

纳米制造研究领域发展趋势的可视化分析

徐晓璇¹, 刘磊²

(1.南京工业职业技术学院 商务贸易学院,江苏 南京 210012;2.东南大学 机械工程学院,江苏 南京 211189)

摘要:利用 Web of Science 中的文献数据,以纳米制造领域 2006~2015 年的 3 426 篇相关文献为研究对象,对纳米制造的主要手段和核心研究领域展开探讨,借助 Citespace III 软件绘制知识图谱,深入分析了该领域的相关基础研究,厘清了该领域的研究热点和研究前沿,初步统计了国内外在纳米制造领域有影响的研究单位和代表性科学家,为更快更好地了解纳米制造领域的研究现状和进展提供依据。

关键词:纳米制造;文献分析;可视化分析;发展趋势

中图分类号:G350 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2017)03-0016-06

Research on trend of development of nanofabrication domain based on visualized analysis

Xu Xiaoxuan¹, Liu Lei²

(1.School of Business and Trade, Nanjing Vocational Institute of Industry Technology, Nanjing 210012, China;
2.School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: The research object in this work was the 3 426 papers on the Web of Science from 2006 to 2015 about nanofabrication domain. A discussion was presented on the main mean and the core research area of nanofabrication. By software Citespace III, the related basic research of this area was deeply analysed, the hot point and research front were clarified, the influential research units and representative scientists in nanofabrication from China and abroad were preliminary counted for providing basis on faster and better understanding the research present situation and progress of nanofabrication domain.

Keywords: nanofabrication; literature analysis; visualized analysis; development trend

制造业是现代国民经济和综合国力的重要支柱,一个国家经济的崛起在很大程度上取决于制造业的发展。国际制造业的发展经验表明,学科交叉和融合发展是制造业发展的核心推动力,传统制造技术与信息技术、计算机技术、自动化技术相结合产生了先进制造技术,以先进制造技术为基础的现代制造业则是国家制造业的水平的主要标志。现代制造业的发展主要表现在 2 个方面:一是制造精密化;二是制造自动化。20 世纪 80 年代以来,纳米材料的应用和纳米科技的发展将使制造业的产品设计和制造本身发生革命性的改变,制造业在面对纳米材料技术蓬勃发展的今天,也面临着千载难逢的发展机遇。其中纳米机械方向和纳米加工的研究融合产生一个新的学科——纳米制造科学技术。纳米制造是支撑纳米技术、信息技术和生物技术走向应用的基础,是制造业发展的方向^[1]。而纳米制造科学与技术中的根本问题,则是研究纳米制造的基础^[1]。纳米制造是在 0.1~100 nm 的尺度内,使材料物质批量化加工成器件及系统的制造及设

收稿日期:2017-01-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U1332134);2016-2017 中央高校基本科研业务费资助项目(3202007301);2016 年度江苏高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养对象资助项目

通信作者:徐晓璇(1980-),女,安徽淮南人,硕士,副教授,主要从事信息及供应链管理研究。E-mail:xuwx@niit.edu.cn

计方法和工艺.纳米制造将传统的制造学科与基础学科的前沿研究紧密地结合在一起,不仅在现代科技和工业领域有着广泛的应用前景,同时也为其他工程学科提供了强大的技术支撑,成为 21 世纪仅次于芯片制造的世界第二大高新技术产业^[2].

相比其他学科,我国在纳米科学技术领域研究具有独特优势,我国在纳米科技方面的 SCI 论文数量稳居世界第 1 位,论文引用次数也居世界第 2.一直以来纳米制造的研究属于综合交叉研究领域,各学科领域的科学家们都致力于此领域的研究,产生大量高水平的论文.本文利用 Web of Science 中的文献数据,以纳米制造领域 2006~2015 年的 3 426 篇相关文献为研究对象,对纳米制造的主要手段和核心研究领域展开探讨,为全面展示纳米制造领域的研究现状和进展提供依据.

1 可视化分析的基本原理

选取 Web of science 作为数据来源,以“nanofabrication”或“nanomanufacturing”为主题词,文献类型为 ARTICLE,时间跨度为 2006~2015 年,数据库选择 SCI-EXPANDED,共得到 3 426 篇文献,每条文献记录选择包含引用参考文献的全记录格式下载,检索日期为 2016 年 3 月 1 日.

Citespace 是由美国 Drexel 大学陈超美教授与大连理工大学 WISE 实验室联合开发的科学文献分析工具,用来分析和可视共被引网络的 Java 应用程序、通用方法^[3].这种方法基于信息科学中的“研究前沿”和“知识基础”间的时间对偶概念,是一款具有影响力的可视化文献分析软件.本文将借助 Citespace III,分析纳米制造领域的研究热点及前沿领域,揭示该领域的研究现状和发展趋势.

2 纳米制造的主要实现方式

纳米制造要有具体的实现方式,一般来说,主要有 3 种技术途径:自下而上纳米结构的制造技术(Bottom-Up),自上而下的纳米精度制造(Top-Down),以及涉及宏、微、纳尺寸的跨尺度制造(Cross scale fabrication)技术^[4].为了更直观的展现纳米制造方式领域的研究前沿,本文选取 Web of science 作为数据来源,分别以“Bottom-Up (nanofabrication or nanomanufacturing)”,“Top-Down (nanofabrication or nanomanufacturing)”,“Cross scale fabrication”为主题词,对纳米制造方式的文献进行检索,利用 citespaceIII 对纳米制造方式领域的前沿数据绘制知识图谱^[5].图 1~图 3 分别给出了对纳米结构制造、纳米精度制造和跨尺度制造的分析结果.

自下而上纳米结构的制造技术,是从单个原子、分子开始,利用化学合成及物理的方法,合成具有特殊功能的大分子、超大分子团或表面结构等纳米结构,应用于化学、物理、生物、微电子等诸多方面纳米制造的方法.例如,26 年前 IBM 科学家用隧道扫描显微镜 STM,在超真空及液氦温度(4.2 K)条件下,将吸附在镍表面的氩原子,一个个地拖曳排列成“IBM”^[6].同样的,纳米碳管的自组装技术也属于自下而上纳米结构的制造范畴.图 1 给出了此领域文献较为热门的关键词及其相互关系分析.结果表明,这种制造技术多涉及金属氧化物、纳米线等出发,通过一定的组合,形成具有一定功能的结构,如气体传感器等.

自上而下的纳米精度制造技术,纳米尺度的结构和半导体芯片的最终产品是从块体材料上通过材料的去除和减少来获得的,多指纳米加工精度.图 2 给出了此领域文献较为热门的关键词及其相互关系分析.结果表明,这种制造技术本质上是一种超高精度的去除技术,与纳米结构制造技术相比,它更多涉及材料去除的表界面问题和制造过程中的原子迁移和声子输运问题,以及尤其决定的移决定的物质能量的演化规律.

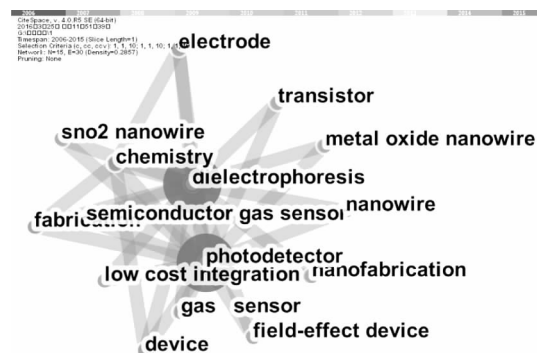


图 1 纳米结构制造的研究前沿

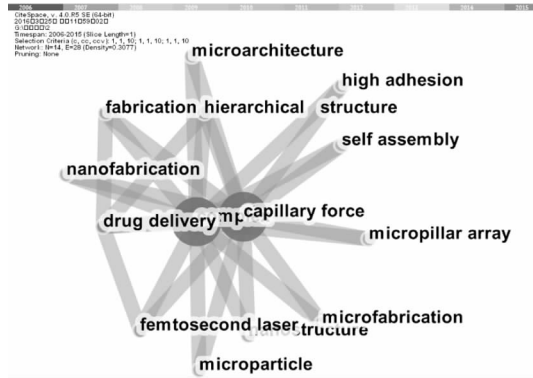


图2 纳米精度制造的研究前沿

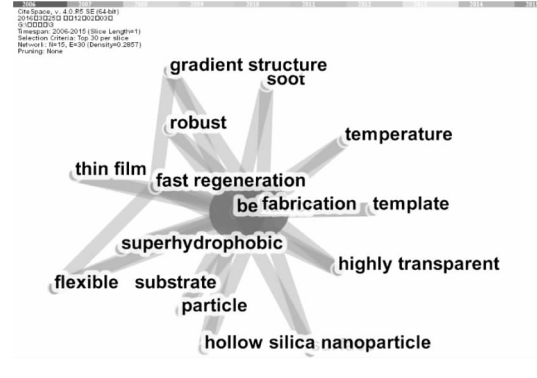


图3 跨尺度制造的研究前沿

跨尺度制造指将微观、介观、宏观集成到一起,最终实现某种功能^[1].涉及到基底、结构设计、制造等诸多方面,是一个系统工程.

3 纳米制造研究热点领域分析

纳米制造科学领域的研究主要包括纳米加工,纳米级测试与表征,纳米器件的设计及原理,纳米制造装备新原理,纳米器件操作、装配和封装等方向.

共引分析近几年被广泛应用于各学科知识结构的研究中,借助可视化信息处理软件,可以生成直观、动态的图像信息,形象地展现了学科间的交流模式和知识结构,通过分析学科演进中的拐点和分岔点,能够找到一批具有重要影响力的文献,分析这些文献在学科发展中的作用以及专业领域中出现的交叉学科的复杂现象,可以获得详尽的前沿信息分析结果.

对纳米制造领域文献数据绘制共引知识图谱.选择 time slicing 值为 1,设置前中后阈值为(1,1,10),选取每一时区被引频次较高的前 30 篇文献,选择 pathfinder 对网络精简,运行得到 Timeline 视图模式的知识图谱(如图 4 所示),图中包括 191 个节点,564 条连线.

分析图 4 的高中心度和高被引频次文献,得到在纳米制造领域具有重要影响力的知识基础,共有 6 篇,具体如表 1 所示.

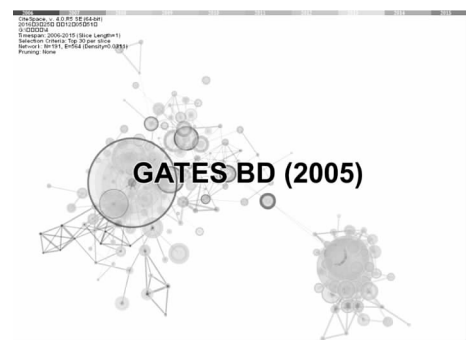


图4 纳米制造领域的文献共被引知识图谱

表1 高被引和高中心性经典文献

被引频次	中心度	作者	年份	来源刊物	卷	页码
148	0.36	Gates BD	2005	Chem Rev	V105	P1171
26	0.55	Hercas I	2007	Rev Sci instrum	V78	013705
33	0.47	Levchenko I	2007	J Phys D-Appl Phys	V40	P2308
42	0.33	Pires D	2010	Science	V328	P732
48	0.22	Salaita K	2007	Nat Nanotechnol	V2	P145
53	0.20	Ginger DS	2004	Angew chem int edit	V43	P30

Gates BD 于 2005 年发表在 Chem Rev 的综述文章,全面总结了 1999~2004 年成型、印刷等纳米制造新方法^[7];Hercas I 于 2007 年发表在 Rev sci instrum 的文章在开发了扫描探针新技术拓展了其在纳米制造领域的新应用^[8];Levchenko I 于 2007 年发表在 J Phys d-Appl Phys 的利用纳米粒子在非均匀电场中的聚焦实现等离子体结构单元的可控生长,为自下而上纳米结构的制造技术提供新的选择^[9];Pires D 在 2010 年发表在 Science 的文章提出了一种扫描探针光刻方法基于玻有机抗蚀剂通过加热探头的局部解

析,以实现制造复杂的三维结构^[10];Salaita K 于 2007 年发表在 Nat Nanotechnol 文章和 Ginger DS 于 2004 年发表在 Angew Chem Int Edit 介绍了蘸笔纳米光刻技术(DPN)的新进展和新应用^[11-12].

4 基于可视化分析的国内外研究现状

4.1 研究热点的可视化分析

选择关键路径(pathfinder)算法,网络节点选择关键词(Keyword)、主题词(term),节点类型选择名词短语(noun phrases),时间区为1年,设置前中后阈值为(1,1,10)绘制共词可视化网络图谱^[13],如图5所示,图中共有344个节点,729条连线.

图5中,关键词用圆形节点表示,从文献中提取的名词短语用正方形表示,它们出现的频次由2种节点的大小表示,节点越大,被引频次越多,受关注程度越高.可见,纳米制造研究领域的研究热点由频次和中心性都比较高的节点共同构成^[14],如表2所示.

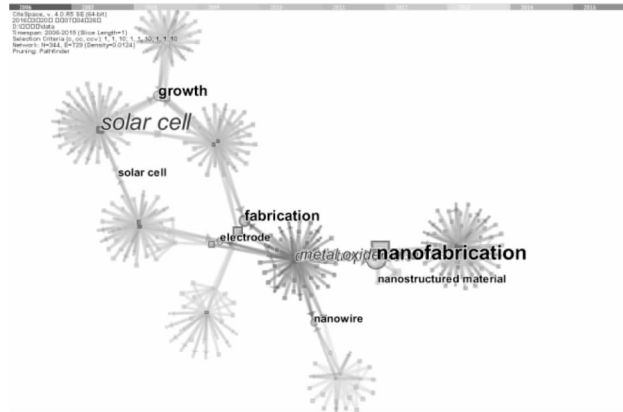


图5 纳米制造研究热点可视化图谱

表2 高中心度关键词列表

序号	中心度	关键词
1	0.45	Metal oxide nanowire
2	0.45	dielectrophoresis
3	0.40	Solar cell
4	0.25	fabrication
5	0.25	crystallisation
6	0.25	Charge recombination
7	0.23	catalyst
8	0.23	Carbon nanotube
9	0.22	Armchair-terminated edge
10	0.22	Aberration-corrected transmission electron microscope

金属氧化物纳米线、介电电泳、太阳能电池、制造、结晶、电荷重构、催化剂、碳纳米管、扶手椅边、像差校正透射电子显微镜等10个关键词基本涵盖了纳米制造的手段、原材料、机理、应用等多个热门领域.

4.2 研究前沿的可视化分析

选择 keyword 作为网络节点,节点类型选择突变专业术语(burst terms),绘制关键词突变知识图谱,如图6所示,图中共有82个节点,349条连线.

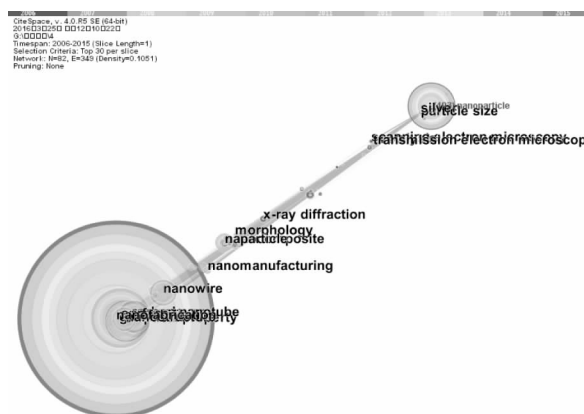


图6 纳米制造领域研究前沿知识图谱

- [7] Gates B D, Xu Q, Stewart M, et al. New Approaches to Nanofabrication: Molding, Printing, and Other Techniques[J]. Chemical Reviews, 2005,105(4):1171-1196.
- [8] Horcas I, Fernandez R, Gomezrodriguez J M, et al. WSXM: A software for scanning probe microscopy and a tool for nanotechnology[J]. Review of Scientific Instruments, 2007, 78(1):013705.
- [9] Levchenko I, Ostrikov K. Nanostructures of various dimensionalities from plasma and neutral fluxes[J]. Journal of Physics D-Applied Physics, 2007,40(8):2308-2319.
- [10] Pires D, Hedrick J L, Silva A D, et al. Nanoscale three-dimensional patterning of molecular resists by scanning probes[J]. Science,2010,328(5979):732-735.
- [11] Satoh K, Matsuda M, Nagai K, et al. Applications of dip-pen nanolithography[J].Nature Nanotechnology, 2007,2(3):145-155.
- [12] Ginger D S, Zhang H, Mirkin C A. The evolution of dip-pen nanolithography[J]. Angewandte Chemie-International Edition, 2004,43(1):30-45.
- [13] 郝世博,朱学芳,朱光,等.国内外信息可视化研究的比较分析[J].图书情报工作,2013,57(14):105-113.
- [14] 吴彬彬,王京,宋海涛.基于 Citespace 的复杂网络可视化研究图谱[J].计算机系统应用,2014,23(2):7-35.
- [15] 郭全珍,吕建国.纳米功能材料领域研究前沿和发展趋势的可视化分析[J].情报杂志,2014,33(3):49-53.
- [16] Shao J Y, Ding Y C, Wang W J, et al. Generation of fully-covering hierarchical micro-/nano- structures by nanoimprinting and modified laser swelling[J]. Small, 2014, 10(13):2595-2601.
- [17] Fang F Z, Xu F F, Lai M. Size effect in material removal by cutting at nano scale [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 80(1), 591-598.
- [18] Ma J, Qiu Y, Yuan Z, et al. Detection of short single-strand DNA homopolymers with ultrathin Si₃N₄ nanopores [J]. Physical Review E, 2015, 92(2):022719.
- [19] Ru C H, Shao B, Huang H, et al. A Simple Method Based on Vision for Obtaining Depth Information in Nanomanipulation [J].Applied Physics Express, 2011, 4(12):126601.
- [20] Cheng J, Wang T Q, He Y Y, et al. Material removal mechanism of copper chemical mechanical polishing in a periodate-based slurry[J].Applied Surface Science,2015(337):130-137.
- [21] Wang C, Duan J, Jiang L, et al. Effects of key pulse train parameters on electron dynamics during femtosecond laser nonlinear ionization of silica[J].Laser Physics,2015,25(6):066101.