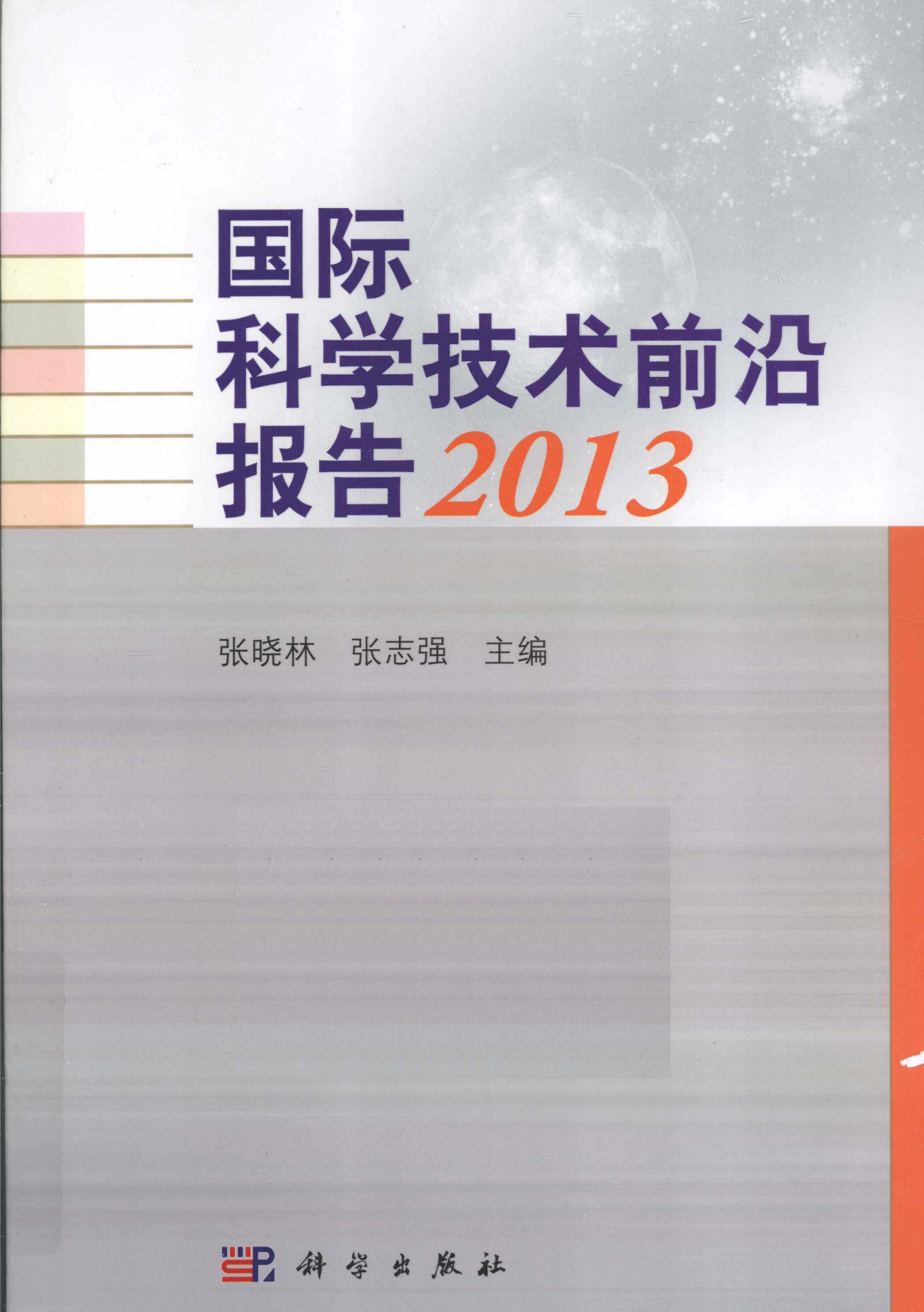
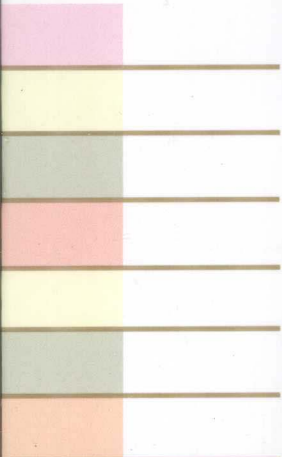




国际 科学技术前沿 报告 *2013*

张晓林 张志强 主编



国际 科学技术前沿 报告*2013*

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自旋电子器件、铅铋合金冷却系统、小麦锈病研究、生物信息技术、深水油气勘探开发科技、流域水资源管理研究、新型原子钟、药用植物资源科技、类人机器人研究、小型模块化反应堆技术、计算材料与工程等 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 2013 / 张晓林, 张志强主编. —北京: 科学出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-03-038160-6

I. ①国… II. ①张… ②张… III. ①科技发展—研究报告—世界—2013
IV. ①N11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 159580 号

责任编辑: 郭勇斌 卜 新 / 责任校对: 郭瑞芝 邹慧卿

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

*

2013 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 8 月第一次印刷 印张: 32 插页: 12

字数: 800 000

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 2013》

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	杨 帆	熊永兰
	王雪梅	陈 方	张 娴
	梁慧刚	魏 凤	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、多层次、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,深入调研重大科技进展和重要科技政策,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、整体集成、协同服务”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、2012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》、《国际科学技术前沿报告2012》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2013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《自旋电子器件国际发展态势分析》、《铅铋合金冷却系统国际发展态势分析》、《小麦锈病研究国际发展态势分析》、《新型原子钟国际发展态势分析》,兰州分



馆完成《深水油气勘探开发科技国际发展态势分析》、《流域水资源管理研究国际发展态势分析》,成都分馆完成《药用植物资源科技国际发展态势分析》、《类人机器人研究国际发展态势分析》,武汉分馆完成《小型模块化反应堆技术国际发展态势分析》、《计算材料与工程国际发展态势分析》,上海生命科学信息中心完成《生物信息技术国际发展态势分析》。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报告汇编为《国际科学技术前沿报告2013》,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

2013年2月25日

目 录

前言

1 自旋电子器件国际发展态势分析	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 自旋电子器件领域国际发展态势	(3)
1.3 半导体技术的产业化路径及全球竞争格局	(19)
2 铅铋合金冷却系统国际发展态势分析	(35)
2.1 引言	(35)
2.2 铅铋合金冷却系统研究现状	(36)
2.3 铅铋合金冷却系统研究论文计量分析	(57)
2.4 研究总结与启示建议	(63)
3 小麦锈病研究国际发展态势分析	(66)
3.1 引言	(67)
3.2 小麦锈病的流行现状	(68)
3.3 小麦锈病国际应对战略与行动	(72)
3.4 小麦锈病研究布局	(75)
3.5 小麦锈病研究论文定量分析	(85)
3.6 小麦锈病研究专利定量分析	(95)
3.7 结论与建议	(109)
4 生物信息技术国际发展态势分析	(113)
4.1 生物信息技术推动生命科学向可预测的科学转变	(115)
4.2 国际重要政策规划与举措	(118)
4.3 科学计量下的生物信息技术国际态势	(145)
4.4 关于生物信息技术发展的若干判断	(155)
5 深水油气勘探开发科技国际发展态势分析	(163)
5.1 引言	(164)
5.2 深水油气资源分布及地质特征	(165)
5.3 深水油气资源勘探开发技术现状	(166)
5.4 深水油气资源勘探开发的科技战略与动向	(176)
5.5 深水油气勘探开发领域的论文与专利计量分析	(180)
5.6 深水油气勘探开发领域科技的发展趋势	(197)
5.7 结语	(198)
6 流域水资源管理研究国际发展态势分析	(203)
6.1 引言	(204)
6.2 流域水资源管理领域研究发展态势	(206)



6.3	流域水资源管理研究的文献计量分析	(214)
6.4	流域水资源管理研究的前沿热点内容	(230)
6.5	国际典型流域水资源管理经验比较分析	(238)
6.6	对我国流域水资源管理研究的建议	(244)
7	新型原子钟国际发展态势分析	(251)
7.1	引言	(251)
7.2	原子钟研究概况	(253)
7.3	新型原子钟研究进展及水平分析	(260)
7.4	主要国家和国际组织发展战略及重要计划	(270)
7.5	新型原子钟未来发展趋势分析	(290)
7.6	开展新型原子钟研究的战略意义简析	(292)
7.7	启示与建议	(293)
8	药用植物资源科技国际发展态势分析	(299)
8.1	引言	(300)
8.2	药用植物资源科技领域的重要政策规划	(301)
8.3	药用植物研究文献与专利分析	(315)
8.4	国际药用植物科技领域主要技术的研究进展	(330)
8.5	我国药用植物资源科技发展的主要挑战与建议	(339)
9	类人机器人研究国际发展态势分析	(346)
9.1	引言	(346)
9.2	各国机器人发展战略与计划分析	(348)
9.3	类人机器人的研发态势、热点与前沿分析	(375)
9.4	未来研究展望	(389)
9.5	总结与建议	(393)
10	小型模块化反应堆技术国际发展态势分析	(399)
10.1	引言	(400)
10.2	主要堆型设计	(403)
10.3	安全性设计	(414)
10.4	主要国家发展态势	(416)
10.5	研发创新能力与布局计量分析	(425)
10.6	我国小型反应堆现状及研发对策	(448)
附录	先进小型模块化反应堆的安全设计特性	(453)
11	计算材料与工程国际发展态势分析	(464)
11.1	引言	(465)
11.2	计算材料研究战略与计划	(466)
11.3	计算材料方法研究进展	(473)
11.4	计算材料文献计量分析	(485)
11.5	集成计算材料工程研究进展	(496)
11.6	结语和建议	(499)

彩图

1 自旋电子器件国际发展态势分析

吕晓蓉 黄龙光 李 超

(中国科学院国家科学图书馆)

纵观科学发展进程,每一次重大基础科学发现都会引发技术的飞跃。1988 年金属纳米多层膜中巨磁电阻(GMR)效应的发现开启了自旋电子学新兴领域的大门,并荣获2007 年诺贝尔物理学奖。GMR 效应从科学发现到成功的商业化,创造了技术转化的典范。20 世纪90 年代开始研发的下一代存储器技术,磁电阻随机存储器更是有望造就千亿美元的未来市场价值,将在未来半导体产业中具有持续增长的潜力。近些年来迅速发展的高性能自旋电子器件以及自旋电子学基础与应用研究,正在信息技术、半导体工业、量子计算和量子通信等诸多领域酝酿着一场深刻的技术革命。

自旋电子学近30 年的迅猛发展印证了诺贝尔奖所推动的技术创新及其造就的产业机遇。技术基础、应用需求以及市场环境的变化呼唤新技术的出现,而新技术的发展也将重新定义未来市场竞争格局。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。对全球半导体产业的发展产生重要影响的《国际半导体技术发展路线图》也明确指出,后互补金属氧化物硅(CMOS)时代面临的技术挑战为自旋电子学等新兴技术的发展提供了无限空间。突破传统CMOS 技术范畴,开展基于多种不同机制的新型器件的研究开发工作,拓展微电子器件的应用范围,甚至是开拓新兴研究领域,超前部署未来新兴市场,已成为世界主要科技大国及其众多著名研发机构的共识。

培育发展战略性、基础性和先导性产业是提升国家核心竞争力的根本,是迈向创新型国家的重要标志。回顾半导体技术的产业化历程,有益于自旋电子学新兴技术的转移、转化:①调整现有的半导体产业政策,向自旋电子学领域倾斜;②加大对自旋电子学技术创新的投资,抢占未来新兴微电子产业制高点;③支持微电子领域重点企业,着力实施自旋电子等新兴技术重大成果的转化,加快产业化进程,提升中国企业在微电子新兴产业市场中的竞争力。

1.1 引言

《国际半导体技术发展路线图》对推动全球半导体产业的发展、对半导体产业的结构

调整以及产业链的形成,产生了重要影响。传统 CMOS 技术面临的挑战为新兴技术的发展创造了历史良机。

1992 年,在美国政府的支持下,美国半导体工业协会 (Semiconductor Industry Association, SIA) 协同产、学、研各界第一次制定《美国国家半导体技术发展路线图》(The National Technology Roadmap for Semiconductors, NTRS),并在 1994 年、1997 年进行了修订。NTRS 预测半导体工业 15 年内的发展趋势,为研究人员以及设备、材料和软件供应商提供了极具价值的参考框架。NTRS 在 20 世纪 90 年代为促进美国半导体技术的发展发挥了重要作用。

1998 年,在世界半导体理事会 (World Semiconductor Council) 上,由美国半导体工业协会提议,联合日本电子工业技术协会 (JEITA)、欧洲半导体产业协会 (ESIA)、韩国半导体工业协会 (KSIA) 以及中国台湾半导体产业协会 (TSIA) 共同制定《国际半导体技术发展路线图》(The International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS),对全球半导体产业未来 15 年的发展趋势进行预测与展望,为半导体产业提供一个关于“需求、可能的解决方案”的参考框架。

《国际半导体技术发展路线图》自 1999 年发布第一版以来,每偶数年份进行更新,每奇数年份进行全面修订。ITRS 的主要目标是提供被工业界广泛认同的对未来 15 年内研发需求的最佳预测。该路线图对于支持研发机构、工业界、政府的投资决策具有重要意义,有助于将研发方向引向最需要突破的领域。

传统上,国际半导体技术发展路线图主要专注于 CMOS 技术的按比例缩小。但是,2001 年版的 ITRS 就开始考虑 CMOS 工艺按比例缩小将面临的挑战,提出路线图必须要考虑发展“后 CMOS 器件”的问题。后 CMOS 器件涵盖的范围从非平面 CMOS 器件到新颖功能器件,如自旋器件。无论是为 CMOS 技术的延伸,还是为更激进的新技术、新方法,“后 CMOS 技术”必须进一步降低单位功能的成本,并提高集成电路的性能。新技术将不仅包括新器件的诞生,还将意味着制造方法的彻底革新。

在 2003 年制定的《国际半导体技术发展路线图》中提出,传统的硅基 CMOS 器件正在接近其极限。为了保持集成电路产业界能够继续按照摩尔定律发展,一方面是将 CMOS 按比例缩小,深入推进,另一方面是突破 CMOS 的范畴,发展基于不同机制的新型器件的研究开发工作,如电子自旋器件、共振隧道器件等。为此,2003 年版路线图特别将新兴器件的研究单独列为一章,进行详细评述,并得出结论:“新兴的器件、技术和结构,如果开发成功,将可以拓展微电子器件的应用范围,进入 CMOS 器件未曾进入的领域,而不是直接在相同的领域内与 CMOS 器件竞争。”

《国际半导体技术发展路线图》在 2004 年进行了一次更新。鉴于材料研究开发对于上述新兴器件的重要性,在 2004 年更新版路线图中进一步将新兴材料研究 (EMR) 单独列为一章,新兴材料研究的主要任务是为新兴器件提供所需要的材料,确定材料的特性、合成技术及分析测量技术等。《国际半导体技术发展路线图》指出,新兴材料研究中最困难的任務在于:①如何表征对器件运行机制有影响的材料特性,尤其是这些特性在纳米尺度下的特性;②如何进一步改进这些特性;③对这些特性的表征方法和测量分析技术;④为了分析这方面的实验结果,需要针对实验现象进行建模和仿真。重要的实验现象,尤其是

在纳米尺度上的一些效应，还未能建立精确模型。

2005~2012年发布的《国际半导体技术发展路线图》一直强调发展以自旋电子学技术等为代表的新兴技术的必要性和重要性，展望超越摩尔定律的新兴技术的发展路线(图1-1)，这些新兴技术将引发未来工业的新变革。

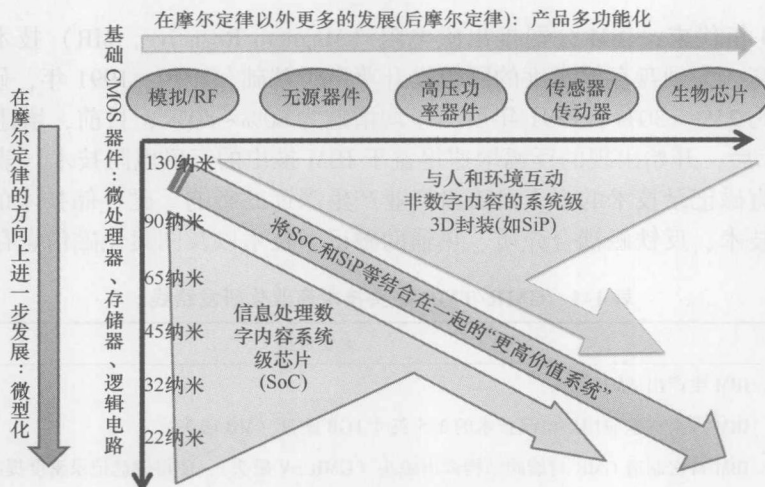


图1-1 摩尔定律和后摩尔定律

本报告从专利视角揭示自旋电子器件的国际发展态势，并通过分析传统半导体技术的产业化发展过程，以期对自旋电子学重大技术成果的转化提供有益的借鉴。

1.2 自旋电子器件领域国际发展态势

1988年巨磁电阻效应的发现(Baibich et al., 1988)所引发的有关巨磁电阻效应及其材料的基础和应用研究为磁电子学的发展奠定了基础。在该领域中,基础研究和应用研究齐头并进,已成为基础研究快速转化为商业应用的国际典范。从1998年起,GMR硬盘磁头即应用于工业年产值300亿美元的硬盘中(Roco et al., 1999),磁电阻随机存储器被业界认为有望造就千亿美元的未来市场价值(Han et al., 2008),基于GMR和TMR效应的多种类型磁敏感传感器也成为自旋电子学的第三大主要应用领域(Piedade et al., 2006)。近年来,对自旋电子学新型功能器件的研究和开发将会导致未来产业的新变革(Seki et al., 2008)。

本报告通过对高密度磁头、磁电阻随机存储器和磁电阻传感器的专利分析,揭示自旋电子器件的国际发展态势及产业应用前景。

1.2.1 高密度磁头国际发展态势

1.2.1.1 高密度磁头技术发展概述

20 世纪 80 年代末, IBM 公司推出磁电阻 (Magnetoresistive, MR) 技术, 使得磁头灵敏度大幅提高, 为硬盘存储密度的巨幅提升奠定了基础。1970 ~ 1991 年, 硬盘存储密度年均增长速度为 25% ~ 30%; 1991 年后, 年均增速为 60% ~ 80%; 目前, 增速达到 100% ~ 200%。1997 年后, 开始出现的巨幅增速得益于 IBM 推出的巨磁电阻技术 (表 1-1)。巨磁电阻技术和垂直磁记录技术的引入对磁盘产业产生深远的影响。磁存储技术的主要进展包括: 垂直记录技术、反铁磁耦合介质、热辅助磁记录技术以及图案化磁信息存储介质等。

表 1-1 GMR/TMR 磁头技术商业化研发路线

年份	重要推进
1985	IBM 生产出 AMR 磁头
1991	IBM 推出首款应用磁电阻技术的 3.5 英寸 1GB 硬盘 (MR 磁头)
1994	IBM 首次制造 GMR 自旋阀结构读出磁头 (GMR SV 磁头), 使得磁盘记录密度提高 17 倍
1995 ~ 1996	IBM 制造出的 HDD 面密度达到 5GB/英寸 ²
2004	希捷公司研发出 TMR 磁头, 使得磁盘记录密度达到 150GB/英寸 ²
2005	希捷公司和日立环球存储科技公司均宣布将开始大量采用磁盘垂直记录技术 (Perpendicular Recording)
2007	TDK 公开热辅助记录及 CPP-GMR 磁头、垂直磁记录+TMR 读取方式的硬盘磁头 日立环球存储科技公司宣布发售首个 1TB 的硬盘

注: 1 英寸=2.54 厘米, 1 英寸²=6.4516×10⁻⁴ 米²

2003 年, 日立公司完成 20.5 亿美元的收购 IBM 硬盘事业部计划, 并成立日立环球存储科技公司 (Hitachi Global Storage Technologies, HGST)。2006 年, 希捷公司 (Seagate Technology) 以 19 亿美元收购迈拓 (Maxtor), 从而一举成为全球第一大硬盘制造商。时至 2010 年, 美国硬盘制造商西部数据 (Western Digital Corp., WD) 超越希捷公司, 占领硬盘市场近 50% 的份额, 位列第一。2011 年, 西部数据以现金加股票的方式, 出资约 43 亿美元 (35 亿美元现金, 出让 10% 股份) 收购日立公司硬盘业务全资子公司, 即日立环球存储科技公司。同年, 希捷公司以 13.75 亿美元 (现金加股票的方式) 收购三星旗下硬盘业务。行业分析预测, 西部数据至少在未来 5 年将保持存储设备世界第一的地位。

随着平板电脑的兴起, 传统硬盘产品的需求正在下降。2011 年硬盘行业预测数据显示, 2011 年第一季度硬盘的销量比 2010 年第四季度下降 4%。其中, 西部数据销售了 5220 万块硬盘, 希捷公司的销量为 4890 万块, 日立公司硬盘销售量是 3030 万块。与之相反, 闪存等形式的存储类型产品开始走俏。目前, 三星、东芝是固态硬盘的主要生产商。

面对来自固态存储的挑战, 硬盘产业三大巨头——日立公司、希捷公司、西部数据近期宣布成立“存储技术联盟”, 合作研发下一代磁盘存储技术, 制定未来技术发展路线图。

在提高存储密度方面,日立公司主张使用图案化介质技术,在旋转磁盘上实现精确定位(该技术可能需要 12.5 纳米光刻技术支持)的技术路线。希捷公司则主张使用热辅助磁记录技术,通过激光在极短时间内加热磁盘微小区域以提升存取效率的技术路线,均将实现 1TB/英寸² 以上磁盘存储密度。如果将其结合,最终有可能实现 50TB/英寸² 超高存储密度。

以下通过对 1988~2011 年高密度磁头专利申请趋势及技术研发热点的分析,显示该领域国际发展态势。

1.2.1.2 高密度磁头技术领域专利申请时序分析

高密度磁头技术领域的专利申请量分别在 1994 年、2004 年出现两个高峰期(图 1-2),对应 IBM 公司在 1994 年首次推出 GMR 读出磁头以及希捷公司在 2004 年研发出 TMR 磁头;而 2005 年之后专利申请量呈现逐步下降的趋势,该回落期在一定程度上反映出磁头技术已处于成熟期或新的技术突破尚未形成。

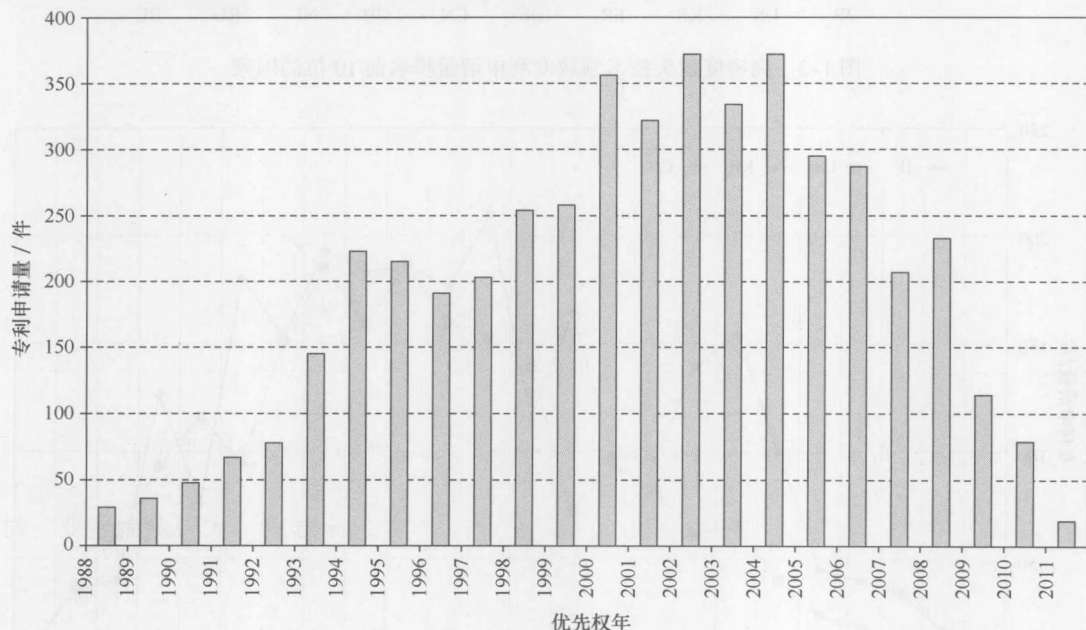


图 1-2 高密度磁头技术领域专利申请量趋势

从磁头技术领域专利申请量国家排名情况来看,排名前 10 位的国家分别是:日本、美国、韩国、法国、德国、中国、英国、荷兰、俄罗斯、比利时(图 1-3)。其中,日本、美国在磁头技术领域处于明显优势地位,专利申请量远大于其他国家总和。20 世纪 90 年代,日本在磁头技术领域的专利申请量领先于美国;进入 21 世纪,美国与日本在该领域的技术水平相当;2006 年之后,韩国的发展较为迅速,中国在近几年的专利申请量也有所上升(图 1-4)。

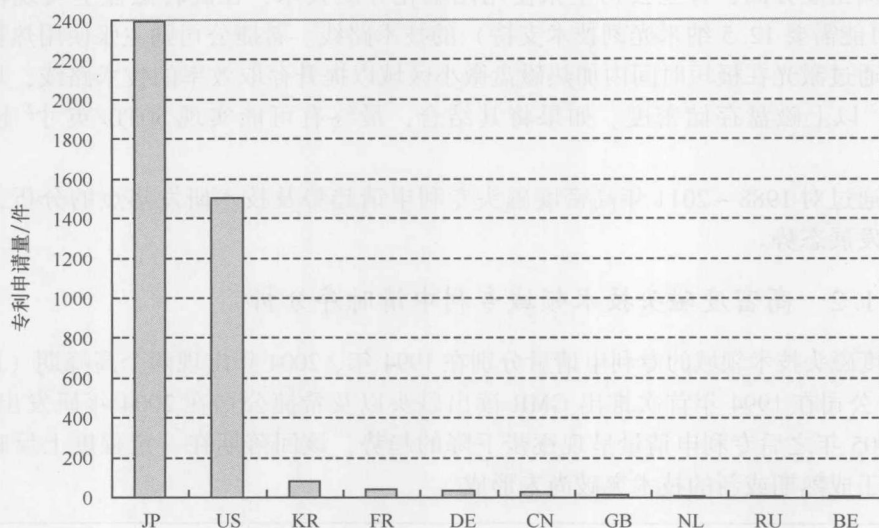


图 1-3 高密度磁头技术领域专利申请量排名前 10 位的国家

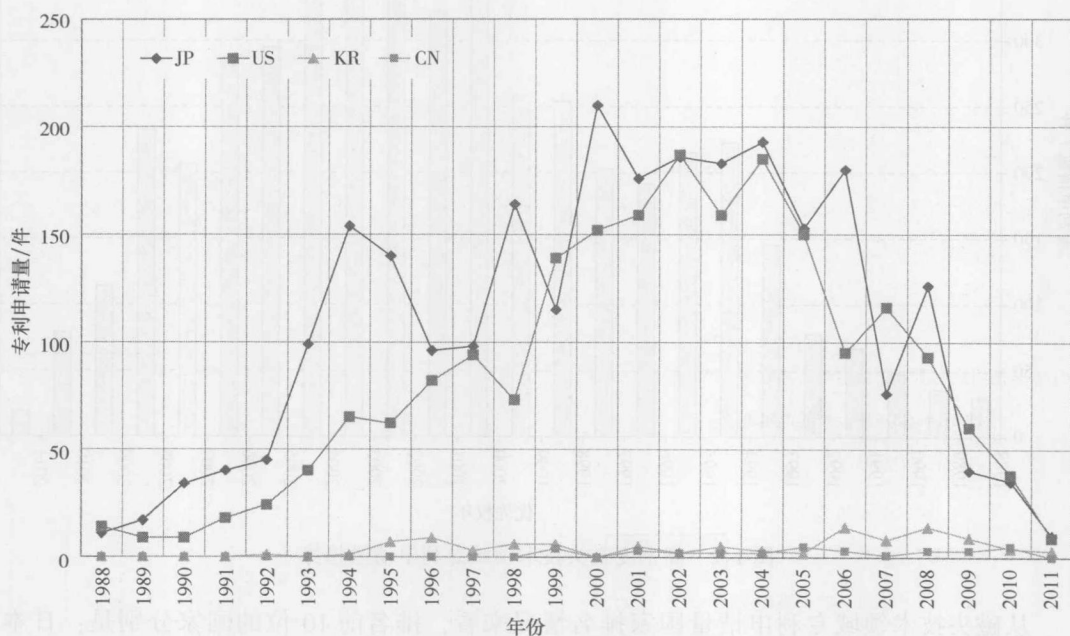


图 1-4 日本、美国、韩国和中国在高密度磁头领域专利申请量逐年分布

磁头技术领域的重要研发机构集中在 TDK 公司、日立环球存储技术公司（日立子公司）、IBM 公司、日立公司、索尼公司、东芝公司、富士通公司、希捷公司、Headway 公司（TDK 子公司）以及阿尔卑斯电气公司（图 1-5）。

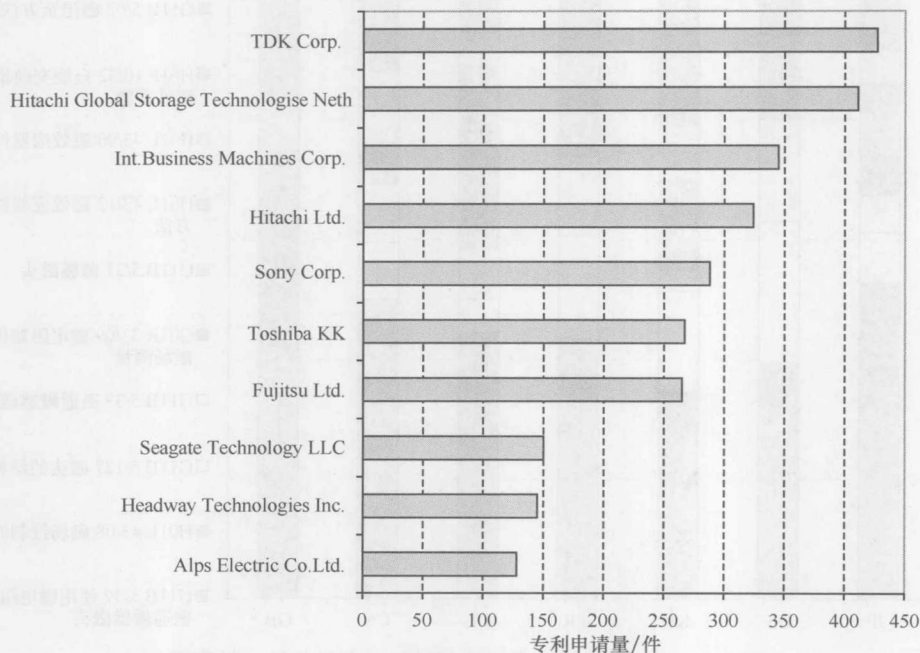


图 1-5 高密度磁头领域专利申请量排名前 10 位的研发机构

1.2.1.3 高密度磁头领域重点技术布局

国际专利分类 (IPC) 反映出专利技术所属技术领域。通过对高密度磁头专利申请的 IPC 统计分析技术研发重点领域。图 1-6 显示, 使用磁电阻装置的磁通敏感磁头 (IPC: G11B 5/39) 为重要研发技术领域。图 1-7 用于分析各主要国家在磁头领域的重点技术布

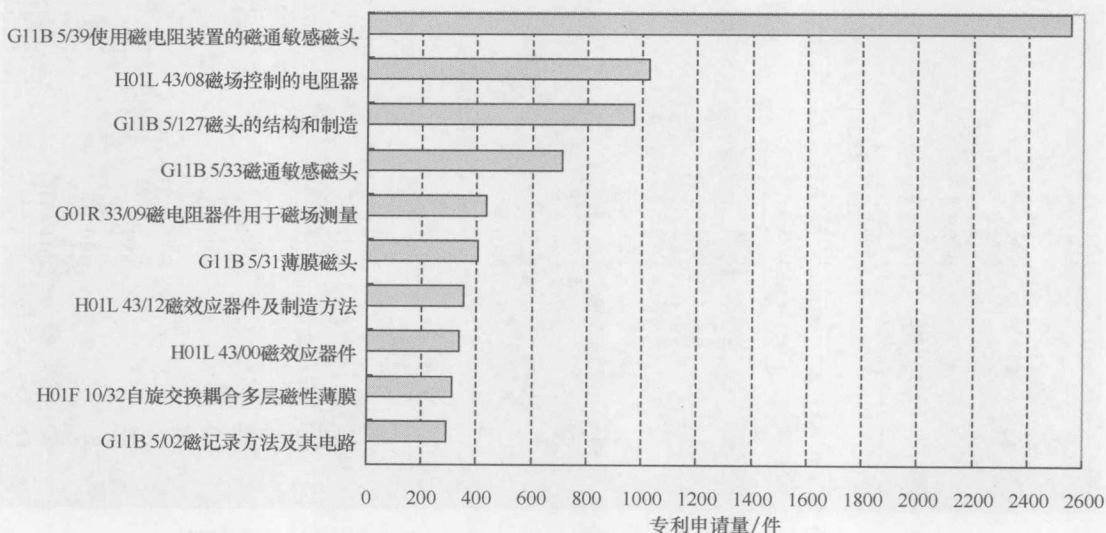


图 1-6 高密度磁头专利申请技术分类 (国际专利分类, 前 10 位 IPC 类)

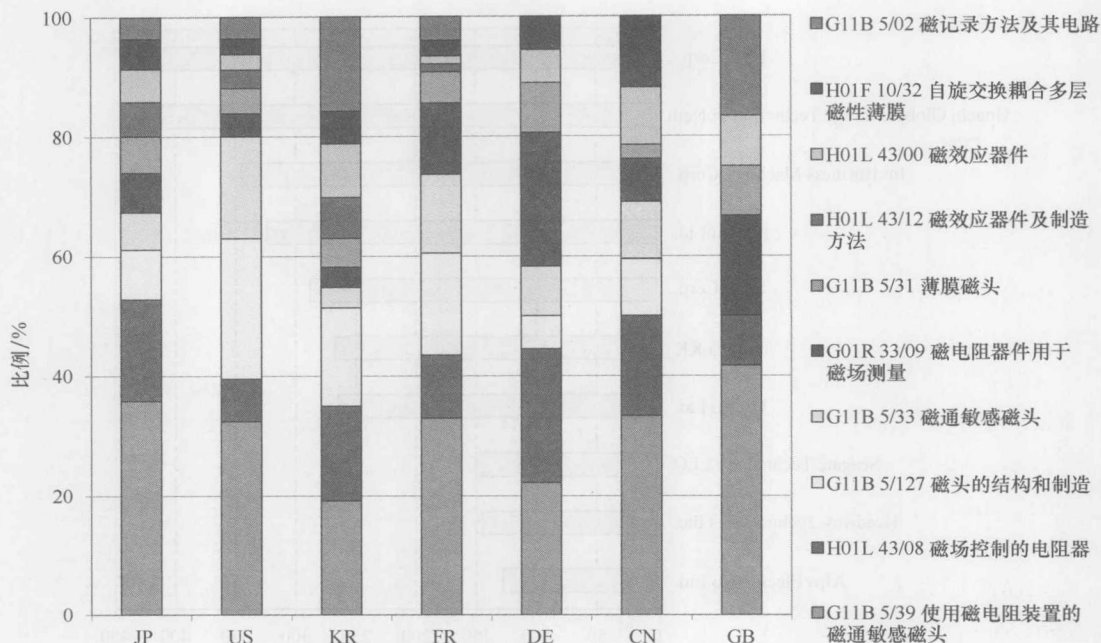


图 1-7 主要研发国家在磁头领域技术布局差异（见彩图）

局策略。在磁头的结构和制造（IPC：G11B 5/127）以及薄膜磁头（IPC：G11B 5/31）领域，美国的技术布局领先于日本，韩国和法国在磁头的结构和制造领域也处于优势地位，德国在磁电阻器件用于磁场测量（IPC：G01R 33/09）方面技术较强，中国在自旋交换耦合多层磁性薄膜（IPC：H01F 10/32）领域技术较强。

专利地图是反映技术研发布局的全景图。高密度磁头技术领域专利地图（图 1-8）显

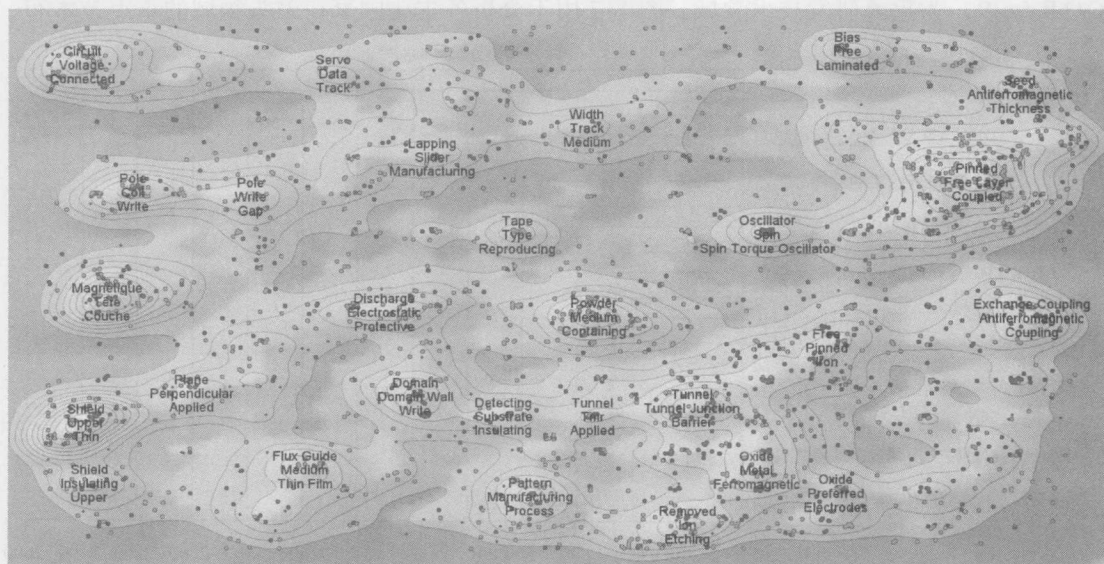


图 1-8 高密度磁头领域专利地图（1988 ~ 2011 年专利数据）（见彩图）

绿色点反映出 2000 ~ 2005 年出现的技术热点，红色点反映出 2006 ~ 2011 年出现的技术热点

示, 2006 年以来, 新的技术热点集中在: Spin Torque Oscillator、Domain Wall Write、Oxide Metal Ferromagnetism、Pattern Manufacturing Process、Plane Perpendicular Applied。

1.2.2 磁电阻随机存储器国际发展态势

1.2.2.1 磁电阻随机存储器发展概述

磁电阻随机存储器 (Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM) 从 20 世纪 90 年代开始研发, 1995 年 TMR 的发现使得 MRAM 具有了商业化前景。由于 MRAM 具有非挥发性、高速、高密度、低能耗、抗辐照等优势, 有望造就千亿美元的未来市场价值, 其应用前景非常广阔, 被认为将取代其他所有类型的存储器, 成为真正的通用存储器。

目前, MRAM 研发的两个方向: 一是提高传统的 TMR MRAM 性能, 如室温下高磁电阻比的 TMR 材料、自由层材料等; 二是发展具有新原理和新结构的 MRAM, 如 STT-MRAM、Toggle-mode Switching MRAM、电流驱动的 Nano-ring MRAM 等。

MRAM 作为重要的下一代存储器, 在未来半导体产业中具有持续增长的潜力。世界顶级半导体制造商在新兴技术领域的合作将极大地推动全球半导体产业的发展进程。对于新兴技术的研发投资, 采取联合研发合作方式可以最小化风险并加速 MRAM 器件的商业化进程。例如, 2011 年, 日本东芝公司 (Toshiba Corporation) 与掌握 MRAM 前沿技术且具备最佳制造技术以及成本竞争优势的韩国海力士半导体公司 (Hynix Semiconductor Inc.) 签署战略合作计划, 启动下一代新兴存储器件联合研发项目: 自旋转移力矩磁电阻随机存储器 (Spin-Transfer Torque Magnetoresistance Random Access Memory, STT-MRAM), 并将共同投资制造 STT-MRAM 产品, MRAM 将成为下一代技术平台, 实现磁电阻随机存储器器件、逻辑器件以及磁硬盘技术的集成。目前东芝公司与海力士半导体公司已扩大其专利交叉许可以及产品供应合同范围。同年, 韩国三星并购美国 MRAM 芯片厂商 Grandis, 增强在 MRAM 领域的核心竞争优势。2012 年 11 月, Everspin 推出首款商用 64MB STT-MRAM (表 1-2)。

表 1-2 MRAM 商业化进程

年份	重要推进
1989	IBM 在薄膜结构的巨磁电阻效应中取得技术突破
1994	Honeywell 公司研制出使用 GMR 薄膜技术的 MRAM, 未实现商业化
1995	Motorola 公司 (即之后的 Freescale 公司) 启动 MRAM 研发工作, 与 Digital 实验室合作研制出 256KB MRAM
2000	IBM 和 Infineon 公司建立联合 MRAM 开发计划 Spintec 实验室申请第一个 STT 专利
2004	Spintec 实验室首次研发热辅助转换 (Thermal Assisted Switching, TAS) MRAM
2005	Freescale 公司演示 MgO MRAM
2006	Freescale 公司推出全球第一款商业化 MRAM (4MB)