

石墨烯领域发展态势及对策建议

李明珍

(1 南京大学信息管理学院, 南京 210093; 2 浙江省科技信息研究院, 杭州 310006)

【摘要】石墨烯是目前材料科学、物理、化学等领域最热门的研究主题之一。由于集优异的电学、力学、光学、化学等特性于一身, 在半导体、动力电池、新一代显示器等领域具有巨大的应用潜力。借助文献和专利分析等手段, 对国际石墨烯研发态势和进展进行了分析, 提出了浙江省石墨烯领域发展的对策和建议。

【关键词】石墨烯; 发展态势; 浙江; 对策建议

1 关于石墨烯

石墨烯 (graphene) 是一种由碳原子紧密堆积构成的二维晶体, 是包括富勒烯、碳纳米管、石墨在内的碳的同素异形体的基本组成单元, 即石墨的单层薄片。有关石墨烯的理论研究已有较长时间, 它一直被认为是假设性结构, 无法单独稳定存在。2004 年, 英国物理学家安德烈·海姆等人成功在实验室中用胶带剥离出了单层石墨——石墨烯, 引起世人高度关注, 并因此而荣获 2010 年诺贝尔物理学奖。由于拥有完美的对称正六边形结构, 非常稳定, 石墨烯几乎集合了世界上众多材料的最优质品质。例如, 超薄超轻, 几克石墨烯就能覆盖整个足球场, 一平方米的石墨烯重量不到 1 毫克。超高强度, 是迄今为止自然界中最强的二维材料, 强度通常为普通钢材料的数十倍。超强导电性, 石墨烯中传导电子是无质量的狄拉克费米子, 速率达到光速的 $1/300$, 是已知电阻率最小的材料。优异的室温导热和透光性, 其导热性能优于碳纳米管和金刚石, 且几乎完全透明, 单层透光率达到 97. 7% , 等等。

也因为上述特性, 石墨烯在未来市场应用方面前景巨大: 可作为电极材料助剂, 解决传统铅酸电池大电流充放电、寿命短等问题, 将电池使用周期拉长近一半, 同时能解决传统锂电池充电速度慢、超级电容器蓄电能力差的问题, 广泛应用于电动汽车、便携式电子设备的新能源电池领域; 可替代硅制造超微型晶体管, 将芯片速度提高到 THz 级别^①, 使超级计算机成为可能; 能替代 ITO 透明导电薄膜作为透明电极, 应用于触摸屏、柔性显示、太阳能电池等电子工业领域。此外, 还可应用于航天军工中超轻防弹衣、轻型飞机材料及海水淡化等领域。有专家预测, 石墨烯的出现, 极有可能掀起一场席卷全球的颠覆性产业技术革命, 从而改变世界能源、电子等诸多产业格局, 一旦量产, 必将成为下一个万亿级的产业。

2 国内外石墨烯研发态势与进展

2. 1 国际石墨烯领域研发态势分析

为进一步了解全球石墨烯领域研发态势, 笔者对 Web of Science 和 DII 数据库中截至 2012 年底的国际论文和专利进行

基金项目:浙江省省属科研院所专项计划项目——“浙江省高新园区转型升级研究”(项目编号: 2013F20013; 项目负责人: 李明珍) 成果之一。

作者简介:李明珍, 南京大学信息管理学院博士研究生, 浙江省科技信息研究院助理研究员, 研究领域: 科技政策与产业科技发展研究。

检索和分析，发现国际石墨烯研发呈现出如下态势。

2. 1. 1 起步于上世纪末，但近几年内研究呈爆发性增长

从图 1 和图 2 可以看出，石墨烯论文研究与技术研发时间轨迹基本一致，都起源于上世纪 90 年代初，但之后 10 余年发展一直较为缓慢，到 2007 年后才步入快速增长期，论文和专利申请数急剧增长，每年增幅均超过 70%，特别是 2009 年，国际论文增幅更是达 1 003%，2009—2012 年 3 年的国际专利申请量增幅均在 100%以上。2012 年，石墨烯领域当年国际论文发表量达 8 820 篇，累计达到 21 641 篇，当年国际专利申请数达 2 001 件，累计达到 4 109 件。这些均表明，国际石墨烯理论和技术研发已进入快速发展轨道。

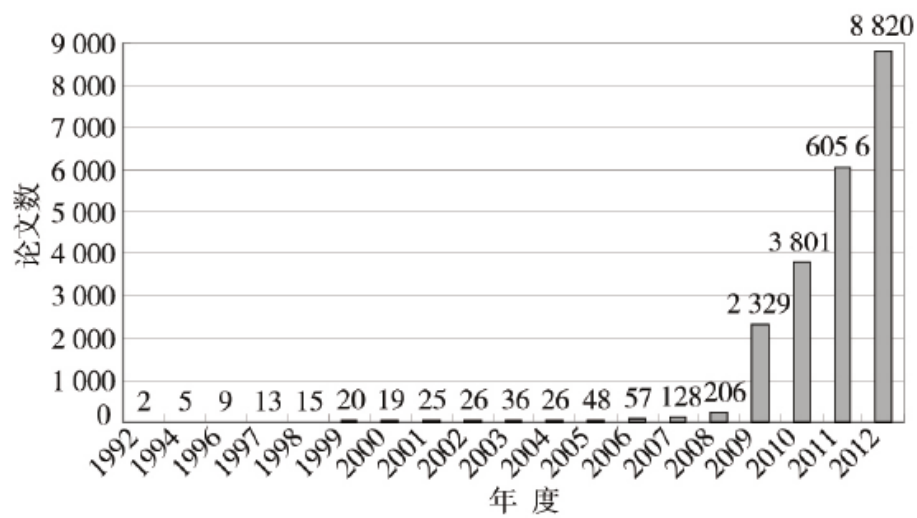


图 1 石墨烯领域国际论文发表情况

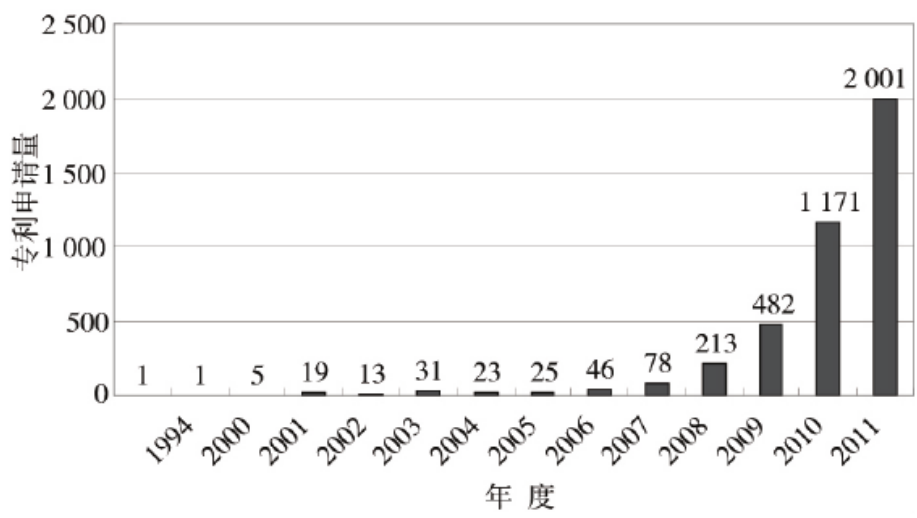


图 2 石墨烯领域国际专利申请情况

2. 1. 2 我国在石墨烯领域具备较强竞争优势，涌现出中科院等一批优势研究机构

从国际石墨烯领域论文和专利地域分布来看，中、美、日、韩是石墨烯研究的重点国家。截至 2012 年底，我国石墨烯领域共发表国际论文 6 308 篇，申请专利 1 471 件，明显高于排在第二位美国的 5 709 篇和 1 130 件。但从质量而言，我国论文被引情况略低于美国，被引频次总计为 90 403 次，均篇被引频次仅 14. 33，H 指数^②为 115；而美国论文被引频次总计达 132 991 次，均篇被引频次则为 23. 29，H 指数达到 150。但我国指标仍明显高于日本（19 852，12. 02，55）和韩国（24 457，15. 4，64）。见图 3 和图 4。

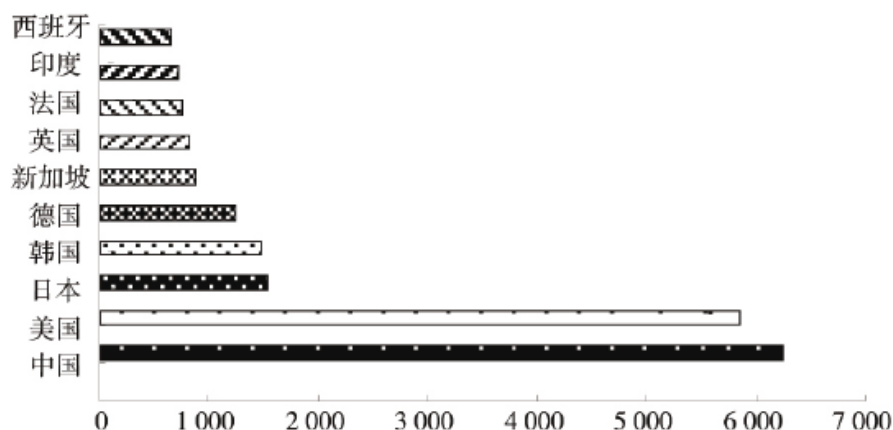


图 3 石墨烯领域国际论文发表数量 top10 的国家

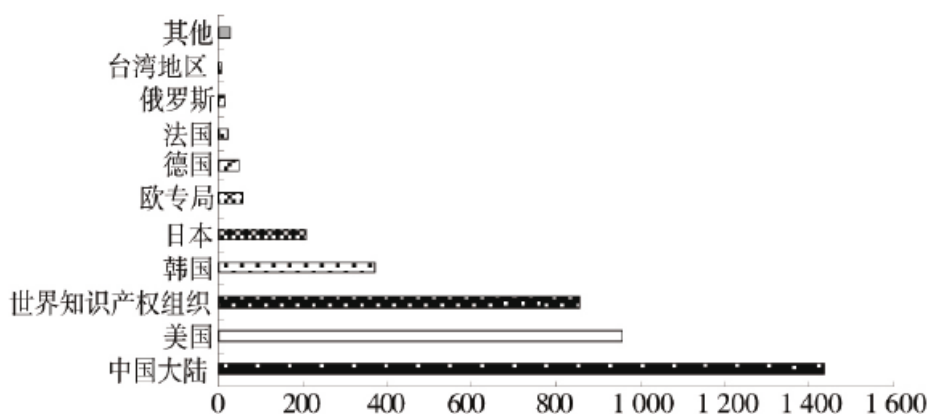


图 4 石墨烯领域专利受理量 top10 的国家/地区

从发展过程看，美国在石墨烯领域起步较早，从 90 年代就开始了相关研究，我国则直到 2007 年左右相关研究才开始起步，但随后几年研究呈爆炸式增长，到 2011 年，我国石墨烯领域研究成果数量已迅速赶超美国。见图 5 和图 6。

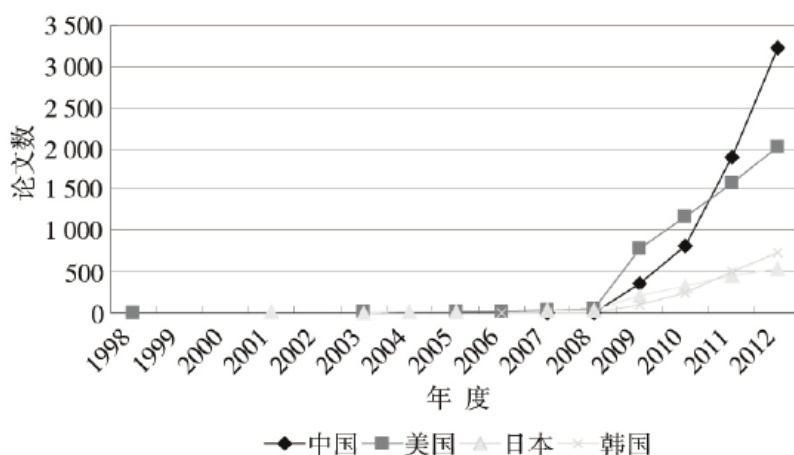


图5 石墨烯领域主要国家论文年度增长情况

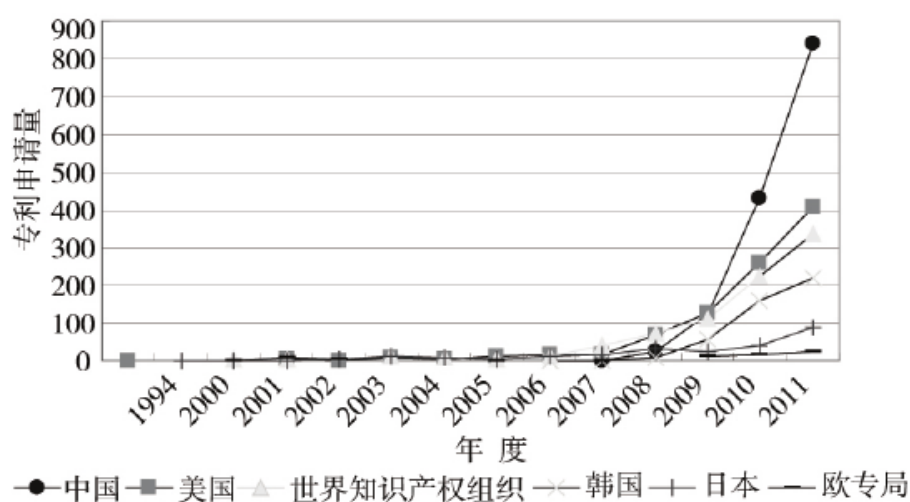


图6 石墨烯领域主要国家专利年度增长情况

从论文来源机构来看，top10 中，有 4 家来自中国，其中中科院以 1 335 篇的绝对优势位列榜首；3 家来自美国；2 家来自新加坡；1 家来自俄罗斯。从专利权人分布来看，top10 中，有 3 家来自韩国，既有企业，也有高校；4 家来自中国，均为高校、科研院所；3 家来自美国，均为企业及相关人员。其中，中科院和浙江大学分别以 144 件和 68 件的数量位居专利申请人第二和第六位。这充分说明，我国及浙江在石墨烯应用技术研究方面，也具备较强的竞争力。见图 7 和图 8。

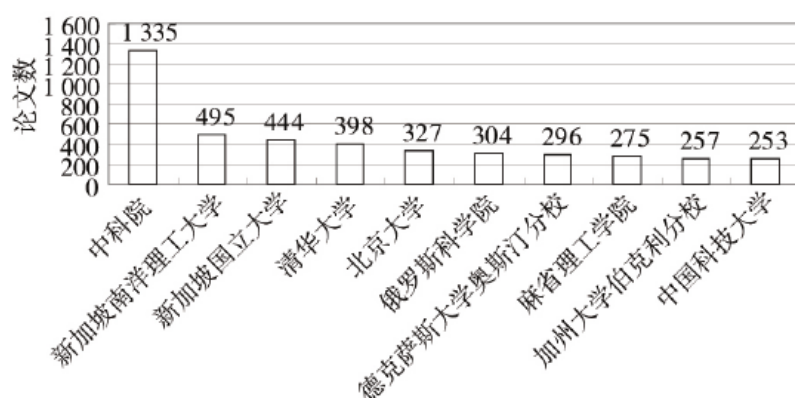


图7 石墨烯领域国际论文发表 top10 机构

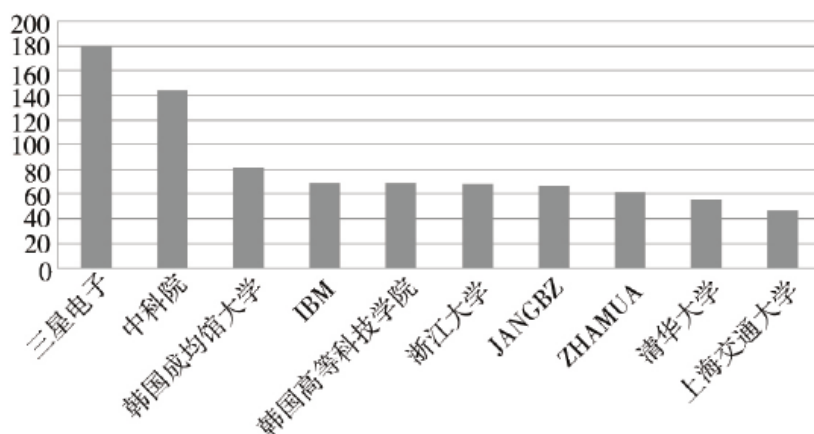


图8 石墨烯领域 top10 专利申请人

2. 1. 3 石墨烯技术领域主要集中在材料制备及其在半导体器件和电池电极中的应用，新的研究热点也在不断涌现

图9列出了石墨烯领域专利超300件的领域，及专利总数超100件的主要国家（中、美、韩、日，基于优先权国）技术布局（基于IPC分类号），可以看出，全球石墨烯技术专利主要集中在碳及其化合物（C01B）、半导体器件（H01L）、纳米结构应用（B82Y）、电池组（H01M）、介电材料及性能（H01B）、表面涂层（B32B）、无机物复合材料（C08K）、制备方法或装置（B01J）、超微结构制造或处理（B82B）以及高分子复合材料（C08L）等领域，主要侧重石墨烯材料制备及其在半导体器件和电池电极中的应用。其中，中、美、韩、日4个最重要国家的技术布局如下。

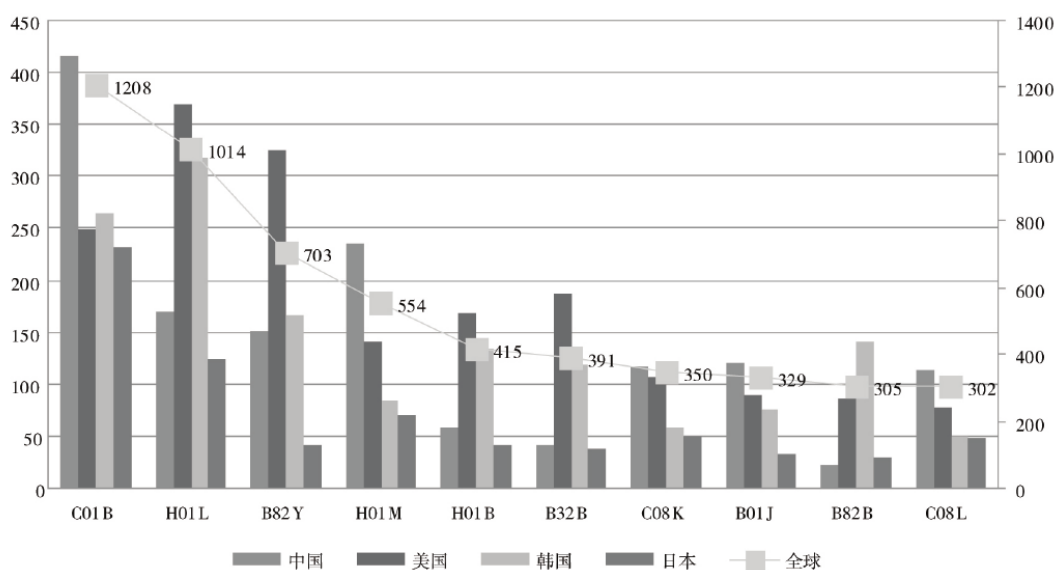


图9 石墨烯主要专利技术领域及国别/地区布局

① 中国主要集中在碳及其化合物（C01B）、电池组（H01M）、半导体器件（H01L）、石墨烯制备方法或装置（B01J）、无机物复合材料（C08K）和高分子复合材料（C08L）领域，即主要是石墨烯材料制备及其在电池电极中的应用。其中，在石墨烯材料、电池应用和制备工艺等方面优势明显。

② 美国主要集中在半导体器件（H01L）、纳米应用（B82Y）、碳及其化合物（C01B）和导电、表面涂层（B32B）和介电材料及性能（H01B）领域，特别在纳米技术、半导体器件和表面涂层领域优势明显。

③ 韩国主要集中在半导体器件（H01L）、碳及其化合物（C01B）、纳米应用（B82Y）、介电材料及性能（H01B）领域，尤其是半导体器件和绝缘或介电材料领域专利数量仅次于美国。

④ 日本主要集中在碳及其化合物（C01B）和半导体器件（H01L）领域，在石墨烯制备方法或装置领域，专利相对较少。

从技术演进看，碳及其化合物（C01B）、半导体器件（H01L）、电池组（H01M）、介电材料及性能（H01B）以及表面涂层（B32B）等领域为持续研发领域，研发起步早，专利数量多；而纳米技术（B82Y）及催化或测试材料（G01N）虽是近几年才出现，但专利数量增长显著，已成长为新的热点。见表1。

表1 石墨烯主要专利技术领域年度演进情况

年 度	C01B	H01L	B82Y	H01M	H01B	B32B	C08K	B01J	B82B	C08L	C23C	B05D	G01N
1994	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0
2002	9	1	0	4	0	4	4	4	3	3	1	0	0
2003	7	1	0	2	1	3	1	0	2	1	2	0	0
2004	21	1	0	7	6	4	6	8	3	6	2	1	0
2005	16	6	2	3	3	7	4	2	5	3	2	1	0
2006	13	3	1	3	1	2	1	5	1	0	1	1	0
2007	19	7	3	12	6	9	6	4	5	5	0	5	3
2008	32	21	2	7	13	14	10	5	13	10	6	6	4
2009	80	77	21	24	23	33	19	15	30	17	7	30	13
2010	148	149	73	56	53	59	50	34	47	46	25	45	24
2011	336	296	227	165	152	119	101	83	103	81	75	75	60
2012	523	452	374	270	156	135	148	169	93	130	125	66	110

2. 2 国际石墨烯领域最新政策及研发动向

2. 2. 1 主要国家石墨烯最新政策及研发动向

近年来,世界各国瞄准商机,纷纷加大支持力度,推进石墨烯产业化。2011年,英国在《促进增长的创新与研究战略》中将石墨烯确定为今后重点发展的四项新兴技术之一。2013年,英国又投资6100万英镑建立国家石墨烯研究所(NGI)。欧盟委员会于2013年1月28日宣布将石墨烯和人脑工程两大科技入选“未来新兴旗舰技术项目”,并设立专项,未来10年内将投入经费10亿欧元。韩国政府计划在2012—2018年间,投入2.5亿美元用于石墨烯技术研发及商业化。2013年5月,还整合包括韩国科学技术院在内的41家研究机构及6大财团组成联盟,潜心开展石墨烯产品与相关技术商业化。

2. 2. 2 我国石墨烯领域主要进展及问题

目前,国家层面对石墨烯领域的重视和引导正逐步加大。国家科技部已通过973项目等形式支持石墨烯领域研发。工信部也在研究出台相应的产业扶持政策。2013年7月,中国石墨烯产业技术创新联盟在北京正式成立。

省级层面,江苏与浙江是为数不多的几个掌握石墨烯低成本量化制备技术的省份,并各自在石墨烯薄膜和石墨烯微片领域占据领先地位。2011年10月,常州市政府、武进区政府共同出资5000万,成立了国内首个石墨烯产业化基地——江南石墨烯研究院。目前已研制出全球首款手机用石墨烯电容触摸屏,年产3万m²石墨烯薄膜生产线已正式投产。2012年,江苏省科技厅以江南石墨烯研究院为依托组建了省石墨烯产业技术研究院。2013年7月,由江南石墨烯研究院、常州二维碳素科技有限公司等单位组成的江苏省石墨烯产业技术创新联盟成立。全省政产学研合力推进石墨烯产业化的良好局面已初步形成。

在浙江,中科院宁波材料所刘兆平团队早在2008年就开始了石墨烯制备技术攻关,并已成功解决了石墨烯微片低成本规模化制备这一世界难题,将石墨烯制造成本从每克5000元降至3元。宁波材料所与上海南江集团合作组建的宁波墨西科技有限公司,目前已建成全球首条量产的石墨烯生产线,投产后产量将达300吨。浙江大学高分子系高超团队,目前在石墨烯碳纤维的研究方面也有所突破。

目前,国内石墨烯产业化的最大瓶颈在于低成本量化制备,浙江尽管在产业化上走在全国前列,但也面临一些问题。例如,政府层面对石墨烯研发和产业化重视程度不足,扶持引导还不够;产业化过程中省内企业的参与不够,石墨烯产业链,特别是下游应用,还需进一步开发和拓展等等。

3 推动浙江石墨烯产业化的对策和建议

3. 1 充分重视石墨烯发展的重大机遇,把握优势,抢占制高点

从国际经验来看,新兴产业的重大技术突破尤其是原创性研发和产业化突破,往往可能带动相关产业跨越性发展。目前,石墨烯的价值和前景已经得到国际认可,而浙江在石墨烯领域研发基础良好,目前与发达国家同处于起跑阶段。因此,更应该重视和把握这一重大发展机遇,进一步将论文、专利优势转化成为行业标准与产品优势,抢占领域话语权。否则一旦错失良机,将面临研发领先、产业落后的遗憾。

3. 2 设立石墨烯研发和产业化推进专项,强化政府引导与扶持

目前,浙江对石墨烯产业的专项扶持还基本空白。政府应充分发挥对新兴产业发展的引导和扶持作用,加快研究制定相关

产业发展规划，并在重大科技专项和成果转化工程中，设立石墨烯研发与产业化推进专项，并适时建立投资引导基金，进一步引导企业和社会资本共同推动浙江省石墨烯产业发展。

3. 3 以新材料科技城为载体，大力引进海内外高层次人才

结合当前宁波新材料科技城建设，通过国家及省“千人计划”等政策，鼓励和引进海内外石墨烯相关领域高层次人才带项目、带成果来浙江创新创业。以人才带团队，以技术带产业，带动全省石墨烯其他研发与应用领域多点突破，快速发展。

3. 4 建立浙江省石墨烯产业技术创新联盟，打造全产业链发展新格局

从美、日、欧等国石墨烯研发来看，大多是由企业牵头。浙江石墨烯领域当前已具备了理论与技术研发两头开花的良好基础，下一步，应引导省内重点企业，特别是大型新能源汽车和电池配套企业，与中科院、浙江大学等优势机构展开对接。通过组建省级石墨烯产业技术创新联盟等形式，强化产学研合作，上下游联动，全产业链提升，共同促进全省石墨烯产业跨越发展。

参考文献

- ① 马廷灿. 石墨烯专利技术国际研发态势分析 [J]. 科学观察, 2012(3) .
- ② 张文毓. 石墨烯应用研究进展综述 [J]. 新材料产业, 2011(7) .
- ③ 江南. 石墨烯研究院简介及常州石墨烯产业发展情况介绍 [EB /OL]. (2011-10-18) [2013-06-05]. [http: /
/www. jgri. gov. cn / content. aspx? id = 39.](http://www.jgri.gov.cn/content.aspx?id=39)
- ④ 王丽, 潘云涛. 石墨烯的研究前沿及中国发展态势分析 [J]. 新型炭材料, 2010(6) .
- ⑤ 朱碧玉, 倪江锋, 等. 石墨烯在锂离子电池中应用的研究进展 [J]. 电源技术, 2013(5) .
- ⑥ 梁爽, 赵孝文, 王刚毅, 等. 石墨烯的制备及应用进展 [J]. 黑龙江科学, 2013(3) .
- ⑦ 卫保娟. 石墨烯及其纳米复合材料的研究进展 [J]. 中国科技博览, 2012(23) .

注释

- ① HTZ: 太赫兹, 芯片的处理单位。
- ② H 指数是指一个人(团体) 有 H 篇论文分别被引用了至少 H 次, 是目前公认的较为科学的用来评价科研人员(团体) 学术成就的定量方法。