

2006
NSI

主 编 钮晓鸣

副主编 施利毅 闵国全 费立诚

纳米科技发展

—— 2006 年上海纳米科技与产业发展研讨会论文选



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

纳米科技发展

—— 2006 年上海纳米科技与产业发展研讨会论文选

主 编 钮晓鸣

副主编 施利毅 闵国全 费立诚



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

纳米科技发展——2006 年上海纳米科技与产业发展研讨会论文选/钮晓鸣主编.

—上海:华东理工大学出版社,2006.10

ISBN 7-5628-1997-1

I. 纳... II. 钮... III. 纳米材料—学术会议—文选 IV. TB383-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 116790 号

纳米科技发展

——2006 年上海纳米科技与产业发展研讨会论文选

主 编 / 钮晓鸣

副 主 编 / 施利毅 闵国全 费立诚

责任编辑 / 周永斌

封面设计 / 王晓迪

责任校对 / 张 波

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

(021)64252253(编辑室)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787mm × 1092mm 1/16

印 张 / 21.75

字 数 / 411 千字

版 次 / 2006 年 10 月第 1 版

印 次 / 2006 年 10 月第 1 次

印 数 / 1-3020 册

书 号 / ISBN 7-5628-1997-1/TB·10

定 价 / 78.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换)

前 言

第三届上海纳米科技与产业发展研讨会已于2006年5月17—18日在上海召开,这是上海市科委纳米科技专项行动计划实施五年来召开的第三次国内大型学术交流会议。此次会议受到了科技界、企业界以及投资界的广泛关注,有300多人报名参加了会议,200多篇论文在大会上宣读发表。这些论文比较集中地体现了上海近年来在纳米材料与纳米结构、纳米生物医药、纳米电子、纳米加工、纳米测量与表征等研究领域取得的一系列重要进展。同时,也体现了上海在纳米技术产业发展、基地建设和人才培养等方面所取得的最新成果。

通过大会交流、专家评选、组委会审定,最终有52篇优秀论文入选《纳米科技发展——2006年上海纳米科技与产业发展研讨会论文选》,并公开出版,其中涉及科学理论、技术应用、发展建议、人才培养和基地建设等各个专题,以期为更多的科研人员、工程技术人员、管理人员以及风险投资者等各界人士提供学习参考。

由于水平有限,在选稿和整理中难免有些不当之处,敬请各位读者不吝指教。

钮晓鸣

于上海市纳米科技与产业发展促进中心

2006年9月

目 录

从欧盟框架研究计划思考上海纳米科技发展

..... 钮晓鸣,施利毅,万永中,闵国全,费立诚,李小丽 (1)

掺杂 Y_2O_3 氧化锌压敏电阻陶瓷的显微组织及电性能

..... 蒋冬梅,刘宏玉,孔慧,石旺舟,马学鸣 (8)

纳米硅基双势垒 MOS 结构的原位制备、F-N 隧穿及电荷存储

..... 吴良才,陈坤基,宋志棠 (16)

新型透明氧化物半导体薄膜 $In_2O_3:W$ 的开发研究

..... 李喜峰,张群,缪维娜,黄丽,章壮健,华中一 (23)

高效发光的聚合物——氧化锌纳米复合材料

..... 熊焕明,夏永姚 (31)

小分子抗体芯片及其在同步多元分析中的应用

..... 宋世平,樊春海 (36)

La 和 Sb 掺杂 SnO_2 纳米导电粉体的制备和红外光谱的研究

..... 刘小珍,桑文斌,陈捷,方芳 (44)

一步固相法制备分级结构的纳米二氧化钛光催化材料

..... 张青红,高濂,郑珊 (50)

掺杂 Si 的 $Ge_2Sb_2Te_3$ 相变薄膜的性能研究

..... 乔保卫,冯洁,赖云锋,凌云,林殷茵,汤庭鳌,蔡炳初,陈邦明 (57)

纳米药物 C_{60} -苯甲酸氮芥的体内分布及药效

..... 李晴暖,冉铁成,徐晶莹,李文新 (65)

三维原子探针及应用

..... 刘文庆,周邦新,王占勇 (70)

聚羟基丁酸戊酸共聚酯(PHBV)/纳米 SiO_2 共混体系的研究

..... 和晶,王鹏,陈彦模,朱美芳 (77)

辅助电场下金属纳米晶局域分布的铈硝酸盐系统玻璃研制

..... 林健,李博芳,井冲,黄文昂 (84)

高荧光性 $CdSe/PDDA$ 自组装膜的制备及表征

..... 王京红,刘明贤,曾姪玲,甘礼华,徐子颀,陈龙武 (91)

砂仁挥发油纳米脂质体对试验动物胃肠功能的影响	吴敏,李战,路薇薇 (98)
核壳结构二氧化硅/磁性纳米粒子的制备及应用	丁建芳,姜继森 (104)
原位聚合法制备纳米氮化铬/聚吡咯核壳结构	李耀刚,曹慧群,朱美芳,王宏志,陈彦模 (111)
一种可擦写可读出的分子基电双稳器件	蔡永攀,吕银祥,蓝碧健,季欣,徐伟 (117)
磁控溅射制备 Cu/FeNi 复合丝的巨磁阻抗效应	毛启明,阮建中,杨燮龙,赵振杰 (123)
纳米材料中的相稳定性及其在磁学中的应用	戎咏华 (129)
软铋矿型铁酸铋纳米棒的水热合成和微结构分析	吴长亮,韩建涛,吴晓京 (139)
基于尺寸可控的硅纳米晶的光学微盘共振器阵列	张荣君, S. Y. Seo, A. P. Milenin, M. Zacharias, U. Gösele (144)
CMP 专用大粒径纳米二氧化硅研磨料的研究	张楷亮,王良咏,宋志棠,封松林 (152)
金属有机纳米双层膜中的传质动力学与机制研究	钟澄,蒋益明,刘平,郭峰,谢亨博,李劲 (160)
V_2O_5 常压干燥气凝胶薄膜的制备及 Li^+ 输运研究	吴广明,房兴梅,肖锐,王爱荣,沈军 (167)
使用钛系催化剂的 PET 缩聚过程动力学研究	孔凡滔,杨景辉,李福清,吴秋芳,马新胜,於定华,赵玲 (175)
导向肽在磁性纳米颗粒表面上的功能化修饰	甘志锋,姜继森,杨勇,杜冰,钱旻,章平 (182)
基于磺化聚苯乙烯中空纳米微球的复合质子导电膜的研究	王丹,浦鸿汀,蒋峰景 (189)
高分散纳米银的制备及其形态控制研究	丁亮,傅乐峰,郑柏存 (196)
TiNi 催化生长碳纳米管薄膜及其场发射性能研究	陈婷,孙卓,陈奕卫,王莉莉 (204)

具有细胞识别功能的纳米纤维薄膜的制备及研究	顾书英,张春艳,任杰 (208)
纳米 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜的制备及其光学性质	孙林林,马学鸣,石旺舟 (216)
用于消除室内有害气体的纳米催化剂制备与应用研究	徐菁利,孙彦刚,李亚莉 (222)
纳米压痕与刻划技术在表征 TiN 膜力学性能中的应用	王秀芳,杨晓萍,史弼,宋洪伟 (230)
PET/ATO 纳米复合抗静电聚酯的原位聚合制备及其性能	邵玮,陈晓蕾,李春忠,张玲 (238)
纳米金粒子辅助的 PCR 多轮扩增研究	潘加奎,李海阔,曹雪雁,黄皆欢,张晓东,樊春海,胡钧 (245)
纳米碳管负载多晶氧化铈纳米颗粒的制备	施利毅,张登松,付红霞,方建慧 (252)
莜术纳米囊体外渗透性研究	赵明,汤秀珍,沈平壤,袁慧慧,蓝闽波 (256)
纳米压印及相关核心技术	李小丽,朱兆颖,万永中,刘彦伯,王庆康 (261)
极紫外与软 X 射线波段纳米多层膜反射镜	王占山,朱京涛,张众,王洪昌,徐焱,陈玲燕 (272)
碳纳米管负载氧化铈的制备和表征	李耀刚,曹慧群,朱美芳,刘洋,俞昊,陈彦模 (278)
纳米技术在生物可降解材料聚乳酸中的应用	任杰 (284)
大屏幕拼接显示用纳米碳管发光单元阵列	王曦,冯涛 (293)
纳米科普——2049 项目构架起纳米科学家与科学教育者的桥梁	李民乾,艾小白 (299)
纳米尺度物质的测量表征和标准	李同保 (302)
纳米压印技术、表面纳米结构及新颖光学器件研究	王庆康 (311)

产学研结合——加速纳米科技人才的培养

..... 孙卓,潘丽坤 (315)

从学科交叉谈人才梯队建设

..... 沈军 (320)

纳米科技本科教育探索

..... 陈怡,施利毅 (322)

工程中心应成为高级复合型人才孵化器

——浅谈国家超细粉末工程研究中心的人才培养

..... 於定华,马新胜,孙颖 (325)

高校科研团队的创新能力的培养与提高

..... 赵东元 (327)

多方联合、共建共享功能材料工业化研发服务基地

..... 马国瑜,马新胜,於定华,吴秋芳 (331)

从欧盟框架研究计划思考上海纳米科技发展

钮晓鸣* 施利毅** 万永中 闵国全 费立诚 李小丽

(上海市纳米科技与产业发展促进中心, 上海 200237)

摘 要: 本文介绍了欧盟框架研究计划(FP)的背景, 并将 FP7 与 FP6 进行了比较, 通过分析 FP7 中涉及的纳米科技战略及其研究热点, 发现 FP 若干策略和措施值得我们借鉴。在深入领会国家及上海中长期科技发展规划纲要基础上, 提出了近期上海纳米科技发展的指导思想、发展策略及主要措施。

关键词: 欧盟框架研究计划; 上海纳米科技; 发展战略

1 欧盟框架研究计划

1.1 FP7 的背景

欧盟框架研究计划是由欧盟资助设立的国际高水平研究计划合作平台。该计划是为了加强欧盟国家间的科学技术合作而专门制定的中期重大科研计划, 具有研究水准高、涉及领域广、投资力度大、参与国家多等特点^[1]。

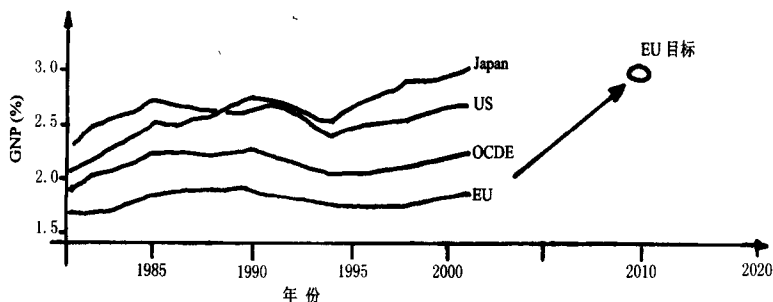


图1 各国(或组织)研发投入现状及欧盟的目标

图1为各国(或组织)研发投入现状及欧盟的目标。从图中可以看出, 各国或组织研发预算经费占国民生产总值的比例均呈上升趋势。目前, 日本的研发投入已经达到了国民生产总值(GNP)的3%, 而欧盟仅占GNP的1.9%, 欧盟拟通过加大投入, 在2010年研发预算经费达到GNP的3%。

* 钮晓鸣, 上海市纳米科技与产业发展促进中心主任;

** 施利毅, 上海市纳米科技与产业发展促进中心特聘首席科学家, 上海大学纳米科学与技术研究中心副主任。

繁荣昌盛，欧洲全体公民的再联合，促进欧洲知识经济区的发展是欧盟的优先目标。2005 年 4 月，欧盟委员会采纳了开展 FP7 的建议，FP7 提出了促进欧洲的经济增长和加强欧洲的竞争力，强调知识是欧洲最大的资源。投资知识是促进欧洲经济增长和增加更多更好就业岗位最优和可能实现的方式，同时能够保证社会进步和环境可持续发展。欧盟的研究政策及 FP7 对实现欧盟目标将发挥重要作用。研发是欧盟促进其经济增长和增加就业岗位的核心，与教育和创新一道，是“知识三角”的关键。欧洲必须增加研发投入，并更好地将科学成果转化成为新的产品、工艺和服务，实现“世界上最有活力和竞争力的知识经济”的目标^[2]。

FP7 比以往计划更加注重科研与工业的紧密结合，增强国际竞争力，并且保持在一些领域的领先地位。FP7 创立了欧盟研究理事会，设立专项资金资助欧洲研究人员的科研项目，重点支持那些促进欧洲在全球竞争中发挥作用的优秀基础研究项目。此外，为鼓励企业参与，将大大地简化项目的受理与评审程序。2005 年 12 月，FP7 第一次在欧洲议会亮相；2006 年 5 月，欧洲议会再次审议并于 6 月通过了 FP7 计划；预计 2006 年 10 月，将审批 FP7 工作方案；11 月将公布 FP7 第一次招标。

1.2 FP7 预算及分布

图 2 为 FP1~FP7 研发预算情况。从图中可以看出，计划的预算经费呈大幅增长的趋势。其中，FP1 研发预算经费不足 50 亿欧元，FP6 为 170 亿欧元，而 FP7 预算经费已增至 500 亿欧元左右，二十年左右增加了 10 倍以上。

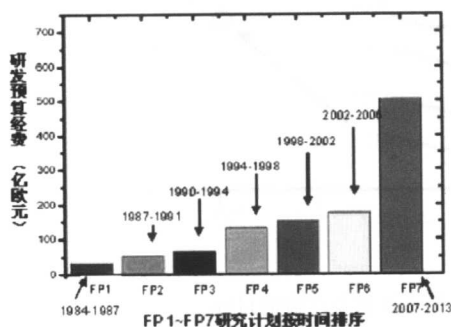


图 2 FP1~FP7 经费预算情况

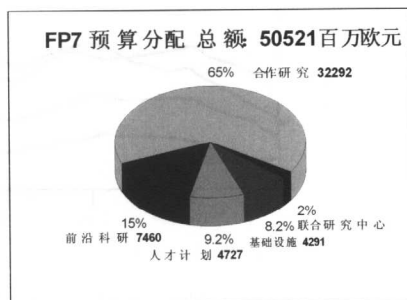


图 3 FP7 预算分布 (单位: 百万欧元)

FP7 包括合作研究 (Cooperation)、前沿科研 (Ideas)、人才计划 (People)、基础设施和中小企业创新 (Capacities) 等主要部分。图 3 为 FP7 预算经费的具体分布情况。从图中可以看出，合作研究约占 65%，前沿科研约占 15%，人才计划和基础设施各占 9% 左右，联合研究中心占 2%。在合作研究中，与纳米科

技相关的预算约占 11%^[3]。

2 FP7 与 FP6 的对比

2.1 FP7 是 FP6 的继续与发展

以往的欧盟框架研究计划以 5 年为期限，从 FP7 开始，将延长至 7 年。但 FP7 与 FP6 保持着很强的连续性，作为执行前几次框架计划的欧洲合作伙伴将继续作为项目的核心，前几次的部分计划也将保留，如玛丽·居里人才计划、中小企业行动、合作项目、优秀中心网络。与 FP6 相比，FP7 主题目标将继续延伸。FP6 的目标是在知识经济下追求创新，促进经济持续增长、创造更多就业机会和加强社会凝聚力，使欧盟到 2010 年成为世界上最具竞争力和活力的知识经济社会。FP7 的目标是建设知识型欧洲研究区，促进整个欧洲全面发展。

FP6 主要包括集中和集成欧洲研究、欧洲研究区结构建设以及加强欧洲研究基础建设三方面。而 FP7 主要强调合作、人员和研究能力等方面。与 FP6 相比，FP7 合作研究的支持领域作了一定的调整，如图 4 所示。FP6 主要支持 7 个优先研究领域，而 FP7 支持 9 个优先研究领域。FP7 中主题 1、2、3、4、8 改名，且内容稍微有所变化，主题 5、6、7、9 是 FP6 中主题的细分，其中主题 9 含新增的安全方面内容。

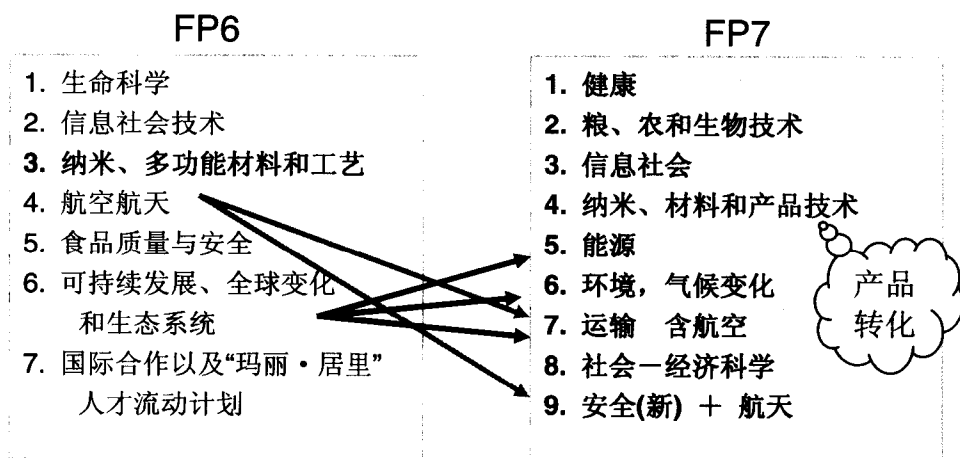


图 4 FP7 和 FP6 的合作研究优先支持领域

2.2 FP7 的特点

FP7 特别注重强化研究能力，包括研究设施、研究潜力、中小企业研究、区域知识、科学与社会、国际合作等。

FP7 比以往更重视欧洲工业需求的开发研究,鼓励合作拓展与产学研结合,FP7 将采取多种灵活措施,吸引工业界参与,并面向欧洲工业的需求,设立欧洲技术平台和新的“合作技术项目”。这些项目是欧洲公众感兴趣的题目,特别是欧洲技术平台,将通过与工业界对话而确定;通过设立“欧洲研究理事会”,评议、资助欧洲最好的基础研究项目;鼓励与欧盟外的国家开展国际合作,使国际合作伙伴在同一框架合同下开展合作研究;FP7 将更紧密地结合欧洲社会的需求,整合大学、研究中心、企业和地方政府等区域资源,提高地区研究能力;通过设立“风险分担财务系统”,促进欧洲投资银行扩大向研究、技术及开发活动贷款,促进私人机构对研究的投资。FP7 的另一个重要特点是明显简化实施程序。欧盟委员会建立了咨询组,由小企业和研究小组或团队的代表组成。咨询组将对简化措施是否真正达到预期效果提出意见。另一个新特点是“发展地区知识”,使同一地区的研究合作伙伴结合到一起,如大学、研究中心、企业和地方政府,促进当地的科研能力迅速得到拓展。

3 FP7 中纳米科技研究战略和研究热点

3.1 纳米科技战略

欧盟倡导的纳米科技发展途径主要包括社会发展、基础设施、人力资源、产业创新以及国际合作等。2005 年,欧盟公布了欧洲纳米科技的发展战略^[4,5]。欧盟将加强对纳米技术研究的资金投入;加强在纳米医学、纳米电子和纳米化学等关键领域的学科交叉;创造推动纳米技术成果转化的条件;推动跨学科人才的教育与培养等;建设多个顶尖级研究中心及一个旨在支持欧洲研究人员参与世界竞争的机构;强调要在推广纳米技术应用的同时,加强研究纳米技术对环境、健康及安全可能产生的负面影响,走可持续发展的道路。

在 FP7 中,纳米科学和纳米技术呈凸显地位。合作研究的领域为纳米科技、材料与新产品,把纳米技术提升到作为下次工业革命旗帜的高度,强调兼顾纳米科学的基础研究;认为纳米材料是创新的关键,强调拓宽材料种类,注重技术研究;把新产品(包括处理手段及器件)作为持续发展的动力,强调工业应用的技术集成。

为确保和增强欧盟在全球激烈竞争中的地位,欧盟将加强纳米科技的研发和平台建设,已将纳米电子、纳米医学与制造、钢铁、化学、运输、建筑、安全、纺织和造纸等一并列入欧洲技术平台建设计划。2003 年 6 月,欧盟第一次高层会议就确立了纳米电子平台的规划,提出了 2020 年欧洲纳米电子发展战略,制定了相关的研究政策,还制定欧洲长期的纳米电子发展规划,确定主要挑战、目标、合作伙伴、资源、时间表及社会经济伦理。

3.2 研究热点

近期, 欧盟加大了纳米电子学领域的资助, 如 2004 年 11 月—2005 年 3 月投入 7400 万欧元资助“微纳集成技术和器件”和“纳米电子器件”, 2005 年 5 月—9 月又投入了 5800 万欧元资助“基于微纳技术的子系统”和“关键产品及应用的集成微纳系统”。当前, 纳米生物技术, 纳米加工的产品(如材料和器件), 应用于健康和医疗系统、化学、食品、安全和环境等的纳米技术, 深入理解纳米尺度现象、控制工艺和发展研究工具等, 都成为招标的热点。

在 FP7 涉及的纳米科技领域, 建议研究的主要内容包括: 界面和尺度相关现象; 纳米材料特性及应用; 自组装特性、纳米马达; 纳米机械和纳米系统及高精度技术集成; 纳米化学; 纳米尺度的特性, 操纵方法和工具; 新概念和应用途径; 纳米度量、术语和标准; 纳米科技运用于健康、安全和环境。FP7 还把纳米电子技术与支撑未来能源的氢和燃料电池、环境和安全的全球监控、航天航空运输、针对欧洲人的新药以及嵌入系统等一起, 列为六大新兴技术。

4 近期上海纳米科技发展的思考

4.1 指导思想和发展重点

2006 年召开的“国家科技大会”上提出了“加强自主创新、建设创新型国家”的重要战略; “十一五”规划也明确提出, 到 2010 年, 科研总投入将达到 GDP 的 2%。纳米科技作为引领未来科技革命的核心技术之一, 已引起产业界和科学界的高度重视。今年年初公布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》和《上海中长期科学与技术发展规划纲要》中, 都将纳米科技作为前沿技术领域进行了长期布局^[6,7]。

为体现国家战略, 贯彻上海科教兴市主战略, 上海纳米科技将通过引领工程, 塑造未来上海, 跟踪国际纳米科技的最新发展方向, 以市场、应用和重大战略需求为导向, 坚持阶段性目标、突出重点。

上海纳米科技发展的策略将以研发为中心, 应用为导向, 力求自主创新, 涵盖产品开发、人才培养、科学普及、基地建设、社会公益、基础设施等方面, 如图 5 所示。上海中长期科技发展规划, 以引领

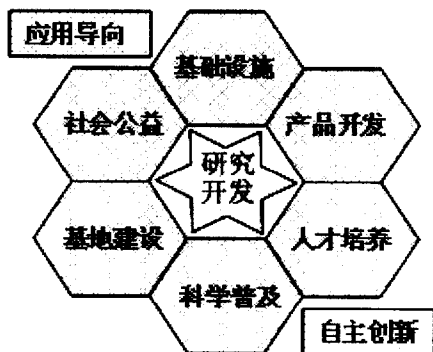


图 5 上海纳米科技发展途径

工程(HEAD 工程)为突破口,突出科技塑造未来上海。工程中的 H 代表 Health,即健康上海。上海纳米科技发展将加强公共安全和疾病的早期诊断、治疗,发展快捷化、便携化和高灵敏度、高特异性的食品安全检测技术;重大疾病的早期诊断与有效治疗;靶向控释药物技术及传递系统;纳米材料的生物安全性评估等。工程中的 E 代表 Ecological,即生态上海。上海纳米科技发展将加强环境保护和资源有效利用,注重资源和环境保护,开发先进能源技术,研制高效节能建筑新材料。工程中的 A 代表 Advanced Manufacturing,即精品上海。上海纳米科技发展将加强高附加值和低消耗的精品制造,开发半导体照明终端应用产品,高清晰、大面积平板显示器,发展纳机械/纳电子机械关键加工工艺技术,研制多功能纳米复合材料。工程中的 D 代表 Digital,即数字上海。上海纳米科技发展将打造信息技术及产品,开发信息功能材料、纳米结构制造技术,研制高密度存储芯片,促进新一代微纳光、电器件研究及应用。

4.2 推进上海纳米科技发展的主要措施

为有效推进上海纳米科技的发展,将主要围绕基地建设、人才培养、基础设施和机制设计等方面开展扎实工作。

在基地建设方面,应引导已有科研成果向产业化基地(徐汇、宝山)集聚,营造集成创新、产业链合作新机制,促进成果产业化;构建以专业研发、成果转化和公共服务为特色的专业孵化器;依托专业技术服务平台,建立若干纳米特色科普基地。

在人才培养方面,将构建集科研、教育和技能培训等为一体的纳米科技人才培养计划;采用新机制建立开放平台,引进和培养国内外高级人才;科研渗透教育,从本科教育入手,逐步拓展;继续实施纳米科技应用紧缺人才培训计划,培养技能操作人才,为纳米技术产业化提供人才支撑。

在基础设施方面,继续强化八大专业技术服务平台,提升平台资源力量和核心技术,加强服务功能,为中小企业提供技术支撑;建设纳米加工核心技术实验室,着眼未来、超前布局,建立开放共享机制。

在机制设计方面,坚持以应用为导向,企业为主体,产学研结合的研发机制;强化以联合实验室为依托,多学科交叉的合作机制;鼓励以国内、国际合作为抓手,开放的参与机制。

参考文献

- [1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Science and technology, the key to Europe's future—Guidelines for future European Union policy to support research, Brussels, 16.6.2004, COM(2004) 353 final.

- [2] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Building the ERA of knowledge for growth, Brussels, 6.4.2005, COM(2005) 118 final.
- [3] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Concerning the seventh framework programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (2007 to 2013), Brussels, 24.5.2006, COM(2005) 119 final.
- [4] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Towards a European strategy for nanotechnology, Brussels, 12.5.2004, COM(2004) 338 final.
- [5] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009, Brussels, 7.6.2005, COM(2005) 243 final.
- [6] 《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020 年). 中华人民共和国国务院, 2006.
- [7] 《上海中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020 年). 上海市人民政府, 2006.

From EU Research Framework Programmes to the Development of Nanoscience and Nanotechnology for Shanghai

Niu Xiaoming Shi Liyi Wan Yongzhong Min Guoquan
Fei Licheng Li Xiaoli

(Shanghai Nanotechnology Promotion Center, Shanghai 200237, China)

Abstract: The background of EU Research Framework Programme (FP) is introduced. Comparing FP6 to FP7, we find several key research areas and some important issues particularly in the fields of nanoscience and nanotechnology. Based on the analysis of the research areas and new policies about nanoscience and nanotechnology proposed by FP7, as well as the National and Shanghai Guidelines for Medium and Long-term Plans for Science and Technology Development, the development strategy of nanoscience and nanotechnology for Shanghai is discussed.

Key words: EU Research Framework Programme, Nanoscience and nanotechnology for Shanghai, Development Strategy

掺杂 Y_2O_3 氧化锌压敏电阻陶瓷的显微组织及电性能*

蒋冬梅 刘宏玉 孔慧 石旺舟 马学鸣**

(华东师范大学物理系, 上海 200062)

摘 要: 采用掺杂 Y_2O_3 、高能球磨及低温烧结技术, 制备了电位梯度达 1934~2197 V/mm、非线性系数 (α) 20.8~21.8、漏电流 (I_L) 0.59~1.04 μA 、密度 5.46~5.57 g/cm³ 的氧化锌压敏电阻陶瓷, 其通流容量为 276 J/cm³, 残压比为 1.41。利用电子探针观察了压敏电阻陶瓷的分布和形貌。随 Y_2O_3 含量的增加, 电位梯度和非线性系数提高, 漏电流、密度降低; 施主浓度(N_d) 及界面态密度(N_s) 与 Y_2O_3 含量密切相关。

关键词: 氧化锌; 压敏电阻; 电性能; 高能球磨; 低温烧结

1 引言

氧化锌压敏电阻因具有优异的非线性特征, 而广泛用于电力系统的避雷器及电子器件的过压保护和稳压器中。在避雷器领域, 为减少重量和尺寸, 高电位梯度是技术发展趋势^[1]。

制备高电位梯度压敏电阻的方法包括物理法、化学法或二者结合法。虽然化学法能制备超细粉末, 可获得高电位梯度^[2-6], 但方法复杂, 有些^[5-6]烧结温度难以低于 900℃。再者, 化学法仅处于实验室规模, 实际生产仍以物理法即传统球磨加高温烧结方法为主, 烧结温度一般在 1100~1350℃^[7-8]。高温烧结不仅成本增加, 而且使晶粒长大, 从而导致电位梯度降低。因此, 低温烧结是必要的。

稀土 Y 可显著改善压敏电阻电性能^[1]。Bernik^[9]采用传统球磨加高温烧结法, 在 ZnO-Bi₂O₃ 体系添加 0.1~0.9 mol% Y_2O_3 , Nahm^[10]采用同样方法在 ZnO-Pr₆O₁₁ 体系中添加 0.5~4.0 mol% Y_2O_3 。本文采用高能球磨加 800℃低温烧结法, 研究了在 ZnO-Bi₂O₃ 体系添加 0.02-0.1mol% Y_2O_3 后, 压敏电阻陶瓷的显微组织及电性能变化规律。

2 实验方法

氧化锌压敏电阻试样的成分选定为分析纯的 (96.5-x)mol% ZnO + 0.7 mol% Bi₂O₃ + 1.0 mol% Sb₂O₃ + 0.8 mol% Co₂O₃ + 0.5 mol% (Cr₂O₃ + MnO₂) + x

* 基金项目: 国家自然科学基金(50471045)及上海纳米专项基金(0452nm026)资助项目。

** 联系人: 马学鸣, 教授, 华东师范大学物理系, 上海 200062, 电话 021-62233219, E-mail: xmma@phy.ecnu.edu.cn

mol% Y_2O_3 , $x=0, 0.02, 0.06$, 和 0.10 (试样分别标记为 Y1, Y2, Y3 和 Y4)。原始粉末粒径均为 200 目 (约 $73\mu m$)。

采用不锈钢球、尼龙罐, 在行星式高能球磨机中加乙醇湿磨, 转速 500 rpm, 球粉比 $20:1$ 。球磨 5 h 后, 将浆料在 $200^\circ C$ 烘干。在同样条件下, 将烘干后的粉末干磨 1 h, 以消除较大的粉块。用万能液压机将粉末单轴压成直径 $10mm$ 、厚度 $2mm$ 的圆片后, 放于炉中在 $800^\circ C$ 、空气气氛下烧结 2 h, 加热速度 $5^\circ C/min$, 炉内冷却。

用 X 射线衍射仪 (D/max 2550V, Cu-K α) 分析样品的相结构, 电子探针 (JEOL JXA-8100) 观察显微组织, X 射线能谱仪 (Phoenix ,EDAX) 确定微区成分。氧化锌平均晶粒尺寸 (D) 通过显微组织照片测量来确定, 测量晶粒个数不少于 100 个。采用 Archimedes 方法测量烧结样品的密度。为测量直流电性能, 在烧结圆片的两个表面被银, $600^\circ C$ 下烧成电极。测量样品在 $1.0mA$ 和 $0.1mA$ 下的电压, V_{1mA} 作为压敏电压, 非线性系数由 $\alpha = 1/\lg(V_{1mA}/V_{0.1mA})$ 算出。漏电流在 $0.75 V_{1mA}$ 下测量。冲击电流测试在 $8/20\mu s$ 冲击电流发生器上进行, 采用 $8/20\mu s$, $5kA$ 冲击电流冲击试样。在冲击电流发生器上读出残压值 V_{5kV} 。试样体积采用尺寸测量方法测出。采用压敏电阻直流参数测试仪测出冲击前后 V_{1mA} 及 I_L 变化。

采用晶界缺陷模型^[11]来计算施主浓度 (N_d)、势垒高度 (ϕ_B)、界面态密度 (N_s) 及势垒宽度 (ω)。根据此模型, 欧姆区的电导与 Schottky 热电子发射有关, 即发射电流密度:

$$J = AT^2 e^{(\beta E^{1/2} - \phi_B)/kT} \quad (1)$$

式中, A^* 为 Richardson 常数, ϕ_B 为界面处形成的势垒高度, E 为电场强度, k 为 boltzmann 常数, T 为绝对温度, β 为与势垒宽度有关的常数, 由下式决定:

$$\beta = \left(\frac{1}{r^* \omega} \frac{2e^3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中, r^* 为单位长度的晶粒数, ω 为势垒宽度, e 为电子电荷, ϵ_0 为真空介电常数 (8.85×10^{-14} F/cm), ϵ_r 为相对介电常数 (氧化锌为 8.5)。将 T 固定在室温, 作 $\ln J - E^{1/2}$ 图。 ϕ_B 可从回归线与 $\ln J$ 轴线的截距来获得; 常数 β 可从图形的斜率获得; r^* 由 SEM 的测量获得; ω 由 (2) 式求出。 N_d 由下面表达式^[12]求得:

$$\omega^2 = \frac{2\phi_B \epsilon_0 \epsilon_r}{e^2 N_d} \quad (3)$$