



2019

先进制造与新材料动态监测快报

6月1日

第11期(总第321期)

重点推荐

科学作家眼中的材料基因组计划进展

美 GAO 发布制造业创新网络评估报告

欧发布关键原材料回收报告

名古屋大学首次制备出二维新材料：铅烯

目 录

专 题

科学作家眼中的材料基因组计划进展1

战略规划

美 GAO 发布制造业创新网络评估报告3

欧发布关键原材料回收报告4

项目资助

英 2800 万英镑投向电池产业化中心6

PowerAmerica 发布 4.1 版技术路线图7

研究进展

名古屋大学首次制备出二维新材料：铅烯8

美开发出可消除电子产品热量的纳米复合材料8

北大制备出分米级二维单晶六方氮化硼9

科学作家眼中的材料基因组计划进展

编者按：5月，美国国家标准与技术研究院（NIST）公共事务办公室的科学作家 Alison Gillespie 发表了一篇有关材料基因组计划的文章，从“非正式报告”的角度介绍了该计划的一些进展情况。本期专题将文中主要内容编译如下。

美国“材料基因组计划”（Materials Genome Initiative, MGI）自2011年启动，总的思路是将最强计算（包括人工智能和机器学习）与材料科学领域的最佳创意相结合，缩短新产品的开发时间，使美国在最高需求制造业和新兴技术市场更具竞争力。该计划非常认同的是，开发先进材料对于应对来自能源、超级计算、国家安全和医疗保健领域的挑战至关重要。

在起始阶段，当该计划一开始建立时，由于创建者正在构建其信息技术基础设施，因此进展缓慢。首先，必须找到可行的方法来收集有关材料的信息，然后存储和操控这些信息。计算能力必须满足创新者的需求。

该计划实施以来，一个早期成功案例来自冶金行业。造币厂要求美国国家标准与技术研究院（NIST）的科学家研究5美分硬币的新配方，这是由于全球对镍作为合金元素的需求日益增加，制造镍币的成本升到了7美分。NIST的研究人员没有从材料开始，围绕材料限制设计产品，而是根据造币厂提出的一系列需求，来设计满足产品需求的材料。利用已有的设施装备，研究人员仅用18个月设计出了不同类别的硬币材料，显著短于采用传统方法所需的3-5年时间。研究团队把相关数据提交给了材料创新设施，使得其他人员在将来可以更轻松地设计新的硬币材料。这正如新硬币项目负责人 Carelyn Campbell 所说，材料基因组计划的一个重要目标就是使材料数据更易于获取和重复使用。

除了众人熟知的材料，该计划也鼓励新型（新兴）材料所需的基础研究。以石墨烯为例。2018年1月，该计划资助的NIST团队研究发现，通过模拟石墨烯薄片熔化，如果加热至1600K（约1327℃）以上，石墨烯将转变成粘液态，并像纸一样皱折，冷却成玻璃态后变成“泡沫状”。这些特质使石墨烯可成为高温下的优异润滑材料，并在室温下可作为过滤材料。此外，该材料抑或是一种强大的灭火剂。¹ 这些信息可能对世界上急需在制造过程中使用石墨烯的其他人非常有帮助。

由NIST资助、位于芝加哥的先进材料卓越研究机构——分级材料设计中心（Center for Hierarchical Materials Design, CHiMaD）汇集了众多专注于材料基因组

¹ Wenjie Xia, Fernando Vargas-Lara, Sinan Ketten, *et al.* Structure and Dynamics of a Graphene Melt. *ACS Nano*. 2018, 12(6): 5427-5435.

计划目标的行业合作伙伴和顾问，涉及结构工程、半导体、软件与 IT 服务、化学工程和糖果制造等。迄今为止，该中心已与 300 多名本科生、毕业生、博士后研究人员和专业人士合作，教导他们探索新材料，并分享在公共和私营部门与他人学到的知识，以推动未来整个材料领域的发展。

NIST 数据存储与检索专家 Bob Hanisch 指出，当前有很多机器学习方法可供选择，但是有很多陷阱。如果没有相关背景，任何类型的机器学习算法的结果都将是徒劳。可以根据材料的性质和性能来标记材料微结构的图像，然后进行编目。一段时间后，特定的机器学习系统将开始检测样品。但这只是数据收集工作。机器学习算法对物质世界一无所知，需要有输入系统的背景信息。此外，为克服不同研究人员使用不同术语描述相同主题、过程和材料组分的弊端，NIST 开发了基于 web 的材料资源注册表，想要提交数据的人员必须使用 Hanisch 及其团队开发的列表中的预定义词汇表。

在数据库开发方面，2018 年，一支由 NIST、能源部 SLAC 国家加速器实验室、美国西北大学和硅谷企业 Citrine Informatics 组成的联合团队宣布，利用机器学习技术找到了一条发现和改进金属玻璃的捷径，所耗费时间和成本只是先前估算的很少一部分。在过去 50 年里，人们发现了约 6000 种可形成金属玻璃的不同材料组合；而通过机器学习，材料基因组计划资助的该团队仅一年时间就能够筛选出逾 20000 种可用于制备玻璃的金属。²

NIST 的材料基因组计划负责人 Jim Warren 说，该计划每年可为美国经济带来 1230 亿-2700 亿美元的资金。一旦基础设施建好，各种新的商业模式将会涌现。这对于材料领域的发展来说是一件好事。

万 勇 编译自[2019-05-22]

Materials by Design

Cooking Up Innovations with the Materials Genome Initiative

<https://www.nist.gov/featured-stories/materials-design>

² Fang Ren1, Logan Ward, Travis Williams, *et al.* Accelerated discovery of metallic glasses through iteration of machine learning and high-throughput experiments. *Science Advances*. 2018, 4(4): eaaq1566.

美 GAO 发布制造业创新网络评估报告

5月，依照《复兴美国制造业和创新法案》，美国政府问责办公室（GAO）向国会递交了美国国家制造业创新网络（NNMI，现名为 Manufacturing USA）第二期评估报告。报告认为目前该计划运行情况良好，但存在缺乏可衡量的短期目标及时间表、绩效评估尚未瞄准预设目标、尚未制定评估标准以研究在没有联邦资助的情况下研究所能否实现可持续发展等问题。针对上述问题，GAO 提出了数条针对性建议。报告最后附上商务部、能源部及国防部对 GAO 建议的回应。

一、国家制造业创新网络现状

目前，该网络由 14 家制造业创新研究所组成，这些研究所在最初 5-7 年间得到了联邦政府资金支持，主要职能包括：开展或资助竞争前应用研究和开发项目，减少与新型制造技术相关的时间、成本和技术不确定性；制定和实施教育、培训和劳动力招聘课程、材料和计划；开发供应链整合的创新方法和实践；与各类制造商展开合作等。

研究所成员数量快速增长，2016-2018 年，成员数量分别达到 830 家、1291 家和 1826 家，总共为超过 20 万名学生提供了教育服务，超过 7500 人完成了劳动力证书、学徒或培训计划。研究所还支持开发具有广阔前景的技术所需最先进设施，大幅降低成员获得先进设施服务所需门槛。如下一代电力电子制造业创新研究所（PowerAmerica）为得克萨斯代工厂提供资金并安装设备，形成了碳化硅器件检测和加工能力，帮助十几家成员在内的多家公司在该工厂处理碳化硅器件。来自成员组织的代表表示，他们从参与该网络中受益。

二、问题与建议

问题一：先进制造国家计划办公室、商务部、国防部和能源部已制定长期目标和一系列初步性能指标以评估该网络进展情况，但长期目标没有给出时间表，且没有可衡量的短期目标以评估研究所在执行长期目标时的短期进展情况。

建议：商务部国家标准与技术研究院与国防部、能源部等机构合作，制定并实施全国统一的该网络绩效目标，并制定可衡量的短期目标和时间表。

问题二：先进制造国家计划办公室、商务部、国防部和能源部尚未将该网络绩效评估瞄准预设目标。例如预设目标是提升美国制造业竞争力、促进创新技术转移、提升研究所可持续能力等，而现行评估指标是研究所成员数、项目数及投资金额等。

建议：国家标准与技术研究院与国防部、能源部等机构合作，确保绩效评估瞄准该网络战略目标、项目目标、绩效目标以及《复兴美国制造业和创新法案》设

定的目标。

问题三：《复兴美国制造业和创新法案》禁止商务部在资助期五年之后继续向研究所提供资助，但国防部和能源部对研究所的资助并非来自《复兴美国制造业和创新法案》，因而能源部在考虑继续资助的选项，而国防部表示将在期满后给予适当资助。目前商务部、国防部和能源部已支持研究所开发可持续发展规划，但尚未制定标准以评估研究所能否在没有联邦政府资助的情况下维持运营。

建议：制定相关评估标准，如需额外联邦资助，商务部应制定修订《复兴美国制造业和创新法案》相关条款的提案。

三、联邦政府部门对 GAO 建议的回应

商务部大体同意 GAO 的建议。但是在执行进程上提出了自己的建议。在等待研究所可持续性评估结果出来之前，“考虑制定”而非“制定”立法提案，修改《复兴美国制造业和创新法案》相关条款。此外，商务部表示，自己没有得到法律授权以管理国防部、能源部资助的研究所，因此国家标准与技术研究院资助的研究所实际上无法与能源部和国防部资助的研究所采取统一的评估标准。

能源部同意 GAO 的建议。将与能源部资助的研究所合作，更新研究所可持续发展计划，并制定标准和指标以评估研究所在可持续发展方面的进展。

国防部部分同意 GAO 建议。但认为“研究在没有联邦资助情况下，研究所能否维持运营”这条建议没有考虑到国防部应该考虑的所有因素。国防部为研究所提供长期资助有自身长远战略的考虑，例如保护关键技术、将先进制造技术转移到国防工业基地、支持先进制造教育和劳动力活动等。国防部进一步表示，对研究所可持续性评估应侧重于成果产出和过渡到可持续业务模式的进程，并通过绩效指标证明研究所能够有效、高效地运作。

黄 健 编译自[2019-05-23]

ADVANCED MANUFACTURING: Innovation Institutes Have Demonstrated Initial Accomplishments, but Challenges Remain in Measuring Performance and Ensuring Sustainability

<https://www.gao.gov/products/GAO-19-409>

欧发布关键原材料回收报告

5 月，欧盟联合研究中心（Joint Research Center, JRC）发布了题为《从矿山废物和填埋场回收关键原材料》（*Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills*）的政策报告。报告介绍了循环经济行动计划的第 39 项行动：“从矿山废物和填埋场回收关键原料的最佳实践分享”（*Sharing of best practice for the recovery of critical raw materials from mining waste and landfills*）。该报告以 2018 年召

开的“矿山废物再开采”和“强化填埋场开采”两场研讨会期间的讨论为基础，汇集了6个现有关键原材料的回收实践案例，突出强调了技术创新的贡献。

欧洲工业对关键原材料价值链的覆盖并不完全，也不均衡，上游产业（采矿）和下游产业（制造和应用）之间存在明显的不平衡。由于关键原材料二次来源的供应非常有限，因此需要关注一次来源，包括矿石、浓缩、加工或精炼材料。欧洲大部分一次原材料的生产和供应主要来自非欧洲国家（下图）。中国是欧洲关键原材料的主要全球供应商，美国（铍和氦）、俄罗斯（钯）和刚果（钴）等也是重要全球供应商。只有钨来自唯一一个欧盟成员国（法国）的供应商。欧盟在很多关键原材料价值链方面缺乏上游产业，因此，向循环经济的转型对欧盟发展可持续、低碳、资源高效和有竞争力的经济至关重要。

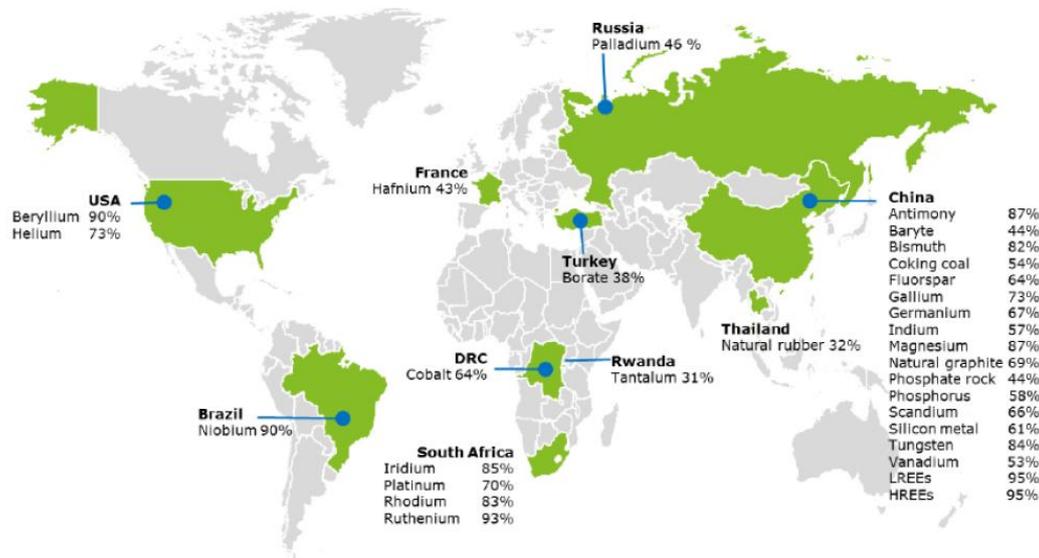


图 关键原材料主要全球供应商对欧洲需求的贡献（2010-2014 年平均水平）

报告表明，现阶段从填埋场和提取废物中回收关键原材料在欧洲并没有被广泛采用。但有一些值得关注的例子，这些例子不仅显示出潜力，更显示出技术的可用性和高度创新。目前面临的瓶颈主要包括知识基础的普遍缺乏、尚未优化的体制条件等。从采矿和工业废料中回收关键原材料的技术更为先进，在可持续和安全供应方面具有非常大的潜力，而从填埋场回收较为欠缺，关键原材料的回收前景较差。与欧盟其他倡议的合作以及现有二次原材料数据库的升级将能够巩固必要的知识基础，促进欧盟层面的复苏。

冯瑞华 编译自[2019-05-06]

Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills

<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/recovery-critical-and-other-raw-materials-mining-waste-and-landfills>

【快报延伸】

美国国际贸易委员会数据显示，2018 年中美矿产贸易额近 9200 万美元。据美国咨询公司 Adamas Intelligence，目前世界稀土加工业 85% 的产能在中国，澳大利亚企业 Lynas 占 11%。尽管法国、爱沙尼亚和日本也向美国出口经过加工的稀土产品，但他们的原料大都来自中国。考虑到加工开采对环境的破坏，以及高昂的环保成本，美国唯一的稀土矿——芒廷山口稀土矿也将矿石运到中国进行加工。当前，中美贸易战仍在延续，习近平主席今年 5 月视察江西稀土企业引发了国外一些猜想并采取了一些行动。如美国国防部已把目光转向非洲，寻找更多稀土供应来源，以减少对中国的依赖。

根据我们的动态情报监测，欧美一直很重视战略性矿产资源，都发布过一系列的战略研究报告，如欧盟委员会《关键原材料清单 2017》、美国地质调查局《美国关键矿产资源——经济和环境地质学及未来供应前景》（2017）和美国能源部《关键材料战略》（2012）等。

项目资助

英 2800 万英镑投向电池产业化中心

5 月，英国商业、能源与工业战略部宣布，将向电池产业化中心（Battery Industrialisation Centre）投资 2800 万英镑（约合人民币 2.5 亿元），为新型电池技术提供世界领先的测试设施，以迎合在英国建厂的各大车企的需求（如捷豹路虎和日产等）。除此以外，提供实践培训也是该投资的重要目的。

该中心将位于英格兰中部的考文垂，本次投资是一系列投资的第一步，未来总投资额度约为 8000 万英镑（约合人民币 7 亿元）。

黄健 编译自[2019-05-16]

New boost for UK ambition to lead the world in zero emissions vehicles

<https://www.gov.uk/government/news/new-boost-for-uk-ambition-to-lead-the-world-in-zero-emissions-vehicles>

PowerAmerica 发布 4.1 版技术路线图

5 月，美国国家制造业创新网络 Manufacturing USA 框架下的下一代电力电子制造业创新研究所（PowerAmerica）发布了 4.1 版技术路线图。路线图概述了 SiC 和 GaN 功率电子器件的关键市场和应用领域，竞争性 SiC 和 GaN 技术的性能目标，实现这些目标的技术障碍，以及克服这些障碍所需的 PowerAmerica 举措等。

在过去数年中，SiC 和 GaN 器件的价格一直在迅速下降，这有助于推动其快速大规模推广。如 SiC 金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）价格在 2012 年至 2015 年间下降了 50%。这种不断增长的成本竞争力已经帮助 SiC 在一些应用（如混合动力汽车）中开始驱逐硅基器件，并且已经能够大规模生产基于 GaN 的终端产品（主要应用于服务器和电信整流器电源）。此外，制造商拥有数万亿小时的现场设备经验，以解决任何可能抑制增长的可靠性问题。IHS Markit 一项研究³表明，到 2027 年，每年 SiC 市场规模将达到 100 亿美元，其中混合动力汽车和电动汽车占销售额的绝大部分。GaN 市场规模预计将达到 17 亿美元，其中电力供应、混合动力和电动汽车以及军事和航空航天应用占据最大份额。相比之下，2015 年 SiC 和 GaN 组合的收入仅为 2.1 亿美元。

PowerAmerica 的职责是促进行业、学术界和国家实验室之间的协调，以实施路线图中确定的优先活动，并在技术开发、劳动力培训和宽禁带半导体（WBG）制造方面进行战略投资。以下是 5 年路线图战略中的行动摘要。①降低成本：降低 WBG 设备和电源模块成本；支持垂直整合制造；支持并推广大规模 WBG 应用；建立 SiC 和 GaN 开放式代工厂，以扩展到大批量生产。②提高质量和可靠性：建立系统级 WBG 功率电子器件可靠性研究，并研究器件、模块或系统的退化/故障机制；开发可靠性数据的开放数据库；开发 WBG 功率电子器件 AECQ 或 JEDEC 测试标准；为 WBG 功率电子器件设定专用标准。③提高性能：展示 WBG 功率器件的系统级优势；支持行业主导项目的商业化途径；推广参考设计、高级门驱动器和模块，并应用于高级外部设备。④强化功率电子生态系统：继续开发器件库，以便快速访问 SiC 和 GaN 器件；继续为不同级别利益相关者提供沟通机制；培训 WBG 功率电子器件人才队伍；持续关注基本核心技术、最先进的互补技术和长期应用，以明确具有广阔前景的机会。

黄健 编译自[2019-05-23]

PowerAmerica Updates Wide Bandgap Technology Roadmap

<https://poweramericainstitute.org/news/poweramerica-updates-wide-bandgap-technology-roadmap/>

³ Richard Eden. Market for GaN and SiC power semiconductors to top \$10 billion in 2027. <https://technology.ihs.com/602187/market-for-gan-and-sic-power-semiconductors-to-top-10-billion-in-2027>

名古屋大学首次制备出二维新材料：铅烯

由于铅的电子轨道结构及其产生的较大带隙，使其有望成为一类新的坚固耐用的二维拓扑绝缘体。在这种绝缘体中，量子自旋霍尔效应甚至有可能在高于室温的环境下发生。



上：钡铅合金电镜照片；
下：北京“水立方”图片。

日本名古屋大学 Junji Yuhara 教授率领的研究团队在世界上首次将纯理论性的铅基二维蜂窝状材料铅烯（plumbene）成为现实。

研究人员在钡上退火处理超薄的铅薄膜，制备得到具有二维蜂窝状结构的铅烯，并在铅烯下面生成了类似“威尔-费伦”结构（Weaire-Phelan，把空间分割成体积相等的单元，使其之间接触面的表面积总和最小）的钡铅合金薄膜。我国国家游泳中心“水立方”

的设计灵感即来源于该结构。

相关研究工作发表在 *Adv. Mater.*（文章标题：Graphene's Latest Cousin: Plumbene Epitaxial Growth on a “Nano WaterCube”）。

王 轩 编译自[2019-05-21]

Quest for the "Holy Grail": Plumbene, Graphene's Latest Cousin, Realized on the "Nano Water Cube"
<http://en.nagoya-u.ac.jp/research/activities/news/2019/05/quest-for-the-holy-grail-plumbene-graphenes-latest-cousin-realized-on-the-nano-watercube.html>

美开发出可消除电子产品热量的纳米复合材料

美国莱斯大学 Pulickel Ajayan 领导的研究团队开发出一维聚合物纳米纤维和二维氮化硼纳米片的纳米复合材料，有望成为柔性电子、储能和电子设备所需的优质高温介电材料。

陶瓷是一种非常好的电介质，但它具有机械脆性；聚合物是一种具有良好机械性能的电介质，但其耐热性非常低；氮化硼是一种电绝缘体，但可以很好地散热。一维聚合物纳米纤维可增强自组装材料的性能，二维氮化硼纳米片可提供导热网络，能够散发普通电介质、电池极化绝缘体和其他正负极分离装置中的热量。新纳米复合材料是一种机械特性、热和化学性能非常稳定的材料。12-15 μm 厚的材料作为散热片，可承受高达 250 $^{\circ}\text{C}$ 的温度。实验表明，聚合物纳米纤维-氮化硼复合材料散热效果是单一聚合物的四倍。

单层聚芳酰胺纳米纤维通过范德华力与少量氮化硼薄片结合，其重量占最终产

品的 10%的。薄片的密度足够形成一个散热网络，仍然允许复合材料保持其柔韧性，甚至可折叠性，同时保持其坚固性。研究人员称多层聚酰胺和氮化硼可以使材料更厚，同时仍然保持柔韧性。该新型散热材料未来有望融入制造业。

相关研究进展发表在 *Adv. Func. Mater.* (文章标题: Fiber Reinforced Layered Dielectric Nanocomposite)。

冯瑞华 编译自[2019-05-16]

New way to beat the heat in electronics

<http://news.rice.edu/2019/05/16/new-way-to-beat-the-heat-in-electronics-2/>

北大制备出分米级二维单晶六方氮化硼

二维材料作为一种重要的量子材料，兼具极限尺寸的物理厚度、完美的表界面、优异的物理性质，且体系丰富，包含导体（如石墨烯）、半导体（如过渡金属硫族化合物、黑磷）和绝缘体（如六方氮化硼），是潜在变革性技术应用所需要的核心基础材料。规模化的高端器件应用必须基于大面积、高品质的单晶材料，因此二维单晶材料的制备研究具有重要的科学意义和技术价值。

北京大学刘开辉研究员率领的研究团队与合作者利用中心反演对称性破缺的单晶铜衬底，首次实现分米级二维单晶六方氮化硼（hBN）的外延制备。该生长机制具有普适性，可推广到其他二维材料大面积单晶的制备。

研究人员利用特殊的退火工艺将工业多晶铜箔转化为仅有 C1 对称性的 Cu(110) 小角度倾斜晶面，该晶面上具有独特的 Cu<211>台阶。利用六方氮化硼晶畴中，硼型和氮型锯齿形边界与 Cu<211>台阶耦合强度的差异，打破正向与反向（180°转角）六方氮化硼晶畴的能量简并，从而实现取向单一的晶畴生长并无缝拼接为二维单晶薄膜。

相关研究工作发表在 *Nature* (文章标题: Epitaxial growth of a 100-square-centimetre single-crystal hexagonal boron nitride monolayer on copper)。

(王 轩)

中国科学院武汉文献情报中心 先进制造与新材料情报研究

跟踪和研究本领域国际重大的科技战略与规划、科技计划与预算、研发热点与应用动态以及重要科研评估分析等。近年来，公开出版发行了《材料发展报告》（科学出版社 2014）、《材料发展报告——新型与前沿材料》（科学出版社 2014）、《纳米》（科学普及出版社 2013）和《新材料》（科学普及出版社 2015）等著作；团队撰写的《美欧中“材料基因组”研究计划分析及建议》《美国报告认为全球制造业成本竞争力发生变革性转变》《韩国宣布一揽子计划推动创新经济》《美国支持创客运动一系列举措概览》等稿件获得了党和国家领导人批示。

研究内容		代表产品
战略规划研究	开展科技政策与科研管理、发展战略与规划研究等相关服务，为科技决策机构和管理部门提供信息支撑。	宁波新材料科技城产业发展战略规划（中国工程院咨询项目） 中国科学院稀土政策与规划战略研究 国家能源材料发展指南（国家能源局项目） 发达国家/地区重大研究计划调研 领域科技战略参考
领域态势分析	开展材料、制造、化工等领域或专题的发展动态调研与跟踪、发展趋势研究和分析，提供情报支撑。	稀土功能材料 微机电系统 微纳制造 高性能碳纤维 高性能钢铁 计算材料与工程 仿生机器人 海洋涂料 二维半导体材料 石墨烯防腐涂料等国际发展态势分析（与其他工作集结公开出版历年《国际科学技术前沿报告》）
科学计量研究	开展材料、制造、化工等领域专利、文献等的计量研究，分析相关行业的现状及发展趋势，为部门决策与企业发展提供参考。	服务机器人专利分析 石墨烯知识产权态势分析 临时键合材料专利分析 超导材料专利分析报告

地 址：湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号（430071）

联系人：黄健 万勇

电 话：027-8719 9180

传 真：027-8719 9202