

综述与专论

基于共词分析的国内石墨烯论文主题研究

吴华珠 陈长益 李向辉 刘 玲

(江苏省科学技术情报研究所, 南京 210042)

摘 要 利用 Bicom 软件提取石墨烯论文中的高频关键词, 构建高频关键词共词矩阵和相异矩阵, 并利用 SPSS 和 UCINET 软件绘制石墨烯技术知识图。结果表明: 近年来关于石墨烯的研究主题可以划分为锂离子电池负极材料、石墨烯复合材料、石墨烯纳米带和电化学生物传感器应用等四大类 9 个小类, 对石墨烯的研究现状进行论述, 详细研究了主题的内涵、特征等问题, 提出推动石墨烯产业创新发展的决策建议。

关键词 石墨烯, 共词矩阵, 相异矩阵, 聚类分析, 战略坐标分析, 知识图谱

Subject analysis of papers on graphene in China based on co-word analysis

Wu Huazhu Chen Changyi Li Xianghui Liu Ling

(Jiangsu Science and Technology Information Institute, Nanjing 210042)

Abstract High-frequency keywords of graphene papers were extracted and defined. Then it established the keyword co-word matrix and dissimilarity matrix to draw the knowledge map by means of SPSS and UCINET. The result of the knowledge map showed that graphene in China focused on 4 research themes including cathode materials for lithium ion batteries, graphene-based composite materials, graphene nanoribbons, the applications of graphene in electrochemical biosensors, which were then elaborated one by one in detail at last. The connotation and the characteristic of above mentioned research topics were discussed, which was useful to provide decision-making references for promoting the innovation and development of graphene industry.

Key words graphene, co-word matrix, dissimilarity matrix, cluster analysis, strategic diagram analysis, knowledge map

自从 2004 年, 安德烈·盖姆和克斯特亚·诺沃洛采用微机械剥离法成功从石墨中分离出石墨烯以来^[1], 石墨烯受到全球各学科领域专家的广泛关注。随后, 美国、日本、韩国及欧盟成员国等陆续开展了石墨烯相关领域的战略部署和项目制定^[2-3], 并将石墨烯及其复合材料成功应用于电子器件、生物医药、航空航天和环保等领域。石墨烯技术在各产业领域的渗透, 为促进产业的优化升级带来了技术革新。

为了抢占石墨烯技术的发展先机, 我国政府对石墨烯技术的科研投入逐年加大。根据科学网的统计, 从 2007 年至 2016 年, 清华大学、北京大学和上海交通大学等机构申请并获批的有关石墨烯领域的国家自然科学基金项目共计 2313 项, 累计金额 102551 万元, 涉及的学科领域包括无机非金属材料、物理学、化学等。可见, 我国政府对石墨烯研究的支持力度较大、看好石墨烯发展前景; 并且在政府资助项目的推动下, 我国已成为全球石墨烯基础研究的领跑者。

科技论文是传递基础研究成果的载体^[4], 通过科技论文的数量和质量能够间接反映一个产业的基础研究现状。笔者基于共词分析法^[5], 结合复杂网络的可视化呈现方式, 从多个角度对石墨烯技术领域研究主题进行深入分析, 挖掘我国石墨烯技术领域基础研究的重点, 为相关部门制定石墨烯产业战略部署及研发机构开展技术研究提供决策参考。

科技论文是传递基础研究成果的载体^[4], 通过科技论文的数量和质量能够间接反映一个产业的基础研究现状。笔者基于共词分析法^[5], 结合复杂网络的可视化呈现方式, 从多个角度对石墨烯技术领域研究主题进行深入分析, 挖掘我国石墨烯技术领域基础研究的重点, 为相关部门制定石墨烯产业战略部署及研发机构开展技术研究提供决策参考。

1 石墨烯论文的数据获取与数据处理

以“主题=石墨烯”为检索式, 检索日期为 2016

基金项目: 2015 年度江苏省第四期“333 工程”科研项目(BRA2015433)。

作者简介: 吴华珠(1970-), 女, 硕士, 研究员, 主要研究方向为科技咨询。

年 12 月 29 日,在中国知网(CNKI)检索平台中检索到 4741 篇有关石墨烯的核心期刊论文,且论文的发表数量呈逐年递增态势;选择被引次数 ≥ 1 的文献,得到 2000 篇核心期刊文献。选用以上述质量较高的 2000 条数据记录为分析对象。

将文献题录数据导入书目共现分析系统(Bicomb)软件,共提取 9037 个关键词。通过摘除“石墨烯”、“应用”、“制备”、“综述”等检索词或无特殊意义的词汇,合并诸如“缺陷”与“点缺陷”等近义词,得到 7760 个关键词;选取氧化石墨烯、复合材料、碳纳米管等 30 个频次为 20 及以上的关键词为高频关键词,结果见表 1。

表 1 国内石墨烯研究论文高频关键词(频次 ≥ 20)

关键词	词频	关键词	词频
氧化石墨烯	296	生物传感器	30
复合材料	165	化学气相沉积	27
碳纳米管	96	环氧树脂	27
超级电容器	94	聚合物	25
纳米复合材料	69	第一性原理	24
锂离子电池	69	壳聚糖	23
光催化	56	修饰电极	23
力学性能	54	还原氧化石墨烯	23
氧化石墨	48	负极材料	23
吸附	46	电化学传感器	22
电化学	45	石墨烯纳米带	22
水热法	34	二氧化钛	21
纳米材料	33	纳米金	20
聚苯胺	30	多巴胺	20
电化学性能	30	循环伏安法	20

利用 Bicomb 软件,构建上述高频关键词的 30 $\times$ 30 共词矩阵(见表 2)。利用公式 $Ochiai\text{ 系数} = A/B$ 两词共现频次/ $(\sqrt{A\text{ 词出现频次}} \times \sqrt{B\text{ 词出现频次}})$,对表 2 进行处理,得到 Ochiai 系数矩阵;再用表 1 减去上述矩阵中的各参数,得到 30 $\times$ 30 相异矩阵,结果见表 3。

表 2 国内石墨烯研究论文高频关键词共现矩阵(部分)

关键词	氧化 石墨烯	复合 材料	碳纳 米管	超级 电容器	纳米复 合材料	锂离子 电池	光催化
氧化石墨烯	296	30	3	6	6	1	6
复合材料	30	165	10	16	0	6	5
碳纳米管	3	10	96	7	2	4	1
超级电容器	6	16	7	94	4	5	0
纳米复合材料	6	0	2	4	69	3	1
锂离子电池	1	6	4	5	3	69	0
光催化	6	5	1	0	1	0	56

表 3 国内石墨烯研究论文高频关键词相异矩阵(部分)

关键词	氧化 石墨烯	复合 材料	碳纳 米管	超级 电容器	纳米复 合材料	锂离子 电池	光催化
氧化石墨烯	0	0.8643	0.9822	0.9640	0.9580	0.9930	0.9534
复合材料	0.8643	0	0.9205	0.8715	1.0000	0.9438	0.9480
碳纳米管	0.9822	0.9205	0	0.9263	0.9754	0.9509	0.9864
超级电容器	0.9640	0.8715	0.9263	0	0.9503	0.9379	1.0000
纳米复合材料	0.9580	1.0000	0.9754	0.9503	0	0.9565	0.9839
锂离子电池	0.9930	0.9438	0.9509	0.9379	0.9565	0	1.0000
光催化	0.9534	0.9480	0.9864	1.0000	0.9839	1.0000	0

2 石墨烯研究论文主题可视化分析

2.1 高频关键词的网络分析

国内石墨烯研究论文高频关键词共词网络图见图 1。由图可知,各高频关键词之间具有复杂的关联关系;其中,氧化石墨烯、复合材料和碳纳米管等代表石墨烯领域基础研究的节点最大,表明他们的网络中心度最大,是论文研究的核心内容;此外,锂离子电池、超级电容器和生物传感器等代表石墨烯应用研究领域的节点较大,也是论文的重要研究内容。另外,图 1 中氧化石墨烯与复合材料、锂离子电池与负极材料、超级电容器与聚苯胺等关键词两两之间的连线较粗,说明他们在同一篇文献中共同出现(共词)的次数较多,关系较强。

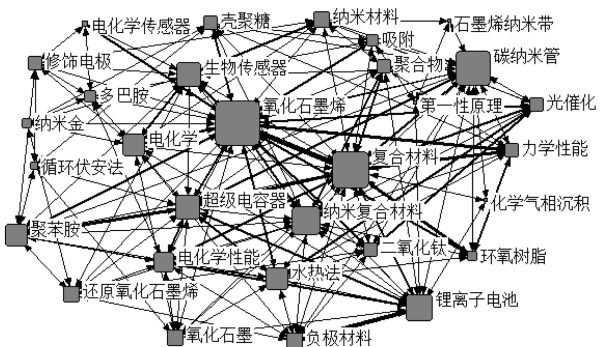


图 1 国内石墨烯研究论文高频关键词共词网络图

2.2 高频关键词的聚类分析

利用 SPSS20.0 软件得到的石墨烯论文研究主题聚类结果见图 2。由图可知,石墨烯论文研究主题主要包括四个大类共 9 个小类:锂离子电池负极材料、石墨烯复合材料(石墨烯/二氧化钛复合材料、石墨烯/碳纳米管复合粉体材料、石墨烯/聚合物纳米复合材料、石墨烯/环氧树脂复合材料、石墨烯/聚苯胺复合材料、石墨烯/壳聚糖生物复合材料)、石墨

烯纳米带、电化学生物传感器应用。

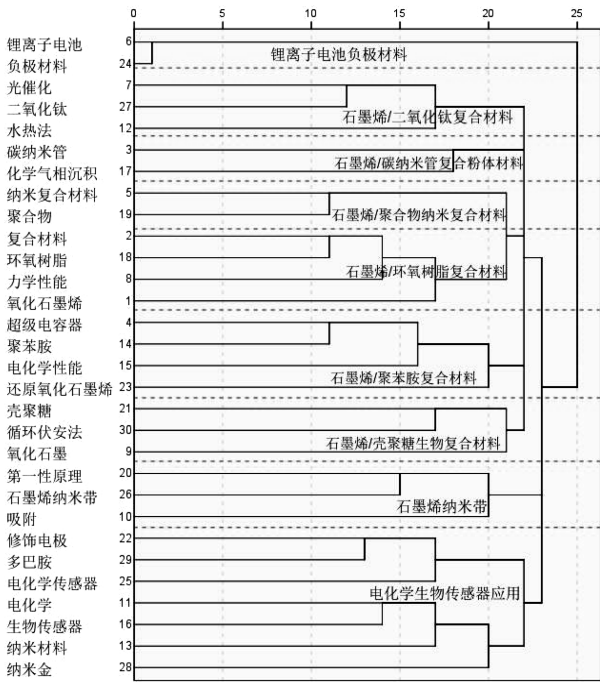


图 2 国内石墨烯研究论文高频关键词聚类结果树状图

2.3 石墨烯论文研究主题的战略坐标图分析

根据上述相异矩阵计算得到石墨烯研究论文高频关键词向心度(Centrality)和密度(Density)^[6],并绘制战略坐标图^[7],揭示每类研究主题的行业地位和发展程度^[8],结果见表 4 和图 3。

表 4 石墨烯研究主题的向心度和密度

类别	向心度 (类间链接值)	密度 (类内链接值)
锂离子电池负极材料	91	21
石墨烯纳米带	41.67	4
电化学生物传感器应用	44.86	9.14
石墨烯/二氧化钛复合材料	15	10
石墨烯/碳纳米管复合粉体材料	17.5	4
石墨烯/聚合物纳米复合材料	18.5	9
石墨烯/环氧树脂复合材料	33	46
石墨烯/聚苯胺复合材料	19.25	14.5
石墨烯/壳聚糖生物复合材料	9.33	2
平均值	32.23	13.29

由图可知,锂离子电池负极材料和石墨烯/环氧树脂复合材料两大研究主题具有较高的向心度和密度,位于第一象限;表明其类间联系紧密、核心作用较强,类内联系紧密、发展较成熟,是热点研究内容。石墨烯/聚苯胺复合材料具有较低的向心度和较高

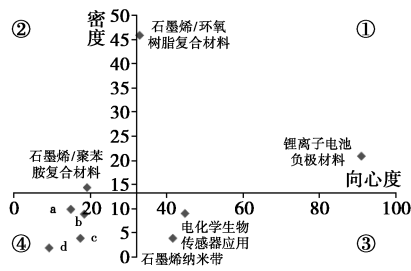


图 3 国内石墨烯研究论文研究主题战略坐标图

的密度,位于第二象限;表明其核心作用较弱,但发展较成熟。电化学生物传感器应用和石墨烯纳米带的向心度较高、密度较低,位于第三象限;表明其核心作用较强,但类内联系较松散,发展不够成熟。其他研究主题的向心度和密度均较低,位于第四象限;表明其核心作用较弱,发展不够成熟。

综上所述,锂离子电池负极材料、石墨烯/环氧树脂复合材料、电化学生物传感器应用和石墨烯纳米带四大主题与其他研究主题的联系较紧密,在石墨烯技术领域核心作用较强。锂离子电池负极材料、石墨烯/环氧树脂复合材料和石墨烯/聚苯胺复合材料三大主题内部之间的联系较紧密,发展相对较成熟。

3 石墨烯论文研究主题论述

3.1 锂离子电池负极材料

锂离子电池是能效高、绿色环保的储能器件,在便携式电子设备及新能源领域具有较好的应用价值,能够满足新兴电子器件对大负荷电能的要求。负极材料是决定锂离子电池能效、循环寿命等性能的重要因素之一,采用石墨烯及其复合材料^[9-10]作为锂离子电池负极材料,能够提高电子迁移率从而提升锂电池的储能效率;同时石墨烯负极材料更轻薄,也使得锂离子电池更轻巧、减轻了锂离子电池的质量。

3.2 石墨烯复合材料

目前,难以大规模批量制造单层石墨烯,包括批量制备石墨烯设备的采购成本较高、对技术的规范操作较严格等,导致优质成品率较低。石墨烯与纳米粒子、聚合物、环氧树脂等^[11-12]材料复合形成的石墨烯复合材料不仅产出率较高、能够批量生产;而且性能较高,在环保、新能源、生物医药等领域已经取得了较好的应用效果,实现了污水处理、能量存储、疾病治疗等功能。

3.3 石墨烯纳米带

近年来,采用第一性原理对石墨烯纳米带导电

性进行的研究较多。石墨烯纳米带(GNRs)是石墨烯的另外一种结构形式——准一维蜂窝构型单层带状石墨烯,石墨烯纳米带不仅具有高导电性,而且克服了碳纳米管难以安装在电子芯片内部的缺陷,这使得石墨烯在电子器件领域的广泛应用成为可能。

3.4 电化学生物传感器应用

近年来,随着人们健康意识的逐渐增强,催生现代检验医学迅速发展。其中,电化学生物传感器为医学检验检测提供精准的技术支撑,受到医疗卫生研究者的广泛关注。电极是电化学生物传感的重要元件,采用掺杂石墨烯的电化学生物传感器电极,能够提高传感器的检测灵敏度和分析速度,实现连续在线监测。

4 结语

近 10 年来,有关石墨烯的国家自然科学基金项目数量逐年递增、涉及的研究领域广泛;有关石墨烯科技论文数量逐年递增、研究内容多样;石墨烯及其应用成为各学科领域研究和关注的焦点,且研究和关注的内容重点突出、产业前瞻性和导向性较强。通过分析可知,有关石墨烯论文的研究主题主要包括以下几个方面:

(1)多样化多功能石墨烯复合材料的基础研究。石墨烯复合材料是科技论文研究的重点内容,反映出石墨烯复合材料基础研究的成果显著;对石墨烯复合材料的研究不仅能拓宽石墨烯的应用领域,而且能最大化发挥石墨烯的应用价值和发掘石墨烯的应用潜力;其中,石墨烯/环氧树脂复合材料、石墨烯/聚苯胺复合材料是论文研究的重点,基础研究比较成熟。

(2)石墨烯及功能化氧化石墨烯在生物医学领域的应用研究。石墨烯尤其是功能化的氧化石墨烯,具有丰富的官能团,将成为发展生物医学技术的关键突破口。现已实现将功能化石墨烯用于电化学生物传感器,能够提高检验检测精度从而提高诊断水平;将功能化的氧化石墨烯作为药物的传输载体可以提高药物的吸收效率从而提高疾病的治疗效果;将功能化石墨烯用于外科手术能够使血液迅速凝固及伤口迅速愈合从而减轻患者痛苦等。

(3)石墨烯及其复合材料在能量存储转换领域的应用研究。除了开发新能源可以解决地球能源逐渐枯竭的问题,合理利用现有能源也是行之有效的方法之一。将石墨烯及其复合材料作为负极材料,

能够提高锂离子电池、超级电容等能量储能介质的能量密度从而提高能源的存储效率,同时还能增强其能量转换效率从而达到合理利用资源、避免浪费的目的。

科技项目是科技论文研究的重要支撑,科技论文作为基础研究的重要部分是推动石墨烯产业化发展的理论基础和源动力。通过分析,笔者提出推动石墨烯产业发展的决策参考:加大政府科技计划项目支持力度及产学研扶持力度,进一步强化基础研究;将石墨烯基础研究与应用研究相结合,通过基础研究揭示石墨烯技术未知领域及其存在的问题、拓展石墨烯的应用领域,通过应用研究构建石墨烯产业化发展模式、推进产业化进程;完善石墨烯产业创新创业服务体系,借助互联网平台经济,培育石墨烯上、中、下各产业链的优势企业。

参考文献

- [1] Novoselov K S, Geim A K, Morozov S V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films[J]. Science, 2004, 306(5696): 666.
- [2] 万勇, 马廷灿, 冯瑞华, 等. 国外石墨烯研发政策概览[J]. 新材料产业, 2014(11): 2-5.
- [3] 胡光元, 唐莉, 刘云. 中美在石墨烯领域的研究轨迹及政策建议[J]. 科研管理, 2014, 35(4): 68-75.
- [4] 刘雅娟, 王岩. 用文献计量学评价基础研究的几项指标探讨——论文、引文和期刊影响因子[J]. 科研管理, 2000, 21(1): 93-98.
- [5] 曹志杰, 冷伏海. 共词分析法用于文献隐性关联知识发现研究[J]. 情报理论与实践, 2009, 32(10): 99-103.
- [6] 陈长益, 吴华珠, 朴春梅, 等. 基于共词分析的国内科技查新论文主题研究[J]. 农业图书情报学刊, 2016, 28(5): 50-55.
- [7] Callon M, Courtial J P, Laville F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemistry[J]. Scientometrics, 1991, 22(1): 155-205.
- [8] 曹志杰, 冷伏海. 共词分析法用于文献隐性关联知识发现研究[J]. 情报理论与实践, 2009(10): 99-103.
- [9] 王丽. 石墨烯与石墨烯基复合材料的制备及储能应用[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [10] 虞祯君, 王艳莉, 邓洪贵, 等. SnO_2 /石墨烯锂离子电池负极材料的制备及其电化学行为研究[J]. 无机材料学报, 2013, 28(5): 515-520.
- [11] 赵冬梅, 李振伟, 刘领弟, 等. 石墨烯/碳纳米管复合材料的制备及应用进展[J]. 化学学报, 2014, 72(2): 185-200.
- [12] 张力, 吴俊涛, 江雷. 石墨烯及其聚合物纳米复合材料[J]. 化学进展, 2014, 26(4): 560-571.

收稿日期: 2017-06-08