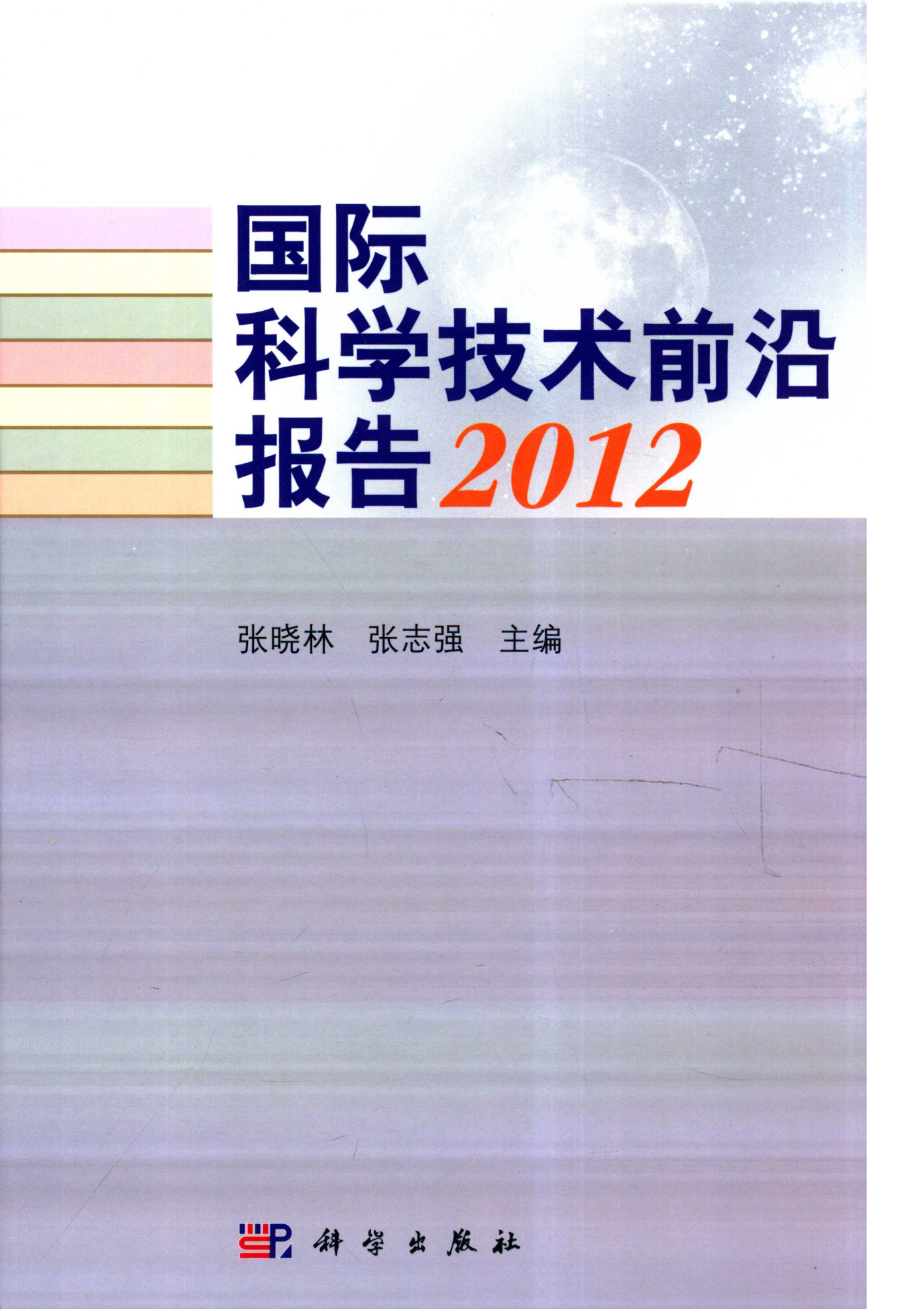




国际 科学技术前沿 报告 *2012*

张晓林 张志强 主编

 科学出版社

国际 科学技术前沿 报告 2012

张晓林 张志强 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从基础科学、生命科学与生物技术、资源环境科学与技术、战略高技术等四大科学技术领域选择纳米自旋电子学、固态照明、土壤微生物区系、脑科学、油气资源探测技术、国际河流水资源开发利用、激光雷达技术、模式微生物、未来互联网、规模化电力储能技术、高性能碳纤维等11个科技创新前沿领域、前沿学科、热点问题或技术领域,逐一对其进行国际研究发展态势的系统分析,全面剖析这些领域国际科技发展的整体进展状况、研究动态与发展趋势、国际竞争发展态势,并提出我国开展相关领域研究的对策建议,为我国这些领域的科技创新发展战略决策提供重要的决策依据,为有关科研机构开展这些科技领域的研究部署提供国际发展的参考背景。

本书所阐述的科技前沿领域或问题,选题新颖,具有前瞻性,分析数据准确,资料翔实,研发对策建议可操作性强,适合政府科技管理部门和科研机构的管理者、科技战略研究人员和相关学科领域的研究人员以及大学师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

国际科学技术前沿报告 2012 / 张晓林, 张志强主编. —北京: 科学出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-03-035277-4

I. ①国… II. ①张… ②张… III. ①科技发展—研究报告—世界—2012
IV. ①N11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 184397 号

责任编辑: 郭勇斌 卜 新 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年9月第一次印刷 印张: 34 1/2 插页: 12

字数: 836 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《国际科学技术前沿报告 2012》 研究组

组 长：张晓林 张志强

成 员：张 薇 冷伏海 刘 清

高 峰 邓 勇 曲建升

房俊民 张 军 徐 萍

赵亚娟 陈 方 梁慧刚

张 静

前 言

中国科学院国家科学图书馆作为服务于国家基础科学、资源环境科学与技术、生命科学与生物技术、战略高技术以及重大产业与技术创新、边缘交叉科学发展的国家级科技信息与决策咨询知识服务机构，以服务科技决策一线和科技研究一线为己任，在全面建设支撑科技创新的信息资源与服务体系的同时，逐步建立起全方位、深层次、集成化和协同化支持科技规划和科技决策的战略情报研究服务体系，跟踪监测国际科技发展战略与政策，系统分析科技领域发展态势和创新方向，深入调研重大科技进展和重要科技研发动态，全面评价国际科技竞争力，并逐步建立系统的世界科技态势监测分析知识服务与决策咨询机制。

中国科学院国家科学图书馆根据中国科学院科技创新的战略布局，发挥其系统整体化优势，按照“统筹规划、系统布局、协同服务、整体集成”的原则，构建“分工负责、长期积累、深度分析、支撑决策”的战略情报研究服务体系，面向国家和中国科学院科技创新的宏观战略决策，面向中国科学院科技领域和前沿方向的创新决策，开展深层次战略情报研究服务：总馆负责基础科学以及交叉和重大前沿、空间光电与大科学装置、现代农业科技等创新领域的战略情报研究；兰州分馆负责资源环境科学以及生态环境、资源海洋等科技创新领域的战略情报研究；成都分馆负责部分战略高技术以及信息科技、先进工业生物技术科技创新领域的战略情报研究；武汉分馆负责部分战略高技术以及先进能源、先进制造与新材料科技创新领域的战略情报研究；上海生命科学信息中心负责生命科学以及人口健康与医药科技创新领域的战略情报研究。服务体系建设、科技前沿聚焦、决策需求导向、专业战略分析、政策咨询研究的发展机制和措施，促进了学科领域科技战略情报研究与决策咨询知识服务中心的快速成长和发展。

中国科学院国家科学图书馆部署总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆以及上海生命科学信息中心等单位的战略情报研究团队，围绕各自分工关注的科技创新领域的发展态势，选择相应科技创新领域的前沿问题或热点方向，开展国际科技前沿发展态势分析研究，2007年、2008年、2009年完成《国际科学技术前沿报告》各自年度研究报告，这些年度研究报告均呈交中国科学院有关



部门、研究所和国家相关科技管理部门，以供参考。2010 年、2011 年分别完成的《国际科学技术前沿报告 2010》、《国际科学技术前沿报告 2011》在提交科技创新部门参考的同时，还公开出版，供科研人员和科技管理人员参考。

中国科学院国家科学图书馆 2012 年继续部署总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆和上海生命科学信息中心的科技战略情报研究团队，选择相应科技创新领域的前沿学科、热点问题或重点技术领域，开展国际发展态势分析研究，完成这些研究领域的分析研究报告 11 份。总馆完成《纳米自旋电子学国际发展态势分析》、《固态照明基础研究国际发展态势分析》、《土壤微生物区系国际发展态势分析》、《激光雷达技术研究与应用国际发展态势分析》；兰州分馆完成《油气资源探测技术国际发展态势分析》、《国际河流水资源开发利用研究国际发展态势分析》；成都分馆完成《模式微生物研究国际发展态势分析》、《未来互联网研究国际发展态势分析》；武汉分馆完成《规模化电力储能技术国际发展态势分析》、《高性能碳纤维国际发展态势分析》；上海生命科学信息中心完成《脑科学领域国际发展态势分析》。本书将这 11 份前沿学科、热点问题和技术领域的国际发展态势分析研究报告汇编为《国际科学技术前沿报告 2012》，正式出版，供科技创新决策部门和科研管理部门、相关领域的科研人员和科技战略研究人员参考。

围绕有效支撑和服务国家中长期科技发展规划和“十二五”科技创新发展以及中国科学院“创新 2020”规划和“十二五”规划的科技战略决策的新需求，适应数字信息环境和数据密集型科研新范式的新趋势，中国科学院国家科学图书馆的科技战略研究咨询工作将进一步面向前沿、面向需求、面向决策，着力推动建设科技战略情报研究的新型业务发展模式，着力推动开展专业型、计算型、战略型、政策型和方法型战略情报分析和科技战略决策咨询研究，进一步强化科技战略研究服务的针对性，深化科技战略分析研究的层次，提升科技战略分析研究的决策咨询水平。

中国科学院国家科学图书馆的战略情报研究服务工作一直得到中国科学院领导和院有关部门的指导和支持，得到院属有关研究所科技战略专家的指导和帮助，得到科技部、国家自然科学基金委员会等部门领导和专家的大力支持和指导，得到相关领域专家学者的指导和参与，在此特别表示感谢。衷心希望我们的工作能够继续得到中国科学院和国家有关部门领导和战略研究专家的大力指导、支持和帮助。

国际科学技术前沿报告研究组

2012 年 5 月 4 日

目 录

前言

1 纳米自旋电子学国际发展态势分析	1
1.1 引言	2
1.2 纳米自旋电子学领域国际研究态势	6
1.3 纳米自旋电子学器件专利分析	13
1.4 建议与对策	23
2 固态照明基础研究国际发展态势分析	27
2.1 引言	27
2.2 主要国家/地区/组织的战略投资重点	31
2.3 固态照明重点方向与进展分析	44
2.4 固态照明基础研究的国际前沿与发展趋势	57
2.5 关于我国固态照明基础研究的建议	59
3 土壤微生物区系国际发展态势分析	63
3.1 引言	64
3.2 土壤微生物区系研究进展	65
3.3 土壤微生物区系研究相关论文分析	73
3.4 土壤微生物区系相关专利分析	87
3.5 结论与启示	103
4 脑科学领域国际发展态势分析	117
4.1 引言	119
4.2 国际脑科学规划	121
4.3 代表性研究机构及研究领域	145
4.4 从文献和专利计量分析脑科学研究发展态势	152
4.5 当前脑科学基础与应用研究面临的若干热点、问题和机遇	165
4.6 政策建议	170
5 油气资源探测技术国际发展态势分析	176
5.1 引言	177
5.2 国际油气资源探测技术研究现状	178
5.3 油气资源探测技术前沿热点与重点内容的专利与文献计量分析	187
5.4 国际油气资源探测技术发展趋势	206

5.5	结语	207
6	国际流水资源开发利用研究国际发展态势分析	211
6.1	引言	212
6.2	国际河流开发利用现状与存在的问题	213
6.3	国际河流相关研究计划与战略	218
6.4	国际流水资源开发利用研究文献计量分析	226
6.5	国际流水资源开发利用研究的关键科技问题分析	236
6.6	国际流水资源研究与开发趋势分析	249
6.7	启示与建议	252
7	激光雷达技术研究与应用国际发展态势分析	258
7.1	引言	258
7.2	国际激光雷达空间应用任务与科学研究计划	259
7.3	激光雷达技术研发前沿与重点	275
7.4	激光雷达研究论文的科学计量分析与主题挖掘	283
7.5	激光雷达专利技术分析	295
7.6	激光雷达技术与应用的研究特点与发展趋势	309
7.7	启示与建议	312
8	模式微生物研究国际发展态势分析	315
8.1	引言	316
8.2	国际微生物研究领域重要政策规划与举措	318
8.3	国际模式微生物研发专利分析	331
8.4	主要模式微生物及其在生物制造领域应用研究进展	343
8.5	发展建议	354
9	未来互联网研究国际发展态势分析	358
9.1	引言	358
9.2	国际未来互联网研究战略与计划	359
9.3	未来互联网研究态势、热点与前沿分析	382
9.4	未来互联网研究需求与展望	395
9.5	总结与建议	399
10	规模化电力储能技术国际发展态势分析	404
10.1	引言	405
10.2	主要国家发展战略与项目计划	409
10.3	关键前沿技术与发展趋势	426
10.4	技术创新能力与布局分析	450
10.5	我国发展现状	475



10.6	启示与建议	477
11	高性能碳纤维国际发展态势分析	483
11.1	碳纤维——21 世纪“新材料之王”	484
11.2	主要政策和计划分析	486
11.3	碳纤维及其复合材料前沿问题研究	489
11.4	碳纤维专利计量分析	499
11.5	碳纤维文献计量分析	509
11.6	碳纤维标准分析	516
11.7	碳纤维产业化和市场分析	521
11.8	重要研发机构和生产企业分析	525
11.9	结语与建议	533

彩图

1 纳米自旋电子学国际发展态势分析

吕晓蓉 黄龙光 李 超 冷伏海

(中国科学院国家科学图书馆)

21 世纪是纳米科技的时代。各科研大国先后制定了纳米科技领域路线图以及优先发展纳米科技的国家战略, 抢占 21 世纪的科技战略制高点。2011 年美国 NNI 战略计划中对其未来 10 年纳米技术研发的创新之路提出战略布局, 纳米电子学成为该计划重点支持的三大重点突破性创新研究领域之一。欧盟第六、七框架研究计划对纳米科技领域未来发展进行战略部署, 明确重点研发方向, 确定重点投资领域为纳米科学、纳米技术、纳米材料、纳米电子学、纳米医学和其他领域重大研究项目。日本战略技术路线图将纳米技术与纳米光电子器件作为其战略发展的重点, 战略定位于强化日本主导产业国际竞争力。

分析美国、欧盟、日本等科研大国和组织在纳米科技领域的发展战略, 得到以下几点结论:

- (1) 纳米基础研究是各国纳米科技战略规划投资的重点所在;
- (2) 聚焦于技术整合及其产业转化, 预测市场未来前景;
- (3) 发展多学科合作途径, 面对新技术挑战;
- (4) 部署战略性重点应用领域。

剖析世界主要科技大国在纳米科技领域的战略布局, 重点投资纳米基础科学研究以及变革性技术研发以增进未来科技发展竞争力成为战略规划之共识。

纳米自旋电子学研究领域作为纳米科技领域最活跃和最具挑战性的交叉前沿研究领域, 2007 年诺贝尔物理学奖将其评价为开启了通向技术新世界的大门, 美国国家科学基金会提出: “自旋电子学的发展及应用预示着第四次工业革命的到来。” 基于其重要的战略性研发地位, 纳米自旋电子学成为目前国际上竞争非常激烈的研究领域。纳米自旋电子学极大地推动了信息存储技术的迅速发展, 对未来计算机及信息技术产业产生划时代的重大影响。自旋逻辑器件以及磁性随机存取存储器作为核心高端芯片, 具有高达上千亿美元的巨大市场前景, 成为各国竞相部署的重大研究领域与高新技术产业, 在信息产业、传感器市场以及航天航空技术等领域具有广阔的应用前景。纳米自旋电子学器件将成为具有全新功能的下一代微电子学器件, 并将引发量子计算、量子信息领域的新变革。同时, 石墨烯、拓扑绝缘体等新颖功能材料的研究将为纳米自旋电子学领域的发展带来新的生长点。

本报告从 SCI 学术论文以及技术专利分析的角度,剖析纳米自旋电子学研究领域的国际发展态势。运用汤森数据分析器(TDA)从宏观角度把握纳米自旋电子学研究领域近 30 年来的发展动态;运用可视化科学研究前沿分析工具(CiteSpace)揭示该领域的研究前沿及其演变,解析该领域的发展趋势与重点研究方向;运用专利分析工具(TDA、Aureka 专利地图)深度剖析各国研究机构/企业在该领域的专利保护策略及其重点技术布局,并结合美国、欧盟、日本等纳米战略计划与重点部署,拟提出我国发展纳米自旋电子学研究的若干战略规划建议与对策。具体建议如下。

(1) 发展自旋逻辑器件和磁性随机存取存储器,对未来计算机与信息技术产业影响力巨大;

(2) 发展基于自旋电子学的高灵敏磁传感器,在传感器市场具有巨大的发展空间;

(3) 战略部署纳米自旋电子学新兴交叉前沿研究领域,把握未来产业发展动向。

纳米技术创新有赖于持续的基础研发投资与对新技术转移、转化的重点支持。重点投资纳米基础科学研究以及变革性技术研发,促进重大科技成果技术转化,着眼于产业未来发展前景,尤其是对重点应用领域科技转化的重点支持,将对发展和提升主导产业的国际竞争力具有重要意义。

1.1 引言

随着纳米科技的发展,电子器件的微型化发展趋势已将器件的尺度缩小至量子效应影响其功能的区域。以电子自旋相关效应为主要研究内容,基于自旋量子特性研发新型电子器件的纳米自旋电子学成为目前纳米科学领域最活跃和最具挑战性的研究方向之一。纳米自旋电子学将电子自旋相关效应与传统微电子学相结合,为研发具有全新功能的下一代微电子器件提供了前所未有的机遇。作为新兴交叉前沿科学领域,纳米自旋电子学已成为凝聚态物理、信息技术、材料科学等研究领域共同关注的焦点,世界主要科技大国在纳米科技领域的重大战略计划中均将纳米自旋电子学及器件作为其重点部署的研发领域。

1.1.1 纳米自旋电子学及器件发展历程

1.1.1.1 纳米自旋电子学发展历程

纳米自旋电子学起始于金属纳米多层膜巨磁电阻效应(Giant Magnetoresistance, GMR)的发现(Baibich et al., 1988)及其在传感器和磁存储器技术领域中的重要应用。2007 年诺贝尔物理学奖授予巨磁电阻效应的发现者——法国科学家 Albert Fert 和德国科学家 Peter Grünberg,该效应的发现打开了一扇通向技术新世界的大门,开启了科学研究的新纪元。



巨磁电阻效应的发现引发了与电子自旋相关的诸多研究工作,铁磁隧道结材料中发现的室温隧穿磁电阻效应(Tunneling Magnetoresistance, TMR),开辟了磁性自旋电子学研究的又一个新方向(Moodera et al., 1995)。“磁电子学开创了调控自旋的新纪元”(都有为, 2011),磁电子学研究成果在信息存储等诸多领域已经产生了划时代的影响,具有高达上千亿美元的巨大市场前景,成为各国高科技战略布局的研发重点。

20世纪90年代中后期,以电子自旋相关输运为基础的纳米自旋电子学得到迅速发展,与半导体科学相结合形成的半导体自旋电子学成为热点研究领域之一。半导体自旋电子学研究发展为两个分支:半导体磁电子学和半导体量子自旋电子学。半导体磁电子学研究领域主要利用磁半导体/半导体与磁性材料的组合,将磁性功能引入半导体,并通过光或电场操控磁性自旋,发展磁-光-电一体化的新功能器件;半导体量子自旋电子学研究领域主要利用半导体中自旋的量子力学特性,发展固体量子信息处理器件。

进入21世纪,纳米自旋电子学领域已发展为凝聚态物理、信息技术、材料科学等领域共同关注的交叉前沿研究领域。通过多学科的交叉渗透,在纳米自旋电子学领域不断涌现出新的研究方向,如石墨烯、碳纳米管自旋电子学。石墨烯独特的光学和电子性质在光子学和光电子学领域引起了广泛的研究兴趣。2010年诺贝尔物理学奖授予英国曼彻斯特大学物理学院和天文学院的科学家Andre Geim和Konstantin Novoselov,他们在二维空间材料石墨烯方面做了开创性研究。由于电子自旋对铁磁材料、超导体、反铁磁性Mott绝缘体等许多材料的物态产生强烈的影响,甚或调控物态,因此,电子自旋效应将引发新型纳米材料与纳米器件的诞生。自旋电子学材料从基于金属的自旋电子学材料发展到基于半导体的自旋电子学材料,石墨烯材料有望成为下一代基于电子自旋的电子元件材料(Abanin et al., 2011)。

1.1.1.2 纳米自旋电子学器件发展历程

基于磁性纳米多层膜的巨磁电阻效应研究历时10年便完成了从基础研究到计算机读出磁头的商业化应用表1-1。GMR效应和材料的应用成为技术产业化的一个典型范例,该技术使硬盘存储面密度得以大幅度增长,推动了计算机硬盘市场的迅速发展,仅在1998年硬盘市场便创造了340亿美元的高额利润(NSTC et al., 1999)。

继GMR效应之后,室温隧穿磁电阻效应的发现掀起了自旋电子学器件研发的第二个高潮,造就了又一个百亿美元的计算机硬件产业。基于磁性隧道结的磁性随机存储器(Magnetic Random Access Memory, MRAM)成为国际公认的未来技术,围绕该研发主题,各科技大国均在材料、物理和器件等领域展开战略部署,进行投资研发。

自旋电子学器件发展至今,可以大致分为以下三类:

(1) 磁电子自旋器件:基于巨磁电阻效应的应用已广泛涉及磁信息存储技术领域,如磁盘驱动器的读写头与随机存储器等。

(2) 光子自旋器件:包括半导体光学隔离器、超快光开关等。

(3) 量子自旋器件:量子计算机通过粒子自旋来处理信息,如利用量子点中的单电子自旋态作为量子比特(Qubit)或利用核自旋量子计算来制造量子计算机等。



表 1-1 基于巨磁电阻效应和室温隧穿磁电阻效应的重大研发

年份	GMR 重大研发	TMR 重大研发
1988	巨磁电阻效应发现（法国、德国科学家）	
1991	自旋阀器件	
1995		室温隧穿磁电阻效应发现（美国、日本科学家）
1996	GMR 读磁头商业化	
1997	IBM 公司制造出可商业化应用的巨磁电阻读出磁头	
1998		美国 DARPA 启动 MRAM 计划
1999		Motorola 开发出 128Kb MRAM 原型器件
2000	所有读出磁头均为 GMR 磁头，现为 TMR 磁头	
2003		IBM、Motorola 开发出 4Mb MRAM 芯片原型器件

1.1.2 各国纳米自旋电子学领域战略规划重点分析

1.1.2.1 美国纳米技术创新计划及其战略部署

1998 年美国国防部高级研究计划局（DARPA）率先启动了基于电子自旋效应的高级磁存储器和传感器研发项目——半导体中的自旋（Spins in Semiconductors, SPINS），部署将对未来技术产生重大影响的基础研究与前沿技术研究，致力发展半导体自旋电子学，特别是涉及相干自旋态操纵的量子自旋电子学。自旋电子学——Spintronics 的命名便来源于美国 DARPA 的该项研究计划。

2001 年美国启动“国家纳米技术创新计划”（National Nanotechnology Initiative, NNI），提出纳米技术发展的四大战略目标，并将其研发重点定位在革新微电子学与创新制造技术。目前已有 25 个联邦研究机构参与 NNI 计划，累计投资 165 亿美元，将其作为国家最高优先级的科学计划执行。NNI 对美国未来经济与社会发展产生深远影响。

2011 年美国发布纳米技术创新战略规划（NNI Strategic Plan），以规划其未来 10 年纳米技术研发的创新之路。该计划遴选出三大重点突破的标志创新项目。其中，纳米电子学创新研究计划被确立为该标志创新项目之一。美国对纳米电子学领域的创新战略规划具体体现在 2010 年制定的《2020 年及未来纳米电子学发展》中。该计划的合作机构包括美国国家科学基金会（NSF）、美国国防部（DOD）、美国国家标准和技术研究所（NIST）、美国能源部（DOE）等，旨在通过跨机构的合作，联合研发新颖功能材料与创新性纳米器件，其重点突破领域涉及信息量子态、纳米光电子学、碳基纳米电子学以及量子信息科学等。

美国加利福尼亚大学与斯坦福大学于 2006 年联合创立美国纳米电子西部研究机构，研究领域聚焦于纳米自旋电子学，由大学与半导体产业界（英特尔、IBM、德州仪器、AMD、Freescale、Micron 等）共同投资，启动资金高达 1800 万美元，设备等投资超过 2 亿

美元,成为目前世界上最大的联合研究项目之一。通过研究机构与企业界在战略目标和研发技术上的协同与互补,强化其联合创新能力,极大地推动了新技术的转移转化,促进纳米技术的产业化进程。

1.1.2.2 欧盟第六、七框架研究计划

2010年欧盟发布第七框架研究计划(Seventh Framework Programme, FP7, 2010),对欧洲在2007~2013年的科技发展提出战略规划。欧盟第七框架研究计划投资预算总额高达532亿欧元,较欧盟第六框架研究计划(FP6)投资经费增加63%。欧洲研究理事会(European Research Council, ERC)的资助目标是更具高风险且有高回报潜力的科学前沿研究。

欧盟第七框架研究计划提出九大关键研究领域,其中第四大关键研究领域为纳米科学与纳米技术、材料与新制造技术。该研究计划在纳米科技领域的研发投入为30亿~40亿欧元,超过第六框架研究计划投资的一倍多。重点投资的研究领域包括纳米科学、纳米技术、纳米材料、纳米电子学以及纳米医学等。在纳米电子学领域启动的研究项目为下一代纳米电子学元件与纳米级集成电路设备和系统,项目投资达3亿~4亿欧元。

1.1.2.3 日本纳米战略计划及其国际合作项目

日本于1997年启动纳米自旋电子学相关研究计划:自旋控制的半导体纳米结构(Spin Controlled Semiconductor Nano-structures),成为最早开展纳米自旋电子学领域研究的国家之一。日本科学技术振兴机构(Japan Science and Technology Agency, JST)和英国工程与物理科学研究理事会(Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC)于2011年启动日本-英国战略合作研究项目,将项目研究领域确定为“氧化物电子学、有机电子学和自旋电子学”。

《日本纳米技术与材料科学中长期研究发展战略报告(2005)》中将基于纳米尺度属性的基础研究与技术转移转化作为其中长期发展战略。该发展报告提出的优先研发领域——生命科学和信息技术领域均将纳米自旋电子学确立为重点研究方向。

(1) 生命科学领域:为了实现个体化诊断/治疗(细胞疗法、生物纳米材料,生物纳米机械和仿生纳米器件/系统)的纳米生物纳米技术,分子/生物/自旋电子学。

(2) 信息技术领域:为了实现高速和超大容量信息处理的量子信息和通信(量子信息和通信,量子计算、量子存储/继电器芯片);基于新材料和功能的分子/生物/自旋电子学(单分子集成器件,单自旋存储芯片和传感器件);适应大容量高速信息处理和下一代电子学(T比特存储芯片、超高速/高度集成化、量子点光学器件和动力器件)。

2010年,日本发布第六次修订的《战略技术路线图2010》(Strategic Technology Roadmap 2010)。在该路线图中,日本确立的战略技术发展路线将聚焦于“绿色”创新,覆盖了31个研究领域,将拓展技术未来发展空间、确定催生新型工业的关键技术、增强日本主导产业的国际竞争力作为其战略目标;将发现新的研究和技术研发主题、维护和管理知识产权、建立多学科合作途径(如交叉学科联合研究)作为其重要的战略研发模式。在纳米科技领域,纳米技术与纳米光电子器件是日本战略发展的重点。日本东京电气化学

工业株式会社（TDK 株式会社）的 R&D 战略和全球展望（2011 年）也指出，中长期基础研究将致力自旋电子学，将导致领导未来电子元件的应用，自旋电子利用固体中电子的电荷属性（传送电力）与电子的自旋属性（导致磁力）结合。

1.2 纳米自旋电子学领域国际研究态势

SCI 学术论文作为重要科研成果的载体，为分析学术领域研究动态提供了一条有效途径。通过 SCI 论文影响力分析、研究主题布局、项目资助情况等反映该研究领域各国研发态势。该文通过建立论文检索式，检索 1980 ~ 2011 年纳米自旋电子学研究领域中的 SCI 论文文献，运用 TDA 文献计量数据分析工具分析该领域近 30 年来的发展动态，并运用 CiteSpace 科学研究前沿可视化分析工具揭示该领域的研究前沿及其动态演变，解析该领域未来发展趋势与重点研究方向。

1.2.1 纳米自旋电子学及器件研究动态

1.2.1.1 纳米自旋电子学研究领域 SCI 论文影响力分析

在纳米自旋电子学研究领域中，1980 ~ 2011 年发表的 SCI 论文逐年发文量统计分析显示（表 1-2），20 世纪 80 年代初逐渐兴起的纳米自旋电子学研究，至 90 年代呈现出迅速增长的趋势，自 1997 年起，年均发文量达到上千篇；进入 21 世纪，该领域的发文量加速增长，其平均增速为 90 年代初期的 1.4 倍，年均增长率达到 11%，成为目前国际上的热点研究领域。

表 1-2 纳米自旋电子学领域 SCI 论文数量

年代	年均论文数量/篇	发文数量极大值/篇（年）
1980 ~ 1989	14.1	19（1982 年）
1990 ~ 1999	764.3	1 570（1999 年）
2000 ~ 2009	2 311.1	2 805（2009 年）

从纳米自旋电子学研究领域 SCI 论文发文量国家排名情况来看，排名前 5 位的国家依次是美国（9968 篇）、日本（4609 篇）、中国（4302 篇）、德国（3687 篇）和法国（2703 篇）。其中，美国在该领域的 SCI 学术论文数量远大于其他国家，约是日本论文数量的 2 倍多。日本、中国、德国的论文数量接近，法国稍次之。近年来，韩国在纳米电子学领域发展迅速，其 SCI 论文数量位居第十位，接近印度的发展水平。

对 SCI 收录的纳米自旋电子学领域科研论文数据进行主题领域统计分析（图 1-1），纳米自旋电子学研究领域 SCI 论文研究主题主要分布在物理、材料科学、化学、工程学、光学、计算机科学以及生物化学和生物物理等多学科交叉领域。

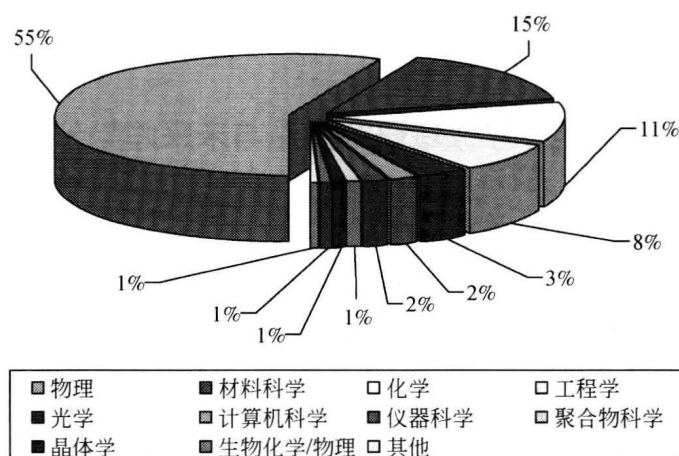


图 1-1 纳米自旋电子学 SCI 论文主题领域分布（见彩图）

1.2.1.2 纳米自旋电子学领域各国研发态势

纳米科技领域是各科研大国科技投资的重点研究领域。中国、美国、欧盟、德国、日本在纳米自旋电子学研究领域的科研投入明显高于其他国家（表 1-3）。其中，美国在该领域的科研资助机构主要来自美国国家科学基金会、美国能源部、美国海军研究局（ONR）以及美国国防部高级研究计划局（DARPA）；中国在该领域的科研资助机构主要来自中国国家自然科学基金委员会（NSFC）和中国国家基础研究计划。

表 1-3 纳米自旋电子学领域各国科研投入（排名前 10 位资助机构）

排名	基金资助机构	资助项目数/项
1	中国国家自然科学基金委员会（NSFC）	892
2	美国国家科学基金会（NSF）	590
3	欧盟（EU）	307
4	德国研究联合会（DFG）	278
5	日本文部科学省（MEXT）	245
6	美国能源部（DOE）	218
7	英国工程与物理科学研究理事会（EPSRC）	126
8	俄罗斯基础研究基金会（RFBR）	123
9	美国海军研究局（ONR）	108
10	美国国防部高级研究计划局（DARPA）	53

各国研究机构在纳米自旋电子学领域的 SCI 发文量显示，排名前 5 位的研究机构依次为中国科学院、日本东北大学、俄罗斯科学院、日本东京大学以及法国国家科学院。排名前 10 位的研究机构中，日本有 3 所大学名列前 10 位，分别是日本东北大学、日本东京大学和日本大阪大学，显示出日本大学在纳米自旋电子学领域具有非常强的研究力量；美国

IBM 公司排名第七位，成为该领域中研发实力最强的企业之一，体现了美国长期支持纳米技术产业化的战略布局。

1.2.2 纳米自旋电子学领域研究前沿与未来趋势分析

1.2.2.1 纳米自旋电子学领域研究前沿

运用科学研究前沿分析工具——CiteSpace (Chen et al., 2010) 建立科学论文文献共引网络的聚类模型，基于对纳米自旋电子学领域 SCI 研究论文的引文共引网络分析 (图 1-2)，识别该领域 1980 ~ 2011 年研究热点及其演化趋势。在聚类分析模型中，将 1980 ~ 2011 年每隔 10 年划分为一个时间片断，进行引文共引网络聚类，解析出每一时期的研究热点 (表 1-4)，并分析研究热点的演进。

表 1-4 纳米自旋电子学领域研究热点 (1980 ~ 2011)

研究热点 (时间范围: 1980 ~ 1990)
ferromagnetic insulator
anti-ferromagnetic insulators
giant magnetoresistance (GMR)
anisotropic magnetoresistance (AMR)
surface nuclear-spin waves
amorphous ferromagnetic insulator
ferromagnetic rare-earth insulators
quasiparticle band-structure
magnetoresistive multitrack
antiferromagnetic semiconductor
thiocyanate-bridged transition-metal polymers
magneto-optic read heads
compound read heads
研究热点 (时间范围: 1990 ~ 2000)
giant magnetoresistance (GMR)
room temperature
colossal magnetoresistance (CMR)
magnetic multilayers thin-films
metal-insulator transition
spin-dependent scattering
magnetic tunnel junctions/tunneling magnetoresistance (TMR)
ferromagnetic phase transition
spin valves