

第五届全国磁应用技术研讨会
暨第十一届全网大会

论文集

中国·烟台

2001. 6. 16~6. 20

信息产业部磁性材料及器件专业情报网
《磁性材料及器件》编辑部

编印

前 言

为了拓宽我国磁性材料的应用领域和市场,进一步提高我国磁性材料的大生产技术水平,积极参加国际、国内两个市场竞争,为把我国建成世界磁性材料强国,信息产业部磁性材料及器件专业情报网主办的“第五届全国磁应用技术研讨会暨第十一届全国大会”于2001年6月16日—20日在山东烟台东海宾馆召开,这是21世纪之初的全国性磁材盛会。本次会议收到特邀报告和学术论文70余篇;经审稿编入本文集71篇,内容包括:软磁材料及其应用、永磁材料及其应用、微波材料及器件、测试技术和专用设备、仪器研制等,内容详实,数据可靠,具有一定参考价值。

本文集由信息产业部磁性材料及器件专业情报网、磁性材料及器件编辑部编印,并得到全体论文作者、信息产业部电子第九研究所信息中心全体职工的大力支持。在此,特对本文集付出辛勤劳动的所有人员表示衷心感谢!

由于时间较紧,编辑水平有限,错误及不妥之处在所难免。敬请读者、作者谅解及批评指正。

责任编辑:张继松

打字录入:赵 慧

信息产业部磁性材料及器件专业情报网

料 及 器 件 》 编 辑 部

2001年6月

目 次

1. 团结拼搏,努力工作,再创辉煌

——第十届全网大会工作总结	网务委员会(1)
---------------------	----------

综 述

2. 21 世纪磁性材料产品发展趋向	陈国华等(6)
3. 我国永磁铁氧体工业“十五”展望与设想	黄 刚(11)
4. 纳米技术与纳米磁性材料	张继松等(20)
5. 中国永磁铁氧体材料产业现状发展规划	董正柱(30)
6. MnZn 铁氧体最新进展及其发展趋势	陆明岳(38)
7. 高性能锰锌铁氧体材料的新进展	徐敏等(50)
8. 磁性测量技术的现状和发展趋势	何水校(57)
9. 电磁环境污染及其对策探讨	李士根(61)
10. 抗电磁干扰磁性材料在电磁兼容控制技术中的应用与发展	翁兴园(66)
11. 钕铁硼永磁材料的市场、应用、发展前景	潘树明(73)
12. 电磁兼容技术与磁性材料	余声明(77)

软磁材料及器件

13. 高 μ 超高 μ 软磁铁氧体材料产业化技术	包大新等(81)
14. 高 B_s 低损耗 MnZn 功率铁氧体 TP4A 材料	孙蒋平等(88)
15. 低损耗功率铁氧体研究进展	冯则坤等(94)
16. 纳米磁性颗粒膜	冯则坤等(100)
17. 一种低温度系数软磁铁氧体材料	胡云松等(105)
18. 锰锌铁氧体材料技术创新目标与对策	何水校(108)
19. $(1-x)(\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2})\text{O} + x(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})\text{Fe}_2\text{O}_4$ 复合铁氧体微观结构与电磁特性	凌志远等(112)
20. 特高频高品质因素(Q)MnZn 铁氧体 TP6A 材料	周贤等(117)
21. 使用频率 500kHz~3000kHz 的 MnZn 铁氧体 TP6B 材料	周贤等(120)

22. 高磁导率 MnZn 铁氧体 TLG 材料 严国良等(125)
23. 铁氧体磁环在 EMI 电源滤波器件使用时多压应力影响的试验 黄勇等(128)
24. 镍锌铁氧体材料喷雾造粒工艺中添加剂的应用 沈云飞等(135)
25. 通讯变压器的 THD 及其磁芯的探讨 朱 成(138)
26. 抗电磁干扰(EMI)专用 MnZn 铁氧体材料 钱金甫等(142)
27. 高频多层电感器 李凤来(146)
28. 激光加工超小型多层片式电感器的高精度印刷技术 李凤来(153)
29. 漏磁通与电感测试 徐 强(158)
30. 样品与测试绕组间的绝缘性 徐 强(160)

永磁材料及器件

31. NdFeB 稀土永磁的表面涂层技术 何水校(162)
32. $(\text{SM}_{1-y}\text{HRE}_y)_2\text{TM}_{17}$ 型正温度系数永磁材料 敬安晋等(166)
33. NdFeB 磁体磁性能均匀性及影响因素 李增峰等(169)
34. 烧结 NdFeB380/80 磁体 季雪峰等(175)
35. NdFeB 永磁材料电镀前封孔 李斌杰等(178)
36. 高性能 NdFeB 磁体在磁致冷中的应用 吴安国译(181)
37. 放电等离子烧结法制作的块状 Nd-Fe-B-V-B 来交换弹性磁体的磁性
..... 吴安国译(187)
38. 用半工艺 HDDR 粉制作 Nd-Fe-B 系热压磁体 王新译(195)
39. 用 d-HDDR 法研制成高性能 Nd-Fe-B 各向异性磁粉 王新译(202)
40. 多种永磁体磁场分布 CAD 软件研究 胡文忠等(207)
41. 高品质 NdFeB 永磁材料 高旭山(212)
42. 铁的氧化物和铁氧体磁性材料 尹有祥等(217)
43. 铁氧体烧结磁体生产技术与控制 董正柱(225)
44. 高性能 Sr 铁氧体在水电机中的应用 戚伟等(232)
45. 瓦形成型磁场对磁瓦毛坯密度分布的影响及纠正措施 祁宝忠(236)
46. 大尺寸环形磁体裂纹产生机理研究 董正柱(242)
47. 永磁铁氧体磁瓦坯件尺寸的理论研究 刘 杰(247)
48. 烧结磁粉生产过程中磁性能下降原因的研究与控制 董正柱等(254)
49. 磁选机用磁板生产工艺的改进 祁宝忠(259)

50. 永磁铁氧体材料中微量元素 Mn 的测定	雷 勇(264)
51. 脉冲成型磁场在永磁铁氧体生产中的应用	林国标等(268)
52. 发挥民营企业优势推动永磁合金材料创新	贾贵元(272)
53. 科学制定永磁铁氧体生产的质量保证体系	阮祥波等(276)

微波材料及器件

54. 磁光非互易器件及其在光通信中的应用	马昌贵(280)
55. 电波暗室吸波材料	阳开新(285)
56. 微波铁氧体材料的晶粒细化	韩志全等(290)
57. 微带交指滤波器	张 芦(295)
58. 1.25cm 波导隔离器	刘琼等(298)
59. 宽带移相器匹配研究	石成玉(302)
60. 自冷式宽带大功率同轴负载	杨小勇等(305)
61. 微波铁氧体器件批生产中几个问题的讨论	李士根(309)

磁设备、磁测仪及工装设备

62. 永磁器件和永磁元件的充磁设备	姚云甫(314)
63. 粘对钕铁硼固化设备的改进设计	江建峰等(317)
64. 星形磁电机充磁工装设计	彭 勇(322)
65. 大块钕铁硼磁性能无损检验设备的新进展	姚云甫(325)
66. 程序控制全纤维钟罩炉及其应用	梁新等(329)
67. 国产钕铁硼大型熔炼炉研制探讨	吴忠诚等(335)
68. 一体化稀土永磁自动磁场压机压制工艺研究	沈定金(338)
69. RNS—300kg 高真空正压烧结炉研制探讨	吴忠诚等(343)
70. 旋转压机质量与磁性产品质量的探讨	沈定金(346)
71. LDT5500H 微机控制磁滞回线仪的计量检定	向旭东(350)
72. Fe_2O_3 在软磁铁氧体中的应用	陆麒发(353)

团结拼搏,努力工作,再创辉煌

——第十届全国大会工作总结

(网务委员会)

各位领导、各位代表:

今天,我们在美丽的胶东半岛召开信息产业部磁性材料及器件专业情报网第十一届全网大会,首先让我们向到会的全体代表表示热烈欢迎和诚挚的问候!借此向长期以来支持、关心、爱护信息产业部磁性材料及器件专业情报网的各网员单位的领导、网务委员、联络员及全国磁性行业广大同仁表示衷心的感谢!

信息产业部磁性材料及器件专业情报网创建于1975年,是全国性跨行业的科技经济信息网络与情报业务协作组织。现由信息产业部统一领导,紧密围绕信息产业磁性材料科研、生产、教学和行业发展的需要开展工作。26年来我网的队伍不断扩大,从建网初期的27个成员单位发展到目前的300多个注册网员单位,遍布全国各地,形成了一个跨地区、跨部门、跨行业、跨系统的综合信息网络。26年来,我网开展了一系列技术交流、学术讨论、市场调研、人才培养、信息资源开发、技术经济市场信息传播、行业咨询和编辑出版资料等活动,影响甚广,成绩斐然,促进了本行业各单位之间、本行业与用户间、行业与行业之间的沟通了解,拓宽了市场、促进和提高了行业生产技术水平,推动了行业进步,为磁性行业的发展作出积极贡献。现在,把我网自1996年10月在江苏南通召开的第十届全国大会以来的工作作一总结,请予审议通过。

一、举行大、中型技术交流会,沟通了行业技术信息交流、拓展了市场

1、1997年4月29日~5月3日,在深圳召开了“97'磁性产品出口战略研讨会”。

这次会议不但涉及到全国磁性产品的出口标准、质量、专利、价格协调、商业道德等诸多问题,而且还对当时我国磁性产品出口现状和市场前景作了评价,提出了不少有益于扩大出口创汇的建设性意见。

2、1997年10月14日~10月16日在四川成都召开了“第三届全国磁性材料应用技术会议”,此次会议的召开,对我国磁性行业发展和振兴起到了重要作用。

3、为配合信息产业的进步与飞跃发展以及全球范围内的经济复苏、快速增长对高性能软磁铁氧体需求增大的大好形势,1998年10月12日~15日在上海联合全国磁标委召开了“高性能软磁铁氧体大生产及应用技术交流会”。

此次会议总结和交流了国内高性能软磁铁氧体大生产技术中的新成果,通过这次会

进一步推动了我国高性能软磁铁氧体的发展,为我国的电子信息产业能尽快赶上发达国家作出了重大贡献。

4、1999年6月12~15日在苏州,联合全国磁标委、全国磁性材料及器件行业协会召开了“第四届全国磁性材料及元器件应用技术交流会”。此次会议成功的举办对我国磁性行业规避东南亚金融危机,走出低谷,提高产品质量、档次,缩小与国际先进水平的差距起到了积极作用。

5、为进一步推进全国磁性材料及电子变压器、电感器的技术创新、市场开拓,2000年6月4日~7日我网与全国电子变压器行业协会联合全国磁性材料及器件行业协会、全国磁标委在上海召开了“第一届全国磁性材料与电子变压器电感器应用技术研讨会”。

此次会议是全国磁性材料和全国电子变压器两大行业之间,生产厂家和用户之间联合办会加强合作的一次尝试,有利于两行业的技术进步、共同受益。

6、由于人民生活水平的日益提高,人们对高、新磁性产品要求更加迫切;为了加快我国高、新磁性产品的研究开发生产步伐,2000年9月22~26日我网联合全国磁性材料与器件行业协会、全国磁标委在四川都江堰召开了“全国高新磁性产品生产工艺技术及设备、仪器、原材料研讨会”。

这次会议是在我国西部大开发浪潮的兴起和我国即将加入WTO,我国磁性行业又面临一次大发展良机的情况下召开的,这次会议组织周密,准备充分,内容丰富,并对传统的开会方式进行了改革,使与会厂家、代表收效明显,感到不虚此行。这次会议无疑对我国西部大开发和高新磁性产品的研制开发应用将起着巨大的推动作用。

7、2000年11月21~23日由我网主办,全国磁性材料器件行业协会支持,上海神策展览服务有限公司承办的“中国国际磁性材料及生产装备和应用展览会”在上海光大会展中心举办,会议期间还安排了高层次行业研讨会。

这次展览会是我国磁性行业展示会从作坊式向正规化转变的首次大型展览会,是我国磁性行业展示工作与国际市场接轨的第一步,有助于我国磁性行业积极参与国际市场竞争。

每一次研讨会,都收集了不少论文,都编印了会议论文集,深受行业厂家好评。

二、编印行业内部交流资料,为行业提供信息服务。

依托网长单位中国西南应用磁学研究所(信息产业部电子第九研究所)丰富的信息资源,编印行业内部资料,向全行业及相关行业发行或赠阅,以使资源共享,为提高行业技术水平、产品上等级作出了积极贡献。

1、1997年编印了《磁性材料及器件专业情报网员单位情况简编》;

2、1998年编印了《磁性材料专用设备、仪器、原材料购买指南》(一);

3、编印了《磁性材料及其应用译文集》(二、三);

4、编印了《NdFeB 永磁体技术》(上、下);

5、编印了《实用磁信息技术》;

6、编印了《软磁铁氧体技术》;

7、《磁性材料及器件》是本网的网刊,经国家新闻出版总署批准为本行业唯一正式在国内外公开发行业由信息产业部统一管理,信息产业部电子九所主办的综合性技术刊物,以充实的内容,面向国内外读者,积极为本行业科研、生产、教学及经贸服务,及时报导本行业国内的科研成果,国内外先进科学生产技术及发展动态,进行学术讨论和技术交流。编辑出版了《磁性材料及器件》杂志共 25 期,该刊于 1998 年由季刊改为双月刊。

8、《磁性行业快报》是网内部交流资料。她以内容新、速度快、实用性强等特点及时报导本行业国内外新动向、新技术、新工艺、新产品、新应用及技术市场、学术动态、网内通讯等信息。编辑出版了《磁性行业简报》共 56 期,2001 年改刊名为《磁性行业快报》。

理论与实际的结合,使《磁性材料及器件》、《磁性行业快报》已成为广大读者的良师益友。

三、诚心诚意、脚踏实地地为网员单位和企业服务,扩大情报网在行业中的影响

诚心诚意、脚踏实地地为网员单位和企业服务,是情报网的宗旨,情报网至始至终把为网员单位和企业服务放在首位,无论是主办会议,还是资料发放,均为网员单位和企业作想,处处考虑其承受能力,保本收费,不搞商业性赢利活动。

情报网的经费主要来自网员单位缴纳的网费,秘书处在有限经费下坚持勤俭、节约办公,执行严格的财务制度(九所财务监督控制)、不随便乱花一分钱,以保证情报网日常工作能正常运转。无论是网员单位还是磁性行业企业单位,甚至其他行业企业单位提出的一些技术市场、人才等方面的咨询求援事宜,秘书处同志总是急企业之急,想企业之想,尽量耐心地给予解答或办理,牵涉技术等复杂问题,网秘书同志不能解决的,就请专家给予解答,从未收取任何服务费。来网秘书处出差的同志,秘书处总是热情接待,使其倍感亲切,如回到自己家一样。秘书处同志借出差、开会之机,主动与企业、网员单位接洽,听取企业、网员单位的意见,建议和及其急需解决的问题,把其合理化建议纳入网工作计划考虑,秘书处还非常尊重曾为我网作出过贡献的老专家、老领导,随时与他们保持联系,听取他们对网工作的意见和建议,充分发挥他们余热。逢年过节还寄明信片或打电话问候。

第十一届全网大会还将聘请这些老同志、老领导、老专家担任网的顾问,充分发挥他们余热,继续为磁性行业和情报网多作贡献。在此,向他们表示衷心的感谢和崇高的敬意。

四、网组织建设与发展工作

在社会主义市场经济的今天,网秘书处在根据市场经济的特点开展网的工作的同时,

积极抓好网组织建设与发展工作,一方面要求网秘书处同志自觉遵守纪律,加强业务学习,树立诚心诚意、脚踏实地地为网员单位和企业服务的思想,提高自身素质和服务质量;一方面,积极作好网员单位发展工作,使我网的队伍不断发展壮大,现已拥有注册网员单位320余家,成员遍布全国各地,使我网成为信息产业部电子28个专业情报网站中人数最多的几个网站之一。

五、经验与体会

情报网开展的工作较多,取得不小成绩,起到了企业与企业间的桥梁和纽带作用,对促进和提高行业技术水平,推动行业进步,作出了较大贡献,受到行业厂家和各网员单位一致好评。二十六年经验的积累使本网能够及时地把握住我国磁性行业的发展方向,并站在其前列,引导和推动我国磁性行业向前发展。我们在开展一系列工作中深深地体会到,要搞好行业管理,就必须诚心诚意、脚踏实地地为网员单位和企业服务。与他们交朋友,急他们所急,想他们所想,为他们排忧解难,提供一切可能提供的方便,让他们感到情报网就是网员之友;要及时洞察,把握住行业发展动向,并适宜地根据行业发展需要开展具有实效的有关活动。秘书处同志要有奉献精神,要有高度的责任感,要有较高的素质(思想素质和专业技术素质),眼光要敏锐,工作要主动,要有改革开放的精神,要熟悉行业管理及秘书处工作;同时需要副网长单位、网务委员单位和全体网员单位的大力支持与配合,这样才能把情报网的工作开展得更好。

情报网的工作经费来源主要是网员单位缴纳的网费,而近年来有部份网员单位因领导、联络员变动或因企业改制、重组等诸多因素而欠交网费,致使网工作经费紧张,先进的现代化的情报信息收集、分析处理手段缺乏,从而难以准确、快捷地将信息传递给各网员单位和行业各企业。因此我们要求各网员单位能按时缴纳网费,支持网的建设和网的工作。

六、2001年工作计划

本年度工作计划是:

- 1、筹备召开“第五届全国磁性材料及器件应用技术研讨会”。
- 2、筹备召开“信息产业部磁性材料及器件专业情报网第十一届全网大会”。
 - (1)网组织领导机构改选;
 - (2)聘用网顾问;
 - (3)表彰先进;
 - (4)网工作总结;
 - (5)商讨网的工作。
- 3、筹备召开“全国高性能永磁材料研讨会”完成时间:三~四季度。

4、编印“网成员单位通讯录”，完成时间：二～三季度。

5、编印“磁性行业原材料、专用设备、仪器及辅助材料购买指南”(二)，完成时间：四季度。

6、参与主办“第二届中国国际磁性材料及工装设备应用展示会”完成时间 10 月 31 ~11 月 2 日(上海)。

7、其他(工作)。

新世纪的到来，给我国磁性材料行业带来了新的机遇和挑战，我们一定要紧跟形势，抓住机遇，进一步振兴我国磁性材料行业，使我国磁性材料成为世界生产和销售基地。

展望未来，任重道远，我们希望全体网员单位和本行业及相关行业各厂家和本网一道，为推动和促进磁性行业的发展共同努力吧。

21 世纪磁性材料产品发展趋向

陈国华 陈琳

(信息产业部电子第九研究所 四川绵阳 621000)

磁性材料是国民经济各个领域不可缺少的功能材料,不仅满足了传统工业的发展,并且在科技、电子信息技术革命中起着重要作用。随着科学技术日新月异的创新,21 世纪磁性材料产品将有什么新的发展趋向,是否还能有新的产品开拓,是科技工作者和各企业家们最关心的问题。在新的经济形势驱使下,磁性材料除在传统的性能和质量方面不断提高外,必将还有创新的发展,才能以满足工业革命的发展要求。

我们从科技创新的角度简述 21 世纪磁性材料将会出现的新发展趋势,共同研讨开拓新材料和新应用领域。

1 磁性微电子技术

21 世纪信息技术将朝着小型化和轻型化发展,促进了元件的集成化和微型化。可以预见,在磁性行业领域内,将形成一门新的技术——磁性微电子技术。用类似半导体集成电路工艺制造磁性微型器件,尺寸仅为几十微米级。磁性材料采用薄膜,厚度从几个毫微米到几个微米。从结构上看,有单层膜,包括一般的晶态膜、微晶膜、超微晶膜和非晶态薄膜;还有多层膜以及纳米级磁性颗粒弥漫在薄膜中构成颗粒膜。从性能和应用上可分软磁、永磁、旋磁、磁光、磁阻、磁存储和磁致伸缩等。

1.1 磁性薄膜变压器

个人电脑和手机的小型化,必须采用高频开关电源,并且工作频率越来越高,逐步提高到 1~2MHz 或更高。要想使高频开关电源进一步向轻薄小方向发展,立体的三维结构铁芯已经不能满足要求,只有向低维的平面结构发展,才能使厚度更薄、长度更短、体积更小。对于 10~25W 小功率开关电源,将采用印刷铁芯和磁性薄膜铁芯。

几个微米厚的磁性薄膜,基本上不成形三维立体结构,而是二维平面结构,其物理特性也与原来的立体结构不同,可以获得前所未有的高性能和综合性能。例如钴基的非晶磁性薄膜饱和磁通密度 B_s 达到 1.5 特斯拉,比钴基的非晶合金高许多。对于高频下使用的磁性薄膜,主要指标是高频损耗,所以特别要提高电阻率,因为它直接影响高频下的损耗和有效导磁率。但是,磁性薄膜并不单纯追求高电阻率,还要兼顾其它指标。软磁铁氧体材料虽然电阻率高,但饱和磁通密度 B_s 低,不适合作数兆赫以上高频磁性薄膜集成变压

器和电感器。今后发展中的材料有：①磁性金属，如铁、钴、镍、钼，是利用 Fe-MC 复合靶在氧气溅射而获得的非晶微晶膜，热处理后结晶，形成双晶结构。此材料现在主要用作薄膜磁头，并已经用于工作频率在 10^4Hz 左右的移动通信手机电源中的变压器。

2.2 磁性薄膜磁头

随着硬盘的记录密度的提高,促进了磁头的薄膜化发展,同时产生了巨磁阻材料。由于整个磁头尺寸很小,薄膜磁头的制作工艺是一种集材料与器件于一体的集成工艺生产方式。在实际生产中,无数磁头集成在一个单元片中,经切割后,组装成硬盘驱动器用的高密度磁头。其中单元片的生产是磁头的关键工程,也是技术含量最大的部分。目前国内的磁头生产线大多不包括这部分生产,仅是从切割单元片开始的后工序。

在计算机磁头的生产开发方面,从金属气隙磁头→薄膜磁头→磁阻磁头→巨磁阻磁头发展,记录密度也从几百兆位增加到数千兆位。除工艺条件外,关键是相应的磁性薄膜材料。国外,薄膜磁头和磁阻磁头在九十年代已经产业化,巨磁阻磁头也在 2000 年产业化生产。国内对薄膜磁头、磁阻磁头和巨磁阻磁头的材料仅限于基础性研究,应用开发和工程技术开发则几乎空白。主要是几家合资、独资企业,利用国外单元片散件,加以切割、粘结、组装生产计算机磁头,技术含量最高的是磁阻磁头。

磁性薄膜在其它方面还可以作成数字录象机用视频叠片薄膜磁头、微型片状磁性元件、各种磁性传感器,这些元件在手机等小型通讯设备、掌上电脑、摄录相机及工业自动化设备中有广阔的应用市场,是 21 世纪的一个发展方向。

2 磁光器件

磁光器件主要有光纤通讯用的光无源器件,如光环行器、光隔离器、光开关等,以及光存储用的光存储介质,这将是 21 世纪磁性器件发展的重点之一。

2.1 磁光无源器件

随着通讯技术的发展,微波系统已经达到成熟地步,而光纤通信正在蓬蓬勃勃地发展。现在,国外的微波工作者逐渐转向光通信领域;同时,把微波通信中应用的磁无源器件也带到光通信方面,利用磁性材料的磁光效应研制光无源器件。根据光纤通信的技术要求和磁性材料的本征特性,磁光无源器件的发展具有广阔的市场。

在光波宽带通信中,要把各种光频回路匹配起来,必须考虑使用光环行器、隔离器和开关等器件。因为在光纤通信中,光源受到光纤反射光的影响会引起工作不稳定。随着光回路复杂化,这种情况会变得更加严重。为实现光路的稳定性,与微波领域中采用的措施一样,使用隔离器是不可避免的。光隔离器能降低反射光影响,从而得到高性能的光传输

特性。光环行器是双向传输光路和光测量装置不可缺少的,尤其是光纤通信的良好匹配元件。在多模光纤装置中把来自一路通道的信息快速转换到另外几路通道中,需要光多接点开关。另外,磁性材料作为光无源器件,具有良好的光特性,如钇铁石榴石磁性单晶材料在近红外波段 1.55 微米处具有一个透明的窗口,光吸收损耗极低。我们知道,光的传输损耗与通过光纤的光波波长有关。在 1.55~1.58 微米波长时,光纤具有较低的光传输损耗和较小的光色散,这特性有利于远距离和宽带光纤通信。如目前广泛使用 1.55 微米的光波频率,在此波长时,光传输损耗约为每公里 0.2 分贝,这样在远距离光纤通信中,只需要间距为 100~150 公里的中继器。这对磁光无源器件的发展提供了一个良好的环境,其特性比机械、电光器件要好,而且适合于集成化。

磁光无源器件的优点是功耗低、结构简单等;但最主要的是能够薄膜化,适合于集成光学系统。这一点很重要,因为,把光源、透镜、棱镜和非互易光学元件做成薄膜器件集成在一块衬底上的集成光学技术是 21 世纪发展方向,在集成光学基础上发展的集成磁光学是应用磁性薄膜作为光波导来实现光无源元件,也是磁性薄膜学的一大重要技术发展。

2.2 磁光存储器

当前只读和一次刻录式的光盘已经广泛应用,但是可重复写、擦的光盘还没有产业化生产。最具有发展前途的是磁性材料介质的磁光存储器,其可以像磁盘一样反复多次地重复记录。目前大量使用的软磁盘,由于材料介质和记录磁头的局限性,其存储密度已经达到极限;另外其已经不能满足信息技术的发展要求,无法在一张盘上存储更多的图象和数据。采用磁光盘存储,就能在一张盘上记录数千兆字节到数十千兆字节的容量,并且能反复地擦写使用。

3 磁性抗电磁干扰材料

随着信息技术的高速发展,人们在享受方便、快捷、高效的信息化时代的同时,正面临着日益恶化的电磁环境。周围的空间电磁辐射日趋严重,不仅影响到电子设备的正常工作,而且影响到人类的正常生活。所以抗电磁干扰(EMI)和电磁兼容(EMC)材料的发展引起人们的关注。由于软磁铁氧体材料具有吸收电磁干扰信号,从而达到抗电磁干扰的目的,受到人们的重视。

3.1 抗电磁干扰和电磁兼容材料

电磁波辐射和传导的干扰信号会使高灵敏的电子设备性能下降、失灵,甚至会发生故障或事故。在各种电子、电力线路中必须采用各种特性和各种形状的 EMI 软磁铁氧体磁芯,以满足抗电磁干扰和电磁兼容的要求。随着电子设备向高频、高速、高组装密度发展,各类磁芯向高磁导率、高频化和小型化发展。众所周知,电子设备接上电源工作时,由于电

源的噪声干扰,等于接上一个噪声源。同时,电子设备一旦内部产生噪声,也会向外发射电磁干扰信号,影响周围的电子设备正常工作。所以必须使用交流电源线路滤波器来抑制外来的电源噪声,同时防止设备内产生的干扰噪声外泄。现在国际上对电磁干扰和电磁兼容提出更高的要求,禁止无上述功能的电子设备销售。中国进入 WTO 后,各企业领导必须对此引起高度重视,同时也是上述产品发展的良好机遇。21 世纪磁性抗电磁干扰产品和电磁兼容产品发展的方向是宽频化和薄膜化。由于电源噪声的频率存在从低频到高频的宽带范围,所以对软磁铁氧体材料也要求有较宽的频率范围。由于各类电子设备小型化的发展,过去传统的绕线型磁芯器件将被叠层型磁芯器件取代。前者是将导线绕在软磁铁氧体磁芯上制成,但体积较大。后者是用软磁铁氧体浆料和导体浆料交替叠层厚膜印刷和烧结而成,实现小型化表面安装。今后进一步的发展是采用薄膜化工艺,使器件达到微型化。

3.2 电磁波吸收材料

铁氧体材料能吸收和衰减电波的电磁能量,使反射电波减少或消除;并能在超高频到毫米波频率范围内工作,而且在频带宽度和几何尺寸方面均有优越性,成为电子抗干扰方面的重要研究和应用材料。在军事上,把它涂在飞机和导弹的表面,是反雷达的一种有效措施,也是当今隐身技术发展重点,在电子对抗战中有着广阔的应用前景。在民用方面,把它涂在通信基地的屋面上和抛物面天线上,能改善通信质量;同时也用作微波功率源的屏蔽,防止微波辐射伤害人体。铁氧体电波吸收材料最重要的应用是在军事方面,把它涂在飞机和导弹飞行器上,或坦克、军舰等作战装备上,可以衰减电磁波的反射信号,削弱雷达侦察作用距离,是反雷达伪装的一种有效措施。最初人们使用薄片和薄板,影响应用范围和装备的机动性,现在使用液体涂料有利于施工和轻型化。随着新材料的开发,纳米磁性材料的出现将为电磁波吸材料应用提供了广阔的领域。

4 纳米磁性材料

随着科学技术的发展,新材料的研究和应用也不断进展。目前的纳米材料研究也深入到磁性材料领域,开发出新的纳米磁性材料。在 1988 年,首先发现在铁基非晶的基体中加入少量的铜和稀土,经适当温度晶化退火后,获得一种性能优异的具有超细晶粒(直径约 10nm)软磁合金,后被称为纳米晶软磁合金。纳米晶磁性材料可开发成各种各样的磁性器件,应用于电力电子技术领域,用作电流互感器、开关电源变压器、滤波器、漏电保护器、互感器及传感器等,可取得令人满意的经济效益。

近年来,国内外对纳米晶磁性材料的研究非常热门,发展很快,铁基纳米晶合金材料已经在以下几个方面获得成功的应用。①精密电流互感器,在高电压输电线路中应用日益增多,准确度达到 0.2 级和仪表保安系数小于 5,并且成本比高磁导率坡莫合金低 50%。

③高频大功率开关电源变压器,其工作频率为 20—50kHz,输出功率在 10kW 以上,效率在 90%以上,而且体积小,温升低。④开关电源,能解决损耗、体积和温升三者的难题,满足高频化和小型化的要求。⑤抗电磁干扰器件,具有抗饱和能力强、电感量大、品质因素高、体积小和高效节能等到特点,广泛地应用于通讯设备、精密测控设备和计算机设备等。⑥传感器,特别适用作高灵敏场合的磁性器件,如磁头、漏电保护开关等。

今后,纳米磁性材料的开发应用,会在以下几个方面得到发展:①纳米晶软磁合金,进一步在电力电子变压器件系统应用。②复合磁性薄膜应用,当工作频率在 1MHz 以上,厚度小于 5 μ m,通常晶化法获得的纳米晶合金难于满足要求;利用复合法制备的磁性薄膜能应用于超高频领域。(1)利用纳米晶铁磁薄膜和非磁性薄膜交替镀膜的方法制备多层调制膜,可以形成高磁电阻效应,制成高灵敏传感器和计算机磁头。(2)将纳米晶的金属软磁颗粒弥散镶嵌在高电阻非磁性材料中,构成两相组织的纳米颗粒薄膜,这种薄膜最大特点是电阻率高,称为巨磁阻效应材料,在 100MHz 以上的超高频段显示出优良的软磁特性。(3)纳米晶软磁材料粉末与橡胶等混合,制成磁屏蔽和微波吸收材料,在电波吸收方面具有很好的实用性能。

由于电和磁的相互依附性,有电流的发生,就有磁场的产生;不管是军用或民用的各种电子设备,现在和将来,均离不开配套的磁性元器件。在 21 世纪,磁性材料的发展新动向是高频化、薄膜化与纳米材料,进一步提高材料的性能,满足信息技术革命要求。

我国永磁铁氧体工业“十五”展望与设想

黄 刚

(四川宜宾 899 厂 四川宜宾 644005)

1 前言

永磁材料是国民经济的一种不可缺少的基础材料。若从我国四大发明之一的指南针算起,永磁材料的诞生至今已有数千年的历史了。但真正迎来永磁材料的辉煌却归功于电子信息工业的兴起和发展。1950 年,全球永磁材料的产值仅几千万美元,但是,到 90 年代末,全球纯永磁材料(不含永磁应用产品)的产值就已达 60 多亿美元,以永磁材料为重要组成部份的磁性材料现已成为电子信息产业的四大功能材料之一。

永磁铁氧体具有现代永磁材料最重要的优点,即经济性(低成本),充分利用这一优势,它遏制了性能超过其 10 倍的 NdFeB 永磁。在永磁材料的应用领域,单以产量(吨位)而论,铁氧体至今仍占据 90% 以上的份额。但是,为了与性能占压倒优势的 NdFeB 永磁相抗衡,维持铁氧体现有的地位,就必须在不破坏其经济性的前提下,积极探索 Ms 更高的 W 型铁氧体以进一步提高永磁铁氧体的性能和档次,同时依托工艺装备和技术的改进,对高档永磁铁氧体实施大规模集约化生产,以充分发挥规模经济的优越性,这是我国“十五”期间永磁铁氧体行业发展的两个基本方向。

2 适度发展我国永磁铁氧体大有可为

永磁铁氧体是由铁的氧化物和锶(或钡)化合物按一定比例混合,经预烧、破碎、制粉、压制成型、烧结和磨加工而成。永磁铁氧体分为锶铁氧体($\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)和钡铁氧体($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)两种,锶铁氧体的 H_c 比钡铁氧体高,因此更适合在电机中使用。在永磁材料大家族中,尽管永磁铁氧体的综合磁性能较低,但由于原材料丰富、平均售价及单位磁能积的成本最低(单位磁能积的成本,国际上通常将其作为比较不同永磁材料价值的基准)、工艺简便成熟、抗退磁性能优良(其退磁曲线基本是直线,且回复线基本与退磁曲线重复),又不存在氧化问题(其居里温度达 450~480℃),在很多应用领域(如应用电磁感应原理的汽车直流电机、启动电机、小气隙磁性接头、音频变换器、分离器、吸持装置等)仍是最理想的首选永磁材料,所以世界永磁铁氧体自 50 年代批量生产以来,其发展势头十分迅猛,目前产值约占永磁材料总产值的 45%,预计在今后较长一段时间内,它仍将是应用最广、需求量最大的永磁材料。

永磁铁氧体及其应用产品是一种典型的节能、节材、节汇和出口创汇产品。无论从资源利用的角度,还是从能源和应用的角度来看,其发展前景都是十分广阔的。在国际市场上,由于永磁铁氧体生产投资较高、占地面积较宽、又是一种耗能工业,加上劳动条件差及需要环保治理等因素,因此近年来其主要产地已由日、美、西欧等先进工业国向发展中国家转移,在这种大好机遇下,适度发展永磁铁氧体特别是高档永磁铁氧体对发展我国汽车、摩托车、电子信息等国民经济支柱产业及出口创汇具有重大意义,符合国家产业政策与规划,无疑是十分必要的,也是大有可为的。

3 世界永磁铁氧体的科研生产现状与发展

从生产情况看,当今世界永磁铁氧体的生产呈现两个显著特点,一是亚洲地区更加突出其中心、大本营地位,表现在除原永磁铁氧体王国——日本仍基本保持原有生产规模(含在海外工厂的生产)外,其它亚洲国家和地区均有较快发展;三是生产重心逐步向发展中国家偏移,表现在原永磁铁氧体生产大国向海外发展、在发展中国家设立“三资”企业以及我国、印度、韩国、马来西亚等国家的生产迅速发展。

表1所列是1985~2000年世界永磁铁氧体产量的大致分布情况;图1则示出了世界主要国家或地区永磁铁氧体的发展态势。从表1和图1可看出或推断出:世界永磁铁氧体产量由1985年的16.4万吨增长为2000年的40万吨,年增长率为6.1%。其中日本产量由7.2万吨减少到4.6万吨,为唯一的负增长国家;欧美地区呈微增态势;东南亚地区发展迅速,年递增16.6%,仅次于我国的17.9%。约占世界总量的2/3是在亚洲地区生产的。可见,当今世界永磁铁氧体的生产重心已明显偏向发展中国家。

表1 1985~2000年世界永磁铁氧体产量情况

年 度	产 量(吨)					
	日本	欧美	东南亚	中国	其它	合计
1985	72000	51000	8000	11000	22000	164000
1990	84000	77000	35000	25000	40000	261000
1995	64000	82000	55000	80000	50000	331000
2000(预测)	46000	84000	8000	130000	60000	400000
Δ	-2.9	3.4	16.6	17.9	6.9	6.1

注: Δ 表示'1985~2000间的年平均增长率(%)

从科研情况看,尽管国外早已实现“444”即 $B_r \geq 4000\text{Gs}$ (0.4mT)、 $H_{CI} \geq 4000\text{Oe}$ (320kA/m)、 $(BH)_m \geq 4\text{MGOe}$ (32kJ/m³) 的目标,但离铁氧体的理论值还有一段不长不短的路要走,为此许多企业仍在想尽方法推进材料性能的发展。如日本TDK公司继率先