

基于专利分析的石墨烯技术创新态势研究^①郑佳^② 党蓓

(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

摘要 研究了新型二维纳米材料石墨烯的全球研究动态。将石墨烯技术研究按制备和应用两个角度定义了复合材料、传感器、锂离子电池、化学气相沉积制备等 12 个领域,通过对德温特专利数据库收录的 1967~2013 年石墨烯技术专利的分析,揭示了专利排名前十名国家(地区)在这些领域开展石墨烯技术创新的动态,以及石墨烯技术研究在各个领域中的发展趋势。研究表明:中、美、韩、日在石墨烯技术研究上表现比较强劲,美、韩的研发重点在大企业,而中国的研发重点在大学;中国的专利主要集中在国内,全球布局能力明显不如美韩;总体来看,整个产业链仍未形成,不具备实现大面积、高质量的工业化生产的成熟技术,石墨烯的可控制备、石墨烯的结构和性质调控以及石墨烯材料的应用等仍然是未来的研究热点。

关键词 专利,石墨烯,技术,全球,创新

0 引言

石墨烯是一种新型的二维纳米材料,是目前发现的唯一存在的二维自由态原子晶体。自 2004 年发现以来,石墨烯不仅受到了理论科学界的极大关注,而且也引起了应用科学界和产业界的高度重视,因为石墨烯具有特殊的纳米结构,有优异的物理化学性能,在电子学、光学、磁学、生物医学、催化、储能和传感器等诸多领域有巨大的应用潜能。世界各国纷纷将石墨烯研究及其应用技术研究作为长期科技战略的发展方向,以期在由石墨烯引发的新一轮产业革命中占据主动^[1-3]。相应地,石墨烯技术创新研究的发展趋势也受到了足够重视。发现与识别石墨烯技术研究前沿,掌握技术演变与发展趋势,对于相关科研政策的制定具有重要意义。

近年来,围绕石墨烯的专利申请在全球范围内呈高速增长态势,许多政府机构、咨询公司、科研院所从专利的角度对石墨烯技术发展态势进行了研

究^[4-8]。中科院宁波材料技术与工程研究所 2013 年发布了《石墨烯专利分析报告》,分析了全球石墨烯技术的整体专利态势与技术布局,并在整体态势分析的基础上,采用人工精读的方式开展了重点专利的遴选以及技术追踪与演化分析^[9]。英国政府知识产权办公室于 2013 年发布了《全球石墨烯专利分析报告》,从技术主题、时间线、相对专业化指数等角度对各国的石墨烯技术研发实力作了对比分析^[10]。Gridlogics Technologies 公司从专利布局、技术合作以及关键技术等多个角度对石墨烯技术重点研发机构作了深入揭示^[11]。沙建超等对中国知识产权局和美国专利商标局公布的石墨烯相关发明专利进行了深度标引,对比分析了中国和美国石墨烯相关技术的研发热点及发展趋势^[12]。从以上的研究可以看出,国内外学者将专利文献数据作为分析石墨烯技术发展态势的重要信息源,采用的专利分析方法也是多种多样。考虑到石墨烯这种具有特殊结构的二维纳米材料在众多领域具有广泛的应用前

① 国家社会科学基金(13CGL007)和北京市科委软科学研究(Z131108001613088)资助项目。

② 女,1982年生,博士,副研究员;研究方向:新材料产业研究;联系人,E-mail:zhengj@istic.ac.cn
(收稿日期:2015-03-18)

景,本文将从制备和应用两个角度进行研究,重点关注了复合材料、传感器、锂离子电池、化学气相沉积等 12 个领域,分析了一些国家和地区在石墨烯方面的技术布局以及石墨烯技术在不同分支领域的全球发展趋势。

1 数据来源与分析方法

1.1 专利数据

本文以 Derwent Innovation Index(DII)数据库为数据来源,以 TS = “graphen *” 为检索式,检索并下载了 1967 ~ 2013 年全球范围内申请的石墨烯技术专利,共计 3094 件。对 DII 数据库检索结果的标题、摘要、申请人、申请日、分类号等必要字段进行下载保存以及加工整理。然后利用 Thomson Data Analyzer 分析软件对其进行数据清洗、挖掘和可视化分析。数据下载日期是 2013 年 6 月 14 日。由于专利申请到专利公开一般有 18 个月的滞后期,因此 2012 年的数据仅供参考。

1.2 技术分类

2012 年 10 月,诺贝尔奖得主康斯坦丁·诺沃肖罗夫与其他科学家曾在《自然》杂志上发表题为《石墨烯路线图》的文章,为大众展示了石墨烯在柔性电子(包括触摸屏、电子纸、可折叠有机二极管发光器件等)、光子器件、复合材料、能量存储、传感、生物医学等领域美好的应用前景^[13]。本文在上述研究的基础上,将石墨烯技术按制备和应用角度划

分为复合材料、燃料电池、导电薄膜、探测器和传感器、晶体管、锂离子电池、生物医药、超级电容器、化学气相沉积制备、印刷电子、溶剂剥离制备和外延生长制备等 12 个分支领域进行深入研究。由于一件专利可同时归属为不同的领域,因此 12 个领域的专利数量加和会超过检索到的专利总量。

2 结果与讨论

2.1 全球专利申请量与研发活跃度

全球最早的石墨烯技术专利出现在 1999 年,如图 1 所示。石墨烯技术的专利申请量在 1999 年至 2006 年增长比较缓慢,从 2007 年开始,专利申请量出现快速增长态势,并于 2011 年达到顶峰。这主要是因为 2004 年英国科学家在实验室制备得到石墨烯之后,各国掀起了石墨烯研发的热潮,专利作为研发的重要产出,随即表现出大幅增长态势。2012 年专利数量急剧下降,是由于专利从申请、公开到录入数据库一般需要十几个月的时间,数据不全导致数量下降。图 2 显示的是全球石墨烯研发的技术生命周期图。分析可知,石墨烯的研发在 1999 年至 2006 年活跃度较低,从 2007 年开始,石墨烯的研发活跃度显著提高,专利权人数量和专利数量大幅增加。2007 年到 2011 年石墨烯处于快速发展阶段。技术生命周期图上的拐点出现在 2012 年,主要是因为专利制度导致的信息延迟,并不意味着石墨烯进入衰退时期。

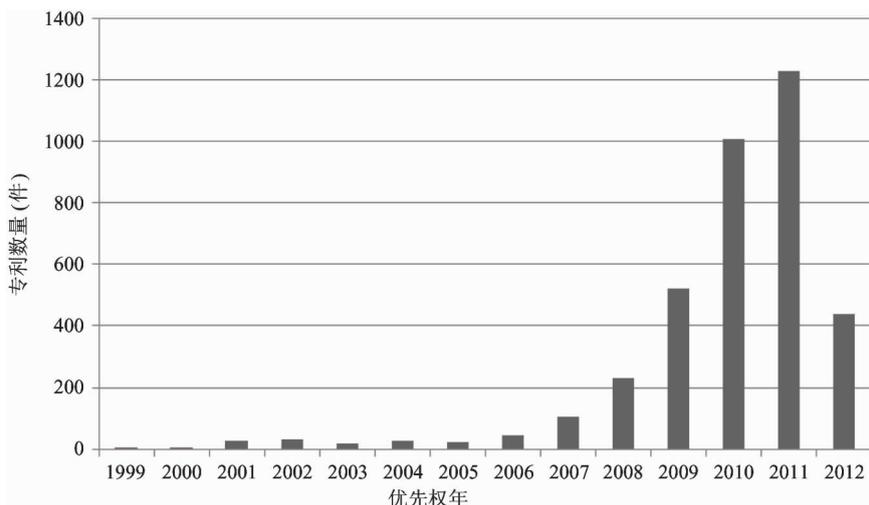


图 1 全球专利申请逐年分布情况

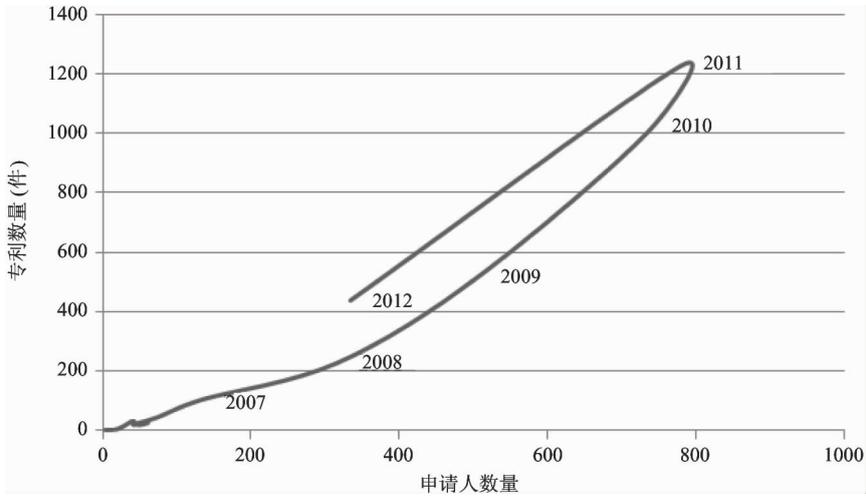


图2 研发活跃度分析

2.2 专利申请量和受理量的国家(地区)分布

石墨烯技术领域的专利申请遍及42个国家/地区,图3和图4分别给出了专利申请量排名前十的国家/地区的专利申请数量和专利受理量排名前十的国家/地区的专利受理数量。国家/地区的申请量可以反映不同国家/地区在石墨烯技术领域的研发活跃程度,受理量可以反映石墨烯技术专利申请人重点关注的市场分布情况,有利于了解石墨烯技术的国际竞争现状。如图4所示,中国是受理量最多的国家,并且远远超过其他国家,主要是两方面原因,第一,中国市场庞大,潜力巨大,各国都采取专利战略优先占领市场,第二是由于中国在石墨烯领域投入比较大,研发热情较高,因此专利产出成果丰

硕。排在二、三、四的分别是美国、韩国和日本,这三个国家的市场也比较受关注。如图3所示,申请量最多的国家是中国,其申请量基本是排在第二位的美国的两倍之多,可见中国对石墨烯技术研发的投入之多,重视程度之高。美国和韩国的申请量依靠企业巨头(譬如IBM和三星等),在强大的经济实力和合理的科技政策之下,专利数量也遥遥领先于其他国家。中、美、日、韩四个国家占了总申请量的85%,说明了少数几个国家掌握着石墨烯领域中的大量关键技术。值得注意的是,英国作为石墨烯的发明地,专利申请量却不多,甚至两位石墨烯之父都没有为石墨烯的发明申请专利。

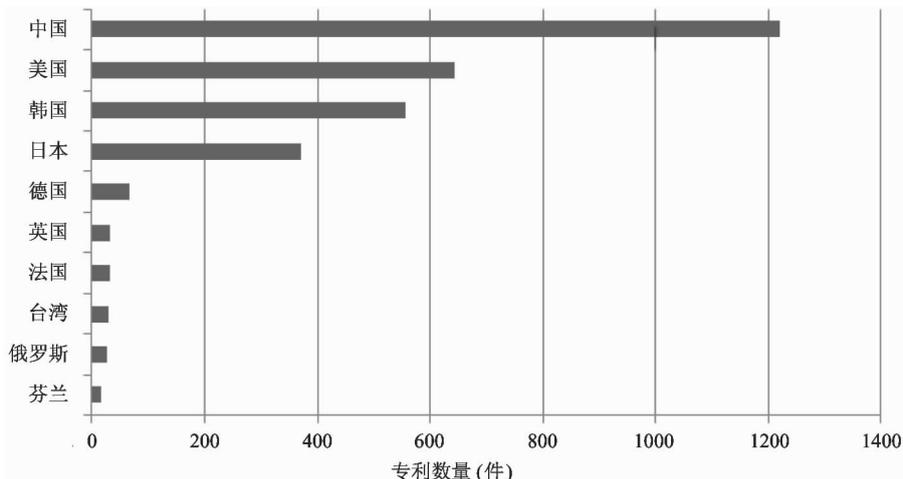


图3 专利申请量排名前十的国家/地区的专利申请量分布

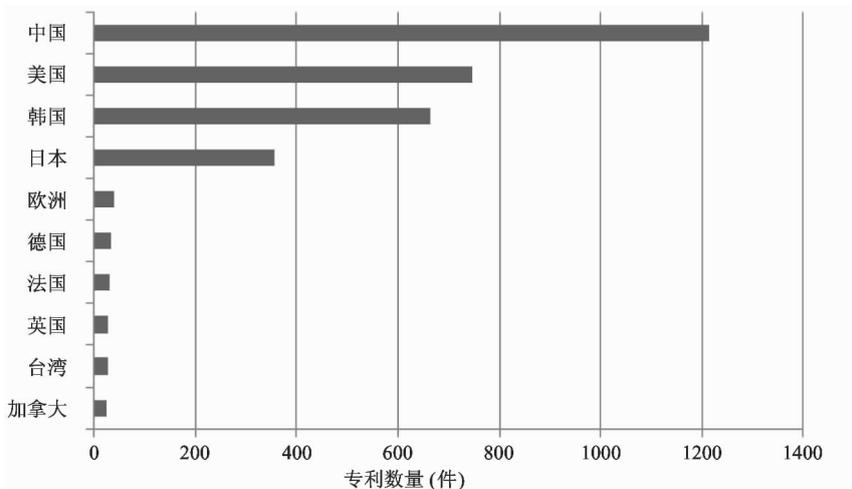


图 4 专利受理量排名前十的国家/地区的专利受理量分布

2.3 技术分布与发展趋势

由各国/地区在主要分支领域的专利申请情况可知(图 5),中国在石墨烯技术的大部分分支领域都表现出很强的优势。在复合材料、燃料电池、导电薄膜、锂离子电池、超级电容器等技术分支中,中国的专利申请量均居首位。以碳化硅为原料的外延生长法制备技术,只有四个国家有专利申请,中国专利数量最多。美国在探测器和传感器、晶体管和印刷电子技术方面,以较小的优势超过中国,总量位居第一。韩国在复合材料、导电薄膜、晶体管、探测器和

传感器领域表现不俗。日本较为擅长的技术分支主要有燃料电池、复合材料、导电薄膜等。如图 6 所示,复合材料技术专利是石墨烯技术分支中最早出现的专利,且专利数量逐年增加。到目前为止,复合材料也是专利数量最多的技术分支。随后几年陆续出现了燃料电池、导电薄膜、锂离子电池和印刷电子等技术分支的相关专利,近年来出现的较新的技术分支主要涉及超级电容器和石墨烯的多种制备方法。可见,在石墨烯的性质与应用研究之后,如何实现石墨烯的规模制备成为新的研究热点。

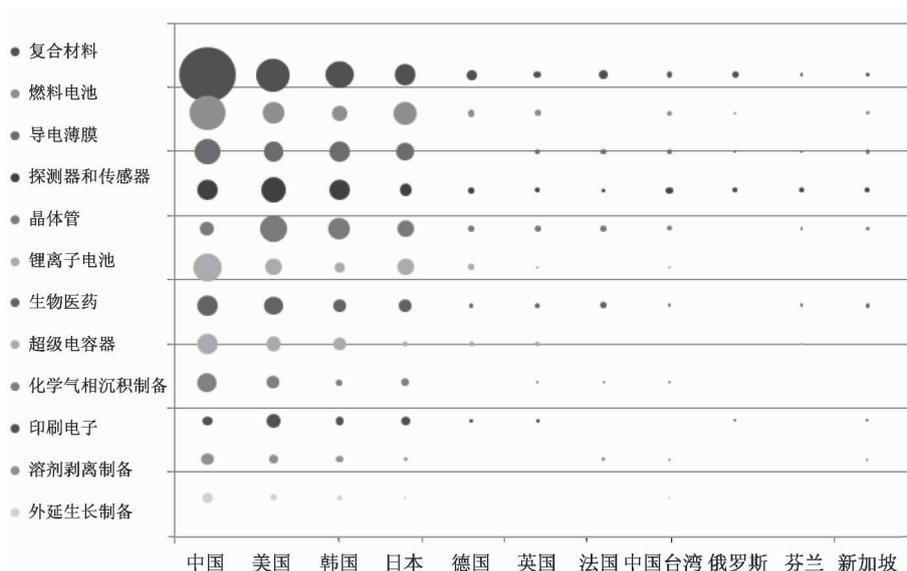


图 5 各国/地区技术布局分析

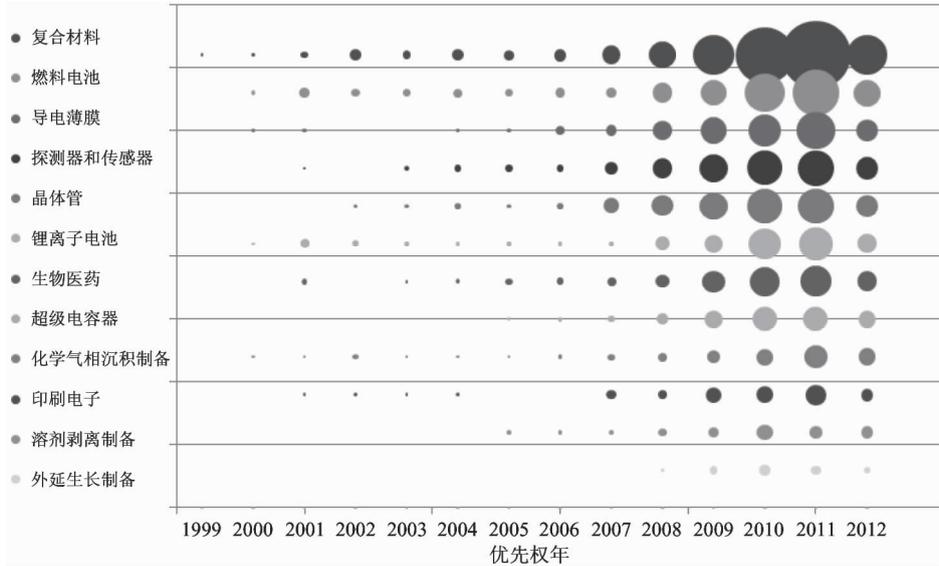


图 6 各技术分支专利申请量逐年分布

2.4 企业科研院所竞争力分析

由上文可知,石墨烯技术研发与应用前景十分广泛。因此,为了对企业和科研院所的竞争力进行深入分析,本文也将从复合材料、燃料电池、导电薄膜、探测器和传感器、晶体管、锂离子电池、生物医药和制备等多个分支领域展开,以期尽可能真实揭示石墨烯技术领域创新资源的分布情况。

如表 1 所示,目前石墨烯复合材料相关专利的

主要专利权人均来自中国的企业或大学,优先权年均从 2009 年或 2010 年开始。专利数量最多的是浙江大学,拥有 35 项专利。清华和鸿海集团有非常密切的合作关系,由发明人栏可知,二者的合作主要基于清华大学范守善院士与鸿海集团的合作团队。浙江大学和海洋王照明科技股份有限公司,在研发上均保持了高度的独立性,没有与其他机构合作的专利。值得注意的是除鸿海集团之外,其他专利权

表 1 复合材料技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区					
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区	
浙江大学	35	2010 ~ 2012	CHEN W MA L CHANG K						35	
清华大学	24	2009 ~ 2012	JIANG K FAN S LIN X XIAO L	HON HAI PRECISION IND CO LTD(15)					24	
海洋王照明 科技股份 有限公司 照明科技 有限公司	22	2010 ~ 2011	WANG Y ZHOU M PAN J						22	
上海交通 大学	22	2010 ~ 2012	GUO S ZHANG D	SHANGHAI AIRCRAFT MFG CO LTD(1)					22	
鸿海集团	20	2009 ~ 2011	JIANG K FAN S	UNIV QINGHUA(15)					15	5

人都只在中国申请了专利,而没有在其他国家和地区进行专利布局。燃料电池的主要专利权人是浙江大学和海洋王照明科技股份有限公司,如表 2 所示。二者均有 23 件专利,没有合作专利,并且都只在中国进行了专利申请。导电薄膜的主要专利权人包括韩国三星集团、韩国成均馆大学和电子科技大学,如

表 3 所示。其中,三星集团和成均馆大学合作密切,二者除了在韩国申请专利以外,还在美国进行了专利布局。电子科技大学拥有 13 项专利申请,时间跨度仅为三年,没有与其他大学或公司进行合作,并且只在中国进行了专利申请。

表 2 燃料电池技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
浙江大学	23	2009 ~ 2012	CHEN W MA L CHANG K						23
海洋王照明 科技股份 有限公司 照明科技 有限公司	23	2010 ~ 2011	WANG Y ZHOU M						23

表 3 导电薄膜技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
三星	22	2007 ~ 2011	CHOI J YOON S	UNIV SUNGKYUNKWAN FOUND CORP COLLABORATI(7)		2			21
成均馆大学	15	2007 ~ 2011	HONG B H AHN J H	SAMSUNG CO LTD(7)		1			14
电子科技 大学	13	2010 ~ 2012	YU J JIANG Y						13

虽然美国在探测器和传感器领域的专利数量最多,但韩国三星集团和成均馆大学却是这一领域最突出的专利权人,如表 4 所示。三星集团和成均馆大学有较多的合作,并且在韩国和美国都进行了专利布局。表 5 显示出晶体管技术领域表现突出的专利权人分别是韩国三星集团和美国 IBM 公司,二者都从 2007 年开始申请专利。三星集团不仅与成均馆大学在传感器领域合作较为密切,同时也与韩国的其他研究机构和大学进行合作,并在韩国和美国都进行了专利布局。美国 IBM 公司在这一领域的研发中保持了高度的独立性,没有合作专利,且所有的专利都只在美国进行了专利申请。在锂离子电池

技术领域中,如表 6 所示,表现最突出的专利权人是来自中国的海洋王照明科技股份有限公司。该公司从 2011 年进入锂离子电池技术领域,共有 15 项专利产出,没有合作专利,仅在中国进行了专利申请。如表 7 所示,在生物医药应用领域,表现为突出的专利权人是美国的 Vorbeck 公司和韩国的成均馆大学,分别有 7 项和 5 项专利产出。Vorbeck 于 2008 年进入这一领域,与科赛全球公司合作在韩国和美国同时申请专利。成均馆大学 2009 年进入这一领域,与三星集团合作,在美国和韩国进行了专利布局。如表 8 所示,石墨烯制备领域中较为突出的专利权人为西安电子科技大学和电子科技大学。西安

电子科技大学和电子科技大学都进行了独立的研发，分别从2009年和2010年开始有专利申请记录，所有的专利都仅在中国申请，没有进行全球化的布局。

表4 探测器和传感器技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
三星	21	2007~2011	CHOI J Y SHIN H	UNIV SUNGKYUNKWAN FOUND CORP COLLABORATI(7)	1			21	
成均馆大学	20	2009~2011	HONG B H AHN J	SAMSUNG CO LTD(7)	1			19	

表5 晶体管技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
三星	42	2007~2012	CHUNG H J CHOI J	UNIV SUNGKYUNKWAN FOUND CORP COLLABORATION(9) KOREA ADV INST SCI&TECHNOLOGY(1) TOKYO ELECTRON LTD (1)UNIV LELAND STANFORD JUNIOR(1)	3			40	
IBM	29	2007~2012	LIN Y AVOURIS P FARMER D B LIN Q		29				

表6 锂离子电池技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
海洋王照明 科技股份 有限公司	15	2010~2011	WANG Y ZHOU M					15	

表7 生物医药应用主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
Vorbeck	7	2008~2012	SCHEFFER D LETTOW J S REDMOND K	KORDSA GLOBAL ENDUSTRIYEL IPLIK VE KORD(2)	7			1	
成均馆大学	5	2009~2011	HONG B H CHOI J KIM H K	SAMSUNG CO LTD(1)	1			4	

表8 制备技术主要专利权人

专利权人	专利申请量	申请活动年份	主要发明人	合作权人(申请量)	专利家族所含国家/地区				
					日本	美国	中国	韩国	台湾地区
西安电子科技大学	8	2009~2012	ZHANG Y GUO H LEI T						8
电子科技大学	7	2010~2012	JIANG Y YU J LI L						7

3 结论

2010年10月,英国曼彻斯特大学的两位科学家安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖罗夫因在“石墨烯方面的开创性实验”获得了当年的诺贝尔物理学奖,由此在全球引爆了研究世界上最薄、最坚硬的“神奇”材料——石墨烯的热潮。2006~2011年,美国国家自然科学基金会(NSF)关于石墨烯的资助项目有近200项。2013年,石墨烯入选欧盟的首个10年投入10亿欧元的“未来和新兴技术旗舰项目”。在中国,石墨烯也被写进了工业和信息化部2012年发布的《新材料产业“十二五”发展规划》。此外,国家科技重大专项、国家973计划、国家自然科学基金委围绕“石墨烯宏量可控制备”、“石墨烯基电路制造设备、工艺和材料创新”等方向部署了一批重大项目。从专利情况来看,从1999年至2013年,共有42个国家和地区申请了3094关于石墨烯的专利。其中80%的专利集中在获得诺贝尔奖的2010年及以后年份,并且从2010年开始呈现明显的上升趋势,中、美、韩、日是在石墨烯领域中表现比较强劲的国家,中国的专利大都是从2010年开始申请,而美日韩则相对较早,均在2000年左右开始有申请记录,研发过程保持着较高的连贯性。值得一提的是,美国和韩国在石墨烯领域的研发巨头分别是IBM和三星集团,都是企业。而中国专利排名靠前的均是大学,如浙江大学、清华大学和上海交通大学。与美韩相比,中国在石墨烯领域的专利仍主要集中在中国国内,全球布局能力明显不如美韩。当前石墨烯的研究热点集中在复合材料、晶体管、燃料电池、

导电薄膜、制备等方面。总体来看,各国还处于一个专利布局期,整个产业链也还没有形成。制备石墨烯的工艺技术还不够成熟,仍然无法实现大面积、高质量的工业化生产。因此,关于石墨烯的可控制备,石墨烯的结构和性质调控以及石墨烯材料的应用等仍然是未来的研究热点。

参考文献

- [1] 郑佳. 石墨烯-新世纪材料宠儿. 人民日报,2013-6-24(23)
- [2] 郑佳. 基础研究与商业应用并行推进. 人民日报,2013-6-24(23)
- [3] 郑佳. 世界各国积极布局石墨烯产业. 新材料产业,2013,(9):19-23
- [4] 李明珍. 石墨烯领域发展态势及对策建议. 科技与经济,2014,27(1):101-105
- [5] 马廷灿,万勇,冯瑞华. 石墨烯专利技术国际研发态势分析. 科学观察,2012,7(3):25-36
- [6] 王国华,周旭峰,刘兆平. 石墨烯技术专利分析. 新材料产业,2013,(11):37-45
- [7] 吴菲菲,李倩,黄鲁成. 基于应用领域视角的技术发展态势分析内容和方法——以石墨烯传感器技术为例. 技术经济,2014,33(6):48-53,66
- [8] 沙建超,罗勇,赵蕴华等. 石墨烯透明导电薄膜技术的专利分析. 化工新型材料,2014,(9):16-18,41
- [9] 王国华,周旭峰,刘兆平. 石墨烯技术专利分析报告. 宁波:中国科学院宁波材料技术与工程研究所,2013
- [10] Graphene-The worldwide patent landscape in 2013. Newport:The Intellectual Property Office of UK government,2013
- [11] Technology Insight Report-Graphene. Pune: Gridlogics Technologies Pvt. Ltd,2011

[12] 沙建超,赵蕴华,罗勇. 基于专利的中美石墨烯技术创新比较研究. 全球科技经济瞭望,2014,29(1):35-55

[13] Novoselov K Sk, Fal'ko V I, Colombo L et al. A roadmap for graphene. *Nature*,2012,490:192-200

Trend study of graphene technology's development based on patent analysis

Zheng Jia, Dang Bei

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract

The developments of worldwide studies of graphene, a new type of two dimensional nano material, was investigated. According to application and preparation, the graphene research was divided into 12 fields of composite material, sensor, lithium ion battery, chemical vapor deposition based preparation, etc., and based on the analysis of the graphene patents (1967 ~ 2013) collected by the Derwent Innovation Index database, the developments of innovative graphene research of ten countries/regions owning more graphene patents in the 12 fields, as well as the graphene R&D trends in each field, were distinctly revealed. The study indicates that China, America, and South Korea and Japan are forcefull in graphene development, and America and south Korea mainly rely on huge enterprises, while China mainly relies on major universities; China's patents are mostly internal, with a weak globle distribution compared with America and South Korea; in general, now the technology for large scale, high standard preparation of graphene is not formed, and graphene's controlled preparation, regulation and control of graphene's structure and characters, as well as graphene's application, are still the major directions for future research.

Key words: patent, graphene, technology, global, innovation