



项目批准号	50371023
申请代码	E011001
归口管理部门	
收件日期	

国家自然科学基金 资助项目结题报告

资助类别： 面上项目

亚类说明： 自由申请项目

附注说明： _____

项目名称： 稀土金属介入化学沉积钴基软磁薄膜的研究

负责人： 宣天鹏 电话： 0551-2901361

电子邮件： xtpxm@mail.hf.ah.cn

依托单位： 合肥工业大学

联系人： 汪俊 电话： 0551-2901115

资助金额： 26(万元) 累计拨款： 26.0000 (万元)

执行年限： 2004.01-2006.12

填表日期：2007年2月3日

国家自然科学基金委员会制（2004年11月）



关于填报《国家自然科学基金资助项目结题报告》的说明

一. 国家自然科学基金资助项目结束后,项目负责人须按要求认真填报《国家自然科学基金资助项目结题报告》(简称《结题报告》),以此作为资助项目研究工作的重要档案,并作为项目验收和评估的主要依据。

二. 项目负责人及其合作者应认真阅读自然科学基金资助项目和财务管理的有关规定、办法(查阅 <http://www.nsf.gov.cn>),在项目研究工作的基础上,实事求是地撰写《结题报告》并提供必要的附件材料,保证填报内容真实、数据准确。

三. 项目依托单位按规定要求认真审查,确保材料齐全,在次年申请项目时将电子文档和一份纸质文档统一报送国家自然科学基金委员会。

四. 国家自然科学基金委员会负责跟踪和管理结题项目的成果,根据情况在2-3年后对项目执行情况进行评估。请项目负责人在结题后三年内继续提供项目研究后期正式发表或公布的成果,一并存档并作为项目管理和评估的依据。

五. 《结题报告》由报告正文、研究成果目录表、统计数据表、审核意见表、经费决算表和附件等部分组成,有关格式和撰写说明详见“《结题报告》报告正文撰写提纲”。

六. 研究结束后,项目(课题)负责人应会同依托单位财务部门清理账目,根据批准的预算经费,如实编报资助项目(课题)经费决算,逐项列出单项固定资产超过5万元的名称及使用情况说明,争取其他渠道经费情况等。须对项目经费的收、支、余情况作出总体的文字说明,当经费支出与经费预算相差较大时,需要着重说明;拨入经费与预算经费不相等时,需要特别说明。合作经费要按照合作单位经费实际开支内容并入《经费决算表》的各类开支科目。

经费决算表(重大项目除外)的书面材料由依托单位科研管理部门、财务部门审核签署意见后存档备查。

重大项目按照《国家自然科学基金项目资助经费管理办法》第二十一条编报决算,向自然科学基金会同时报送书面材料与电子文档。

国家自然科学基金强调科学道德和良好的学风,反对弄虚作假和浮躁作风,要求认真工作、填报材料实事求是。基础研究允许探索和失败,特别是面上项目,关键看工作状况和发展态势。如有这种情况,也请在报告中实事求是地反映出来。



国家自然科学基金资助项目《结题报告》撰写提纲与说明

基金资助项目《结题报告》总体结构上分为：1) 报告正文、2) 成果目录表、3) 成果数据统计表、4) 项目负责人签字及部门审核意见表、5) 附件材料，请项目负责人参照以下提纲及其说明认真撰写，并可根据需要自行增设栏目或补充必要的图表。

《结题报告》要求全面地反映资助项目的工作情况和研究进展，如实地体现资助项目的研究计划要点、执行情况、主要进展与成果、人才培养、合作交流、经费使用以及研究计划调整等情况，重点描述研究进展与重要的研究成果。请精心撰写并认真核对，确保“内容真实、数据准确”。

在撰写风格上请注意“重点突出，语言精练、准确”，做到“结构合理，层次分明，标题突出，条目清晰”，必要的地方可图表、图文并茂。

《结题报告》撰写完毕后，请删除不再需要保留的说明，如填表说明等，使最终的版面更加简洁、美观、大方。

一、报告正文。参照提纲格式自由撰写，并可以根据需要分解或增设栏目。要求层次分明、条目清晰、内容准确。主要栏目为：

- 1、摘要，关键词，abstract，keywords。以深入浅出的语言简明扼要地概括出项目的精华，如背景、方向、主要内容、重要结果、关键数据及其科学意义等。关键词和 keywords 各不超过 5 个，并用分号隔开。
- 2、研究计划要点及执行情况概述。是否按计划进行，哪些内容作了必要的调整和变动，哪些研究内容未按计划进行，原因何在。
- 3、研究工作主要进展和所取得的成果。本部分内容是《结题报告》的核心部分，也是基金资助项目中最有学术价值和可供其它研究者进一步研究的基础，要求项目负责人和承担者实事求是地认真撰写，包括代表性成果介绍，说明其水平和影响，并简要阐述其科学意义或应用前景等。视情提供必要的国内外动态和研究成果的比较，必要的参考文献出处等。

对重要的研究进展或成果，请尽可能“一事一议”，分段撰写，以便今后成果展示或管理汇报时可以整段地剪贴引用。

对在后面成果目录表及统计数据表中的一些内容，如国际学术奖、数据库、软件等，应在本部分中具体地描述。

最后，根据个人的实际贡献等，概述本项目研究人员的合作与分工，列出项目执行期间主要研究人员和中途调离、退出的研究人员的名单，并简要说明原因。

- 4、国内外学术合作交流与人才培养情况（如无，可以不写）。

组织国内外学术活动的情况，包括会议主题、内容、规模、时间、地点、效果等。

国际会议大会特邀报告及参加组委会情况等，请提供邀请信等必要的复印件。



研究生培养情况,列出研究生姓名、研究方向、论文题目、导师姓名、已答辩或预计答辩的年月。

促进研究成果的传播、应用情况,包括科普等。

5、存在的问题、建议及其他需要说明的情况。包括项目研究工作中的难点和经验,本项目研究是否达到预期目标,如未达到,请分析原因和可能的解决途径。今后进一步研究的建议和设想。

注:基础研究具有一定的探索性,研究过程中的结果、不成功的试验以及不理想的结果都可能具有参考价值,即使失败的经验也是有价值的。如有此类情况,请具体描述研究过程,列出试验条件、现象等要点,其目的是总结经验,使其他研究者少走弯路。

二、研究成果目录和数据统计表。

为了规范管理,获得准确的统计数据,如实反映自然科学基金资助项目的研究成果,要求数据必须准确并保证几个表的数据相对应、一致。

成果类型分为“获奖、专利、专著、期刊论文、会议论文、其他”六大类,请归类集中填写,逐类单独编号;未标注“国家自然科学基金资助及批准号”的论文排在相应类别的后面,无正式录用证明的论文暂不列入,表格不够可自行增加;成果名称栏目填写论文题目或专利或奖励名称;主要完成人根据作者或获奖人实际情况按顺序填写,并在论文通讯作者后加*标注;成果说明栏目分别按以下格式填写:

- 1) 期刊论文按“全部作者,论文题目,刊物名称.卷(期).起-止页码,年月(SCI,EI,ISTP,ISR收录,如是该类杂志)”格式填写说明;
- 2) 会议论文按“国际/国内,特邀报告/口头报告/墙报展示,全部作者,论文题目,会议名称,时间,地点”格式填写说明;
- 3) 专著按“全部作者,书名、出版社,出版时间,字数,发行量”格式填写说明;
- 4) 专利按“获准专利国别,类别,专利号,获专利时间”格式填写说明;
- 5) 获奖按“授奖单位,授奖时间,奖励名称,等级”格式填写说明。
- 6) 其他,根据实际情况填写并做必要的说明。

是否标注“国家自然科学基金资助及项目编号”的情况,请根据实际情况在标注栏中说明;选项为 标注资助号, 未标资助号, 空白(表示什么也没标)。被SCI或EI、ISTP、ISR收录的,除注明是否标注国家自然科学基金资助外,尚需加填SCI或EI等缩写词;

三、附件材料,随纸制结题报告,提供所要求和其他必要的材料。

1. 提供不超过6篇代表性论著的原件或复印件,其余论著提供首页和有标注国家自然科学基金项目资助页的复印件,研究生学位论文提供封面复印件。装订顺序须与研究论著目录中的排序一致;
2. 已录用的稿件除首页和标注页之外,须附编辑部录用证明的复印件;
3. 大会特邀报告须提供邀请函以及会议文集有关目录的复印件;
4. 研究成果附件(科学技术鉴定证明书、奖励证书、专利证书的复印件),装订顺序须与研究成果目录中的排序一致。



项目摘要

中文摘要(500字以内)：

确定了能与不同稀土金属在化学沉积 Co-Fe-B 和 Co-Ni-B 等钴基软磁合金薄膜溶液中形成稳定络合物的双络合剂酒石酸钠和乙二胺，以及能介入钴基软磁合金化学沉积，有效改善镀液工艺性能和镀层功能特性的稀土金属。通过有机配体的络合作用及过渡族金属的欠电位还原作用（诱导机制），可使稀土元素析出电位正移，实现了稀土元素与钴基合金的化学共沉积，形成含稀土的化学沉积钴基合金镀层。稀土提高了合金的沉积速度、镀液稳定性、静止电位，降低了极化度。稀土还改善了组织结构，提高了镀层的显微硬度、耐磨性，饱和磁化强度、初始磁导率和最大磁导率，降低了剩余磁化强度和矫顽力。超声波和磁场促进了金属离子的还原吸附，提高了合金的沉积速度，降低了类金属硼和磷的含量，同时改善了镀层的结构和磁性等。获得了具有良好的耐磨性、软磁特性和热稳定性等化学沉积稀土钴基软磁薄膜的形成规律、影响因素和工艺条件。为化学沉积稀土钴基软磁薄膜的工业化应用提供可靠的试验数据和实用的工艺方法，为其它具有特殊性能要求的电化学沉积稀土镀种的研究与开发奠定坚实的理论基础。

关键词(不超过 5 个，用分号分开)：稀土金属；化学镀钴；软磁材料

Abstract(limited to 500 words)：

Two chemicals sodium tartrate and ethylenediamine were determined as double complexing agents to form stable complex compound with various rare earth metals in the solution of electroless cobalt-based soft magnetic alloy such as Co-Fe-B and Co-Ni-B. And the rare earth metals, which co-deposited with cobalt-based soft magnetic alloy and improved the solution technological properties as well as the alloy functional characteristics effectively, were also determined. The co-deposition of rare earth elements and cobalt-based alloy was realized because of a positive shift of rare earth metal deposition potentials due to effects of organic ligands coordination and underpotential reduction of transition metals (inducement mechanism), and electroless cobalt-based alloys containing rare earth metal were obtained. Rare earth elements enhanced deposition rate of the alloy, solution stability, rest potential, and decreased the polarization. The structure of the alloy was also improved. Besides, the microhardness, wear resistance, the saturation magnetization intensity, initial permeability, maximum permeability of the alloy coating were increased. Remanent magnetization and the coercivity were reduced. The involvement of ultrasonic wave and magnetic field promoted reducing adsorption of metal ions, which increased deposition rate of the alloy and reduced the content of metalloid (B, P) in the alloy, and improved the structure of the alloy as well as its magnetic properties. The formation mechanism, influencing factors and technical conditions of the electroless cobalt-based soft magnetic coatings containing rare earth elements with excellent wear resistance, soft magnetic characteristics and thermal stability were observed. The credible experimental data and practical process were supplied for industrial application of electroless cobalt-based soft magnetic coating containing rare earth elements. And the theoretical foundation for further research and development of other electroplating rare earth alloy demanding special properties was established.

Keywords(limited to 5 keywords, separated by;) : rare earth metals, electroless cobalt, soft magnetic materials



报告正文

1. 研究计划要点及执行情况

1.1 研究计划要点

- 1.1.1 确定能与 Ce、La、Tb、Gd 和 Y 等不同稀土金属在化学沉积 Co-Ni-B 和 Co-Fe-B 等钴基软磁合金薄膜溶液中形成稳定络合物的络合剂，考察稀土金属对化学沉积钴基镀液极化度和极化电位等电化学性质的影响，确定并优化稀土金属和钴基化学共沉积的工艺参数和条件。研究了稀土与 Ni、Fe 等过渡族元素在化学沉积条件下与钴基合金的相互关系和作用机制。
- 1.1.2 考察稀土对薄膜化学成分的影响；常态、超声波和磁场等施镀条件下化学沉积稀土钴基软磁薄膜的平整性、均匀性、晶体结构和功能特性。
- 1.1.3 研究在镀态、普通热处理和磁场热处理条件下，化学沉积稀土钴基软磁薄膜的表面形貌、化学成分、组织结构、非晶态薄膜的结构弛豫等与薄膜显微硬度、耐磨性、高频特性、热稳定性和软磁性的关系，建立数据库软件。提出稀土金属种类和添加量与工艺方法影响化学沉积稀土钴基软磁薄膜化学成分、组织结构和功能特性的科学依据。

1.2 执行情况

在项目执行期限内，严格按照研究计划和年度研究进度内容进行研究，申报书和计划任务书的研究内容都得到了落实，并取得预期的效果，研究的内容和目标等未作任何调整与变动。

2. 研究工作主要进展和所取得的成果

2.1 含稀土化学沉积 Co-Ni-B 和 Co-Fe-B 工艺配方

2.1.1 双络合剂的确定

针对化学沉积 Co 基合金镀层最大的问题是镀液的稳定性较差，沉积速度慢。稀土金属的电极电位较负（约为 -2.40V），很难直接从水溶液里发生电化学沉积析出的问题，项目组从配位原子数、对 Co^{2+} 和 Ni^{2+} 等中心离子的特征配位数、 Co^{2+} 和 Ni^{2+} 等中心离子与配位体的极化情况、配位键功能、溶解度和反应活性等角度出发，确定能与稀土和 Co、Ni、Fe 等形成稳定络合物的双络合剂酒石酸钠和乙二胺，消除了单络合剂化学镀 Co 合金镀液工艺性能差，难以形成镀层的现象。

化学沉积工艺的核心问题是络合剂的选用及其搭配关系，使之既稳定又能保持一定的镀速和较长的循环周期，进一步还涉及到镀层的性能。酒石酸钠和乙二胺均为双啮络合剂，可形成螯合物，具有很强的配位能力。酒石酸根具有两只“螯形手”的结构，可以作为桥联基体同时与两个金属离子螯合，使它不仅具有很强的络合能力，还具有特殊功能。乙二胺有两个配位体 N 原子，可形成 7 个螯合多元环，其配体在电极上具有一定的吸附作用，有很强的活性，可以获得光亮的镀层。

2.1.2 稀土提高了 Co 基合金稳定电位，降低了极化度

图 1 是稀土对化学沉积 Co-Ni-B 合金的阴极极化的影响，有无稀土镀层的析出电位分别为 -0.66 和 -0.74V，含稀土极化曲线比较陡峭，电位正移，极化度也减小，过电位增大，反应容易进行，沉积速度得到提高。两种合金的循环伏安曲线也证明了出现了还原峰，发生了稀土金属共沉积；含稀土还原峰更强，还原电位正移，表明稀土 Ce 提高了合金共沉积的能力。

图 2 是 Ce 含量对化学沉积 Co-Ni-B 合金沉积速度的影响。随着 Ce 含量的增加，沉积速度不断增大，当 Ce 含量超过 1.0g/L 时，沉积速度反而下降。在水溶液中，稀土离子可以和有机及无机配体形成一系列络合物，如 $[\text{RE}(\text{H}_2\text{O})_n]^{3+}$ 、 $[\text{RE}(\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_6)_n]^{3-n}$ 等，消耗了络合剂的一部分配位基，使镀液中游离的主盐金属离子浓度增加，增大了金属/镀液界面上的电位差及形成的场强，加速了电荷的运动，促进了金属离子向催化表面的跃迁、还原和沉积，提高了合金的沉积速度。但是当 Ce 的添加量过高时，金属离子的还原反应和析氢副反应激烈，镀液的稳定性和沉积速度反而下降。Co-Fe-B 沉积速度和稀土的关系与 Co-Ni-B 的相似，但沉积速度相对较小。

稀土元素处在元素周期表中的第三副族，具有较大的核电荷数、较强的吸附能力和表面活性。性质活泼的稀土元素加入 Co-Ni-B 镀液后，可优先吸附在试样表面的晶体缺陷处（位错露头、晶界、空位等），降低了表面能，促进了金属络离子和还原剂离子 BH_4^- 向金属表面的吸附，并为合金的形核提供了催化中心，使其形核率提高。同时，稀土在基体表面吸附之后，加速了



界面上电子的交换,提高了静止电位,减小了极化度,加快了电极反应速度,使含稀土 Ce 的化学镀液还原能力提高,致使沉积速度加快。加入稀土 Ce 后,稀土离子参与络合并形成了更稳定的络合物;Co、Ni 和 Ce 相互作用使体系自由焓发生变化,电位较负的 Ce 的还原电位移,有利 Ce 与主体元素 Co、Ni 共沉积。

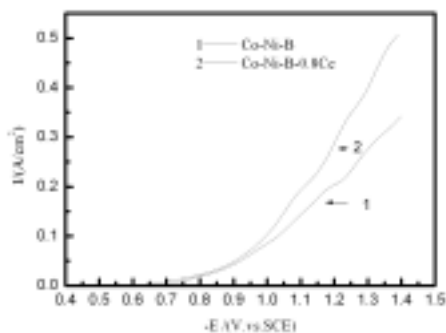


图1 稀土 Ce 对 Co-Ni-B 合金阴极极化的影响

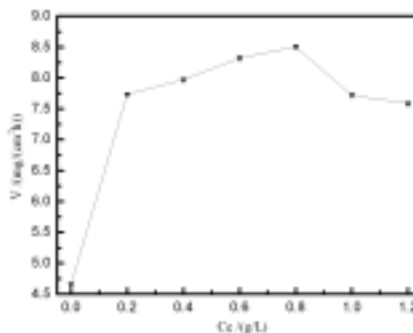


图2 稀土 Ce 对 Co-Ni-B 合金沉积速度的影响

2.1.3 稀土金属和Co基合金化学共沉积的工艺配方

经过反复、大量的试验,优化验证了稀土金属和Co基合金化学共沉积的工艺参数和操作条件如表1和表2所示。

表1 化学沉积Co-Ni-B-RE合金工艺配方 (g/L)

CoCl ₂ · 6H ₂ O	NiCl ₂ · 6H ₂ O	Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ · 2H ₂ O	C ₂ H ₈ N ₂	NaBH ₄	NH ₄ Cl	T()	pH	装载量 (dm ² /L)
11.67	5	60	4	0.8	16	60	13.5	0.8

RE : Ce =0.8g/L、La =0.8g/L、Y =0.6g/L、Gd=0.6 g/L、Tb=0.4g/L

表2 化学沉积 Co-Fe-B-RE 合金工艺配方 (g/L)

CoCl ₂ · 6H ₂ O	FeSO ₄ · 7H ₂ O	Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ · 2H ₂ O	C ₂ H ₈ N ₂	NaBH ₄	NH ₄ Cl	T()	pH	装载量 (dm ² /L)
10	0.12	90	20	1.0	20	60	13	0.8

RE : Ce =1.0g/L、La =0.6g/L、Y =0.4g/L、Gd=0.6 g/L、Tb=0.6g/L

2.1.4 化学沉积条件下稀土与Co、Ni、Fe等的相互作用机制。

稀土元素可与过渡族金属离子相互降低活度,增加互溶度,并改善了电化学性质,加速了金属离子在基体表面的还原,明显提高了合金的沉积速度。但是由于稀土在高 pH 值下易沉淀生成胶状氢氧化物,因而当稀土 Ce 等的加入量过大时,Co²⁺被大量地以络合物的形式沉淀下来,实际沉积速度反而有所降低。

稀土可与过渡族金属离子的作用实现共沉积,Co²⁺、Ni²⁺标准电极电位分别为-0.277V、-0.25V,而Fe²⁺为-0.44V,根据共沉积原理,Co²⁺和Ni²⁺比Co²⁺和Fe²⁺更容易实现共沉积。另一方面,同属于3d过渡族的Fe、Ni的3d电子分别为6、7,根据络合物的键型特点和离子半径是决定络合物高配位数的主要因素这一原理,这就决定了Ni更有可能生成高配位数的络合物,导致Co-Ni-B-RE合金比Co-Fe-B-RE合金的沉积速度大。

2.2 稀土对化学沉积Co基合金成分、组织结构的影响

2.2.1 稀土对化学沉积Co基合金镀层化学组成的影响

利用等离子发生光谱,分析了含稀土化学沉积Co基合金镀层的化学成分,证明了镀层中确实含有微量稀土元素(表3、表4)。随镀液中RE的溶入,合金镀层中检测到了稀土RE,且随着镀液里RE添加量的增加,Co、Ni、RE含量逐渐升高,B含量降低。

长期以来,对于稀土在电化学溶液里的作用和存在形式有两种截然不同的看法,一种认为稀土在水溶液中可以起到催化、加速作用,但因其原子半径太大,易产生较大的晶格畸变,进入不了镀层。另一种看法则是,在一定的条件下,稀土可以进入镀层,改善性能。

通过本项目的研究,证实了稀土不仅改善了镀液的工艺性能,还进入了镀层,从而改善了镀层的结构和功能特性。一般认为,稀土元素的电极电位较负,难以直接从水溶液里析出。但由上可知,在本试验中的双络合剂和过渡族元素Co、Ni、Fe的诱导下,可以使稀土金属的电极



电位正移，过渡金属的电极电位负移，从而促使它们的电极电位趋于接近，实现过渡族金属与稀土金属的还原共沉积。稀土原子有较大的有效核电荷数，表现出很强的活力，对其他原子有较大的吸附能力。同时，稀土离子是少数能在电极界面进行特性吸附的阳离子之一，稀土离子吸附在基体表面后，有利于金属离子Co和Fe的吸附、放电、还原和沉积，最终形成含稀土的合金涂层。部分活性较大的稀土原子将失去电子成为正离子起到还原剂的作用，加速金属离子Co和Ni的沉积，减少还原剂NaBH₄的消耗，也就减少了合金中B原子的还原量。稀土的原子半径比Co、Ni和Fe的原子半径大40%左右，稀土多位于晶界、空洞等缺陷处，稀土的溶入引起了较大的晶格畸变，减少了B原子的溶入。所以稀土元素RE溶入镀层后，提高了镀层Co、Ni和Fe的含量，降低了B的含量。

表3 化学镀 Co-Ni-B-RE 合金镀层的化学成分(质量分数%)

镀层	Co	Ni	B	RE
Co-Ni-B	86.20	6.45	7.35	0.000
Co-Ni-B-0.2Ce	86.30	6.55	7.13	0.021Ce
Co-Ni-B-0.4Ce	86.32	6.62	7.03	0.029 Ce
Co-Ni-B-0.6Ce	86.75	6.63	6.58	0.039 Ce
Co-Ni-B-0.8Ce	86.96	6.66	6.32	0.060 Ce
Co-Ni-B-1.0Ce	86.97	6.66	6.27	0.091 Ce
Co-Ni-B-1.2Ce	86.99	6.65	6.22	0.135 Ce
Co-Ni-B-0.4La	86.72	6.11	7.10	0.069 La
Co-Ni-B-0.4Gd	86.7	6.03	6.04	0.023 Gd
Co-Ni-B-0.4Tb	86.3	5.91	5.96	0.030 Tb
Co-Ni-B-0.4Dy	86.7	5.99	6.02	0.028 Dy
Co-Ni-B-0.4Y	86.6	6.01	5.93	0.32 Y

表4 化学镀Co-Fe-B-RE合金镀层的化学成分(质量分数%)

镀层	Co	Ni	B	RE
Co-Fe-B	84.580	8.18	7.24	0.000
Co-Fe-B-0.2Ce	84.710	8.12	7.16	0.010 Ce
Co-Fe-B-0.4Ce	85.140	7.89	6.96	0.011 Ce
Co-Fe-B-0.6Ce	84.805	8.51	6.67	0.015 Ce
Co-Fe-B-0.8Ce	85.522	7.92	6.54	0.018 Ce
Co-Fe-B-1.0Ce	85.480	7.90	6.60	0.022 Ce
Co-Fe-B-1.2Ce	85.460	7.88	6.63	0.027 Ce
Co-Fe-B-0.4La	84.965	7.95	7.02	0.065La
Co-Fe-B- Gd	83.4	8.19	7.22	0.22 Gd
Co-Fe-B- Tb	83.1	8.34	7.20	0.26 Tb
Co-Fe-B- Dy	83.9	8.10	7.16	0.25 Dy
Co-Fe-B- Y	83.9	8.10	7.16	0.28 Y

2.2.2 稀土对化学沉积Co基合金镀层组织结构的影响

图3是Co-Ni(Fe)-B-RE合金的X-ray衍射图像，Co-Ni-B合金显示了非晶态衍射特征，含稀土Ce镀层的衍射峰半宽高较狭窄，减少0.5°左右，呈现出结晶化趋势，为微晶结构。TEM分析结果也是相同的。



在化学沉积时过渡族元素Co、Ni、Fe与类金属元素B等电负性相差较大，相互作用较强，极易形成非晶态，而且类金属B含量越高，非晶态形成的几率和稳定性就越大；同时，Co、Ni等原子的杂乱堆积，基体表面结构促使镀层按结晶取向生长的效应也会消失，加大了非晶态镀层的形成。由前成分分析知镀层加入稀土RE后，降低了类金属B含量，提高了Co和Ni的含量，对原子的还原、吸附产生了影响，减小了原子的无序堆积，使镀层的非晶态趋势变小，Co-Ni(Fe)-B-RE镀层出现微晶特征。而且镀层Ce含量越高，作用越明显。

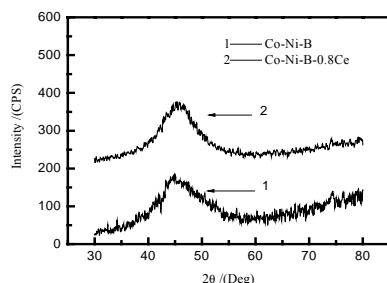
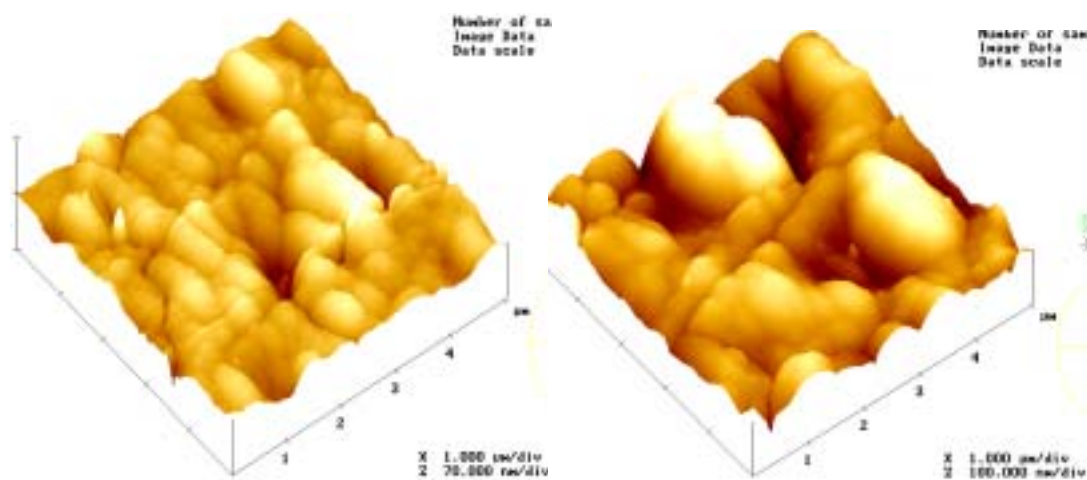


图3 化学沉积Co-Ni-B-RE合金的X-ray衍射图像

2.2.3 稀土对化学沉积Co基合金镀层微观形貌的影响

AFM (原子力显微镜) 分析结果如图 4a 和 b 所示，无稀土化学镀 Co 基表面出现起伏不大、相对平整的“圆锥峰”。高吸附能力的稀土加速还原原子的不均匀堆积和三维外延生长，形成了起伏较大的“圆锥峰”。这也充分证实了非晶态镀层具有光亮的外观，微观上是分子级平面。



(a) 化学沉积Co-Ni-B镀层

(b) 化学沉积Co-Ni-B-0.8Ce镀层

图4化学沉积Co-Ni-B-RE合金的AFM像

2.3 稀土对化学沉积Co基合金功能特性的影响

2.3.1 Co-Ni-B-RE合金的显微硬度和耐磨性

图 5 是 Co-Ni-B 合金镀层的显微硬度随 RE 种类和含量的变化趋势，随 RE 含量的增大而先增大后减小，在 RE 含量为 0.8g/L 左右时达到最大值。重稀土 Dy 对硬度的提高作用最大，Ce 次之，La 最小。非晶态材料中，金属键-类金属键具有较高的显微硬度。稀土进入镀层中改善了合金的组织、除去晶界间微量杂质的影响和缺陷，提高了合金的力学性能；另外，加入稀土 RE 后形成的微晶镀层有数量较多的晶界，产生较大的硬化作用，导致硬度提高。无稀土 Co-Ni-B 合金镀层的磨损体积为 $25 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ ，Co-Ni-B-0.8Ce 合金镀层的则为 $17.5 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ ，耐磨性显著提高，这对延长软磁薄膜的使用寿命有着十分重要的意义。

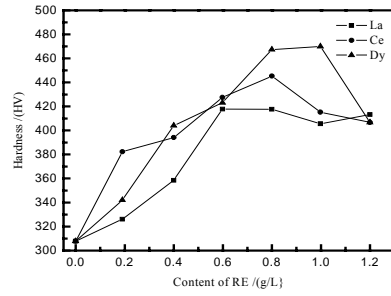
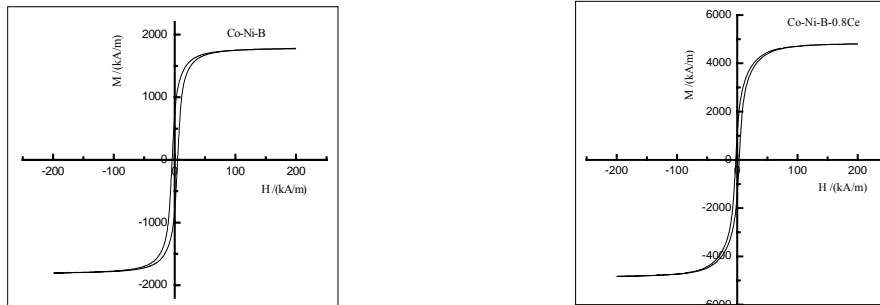


图5 RE对化学沉积Co-Ni-B合金显微硬度的影响

2.3.2 Co-Ni-B-RE合金的磁学性质

图6是Co-Ni-B和Co-Ni-B-RE合金的磁滞回线，狭窄而细长，为明显的软磁薄膜特征。表5是不同稀土对Co-Ni-B和Co-Fe-B镀层磁性的影响。



(a) Co-Ni-B合金镀层

(b) Co-Ni-B-0.8Ce合金镀层

图6 化学沉积Co-Ni-B-RE合金的磁滞回线

表5 化学镀Co-Ni(Fe)-B-RE合金镀层的磁性性质

镀层	Ms(kA/m)	Mr(kA/m)	Hc(kA/m)	μ_0	μ_{max}
Co-Ni-B	1773.36	705.83	3.40	405.75	1146.74
Co-Ni-B-0.2Ce	2213.40	710.80	3.01	450.72	160.71
Co-Ni-B-0.4Ce	3101.10	723.12	2.75	470.23	1167.21
Co-Ni-B-0.6Ce	4510.72	772.10	2.76	500.10	1268.11
Co-Ni-B-0.8Ce	4819.20	7691.70	2.21	695.28	1519.11
Co-Ni-B-1.0Ce	4109.23	809.12	2.45	665.12	1268.11
Co-Ni-B-1.2Ce	2201.12	800.19	2.50	567.83	1161.31
Co-Ni-B-0.4La	2110.03	850.12	3.21	431.03	1131.20
Co-Ni-B-0.4Gd	1911.23	830.34	3.65	430.12	1200.30
Co-Ni-B-0.4Tb	1821.34	850.74	3.41	420.91	1134.20
Co-Ni-B-0.4Dy	2320.80	820.48	3.31	480.10	1294.82
Co-Ni-B-0.4Y	2003.45	830.14	3.41	450.96	1196.13
Co-Fe-B	2420.80	910.80	5.31	398.10	1048.22
Co-Fe-B-0.8Ce	5564.10	953.74	4.11	531.91	1334.20



稀土元素都不同程度地改善了合金的磁学性能,使合金的 M_s 、 μ 增大, H_c 、减小。轻稀土比重稀土、含 4f 电子比不含 4f 电子的稀土作用更明显。

其改善作用 Ce 最大, La 次之, Dy 最弱。随着稀土添加量的增加,饱和磁化强度和磁导率先增大后减小,含 Ce 和 La 镀层在浓度为 0.8g/L 时达到最大值。矫顽力则随稀土添加量的增加而先减小后增大。

稀土 Ce 明显改善了 Co-Ni(Fe)-B-RE 合金的各项软磁性能,使 M_s 、 μ_0 、 μ_{max} 增大,同时 H_c 减小。与 Co-Fe-B-RE 合金相比较,Co-Ni-B-RE 合金的 M_s 略小,但其 μ_0 、 μ_{max} 较大, M_r 、 H_c 较小,故 Co-Ni-B-RE 合金的综合软磁性能更加优异。

稀土金属的外壳层电子 $5d^m6s^2$ 具有传导电子和交换作用媒体的功能。具有磁矩功能的 $4f^n$ 轨道电子,由于其外壳层 $5s^25p^6$ 电子的屏蔽作用,掩盖了其它金属离子的影响, $4f^n$ 电子在原子核的强烈作用下,基本处于完全的轨道运动,故轨道磁矩也会对磁性产生贡献,表现出很强的铁磁性。加入稀土元素 Ce 等后,与 3d 金属 (Me) 中存在 Ce-Ce、Ce-Me 和 Me-Me 间的作用偶,其中 Ce-Ce 的作用偶最弱,Me-Me 作用偶最强。在 Ce 和 Me 的作用偶中,它们的自旋矩在任何情况下都是反平行的。轻稀土金属 Ce 的基态总角动量子数 $J=L-S$,其磁矩与 3d 金属的磁矩相平行,而得到较大的联合磁矩,故 Ce 与 3d-过渡族金属形成的合金的 M_s 大。对于薄膜材料来说,无论从理论还是实验上都已确认,晶粒微细化能使矫顽力进一步下降。稀土 Ce 提高了形核率,细化了晶粒,净化了晶界,提高了涂层中超顺磁粒子的数量,进而矫顽力下降,初始磁导率和最大磁导率都得到提高。

Co-Ni-B 镀层的居里温度为 370 ,添加稀土后,Co-Ni(Fe)-B-RE 镀层的居里温度升高到 387 ~ 405 ,稀土提高了 Co 基镀层的热稳定性。在 50 ~ 250kHz 的频率范围内,含稀土 Co 基镀层的磁导率在 1200 ~ 1500 之间,随频率升高,磁导率变化很小,Co-Ni(Fe)-B-RE 镀层表现出良好的频率特性。

2.4 超声波和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE合金的组织与性能

2.4.1 超声波和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE镀层成分和沉积速度

超声波有空化作用和微搅拌作用、外加磁场后也会出现界面溶液移向试样催化表面的磁流体动力学(MIID)现象,这样到达试样表面的金属离子 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 和 Fe^{2+} 的浓度增加,增加了镀层中金属的含量,降低了类金属B的含量。同时,超声波和磁场的作用,使带电离子的定向移动促进了镀液的对流,产生微搅拌作用,使扩散层厚度减薄,降低了浓差极化,提高了镀液传质能力,改变了电极界面的双电层结构,进一步提高了静止电位,改善了极化度,有利于金属离子在基体表面的放电、还原和沉积,提高了化学共沉积的速度。

2.4.2 超声波和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE镀层的组织结构

由于超声波和磁场改变了镀层的化学组成、稀土与过渡族金属的相互作用关系,故镀层下 Co 基镀层由“非晶态的 Co-Ni- (Fe) -B 镀层转化成了微晶的 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层,最终转化成了超声及磁场下晶态 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层。”x-ray 和 TEM 分析确认了晶态结构的改变,超声及磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层的 AFM 图像表面起伏更大,三维外延生长更加不均匀。

2.4.3 超声波和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层的硬度和耐磨性

超声和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE 的显微硬度分别在 620 ~ 709HV 之间,磨损量为 $3.2 \times 10^{-3} mm^3 \sim 11.5 \times 10^{-3} mm^3$ 之间。与常态下有无稀土的镀层相比,都得到了明显的提高。这是由于超声波的波长短,频率高且具有巨大的机械能量,当其在化学镀液中传播时,产生显著的声压作用,使介质质点获得极大的加速度,试样表面受到冲击压缩作用,形成形变硬化层,有效提高了合金镀层表面的显微硬度与耐磨性。磁场化学沉积钴基合金时,金属离子受到磁化后,将在铁磁性镀层表面以能量最低状态沉积,使镀层中孔隙率和杂质含量降低,表面致密均匀,显微硬度值显著提高。此外,外加超声波和磁场使化学沉积合金镀层表面的形核率增加,镀层晶粒细化,晶界增多,抵抗变形的能力增强,表现出较高的显微硬度和耐磨性。超声波对镀层力学性能的影响大于磁场的作用。

2.4.4 超声波和磁场下 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层的磁性

超声波和磁场下获得的 Co-Ni- (Fe) -B-RE 镀层提高了饱和磁化强度 M_s 、剩余磁化强度 M_r 磁导率 μ_0 和 μ_{max} 提高,降低了矫顽力 H_c 的降低。 M_s 为 4000 ~ 6000kA/m, M_r 为 850 ~ 1100kA/m, μ_0 为 600 ~ 800, μ_{max} 为 1200 ~ 1600, H_c 为 2 ~ 3 kA/m。 M_r 和 M_s 的同步增长对软磁薄膜是不利的。



2.5 热处理对 Co-Ni- (Fe) -B-RE 合金镀层组织与性能的影响

2.5.1 组织结构

低温热处理使非晶态和微晶 Co-Ni- (Fe) -B 镀层发生结构弛豫、应力松弛。大于 290 加热，镀层发生晶化转变。温度继续升高，不同条件下得到的镀层晶粒粗化，析出第二相 Co₂B 等。

2.5.2 硬度和耐磨性

将不同条件下得到的 Co 基合金镀层在 250 热处理后，其显微硬度明显提高；当热处理温度由 250 提高到 500 ，合金镀层的显微硬度和耐磨性进一步增加。大于 500 后加热，硬度下降。磁场热处理下镀层力学性能的改变不明显。

2.5.3 磁性性能

在 250 热处理后，不同条件下得到的 Co 基合金镀层饱和磁化强度、磁导率增加；在 500 热处理后，饱和磁化强度、磁导率降低；在 250 和 500 温度下热处理后，矫顽力显著提高。另外，热处理后，剩余磁化强度与饱和磁化强度变化并不同步，没有规律可循。磁场热处理对镀层磁学性能的改变没有明显作用，这于块状材料在磁场热处理中，磁性得到明显改善有显著的不同，这可能与制备方法和近二维薄膜形态等有关。

2.6 化学沉积 Co-Ni- (Fe) -B-RE 合金镀层数据库

为了加速其实际应用步伐，对在试验过程中获得大量数据，以中文 Visual FoxPro6.0 为工具，开发出化学沉积数据库系统应用软件。该软件系统分别建立了镀覆工艺、显微硬度和磁学性能三个数据库。以此为基础，开发了六个应用模块，分别为文件管理模块、编辑处理模块、数据管理模块、图片管理模块、打印管理模块、退出系统模块。通过该软件，我们可以方便的管理所有的试验数据。

根据试验数据，用数值分析的方法进行数据处理，拟合出试验数据的近似函数表达式。用正交表对基础配方进行分析，得到最佳配方，并进行相应方差分析；用样条函数和最小二乘法分析镀覆工艺试验数据，绘制出三次样条函数和三次近似多项式的图形，获得化学沉积速度最大时各因素浓度所在的区间。本研究是对试验数据处理的一种探讨，为稀土化学沉积数据库系统的建立探索出一条途径，为获得最佳的钴基合金镀层性能奠定了基础，具有较大的理论和现实意义。

稀土化学沉积数据库系统项目管理器界面图如下：

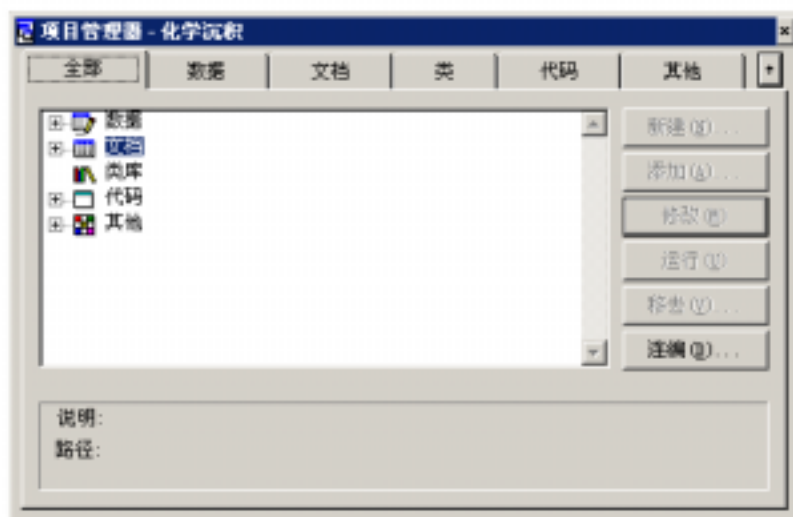


图 7 Co-Ni- (Fe) -B-Ce 合金镀层数据库系统项目管理器界面图

2.7 稀土对 Co-Ni- (Fe) -B 合金镀层在化学沉积条件下的作用和影响规律

2.7.1 稀土与钴基合金在化学沉积条件下的作用机制

稀土元素介入化学沉积 Co-Ni-B、Co-Fe-B 工艺后，改变了化学镀液的电化学特性。Ce、La、Y 等 RE 介入后，减小了化学沉积钴基合金的极化度，化学沉积钴基合金镀液中主要析出反应是过渡族金属 Co、Fe 的还原沉积，析出电位在 -0.5~-0.7V 之间，在稀土元素介入后皆发生正移。重稀土元素（如 Dy）提高沉积速度的幅度比较轻稀土元素（如 Ce）大，含 4f 电子的稀土元素（如 Ce）提高沉积速度的幅度比不含 4f 电子的稀土元素（如 La）大。此外稀土元素介入后钴基合金镀层的结合力、表面质量均明显改善。施加了超声波和磁场条件后，促进了金属离子的还原吸



附和镀层的形核长大,使沉积速度进一步提高,镀层的结合力、表面质量得到了明显的改善。

2.7.2 稀土对化学沉积钴基合金生长机制、表面形貌、组织结构和性能的影响规律

稀土元素具有较大的核电荷数和较强的吸附能力,当 RE 进入化学沉积钴基合金镀液后,明显地降低了表面能,促进了金属络合物离子和还原剂离子 BH_4^- 向金属表面的吸附,并为合金的形核提供了催化中心,提高了形核率。稀土元素进入钴基镀层后能净化薄膜、减少缺陷及杂质,细化形核晶粒、使其致密均匀地分布在基体各个区域,有助于得到光洁平整的镀层,其中稀土元素 Y 的作用最为显著,Co-Ni-B-Y 合金薄膜表面平整和致密程度最高,胞状物分布均匀、起伏最小,其次依次是 Co-Ni-B-Ce、Co-Ni-B-La 合金薄膜。常态下化学沉积 Co-Ni-B 合金镀层为非晶态结构,RE 促使 Co-Ni-B 合金镀层微晶化;在超声、磁场下提高了镀层稀土和过渡族金属的含量,降低类金属硼和磷的含量,合金镀层的晶化趋势进一步增强,由微晶结构转变为晶态结构,超声波和磁场的作用还进一步提高了镀层的形核率,抑制晶粒的粗化。

稀土与超声波和磁场的介入能显著提高化学沉积钴基合金镀层的显微硬度与耐磨性,稀土还提高了钴基化学镀层的饱和磁化强度、剩余磁化强度、初始磁导率和最大磁导率,降低了矫顽力,超声波和磁场下施镀可以进一步提高了镀层的显微硬度和磁性。普通热处理和磁场热处理后的镀层显微硬度得到了改善,低温下热处理下镀层的磁性较好,磁场热处理对磁性的影响不明显。

2.8 项目创新点

2.8.1 在双络合剂等的作用下,实现了电极电位较负的稀土元素 (Ce、La、Y、Dy 等) 与钴基合金的化学共沉积,获得了工艺稳定的 Co-Ni (Fe) -B-RE 合金的配方,制备出耐磨性和磁性良好配合的含微量稀土金属的合金涂层。

2.8.2 得出了稀土金属对化学沉积钴基合金生长机制、表面形貌、组织结构和功能特性的影响规律,建立了数据库。

2.8.3 利用超声波和磁场镀、磁场热处理等手段研究了稀土介入条件下化学沉积钴基合金的行为和性能。

2.9 项目研究人员及分工

本项目研究人员及其承担项目工作内容与申报书一致,中途未作任何调整。

宣天鹏:项目主持人,负责选题和策划,主持项目的工艺设计、组织分析和性能测试等全过程。

王卫荣:参与本项目的全过程,主要从事化学沉积稀土钴基薄膜制备工艺的优化设计和计算、及工艺参数、性能指标等数据库的建立,试验装置的设计和制造。

杜晓东:参与项目全过程,主要从事稀土金属介入后薄膜表面形貌、成分、组织结构和非晶态薄膜形成研究,功能特性的测试。

刘玉:参与本项目的全过程,主要从事薄膜制备、功能特性的测试,试验仪器设备的设计、改装和工艺维护。

闵丹:主要从事镀覆工艺研究及力学性能测试。

霍影:主要从事样品制备及电化学性能测试。

章磊:主要从事样品制备及磁学性能测试。

3. 国内外学术合作交流与人才培养情况

3.1 国内外学术合作交流

3.1.1 天津电镀学会学术交流会

项目主持人宣天鹏于 2004 年 8 月 14 日~18 日参加了《电镀与精饰》杂志社第二届编委会暨天津电镀学会学术交流会,并作了有关国家自然科学基金项目的学术报告,介绍了项目的背景、国内外状况、目前的进展等,受到了与会专家的关注和好评。

3.1.2 The International Conference on Rare Earth Research and Application, ICRERA-2006 (国际稀土研究与应用会议)

项目主持人宣天鹏于 2006, 6.27~6.30 参加了在北京召开的 ICRERA-2006 国际会议,有关国家自然科学基金项目的学术报告引起了国内外学者的兴趣,并就稀土应用于材料表面的前景作了广泛的讨论。

3.1.3 2006 中国重庆第五届表面工程技术论坛

2006 年 4 月 23 日~25 日,“2006 中国重庆第五届表面工程技术论坛”邀请项目主持人宣天鹏作大会特邀报告,题目为“稀土 Ce 对化学镀 Co-Ni-B 合金镀层结构的影响”。

3.2 人才培养情况



依托本国家自然科学基金项目，培养硕士研究生 5 人，简况如下：

表 6 培养研究生情况

序号	姓名	研究方向	论文题目	导师姓名	答辩或预计答辩时间
1	冯书争	材料表面工程	化学沉积稀土钴基合金薄膜组织和软磁性能的研究	宣天鹏	2006 年 3 月
2	朱云丽	材料表面工程	化学沉积稀土 Co-Fe-B 合金薄膜工艺和电化学性能的研究	宣天鹏	2006 年 5 月
3	张 田	机械电子工程	稀土化学沉积数据库系统设计与应用研究	王卫荣	2006 年 5 月
4	张路长	材料表面工程	超声波条件下稀土介入化学沉积 Co-Ni-B 软磁薄膜的研究	宣天鹏	2007 年 3 月
5	贾 韦	材料表面工程	化学沉积 Co-Ni-P-RE 薄膜组织结构与性能的研究	宣天鹏	2007 年 12 月

依托本国家自然科学基金项目，指导金属材料工程 2004 级、2005 级、2006 级总共 24 名本科生毕业论文。

3.3 研究成果的传播

结合本国家自然科学基金项目研究的意义、内容及进展等，项目主持人宣天鹏应邀于 2005 年 10 月；2006 年 11 月分别对合肥工业大学金属材料工程 2005 级和 2006 级本科生作“稀土应用于化学镀钴”的专题报告。2006 年 12 月，应邀在《材料科学与工程研究生学术年会》上作“稀土化学镀钴及材料表面功能镀覆层”的专题学术报告，详细介绍了基金项目的研究路线与本项目的研究成果等，加深和提高了学生对材料学科及表面工程方向的认识和兴趣。

4. 存在的问题、建议及其他需要说明的情况

在本项目的进行过程中，保持了研究内容和项目组成员的稳定，严格执行基金申报书和任务书的研究内容，认真开展规定的各项研究工作。研究工作进展顺利，结果较为理想，达到了预期要求。

研究中的体会和经验如下：

(1) 为了获得耐磨性和软磁性良好配合的化学沉积钴基镀层，除了按最佳的工艺配方施镀，还需要对基体进行严格的前、后处理，要求镀层平整、均匀、一致。

(2) 超声波下操作，所选超声波频率、功率要与镀液稀土浓度、温度、搅拌等相互配合；磁场下样品应与磁力线方向相垂直。



附表1、基金项目研究成果目录（栏目不够可自行增加）

序号	成果类型	成果或论文名称	主要完成者	成果说明	标注状况
1	专著	材料表面功能镀覆层及其应用	宣天鹏	机械工业出版社,2007年10月出版,40万字,第一版、第一次印刷4000册	前言中说明
1	期刊论文	稀土La对化学镀Co-Fe-B合金层组织结构的影响	宣天鹏,章磊,黄芹华	材料热处理学报,2003,24(4):66-69	标注资助号 EI收录
2		Modifying Behaviors of Ultrasonic Irradiation and Rare Earth Metal Cerium on Electroless Co-Ni-B Alloy Coating	宣天鹏,章磊,黄芹华	Journal of Rare Earths,2003,21(supl):185-189	标注资助号
3		镧对化学镀Co-Ni-B合金层结构和性能的影响	宣天鹏,霍影,章磊,黄芹华	金属材料研究,2004,30(2):38-41	标注资助号
4		稀土Ce对化学镀Co-Fe-B合金层组织结构的影响	宣天鹏,章磊,黄芹华	有色金属,2004,56(2):11-14	标注资助号
5		磁场和稀土Ce对化学镀Co-Ni-B合金层微观形貌和耐磨性的影响	宣天鹏,章磊,黄芹华	应用化学,2005,22(3):268-271	标注资助号
6		稀土Ce对化学沉积Co-Fe-B合金涂层功能特性的影响	宣天鹏,章磊,黄芹华	有色金属,2004,56(3):12-14	标注资助号
7		超声波对化学沉积Co-Fe-B-Ce涂层结构与性能的影响	宣天鹏,章磊,黄芹华	有色金属,2004,56(4):27-29	标注资助号
8		稀土元素镧对化学镀Co-Ni-B合金镀覆工艺的影响	冯书争,宣天鹏,朱云丽	电镀与涂饰,2005,24(9):12-16	标注资助号
9		稀土Ce对化学镀Co-Fe-B合金镀覆工艺的影响	朱云丽,宣天鹏,王卫荣	电镀与环保,2005,25(4):20-23	标注资助号
10		分形计算方法及在材料表界面中的应用	琚正挺,宣天鹏	稀有金属快报,2006,25(3)1-5	标注资助号
11		含Ce化学沉积Co-Ni-B合金电化学行为的研究	冯书争,宣天鹏,琚正挺,朱云丽	金属功能材料,2006,13(3):17-19	标注资助号



12		钴镍基磁性薄膜的研究现状及进展	张路长, 宣天鹏, 琚正挺	金属功能材料, 2006, 13 (4): 25-28	标注资助号
13		超声波化学沉积Co-Ni-B-Ce合金薄膜工艺的研究	张路长, 宣天鹏, 冯书争	电镀与精饰, 2006, 28(6):5-8	标注资助号
14		稀土化学沉积数据库系统设计与应用研究	王卫荣, 张田, 宣天鹏	中国稀土学报, 2005, 23 (增): 132-135	标注资助号
15		Crystallization Behavior of Electroless Co-Ni-B Alloy plated in Magnetic Field in the presence of Cerium	宣天鹏, 章磊, 黄芹华	Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(2):363-367	标注资助号 SEI收录
16		Study of Electrochemical Characteristics of Electroless Co-Ni-B Alloy with Cerium	宣天鹏, 张路长, 冯书争	Journal of Rare Earths, 2006, 24 (Spec):393-396	标注资助 SEI收录
1	会议论文	稀土元素对化学沉积Co-Ni-B合金工艺的影响	宣天鹏, 黄芹华, 章磊	天津电镀学会学术交流会, 2004, 8	标注资助号
2		稀土Ce对化学镀Co-Ni-B合金镀层结构的影响	宣天鹏, 冯书争, 朱云丽, 琚正挺	2006 中国重庆第五届表面工程技术论坛, 2006, 4	标注资助号
3		Study of Electrochemical Characteristics of Electroless Co-Ni-B Alloy with Cerium	宣天鹏, 张路长, 冯书争	The International Conference on Rare Earth Research and Application, ICRERA-2006, 2006, 6. BC050	标注资助号
1	研究生学位论文	化学沉积稀土钴基合金薄膜组织和软磁性能的研究	冯书争	2006年3月答辩	标注资助号
2		化学沉积稀土 Co-Fe-B 合金薄膜工艺和电化学性能的研究	朱云丽	2006年5月答辩	标注资助
3		稀土化学沉积数据库系统设计与应用研究	张田	2006年5月答辩	标注资助号
4		超声波条件下稀土介入化学沉积Co-Ni-B软磁薄膜的研究	张路长	2007年3月答辩	标注资助号
1	专利	化学镀稀土钴硼合金镀层材料、其制备方法及其镀层的形成方式	宣天鹏, 章磊, 黄芹华	国家发明专利, 申请号: 03132229.8	



- 注1、“**成果类型**”栏，分为“**专著 / 期刊论文 / 会议论文 / 专利 / 获奖 / 其他**”六类，请归类集中填写并单独编号；
注2、“**成果说明**”栏，用于填写如刊物名、获奖类别、级别等必要的说明和便于其他人查询的信息，具体要求见撰写提纲；
注3、“**标注状态**”栏，用于说明有无标注“自然科学基金资助”及项目批准号等，具体要求见撰写提纲。



附表2、基金资助项目统计数据表（本表是针对各种性质基金项目收集数据以便进行整体资助效果分析使用，并非要求每个项目都具有以下各类成果，特别是成果推广栏目，主要针对重大项目或一些得到应用的项目，没有可空白不填。）

获奖 (项)	国家级						省部级				国际 学术奖	其它				
	自然科学奖		科技进步奖		发明奖		自然科学奖		科技进步奖							
	一等	二等	一等	二等	一等	二等	一等	二等	一等	二等						
专著/ 论文 (篇)	发表论文数(含已录用稿件数)						四大检索系统				专著					
	国际会议		全国性会议				收录情况				中文		外文			
	特邀 报告	分组 报告	特邀 报告	分组 报告	国际 刊物	国内核 心刊物	国内一 般刊物	SCI	EI	ISTP	ISR	已出 版	待出 版	已出 版	待出 版	
		1	1	1	3	8	5	2	1				1			
专利及 其它	专利(项)				成果推广及经济效益			其它成果								
	国内		国外		可推广 项数	已推广 项数	经济效 益(万 元)	软件/ 数据库	图表/ 图集	新仪器/ 新方法	鉴定及 其它					
	申请	批准	申请	批准												
	1															
人才培 养及学 术交流	人才培养(人)						举办学术会议次数及参加人数									
	博士后		博士		硕士		中青年学术带头人		国际		国内		出国参加国际学术会议人数			
	在站	出站	在读	毕业	在读	毕业	40岁以下	40-50岁	次数	人数	次数	人数	次数		人数	
					10	3		1	1	1	2	2				

注：此表统计数据必须与表2成果目录表和报告正文中的说明相一致。如有国际学术奖、软件、图集、组织国际会议等，具体内容须在报告正文中描述。



项目负责人签字及审核意见表

<p>项目负责人承诺： 我所承担的项目（编号：50371023 名称：稀土金属介入化学沉积钴基软磁薄膜的研究）结题报告内容填写实事求是，数据详实。在今后的研究工作中，如有与本项目相关的成果，将标注“国家自然科学基金资助”，并报送国家自然科学基金委员会。</p>					
负责人（签章）： 日期：					
<p>项目依托单位科研管理部门审查意见：</p>					
经办人（签章）： 单位公章： 日期：					
<p>科学处审核意见：</p>					
完成情况 综合评分 （划）	优	良	中	差	负责人（签章）： 日期：
<p>科学部核准意见（对重点、重大、国家杰出青年科学基金项目）：</p>					
负责人（签章）： 日期：					
<p>评估组或委领导意见（主要对后期评估和重点、重大、国家杰出青年基金等特殊项目）：</p>					
组长或委领导（签章）： 日期：					



国家自然科学基金资助项目经费决算表

结题种类 ()

(金额单位:万元)

填报说明: 电子表格与书面材料所报送的决算情况必须保持一致。					
项目(课题)名称	稀土金属介入化学沉积钴基软磁薄膜的研究				
项目(课题)负责人	宣天鹏	批准号	50371023		
已拨入经费(总额)	26.0000				
科目	预算经费	调整经费	预算总经费	经费支出	说明
一.研究经费	22.5000	0.0000	22.5000	22.0000	
1.科研业务费	10.5000	0.0000	10.5000	11.8000	
(1)测试/计算/分析费	5.0000	0.0000	5.0000	5.0000	物理化学力学性能测试
(2)能源/动力费	1.0000	0.0000	1.0000	0.8000	动力、蒸馏水等
(3)会议费/差旅费	2.0000	0.0000	2.0000	2.5000	会议、调研、差旅
(4)出版物/文献/信息传播事务费	1.5000	0.0000	1.5000	2.5000	版面、上网、文献
(5)其它	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	咨询、研讨
2.实验材料费	4.0000	0.0000	4.0000	2.5000	
(1)原材料/试剂/药品购置费	3.0000	0.0000	3.0000	2.0000	材料、药品、试剂、稀土
(2)其它	1.0000	0.0000	1.0000	0.5000	耗材及运输
3.仪器设备费	5.4000	0.0000	5.4000	5.3000	
(1)购置	3.6000	0.0000	3.6000	4.8000	超声、电极、浴槽、电脑
(2)试制	1.8000	0.0000	1.8000	0.5000	电磁场装置
4.实验室改装费	0.6000	0.0000	0.6000	0.4000	操作台、水电改装
5.协作费	2.0000	0.0000	2.0000	2.0000	外单位协作
二.国际合作与交流费	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
1.项目组成员出国合作交流	0.0000	0.0000	0.0000		
2.境外专家来华合作交流	0.0000	0.0000	0.0000		
三.劳务费	2.2000	0.0000	2.2000	2.2000	研究生劳务费
四.管理费	1.3000	0.0000	1.3000	1.3000	科研管理、用房、安全
合计	26.0000	0.0000	26.0000	25.5000	
已拨入经费结余	0.5000				
本项目其他经费来源	预算经费		经费支出		
国家其他计划资助经费			0.0000	0.0000	
其他经费资助(含部门匹配)			0.0000	0.0000	
其他经费来源合计			0.0000	0.0000	

项目负责人(签章):

科研管理部门负责人(签章): 财务负责人(签章):

年 月 日

年 月 日

年 月 日



附：经费使用说明表

填报说明：

- a) 项目（课题）负责人需要对经费使用情况作一般说明；
- b) 当预算经费与拨入经费不相等时，需要特别说明；
- c) 当经费支出金额与经费预算金额相差较大时，需要着重说明。

a) 本国家自然科学基金项目的经费 26 万元，按照《国家自然科学基金项目资助经费管理办法》，根据“资助项目任务书”的相关经费预算，实际用于试验材料、添置设备仪器、理化检测、外单位协作、论文版面、参加会议、调研出差、研究生劳务费等 25.5 万元，没有添置超过 5 万元的仪器和设备，详见“经费决算表”。

b) 与预算经费 26 万元相比，实际使用经费 25.5 万元，尚节余 0.5 万元。这主要与项目进行过程中，对材料、检测等严格控制有关。稀土、基材、耗材、药品等以满足试验为准，不允许浪费。对于需测试的样品，反复筛选，在保证重现性的前提下，不作不需要的重复。其余各项也是能节省就节省，不大手大脚。

负责人（签章）

年 月 日

科研管理部门意见

财务部门意见

审计部门意见

签 章
年 月 日

签 章
年 月 日

签 章
年 月 日