

关键基础材料

一、关键基础材料的内涵及构成

关键基础材料是指先进工业制成品自身及其生产过程中所使用的支撑和关键材料，是先进制造业发展的基础。其中包括：①先进制造业中应用量大面广，但仍存在问题的材料；②影响经济安全和国防安全，必须自主研发的材料；③引领先进制造业未来发展，需要提前布局的前沿新材料。本文中关键基础材料涵盖了电子信息材料、新能源材料、关键化工新材料、建筑新材料、重大和高端装备用钢铁材料、高性能有色及稀有金属材料、无机非金属材料、特种纤维材料、生物医用和制药材料等（图1）。

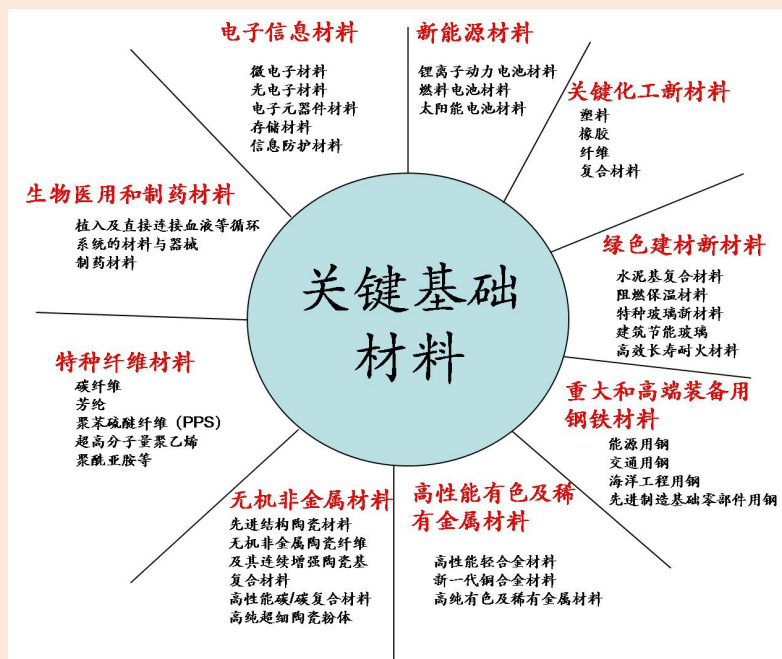


图1 本文所述的关键基础材料范畴

二、近期国外关键基础材料发展概述

世界各国高度重视关键基础材料的研发与产业化

进入新世纪以来，世界各国对于关键基础材料产业的关注与重视达到了一个新的高度，纷纷制定相应的规划，在研发、市场、产业环境等不同层面出台政策，全面加强扶持力度，推动关键基础材料产业发展（图2）。迄今为止，二十多个发达国家和新兴国家制定了与材料相关的新兴产业发展战略，启动了100余项专门计划。美国于2009年、2011年和2015年三度发布《国家创新战略》，其核心理念是构筑“创新金字塔”，其中清洁能源、生物技术、纳米技术、空间技术、健康医疗、先进制造等国家优先发展领域都涉及关键基础材料。欧盟为实现经济复苏、消除发展痼疾、应对全球挑战，于2010年3月制定了《欧洲2020战略》，提出多个战略重点。2010年，德国政府发布《创意、创新、繁荣：德国高技术2020战略》。2011年12月，英国商业、创新与技能部发布了《促进增长的创新与研究战略》报告。日本2015年在《经济再兴战略》的基础上发布了《新增长战略》。巴西、印度、俄罗斯等新兴经济体采取重点赶超战略。韩国于2009年公布了《绿色增长国家战略及五年行动计划》和《新增长动力规划及发展战略》。各国还通过制定专项规划和行动计划，加大实施力度，支持材料重点领域优先发展。美、日、欧等国家和地区还分别推出了《“智慧地球”计划》、《大数据研究与开发计划》、《欧盟物联网战略研究路线图》、《数字英国》、《数字日本创新计划》等专项实施计划。巴西、印度、俄罗斯等新兴经济体则采取重点赶超战略，在新能源材料、节能环保材料、纳米材料、生物材料、医疗和健康材料、信息材料

等领域制定专门规划，力图在未来国际竞争中抢占一席之地。上述规划都将关键基础材料作为发展产业的重要环节列为重点发展方向和发展领域，并以此作为新一轮工业革命的重要支撑（表 1）。

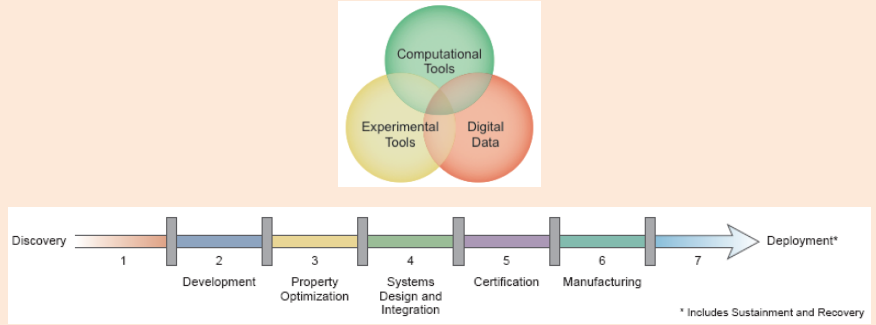


图 2 材料基因组技术三要素^[1]

表 1 国外材料发展战略与计划^[2]

国家	重点领域	相关战略、计划
美国	新能源材料、生物与医药材料、环保材料、纳米材料，先进制造、新一代信息与网络技术和电动汽车相关材料	先进制造业国家战略计划、重整美国制造业政策框架、先进制造伙伴计划（AMP）、纳米技术签名倡议、国家生物经济蓝图、电动汽车国家创新计划（EV Everywhere）、“智慧地球”计划、大数据研究与开发计划、下一代照明计划（NGLI）、固态照明研究与发展计划、国家制造创新网络战略计划
欧盟	低碳产业相关材料、信息技术（重点是物联网）相关材料、生物材料等	欧盟能源技术战略计划、能源 2020 战略、物联网战略研究路线图、欧洲 2020 战略、为可持续增长创新：欧洲生物经济、“地平线 2020”计划、彩虹计划、OLED100.EU 计划
英国	低碳产业相关材料、高附加值制造业相关材料、生物材料、海洋用相关材料等	低碳转换计划、英国可再生能源发展路线图、技术与创新中心计划、海洋产业增长战略、合成生物学路线图
德国	可再生能源材料、生物材料、电动汽车相关材料等	能源战略 2050：清洁、可靠和经济的能源系统、高科技战略行动 2020、生物经济 2030 国家研究战略、国家电动汽车发展规划
法国	可再生能源材料、环保材料、信息材料、环保汽车相关材料等	环保改革路线图、未来十年投资计划、互联网：展望 2030 年

续表

国家	重点领域	相关战略、计划
日本	新能源材料、节能环保材料、信息材料、新型汽车相关材料等	新增长策略、新国家能源战略、能源基本计划、创建最尖端 IT 国家宣言、下一代汽车计划、海洋基本计划、创新 2025 计划
韩国	可再生能源材料、信息材料、纳米材料等	新增长动力规划及发展战略、核能振兴综合计划、IT 韩国未来战略、国家融合技术发展基本计划、第三次科学技术基本计划、21 世纪光计划
俄罗斯	新能源材料、节能环保材料、纳米材料、生物材料、医疗和健康材料、信息材料等	2030 年前能源战略、2020 年前科技发展、国家能源发展规划、到 2020 年生物技术发展综合计划、2018 年前信息技术产业发展规划、2025 年前国家电子及无线电电子工业发展专项计划、2030 年前科学技术发展优先方向
巴西	新能源材料，环保汽车、民用航空、现代生物农业等相关材料	低碳战略计划、2012-2015 年国家科技与创新战略、科技创新行动计划
印度	新能源材料、生物材料等	气候变化国家行动计划、国家太阳能计划、“十二五”规划（2012-2017 年）、“2013 科学、技术与创新政策”
南非	新能源材料、生物制药材料、航空航天相关材料等	国家战略规划绿皮书、新工业政策行动计划、2030 发展规划、综合资源规划

■ 高新技术发展促使关键基础材料不断更新换代

高新技术的突破，加快了技术向生产力的转化速度，同时也对关键基础材料提出新的挑战和需求。例如，随着微电子芯片集成度及信息处理速度大幅提高，特征线宽不断减小，对大直径硅材料的缺陷、几何参数、颗粒、杂质含量等参数要求更加苛刻。目前，12 英寸硅片可满足 14nm 技术节点的集成电路要求（各尺寸硅材料的消耗量（如图 3），18 英寸硅片已产出样片。此外， A_2B_7 型稀土储氢合金已经实现工程化，并将 AA 电池的容量提高到

2700mAh^[3]。低温共烧陶瓷技术（LTCC）的研究开发取得重要突破，大量无源电子元件整合于同一基板内已成为可能^[4]。伴随着先进材料研究技术的不断延展，也产生了诸多新兴产业。如氮化镓等化合物半导体材料的发展，催生了半导体照明技术；白光 LED（半导体发光二极管）的光效已达 276 lm/W（流明/瓦），远远超过白炽灯（15lm/W）和荧光灯（80lm/W），给照明工业带来革命性的变化。太阳能电池转换效率不断提高，其中晶体硅电池达到 23%，薄膜电池（a-Si，CdTe，CIGS）接近 20%，有机和染料敏化电池约 13%，极大地推动了新能源产业的发展。镁合金与钛合金等高性能结构材料的加工技术取得突破，成本不断降低，研究与应用重点由航空、航天以及军工扩展到高附加值民用领域，给汽车、电子等行业的发展带来了变革。生物医用材料的发展为世界范围内的患者带来福音，心血管系统修复材料和器械的使用和医疗技术的进步，使心脏病死亡率大幅下降；基于分子和基因等临床诊断材料和器械的发展，使肝癌等重大疾病得以早日发现和治疗；介入器械的研发则催生了微创和介入治疗技术^[5]。

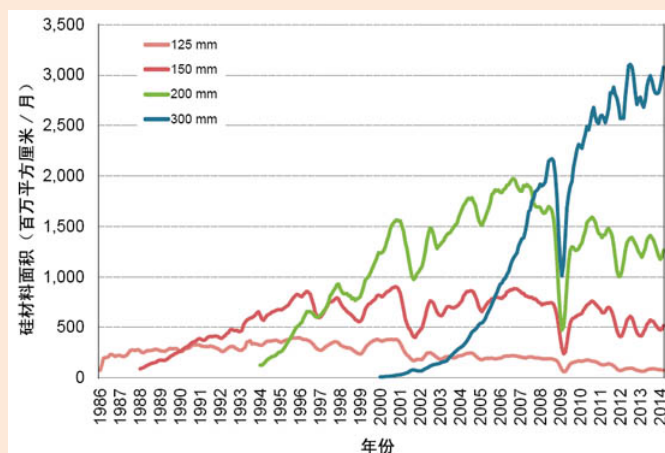


图 3 全球硅材料尺寸和产量的演化历史

绿色、低碳成为关键基础材料发展的重要趋势

为应对气候变化、资源短缺、生态恶化、重大疾病、粮食安全等全球共同的挑战，世界各国加速了关键基础材料的发展进程，并以绿色、低碳技术推动产业化，在追求经济指标的同时更加强调资源节约、环境保护、公共健康等社会目标，借此带动新一轮经济转型。以新能源为代表的新兴产业崛起，引起电力、IT、建筑业、汽车业、通讯行业等多个产业的重大变革，拉动上游产业如风机制造、光伏组件、多晶硅等一系列制造业和资源加工业的发展，促进智能电网、电动汽车等输送与终端产品的开发和生产。欧美等发达国家已经通过立法要求使用 LOW-E 等节能玻璃，大力促进节能建筑和光伏发电建筑的发展，目前在欧洲 80%的中空玻璃使用 LOW-E 玻璃，美国 LOW-E 中空玻璃普及率达 82%^[6]。通过提高新型结构材料强韧性、提高温度适应性、延长寿命以及材料的复合化设计来降低成本、提高质量，如 T800 碳纤维抗压缩强度（CAI）达到 350MPa，使用温度达到 400℃以上并在大型飞机和导弹的主结构件中得到大量应用，减重超过 25%。功能材料向微型化、多功能化、模块集成化、智能化等方向发展以提升材料的性能，如纳米技术与先进制造技术的融合将产生体积更小、集成度更高、更加智能化、功能更优异、环境更友好的器件和系统。

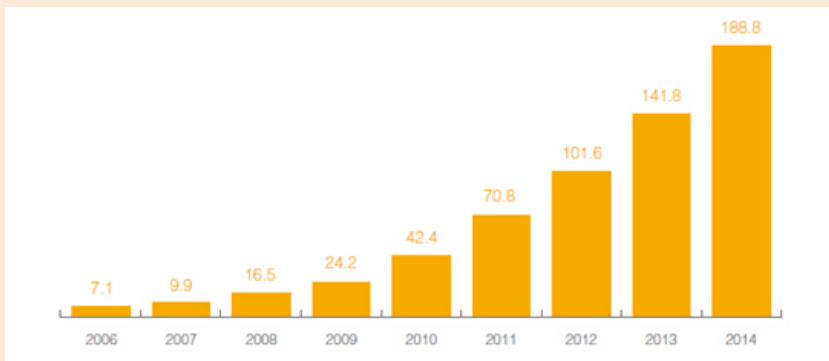


图 4 2006-2014 年全球光伏累计装机容量(GW)^[7]



跨国集团在关键基础材料产业中占据主导地位

融入了当代众多学科先进成果的关键基础材料产业在新一轮科技革命和产业变革中扮演着重要角色，对于发展其他各类高技术产业具有支撑乃至先导作用。目前，世界著名跨国企业集团凭借其技术研发、资金和人才等优势不断向关键基础材料领域拓展，在高附加值材料产品中占据主导地位。信越、瓦克、SUMCO、SunEdison 等占据了国际半导体硅材料市场销售额的 80% 以上。半绝缘砷化镓市场 90% 以上被日本的日立电工、住友电工、三菱化学和德国 FCM 分享。Dow Corning 公司、GE 公司、Wacker 公司和 Rhone—Poulenc 公司及日本一些公司基本控制了全球有机硅材料市场。Du Pont、Daikin、DN—Hoechst、3M、Ausimont、ATo 和 ICI 等 7 家公司拥有全球 90% 的有机氟材料生产能力。美国科锐（Cree）公司使用碳化硅衬底制备氮化镓基 LED 芯片的技术具有很强市场竞争力（图 5）。小丝束碳纤维的制造基本被日本的东丽纤维公司、东邦公司、三菱公司和美国的 Hexel 公司所垄断，而大丝束碳纤维则几乎由美国的 Fortafil 公司、Zoltek 公司、Aldila 公司和德国的 SGL 公司四家所垄断。美铝、德铝、法铝等世界先进企业在高强高韧铝合金材料的研制生产领域占据世界主导地位。美国的 Timet、RMI 和 Allegen Teledyne 等三大钛生产企业的总产量占美国钛加工总量的 90%，是世界航空级钛材的主要供应商。

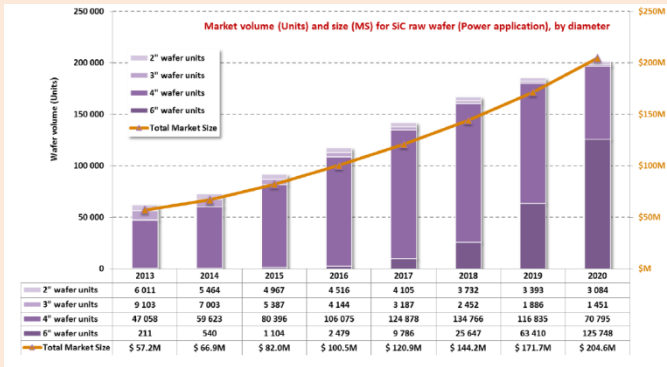


图 5 SiC 材料国际市场预测及产能分布

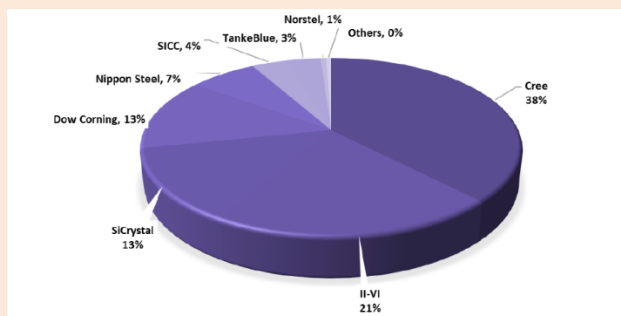


图 5 SiC 材料国际市场预测及产能分布（续）

三、我国关键基础材料发展现状

■ 前沿技术不断突破，核心竞争力显著增强

提高自主创新能力、加强核心技术突破是推进工业强基、提高竞争力的关键环节。经过近二十年的发展，通过产学研用结合，我国关键基础材料的一批核心技术取得了突破，部分成果在相关领域进行了推广应用，显著提高了各应用领域的核心竞争力。大直径硅材料在缺陷、几何参数、颗粒、杂质等控制技术方面不断完善，300mm 硅材料可满足 65nm 技术节点的集成电路要求，无位错 450mm 硅单晶材料已成功制成。人工晶体材料经过多年的发展，BBO 和 LBO 等紫外非线性光学晶体研究居国际领先水平并实现了商品化（图 6），KBBF 是国际上唯一可实用的深紫外非线性光学晶体，并在我国首先成功装备先进的科学仪器，Nd:YAG、Nd:GGG 和 Nd:YVO₄ 等激光晶体主要技术指标达到国际先进水平，实现了千瓦级全固态激光输出^[8]。锂离子电池正极材料、负极材料、电解液均能满足小型电池要求，隔膜、电解质锂

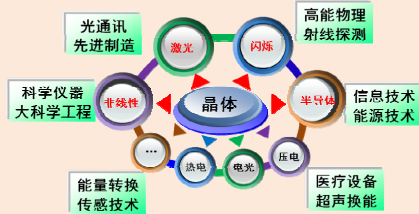


图 6 人工晶体的应用

盐等关键材料基本改变了依靠进口的局面。通过开展超高分子量聚乙烯纤维、卤化丁基橡胶以及高性能驱油聚合物等工业化技术开发，缩小了我国化工材料产业和国外发达国家的差距。自主开发了 G3 镍基油井管、镍基 690U 形管、Super304H、HRC3 耐热钢等关键钢铁材料，填补了国内空白。大型钛合金铸锭和锻件研制生

产取得明显进展，钛合金材料研制、大规格钛合金材料加工等方面技术水平显著提高；C194、KFC、C7025 电子引线框架铜带实现产业化关键技术突破，达到万吨级生产规模。T300 级碳纤维实现了稳定生产，单线产能提高到 1200 吨，T700 级高性能碳纤维突破干喷湿法纺丝工艺，关键装备实现了自主设计和应用，大幅降低了生产成本；玄武岩纤维、聚苯硫醚纤维等产品性能达到国际先进水平。

材料升级换代加速，与国家重大工程结合紧密

随着环境保护和绿色低碳要求的进一步提高，我国逐步改变高投入、高消耗、高污染、低效益的传统模式，在提高资源能源利用效率、降低制造过程中的环境污染方面做出了不懈努力。产业转型升级过程中关键基础材料的产品结构得到调整，绿色环保材料的开发与应用力度不断加大。铝、钛、镁等轻质结构材料的使用和推广对能源、资源、环境的作用日益突出，自主研发的新型阴极结构高效节能铝电解槽，大幅度降低了电解铝的能耗，为节约能源作出了突出贡献。攻克了特殊钢专业化生产线共性关键技术问题，形成了先进的生产工艺流程，单位生产能耗大幅降低。实现了碳纤维复合材料在

航空领域的应用，有效减轻了装备重量，降低油耗和排放，节约了运营成本。发展了废旧纺织品、塑料等回收与资源化体系，调整化纤再生与循环产业结构与原料构成，大幅度提高优质产能与再生纺织品比例，科学推进再生与循环技术创新，建立了高品质、多功能、低能耗为特征的新一代化纤循环产业体系。

关键基础材料产业对民生安居、新能源环保和新一代信息技术等重大工程的顺利实施做出了重大贡献。建材新材料产业已经形成自身发展与国家重大工程相结合的发展模式，为绿色建筑、建筑节能、旧城改造、安居工程、新农村建设、防灾减灾及灾后重建等重大工程提供了重要支撑。镍氢动力电池、锂离子动力电池和燃料电池等新能源材料的技术进步，促进了电动车的发展（图 7），产品在北京奥运会、上海世博会和“十城千辆”等电动汽车示范运行中得到应用，为发展新型能源、减少环境污染起到了良好的示范作用。微电子材料的技术进步有力支撑了“十二五”期间科技重大专项的顺利实施，对国内集成电路和信息产业的健康发展起到了推动作用。通过产学研用结合，攻克了若干技术难关，钢的强度不断提高、韧性和塑性有了显著改善，重大和高端装备用钢铁材料品种和质量控制有了长足进步，有力地支撑了国家重大工程和高端装备制造的发展。



图 7 中国汽车动力电池技术路线图

产业规模不断扩大，区域特色逐步显现

近年来，我国战略性新兴产业迅速发展，先进制造、新一代信息技术、生物医药、新能源等重点产业及其新业态逐步成长壮大。作为战略性新兴产业先导的新材料产业，2015 年产业规模超过 1.7 万亿元，同比增长 20%以上。稀土功能材料、先进储能材料、光伏材料、超硬材料、特种不锈钢、玻璃纤维及其复合材料等产能居世界前列。2014 年半导体硅材料产量达到 4 亿平方英寸，相比 2010 年增长 23%。半导体照明产业初步形成了从上游外延材料生长与芯片制造、中游器件封装及下游集成应用的比较完整的研发与产业体系，2014 年产业总体规模超过 3000 亿元，2015 年预计将超过 5000 亿元。2014 年特钢钢材产量 1.15 亿吨，同比增长 2.2%（图 8）。2014 年有色金属加工产业规模增长迅速，铝材、铜材产量分别达到 4846 万吨和 1784 万吨，同比增长 13.3%和 18.6%。

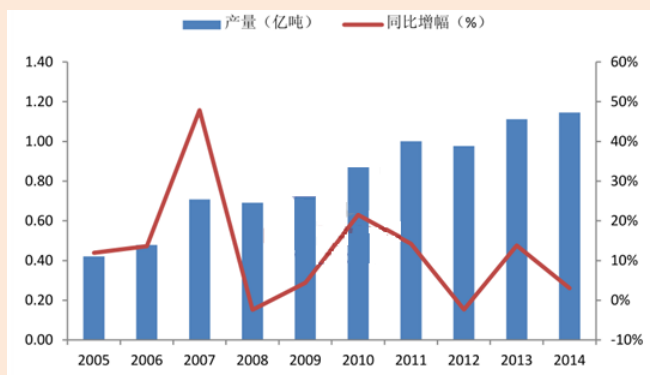


图 8 2005-2014 年中国特钢钢材产量^[9]

在规模不断增长的同时，国家相关部门为提高材料产业发展水平，鼓励在现有地域空间上进行资源整合，积极推动产业基地建设，材料产业的区域特色逐步显现。在特钢材料方面，形成了东北（龙头企业：东北特殊钢集团公司等）、华北（龙头企业：天津钢管公司等）、华东（龙头企业：中信泰富

特钢集团、宝钢股份特殊钢公司等）、华中（龙头企业：大冶特殊钢公司等）、西南（龙头企业：攀枝花钢铁公司等）等区域发展格局。此外环渤海、长三角、珠三角地区依托自身的产业优势、人才优势、技术优势形成了较为完整的新材料产业体系；中、西部地区则基于原有产业基础或资源优势，发展本地区的新材料产业；诸如长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区三大石化化工基地和上海、天津、南京、宁波、惠州等具有国际水平的工业化园区；青岛、宁波等地的化工新材料产业基地；深圳、威海的生物医用材料产业；包头的稀土新材料、云南和贵州的稀贵金属新材料、广西的有色金属新材料产业，重庆、西安、金昌、长株潭、宝鸡及太原等地的航空航天材料、能源材料及重大装备材料，徐州、洛阳、连云港的硅材料产业等^[10]。

政策环境持续优化，宏观指导不断加强

近年来，国家有针对性地陆续出台了一系列与材料领域相关的专项规划来支撑产业的发展。国务院、发改委、工信部、科技部等有关部委发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》、《新材料产业“十二五”发展规划》以及《“关键材料升级换代”重大创新发展工程》等宏观产业发展规划，同时针对具体领域发布了《国家集成电路产业发展推进纲要》、《关于进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》、《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》、《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》、《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》、《高品质特殊钢“十二五”科技发展专项规划》、《钢铁工业“十二五”发展规划》、《纺织工业“十二五”发展规划》、《纺织工业“十二五”科技进步纲要》等多个专项规划，进一步明确了关键基础材料产业发展的目标和任务并细化到具体产品、技术和装备，落实到重大工程，为企业决策、政府配置公共资源以及战略新兴产业的健康发展奠定了基础（表2）。

表 2 中国关键基础材料相关发展规划

年份	发展计划	涉及新材料相关领域
2010	《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》	高性能复合材料、先进结构材料、新型功能材料
2011	《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南（2011 年度）》	纳米材料、核工程用特种材料、特种纤维材料、膜材料及组件、特种功能材料、稀土材料等
2011	《国家“十二五”科学技术发展规划》	新型功能与智能材料、先进结构与复合材料、纳米材料、新型电子功能材料、高温合金材料、高性能纤维及复合材料、先进稀土材料等
2012	《新材料产业“十二五”发展规划》	特种金属功能材料、高端金属结构材料、先进高分子材料、新型无机非金属材料、高性能复合材料、前沿新材料
	《半导体照明科技发展“十二五”专项规划》、《高品质特殊钢科技发展“十二五”专项规划》、《高性能膜材料科技发展“十二五”专项规划》、《医疗器械科技产业“十二五”专项规划》、《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020 年）》、《有色金属工业十二五发展规划》、《钢铁工业“十二五”发展规划》、《纺织工业“十二五”发展规划》、《纺织工业“十二五”科技进步纲要》等	半导体照明材料、高品质特殊钢材料、新型轻质合金、膜材料、生物医用材料、锂离子动力电池材料、高性能纤维材料等
2013	国务院《国家集成电路产业发展推进纲要》、《能源发展“十二五”规划》、《关于加快发展节能环保产业的意见》、《大气污染防治行动计划》、《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》	大尺寸硅、光刻胶等集成电路关键材料、太阳能电池材料、锂离子动力电池材料
2014	《关于加快新能源汽车推广应用的指导意见》	锂离子动力电池材料
2015	《中国制造 2025》	特种金属功能材料、高性能结构材料、功能性高分子材料、特种无机非金属材料 and 先进复合材料

存在的问题

自改革开放以来，我国关键基础材料产业取得了长足的进步，产业规模持续扩大，产业技术水平不断提升，在个别领域已经处于国际领先水平，产业集聚区加快布局，宏观发展环境积极改善，为下一步加快发展奠定了坚实基础。但总体来看，我国关键基础材料与世界先进水平相比仍有较大差距，发展过程中还存在一些突出的矛盾和问题，主要体现在以下五个方面。

1. 原始创新能力不足，基础支撑体系不健全

我国关键基础材料原始创新能力不足，缺乏不同学科之间的深层次交流和原创性的研究。企业作为创新的主体，参与创新研发少、跟踪仿制多，使得“中国制造”产品中缺乏“中国创造”元素。目前我国关键基础材料未形成大批具有自主知识产权的材料牌号与体系；通用基础原材料的国家及行业标准、统一的设计规范和材料工艺质量控制规范尚不完善；缺乏符合行业标准的材料结构设计/制造/评价共享数据库。例如我国是世界锂离子电池生产大国，但所涉及的数千种材料一直处于分散状态，未形成相关数据库和检测标准体系，严重制约了高端锂离子电池产业的发展。此外，我国关键基础材料配套的装备工程化水平和制造能力不高，产品性能及稳定性难以保证，而全面引进装备导致产品成本居高不下，可持续发展能力不强。

2. 共性技术研发能力不强，高端产品自给率不高

产业共性技术是提高企业自主创新能力的基礎，竞争前共性技术创新体系缺位是难以靠市场、靠企业弥补的，发达国家政府通过整合科研资源和力量，提升产业共性技术创新能力。目前我国大多数行业共性技术研发处于缺位状态，共性和前沿技术研发缺少良好的资源配置机制和持续有效的投入，因而无法在技术源头上支撑自主创新。产业共性关键技术研发缺失已成为制约我国产业结构调整 and 升级、提升国家产业竞争力的瓶颈。同时，我国企业

普遍存在关键技术自给率低、发明专利少、技术储备不足、关键元器件和核心部件依靠进口等问题，这在很大程度上制约了关键基础材料实现跨越式发展。如半导体照明材料领域的核心专利以美、日、德等国为主，其专利总数占到了世界相关专利的 70%以上。高速列车车轮车轴、700℃超超临界发电用高温材料等材料和关键零部件也主要依赖进口。

3. 顶层设计和统筹协调不够，存在低水平重复建设现象

“十二五”以来，国内各地区均发布了材料产业规划，但一些地方没有立足于本地区自身条件和优势，科学合理定位，实现差异化分工，在某些产业领域存在严重的趋同现象，同质化布局，发展缺乏主线，形成产能之后即陷入低层次竞争。例如光伏电池领域，很多地方新上的加工制造项目并未掌握核心技术，全国已有近 20 个省市将“光伏产业”作为地区的支柱型产业，存在过热倾向。多晶硅受金融危机、欧债危机和欧美对中国光伏“双反”的综合影响，一度造成国内企业大面积停产。多晶硅技术需要优秀人才团队支撑，多晶硅生产要求环保节能环境，再加上光伏产业出现发展阶段性过剩，投资风险较大，需要严控低水平重复建设。这种盲目跟风式投入不仅会造成重复建设和产能过剩，还会影响到产业的可持续性发展。

4. 资源配置分散，产业链不够完整

我国关键基础材料的企业数量多而分散，具有国际竞争力的骨干企业数量少，行业规模效益水平低，价格控制能力弱，国际市场话语权有待提高。如生物医用材料企业规模普遍较小，制约了我国生物医用材料产业的创新能力，在制药行业，仅有少数几家企业规模达到 200 亿元，尚没有总资产在 500 亿元以上的大型企业，而国际医药巨头辉瑞、强生、诺华和赛诺菲-安万特的总资产规模以人民币计都已经超过或接近万亿元。部分关键基础材料产业链缺失，产业链条上各环节的协调及配套服务存在滞后，未形成集聚发展的良性态势。上游环节发展滞后，下游应用面临较大的升级压力，上下游产业之间的链接不顺，不利于产业健康发展。我国 LED 产业链中处于核心技术环

节的上游企业仅占 3%左右，外延芯片产能存在严重不足。

5. 绿色低碳理念薄弱，节能环保有待加强

坚持绿色低碳可持续发展，限制和减少温室气体的排放，对保护我们赖以生存的环境至关重要；尤其是我国大面积爆发的雾霾现象，使得发展绿色低碳、节能环保产业成为迫切需求。但我国部分关键基础材料生产企业绿色低碳理念薄弱，缺乏长期的创新研究，只能发展“短、平、快”产品，导致部分领域盲目发展，低端产品急速增加，资源大量浪费，环境污染严重。如我国化纤产业，产量连续多年位居世界第一，但产品结构不合理、能耗高、附加值低，生产 1 吨纤维，排放 20 吨 CO₂，环境污染情况严重。

四、关键基础材料发展重点

根据我国经济建设对关键基础材料的需求，结合国际材料产业发展趋势，以及重大技术与颠覆性技术对战略新兴产业未来的影响，提出面向“十三五”及更长时期需要发展的 11 项重点关键基础材料。

关键微纳电子材料

关键微纳电子材料是新一代信息产业发展的基础支撑，主要包括硅及硅基材料、GaN、SiC 等各类衬底、栅介质、存储材料以及相关配套材料等。“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”作为国家中长期科学和技术发展规划的重大专项，开展 32 nm 及 22 nm 技术研究，与之相配套的极大规模集成电路用关键材料的基础研究显得尤为重要。在微纳电子关键材料领域形成具有

自主知识产权的新技术，对促进我国信息技术跨越式发展，提高核心竞争力，具有重大的现实意义^[11]。



图 9 2008-2015 年中国集成电路市场规模与增长

突破 300mm 硅片、高 k 栅介质材料、存储材料以及 GaN、SiC 等宽禁带半导体材料的关键制备技术，形成相应的产业化能力，建立微纳电子关键材料配套体系，缩短与世界先进水平的差距，支撑国家集成电路产业发展到 14nm 技术代目标的实现，提升集成电路产业链整体竞争力；与国际同步开发 450mm 硅片、SOI 材料技术，引领未来集成电路发展。

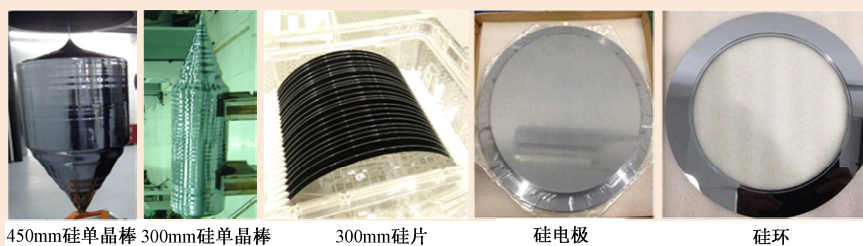


图 10 我国自主研发的系列硅产品

建设直径 300mm 硅材料的研发平台，掌握硅片精细加工、清洗处理、外延生长、硅片检测等关键技术以及晶体微缺陷、硅片几何参数与电学参数精确控制技术^[12]。实现 4~6 英寸 GaN、SiC 的大规模应用，满足射频功率器件的要求，技术水平达到国际先进。开发新型沟道材料的工程化技术，掌

握高 k 栅介质和金属栅极材料工程化技术，突破满足纳米线宽集成电路要求的应变硅和 SOI 工程化技术。掌握相变、阻变、铁电存储材料工程化技术，满足存储器件在耐久性和稳定性等方面的需求。建设直径 450mm 硅材料研发平台，攻克单晶生长的关键技术。

新型显示材料

新型显示是我国电子信息产业发展的重点方向之一，主要涉及 TFT、OLED、LED 背光源、高世代液晶显示、印刷以及激光显示等器件及其关键材料。随着移动互联网技术在全球的迅速推广和未来数字家庭时代的迅速发展（图 11），显示技术要求趋向于柔性、便携、低成本、高色域、高光效等，这些都需要新型显示材料的有效支撑，新型显示产业将成为具有后续发展的优势产业^[13]。

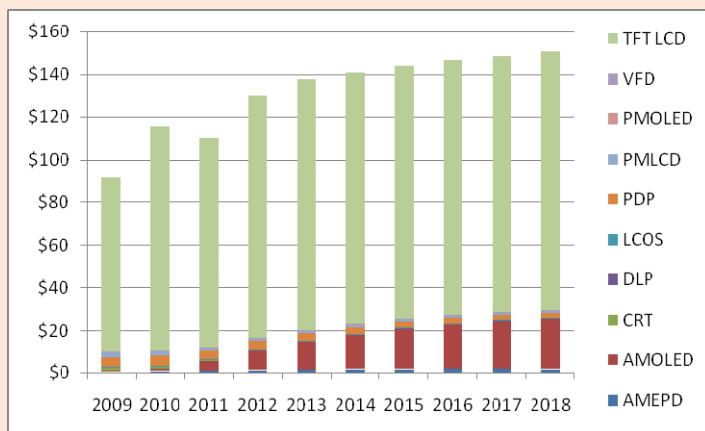


图 11 全球显示面板产值统计及预测（单位：十亿美元）

提高中国液晶玻璃基板产业的自主研发、集成创新能力，开发出具有自主知识产权的高世代液晶玻璃生产技术及成套装备。掌握 OLED 显示、LED 背光源关键材料研发技术和产业化工艺，满足平板显示发展的需求。掌握可卷绕式、100 英寸级、8K4K 超高分辨率全印刷 AMOLED 显示屏的制备技术，全面掌握激光显示技术的产业创新链，建成印刷显示和激光显示产业的创新体系，提升印刷显示和激光显示关键材料国产化率，带动相应产值大幅提升。

建设具有自主知识产权液晶玻璃生产线，掌握高黏度玻璃澄清技术及装备、成型技术及装备、退火技术及装备、专家控制系统、在线检测系统等核心关键技术。突破 OLED 显示器件用有机发光材料、电子及空穴传输材料、电子及空穴注入材料的核心关键技术。开发加工性好、性能稳定，满足印刷显示应用要求的 TFT 关键材料，建立可印刷发光/反射显示材料体系，掌握适用于不同器件印刷油墨材料制备技术，实现印刷显示材料在大面积柔性印刷 AMOLED 中的集成应用技术，突破红光、蓝光、绿光激光量子阱材料制备关键技术，制备出宽角度膜系材料和高可靠性、低成本、高性能的消相干材料，并形成激光显示关键材料的定量表征与应用技术研究体系。

新能源电池材料

新能源电池材料是指支撑新能源发展、具有能量存储转换功能，起到节能减排功能的材料，主要包括太阳能电池材料、锂离子动力电池材料和燃料电池材料。我国新能源电池材料产业与世界先进水平相比仍有较大差距，具有自主知识产权的技术和产品少，产品的竞争力主要体现在一定的成本优势上。加强新能源关键基础材料自主研发能力，开发核心技术，建立完善的产业技术平台，是发展我国新能源材料的重要举措^[14]。

钙钛矿太阳能电池

钙钛矿太阳能电池是以具有钙钛矿结构的有机-金属卤化物（简称：钙钛矿）等作为核心光吸收、光电转换、光生载流子输运材料的太阳电池。钙钛矿太阳电池具有良好的光吸收、光电转换以及优异的光生载流子输运特性，其电子与空穴扩散长度均可超过 1000 nm，目前认证的实验室样品光电转换效率已超过 20%。但是，这种太阳能电池的稳定性和对环境的适应性还有待提升，因此可实用的钙钛矿太阳能电池仍有很长的路要走。

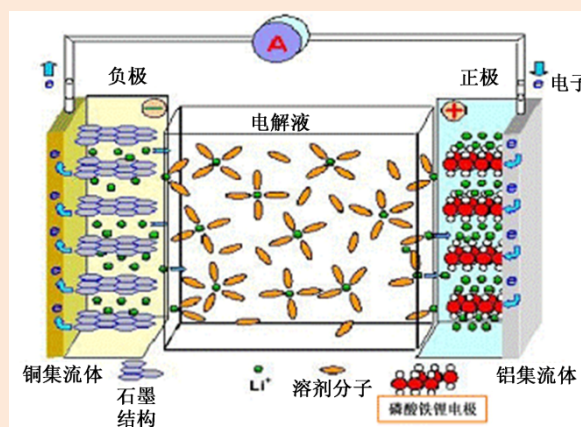


图 12 锂离子动力电池原理图

实现光伏技术的全面突破，促进新型太阳能电池的规模化应用，保持我国光伏行业的国际先进地位。建设锂离子电池材料产业示范工程，提升我国锂离子电池制造和成组水平，同时建设正极材料、负极材料、电解质、隔膜等关键材料测试方法和检测条件、原位高效定量的性能表征方法以及合成、表征和测试等为一体的平台，实现材料信息共享与挖掘。掌握燃料电池关键材料及其批量化制备的核心技术，实现燃料电池关键材料的产业化，为提升我国燃料电池技术水平和国际竞争力奠定材料基础。

突破多晶硅低能耗还原工艺、多晶硅副产物综合处理技术，低成本硅烷法制备多晶硅技术和多晶硅流化床制备技术，发展新型钙钛矿类太阳能电

池、燃料敏化太阳能电池、有机太阳能电池以及碲化镉、铜铟镓硒和铜锌锡硫等薄膜太阳能电池关键材料。突破在锂离子电池用新一代高比容（ $\geq 155\text{mAh/g}$ ）的磷酸盐系、镍锰钴三元系（ $\geq 165\text{mAh/g}$ ）材料等关键材料的产业化工艺与装备技术；掌握高比容量、高电压类正极材料和硅基复合负极材料的关键技术，以及高安全性电解质和隔膜材料制备技术，形成高比能锂离子电池的材料体系。开发固体氧化物燃料电池（SOFC）的高活性阴极材料、抗积碳和硫毒化的阳极材料、高离子电导率的电解质材料、高温密封材料以及抗氧化和高电导率的金属连接体材料，以及质子交换膜燃料电池（PEMFC）的膜电极材料、高温复合质子交换膜以及耐腐蚀与导电性兼优的金属双极板等关键材料。

高性能化工材料

化工基础材料主要包括塑料、橡胶、纤维、涂料、胶粘剂以及复合材料（图 13），广泛应用于国防、航天、电子、机械、汽车制造、能源、医疗等领域。当前我国实现了部份化工材料的国产化和规模化生产，塑料、橡胶和纤维三大合成材料的产量、消费量均已跃居世界第一。但是高端产品仍不能满足国民经济发展的需要，关键材料、核心技术仍然缺乏，高性能化工材料进口依存度依然较高（表 3），与国外先进水平仍有差距^[15]。

表 3 2014 年中国合成橡胶产量进口量

	SBR	BR	NBR	SBS	CR	EPR	IIR	HIIR	IR
产能, kt/a	1 760	1 652	242	1 080	58	160	185	87	290
产量, kt	1 078	803	130	793	40	30	68	10	10
进口量, kt	328	207	74	38	20	253	64	204	22



图 13 关键化工材料的类别

加快通用聚烯烃材料的高性能化的开发进程，开发极性聚烯烃树脂（非后改性材料）制备新技术，实现产业化。实现主要工程塑料品种规模化生产，尽早使我国工程塑料的自给率提高到 60%以上。大幅度提高高性能合成橡胶的技术水平，掌握达到欧盟要求的具有低油耗、高安全、低噪音和舒适性的高性能节能轮胎胎面胶制备技术，实现卤化丁基橡胶，阻尼减震橡胶等专用材料的工业化生产。

提高极性单体和烯烃单体聚合时催化剂耐杂原子的能力，掌握溶液连续聚合工艺中的溶剂的选择以及 EVOH 生产流程中涉及的皂化、析出、洗涤等工艺；开发聚烯烃接枝共聚极性单体技术并拓展新的应用领域，重点解决生产工艺中溶剂回收、洗涤等问题；解决 PET 工程塑料、聚酰胺工程塑料、聚碳酸酯、生物基工程塑料的关键技术难题；形成具有自主知识产权的官能化 SSBR 生产技术，开发超高顺式、窄分子量分布、官能化、高支化稀土顺丁橡胶的工程化技术。

新型建筑材料

建筑新材料是应用量大面广，影响建筑质量及节能减排的基础材料，包括高效阻燃保温材料、建筑节能玻璃、特种玻璃、高性能水泥基复合材料等。当前我国建筑产业的部分产品产量产值都稳居世界首位，质量与效益有了大幅提升，一些工艺技术已经达到世界先进水平，但同时与发达国家相比也存在着资源能源利用率低、污染物排放严重、产业结构不合理、自主创新能力薄弱的问题。因此必须加快新型建筑材料产业发展，推进行业转型升级，提升建材新材料产业的科技自主创新能力。

低辐射玻璃^[16]

低辐射玻璃又称为 Low-E 玻璃，是一种对波长在 2.5~25um 范围的远红外线有较高反射比的镀膜玻璃，它具有较低的辐射率，能有效地阻断室外的辐射传热，具有很高的保温节能效果，是当今世界公认的综合节能效果较好的建筑玻璃品种之一。低辐射镀膜玻璃按工艺又分为离线低辐射镀膜玻璃和在线低辐射镀膜玻璃。离线低辐射镀膜玻璃的辐射率应低于 0.15，在线低辐射镀膜玻璃的辐射率应低于 0.25。

加快开发具有高耐蚀、高抗冲耐磨、高强韧及多功能化的高性能水泥基复合新材料，满足大规模应用和极端环境下对水泥基材料功能化的要求，支撑复杂油气井开发、水电工程、道路交通工程和海洋工程等产业的发展。加快突破有良好保温效果的有机保温材料（如 EPS、PU）的制备技术，提升材料的阻燃性能，满足绝大部分建筑的防火要求和建筑节能的要求。开发光致变色、热致变色、电致变色等新型双向可调节能玻璃浮法在线和磁控溅射规模化技术，支撑我国建筑节能和低碳经济的持续发展。

制备具有较高后期强度的复杂地质固井水泥基复合材料，研发具有较高后期强度、硬度、磨损率的高抗冲耐磨特性的水电工程水泥基复合材料，

开发具有较高抗折强度、弯拉强度的道路工程水泥基复合材料，以及用于海岛和跨海桥隧工程（抗侵蚀系数 KS180 以上）的海洋工程水泥基复合材料。开发新型难燃 EPS、PU 有机保温材料，在保证保温隔热性能、力学性能（压缩强度等）和变形性能（体积稳定性）的同时，具备较高的防火性能（防火等级从可燃 B2 级提高到难燃 B1 等级要求），且可降低燃烧过程中有毒物质的释放。突破节能玻璃材料的关键技术，研究开发低辐射镀膜玻璃、阳光控制镀膜玻璃、光谱选择性高效超低能耗节能镀膜玻璃、外场响应（光致变色、电致变色、热致变色）智能节能玻璃等制备和性能优化技术；开发以化学气相沉积为代表的低能耗、低成本浮法在线低辐射镀膜工程化技术和以磁控溅射为代表的高性能离线低辐射镀膜工程化技术；开发真空节能玻璃产业化技术，解决真空玻璃钢化问题。

高端钢铁材料

关键钢铁基础材料包括能源用钢、交通用钢、海洋工程用钢、先进制造基础零部件用钢等。近年来，我国高品质板材、特殊钢等先进钢材产业得到了长足发展，但高端钢铁材料整体发展水平与先进国家仍存在一定的差距，一些关键领域如海工、航空、能源等用钢材还不能自给，高铁车轮、车轴、轴承、机械用齿轮钢、轴承钢等关键钢铁产品依然无法完全满足需求，因此应从国民经济发展及国防安全出发，重点发展高端钢铁材料及其延伸产品，为高端装备制造业、高技术含量轨道交通、汽车、核电、火电以及新兴产业等国民经济核心行业提供有力支撑^[17]。



关键钢铁材料

能源用钢主要涵盖核电用钢（AP1000、CAP1400 等大型压水堆核电站压力容器锻件、蒸汽发生器锻件、主管道、蒸汽发生器传热管等）、火电用钢（高温段过热器、再热器管、主蒸汽管道和厚壁部件等锅炉关键部件，高中压转子、高温气缸、叶片和螺栓等汽轮机关键部件等）、西气东输管道用钢（三线至五线超大输气量 X90、X100 管线钢，高强度油井套管和钻杆等）。交通用钢主要涵盖铁路用钢（高速重载铁路用贝氏体钢轨钢、车轴、轮对等）、汽车用钢（高强度、高塑性的二、三代汽车用钢）。海洋工程用钢主要涵盖海洋平台及海底油气开采用钢（400 英尺以上自升式平台、万吨级重型导管架平台用特厚板、大口径无缝管，3000 米油气集输、输送用大壁厚深海管线钢、3000 米深海钻采隔水管材料、海底集输管线用耐蚀合金、沉淀硬化型不锈钢、油套管用双相钢、深海钻具用高氮奥氏体不锈钢等）、海洋岛礁基础设施用钢（高湿热、高 Cl⁻海洋大气腐蚀环境下耐候钢、兼用于飞溅带和全浸带的耐海水腐蚀钢以及耐高 Cl⁻腐蚀低合金和不锈钢钢筋等）。基础零部件用钢主要涵盖高速机床、汽车变速箱、航空发动机、高速铁路用轴承、齿轮等，车身成形模具、大型精密压铸模具、风力发电及风机主轴模具等，交通运输和工程机械用悬架弹簧、气门弹簧、液压件弹簧等。

重点开发 700℃超超临界电站汽轮机等火电配套钢材、高耐腐蚀石油管线等能源用钢以及岛礁用钢；开发高速重载贝氏体轮轨钢、高强度、高塑性第二代、第三代汽车钢等交通用钢；突破先进装备用高性能轴承钢、齿轮钢、模具钢等关键零部件用钢材的设计、制造及应用评价等一系列关键技术。

突破炼钢的成分精确控制技术，系统研究连铸、大锭型模铸、大锭型电渣的工艺技术，解决成分偏析问题、建立不同钢种的轧制模型、提高轧制精度，研究在线成分和内部缺陷检测技术，建设设备、工艺、品种、在线检测技术集成的示范线，实现高洁净度冶炼技术（零级夹杂）、高均匀度凝固技术（等轴晶）、控轧控冷技术（组织调控）、热处理技术（组织调控）、连接

(焊接) 技术的原创性创新。



图 14 关键钢铁材料应用图

■ 先进合金材料

先进合金材料覆盖具有高强韧、耐高温、耐腐蚀和高导电率等优异综合性能的铝、铜、镁、钛等有色金属合金材料，以及具有良好的抗氧化和抗热腐蚀性能、良好的疲劳性能、断裂韧性等综合性能的高温合金，是支撑我国航空航天、国防工业、新一代信息技术、现代交通运输发展的重要战略性基础材料^[18]。



高温合金材料

高温合金是以金属镍、铁、钴为基，在 600℃ 以上高温下能承受一定应力并具有优异的抗氧化、抗腐蚀能力的一类先进结构材料，因合金化程度很高，也称为超级合金（Superalloys），其按制备工艺分为变形、铸造和粉末冶金高温合金。高温合金主要用于制造航空发动机、舰艇和工业用燃气轮机的涡轮叶片、导向叶片、涡轮盘、高压压气机盘和燃烧室等高温部件，还可用于制造航天飞行器、火箭发动机、核反应堆、石油化工设备以及煤的转化等能源转换装置。

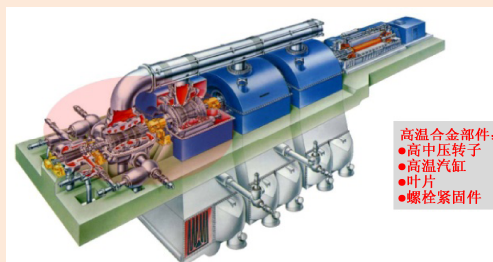


图 15 高温合金在超超临界机组汽轮机的应用示意图

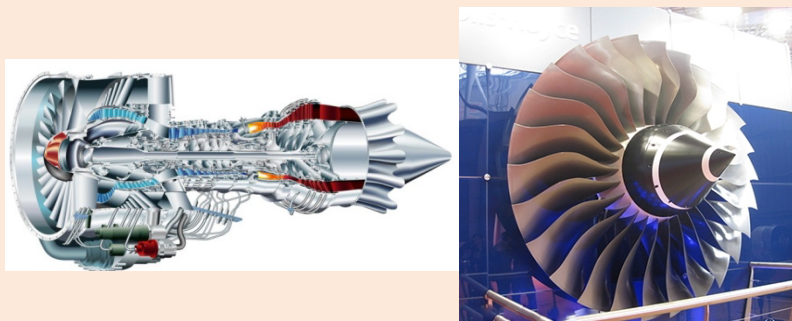


图 16 航空发动机和叶片示意图

实施高性能轻合金、高性能铜合金以及高纯金属与合金等高性能有色及稀有金属材料重大产业及应用工程示范，突破高性能有色及稀有金属规模化生产应用技术。开展第三代单晶高温合金和耐热腐蚀定向晶高温合金研制；

部署第四代单晶高温合金研制，满足高性能航空发动机的需要；开展 F 级和 H 级燃机透平叶片研制。

开发具有自主知识产权的新一代航空航天用高性能铝合金材料并形成大尺寸、复杂截面系列产品的批生产能力；自主开发以车身板为代表的汽车轻量化用高性能铝合金材料和以各种压铸件和汽车次承力件为代表的高性能镁合金材料。发展高精度钛合金型管线材加工产业和大尺寸复杂截面镁合金加工产业；发展高端引线框架及高端连接器用铜合金带材及其制备与加工核心技术，并针对高速轨道接触网线、电信传输、海水淡化、船舶工业、印刷电路板等领域开展应用工艺技术研发。掌握冶金分离制备核级氧化锆/氧化钎技术、氯化-还原制备核级海绵锆/海绵钎技术、核级锆合金材料及锆合金包壳管加工工艺技术、高纯和超高纯金属物理提纯及靶材产业化技术；提升高温合金产业技术，解决国内高温合金材料普遍存在的生产质量稳定性差、新品种储备不足问题。

关键稀土功能材料

我国稀土功能材料产业已经获得巨大发展，但仍面临着许多亟待解决的问题和严峻的挑战。稀土功能材料及其应用技术与发达国家相比，还存在一定的差距，产品性能难以满足风力发电、新能源汽车、半导体照明等重大工程应用需求。因此，需大力发展新型高性能稀土磁、光、电等功能材料及工程化应用技术，建立我国先进稀土材料的产学研用创新平台及工程化基地，构建稀土材料及应用的低碳经济产业链，形成具有我国自主知识产权的高性能稀土功能材料产业，逐步由稀土生产大国迈向稀土强国^[19]。

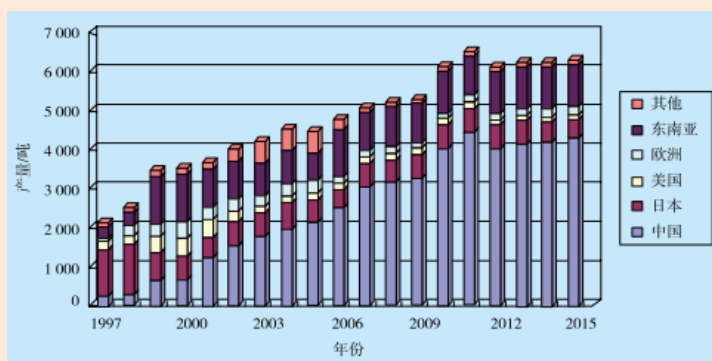


图 17 全球烧结 Nd-Fe-B 磁体产量增长

围绕绿色能源、新能源汽车、绿色照明、新型显示等国家重大工程的迫切需求，重点突破以稀土磁性材料、稀土光功能材料、稀土储氢材料、稀土催化材料、高纯稀土材料绿色制备及应用等关键技术作为稀土新材料的主攻方向，同时开展稀土磁制冷、超磁致伸缩、稀土晶体材料、稀土功能陶瓷材料、稀土上转换发光材料等前瞻性研究，建立我国先进稀土功能材料的产学研用创新平台及工程化基地，推动稀土功能材料产业的可持续发展。

开发超高性能稀土功能材料的工程化制备及应用技术、面向稀土元素平衡、高质化利用的钕磁体等新型稀土材料与应用技术，长寿命、高稳定性稀土功能材料的低成本生产技术，稀土原材料高效清洁制备及稀土材料的循环利用技术，稀土功能材料评价表征与验证技术，构建稀土功能材料及应用的低碳经济产业链。

特种无机非金属材料

特种无机非金属材料是关系我国国家安全和战略性新兴产业发展的先进结构和新型结构与功能一体化工程材料，本书主要涉及耐高温、耐腐蚀、抗热震先进结构陶瓷材料、无机非金属陶瓷纤维及其连续增强陶瓷基复合材料

料、耐火材料、高性能碳/碳复合材料、高纯超细陶瓷粉体材料等（图 18、图 19）。特种无机非金属材料是若干国家科技重大专项关键部件用核心材料，并对航空航天、轨道交通、汽车、新能源产业以及重点武器装备的未来发展起重要的支撑作用^[20]。

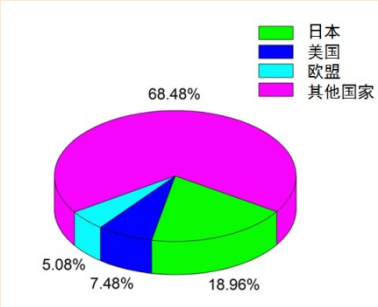


图 18 世界先进结构陶瓷材料产业规模分布情况



图 19 特种结构陶瓷及其复合材料应用图

重点发展陶瓷原料粉体和高性能、大尺寸、复杂形状先进陶瓷构件的烧结技术，以及相应的加工设备、检测系统平台，并攻克批量化生产的关键工艺技术；开发耐高温、轻质、长寿命航空发动机用 SiC/SiC 复合材料以及工

业燃气轮机和民用发动机用轻质超长寿命 SiC/SiC 复合材料。突破高性能碳/碳复合材料的低成本制备技术和极端服役改性技术，建立系统完整的碳/碳复合材料研发到应用全链条的“用产学研”深度融合的创新体系，形成具有核心竞争力的产业集群。开发出高性能功能化耐火材料以及高强度高热阻梯度化的保温材料，促进我国环境保护和可持续协调发展、进一步节能降耗、为相关工业产品升级提供保障。

掌握高纯超细碳化硅、氮化硅、氧化铝等陶瓷粉体原料的制备及产业化技术，薄壁、异性、大尺寸陶瓷构件的成型、烧结、无损检测、加工及连接等技术。突破纤维编织、浸渍、裂解、加工及检测等碳化硅陶瓷基复合材料构件成型关键技术。开展长时间抗氧化、耐烧蚀 C/C 复合材料制备技术研究。形成高温热工窑炉用内衬材料的功能与保温节能一体化。实现以高铝矾土、镁质资源和石墨为代表的耐火材料非金属矿产管理规范化，规范废弃耐火材料再利用的行为，建立废弃耐火材料再利用的管理模式并出台相关政策。

特种纤维材料

纤维是指由连续或不连续的细丝组成的物质，其可织成细线、线头和麻绳，造纸或织毡时还可以织成纤维层；同时也常用来制造其他物料，及与其他物料共同组成复合材料，本文主要涉及高性能纤维，功能性、差别化纤维以及生物质纤维等特种纤维材料。近年来，我国特种纤维材料领域的技术进步明显，拥有自主知识产权的纤维品种更加丰富，但产业自主创新能力薄弱、产业布局不够合理、支撑基础较弱^[21]。

高性能纤维，功能性、差别化纤维以及生物基纤维

高性能纤维按性能可分为高强高模纤维、耐高温纤维、抗燃纤维、耐强腐蚀纤维（图 20），主要包括碳纤维、芳纶、高强高模聚乙烯、聚苯硫醚、玄武岩纤维等，其广泛应用于国防建设和经济发展，事关产业安全和国防安全。功能性、差别化纤维是指经过化学改性或物理变形，使纤维的形态结构、物理化学性能与常规化纤有显著不同，从而取得仿生效果，或改善、提高化纤的性能，或使纤维具备某一种或几种特殊的功能的纤维。生物基纤维是指以生物质资源为原料制成的纤维，包括生物质再生纤维和生物质合成纤维。

提高高性能纤维原料及纤维生产的稳定性，进而提高纤维质量与性能，加快产品结构升级，加大高性能纤维下游产品的开发与市场开拓；加强功能性、差别化纤维的新技术、新品种以及多功能复合纤维的研发力度，提高产品附加值；突破生物基纤维产业化成套工程技术及相关应用技术，建立生物基纤维系列标准体系，加快制定生物基纤维及其后续制品的产品标准、检测方法、应用规范等。

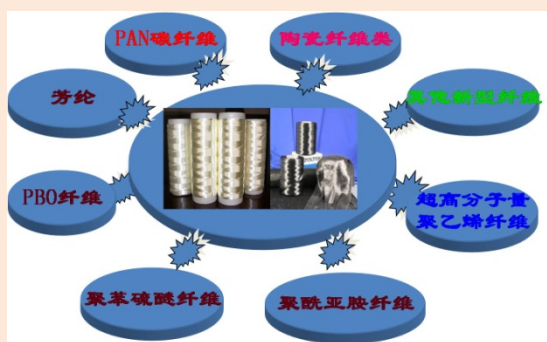


图 20 纤维的类别

突破碳纤维增强复合材料低成本设计和制造技术、关键基体制备与规模化生产、关键连续自动化装备、性能评估及应用等核心技术；高强高模芳纶制备技术，突破相关工艺和装备产业化技术，加快各种表面处理剂的研发；

改进优化超高分子量聚乙烯纤维、聚苯硫醚纤维、聚酰亚胺纤维、聚四氟乙烯纤维、PEN 纤维、阻燃抗熔滴纤维、仿棉聚酯纤维、常压阳离子易染纤维、原液着色纤维的生产工艺；掌握 Lyocell 纤维、PLA 纤维、PTT 纤维、可降解 PBS 纤维工程化技术。

生物医用和制药材料

近年来，由于我国老龄化带来的健康潜在需求以及社会保障水平和居民购买力提升，生物医用和制药材料市场高速扩容，在管理制度、标准、规范等方面不断得到改进，有力地推进了我国生物医用和制药材料产业的发展和产品结构调整；但与国际产业规模及发展速度相比仍存在一定的差距（图 21），高端产品的核心技术基本上为国外所垄断，进口依存度较高，远不能满足全民医疗保健的基本需求^[22]。

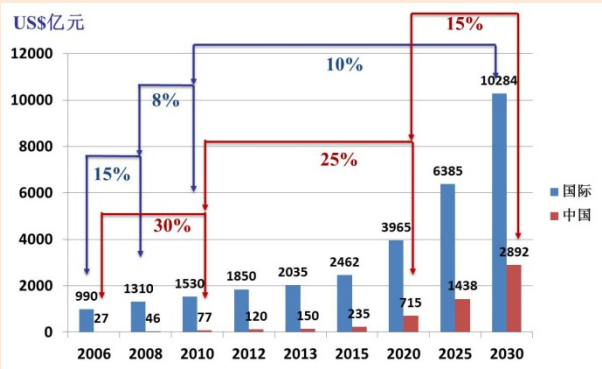


图 21 我国医疗器械和生物医用材料市场及发展预测

充分利用我国在前沿研究和产业发展方面的优势，建立骨（牙）再生材料及植入器械，新型心、脑血管系统介/植入器械，医用高分子及高端术中耗材，医用植入性微电子器械、新型药用辅料等研发以及标准体系研究机构，

构建产、学、研、医紧密结合的协同创新平台，培育高集中度、多元化的大型企业或企业集群。

突破组织诱导性生物材料设计和制备的工程化技术，将我国独创的骨诱导性生物材料及其制备技术扩大到非骨组织，包括软骨、肌腱、角膜、神经、血管等组织诱导性材料的设计和制备，开创生物材料发展的新阶段—无生命的生物材料诱导有生命的组织或器官形成；突破结构组织的组织工程技术以及 3D 打印生物制造技术等；大力开发先进的高质量药物辅料，同时开展缓释制剂、控释制剂、靶向制剂、智能制剂药物的研发。

前沿新材料

在着重关注以上 11 个重点内容的同时，还需从材料产业的可持续发展出发，布局前沿新材料的核心技术研究和工程化技术开发，为不断满足未来国民经济发展对关键基础材料的需求奠定坚实的基础。如以石墨烯（图 22）、碳纳米管等为代表的新型碳纳米材料，具有轻质、高强、高韧性、高模量以及高导热/电、耐磨、低热膨胀等特性，在航天、航空、电子、交通等领域具有巨大的应用潜力^[23]。又如超材料（图 23），通过对其在关键物理尺度上的有序设计，能制造出具有超出自然界固有的普通性质的超常材料功能，包括负折射材料、光子晶体、超磁性材料等，在太赫兹领域、光量子领域以及天线等领域展现了优异前景^[24]。超导材料以其具备的零电阻和抗磁性在电力工业、微波器件、磁悬浮列车等领域展现了广泛的应用潜力^[25]。导电高分子材料具有高电导率、半导体特性、电容性、电化学活性和一系列光学性能，在导电材料、电极材料、电显示材料、电子器件、电磁波屏蔽、化学催化以及柔性可穿戴电子设备等方面具有很大的潜在应用。面向过程工业的高端特种分离膜材料，具有独特的结构特性和较强的环境适应性，对我国工业节能减排有着重要作用。此外，形状记忆合金、磁致伸缩材料以及传感器相关材料

等与未来智慧生活相关的智能材料也是需要关注的前沿新材料。

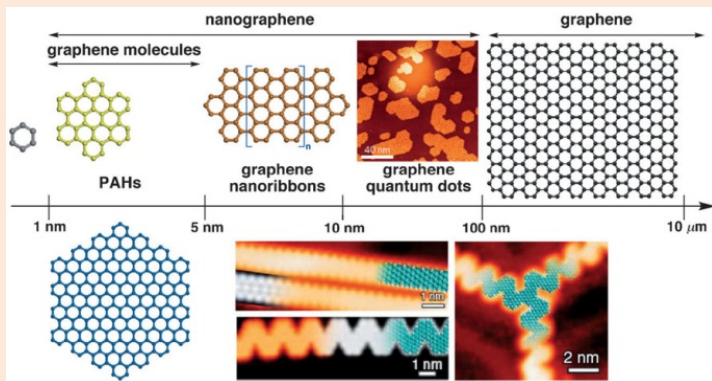


图 22 石墨烯材料分子结构图

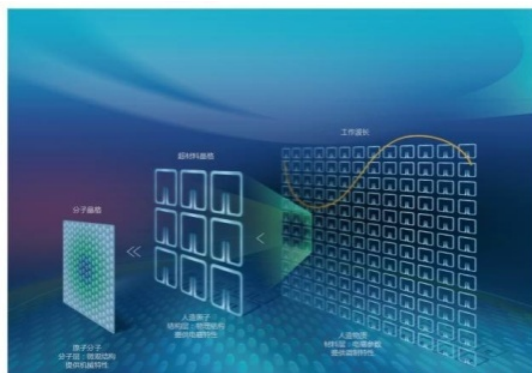
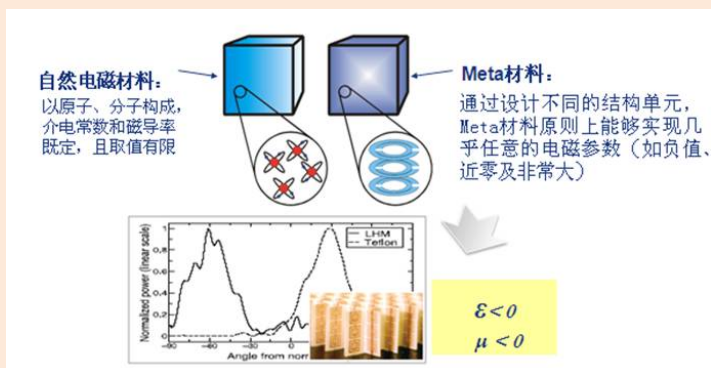


图 23 超材料原理图

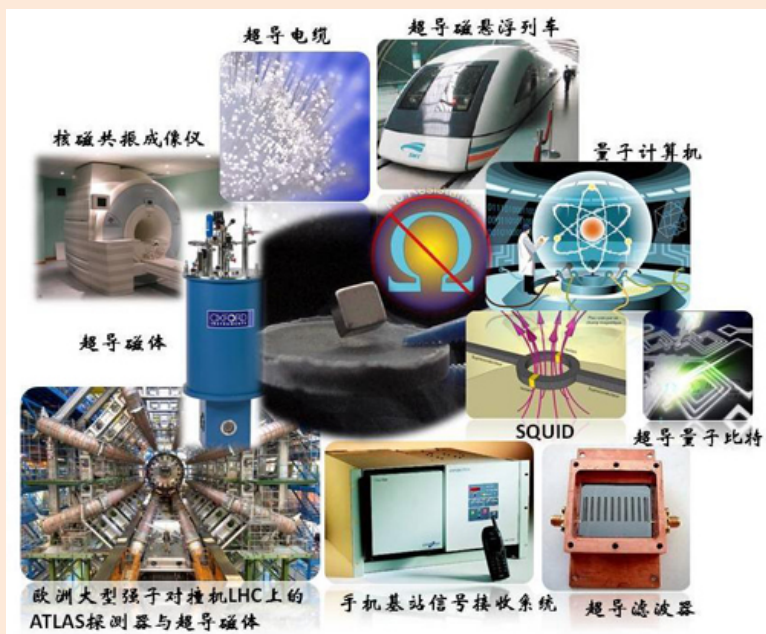


图 24 超导材料的应用

五、关键基础材料发展战略

发展思路

面向信息、能源、节能环保、生物、航空航天以及产业革新等方面的战略需求，突破电子信息材料、新能源材料、关键化工材料、绿色建材新材料、重大和高端装备用钢铁材料、高性能有色及稀有金属材料、无机非金属材料、特种纤维材料、生物医用和制药材料的核心技术，着力提高关键基础材料产业的自主创新能力，通过优化组织实施方式，支持产业结构调整、产品升级

换代和国家重大工程亟需的关键基础材料研发与工程化，促进一批关键基础材料实现产业化和规模应用。建立产业链上下游优势互补、密切合作机制，有效缩短关键基础新材料的研发、产业化和规模应用周期，促进企业加强技术创新，形成持续创新能力，进一步增强我国关键基础新材料产业的核心竞争力，实现从材料大国向材料强国的战略性转变，全面满足先进制造业、国家重大工程和社会可持续发展对关键基础材料的需求。

基本原则

1. 坚持统筹布局，突出发展重点

从全球视野和国家利益的立场出发，科学谋划发展目标和发展方向，立足当前、面向未来、统筹规划，总体部署产业布局，正确处理速度、规模、效益之间的关系。同时围绕经济社会发展重大需求，坚持整体推进、重点突破，组织实施重大工程，突破关键基础材料规模化制备的成套技术与装备，加快发展产业基础好、市场潜力大、保障程度低的关键基础材料，并及早部署重要前沿性领域，培育先导产业，促进重点领域和优势区域率先发展。

2. 坚持创新驱动，占领产业高端

创新是关键基础材料产业发展的核心环节，要强化企业技术创新主体地位，激发和保护企业创新积极性，完善技术创新体系，通过原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，提升关键基础材料产业创新水平。同时重视原始创新，突破一批关键核心技术，特别是颠覆性技术，驱动产业发展。同时坚持跨学科跨领域的集成创新，着重高端产品开发，培养高附加值产业链，为占领全球新兴产业发展制高点，发挥支持作用。

3. 坚持市场导向，完善政府调控

遵循市场经济规律，突出企业的市场主体地位，充分发挥市场配置资源的基础作用，重视关键基础材料推广应用和市场培育。充分发挥中小企业的创新作用，同时将资源逐渐向优势企业聚集，形成具有自主知识产权和国际竞争能力的龙头企业。积极发挥政府部门在组织协调、政策引导、改善市场环境中的重要作用，加强关键基础材料产业规划实施和政策制定，实施重大专项，重点发展成长潜力大、市场潜力大、产业基础好、带动作用强、综合效益好的产业，确保关键基础材料产业高效可持续发展。

4. 坚持协调推进，促进开放合作

加强关键基础材料与下游产业的相互衔接，充分调动研发机构、生产企业和终端用户积极性。加强关键基础材料产业与原材料工业融合发展，在原材料工业改造提升中，不断催生高端关键基础材料，在关键基础材料产业创新发展中，不断带动材料工业升级换代。加快军民融合，加快军民共用材料技术双向转移，促进关键基础材料产业健康发展。同时，充分利用全球创新资源，走出去、请进来，培育特色产业集群，走开放式协同创新和国际化发展道路。

5. 坚持绿色发展，节能环保低碳

牢固树立绿色、低碳发展理念，重视关键基础材料研发、制备和使役全过程的环境友好性，提高资源能源利用效率，促进关键基础材料可再生循环，改变高消耗、高排放、难循环的材料工业传统发展模式，走低碳环保、节能高效、循环安全的可持续发展道路。对制约能源、资源、环境等领域发展的关键基础材料，实施集中突破，建立资源节约、环境友好型的技术体系、生产体系和效益体系，支撑经济发展方式的转变，保障我国上述行业的健康可持续发展。

发展目标

1. 2020 年发展目标

掌握大量关键基础材料的核心技术，实现规模化生产技术的突破和系统集成技术的完善，缩短与世界先进水平的差距；建立以企业为主体的高水平材料研发平台，加强工程化技术的研究，推动重大材料制造装备的国产化，实现关键基础材料的批量生产，自给率达到 70%，基本满足国家重大工程建设、国家安全等领域的需求。

2. 2025 年发展目标

关键基础材料产业整体水平达到国际先进水平，实现大规模绿色制造使役和循环利用，基本建成关键基础材料产业创新体系，实现绝大部分关键基础材料的自给，能够满足国民经济、国家安全、社会可持续发展的需求，推动由材料大国向材料强国的战略性转变。

保障措施

1. 加强研发体系建设

紧密围绕国家发展战略，加强顶层设计，合理布局关键基础材料的研发体系。重视当前处于研发阶段的前沿材料，适度超前安排，建立符合行业标准的关键基础材料设计/制造/评价共享数据库，建设与国际接轨并具有我国特色的材料标准体系，着力突破关键基础材料产业发展的工程化问题。

2. 加强培育产业环境

加快制定关键基础材料产业发展指导目录和投资导向意见，完善产业链、创新链、资金链。发挥市场的资源配置作用，鼓励风险投资，协调国家对重点基础材料行业的聚焦支持，引导关键基础材料中小企业群体健康成长，营造具有国际竞争力的产业生态环境。

3. 加强配套政策支持

加大财政、金融、税收等政策对关键基础材料的扶持力度，建立和完善规范化的风险投资运行、避险和退出机制，形成鼓励使用国产关键基础材料的健康体系；完善支持创新的税收政策，创造良好的投资环境，防止一哄而上，出现“投资碎片化”，落实研发费用加计扣除和高新技术企业所得税优惠等政策。

4. 加强人才队伍建设

实施创新人才发展战略，鼓励采取核心人才引进和团队引进等多种方式引进海内外人才，鼓励企业积极培养自主创新的人才队伍。同时充分发挥行业协会、科研单位和大学的作用，共同建立关键基础材料产业专家系统，加强材料研发、生产和应用的直接沟通和交流。该专家系统可就关键基础材料发展现状、发展趋势和需要关注的重点问题提供咨询意见。