

德国纳米技术发展现状及启示

王志强

(中国21世纪议程管理中心, 北京 100053)

摘要: 本文在调研德国纳米技术最新发展现状的基础上, 对其研发体系、经费投入、产业化情况进行了总结分析, 并对我国纳米技术发展提出了思考建议。

关键词: 德国; 纳米技术; 纳米材料; 碳纳米管

中图分类号: F124.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2010.06.002

1959年, 美国物理学家费曼(Feynman)最先提出了纳米科学的概念。20世纪80年代初, 随着扫描隧道显微镜(STM)和原子力显微镜(AFM)等新型科学仪器的出现, 使物质微观表征观测和操纵成为可能, 纳米尺度的大规模科学研究就此拉开了序幕。在过去的20多年时间内, 纳米科学研究从科学领域逐渐发展到生产技术领域, 研究成果层出不穷, 引发了全球技术和产业领域革命性变化。根据美国Lux研究咨询公司(Lux Research)统计预测:2007年全球纳米技术产品的市场总量约为1470亿美元, 2015年全球纳米技术产品的市场总量将增长至30000亿美元, 年均增长率将高达46%。到2015年, 纳米技术产品将占全球生产总值的约5%, 占全球工业产品市场总量的15%。IBM公司的首席科学家阿姆斯特朗(Armstrong)表示:“正如70年代微电子技术引发了信息革命一样, 纳米科技将成为21世纪信息时代的核心”。

德国政府一直高度重视推进本国的纳米技术研发。在政府的关注和支持下, 德国纳米科研和产业化水平一直位居世界前列。据统计数据显示, 在纳米技术专利注册和研发经费投入方面, 德国仅次于美国和日本排名世界第三位; 在纳米技术论文发表数量方面, 德国排名世界第四; 在纳米技术成果转化方面, 截至2009年1月全德有近750家公司

和企业从事纳米技术领域研发和产品生产, 为本国纳米技术成果的市场化提供了坚实的产业基础。

一、德国纳米技术研发体系

德国纳米技术研发力量主要由190余家大学所属的科研院所和100余家大研究会(主要包括: 海姆霍茨大研究中心联合会、马普学会、弗朗霍夫学会、莱布尼茨学会等)所属的研究所构成。德国之所以能在纳米技术研究领域取得突出进展, 还得益于联邦政府、学术界、科技界、企业界的广泛参与和密切合作, 构架起了以政府公共政策和经费投入为先导, 产学研紧密结合的纳米技术研发与产业化发展体系。表1给出了德国纳米技术领域公司、企业和科研等机构在全国各地的分布情况:

1. 联邦政府

自20世纪80年代开始, 联邦教研部就在材料技术、物理技术等资助项目中对纳米技术研发予以重点扶持。1998年, 联邦教研部资助建立了6个纳米技术研究中心, 并以此为基础构建了全国性的纳米技术研发合作网络。2000年, 联邦教研部公布的《创新资助白皮书》中重点资助的新技术研究领域就包括纳米技术; 2002年5月, 在德国纳米科技大会上, 联邦教研部首次制定了纳米技术战略行动框架方案, 确定了纳米技术的战略地位; 2003年10

作者简介: 王志强(1977-), 男, 中国21世纪议程管理中心 副研究员; 研究方向: 科技政策与管理。

收稿日期: 2010年2月6日

表 1 德国纳米技术领域研发机构、公司和企业的分布情况统计表^①

	研究网络	研究中心	大学院校	中小企业	大型企业	政府协会	金融服务	合计
柏林	5	7	7	38	3	5	5	70
汉堡	5	3	8	12	4	1	8	41
石勒苏益格-荷尔斯泰因	1	2	4	21	1	2	0	31
梅克伦堡-前波莫瑞	0	3	4	10	1	1	0	19
勃兰登堡	0	6	2	7	0	1	1	17
下萨克森	4	7	17	22	10	4	0	64
不来梅	0	3	9	21	0	2	2	37
萨克森-安哈尔特	3	2	4	17	0	1	1	28
北莱茵-威斯特法伦	12	15	52	91	25	11	12	218
萨克森	3	18	24	64	7	3	4	123
莱茵兰-普法尔茨	2	3	3	21	6	1	1	37
黑森	5	3	14	77	28	7	4	138
萨尔	2	3	3	22	2	1	1	34
图林根	0	6	8	24	5	1	1	45
巴登-符腾堡	5	18	17	70	18	3	9	140
巴伐利亚	10	7	18	83	33	6	20	177
合 计	57	106	194	600	143	50	69	1219

月,联邦教研部出台了《工业和社会材料创新计划(WING)》,表示将重点支持新型纳米材料研发,加强德国工业创新能力;2004年,联邦教研部启动了《纳米技术征服市场计划》;2006年,联邦教研部发布了《高科技战略》,纳米技术是其重要研究领域之一;2007年,包括联邦教研部在内的8个部门联合发布了《纳米创新——2010行动计划》。

2. 科研机构

作为德国四大科研机构的马普学会、弗朗霍夫协会、海姆霍兹大研究中心联合会和莱布尼茨研究联合会,其下属的许多研究所都在开展纳米技术研究。

(1) 莱布尼茨学会

纳米技术研究是莱布尼茨学会的优先研究领域之一。该学会所属的研究所同时开展纳米技术基础研究和市场化应用研究。在纳米材料研究方面有:新材料研究所(INM)、固态和材料研究所(IFW)和高分子研究所(IPF)。在材料表面处理研究方面有:表面处理研究所(IOM)和罗森多夫研究中心。在基础技术研究方面有:保罗德鲁德研究所(FCR)和费迪南德布劳恩研究所(FBH)。

(2) 海姆霍兹大研究中心联合会。

海姆霍兹大研究中心联合会重点开展纳米材

料和纳米电子领域相关研究,研究领域包括:新材料、表面处理、聚合物、微电子和纳米工具等。其中比较知名研究所有:卡尔斯鲁厄研究中心(FZK)和尤里希研究中心(FZJ)。但大研究中心联合会的格斯特哈赫特研究中心(GKSS)和柏林研究中心在新材料和能源领域的纳米材料与涂层系统等研究领域也取得了突出成果。

(3) 马普学会

马普学会主要开展纳米技术基础理论研究,研究领域包括:纳米材料、新功能和特殊工艺等。马普

学会固态金属研究所和微观物理研究所开展纳米材料、超级分子系统和新功能材料方面的研究;学会所属的聚合物研究所、胶体与界面研究所、生物化学研究所、煤炭研究所、钢铁研究所和弗利兹-哈伯研究所取得的研究成果得到了世界公认。而当今世界最年轻的2007年度诺贝尔化学奖得主,格哈特教授,就在弗利兹-哈伯研究所工作。

(4) 弗朗霍夫协会

弗朗霍夫协会所属的各研究所主要面向企业和市场需求,开展纳米技术应用研究。研究领域包括:纳米材料、纳米微电子、纳米能源获取和构造连接技术等。在安全和材料表面处理方面有:材料与光学技术研究所(IWS)、硅酸盐研究所(ISC)、光学与精密机械研究所(IOF)和界面科学研究所(IGB);在纳米材料技术方面有:应用材料研究所(IFAM)、应用固体物理研究所(IAF)和化学技术研究所(ICT);在纳米微电子技术方面有:硅技术研究所(ISIT)和生产技术研究所(IPT);在纳米生物技术方面有:生物医学工程研究所(IBMT);在能源环境技术方面有:太阳能研究所(ISE)。

3. 高等院校

在德国几乎所有的工科类大学院校都在开展

纳米技术研究和教学,跨学科领域的合作研究已经成为这一群体的最突出特点。当前,为了适应纳米技术人才培养和能力建设需要,很多大学(如:卡尔斯鲁厄、亚琛、慕尼黑、明斯特、汉堡、萨尔布吕肯、凯泽斯劳滕、柏林、卡塞尔、维尔茨堡和弗赖堡等),都已经开设了纳米技术相关课程,教学内容紧扣当今纳米技术的最新研究领域。此外,各大学院校所属的研究机构在纳米技术研究领域也有着突出表现,如:NMI 研究所、IMS-Chips 研究所、Amica 研究所、Bessy II 研究所和 CAESAR 研究所等。

4. 行业企业

截至 2009 年 1 月,德国全国从事纳米技术开发的各类公司和企业已有近 750 家,包括:西门子、巴斯夫、拜耳、博世、戴姆勒奔驰、欧司朗、汉高、卡尔蔡司等国际知名企业,都在积极开展纳米材料和产品研发。在各类企业中,大型企业主要致力于研发未来具有广阔市场前景的纳米产品整体创新方案,而中小型企业则主要从事纳米应用技术、分析仪器、生产设备的研发和相关技术、金融政策咨询服务。

5. 研发网络

1998 年,联邦教研部建立了 6 个纳米技术研究中心,并以此为基础构建了纳米技术全国性的研发科研网络。除此以外,根据不同的目标 and 需求,一些大学和研究中心也联合建立了合作研发网络平台,比如:慕尼黑的 CeNS,杜伊斯堡的 CeNIDE,尤里希的 CNI 和卡尔斯鲁尔的 CFN。这些研发合作网络的成员来自纳米技术产业链的各个环节,集成各方技术、资金优势,加速创新过程和成果转化。

二、德国纳米技术公共研发经费投入

作为一项前沿高科技研究,自 20 世纪 80 年代以来,德国联邦政府一直对纳米材料、纳米生物、生产加工、能源环境、光学、微电子等技术领域进行了持续的资助。同时,德国联邦政府还通过实施主导创新计划,强化纳米技术基础研究,推动纳米技术研发合作网络建设,加强纳米技术研究能力建设与人才培养,积极开展纳米技术领域国际合作,为纳米技术发展营造良好的环境。

1. 2006~2009 年总体研发投入情况

表 2 德国 2006~2009 年纳米技术研发投入情况统计表
(单位:百万欧元)

	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
联邦政府	161	200	196	195.7
联邦教研部	141	168	165	165
其他部	20	32	31.4	30.7
各联邦州	39.3	47.1	59.3	59.1
各大学会	161.3	171.7	176	178.4
德意志研究会	70	80	80	80
莱布尼茨学会	25	25.1	25.1	25.1
海姆霍茨大研究中心联合会	36.1	37.3	38.8	40
马普学会	15.6	15.9	16.2	17.3
弗朗霍夫协会	14.6	13.4	15.9	16
其他	10.1	5	8	8
大众基金会	6	2	5	5
Caesar	4.1	3	3	3
审核	704.1	800.5	819.7	823.3

2. 联邦教研部 2007~2009 年纳米技术分领域研发投入情况

表 3 联邦教研部 2007~2009 年纳米技术分领域经费投入情况统计表(单位:百万欧元)

	2007 年	2008 年	2009 年
前期研究及配套措施	9.8	9.6	8.3
纳米材料及纳米化学	31.1	36.8	47.4
生产加工技术	7.1	5.5	4.2
光学技术	30.5	34.5	33.1
微系统技术	10.6	7.3	3.4
电子通信技术	52.9	38.5	35.3
纳米生物技术	11.5	22.5	22.7
能源技术	4.5	3	2.7
其他	10	7.3	7.9
总计	168	165	165

三、德国纳米技术企业发展现状

据最新统计数据,德国全国从事纳米技术产品研发的公司和企业约有 743 家,在其中约 70%的公司和企业是 1985 年后创立的(联邦教研部实施纳米研究支持项目后)。新纳米技术企业的年创建数在 1999~2001 年达到了最高峰。根据德国工程师协会(VDI)对 237 家代表性企业最新进行的一项调研结果显示,德国纳米技术企业具有如下特点:

1. 中小企业占大多数

在德国 700 余家纳米技术企业里,中小企业接

近总数的 80%。以纳米技术产品研发为重要业务活动的企业(纳米业务份额超过 30%)约占 50%。而另外 50%的企业,主要是在传统产业中的大中型企业,也将纳米技术研发作为其业务活动的重要补充。

2. 生产链分工明确

德国纳米技术领域企业较为合理的分布在技术产品生产的各环节,如:工具开发、组件生产、系统集成和咨询服务等。根据对该领域 237 家企业的调研发现:其中有 97 家企业从事纳米材料生产,57 家企业从事相关技术咨询服务,而有 100 家左右企业从事产品零部件生产和系统集成。

3. 国际化程度高

参与调查的 237 家企业中的 94%将总部设在德国,设在美国的有 8 家,设在欧洲其他国家的有 4 家,设在日本和中国的各 1 家。这些企业国际化程度都很高,它们在全球设立了总计约 1076 个分支机构,在其中欧洲的合作伙伴约占 2/3,北美洲和亚洲的合作伙伴约占 1/3。

4. 重视技术研发投入

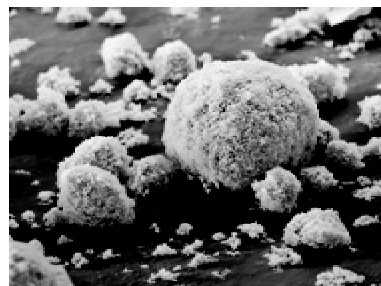
纳米技术产业是高风险的研究密集、知识密集和创新密集型产业。在参与调查的企业中有 65 家承担过由联邦教研部资助的科研项目,有 56 家企业从各类科研机构引进专利、know how 等研究技术成果。而这些企业也高度重视纳米技术研发投入:2007 年纳米技术研发投入约 15 亿欧元。据此数据推算,全德企业在纳米产业领域研发投入规模将近 47 亿欧元。

四、德国纳米技术产业化应用

(一) 化学化工领域

德国是世界上继美国、中国和日本后的第四大化学品生产国。2007 年德国化工行业营业额约为 170 亿欧元,其中 2/3 产品面向出口。德国化工行业非常重视技术和产品创新,在超强亲水材料、超强疏水材料、防腐蚀材料、阻燃材料、吸附材料、粘合材料、催化剂、溶解剂等领域,纳米技术成果已经得到广泛的应用。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 纳米金属氧化材料



巴斯夫公司研制开发的纳米氧化锌防晒材料,可以用来防止阳光晒伤。该材料可以有效过滤阳光中有害紫外线和长波辐射。

2. 富勒烯族和碳纳米管纳米材料



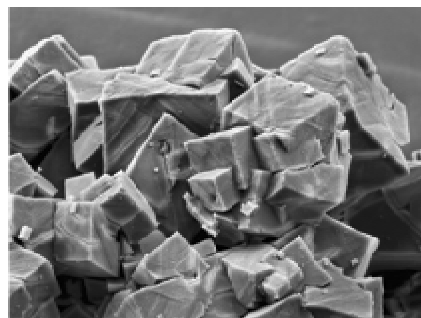
巴伐利亚材料科学公司采用碳纳米管技术复合材料来生产高强度的网球、冰球和棒球等运动器械。

3. 量子点荧光标记材料



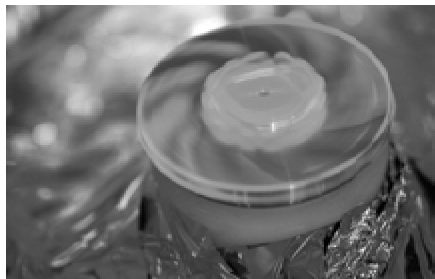
Flad&Flad 公司研制开发的新型纳米荧光半导体量子点溶剂。

4. 纳米多孔材料



巴斯夫公司利用纳米多孔材料的超大内面积特性,研制开发的新型氢燃料电池存储介质。

5. 有机半导体材料



巴斯夫公司采用纳米材料旋涂的太阳能电池玻璃基板,进一步实现了太阳能光伏电池的轻薄化和高效化。

(二)汽车制造领域

汽车产业是德国最重要的出口产业部门,德国汽车年产量居世界第三。2004年,联邦教研部启动了总经费为3640万欧元的“纳米汽车”联合研发项目,几乎德国所有的汽车制造企业都参与了该项目。纳米汽车研发重点领域包括:汽车引擎、传感器、能源存储、部件轻量化、制造技术和主动和被动安全技术等。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 新型汽车涂料



Heraeus Noblelight公司应用陶瓷纳米技术开发的厚度为7~20纳米的汽车漆面防刮伤涂料;Standex公司利用纳米氧化物研制开发汽车漆面变色涂料。

2. 耐磨防腐蚀材料



戴姆勒公司研制开发的防腐耐磨纳米材料用于喷涂汽车发动机缸体。

3. 能源存储材料



梅赛德斯和大陆公司利用陶瓷纳米材料和多孔纳米材料开发的锂电池已经在氢动力和混合动力客车上得到了应用。

(三)电子产业领域

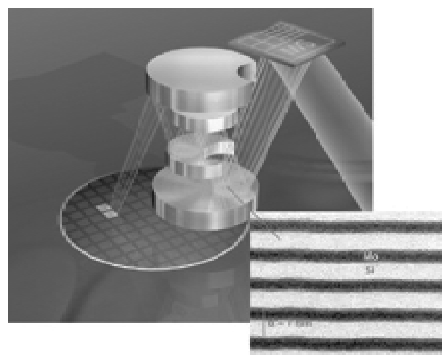
德国电子产业主要集中在汽车和生产加工领域。

2008年,德国电子产业领域产值构成是:电子通信14.8亿欧元,工业电器17.8亿欧元,汽车电器39.9亿欧元,数据技术32.4亿欧元,家电产品3.05亿欧元。

德国的半导体产业研发中心集中在德累斯顿地区。2008年,联邦教研部支持该地区的微电子和纳米技术创新集群,实施了总经费为4000万欧元的名为“Cool Silicon”低能耗芯片项目。

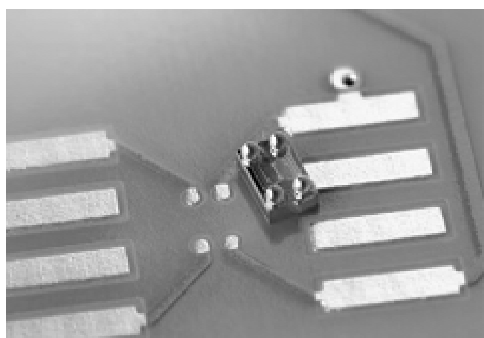
目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 超紫外平版印刷



弗朗霍夫协会材料与钢材研究所根据极端紫外平版印刷(EUV)机理,利用X射线生产0.5~20纳米厚度的芯片技术。

2. 巨磁阻磁头



Sensitech 公司开发的单层厚度 2 纳米级的多层巨磁阻磁头 (GMR) 磁阻效应传感器。

(四) 光学产业领域

光学产业是德国重要产业部门之一。根据统计数据,2007 年该产业共有 2700 家公司,从业员工 23.5 万人,产品出口率近 60%。

纳米技术在光纤材料、数据通信、LED 照明、摄影成像、液晶等离子大尺度显示设备、光伏发电等众多领域得到了广泛应用。

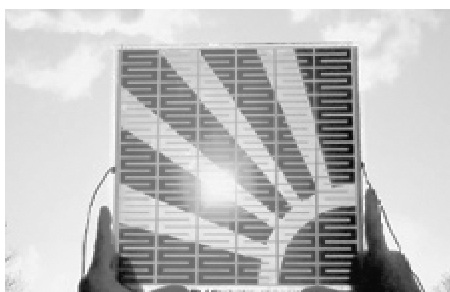
目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 显示技术



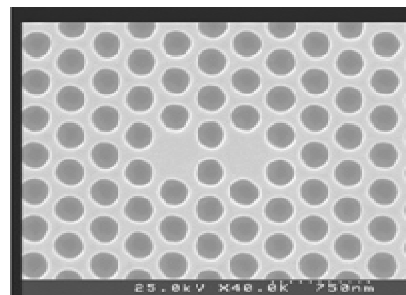
Novalued 公司利用纳米技术研制开发的高效长寿命 RGB 有机发光二极管。

2. 太阳能电池



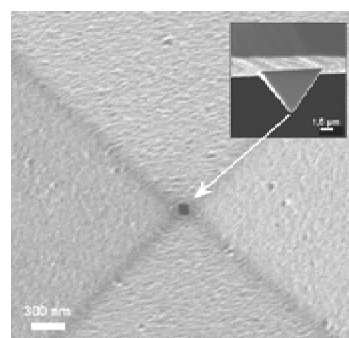
弗朗霍夫协会太阳能研究所利用纳米技术最新研发的低成本染料敏化太阳能电池。

3. 光子晶体



维尔茨堡大学研发的光学谐振器耦合的光子晶体。

4. 光刻技术

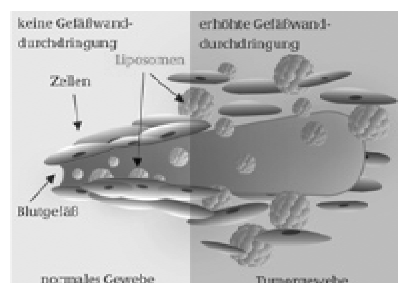


Witec 公司利用纳米技术研发的具有 1.5 微米尖端孔径的扫描近场光学显微镜悬臂。

(五) 生物制药领域

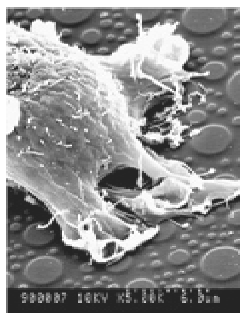
医药健康产业是德国最大的组成经济部门。2007 年,从业人口达 440 万,总产值约为 310 亿欧元。据统计数据,德国纳米医学技术研发机构数量占欧洲的 50%。纳米技术在细胞分子功能和结构认知、疾病诊断、缓释制剂、纳米结构移植和新型医疗仪器开发等领域有着广泛的应用。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 药物传输系统



德国工程师协会技术中心有限公司利用纳米粒子技术将被动浓缩活性药物通过较大孔隙度的血管壁送达肿瘤等恶性病灶部分。

2. 生物材料与组织工程

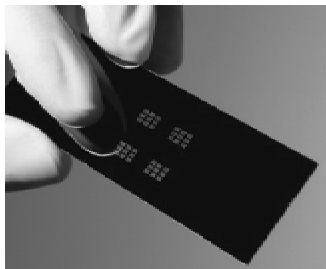


哥斯拉细胞工程中心开展的植入物纳米结果技术研究。左图为细胞在纳米合成材料表面存活状况的电子显微镜成像。

(六)能源环境领域

当前,能源环保产业已成为德国一个充满活力的新兴经济部门。据联邦环境部估计,2006年有近180万人在该领域就业。“绿色纳米技术”已经成为能源环保产业的主要创新驱动力,纳米技术在环境污染治理、污染检测、能源高效利用和可再生能源开发等领域发挥着重要作用。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 污染物检测



弗朗霍夫协会生物工程研究所在微纳米材料技术的基础上研发的可选择性环境污染物检测微阵列。

2. 高温超导



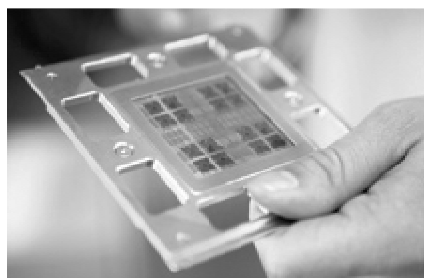
西门子公司采用纳米高温超导材料研发的基于高温超导磁体线圈的电动船舶推进装置。

3. 污染处理



弗朗霍夫协会生物工程研究所研制开发的具有选择性受体纳米粒子表面的复合过滤薄膜。

4. 光伏发电



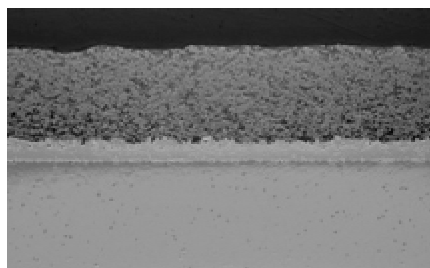
巴斯夫公司采用真空气相沉积法制备太阳能电池基板,该基板由1平方毫米蓝色有机太阳能电池方阵组成。

5. 燃料电池



巴斯夫公司研发的新型聚合物质子交换膜燃料电池技术,膜技术是燃料电池电极的核心。

6. 热障涂层



西门子公司为燃气轮机研制的纳米结构陶瓷热障涂层,用以改善汽轮机的耐热性和实现更高的运转效率。

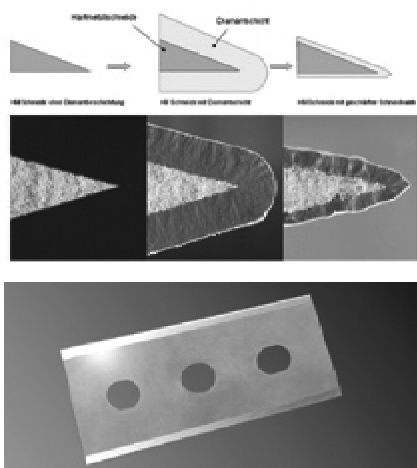
(七)机械工程领域

机械工程产业是德国重要行业部门之一。2007年德国机械工程产业营业额为 1900 亿欧元。

耐磨材料、防腐材料、高强度复合材料等新型纳米技术在机械工程领域有着广泛的应用。

目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 切割机械



GFD 有限公司研制生产的纳米金刚石涂层刀具。

2. 印刷机械



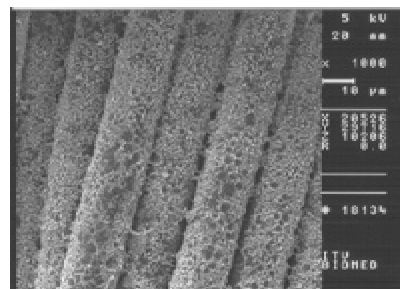
海德堡印刷机械公司为印刷机械传送装置研究开发的纳米耐磨涂层。

(八)纺织产业领域

由于受到低劳动力成本国家纺织产业的激烈竞争,德国的纺织行业经历了结构优化调整,以高技术含量的纺织品作为德国纺织产业复兴的发展重心,积极将纳米材料和涂层技术应用在纺织产品技术创新上。

目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 防水面料



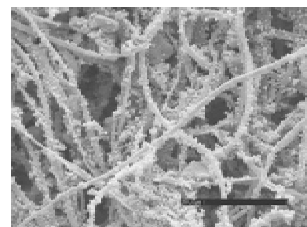
IVT 公司研发的具有超强疏水纳米涂层的纺织纤维。

2. 自洁面料



巴斯夫公司研制开发的具有自洁功能纳米涂层的纺织面料。

3. 抗菌织物



亚琛大学纺织化学与高分子成像研究所研制开发出的具有抗菌功能的纳米粒子浸渍纺织纤维。

4. 纺织机械



卡尔迈耶公司通过对纺织机械表面进行纳米涂层处理,使得纺织机械的性能得到了大幅提高。

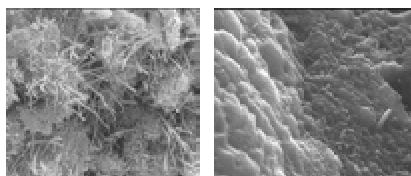
(九)建筑建材领域

2007 年,德国建筑建材行业市场总量约为 2700 亿欧元。

目前,已经投入实际应用的纳米技术产品有易

清洗涂料、抗菌建材、耐火材料、有机发光照明材料等。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 水泥建材



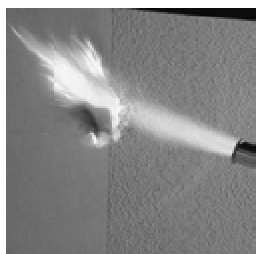
Kassel 大学采用纳米材料技术开发的高性能混凝土比普通混凝土结构紧密很多。

2. 功能材料



巴斯夫公司研制开发的高效保温纳米塑料泡沫。

3. 防火材料



Evonik 公司研制开发的纳米耐火陶瓷墙面材料。

4. 智能窗体



弗朗霍夫协会太阳能研究所开发的可变透光性智能玻璃,它可以根据光照强度调节自身的穿透性。

5. 外立面材料

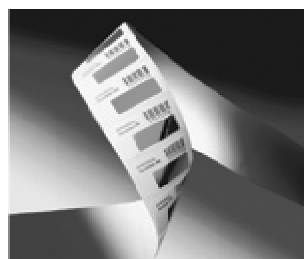


INM 公司基于纳米增强复合材料技术,研制开发的高强度抗划痕建筑外立面涂料。

(十)安全技术领域

近年来,纳米技术在安全技术产业领域得到了迅速应用。据德国国土安全研究所预测,到 2018 年德国安全技术产品将约占到世界市场份额的 3.7%。通过将最新的纳米技术与生物技术、微系统技术相集成研发,开发新型、高效的安全技术产品是该产业发展的重点方向。目前,该领域最新研发应用成果有:

1. 安全标示



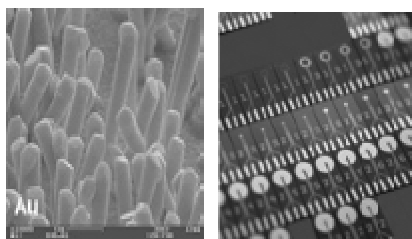
Identif 公司开发的纳米光学药品封装防伪标签。该纳米光学标签适用于各类基板和外包装。

2. 耐火装备



德国技术应急机构(THW)开发的新型新消防装备。

3. 安全检测



弗朗霍夫协会信息和通讯技术研究所开发的基于金属纳米线阵列的电化学传感器。

五、结语

德国纳米技术一直在世界居于领先地位。“优先列入国家科技重点发展战略计划；持续稳定的公共研究经费资金投入；注重发展符合本国特色优势技术领域；积极构建产学研结合的研发网络体系”等是德国联邦政府促进纳米技术研发和产业化发展政策的主要特征。我们从德国政府推进纳米技术发展的做法中可以得到如下启示：

1. 将纳米技术研发列为优先发展主题，在国家科技发展战略部署上给与高度重视。
2. 加强纳米技术公共研发投入，跟踪国际发展趋势，坚持“有所为，有所不为”的原则，力争在某些

关键技术领域实现突破。

3. 重视技术成果的市场转化和产业化发展，强化产学研结合的纳米技术研发体系，更好服务于经济社会发展大局。

4. 积极开展纳米技术领域的国际科技合作与交流，推动我国纳米科学技术研究实现跨越式发展。■

参考文献：

- [1] nano.DE-Report 2009. 联邦教研部. 2009
- [2] Nanotechnologie Aktuell: Forschung, Karriere und Kompetenz. IWV 研究中心. 2008
- [3] Nanopartikel – kleine Dinge, große Wirkung. 联邦教研部, 2008
- [4] Lux Research 2008. Lux 研究咨询公司. 2008
- [5] Nano-Initiative-Action Plan 2010. 联邦教研部. 2006
- [6] Nanotechnologie erobert Märkte. 联邦教研部. 2004
- [7] Nanotechnologie – Innovationen für die Welt von morgen. 联邦教研部. 2006
- [8] www.nano-map.de
- [9] www.nanoreisen.de
- [10] 驻德使馆科技处前期调研报告

Status and Enlightenment of Nanotechnology Development in Germany

WANG Zhiqiang

(The Administrative Centre for China's Agenda 21, Beijing 100053)

Abstract: Based on the development of Nanotechnology in Germany, this paper provides a review of research system, R&D investment and industrialization of Nanotechnology in Germany and gives some suggestions for Nanotechnology development in China.

Key words: Germany; Nanotechnology; Nanomaterials; Carbon nanotube