

# 材料科技领域发展态势与趋势

万勇\* 冯瑞华 姜山 黄健  
(中国科学院武汉文献情报中心, 武汉 430071)

**摘要:** 材料的创新进步很大程度上推动了各领域的重大科技突破,是现代科技发展之本。世界上许多发达国家已经认识到材料研发的重要性,并制定了相应的国家发展战略规划。从设计、制备、表征、应用的链条看,近年来材料领域热点频现,人工智能技术的发展也渗入到了本领域成为新的关注点,涌现出诸多新型材料,性质与结构研究获得新的突破,应用成果丰硕。本文利用情报研究方法,梳理了部分国家在材料领域的重要规划,以及取得的最新进展和突破,并初步提出了对我国的启示与建议。

**关键词:** 材料科技; 发展态势; 情报研究

中图分类号: G353.2 文献标识码: A doi: 10.16507/j.issn.1006-6055.2019.04.003

## Development Trends Analysis of Materials Science and Technology

WAN Yong\* FENG Ruihua JIANG Shan HUANG Jian  
(Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** The innovative progress of materials has greatly promoted major technological breakthroughs in various sectors, underlying the development of modern science and technology. Many developed countries in the world have recognized the importance of material development and have been formulating relevant development strategy and planning. Recently, from the chain of material design, preparation, characterization and application, it is observed that artificial intelligence technology has penetrated into this field and has become a new research hot topic. Many novel materials were initially prepared; a large number of achievements were made in the exploration of properties and structures, and application results were fruitful. In this paper, some important plans and latest progress and breakthroughs in the field of materials of main countries were summarized with information analysis methods, and suggestions for China were put forward.

**Key words:** materials science and technology; development trends; information research

材料是新一代高新技术的基础和先导,是新一轮工业革命的物质保障。新材料技术与纳米技术、生物技术、信息技术相互融合,结构功能一体化、功能材料智能化等发展趋势日趋显现。世界各国纷纷在新材料领域制定出台相应的战略规划,竭力抢占新材料产业的制高点。目前,发达国家仍

在国际新材料产业中占据领先地位,世界上新材料科技及行业龙头主要集中在美国、欧洲和日本。美国仍然是新材料领域全面领先的国家,欧盟和日本等则各自拥有自己优势方向。在基础及应用研究方面,从设计开发、材料制备、性质表征、成果应用的链条看,近年来材料领域取得了一系列原

\* 通讯作者, E-mail: wany@whlib.ac.cn

创性成果和先进适用技术,以增材制造为代表的先进制造技术也实现了众多令人振奋的突破。

## 1 世界主要发达国家重要战略行动

### 1.1 美国:重视基础及应用研究,关注高性能结构材料

美国在材料领域的目标是保持全球领先地位,并支撑信息技术、生命科学、纳米技术和环境科学的发展,满足国防、能源、电子信息等对材料的需求。以能源部、国防部、商务部(国家标准与技术研究院)、国家科学基金会和国家航空航天局等机构的大型研发计划为牵引,推动高校、研究机构和企业材料领域的研发工作。

2011年起,美国开始实施“材料基因组计划”,旨在通过比现在快一倍的速度以及足够低的成本,加快新材料从发现、创新、制造到商业化的步伐。现已有六家联邦机构参与,开创性研究的资助逾4亿美元,合作伙伴遍及产业界和学术界<sup>[1]</sup>。2012年美国启动国家制造业创新网络,现已建成14家研究所,在材料领域涉及轻质金属、复合材料、纤维纺织、可持续材料制造等<sup>[2]</sup>。2018年7月,美国白宫发布“2020财年行政机构研发预算优先事项”备忘录,提出要开发先进材料及相关加工技术,包括高性能材料、关键材料和增材制造等<sup>[3]</sup>。

美国制造业前瞻联盟 MForesight 是美国国家标准与技术研究院(NIST)会同国家科学基金会(NSF)牵头组建的制造领域高端智库。2018年4月和9月,该智库先后发布主题为超材料和高熵合金的“通向工业竞争之路”系列报告,建议设立全国性超材料制造研究计划,加强对关键原料的支持,建设超材料制造卓越中心<sup>[4]</sup>;同时,通过投资推动高熵合金制造关键技术转化研究,建立国

家测试中心及中央数据库<sup>[5]</sup>。

### 1.2 欧盟及其成员国:聚焦主要方向,发布重点战略

欧盟及其成员国在科技发展战略中,尽管各自侧重点有所差异,但都把生命科学与生命技术、信息通信技术、纳米技术、能源等作为优先发展的战略领域,材料在其中均占有重要地位。

2011年,包括先进材料在内的六大技术被确定为欧盟工业的关键使能技术(Key Enabling Technologies, KETs)。而加强六大关键技术的研发创新,确保世界领先水平,关系到欧盟工业的生存和未来竞争力。2018年4月,欧盟确定了新的关键使能技术,先进材料依旧在列<sup>[6]</sup>。欧盟“未来和新兴技术旗舰项目”是一项长期的科研扶持项目,是欧盟科技发展扶持政策的重要组成部分。石墨烯作为首批入选的两个领域之一,设有13个重点研发方向,获得持续10年总共10亿欧元的资助<sup>[7]</sup>。2018年6月,欧盟委员会发布了2021—2027年科研资助框架“地平线欧洲”的实施方案提案。作为“地平线2020”的接续,该计划的临时预算约1000亿欧元,再创新高。先进材料位列“数字与工业”涉及的九大领域之一,重点关注的是具有新特性和新功能的材料设计(包括塑料、生物材料、纳米材料、二维材料、智能材料和复合材料等)<sup>[8]</sup>。

德国政府近年来推出了高技术战略、工业4.0等来引领材料技术的发展。如2018年9月出台的《高科技战略2025》涵盖7大重点领域和12项任务,为德国未来七年高科技创新制定了目标。该战略在涉及材料的部分指出,将通过3D打印或有效利用资源,智能地设计和使用材料<sup>[9]</sup>。2019年2月,德国联邦经济事务与能源部发布《国家工业战略2030》草案,旨在有针对性地扶持

重点工业领域,提高工业产值,保证德国工业在欧洲乃至全球的竞争力。与材料相关的钢铁铜铝、化工、增材制造(3D打印)等十个工业领域被列为“关键工业领域”<sup>[10]</sup>。

英国作为老牌工业国家,近年来颁布的新版工业战略、量子技术战略和高价值制造等政策规划都把材料、纳米及制造等作为重大技术进行大力发展。以石墨烯为例,英国财政大臣曾提出,石墨烯不仅要“在英国发现”,更要实现“在英国制造”,并先后在曼彻斯特大学建起了石墨烯工程创新中心和国家石墨烯研究院<sup>[11]</sup>。

1.3 日本:每年发布《制造业白皮书》,材料发展以产业化为导向

自本世纪初期开始,日本通常在每年的6月前后发布《制造业白皮书》,其内容非常丰富,是深入了解日本制造业的参考资料。2017年6月,日本经济产业省发布的《制造业白皮书2017》提出要维持并提升日本制造业本土化,日企已开始放缓在中国设立生产基地,从中国转移至东盟以及部分回流日本的趋势较为明显<sup>[12]</sup>。2018年5月发布的《制造业白皮书2018》认为,当前是一个“非连续创新”的阶段,可通过自动化与数字化融合的解决方案来获取更高的附加值。新版的白皮书还强调了“互联工业”(Connected Industries)的概念,突出“工业”的核心地位,并作为日本制造的追求目标<sup>[13]</sup>。

日本内阁政府在历期科学技术基本计划中,都会涉及材料的发展。如《第五期科学技术基本计划(2015—2020)》提出打造“超智能社会(5.0社会)”,优先推进包括“综合型材料开发系统”在内的11项系统建设工作,围绕机器人、传感器、生物技术、纳米技术和材料、光量子等创造新价值的核心优势技术,并设定富有挑战性的中长期发展

目标<sup>[14]</sup>。日本材料产业以工业政策为导向,目标是占有世界市场,因而选取的重点是市场潜力巨大和附加值高的新材料领域,争取尽快专业化、工业化,并在先进钢铁、电子信息材料、陶瓷材料和碳纤维等领域占据国际领先地位。

## 2 重要研究进展

### 2.1 机器学习助力材料设计开发

美国能源部利用拥有的超快科学装置,资助材料、化学等领域的研究,在原子和分子尺度上,通过更好地逐步观察和控制物质行为,加速新材料和化学过程的发现<sup>[15,16]</sup>;还通过资助相关软件开发,推动基于计算建模的化学过程设计<sup>[17]</sup>。英国法拉第电池研究所引入超级计算机,无需制造大量原型来测试每种新材料或者电池组件,就能提升电池研究项目的研发速度<sup>[18]</sup>。哈佛大学开发了一种基于量子力学方程的算法,根据晶体化学元素预测材料的电子传输特性,无需实验辅助,即可在几个月内发现并优化热电材料<sup>[19]</sup>。美国休斯顿大学设计出新的算法,加速寻找用于LED照明的高效荧光材料,使LED更高效、色彩质量更佳<sup>[20]</sup>。

### 2.2 新型材料不断涌现

常见的钙钛矿材料主要有无机和有机无机杂化两类,均含有金属元素,增加了加工、制备的困难。东南大学等机构利用带电分子基团取代无机离子,首次制备得到全有机的无金属钙钛矿铁电体,性能可与传统无机钙钛矿材料相媲美,为钙钛矿家族增添了新成员<sup>[21]</sup>。美国桑迪亚国家实验室开发出一种由90%铂金和10%黄金组成的耐磨新材料,堪称目前最耐磨的金属合金,比高强度钢耐用100倍,与自然界钻石及蓝宝石等的耐磨度处于同一级别<sup>[22]</sup>。中国科学院金属研究所与

东京大学、重庆大学等合作,将扫描透射电子显微技术与第一性原理理论计算相结合,在薄膜陶瓷材料中发现了区别于晶体、准晶体和非晶体的新结构:一维有序结构(一维有序晶体),更新并深化了人们对固态物质结构的认识<sup>[23]</sup>。美国马里兰大学通过去除原生木材的木质素,并在100℃进行热压处理,制得的超级木头拉伸强度达587 MPa,可与钢材媲美,其比拉伸强度高达451 MPa cm<sup>3</sup>/g,超过几乎全部的金属,展现出未来结构材料之星的巨大潜力<sup>[24]</sup>。

### 2.3 材料性质研究取得众多突破

在各种材料中,很多属性往往由于相互冲突而无法兼顾。2018年,研究人员在金刚石、碳纤维、合金等领域取得了突破,实现从“不可兼得”到“可兼得”的转变。香港城市大学与美国麻省理工学院、新加坡南洋理工大学等合作研制出一种单晶纳米金刚石,兼具高弹性与高强度:弹性形变可达9%,强度接近理论极限的89~98 GPa,而一般的体相金刚石拉伸强度不足10 GPa<sup>[25]</sup>。市场对碳纤维的需求是能同时具有更高的拉伸强度和拉伸模量。日本东丽工业株式会社开发出碳纤维M40X,其拉伸强度在M40J的基础上提升了约30%,达到5.7 GPa,拉伸模量则保持不变(377 GPa)。这是世界范围内首次以这一水平量产兼顾两种功能的碳纤维<sup>[26]</sup>。北京科技大学以等原子比TiZrHfNb高熵合金为模型合金,通过添加适量的氧,发现间隙原子在合金中还有一种尚未被发现的存在状态,不仅能提高合金强度,还可以大幅提高合金塑性,打破了对间隙固溶强化的传统认知<sup>[27]</sup>。

材料性质研究还有一些典型进展。实现自旋构型与材料结构的原子尺度协同定量表征,是理解、预测与调控磁性材料物理性质的关键。清华

大学与德国、日本机构合作,应用色差校正透射电子显微学技术,在国际上首次通过实验手段获得了材料内部原子面分辨的磁圆二色谱,并基于实验结果定量计算出每一层原子面原子的轨道自旋磁矩比<sup>[28]</sup>。美国麻省理工学院、哈佛大学和日本国立材料科学研究所组成的联合团队研究发现,当两层石墨烯以特定的1.1°角度旋转扭曲在一起时,在电场作用下会展现出非常规超导性质,这意味着可通过简单方式实现绝缘体与超导体的转变<sup>[29]</sup>。中科院物理所与合作者利用极低温-强磁场-扫描探针显微镜联合系统,首次于相对高的温度下,在铁基超导体FeTe<sub>0.55</sub>Se<sub>0.45</sub>中观察到纯的马约拉纳束缚态,这预示着其他多能带高温超导体也可能存在马约拉纳任意子,为马约拉纳物理研究开辟了新的方向<sup>[30]</sup>。

### 2.4 新型材料助推器件发展

减少功耗是当前集成电路发展的主要趋势,其中最有效的途径即为降低工作电压。北京大学将具有特定掺杂的石墨烯作为冷电子源,碳纳米管作为有源沟道,研制出新型狄拉克源场效应晶体管,达到了国际半导体发展路线图对相关器件实用化的标准要求,有望将集成电路工作电压降到0.5 V甚至更低,为3 nm技术节点提供解决方案<sup>[31]</sup>。调制器是光电子行业的重要组成部分,砷酸锂是制备调制器的最佳材料之一,哈佛大学、香港城市大学等利用电子束刻蚀和Ar<sup>+</sup>基反应离子刻蚀等先进纳米制造方法,克服了传统化学刻蚀不能形成光滑表面的弊端,并改善了砷酸锂化学惰性限制,研制出的微型片上砷酸锂调制器体积更小、运行效率更高、数据传输速度更快,与当前CMOS电路兼容集成,且无需用到电子放大器<sup>[32]</sup>。加拿大阿尔伯塔大学利用原子级电路制造技术,快速去除或替换单个氢原子,使得存储器

可被重写,研制出迄今为止储存密度最高、可在室温工作的固态存储器,存储能力比当前计算机存储设备提高了1000倍,可在25美分硬币大小的表面存储4500万首歌曲<sup>[33]</sup>。

### 2.5 增材制造技术发展日新月异

借助新材料、人工智能等技术的发展,以增材制造(3D打印)为代表的先进制造技术取得大量新的进展,多材料、多工艺成为重要方向。美国南加州大学利用3D打印构建出能阻挡声波和机械振动的特殊超材料,可通过磁场远程控制开关,有望用于噪声消除、振动控制和声波隐形<sup>[34]</sup>。美国卡内基梅隆大学研制出一种由导电材料和纸张制成的纸质机器人,当施加电流时可以折叠或展开<sup>[35]</sup>。美国加州大学圣克鲁兹分校、劳伦斯利佛莫尔国家实验室利用可印刷石墨烯气凝胶构建装有赝电容材料的多孔三维支架,研制出的超级电容器具有当前最高的面积电容(每单位电极表面积存储的电荷),质量负载提升到超过100 mg MnO<sub>2</sub>/cm<sup>2</sup>的记录水平且不影响性能,而商用设备的常规水平约为10 mg/cm<sup>2</sup><sup>[36]</sup>。

## 3 对我国的启示与建议

### 3.1 从基础入手,资助前瞻性研究工作

美国、欧盟等历来重视包括材料在内的基础研究工作,并注重与应用相结合。我们应根据发展现状和国家战略需求,遴选出需要重点支持的材料门类,重视原始创新和颠覆性技术创新,加强前瞻基础研究与应用创新,抢占未来先进材料竞争的制高点。根据发展现状和国家需求,遴选出需要重点支持的材料门类,如量子材料、二维材料等新兴前沿方向,以及合金、陶瓷等传统材料的升级,部署相关研究计划和项目,促进我国重点前沿新材料的发展。

### 3.2 从路径着眼,开展相关领域方向的路线图绘制

高质量的发展路线图是获取长期商业成功的基础,也是加速部署先进材料与制造技术的关键。材料领域广而杂,更需要凝聚创新方向和目标,分阶段刻画核心科学问题与关键技术问题。我们应注重需求导向和问题导向,梳理材料与制造领域的科技布局重点、发展路径和技术演进等,开展前瞻性战略研究,发挥引领作用。

### 3.3 从共性切入,重视关键技术创新

关键共性技术是材料创新发展的重要支撑,其研发成果可共享,并产生深刻影响。依托科技进步使关键共性技术取得突破,打破一些重点领域制约行业发展的瓶颈,推动材料与制造技术水平跻身世界先进行列。同时,集聚科研院所、大中小企业等多方力量,发展具有技术优势的产业集群。“制造业美国”网络和英国高价值制造中心是发展产业集群的典型案列,其工作组织模式等经验可供借鉴。

## 参考文献

- [1] Materials Genome Initiative. About the Materials Genome Initiative [R/OL]. 2019-05-01. <https://www.mgi.gov/about>.
- [2] Manufacturing USA. Manufacturing USA Annual Report, Fiscal Year 2017 [R/OL]. 2018-09-26. <https://www.manufacturingusa.com/reports/manufacturing-usa-annual-report-fiscal-year-2017>.
- [3] Whitehouse. Memorandum for the Heads of Executive Departments and Agencies [EB/OL]. 2018-07-31. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/07/M-18-22.pdf>.
- [4] MForesight. Metamaterials Manufacturing-Pathway

- to Industrial Competitiveness [R/OL]. 2018-04-17. <http://mforesight.org/download/7729/>.
- [5] MFOresight. Manufacturing HEAs: Pathway to Industrial Competitiveness [R/OL]. 2018-09-01. <http://mforesight.org/download/8228/>.
- [6] EUROPA. Re-finding Industry: Defining Innovation [R/OL]. 2018-04-01. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/28e1c485-476a-11e8-be1d-01aa75ed71a1>.
- [7] Graphene Flagship. About Graphene Flagship [R/OL]. 2019-03-14. <http://graphene-flagship.eu/project/Pages/About-Graphene-Flagship.aspx>.
- [8] Europe Commission. ANNEXES to the Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council on Establishing the Specific Programme Implementing Horizon Europe—the Framework Programme for Research and Innovation [EB/OL]. 2018-06-07. [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/budget-may2018-horizon-europe-decision-annexes\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/budget-may2018-horizon-europe-decision-annexes_en.pdf).
- [9] Federal Government. Deutschlands Zukunftskompetenzen Stärken [EB/OL]. 2018-09-05. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2018/09/2018-09-05-hightech-strategie-2025.html>.
- Federal Government. Strengthening Germany's Future Competences [EB/OL]. 2018-09-05. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2018/09/2018-09-05-hightech-strategie-2025.html>.
- [10] 新华网. 德国推出《国家工业战略2030》[EB/OL]. 2019-02-05. [http://www.xinhuanet.com/world/2019-02/05/c\\_1124088361.htm](http://www.xinhuanet.com/world/2019-02/05/c_1124088361.htm).
- Xinhua Net. Germany Launches "National Industrial Strategy 2030" [EB/OL]. 2019-02-05. [http://www.xinhuanet.com/world/2019-02/05/c\\_1124088361.htm](http://www.xinhuanet.com/world/2019-02/05/c_1124088361.htm).
- [11] Nature. UK Budget Sees Boosts for Data Science, Graphene and Cell Therapy [EB/OL]. 2014-03-19. <http://blogs.nature.com/news/2014/03/uk-budget-sees-boosts-for-data-science-graphene-and-cell-therapy.html>.
- [12] METI. FY 2016 Measures to Promote Manufacturing Technology (White Paper on Manufacturing Industries) Released [R/OL]. 2017-06-06. [http://www.meti.go.jp/english/press/2017/0606\\_002.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2017/0606_002.html).
- [13] METI. FY 2017 Measures to Promote Manufacturing Technology (White Paper on Manufacturing Industries) Released [R/OL]. 2018-05-29. [http://www.meti.go.jp/english/press/2018/0529\\_001.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2018/0529_001.html).
- [14] 上海情报服务平台. 日本第五期科学技术基本计划解读 [EB/OL]. 2017-05-23. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=10534>.
- ISTIS. Interpretation of Japan's Fifth Science and Technology Basic Plan [EB/OL]. 2017-05-23. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=10534>.
- [15] Department of Energy. Department of Energy Announces \$30 Million for "Ultrafast" Science [EB/OL]. 2018-07-25. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-30-million-ultrafast-science>.
- [16] Department of Energy. Department of Energy to Provide \$24 Million for Computer-Based Materials Design [EB/OL]. 2018-11-27. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provide-24-million-computer-based-materials-design>.
- [17] Department of Energy. Department of Energy An-

- nounces \$21.6 Million for Computational Chemical Sciences Research [EB/OL]. 2018-09-19. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-216-million-computational-chemical-sciences-research>.
- [18] UK Research and Innovation. Michael the Super-computer Joins Battery Research Team [EB/OL]. 2018-11-08. <https://www.ukri.org/news/michael-the-supercomputer-joins-team-to-battery-research/>.
- [19] Harvard University. Speeding up Material Discovery [EB/OL]. 2018-05-10. <https://www.seas.harvard.edu/news/2018/04/speeding-up-material-discovery>.
- [20] University of Houston. New Algorithm can More Quickly Predict LED Materials [EB/OL]. 2018-10-22. <http://www.uh.edu/news-events/stories/2018/october-2018/10222018-brgoch-led.php>.
- [21] 东南大学. 东南大学团队研制出世界首例无金属钙钛矿型铁电体 [EB/OL]. 2018-07-13. <http://news.seu.edu.cn/2018/0713/c5486a232872/page.htm>. Southeast University. Southeast University Team Developed the World's First Metal-Free Perovskite Ferroelectric [EB/OL]. 2018-07-13. <http://news.seu.edu.cn/2018/0713/c5486a232872/page.htm>.
- [22] Sandia National Laboratories. Most Wear-Resistant Metal Alloy in the World Engineered at Sandia National Laboratories [EB/OL]. 2018-08-16. [https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news\\_releases/resistant\\_alloy/](https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news_releases/resistant_alloy/).
- [23] YIN Deqiang ,CHEN Chunlin ,SAITO Mitsuhiro , et al. Ceramic Phases with One-Dimensional Long-Range Order [J]. *Nature Materials* ,2019 , 18: 19-23.
- [24] SONG Jianwei ,CHEN Chaoji ,ZHU Shuze ,et al. Processing Bulk Natural Wood into a High-Performance Structural Material [J]. *Nature* ,2018 , 554: 224-228.
- [25] BANERJEE A ,BERNOULLI D ,ZHANG Hongti , et al. Ultralargeelastic Deformation of Nanoscale Diamond [J]. *Science* 2018 , 360: 300-302.
- [26] Toray. Toray Develops TORAYCA® MX Series Carbon Fiber with High Compressive Strength , High Tensile Modulus; to Introduce Prepreg [EB/OL]. 2018-11-19. <https://www.toray.com/news/carbon/detail.html?key=123AEEFBA9609410492583430009633B>.
- [27] LEI Zhifeng ,LIU Xiongjun ,WU Yuan ,et al. Enhanced Strength and Ductility in a High-Entropy Alloy via Order Edoxygen Complexes [J]. *Nature* , 2018 ,563: 546-550.
- [28] WANG Zechao ,TAVABI A H ,JIN Lei ,et al. Atomic Scale Imaging of Magnetic Circular Dichroism by Achromatic Electron Microscopy [J]. *Nature Materials* 2018 ,17: 221-225.
- [29] CAO Yuan ,FATEMI V ,FANG Shiang ,et al. Unconventional Superconductivity in Magic-Angle Graphene Superlattices [J]. *Nature* ,2018 ,556: 43-50.
- [30] WANG Dongfei ,KONG Lingyuan ,FAN Peng ,et al. Evidence for Majorana Bound States in an Iron-Based Superconductor [J]. *Science* ,2018 , 362: 333-335.
- [31] QIU Chenguang ,LIU Fei ,XU Lin ,et al. Dirac-Source Field-Effect Transistors as Energy-Efficient ,High-Performance Electronic Switches [J].

- Science 2018 361:387-392.
- [32] WANG Cheng ,ZHANG Mian ,CHEN Xi ,et al. Integrated Lithium Niobate Electro-Optic Modulators Operating at CMOS-Compatible Voltages [J]. Nature 2018 562: 101-104.
- [33] University of Alberta. Scientists Perfect Technique to Boost Capacity of Computer Storage a Thousand Fold [EB/OL]. 2018-07-23. <https://www.folio.ca/scientists-perfect-technique-to-boost-capacity-of-computer-storage-a-thousand-fold/>.
- [34] University of Southern California. 3-D Printed Active Metamaterials for Sound and Vibration Control [EB/OL]. 2018-04-26. <https://viterbischool.usc.edu/news/2018/04/3-d-printed-active-metamaterials-for-sound-and-vibration-control/>.
- [35] Carnegie Mellon University. Actuation Gives New Dimensions to an Old Material [EB/OL]. 2018-08-22. <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2018/august/paper-actuation.html>.
- [36] University of California ,Santa Cruz. 3D-Printed Supercapacitor Electrode Breaks Records in Lab Tests [EB/OL]. 2018-10-18. <https://news.ucsc.edu/2018/10/supercapacitors.html>.

## 量子技术 2.0 热点迁移动向分析

“量子技术 2.0”作为一项新技术,可用于准确控制量子状态、进行量子纠缠和量子干涉等量子力学特性的测量、通信和信息处理等,代表性研究方向有量子传感器、量子通信、量子密码、量子计算机和量子模拟器等。目前,美国、欧洲和中国政府都在扩大对量子技术 2.0 的研发投资,日本从 2018 年 12 月开始,将其作为“推动创新的三大领域”之一。

2019 年 4 月 9 日,日本科学技术振兴机构(Japan Science and Technology Agency, JST) 下属研究开发战略中心(CRDS) 发布《从全球专利地图看量子技术 2.0》调查报告,从专利角度分析了全球量子技术 2.0 的研发动向。报告将 1990 至 2018 年划分为 6 个时间窗,通过专利地图时序分析研究热点技术领域迁移动向。主要结论如下:

1) 1990 至 1994 年,早期研发集中在“超导量子干涉仪以及计算机和通信”“量子点元件(部分量子计算元件)”两个主题。1995 至 1999 年,“超导量子干涉仪以及计算机和通信”主题持续获得高密度的关注。

2) 2000 至 2004 年,量子计算机下属的技术分支“超导量子计算机”呈现高密度的技术集聚,同时“量子线路编译”“利用光子的偏振特性和光子的相位进行量子通信”开始显现。2005 至 2009 年,除了延续上一个五年期“量子计算机”“量子线路编译”“利用光子的偏振特性和光子的相位进行量子通信”“量子点元件”“超导量子干涉仪以及计算和通信”之外,“量子密匙”中也产生了大量专利文献。

3) 2010 至 2014 年,最显著的领域是“量子通信协议”“量子通信(量子数据流)”和“量子密钥”。2015 至 2018 年,虽然时间间隔较短,但各个计算领域公开的专利数量最多,以“量子密钥”为代表的“量子通信、量子密码”领域专利公开极为活跃,同时“量子计算机”下属的“量子运算装置”“量子线路编译”“超导集成电路”领域相关专利也十分密集。

王雯祎(四川大学) 编译自

<https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2018-RR-04.html>