

纳米科技与微纳制造研究

——技术路线图

何丹农团队 编著



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press

图号 (913) 图例通查书图

纳米科技与微纳制造研究

——技术路线图

纳米技术及应用国家工程研究中心

上海纳米技术及应用国家工程研究中心有限公司

主办

何丹农团队 编著

常州大学图书馆
藏书章



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press

图书在版编目 (CIP) 数据

纳米科技与微纳制造研究: 技术路线图/何丹农团队
编著. —上海: 上海科学技术文献出版社, 2018
ISBN 978-7-5439-7609-2

I. ①纳… II. ①何… III. ①纳米技术—高技术产业
—产业发展—研究 IV. ①TB383

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第099254号

责任编辑: 孙 嘉

纳米科技与微纳制造研究——技术路线图

NAMI KEJI YU WEINA ZHIZAO YANJIU——JISHU LUXIANTU

何丹农团队 编著

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地址: 上海市长乐路746号

邮政编码: 200040

经销: 全国新华书店

印刷: 上海长城绘图印刷厂

开本: 720×1000 1/16

印张: 10.75

字数: 210000

版次: 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

书号: ISBN 978-7-5439-7609-2

定价: 200.00元

[http: //www. sstlp. com](http://www.sstlp.com)

《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》序言

纳米科学是一门在纳米尺度上研究物质的相互作用、组成、特性与制造方法的科学，现已成为 21 世纪世界科技发展中最主流的技术之一，也是世界各国最主要的研究热点之一。纳米科学的发展已极大地改变了人们对客观世界的认知水平，推动物理、化学、材料、环境、能源、信息、生物、医药、临床和工程等学科的发展。它汇聚了现代多学科领域在纳米尺度的焦点科学问题，促进了多学科的交叉融合，孕育了众多的科技突破和原始创新机会；它培育了新兴产业的发展，推动了传统行业技术提升与产业的升级，促进了产业的结构调整，并在这些新的领域内，涌现出了一批颠覆性和创新性的科技成果。

我国政府高度重视纳米科技的发展，将纳米科技的发展与国家未来在世界科技领域的地位挂钩，从国家层面制订了一系列纳米科技发展规划。在国家战略规划下，国家有关部门和地方政府积极响应，出台了有利于纳米科技发展的政策。上海作为长三角的龙头，肩负着 2020 年建成四大中心（国际经济、金融、贸易、航运中心）的历史使命。立足全球，努力打造世界级城市群的核心城市，成为世界的上海：这是上海 2030 年的新目标。中央对上海中长期发展提出的要求是：建设“具有全球影响力的科技创新中心”。这是一项国家战略，体现了中央对上海进一步集聚和融汇全球科技要素推进上海产业升级的要求。

当前，在新一轮产业升级和科技革命大背景下，纳米科技发展必将成为未来高新技术产业发展的基石和先导。上海正在加快建设具有全球影响力的科创中心，如何将纳米科技发展进行前瞻性、创新性和应用性的合理布局更显得至关重要。鉴于此，为了贯彻落实《上海市科技创新“十三·五”规划》，以纳米科技推动上海未来高新技术产业的发展，我们撰写了本书。由纳米技术及应用国家工程研究中心牵头，集聚了上海众多高校、研究所、医院和企事业单位有关专家和学者的智慧，编纂了《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》。该书从国内外纳米科技发展现状和上海纳米科技发展必要性入手，详细解读了上海纳米科技未来发展战略，提出了上海纳米科技发展关键体系建设内容的建议，描绘了上海纳米科技发展战略实施蓝图，提出了上海纳米科技发展的对策建议。该书一方面让我们看到了过去 20 年，上海在纳米科技发展取得的卓越成就，纳米科技对科技发展、社会生产、人民生活产生的巨大影响；另一方面，勾画出未来上海发展纳米科技的蓝图与实施的具体措施和方法。该书将为上海科技“十三·五”建设和“科创中心”建设提供支撑，为上海市乃至我国纳米科技的发展提供参考。

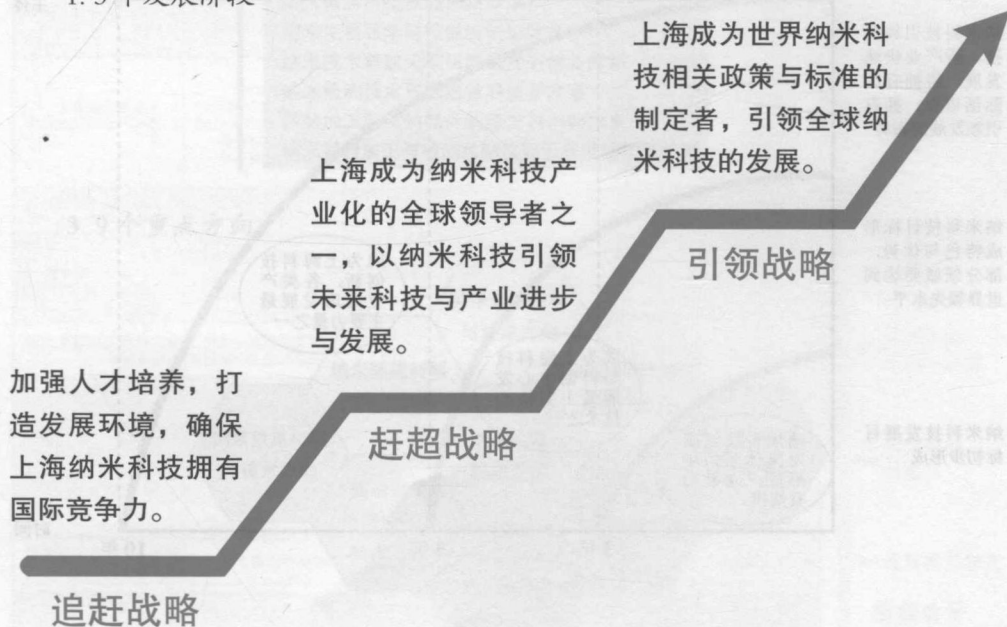
《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》摘要 指导思想

《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》的出发点是：通过发展纳米科技来促进科技与产业的发展。当前，上海在加快“4个中心”和“科创中心”建设的背景下，如何将纳米科技发展进行前瞻性、创新性、应用性布局至关重要。开展《纳米科学与微纳制造研究——技术路线图》专题研究，旨在通过上海纳米科技的发展，加快支撑“4个中心”和“科创中心”的建设，助推制造业创新，提升产业竞争力，培育新兴产业，创造就业机会，支撑科技发展，进而推动社会和经济的可持续发展，为上海 GDP 维持 7% 以上的年增长率奠定基础。

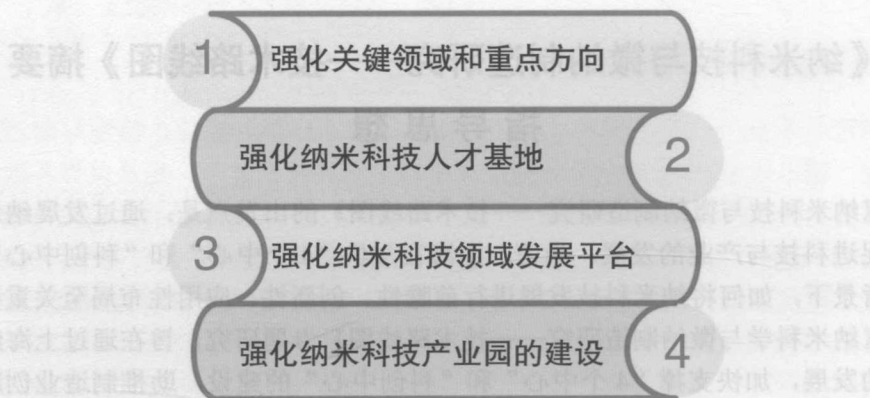
《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》的主要核心是：其一，3 个发展阶段，4 个强化；其二，1 张规划图，三大建设任务，9 个重点方向；其三，实施与成果，对策与建议。

一、3 个发展阶段、4 个强化

1. 3 个发展阶段

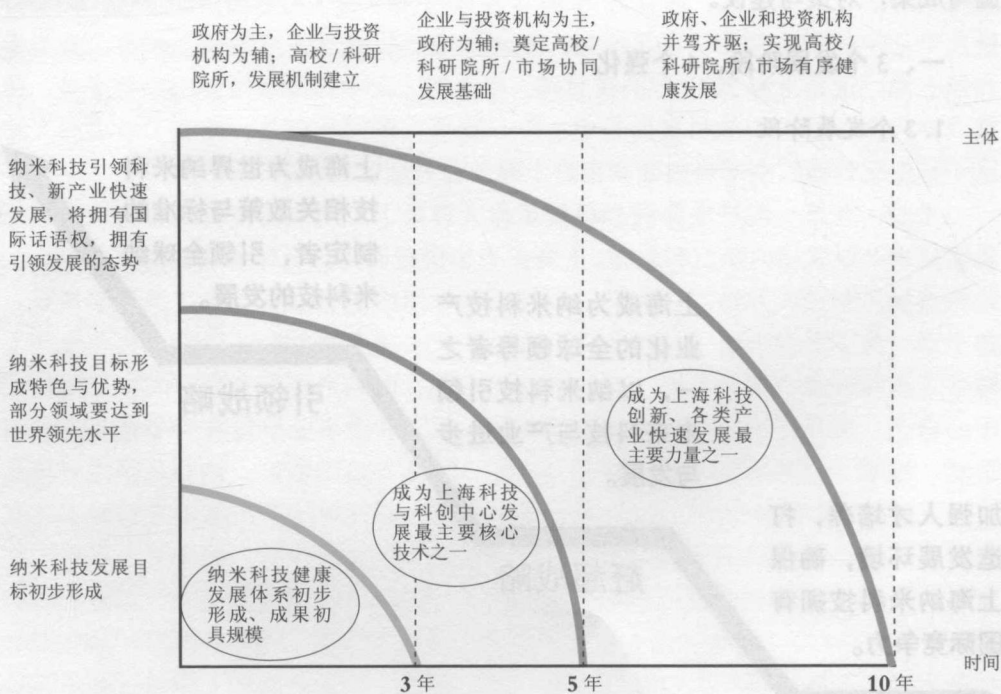


2.4 个强化



二、1 张规划图，三大建设任务，9 个重点方向

1.1 张规划图



2. 三大建设任务

内容建设

纳米功能材料与技术
纳米环境材料与技术
纳米能源材料与技术
纳米信息材料与技术
纳米生物医学技术
航天与军民融合纳米技术
纳米检测技术与标准
微纳加工和微纳器件制备技术
纳米材料加工与检测关键仪器设备开发

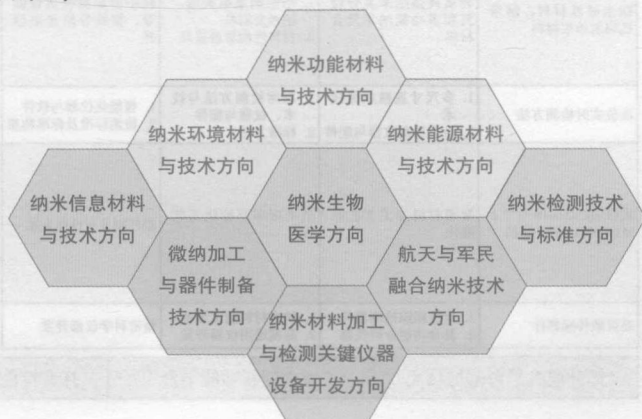
平台建设

纳米功能材料制备与应用技术服务平台
纳米环境材料制备与应用技术服务平台
纳米能源材料制备与应用技术服务平台
纳米信息材料制备与应用技术服务平台
纳米生物医学应用技术服务平台
航天与军民融合应用纳米技术服务平台
纳米材料检测分析与标准技术服务平台
微纳加工和微纳器件制备应用技术服务平台
纳米科技信息技术服务平台
纳米科技国内外交流服务平台

体系建设

纳米功能材料科技发展创新体系
纳米环境科技发展创新体系
纳米能源科技发展创新体系
纳米信息科技发展创新体系
纳米生物医学科技发展创新体系
纳米技术与航天军民融合发展创新体系
纳米检测技术与标准发展创新体系
微纳加工和微纳器件制造发展创新体系
纳米材料加工与检测关键仪器设备发展创新体系

3. 9个重点方向



三、实施与成果、对策与建议

1. 实施与成果

标志性重要研究成果

- 产业应用——若干项新技术形成产业，使传统产业得到提升，形成数千亿元级产业规模基础
- 人才工程——新增专业领军人才 80~120 名、国际影响力人才 45~70 名，为纳米科技发展奠定基础
- 取得成果——取得 70~100 项基础研究成果 取得 45~70 项应用技术成果 35~50 项关键技术成果得以转化

研究内容	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
纳米功能材料与技术	1. 新型纳米材料的可控制备与多级构筑技术 2. 海洋防腐涂料等 3. 长效抗菌塑料及应用	1. 防护纳米纤维 2. 智能调湿涂料等 3. 水凝胶的可控批量制备	1. 新材料可量化制备技术突破 2. 生物医用纳米纤维 3. 轻质化热塑性聚合物复合材料	1. 隐身涂料等 2. 导热塑料等 3. 特征水凝胶的新性能	1. 百吨级生产能力 2. 防护与生物医用产品 3. 结构功能一体化纳米聚合物 4. 石墨烯导电复合塑料 5. 仿生微环境材料
纳米环境材料与技术	1. 典型废气治理 2. 水污染控制与水环境保护	1. 半封闭空间空气净化 / 室内空气净化 2. 饮用水安全保障	1. 污染物快速检测与识别 2. 噪声污染控制	受损土壤高效修复	全生命周期管理集成技术
纳米能源材料与技术	1. 微纳结构储电材料 2. 高效太阳能转换材料	1. 新二次电池 / 储能技术 2. 轻质纳米储氢材料 3. 低 Pt / 非 Pt / 非贵金属催化材料	1. 气固复合储氢技术 2. 太阳能转换器件 3. 高效燃料电池 4. 能源催化材料	1. 规模化储电系统的集成技术 2. 能源转化技术	1. 高效储氢系统的集成技术 2. 太阳能电池与器件 3. 燃料电池系统的集成技术 4. 能源转化的集成技术
纳米信息材料与技术	1. 纳米电子浆料、电子墨水 2. 低维纳米信息材料及器件 3. 纳米光电探测器件	1. 纳米抛光液 2. 新型气敏材料、MEMS 气体、生物传感器 3. 柔性电子材料与器件	1. Si 基和 C 基新型晶体管元器件开发 2. 选择性探测阵列构建 3. 面向显示器的低维材料与器件	1. 超柔性半导体单晶纳米薄膜规模化制备 2. 智能纳米材料及器件，新型功能器件模块	1. 基于纳米材料的 X 射线衍射光谱成像系统 2. 新型光电器件及系统集成
纳米生物医学	1. 纳米药物 2. 干细胞诱导、筛选 3. 纳米安全性评价技术的形成 4. 组织修复与替代材料部分产品转化	1. 组织修复与替代用纳米材料 2. 纳米医疗器件的开发 3. 基因、干细胞治疗 4. 建立纳米安全性标准	1. 个性化定制产品与手术器械产品 2. 纳米诊断技术与检测系统的完善 3. 基因、细胞载体	1. 调控细胞行动 2. 组织修复与替代材料、诊断与治疗纳米技术形成产品 3. 实验室认证体系	1. 干细胞示踪成像 2. 形成产学研医转化体系
航天与军民融合	纳米吸波材料、纳米抗辐射涂层材料	轻质高强纳米复合材料和多功能纳米复合材料	1. 小型纳米航天器、纳米太阳帆 2. 材料性能显著提升	轻小型超精密成膜制导、惯性导航光电器件	1. 结构功能元件设计与仿真技术的研究 2. 相关器件性能显著提升 3. 生产成本大幅降低 4. 特殊纳米涂层材料规模化应用
纳米检测技术与标准	原位实时检测方法	1. 多尺寸显微成像技术 2. 原位检测仪器与配件	1. 联用检测方法与技术、仪器与配件 2. 标准方法	1. 智能化仪器与软件 2. 检测标准及标准物质	健全检测与标准化全链条管理体系
微纳加工与器件	突破 20.32cm(8 英寸) MEMS/NEMS 制备瓶颈	常规材料加工工艺标准化	纳米压印非标工艺放大	器件制备与性能表征	1. 新型绿色加工设备、技术工艺研究 2. 部分仿生器件示范应用 3. 纳米压印初步标准化 4. 电子束加工规模化应用 5. 大尺寸制备设备开发完成
关键仪器设备	高灵敏传感器件	1. 原位跟踪检测器件 2. 复合功能分析仪器	1. 纳米材料加工设备 2. 高端通用仪器开发	精密科学仪器开发	健全国产设备全链条管理体系
平台建设	提升现有平台基地功能		建立创新功能平台		打造特色国内外交流平台

2. 对策与建议

对策与建议

1. 制定与国家发展和规划对接的政策

2. 强化前瞻创新与学科交叉发展的导向

3. 强化应用与市场需求发展的导向

4. 强化研发与服务平台建设的导向

5. 强化重大建设与国防需求发展的导向

6. 建立上海纳米科技发展专项基金计划

7. 注重纳米科技发展人才政策

8. 加强专利与标准意识，规范纳米技术产品市场行为

9. 加强宣传，打造有利于科研创新的环境

2.1.1 美国

2.1.2 欧盟

2.1.3 日韩

2.1.4 金砖五国

2.1.5 其他国家

2.2 我国的纳米科技发展布局

2.2.1 国家层面

2.2.2 地方与社会层面

2.2.3 发展现状分析

2.2.4 总结

第三章 上海的纳米科技发展

3.1 政府重视与布局

目 录

第一章 概论	1
1.1 纳米科技的发展与内涵	2
1.1.1 纳米科技的定义	2
1.1.2 纳米科技的诞生	3
1.1.3 纳米科技的研究进展	4
1.1.4 纳米科技的内涵	6
1.2 微纳制造的发展与内涵	6
1.2.1 微纳制造的定义与内涵	6
1.2.2 微纳制造在各国的发展	7
1.2.3 典型的微纳制造技术	8
1.3 总结	10
第二章 国内外纳米科技发展现状分析	12
2.1 国外纳米科技发展布局	12
2.1.1 美国	12
2.1.2 欧盟	13
2.1.3 日韩	13
2.1.4 金砖五国	15
2.1.5 其他国家	17
2.2 我国纳米科技发展布局	18
2.2.1 国家层面	18
2.2.2 地方与社会层面	21
2.2.3 发展现状分析	23
2.2.4 总结	28
第三章 上海纳米科技发展	30
3.1 政府重视与布局	30

3.2 发展环境与基础·····	32
3.2.1 科研平台·····	32
3.2.2 主要成果·····	33
3.2.3 人才队伍·····	41
3.3 社会经济和技术发展需求·····	43
3.3.1 社会经济发展需求·····	43
3.3.2 技术发展需求·····	44
3.4 上海纳米科技发展的不足·····	67
第四章 上海纳米科技未来发展战略·····	70
4.1 战略目标·····	70
4.1.1 纳米功能材料与技术方向·····	71
4.1.2 纳米环境材料与技术方向·····	71
4.1.3 纳米能源材料与技术方向·····	72
4.1.4 纳米信息材料与技术方向·····	72
4.1.5 纳米生物医学方向·····	72
4.1.6 航天与军民融合纳米技术方向·····	73
4.1.7 纳米检测技术与标准方向·····	73
4.1.8 微纳加工和微纳器件制备方向·····	74
4.1.9 纳米材料加工与检测关键仪器设备开发方向·····	74
4.2 主要研究内容与任务解读·····	75
4.2.1 纳米功能材料与技术方向·····	75
4.2.2 纳米环境材料与技术方向·····	78
4.2.3 纳米能源材料与技术方向·····	80
4.2.4 纳米信息材料与技术方向·····	83
4.2.5 纳米生物医学方向·····	84
4.2.6 航天与军民融合纳米技术方向·····	87
4.2.7 纳米检测技术与标准方向·····	87
4.2.8 微纳加工和微纳器件制备方向·····	88
4.2.9 纳米材料加工与检测关键仪器设备开发方向·····	89
4.3 科研服务平台建设与任务解读·····	90

4.3.1 纳米功能材料制备与应用技术服务平台	91
4.3.2 纳米环境材料制备与应用技术服务平台	91
4.3.3 纳米能源材料制备与应用技术服务平台	92
4.3.4 纳米信息材料制备与应用技术服务平台	92
4.3.5 纳米生物医学应用技术服务平台	93
4.3.6 航天与军民融合应用纳米技术服务平台	94
4.3.7 纳米材料检测分析与标准技术服务平台	94
4.3.8 微纳加工和微纳器件制备应用技术服务平台	95
4.3.9 纳米科技信息技术服务平台	95
4.3.10 纳米科技国内外交流服务平台	95

第五章 上海纳米科技发展关键体系的建设 97

5.1 纳米科技创新体系	97
5.2 纳米科技创新体系分类解析	99
5.2.1 纳米功能材料科技发展创新体系	100
5.2.2 纳米环境科技发展创新体系	101
5.2.3 纳米能源科技发展创新体系	102
5.2.4 纳米信息科技发展创新体系	103
5.2.5 纳米生物医学科技发展创新体系	104
5.2.6 纳米技术与航天军民融合发展创新体系	105
5.2.7 纳米检测技术与标准发展创新体系	106
5.2.8 微纳加工和微纳器件制造发展创新体系	108
5.2.9 纳米材料加工与检测关键仪器设备发展创新体系	109

第六章 纳米科技发展战略实施计划图 111

6.1 纳米科技关键技术和里程碑	112
6.1.1 纳米功能材料与技术方向	112
6.1.2 纳米环境材料与技术方向	112
6.1.3 纳米能源材料与技术方向	113
6.1.4 纳米信息材料与技术方向	114
6.1.5 纳米生物医学方向	115

6.1.6 航天与军民融合纳米技术方向·····	116
6.1.7 纳米检测技术与标准方向·····	116
6.1.8 微纳加工和器件制备技术方向·····	117
6.1.9 纳米材料加工与检测关键仪器设备开发方向·····	118
6.2 纳米科技未来发展的重要阶段与路线图·····	118
6.2.1 纳米功能材料与技术方向·····	119
6.2.2 纳米环境材料与技术方向·····	122
6.2.3 纳米能源材料与技术方向·····	123
6.2.4 纳米信息材料与技术方向·····	125
6.2.5 纳米生物医学方向·····	126
6.2.6 航天与军民融合纳米科技方向·····	128
6.2.7 纳米检测技术与标准方向·····	129
6.2.8 微纳加工和微纳器件制备方向·····	130
6.2.9 纳米材料加工与检测关键仪器设备开发方向·····	132
第七章 纳米科技发展的对策建议·····	134
7.1 制定与国家发展和规划对接的政策·····	134
7.2 强化前瞻创新与学科交叉发展的导向·····	135
7.3 强化应用与市场需求发展的导向·····	135
7.4 强化研发与服务平台建设的导向·····	136
7.5 强化重大建设与国防需求发展的导向·····	137
7.6 建立上海纳米科技发展专项基金计划·····	137
7.7 纳米科技发展人才政策·····	138
7.8 加强专利与标准意识,规范纳米技术产品市场行为·····	141
7.9 加强宣传,打造有利于科研创新的环境·····	142
参考文献·····	144
后记·····	152

第一章 概 论

纳米科技的基本涵义是在纳米尺度(0.1~100nm)范围内认识和改造自然,通过直接操作或安排原子、分子创造新物质。纳米科技主要涉及纳米材料和纳米技术,纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围,或由它们作为基本单元构成的材料。纳米技术是指纳米材料和物质的获得技术、组合技术以及纳米材料在各个领域的应用技术。纳米科技的发展与现代科学(混沌物理、量子力学、介观物理、分子生物学)和现代技术(计算机技术、微电子和扫描隧道显微镜技术、核分析技术)的发展关系密切,纳米科技的发展又引发出一系列新的科学技术,如纳米物理学、纳米生物学、纳米化学、纳米电子学、纳米加工技术和纳米计量学等。

纳米科技已成为 21 世纪世界科技发展中最主流的技术之一,也是世界各国最主要的研究热点之一,它的发展促进了新材料、功能材料、能源技术、信息技术、环境科学、生命科学、健康领域、传统产业领域的快速发展,颠覆性和创新性的科技成果不断涌现。因此,纳米科技被世界主要发达国家视作推动本国科技创新发展的主要驱动器,各国相继制订了国家纳米科技发展战略规划,从战略高度部署国家纳米科技的发展。

我国政府高度重视纳米科技的发展,将纳米科技的发展与国家未来在世界科技领域的地位挂钩,从国家层面制订了一系列纳米科技发展规划,从而推动我国纳米科技健康快速发展。在国家战略规划下,国家有关部门和地方政府积极响应,出台了有利于纳米科技发展的政策,上海市也在 2001 年启动了“纳米科技专项”,这些措施的落实,既培养和壮大了我国纳米科技人才队伍,又促进了我国纳米科技的快速发展。目前,我国在纳米科技前沿和基础研究方面已处于世界先进行列,部分处于领先地位,在纳米技术应用方面已深入到科技和各个工业发展领域,系列的应用成果正在助推科技和产业的快速发展。

2016 年 5 月 30 日,中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平同志在全国科技创新大会上,总结了新中国在过去半个多世纪以来科技的发展历程,其中指出纳米科技等工程技术的成果,为我国成为一个有世界影响的科技大国奠定了重要基础。

上海作为长三角的龙头,肩负 2020 年建成四大中心(国际经济、金融、贸易、航运中心)的历史使命。上海要立足全球,努力打造成为世界级城市群的核心城市,成为世界的上海:这是上海 2030 年的新目标,而这一新目标的实现与上海科技发展在世界科技领域的领先地位关系尤为密切。

对于上海科技的发展,习近平同志在参加十二届全国人大五次次会议上海代表团审议时,要求上海要以全球视野、国际标准,提升科学中心集中度和显示度,在基础科技领域做出大的创新、在关键核心技术领域取得大的突破。要突破制约产学研相结合的体制机制瓶颈,让机构、人才、装置、资金、项目都充分活跃起来,使科技成果更快推广应用、转移转化。要大兴识才爱才敬才用才之风,改革人才培养使用机制,让更多千里马竞相奔腾。

中央对上海中长期发展提出建设“具有全球影响力的科技创新中心”这项国家战略,充分体现了中央对上海做出的关于进一步集聚和融汇全球科技要素,以此推进上海产业升级的这一要求。因此,上海目前正在建设的科技创新中心是国家战略行为之一,是国家和上海为实现4个中心的重要布局。

在当前新一轮产业升级和科技革命大背景下,纳米科技发展必将成为未来高新技术产业发展的基石和先导。在上海加快建设具有全球影响力科创中心的背景下,如何将纳米科技发展进行前瞻性、创新性、应用性进行合理布局,更显得尤为重要。纳米科技成果将成为科技创新中心重要的技术支撑之一,助推科技创新中心的建设与发展,成为科技创新中心的重要组成部分。

2016年,上海市人民政府发布了《上海市科技创新“十三·五”规划》,其中针对纳米科技和微纳制造,提出了系列目标,其核心是:希望在纳米材料与结构、超微器件与系统集成和检测表征等方面,取得若干国际一流的原创性成果,推动纳米技术在信息、生物医药、新能源和环保等产业领域的融合应用,推进微纳制造产业的发展。在建设“科技创新中心”和“4个中心”重要布局的大背景下,在《上海市科技创新“十三·五”规划》的总体指导下,我们编纂了《纳米科技与微纳制造研究——技术路线图》这本专题研究专著,该书将为上海市今后5~10年的纳米科技与微纳制造技术绘制出加速发展的蓝图。

1.1 纳米科技的发展与内涵

纳米科技是一门交叉性很强的综合性学科,研究内容涉及到现代科技的广阔领域。目前,涉及的应用领域主要有材料制备与制造、微电子与计算机技术、医学与健康、航天与航空、环境与能源、生物技术与农业技术等方面。由于其涉及领域多,应用范围广,经过近半个世纪的发展,纳米科技带来了一场科技革命,助推了各领域科技的快速发展,同时也引发了产业革命,对全球经济、资源、环境和健康等各个领域的发展产生了深远影响。

1.1.1 纳米科技的定义

2000年,美国国家科学与技术委员会发布的国家纳米科技启动计划(National

Nanotechnology Initiative, NNI), 将纳米科技定义为“1~100nm 尺寸间的物体, 其中能有重大应用的独特现象的了解与操纵”, 而现在对纳米科技的定义则更加宽泛, 涵盖了物理、化学、生物等领域在单个原子或分子到亚微米尺度的研究与操作, 也包括将纳米结构集成到更大的系统中。

纳米科技关注的是物质在纳米尺度上表现出来的新现象和新规律。纳米科技研究主要包括 3 个方面:

(1) 纳米科学: 探索与发现物质在纳米尺度上所表现出来的各种物理、化学、生物学现象及其内在规律, 为纳米科技应用与产品的研发提供理论指导。

(2) 纳米技术: 包括纳米材料制备、复合、加工、组装、测试与表征, 实现纳米材料、纳米器件与纳米系统的可控制备, 为纳米技术的应用奠定基础。

(3) 纳米工程: 包括纳米材料、纳米器件、纳米系统以及纳米技术设备等纳米科技产品的设计、工艺、制造、装配、修饰、控制、操纵与应用, 推动纳米科技产品走向市场、服务于经济社会。

1.1.2 纳米科技的诞生

纳米尺度上的科学与技术问题, 最早是美国诺贝尔物理学奖获得者理查德·费曼提出的。1959 年, 他在一个题为《在底部还有很大空间》的演讲中预言: “如果人类能够在原子、分子的尺度上来加工材料、制备装置, 我们将会有许多激动人心的发现”。“纳米技术”一词, 最早是由日本东京理科大学谷口纪南教授提出的(1974 年), 用来描述精细的机械加工。但被美国人视为“纳米技术之父”的却是埃里克·德雷克斯勒, 他于 1979 年在斯坦福大学建立了世界上第一个纳米科技研究小组。他认为: 有朝一日纳米机器人可以像科幻小说家描述的那样来承担人类所有的工作。20 世纪 80 年代初, 出现了扫描隧道显微镜 (STM)、原子力显微镜 (AFM) 等微观表征和操纵技术后, 纳米科技得以迅速发展, 尤其在 1982 年出现了扫描隧道显微镜, 这一年被称为纳米元年。1990 年 7 月, 第一届国际纳米科学技术会议在美国巴尔的摩举行, 标志着纳米科学技术的正式诞生。1991 年, 国际纳米科技指导委员会将纳米科技分成了 6 个分支学科, 即纳米电子学、纳米物理学、纳米化学、纳米加工学、纳米生物学和纳米度量学。纳米技术从 1999 年开始才逐步走向市场。2000 年 1 月, 时任美国总统的克林顿在加州理工学院发表演说, 宣布美国“国家纳米科技计划”启动, 政府投资约 5 亿美元, 集中用于纳米技术的研究开发。进入 21 世纪, 随着美国提出纳米科技的国家战略计划之后, 很快引发了纳米科技的全球性大规模投入, 至今已有超过 80 个国家提出了与纳米科技相关的战略计划, 并取得了瞩目的成就。纳米技术主要沿着以下基本研究方向发展, 即纳米材料、纳米检测技术与仪器、纳米器件与制造、纳米生物与医学。其中, 纳米材料按不同的应用领域又可细分为: 先进纳米功能材料、纳米环境材料、纳

米能源材料、纳米生物医药材料、纳米信息材料等。目前,纳米科技已和信息技术、生物技术并列,成为当今世界科技发展的三大重要支柱技术之一。

1.1.3 纳米科技的研究进展

纳米科技涉及研究领域众多,针对其研究进展,我们主要从纳米材料、纳米检测技术与仪器、纳米器件与制造、纳米生物与医学以及我国纳米科技的研究发展5个方面来分别进行阐述:

(1) 纳米材料的研究进展

纳米材料是纳米科技发展的重要基础,纳米材料的研究已由超细纳米粉体的研究发展为尺寸/晶面可控的单分散纳米晶、纳米线/管阵列的研究,对纳米材料性质的研究也由追求小尺寸和大比表面积的研究,转向物理化学性质的研究以及表界面的研究。针对纳米材料的研究进展,标志性的研究成果主要有:1983年,美国的布鲁斯教授通过量子点的制备与性质研究,发现了量子效应。1984年,德国萨尔布吕肯的格莱特教授利用6 nm直径的铁粉颗粒压成世界上第一块人工纳米材料,提出了纳米晶界面结构模型,引发了一场材料学的革命。1985年,美国赖斯大学教授柯尔、斯莫利及英国科学家克罗干发现了碳元素的同素异形体“巴基球”,并因此获得了1996年诺贝尔化学奖。1988年,法国科学家发现了纳米结构中的巨磁电阻效应,极大地促进了数据存储技术的发展。1991年,日本名城大学教授饭岛澄男在对石墨棒放电形成的阴极沉积物中,利用高分辨电镜发现了碳纳米管(碳纳米管的质量是相同体积钢的1/6,其强度却是钢的100倍),对碳纳米材料的发展起到了巨大的推动作用,他也凭借此项成就获得了富兰克林奖章。2004年,英国曼彻斯特大学教授安德烈·海姆与康斯坦丁·诺沃肖洛夫用普通的塑料胶带,首次从石墨上剥离出二维材料——石墨烯,因具备独特和优异的电学性能,在纳米器件等方面具有极为广阔的应用前景,两人也因此获得了2010年诺贝尔物理学奖。

(2) 纳米检测技术与仪器的研究进展

纳米检测技术在纳米科技的发展中占有重要地位,是在纳米尺度上分析材料的结构、物理、化学等性质的方法、原理和技术。在发展过程中产生的标志性研究成果主要有:1931年,德国物理学家鲁斯卡利用磁透镜使电子束成像聚焦的原理,制成了世界第一台全金属镜体的电子显微镜(TEM),将放大倍数提高到1.2万倍,使人类观测进一步向纳米量级延伸。1982年以来,德国物理学家宾尼希与其导师罗雷尔利用量子隧穿机制发明了第一台扫描隧道显微镜(STM),它是国际上纳米表征与检测手段中最有代表性的检测技术,使人类首次能实时在原子尺度上对物体进行原位观测,因此获得了1986年诺贝尔物理学奖。在STM之后,又陆续发展出与其工作原理类似的新型显微技术,包括原子力显微镜(AFM)、