

镀液 pH 值和钼酸根浓度对 化学镀 Ni-Mo-P 沉积速度及镀层结构的影响

卢忠铭, 高岩, 郑志军

(华南理工大学 机械工程学院, 广州 510640)

摘要: 确定了化学镀获得不同结构 Ni-Mo-P 镀层的最佳工艺参数及镀液配方, 探讨了络合剂、pH 值、钼酸根浓度以及添加剂等参数对化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层成分及结构的影响。结果表明, 以柠檬酸钠作为主络合剂、醋酸钠作为辅助络合剂的络合剂体系对 Ni、Mo 实现共沉积有着较好的作用; Ni-Mo-P 合金镀层中 Mo 和 P 含量有一定的制约关系, 随着镀层中 Mo 含量的提高, 镀层结构由非晶态向晶态转变; 镀液 pH 值在一定范围内(pH 值 6.5~10)时, pH 值的升高可提高沉积速度; 镀液的钼酸根浓度和 pH 值对沉积速度的影响呈波浪形, 存在一个极大值; 随着沉积速度的提高, 镀层的耐蚀性能也会有所改善。

关键词: 化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层; 镀层结构; 工艺参数

中图分类号: TG115; TQ153 文献标识码: A 文章编号: 1007-9289(2005)02-0044-06

The Effect of pH Value and MoO_4^{2-} Concentration on the Plating Rate and Structure of Electroless Ni-Mo-P alloys

LU Zhong-ming, GAO Yan, ZHENG Zhi-jun

(College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640 China)

Abstract: The optimized plating bath formula and plating parameters for the electroless Ni-Mo-P alloy deposits with different structures were determined in this paper. The effect of plating parameters, such as complex agents, pH value, MoO_4^{2-} concentration and additives, on the composition and structure of the Ni-Mo-P alloy deposits was investigated. The experimental results showed that among the complex agents used, only one made from sodium citrate tribasic dihydrate ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and sodium acetate trihydrate ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) was found to be helpful to the co-deposition of Ni and Mo to get good Ni-Mo-P alloy deposits. In the Ni-Mo-P alloy deposits there was a close relation between the Mo and P contents, and the structure changed from amorphous to crystalline with the increase of the Mo content in the deposits. Within a certain range of pH value (pH 6.5~10), the plating rate increased with the pH value going up. The effect of MoO_4^{2-} concentration and pH value on the plating rate was found to present a waved form, having a maximum value. With the increase of plating rate, the corrosion resistance of the alloy deposits became better.

Key words: electroless Ni-Mo-P plating; deposit structure; plating parameters

0 引言

化学镀 Ni-P 合金镀层厚度均匀, 具有优良的耐磨、耐蚀和电磁屏蔽性能等, 因而广泛地应用于化工、机械、电子及仪器仪表等行业^[1~3]。随着科学技术的不断发展, 已有的化学镀 Ni-P 二元镀层已难以满足工业界对材料表面性能提出的越来越

高的要求, 特别是现代化学工业对防腐的要求。为进一步改善化学镀镍层的综合性能, 广泛开展了对化学镀镍多元化的研究。

将 Mo、W 等高熔点金属元素与 Ni-P 实现共沉积获得 Ni-Mo-P、Ni-W-P 合金镀层是提高镀层热稳定性和耐磨、耐蚀性能的有效方法之一^[3~6]。前人研究表明, 化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层较化学镀 Ni-P 合金镀层有着更好的耐磨、耐蚀性及更高的热稳定性, 因而在工业领域中的潜在实用价值更高。

收稿日期: 2004-11-01; 修回日期: 2002-03-07

作者简介: 卢忠铭 (1976-), 男 (壮), 广西南宁人, 助工, 硕士生。

目前,化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层工艺存在镀速低、镀层薄及镀层中 Mo 含量较低等问题^[7-8],这在很大程度上限制了化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层的实际应用。文中试验,开发出较好解决上述问题的化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层工艺,得到了镀速高、镀层厚及镀层中 Mo 含量可以控制的 Ni-Mo-P 合金镀层工艺,获得了结构由非晶态向晶态转变的不同结构 Ni-Mo-P 合金镀层的工艺影响参数,并探讨了镀层中 Mo、P 含量对镀层结构、性能等的影响。

1 试验方法

1.1 试验材料及施镀工艺

试验采用的基材为 45# 钢,加工成尺寸为 10mm×10mm×25mm 的试样,并对试样进行砂纸打磨至 800 号砂纸。

施镀工艺:经砂纸打磨后的试样→除油→酸洗→活化(1:2HCl)→施镀→取出工件→清水冲洗→干燥;每相邻工序间都用蒸馏水冲洗。

1.2 Ni-Mo-P 合金镀液基础配方

通过正交优化设计及大量试验,确定了化学镀 Ni-Mo-P 合金镀液基础配方及施镀工艺参数,如表 1 所示。

表 1 化学镀 Ni-Mo-P 合金镀液基础配方

Table 1 Optimum basic formula of Ni-Mo-P alloy plating solution

镀液成分	
硫酸镍(NiSO ₄ ·6H ₂ O)/g·L ⁻¹	25~30
钼酸钠(Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)/mol·L ⁻¹	0.8~4.8×10 ⁻³
次亚磷酸钠(NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O)/g·L ⁻¹	20~25
柠檬酸钠(Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·3H ₂ O)/g·L ⁻¹	25~35
醋酸钠(NaC ₂ H ₃ O ₂ ·3H ₂ O)/g·L ⁻¹	10~20
氟化钠(NaF)/g·L ⁻¹	适量
十二烷基硫酸钠	适量
pH 值	9.0
温度/°C	90±2

1.3 测试方法

采用金相显微镜法对不同施镀条件下的镀件进行沉积层厚度测定。每个镀件任取 3 处测镀层厚度,取平均值。然后根据施镀时间,计算出沉积速度,以 μ m/h 表示。

镀层表面形貌观察在 Philips XL-30FEG 型场发

射扫描电镜(SEM)上进行;镀层的微区成分分析在 SEM 附带的能谱仪(EDX)上进行。

镀层结构分析在 Philips X'pert MPD Pro 型 X 射线衍射仪(XRD)上进行,采用 CuK_α 辐射。

镀层极化曲线的测试在 ECO Chemie 公司生产的 AUTOLAB PGSTAT30 上进行,并采用饱和甘汞电池作参比电极,石墨作对电极,扫描速度为 2 mV/s。

2 试验结果与讨论

试验在讨论镀液组分、施镀条件等对镀层的影响时,以表 1 配方为镀液基础,固定不予讨论的组分,单独改变所讨论的组分而获得相应的试验数据,以减少试验的复杂性。

2.1 络合剂及其它添加剂对镀层的影响

在化学镀合金化元素中,除少量钴、硼等能单独直接沉积外,大部分合金化元素(如钒、铜、钨、钼等)在以次亚磷酸盐为还原剂的镀液中难以单独沉积,而只与镍发生共沉积。与电沉积中的诱导共沉积相类似,合金化元素能与 Ni-P 发生共沉积主要是由于镍的还原沉积而诱导的^[5]。从化学镀热力学角度考虑,要实现两种金属元素的共沉积,其平衡电位必须相等或相近。对于标准电极电位不等的元素可通过如下方法使其析出电位接近:一是改变两种金属离子在镀液中的活度(此方法用于标准电极电位较相近的元素);二是添加络合剂来改变各离子的自然电位而使其析出电位接近,此法同时也改变了镀液中的离子活度。

试验在化学镀 Ni-Mo-P 合金镀液中加入络合剂的目的是改变各离子的自然电位,使 Ni 和 Mo 实现共沉积;同时提高镀浴工作的 pH 值,以提高镀层沉积速度。通过大量试验发现,采用以柠檬酸钠作为主络合剂、醋酸钠作辅助络合剂的镀液,能很好地满足化学镀 Ni-Mo-P 合金共沉积的需要。

在化学镀 Ni-Mo-P 合金过程中,镀液中的每一种成分都发挥着重要作用。作为表面活性剂的十二烷基硫酸钠,可以促进氢的逸出而达到减少镀层针孔的目的;作为导电盐的氟化钠^[9]不仅可以抑制共沉积时 H₂ 的析出,而且可以改善镀层表面偶尔形成的黑色条纹。

2.2 钼酸根(MoO₄²⁻)浓度对沉积速度及镀层结构的影响

镀层性能的优劣取决于镀层的成分及结构,而寻找工艺组成与镀层成分及镀层结构间的关系,是化学镀研究的基本目的。图 1 为镀液中钼酸根浓度对镀层沉积速度的影响;图 2 为钼酸根浓度对 Ni-Mo-P 镀层结构的影响(XRD 图)。将钼酸根浓度与对应的 Ni-Mo-P 镀层结构及镀层中 Mo、P 元素含量综合如表 2 所示。

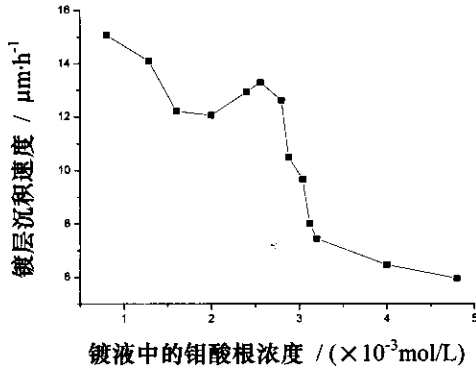


图 1 钼酸根浓度对沉积速度的影响

Fig.1 The variation of plating rate with the concentration of the MoO_4^{2-}

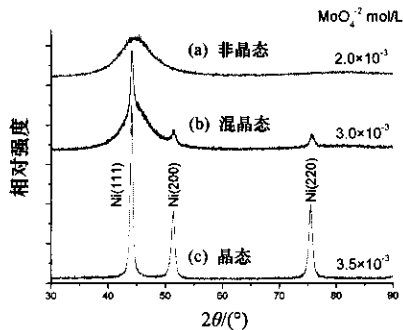


图 2 钼酸根浓度对 Ni-Mo-P 镀层结构的影响

Fig.2 The variation of alloys structure with concentration of MoO_4^{2-}

从图 1 看出,镀液钼酸根浓度对镀层沉积速度的影响并不呈严格的单调性,而是随着钼酸根浓度的提高,在镀层沉积速度整体趋于降低的前提下,存在一个极值(钼酸根浓度约为 0.0026 mol/L 时,沉积速度可达 $13.3 \mu\text{m/h}$),而后随着钼酸根浓度的提高沉积速度呈单调下降。

从图 2 和表 2 可看出,镀层中钼的含量随着钼酸根浓度的增加而单调增加(镀层中的钼、磷含量存在着一定的制约关系)。当镀层的 $w(\text{Mo})$ 为 12.42%

时,分别在 Ni(111), Ni(200)和 Ni(220)处出现了尖锐的衍射峰,表明此时 Ni-Mo-P 镀层为晶态结构。当镀层中的 $w(\text{Mo})$ 为 3.07% 时,其 $2\theta \approx 45^\circ$ 附近衍射峰呈明显对称分布的“馒头”状,表明此时镀层结构为非晶态结构。在晶态结构和非晶态结构之间存在着混晶态结构,此时镀层的 $w(\text{Mo})$ 为 8.81% ,其 XRD 图呈现出晶态结构与非晶态结构的叠加结构,其中的 (111) 衍射峰是一个较尖锐的衍射峰叠加在漫散的背底峰上,尖锐的衍射峰来自镀层中晶态镍的 (111) 面衍射,漫散的背底峰来自镀层中的非晶态基体;晶态 Ni 的 (200) 和 (220) 衍射峰清晰可见,因此判定其组织为晶态镍与非晶态镍的混合组织(这里称为混晶态结构)。

表 2 钼酸根浓度与 Ni-Mo-P 镀层结构及镀层中 Mo、P 含量的对应表

Table 2 The MoO_4^{2-} concentration and its corresponding structure and Mo, P contents in plating layer

镀层编号	钼酸根浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	镀层结构	镀层成分 $w/\%$	
			Mo	P
a	2.0×10^{-3}	非晶态	3.07	11.25
b	3.0×10^{-3}	混晶态	8.81	6.68
c	3.5×10^{-3}	晶态	12.42	1.00

图 3 给出了晶态结构、混晶态结构和非晶态结构镀层的 SEM 表面微观形貌图。可以看到镀层结构由晶态的颗粒状结构向非晶态的胞状结构的逐渐过渡的变化特征。

综上所述,化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层的结构与镀层成分有着密切联系,随着镀层中 Mo 含量的增加,磷含量降低,镀层结构由非晶态向晶态转变。

2.3 镀液 pH 值对镀层沉积速度和镀层结构的影响

镀液 pH 值对沉积速度的影响如图 4 所示, pH 值对 Ni-Mo-P 镀层结构的影响如图 5 (XRD 图)。表 3 为 pH 值与 Ni-Mo-P 镀层结构及镀层中 Mo、P 含量的对应表。

从图 4 中可以看出,在以柠檬酸钠和醋酸钠作为络合剂的镀液中,当镀液 pH 值小于 6.50 时沉积速度为 0,即此时不发生沉积反应;在一定范围 (pH 值 < 10) 内,随着镀液 pH 值的升高,镀层沉积速度提高;当 pH 值 > 10 后,沉积速度开始降低,镀液

并会随着 pH 值的进一步升高而发生分解。出现上述这种镀层沉积速度随镀液 pH 值而变化的原因可

能是由于 pH 值对 Ni、Mo 共沉积析出电位影响较大而造成的。

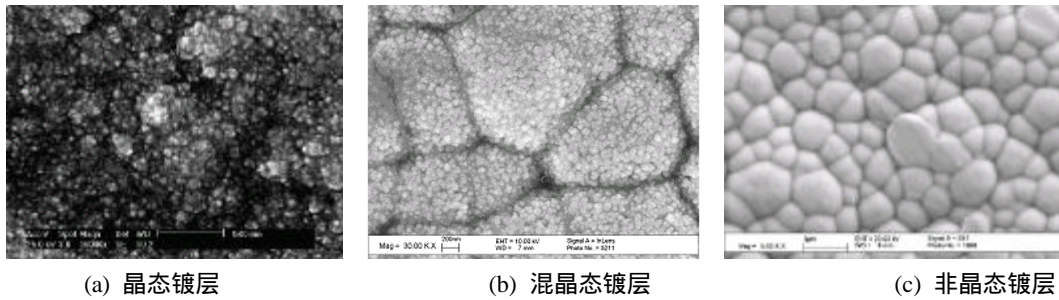


图 3 3 种不同结构 Ni-Mo-P 镀层的 SEM 表面微观形貌图

Table 3 SEM surface morphology of Ni-Mo-P plating layer (a) crystalline state (b) mix-crystalline state (c) amorphous state

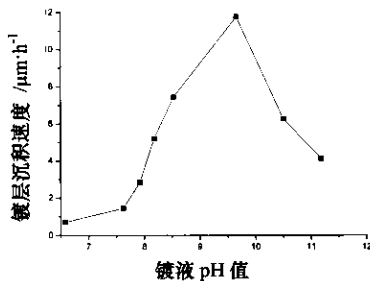


图 4 镀液 pH 值对沉积速度的影响

Fig.4 The variation of plating rate with the pH value of plating solution

从图 5 和表 3 可以看出，与化学镀 Ni-W-P 体

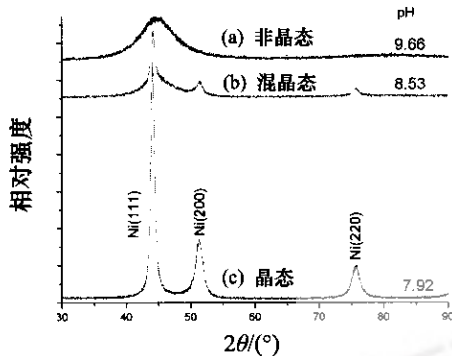


图 5 pH 值对 Ni-Mo-P 镀层结构的影响

Fig.5 The variation of alloys structure with the pH value of plating solution

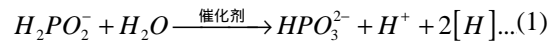
表 3 镀液 pH 值与 Ni-Mo-P 镀层结构及镀层中 Mo、P 含量的对应表

Table 3 The pH value of plating solution and its corresponding structure and Mo, P contents in plating layer

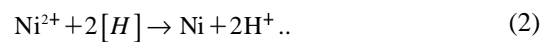
镀层编号	镀液 pH 值	镀层结构	镀层成分 w/%	
			Mo	P
a	9.66	非晶态	5.96	9.85
b	8.53	混晶态	11.06	2.61
c	7.92	晶态	13.01	0.78

系不同^[10]，随着镀液 pH 值的升高，镀层中钼的含量降低，而磷含量升高，镀层结构由晶态向非晶态转变。

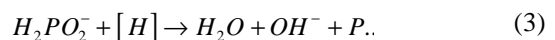
在化学镀 Ni-Mo-P 体系共沉积过程中，有如下反应发生：



析出的一部分[H]将 Ni²⁺还原为 Ni:



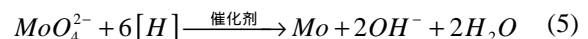
一部分[H]将 H₂PO₂⁻还原，析出 P:



一部分[H]相互结合，析出 H₂:



由于镀液中 MoO₄²⁻的存在，将会有部分[H]用于 MoO₄²⁻的还原，而析出 Mo:



由上述几个反应式可看出，在碱性溶液中，不利于(3)和(5)反应式向右进行；另一方面，从(3)式及(5)式中也可看出，在析出一个 Mo 原子的过程中比析出一个 P 原子的过程多形成了一个 OH⁻，可见 pH 值对于 Mo 析出的影响较 P 的大。当用于还原 H₂PO₂⁻的[H]多了，则用于还原 MoO₄²⁻的[H]就会减少，这也就导致了镀层中 Mo 和 P 含量有着互相制约的关系，这点可从表 2 和表 3 所给出的镀层中的 Mo、P 含量上得到进一步证实。

2.4 镀层沉积速度对镀层结构以及耐蚀性能等的影响

图 6 给出了不同沉积速度获得的 Ni-Mo-P 镀

层在 0.5M H₂SO₄ 中的阳极极化曲线, 表 4 为其相应镀层在 0.5M H₂SO₄ 中的腐蚀电位、腐蚀电流密度及其极化电阻。从图 6 和表 4 中可以看出, 随着沉积速度的提高, 镀层结构由晶态向非晶态转变, 镀层耐蚀性能也相应提高。

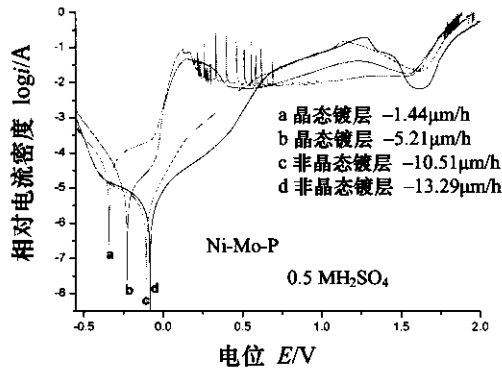


图 6 不同沉积速度获得的 Ni-Mo-P 镀层在 0.5M H₂SO₄ 中的阳极极化曲线

Fig.6 Anodic polarization curves of the as-plated Ni-Mo-P alloy in 0.5M H₂SO₄ solution

表 4 镀态 Ni-Mo-P 合金镀层在 0.5M H₂SO₄ 中的腐蚀电位、腐蚀电流密度及其极化电阻

Table 4 Corrosion potential E_{corr} , corrosion current density i_{corr} and polarization resistance R_p for the as-plated Ni-Mo-P deposits in 0.5 M H₂SO₄ solution

镀层编号	镀层沉积速度/(μ m/h)	E_{corr} /mV	i_{corr} / μ A/cm ²	R_p / Ω /cm ²
a	1.44	-341	40.83	303.5
b	5.21	-227	6.284	903.4
c	10.51	-108	2.01	3097
d	13.29	-83	1.908	3902

综合文中前述可知, 沉积速度的提高往往伴随着 Mo 含量的降低及 P 含量的提高, 镀层结构由晶态向非晶态转变。一般理论认为, 非晶态镀层有着较晶态镀层更好的耐蚀性能, 这是由于: ① 非晶态结构的化学镀合金镀层没有晶界、位错、层错及成分偏析等现象, 且结构均匀微孔少, 难以在腐蚀介质中形成腐蚀微电池; ② 镀层中含有类金属元素 P, 能促使镀层在酸性介质中形成致密的钝化膜, 且结构均匀、致密, 不溶于硫酸溶液, 具有较好的保护作用。此效应随着 P 含量的增加而提高; ③ 镀

层中一定量 P 的引入, 使镀层在腐蚀介质中的腐蚀电位变正, 且腐蚀电位随 P 含量的提高而提高, 并使镀层在腐蚀介质中保持稳定。另一方面, 也可以认为镀层沉积速度的提高有利于提高镀层的致密度, 这将有助于镀层耐蚀性能的提高。

3 结论

(1) 以柠檬酸钠和醋酸钠作为络合剂的化学镀 Ni-Mo-P 镀液可较好地实现 Ni 和 Mo 共沉积, 适量添加剂的加入可明显改善镀层外观。

(2) 镀液的钼酸根(MoO₄²⁻)浓度对于镀层沉积速度和结构有着很大影响。从大的趋势上看, 随着钼酸根浓度的提高, 镀层的沉积速度下降, 镀层结构由非晶态向晶态转变。

(3) 随着镀液 pH 值的提高 (pH6.5~10), 镀层沉积速度会相应提高, 而镀层结构由晶态向非晶态转变。

(4) 随着镀层沉积速度的提高, 镀层结构由晶态向非晶态转变, 镀层耐蚀性能有所提高。

(5) 化学镀 Ni-Mo-P 合金镀层中的 Mo 和 P 含量有着一定的制约关系, 随着镀层中 Mo 含量的提高, P 含量将有所降低, 镀层结构由非晶态向晶态转变。为获得较高沉积速度的高 Mo 含量镀层, 在提高钼酸根浓度的同时, 应将镀液 pH 值控制在 9~10 之间, 同时络合剂也需作出相应的调整。

参考文献:

- [1] 白栓堂. 化学镀镍合金及电子工业中的应用 [J]. 电镀与环保, 1999, 19(5):7-9.
- [2] J Okado, M Shima, I R McColl, et al. Ni-P and Mo: an excellent fretting wear resistant combination [J]. Wear, 225-229 (1999):749-757.
- [3] 张刚, 陆柱. 热处理对化学镀 Ni-Mo-P 合金耐蚀性能的影响及其机理 [J]. 华东理工大学学报, 1994, 20(3): 373-377.
- [4] 闫洪. 化学沉积 Ni-Mo-P 合金结构和耐蚀性的关系 [J]. 化工机械, 1994, 21(2):98-100.
- [5] 张翼, 刘长海, 王娅莉. 化学镀非晶 Ni-P/Ni-Mo-P 合金形成机理 [J]. 表面技术, 2003, 32(2):50-52.
- [6] Y Gao, Z J Zheng, M Zhu, et al. Corrosion resistance

- of electrolessly deposited Ni-P and Ni-W-P alloys with various structures [J]. Materials Science and Engineering A, 2004,381:98-103.
- [7] 谭风玲, 姜秉元. 化学沉积 Ni-Mo-P 合金工艺参数对性能的影响 [J]. 材料开发与应用, 2001,16(6): 26-28.
- [8] 张翼, 林玉娟, 方永奎. 化学镀非晶 Ni-Mo-P 与 Ni-P 镀层性能的对比 [J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(4):103-105.
- [9] C N Tharamani, Noor Shahina Begum, S. M. Mayanna. Electroless deposition and characterization of Cr-P alloys [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004,83: 278-283.
- [10] 郑志军, 高岩. 化学镀 Ni-W-P 纳米晶镀层工艺 [J]. 材料保护, 2004, 37(3):22-24.

作者地址: 华南理工大学机械工程学院 02 级硕 510640
Tel: (0)13539932850 E-mail: scutlzm@163.com

• 学术动态 •

可持续制造国际会议将于 10 月在上海举行

为了推动可持续制造在国内的发展及促进国内外的合作, 2005 年 10 月 12-15 日将在上海召开主题为发展可持续制造、构建循环经济的“可持续制造国际会议”。可持续发展已成为国际社会的共识。“4R”战略(Reduce 减量化, Reuse 再利用, Recycle 再循环, Remanufacture 再制造)是可持续发展的基础, 也是构建循环经济和节约型社会的基本手段。本次会议由中国、美国、德国自然科学基金会联合资助, 由中国机械工程学会主办, 装备再制造技术国防科技重点实验室和上海交通大学承办。会议的主要论题包括: 可持续设计、寿命周期技术和寿命周期评估、全寿命周期检测与维修、逆向物流与拆解、循环经济中的 4R、可持续制造中的高新技术(信息、微纳米、生物技术)及可持续制造的教育与传播。本次会议广泛邀请了可持续制造领域的国内外专家, 其中国外学者近 40 名, 国内两院院士 10 余位。

详细情况请访问会议网站([http:// icsm.sjtu.edu.cn](http://icsm.sjtu.edu.cn))或通过以下电子邮件地址与组委会联系: trib@sjtu.edu.cn。(王海斗)

• 学术动态 •

关于召开“推进高新技术发展与应用, 提高装备与设备维修保养能力研讨会”的通知

随着以信息技术为核心的高科技群的发展与应用, 在维修保养领域出现了许多新理论、新技术, 对加快维修保养科技进步和提高维修保养综合效能起到了关键作用。为积极应对国际国内维修领域高新技术的发展趋势, 深入研讨最新维修保养理论, 交流先进维修技术及其应用, 总结维修保养方法、手段及经验, 提升维修保养能力, 为主管部门提供决策咨询信息, 由总装备部装备维修工程技术专业组等七个单位联合发起, 于 2005 年 5 月 29 日至 6 月 1 日在大连召开“推进高新技术发展与应用, 提高装备与设备维修保养能力”研讨会。会议将邀请本领域知名院士、专家作大会特邀报告; 安排军队与地方知名专家做大会发言, 并正式出版论文集。大会主题: 推进推进高新技术发展与应用, 提高装备与设备维修保养能力。主办单位: 总装备部装备维修工程技术专业组、中国兵工学会维修专业委员会、中国兵工学会装备保障专业委员会、中国工程机械学会维修工程分会、中国设备管理协会再制造技术委员会、中国设备管理协会工程机械维修委员会和装备再制造技术国防科技重点实验室。支持单位: 国防科技大学、海军工程大学、空军工程大学、二炮工程学院、军械工程学院、装甲兵工程学院、海军航空工程学院、全军装备维修表面工程研究中心和《中国表面工程》杂志。

大会组织机构 名誉主席: 温熙森 大会主席: 徐滨士 副主席: 高金吉 吴玉金 黄金元 石来德 许毅达 陈玉平 李怡厚 组织委员会主任: 马世宁 副主任: 黄益嘉 冉懋雄 游光荣 刘德刚。学术委员会主任: 黄先祥 副主任: 杜彦良 李葆文 杨宏伟 贾希胜。秘书处秘书长: 李长青 副秘书长: 陈鹏 徐绪森 杨学强

会议时间、地点及收费: 2005 年 5 月 29 日报到, 5 月 30 日~6 月 1 日正式会议; 大连白云山庄酒店(大连市西岗区傅家庄华泰街 68 号); 会议注册费: 1000 元/人; 军人代表: 800 元/人; 学生(凭有效学生证件): 500 元/人。食宿费用自理, 请与代表自行前往会议地点。

新技术展示: 为便于装备维修保养新技术、新工艺、新产品的交流, 大会委托中国工程机械学会维修工程分会维修信息专业委员会负责新技术展示工作。

技术展示联系方式: 13552259968, 010-68365248 刘昊
大会联系方式:

装甲兵工程学院装备表面工程研究所 路凤芝
0201-718873(军) 010-66718873(地方)

总装备部装备维修工程技术专业组 何嘉武
0201-718875(军) 010-66718875(地方)

通讯地址: 北京市丰台区杜家坎 21 号 100072

传真: 0201-718874(军) 010-66718874(地方)

(李长青)