逐渐提高,这可能是由两方面因素引起的:①表面缺陷易于成为点蚀开始的薄弱位置,随着周期数的增加,Ti/Al 多层膜的表面逐渐致密,有利于提高耐蚀性;②Ti/Al 层间界面有效抑制了贯穿薄膜的通孔,延长了腐蚀液渗透到达基底的路径,多层膜的周期数增加,较多的界面有利于耐蚀性的提高。故多层膜中表面最致密、Ti/Al 界面最多的 25 周期 Ti/Al 多层膜试样耐蚀性最好。



(a) Al single layer (b) Ti single layer (c) 5-period Ti/Al multilayer (d) 10-period Ti/Al multilayer (e) 25-period Ti/Al multilayer

图 5 中性盐雾试验 9 天后各试样的光学图像

Fig. 5 Optical images of the NdFeB specimens after 9 days of neutral salt spray test

中性盐雾试验与动电位极化曲线分析得出的结果不完全一致:①极化曲线分析得到纯 Ti 和纯 Al 膜试样的腐蚀电流密度相近,而盐雾试验中纯 Ti 膜的耐腐蚀性能明显劣于纯 Al 膜;②极化曲线结果表明 Ti/Al 多层膜的腐蚀电流密度比纯 Al 膜低,而盐雾试验中多层膜的耐腐蚀性能不如纯 Al 膜。

为分析其原因,用玻璃作为基体以避免 NdFeB 的影响。采用磁控溅射技术在玻璃上分别沉积纯 Al 和纯 Ti 膜,测定在 3.5% NaCl 溶液中开路电位(OCP)随时间的变化曲线(图 6),并与未镀膜的 NdFeB 试样进行比较。据图 6 可知,NdFeB 在 3.5% NaCl 溶液中的开路电位约为 -0.82 V,Al 和 Ti 的开路电位分别约为 -0.97、-0.15 V。

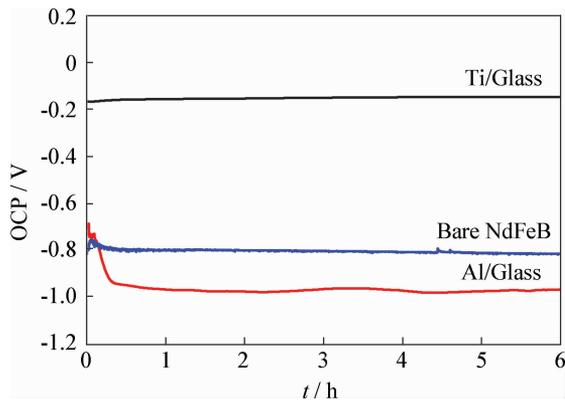


图6 NdFeB、纯Al和纯Ti膜(玻璃上)在3.5% NaCl溶液中的开路电位(OCP)随时间的变化曲线

Fig. 6 Open circuit potential (OCP) of the bare NdFeB, Al/glass, and Ti/glass specimens in a 3.5% NaCl solution

中性盐雾试验中, Ti膜对NdFeB的腐蚀保护作用劣于Al膜的原因可能与Ti膜和Al膜对NdFeB的保护机制不一样有关: Ti的电位明显高于NdFeB, 作为阴极镀层以提供NdFeB腐蚀防护作用。在中性溶液长期腐蚀情况下, 当腐蚀液通过Ti膜上的通孔缺陷渗透到基底时, Ti膜和NdFeB间形成原电池, NdFeB优先被腐蚀; Al的电位较低, Al膜能对NdFeB提供不完全的阳极保护作用^[13]。对NdFeB中的主相和富硼相, Al膜将作为牺牲阳极而优先被腐蚀, 只有当腐蚀液连通Al膜和NdFeB中少数的富钕相时, Al膜才不能提供阳极保护, 富钕相被腐蚀。而且, Ti与NdFeB各相的电位差比Al大, 与NdFeB间的原电池腐蚀更为严重, 故Ti膜对NdFeB的长期腐蚀保护作用明显劣于Al膜。

中性盐雾试验中, Ti/Al多层膜对NdFeB的长期腐蚀保护作用不如纯Al膜的原因可能有以下两方面: ①不同于标准电极电位, 在NaCl溶液中Ti和Al的电位相差较大, 长期盐雾试验过程中, 腐蚀液通过微孔缺陷渗透并连通多层膜中的Al层和Ti层, 形成原电池反而加速腐蚀。②在盐雾试验过程中, 发现Ti/Al多层膜易于破裂, 使得多层膜对NdFeB的腐蚀保护提前失效, 这可能是由于Ti层和Al层晶格失配引起多层膜应力较大导致。

3 结论

(1) Ti层和Al层间未形成外延生长, Ti层成功打断了Al层柱状晶结构的生长。Ti/Al多

层膜具有比单一Al膜更致密的表面, 且随着周期数增加, 表面越来越平整致密。

(2) 在中性溶液快速且破坏性强的腐蚀情况下, 与纯Al膜相比, 镀Ti/Al多层膜的NdFeB磁体具有更好的抗腐蚀能力, 且随着周期数增加, 抗腐蚀能力进一步提高。

(3) 在中性溶液长期腐蚀情况下, Ti/Al多层膜的耐腐蚀性能比纯Al膜差, 这可能是由Ti层和Al层间的原电池腐蚀及多层膜较大的应力共同影响所致。Ti/Al多层膜在其它腐蚀环境中对NdFeB的腐蚀保护作用有待进一步研究。

参考文献

- [1] Schultz L, El-Aziz A M, Barkleit G, et al. Corrosion behaviour of Nd-Fe-B permanent magnetic alloys [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 1999, 267(2): 307-313.
- [2] El-moneim A A, Gebert A. Electrochemical characterization of galvanically coupled single phases and nanocrystalline NdFeB-based magnets in NaCl solutions [J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2003, 33(9): 795-805.
- [3] Tokuhara K, Hirotsawa S. Corrosion resistance of Nd-Fe-B sintered magnets [J]. *Journal of Applied Physics*, 1991, 69(8): 5521-5523.
- [4] Sunada S, Majima K, Akasofu Y, et al. Corrosion assessment of Nd-Fe-B alloy with Co addition through impedance measurements [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2006, 408-412: 1373-1376.
- [5] 杜军, 张平, 赵军军, 等. NdFeB基体ZrN涂层的耐腐蚀性能 [J]. *中国表面工程*, 2009, 22(5): 40-44.
- [6] Yang X H, Li Q, Zhang S Y, et al. Electrochemical corrosion behaviors and corrosion protection properties of Ni-Co alloy coating prepared on sintered NdFeB permanent magnet [J]. *Journal of Solid State electrochemistry*, 2010, 14(9): 1601-1608.
- [7] Yang H, Mao S, Song Z. The effect of absorbed hydrogen on the corrosion behavior of sintered NdFeB magnet [J]. *Materials and Corrosion*, 2011, 62(4): 1-5.
- [8] 李潇, 施雯, 张健, 等. 非平衡磁控溅射CrTiAlN涂层的耐腐蚀性能 [J]. *中国表面工程*, 2010, 23(3): 33-37.
- [9] 吕艳红, 孔庆花, 吉利, 等. 氮气流量对中频非平衡反应磁控溅射制备CrAlN薄膜性能的影响 [J]. *中国表面工程*, 2011, 24(4): 7-12.
- [10] Reffass M, Berziou C, Rebere C, et al. Corrosion behavior of magnetron-sputtered $Al_{1-x}Mn_x$ coatings in neutral saline solution [J]. *Corrosion Science*, 2010, 52: 3615-3623.
- [11] Ku N C, Qin C D, Yu C C, et al. Corrosion resistance of NdFeB magnets coated by Al [J]. *Magnetics, IEEE*

- Transactions on, 1996, 32(5): 4407-4409.
- [12] Mitchell P. Corrosion protection of NdFeB magnets [J]. Magnetics, IEEE Transactions on, 1990, 26(5): 1933-1935.
- [13] Mao S D, Yang H X, Song Z L, et al. Corrosion behaviour of sintered NdFeB deposited with an aluminium coating [J]. Corrosion Science, 2011, 53(5): 1887-1894.
- [14] Barshilia H C, Prakash M S, Poojari A, et al. Corrosion behavior of nanolayered TiN/NbN multilayer coatings prepared by reactive direct current magnetron sputtering process [J]. Thin Solid Films, 2004, 460(1/2): 133-142.
- [15] Creus J, Top E H, Savall C, et al. Mechanical and corrosion properties of dc magnetron sputtered Al/Cr multilayers [J]. Surface and Coatings Technology, 2008, 202(16): 4047-4055.
- [16] Li C L, Wu F B, Lee J W, et al. Characteristics of Cr₂N/Cu multilayered thin films with different bilayer thickness [J]. Surface and Coatings Technology, 2009, 204: 941-946.
- [17] 李金龙, 冒守栋, 孙科沸, 等. 氮分压对钕铁硼表面直流磁控溅射沉积 AlN/Al 防护涂层结构和性能的影响 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(3): 80-83.
- [18] Chakraborty J, Kumar K, Ranjan R, et al. Thickness-dependent fcc-hcp phase transformation in polycrystalline titanium thin films [J]. Acta Materialia, 2011, 59: 2615-2623.
- [19] Ensinger W, Wolf G K. Ion-beam-assisted Coatings for Corrosion Protection Studies. Mater [J]. Materials Science and Engineering: A, 1989, 116:1-14.
- [20] Szklarska-Smialowska Z. Pitting corrosion of aluminum [J]. Corrosion Science, 1999, 41(9): 1743-1767.

作者地址: 浙江宁波市镇海区庄市大道 519 号 B202

315201

Tel: (0574) 8668 5809 (宋振纶)

E-mail: songzhenlun@nimte.ac.cn

• 学术动态 •

2012 再制造国际论坛暨中国再制造国际展览将于 9 月召开

2012 再制造国际论坛暨中国再制造国际展览将于 2012 年 9 月 19~21 日在北京国际会议中心召开。大会以再制造工程与战略性新兴产业为主题,得到国家发改委与工信部的鼎力支持。学术报告主题包括再制造业的环境利益、再制造业的节能减排新技术、再制造拆解与清洗技术、再制造损伤检测与寿命评估技术、再制造资源规划与设计技术、再制造质量控制技术、再制造加工关键技术、再制造信息化管理、再制造生态移动、电子产品再制造、再制造业的成本利益、再制造的市场认知等。

作为国内首次再制造产品专业国际展,本次展览汇聚国内外全产业链专业展商与买家,包含汽车零部件、机床、IT 设备、印刷设备、旧件供应等再制造相关内容。展会面积 1 440 平方米,精选 80 家知名展商,预计超过 1 000 多名来自亚太、北美、欧洲及中东地区的全球买家共同参与。本次展览为再制造相关企业提供同期专业论坛,帮助其掌握市场最新脉搏与政策走向。

会议在世界范围内向有关专家学者征集学术论文。录用论文收入《2012 再制造国际学术会议论文集》,部分优秀论文将发表于《中国表面工程》。请于 7 月 31 日前提交论文全文(英文),征文电子邮箱 RemanufactureForum@163.com。

参展及其他相关事宜可登录大会官方网站 www.duxes-events.com/reman 查询。

(郭伟玲 王文宇 供稿)