

新能源产业

301 水能开发利用

46. 水-气相容储/释能的高效压缩空气储能系统

负责人：王焕然

所在学院：能源与动力工程学院

一、项目简介

传统的抽水蓄能存在需要特殊的地质条件、推广应用受到限制、需要充沛水源、不适合干旱缺水地区、储能密度较低、对所在区域的生态环境有影响等缺点；传统的 CAES（压缩空气储能系统电站）存在需要消耗大量的化石类燃料，系统经济型不好、储能时压缩空气过程中存在热交换、释能时外热源加热、CAES 的能量转化效率与其他储能系统相比有些低等特点。

本系统提出无水坝抽水蓄能模型，兼收压缩空气储能技术和抽水蓄能技术的优点，摒弃二者缺点，实现热能和压力能的梯级利用。

二、产品性能优势

无水坝抽水蓄能系统的主要优势有：结构简单；储能与发电过程无冷却和加热；储能规模可大可小；初期投资少；绿色无污染；受地理环境制约小。

本系统的创新点有：

1、发明了新型高效压缩空气储能系统

兼收抽水蓄能和 CAES 优点，实现能量分类梯级利用。

2、高负荷高效率、宽工况速度式透平机械的设计理论与调控技术

提出动/静部件与变转速联合调节的理论与方法，提出速度式空气透平膨胀机的滑压调节与控制方法。

3、高效紧凑式超临界空气蓄热/换热器设计理论

优化了蓄热器结构、材料热物性及流动参数，采用传热过程强化与热量耗散有效控制的设计方法。

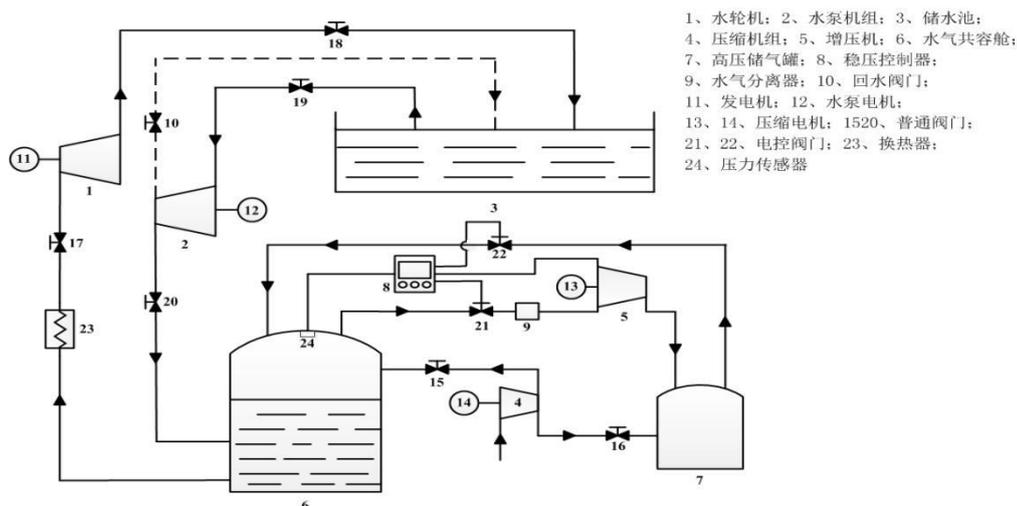


图 1 高压储气库恒工况无水坝抽水储能系统

三、市场前景及应用

1、风场、太阳能发电站

将随机性、间歇性的能源进行存储，以适应用户的需求。

2、核电站、电网

提高核电站、电网的响应速度，削峰填谷，满足电网的波动。

四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

2020年4月28日，陕西省技术转移中心组织专家对西安交通大学和西安西电电工材料有限责任公司共同完成的科技成果“抽水压缩空气储能技术”进行评价。经鉴定，提交的技术资料完整、规范，符合技术评价要求；在国内外首次建造了抽水压缩空气储能中试装置，在无任何燃料或热量补充的条件下，实现了高的电-电转换效率；该项成果是我国物理储能技术领域的一项重要突破，处于国际领先水平。

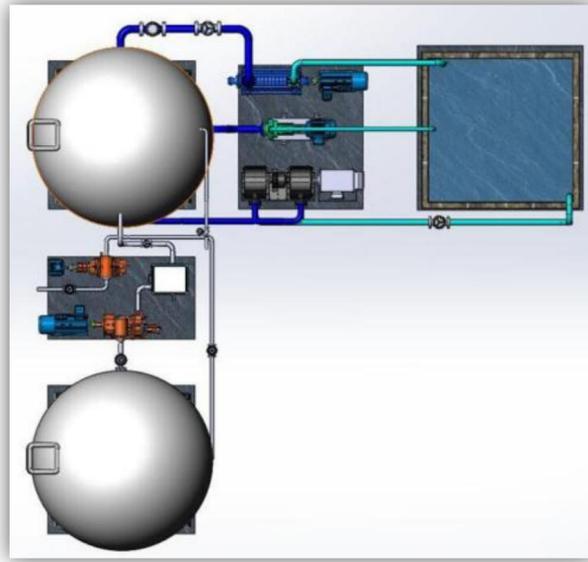


图 2 工程演示验证用 1000kW 抽水压缩气体蓄能电站

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

新材料产业

401 金属材料及金属合金

47. 轻金属及其复合材料

团队负责人：柴东朗

依托单位：苏州市轻金属及其复合材料实验室

一、团队简介

实验室成立于 2006 年，由国内轻金属及其复合材料权威专家柴东朗教授领衔，2009 被认定为苏州市重点实验室。实验室主要科研骨干 15 人，致力于复合陶瓷化、超轻金属材料研究和产业化。实验室先后与航天一院、航天五院、航天八院、中船重工 705 研究所等近 20 个研究所进行学术交流和学术合作，为实验室的研究成果在我国航天领域的推广和加深交流合作奠定了必要的基础。其中，航天航空领域的轻金属及其复合材料产品研究其研发的高强韧镁合金 AZ33M 超轻镁锂合金 LAZS-10A\LAZS-10B 已列入国标和军标，成为多个航天器型号选用的轻合金，打破了国际上对我国轻金属材料的封锁。实验室于 2010 年获得苏州市重点实验室二期滚动支持（SZS201010）。

实验室主要研究方向为：复合陶瓷化、超轻金属材料（AZ33M 镁合金、超轻 Mg-Li 合金、超轻 Mg-Li-Ca 合金、高温耐蚀镁合金、铝锂合金、铝基复摩擦材料）、钛合金的渗氧技术等。

二、团队项目

(1) 复合陶瓷化

性能：循环盐雾实验 96h，破损面积小于 5%（已经过 SGS 验证，如图 1）；处理后表面不导电；

优势：与微弧氧化相比，复合陶瓷化能够处理到零件的螺纹孔以及棱边棱角，且陶瓷层致密、无空隙、无增厚现象、表面均匀光滑。处理范围不受零件的尺寸

以及复杂程度的影响，而微弧氧化技术受限于零件的形状，并且循环盐雾实验 48h，满足不了国军标的要求。

应用：2016 年 7、8 月与 705 所、中船重工西安东仪集团合作应用于某水雷项目，并且后续项目已于今年（2018 年 2 月）开始。主要应用零件见图 2。



图 1 SGS 盐雾实验报告



图 2 部分应用零件零件

(2) AZ33M 镁合金

性能：如下表（已经过 SGS 的验证，如图 3）

性能	挤压比 4-6	挤压比 8-10	挤压比>15
抗拉强度, MPa	300-330	350-380	400-430
拉伸屈服强度, MPa	210-230	250-270	300-350
断后伸长率, %	23-25	18-20	8-13

在 2015 年通过了世标（如图 4）及国标认证（如图 5）

优势：国内镁合金的抗拉强度一般在 250MPa 左右，断后伸长率一般不高于 10%，不耐腐蚀，机加工困难；而 AZ33M 镁合金抗拉强度、断后伸长率以及耐蚀性能均高于国内镁合金，且易于机加工。

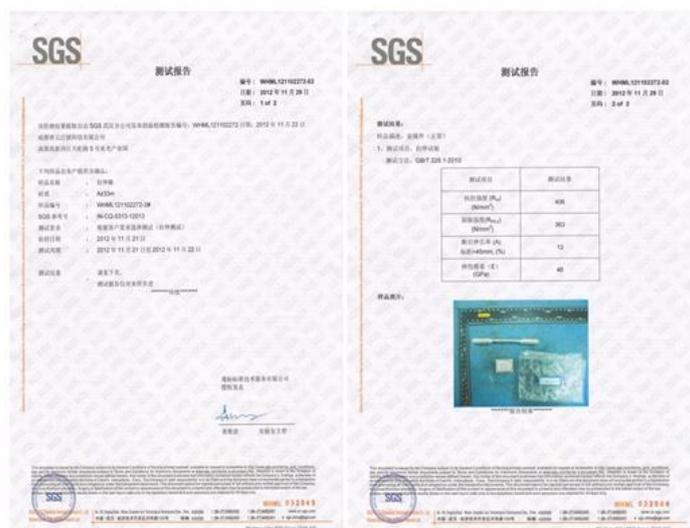


图 3 AZ33M 镁合金力学性能 SGS 测试报告



图 4 AZ33M 获得世标认证



图 5 AZ33M 获得国标认证

应用：在水雷、导弹、卫星、无人机机翼等国防领域均有应用记录。其部分零部件如图 6 所示。

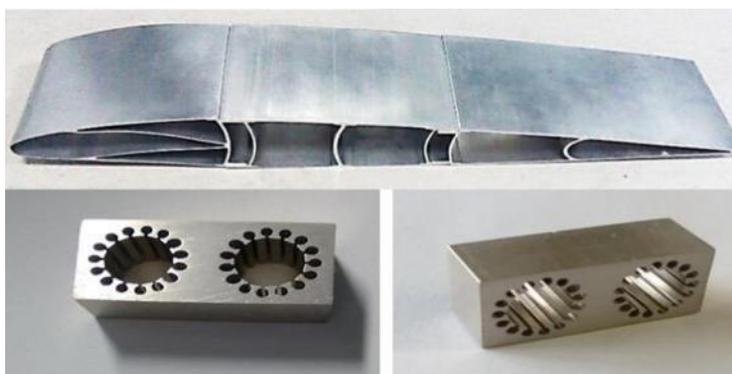


图 6 AZ33M 在国防领域的部分应用

(3) 快离子导电膜

性能：电阻率为 $0.0078\text{m}\Omega \cdot \text{mm}$ （相同条件下银的电阻率为 $0.017\text{m}\Omega \cdot \text{mm}$ ）。膜层致密、导电、有金属光泽（可以当镜子照）。具有金属键和离子键导电机理，结合力强， 230°C 热震（10次）转化膜无脱落。

应用：已经应用于雷达、通信（上海铭源科技有限公司）等领域如图 7。



图 7 快离子导电膜处理零部件

(4) 钛合金的渗氧技术

性能指标：

- (1) 表面层为金红石结构的 TiO_2 ；
- (2) 渗氧深度 $0.001\text{--}0.30\text{mm}$ ；表面硬度 $\text{Hv}650\text{--}1000$ ；
- (3) 耐烧蚀 ($\geq 900^\circ\text{C}$)、耐腐蚀、耐磨
- (4) 可用于精密、复杂形状的钛合金；零件硬化处理，也可用于大型零件。

应用：已应用于某狙击枪的表面处理，处理后连发 1000 发，表面温度升高不大（如图 8）。



图 8 钛合金的表面渗氧技术

(5) 超轻 Mg-Li 合金

性能：密度 $1.4 \sim 1.6 \text{g/cm}^3$ ，抗拉强度 $200 \sim 250 \text{MPa}$ ，延伸率 20 左右。

优势：普通镁合金的密度为 1.8g/cm^3 ，它与国内外 Mg-Li 合金相比具有优良的力学性能、较高的抗腐蚀性能、较低的密度等优点。被多方专家组评定为“国内领先，国际先进”。为目前应用的最轻的结构材料。

应用：已经通过国军标的认证，已成功应用于 LD-4、CX-6、MC-A/B、浦江一号等型号卫星。并对结构材料的取代率接近 100%，基本上取代了铝合金。并为 MC-A\B 卫星的结构件减重达到 50%左右。其应用的部分零部件如图 9。



图 9 超轻 Mg-Li 合金应用的部分零部件

(6) 超轻 Mg-Li-Ca 合金

特点：密度 1.25g/cm^3 ，与其他镁锂合金相比，在强度水平相当的情况下具有更低密度（第二代超轻 Mg-Li 合金）。

应用：基于超轻 Mg-Li 合金的情况，可以达到中试水平，目前还未产业化。

(7) 高温耐蚀镁合金

性能指标：

(1) 600°C 长时加热情况下，材料完好未发生表面烧损现象（材料表面光亮）和材料内部局部熔融情况；

(2) 经过差热分析表明挥发温度为 730°C ，起始熔点为 760°C ，完全熔化温度为 800°C 左右。

(3) 在 PH 为 6 的溶液中浸泡 60 天后，晶界处仅有轻微腐蚀；在 PH 为 10 的溶液中浸泡 60 天后，未见明显腐蚀，仅有微量沉积物。

(4) 在 400℃ 时压缩强度接近 240MPa。

应用：实验室研究阶段已结束，可以达到中试水平，目前还未产业化。

(8) 铝锂合金

性能：抗拉强度 595MPa、屈服强度 455MPa、延伸率 10.8%、密度 2.35g/cm³。

优势：第三代铝锂合金 1460 性能为抗拉强度 538MPa、屈服强度 492MPa、延伸率 10.5%、密度 2.57g/cm³。

应用：处于中试阶段，目前还未产业化。

(9) 铝基复合摩擦材料

性能：1、使用温度范围宽（-50—350℃），散热好；2、无“热衰退”现象；3、磨损率低，优于国标 5-10 倍；4、无低温脆性；5、良好的抗腐蚀性能；6、制备工艺简单，价格便宜；7、对于磨副有良好的保护作用。

应用：可广泛用于各种交通运输工具和机器设备的制动器、离合器及摩擦传动装置。图 10 为摩擦系数和磨损率的检测报告。



图 10 摩擦系数和磨损率的检测报告

三、技术成熟度

实验室阶段 工程化阶段 产业化阶段

四、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

48. 钛镍 60 合金及其超滑技术

负责人：曾群锋、董光能

所在院系：机械工程学院

一、项目简介

随着我国战略性新兴产业（如高速铁路、大飞机）和高端装备制造业（如部分高速精密机床）的发展，高端轴承进口增长较快。目前高铁轴承全部进口，部分高速精密机床轴承还需进口。从长远看，对我国战略性新兴产业的成长将产生不利影响。

钛镍合金是一种金属间化合物，具有优良的耐磨性、耐蚀性。钛镍合金 TiNi60 是一种 Ti、Ni 质量原子比为 40:60 的金属间化合物，具有低密度、高硬度、优异的耐蚀性以及良好的摩擦学性能且在热处理前易于加工，可望在高速轴承中得到应用。TiNi60 的密度为 6.7g/cc，比普通轴承钢密度小 30%左右，密度小这一特点，可实现轴承的轻量化和高速化。本项目主要是解决现用滚动轴承材料难以满足高速滚动在高铁、高速机床等高新技术领域应用中高强度、低摩擦、高耐磨性要求的问题，采用高真空感应熔炼技术制备出优异性能的高速滚动轴承材料-钛镍 60 合金，并采用可生物降解润滑剂的超滑技术对高速球轴承会为耐磨、减摩起到事半功倍的作用，为高端轴承的国产化奠定基础，为我国装备制造业的发展贡献力量。

本项目的前期工作，针对球轴承材料 TiNi60 采用蓖麻油润滑获得了超低摩擦系数（最低达到 0.004）。该项技术完全由本课题组研发，完全具有自主知识产权，此外该技术具有生产过程环保、能耗小、制造成本低、产品易系列化和原材料无危险性、毒性等突出特点。因此可以肯定该项技术、该类产品的出现为我国轴承市场注入了新鲜的“血液”。可以预见该技术的市场前景是非常广阔的，其产品的市场竞争优势也是非常明显的。

本项目采用高真空感应熔炼技术制备钛镍 60 合金，并采用超滑技术以提高滚动轴承的高速、润滑能力。图 1 为钛镍 60 合金形貌图及表面金相组织图。



图 1 钛镍 60 合金球

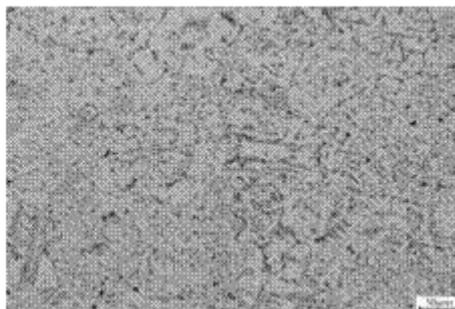


图 2 钛镍 60 合金金相图

二、技术创新性

1) 该技术具有生产过程环保、能耗小、制造成本低、产品易系列化和原材料无危险性、毒性等特点；

2) 该技术研发的钛镍 60 合金具有低密度、高硬度、优异的耐蚀性以及良好的摩擦学性能的特点，以及强度远高于普通纯钛材料；杂质元素含量远低于普通轴承钢材料；

3) 对于高端装备制造的球轴承润滑，将硼酸酯添加到植物油中，实现极压抗磨和减摩性能。该油具有可生物降解性，能满足环保的要求；

4) 合理的生物降解润滑剂可以使钛镍 60 合金摩擦系数在 0.004 左右，达到超滑状态。

三、市场前景及应用

本技术适用航空、航天、高铁、高速机床等高新技术领域用高速滚动轴承、要求耐蚀、高强度的医疗器械等领域。市场发展前景很好，产品或工艺创新性突出，本技术方案已经在轴承公司开始试产。

四、技术成熟度

实验室阶段 工程化阶段 产业化阶段

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

49. 新型超高碳钢轴承

负责人：柳永宁

所在学院：材料科学与工程学院

一、项目简介

经过几十年的发展，中国已经发展成为轴承钢的生产大国，产量已基本能满足国内市场需求。但是国产轴承钢的质量与瑞典 SKF、日本山阳等先进厂家相比还存在一定差距，主要是疲劳寿命的延长。延长轴承钢寿命的尝试主要包括降低氧含量与提高钢的洁净度；表面改性处理；以及通过探索新的热处理工艺来提高轴承钢的疲劳寿命。然而通过以上方法获得的较长寿命并不总是能够满足要求的，特别是在高载荷等严酷条件下使用时，更是如此，所以一直有需求开发一种具有更长使用寿命的钢材。

当钢的含碳量大于 0.77%以后成为过共析钢，过共析钢在铸造态、退火态与正火态的正常组织为网状二次渗碳体与珠光体。渗碳体的硬度高，耐磨性好，增加渗碳体明显可以提高材料的硬度与耐磨性。但以网状形态存在是导致钢变脆的主要原因，为了减少脆性，避免较多的网状渗碳体，轴承钢的含碳量一般都小于 1.0 左右，高于此含碳量将导致后续锻造、轧制难以将大的网状渗碳体破碎，将使钢的性能变脆。为了破碎网状渗碳体，在轧制与锻造工艺中都增加了变形量同时降低变形温度，这样都增加了工艺成本，浪费了能源。本项目提出了超高碳轴承钢的概念，设计并制备了含碳量在 1.20-1.31%超高碳轴承钢。

二、产品性能优势

在最佳热处理工艺条件下，超高碳钢的接触疲劳寿命是传统 GCr15 钢和瑞典 SKF-3 轴承钢的 3-5 倍。

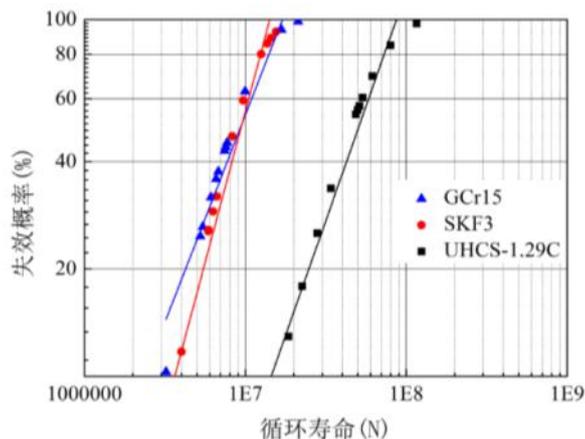


图 1 轴承材料接触疲劳寿命

提高性能的原因在于：

1、在相同的热处理条件下硬度提高 2-3HRc 度。

2、晶粒显著细化。在相同热处理条件下，超高碳钢的平均晶粒尺寸为 6.9 μm ，而传统 GCr15 和 SKF-3 材料的晶粒为 13.5 μm ，细化晶粒可以提高强度与韧性。

3、耐回火温度提高。在相同的回火温度下，超高碳钢的硬度高 2-3HRc，因此在相同的硬度条件下，回火温度可以提高 50-100 $^{\circ}\text{C}$ ，这样可以充分释放淬火应力。

这些因素都是提高寿命的原因。

三、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

在实验室工作的基础上，本项目已开展了工业化的实验，完成了小批量超高碳轴承钢的制备、重卡汽车轴承样件加工以及轴承产品的台架疲劳实验。测试结果与实验室材料接触疲劳寿命实验结果吻合，在 0.45 应力比条件下测试了 8 倍的额定寿命，传统 GCr15 轴承通常在 0.35 应力比台架下测试 3 倍寿命。目前已完成了工业化规模（60 吨）的材料熔炼、轧制，进入到机械加工阶段，待路试合格后将成为新一代轴承钢材料。该材料的成本与 GCr15 相当，热处理工艺也相同，所以不增加额外成本。



图2 典型 GCr15 轴承钢轴承和新材料轴承台架试样后轴承表明质量，新材料表面质量完好，GCr15 轴承钢轴承表面发黄，表明轴承运转时表面瞬时温度升高到 200 度以上。

四、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

50. 桥梁缆索用 2400MPa 级超高强度钢丝

负责人：柳永宁

所在学院：材料科学与工程学院

一、项目简介

提高桥梁缆索用钢丝的强度可有效减少材料用量、降低缆索自重，从而大幅度降低大型桥梁工程的建设总投入。目前，桥梁缆索用钢丝主要依靠冷拔变形强化，采用添加合金和提高冷拔变形量来提高强度，工艺要求严格，对设备负荷要求较高，国外采用该工艺生产的钢丝最高强度级别约为 2000MPa，但进一步提高强度面临技术瓶颈。本项目基于钢中马氏体相变原理的新发现提出采用相变强化以提高桥梁缆索用钢丝强度的新思路，实验室已研制出强度 2400MPa 以上的高强度钢丝（如图 1），强韧性显著优于目前商业化冷拔钢丝（如图 2）。

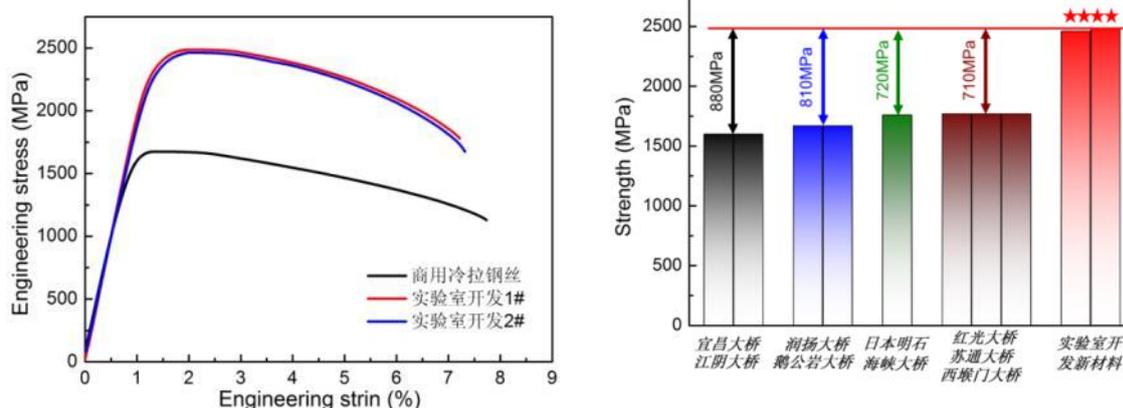


图 1 实验室开发高强钢丝力学性能 图 2 实验室开发钢丝与商用钢丝强度比较

二、产品性能优势

与现有的钢丝生产技术相比，本技术方案存在以下三个方面的优势：

(1) 与国内现有技术相比，强度可提高 600-800MPa，可减少材料用量，经济效益巨大；

(2) 提高钢丝强度可以增大桥梁跨径，降低主塔高度，缩短建设周期；

(3) 在生产工艺上，可减小冷拔变形量，减少拉拔变形次数，简化工艺，同时降低了变形应力，减小设备负荷。

三、市场前景及应用

据文献测算，桥梁缆索用钢丝强度每提高 100MPa，可节约资金为桥梁建设总投资的 1%左右。目前国内已经工业化生产的桥梁缆索用钢丝强度主要为 1570MPa 级、1670MPa 级以及 1770MPa 级，若钢丝强度提高到 2000MPa 左右，则可节约桥梁建设成本 2-5%。以苏通大桥为例，所用缆索钢丝强度为 1770MPa 级，项目总投资 61 亿元，如果钢丝强度提高到 2000MPa，可节约总投入 2%，即 1.2 亿元左右，经济效益巨大。其次，桥梁建设面临着跨径越来越大、建设环境愈趋复杂等问题，导致现有 1670MPa 级别钢丝已经无法满足跨径超过 1000m 的斜拉桥的建设要求，而现有 1770MPa 级别钢丝已经无法满足跨径超过 2000m 的悬索桥的建设要求。因此，2400MPa 级超高强度钢丝的开发具有一定的市场潜力。

四、技术成熟度

概念验证 小试 中试 产业化

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

51. 石墨烯包覆多功能复合粉体制备技术

负责人：刘马宝

所在学院：航天航空学院

一、项目简介

采用无助剂、气氛可控、层数可控的石墨烯原位包覆处理技术，制备具有核壳结构的石墨烯包覆粉体（金属、陶瓷、高分子等），形成壳体为石墨烯的核壳结构复合粉体。利用该核壳结构复合粉体可制备具有优异的力学（高强度、高韧性、耐磨损）、物理（电性能、热性能）及化学（自润滑、耐腐蚀）性能的复合材料及构件。该技术处理过程中不添加任何助剂，可保持生成的石墨烯的活性，并避免石墨烯与包覆粉体界面间的污染，实现石墨烯在粉末表面的原位生成、石墨烯的均匀分散。制备的核壳结构石墨烯包覆复合粉体可利用传统粉末冶金或其他先进制造技术（如 3D 打印）进行成型，从而得到综合性能优异的三维石墨烯网络结构增强型复合材料或构件。同时，本粉体处理技术无污染、处理成本低廉，可实现规模化工业生产。

二、技术创新点

由于石墨烯具有优异的机械、物理及化学性能，且具有大的比表面积和自润滑性能，利用本技术制备的核壳结构石墨烯包覆粉体，石墨烯在粉体上的附着力强，可提高粉体流动性，且粉体成型后得到的复合材料及其构件可实现增强、增韧、耐磨、高导电、高导热、耐腐蚀等综合性能的提升。

本核壳结构石墨烯原位制备复合粉体技术具有以下创新点：

- （1）石墨烯原位包覆粉体制备过程中无需任何助剂；
- （2）石墨烯层数有效可控，可根据材料或构件的不同性能需求处理复合粉体；
- （3）成型后的材料或构件具有独特的三维网络石墨烯增强、增韧、高导电、高导热等改性结构；
- （4）本粉体处理技术环境友好、处理成本低廉，利于工业化生产。

本核心技术与市场上国际同类技术相比主要优势在于：

(1) 技术领先。本技术可根据材料性能需求，对石墨烯包覆层数进行可控调节，技术及产品性能属于国际领先水平；

(2) 具备完全自主知识产权（9项发明专利），且关键设备为自主研发；

(3) 应用范围广。该技术具有普适性，可应用于不同种类材料粉体的改性处理；

(4) 易于工业化生产。本技术为粉体处理技术，不涉及粉体自身制备，且本技术处理后的石墨烯包覆粉体适用于传统粉末冶金和3D打印等先进制造技术，因此，粉体本身制备和材料成型过程均可沿用原有设备，无需进行设备升级改造或添置新设备。

(5) 价格优势。产品生产成本低，与国外同类材料相比更具竞争力，且完全可以替代进口产品。

(6) 环保优势。本粉体处理技术无污染。

与传统TC4合金相比强度与韧性同时提高，为国内外公开报道的最高值（图1）。

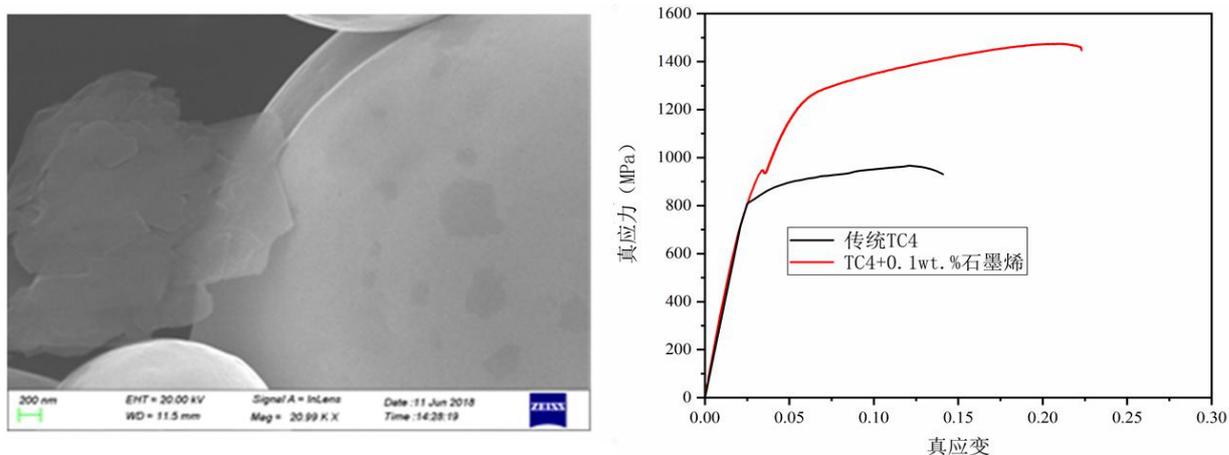


图1 GE-TC4 微观表征及其常规拉伸性能

与常规石墨烯-镍718 (GE-IN718) 复合材料相比，强度和塑性获得显著提升（图2）。

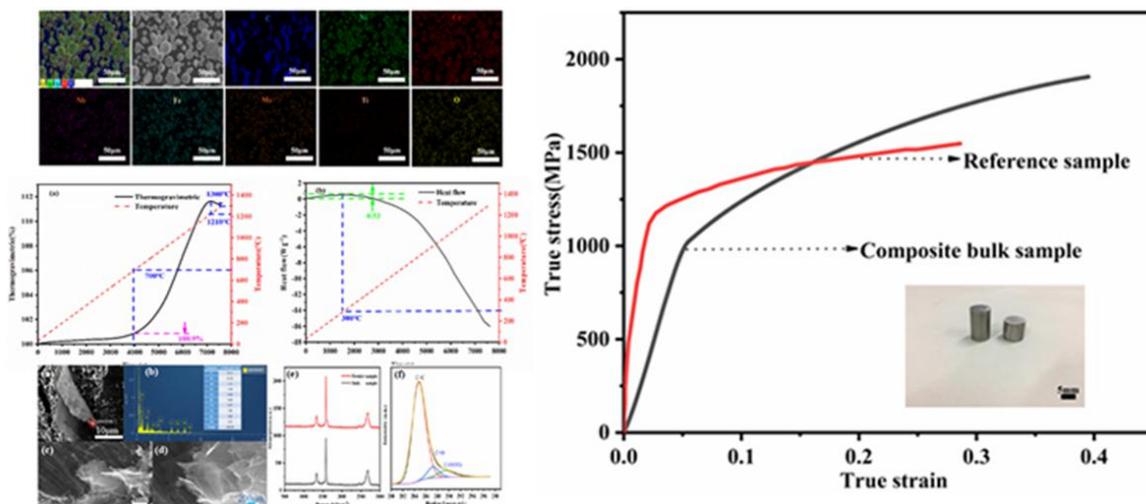


图 2 GE-IN718 组织表征及力学性能

图 3 为石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的拉伸应力-应变曲线、微观组织及国内外研究中石墨烯增强铜基复合材料的拉伸强度-延伸率汇总。与国内外报道的研究结果相比具有较高的韧性。

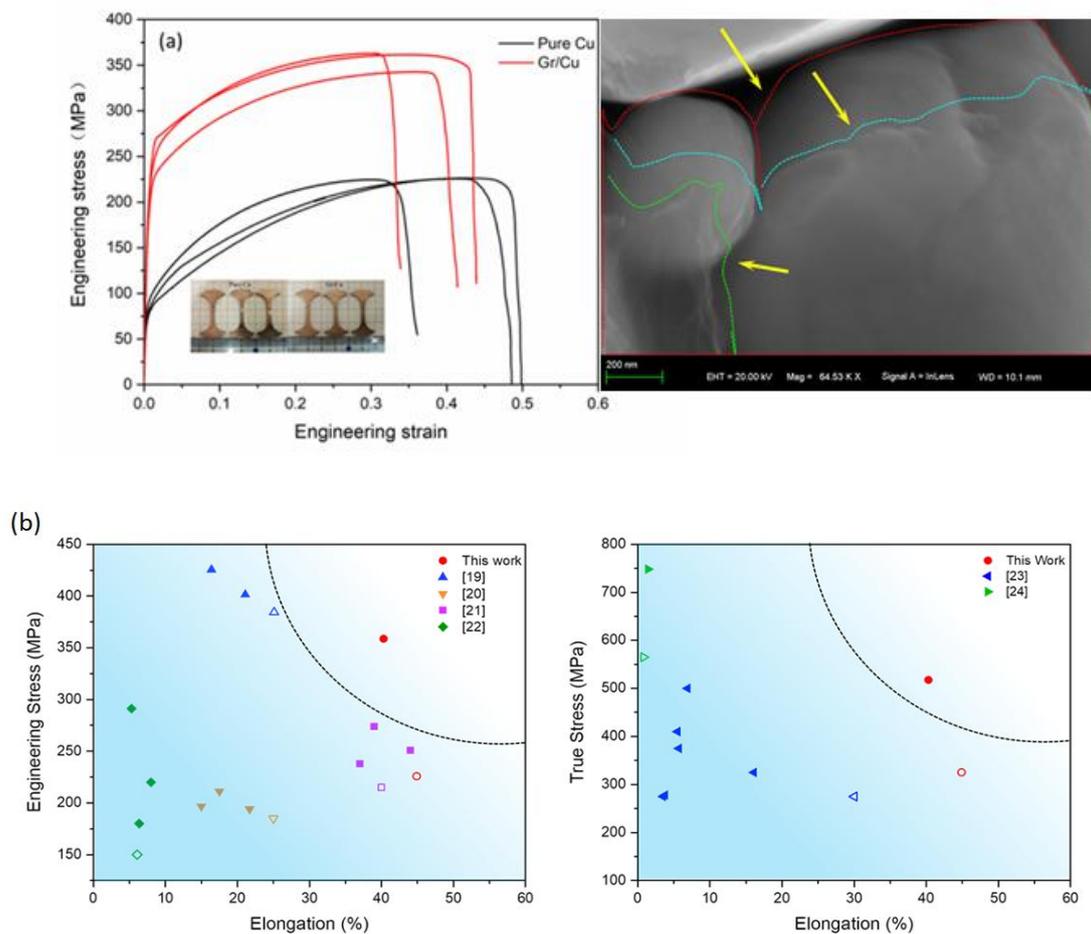


图 3(a) 石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的拉伸应力-应变曲线及微观组织；
 (b) 国内外研究中石墨烯增强铜基复合材料的拉伸强度-延伸率汇总

图 4 为石墨烯-氮化铝 (GE-AlN) 的断裂韧性测试, 0.3wt.%GE-AlN 的断裂韧性为 $11.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 而传统 AlN 陶瓷断裂韧性为 $3.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 极大地提高了该材料的断裂韧性。

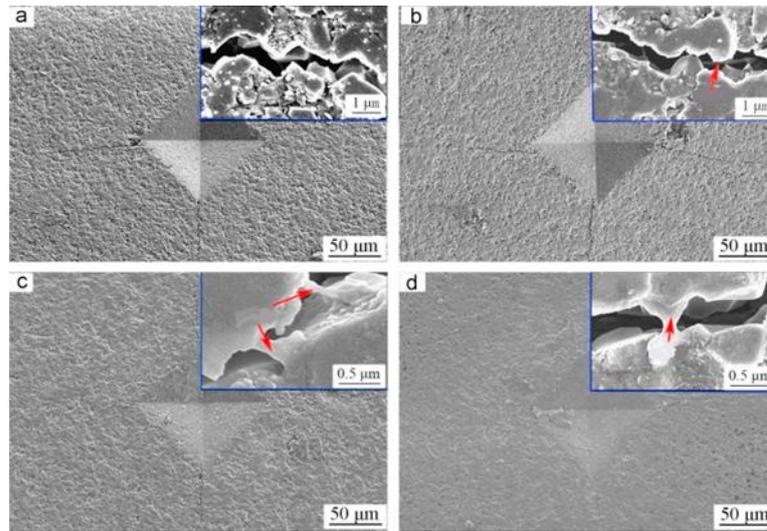


图 4 GE-AlN 断裂韧性测试

图 5 为国内外研究中石墨烯增强铜基复合材料的电导率汇总, 本方法制备的石墨烯增强铜基复合材料与国内外同类材料相比具有显著优势。

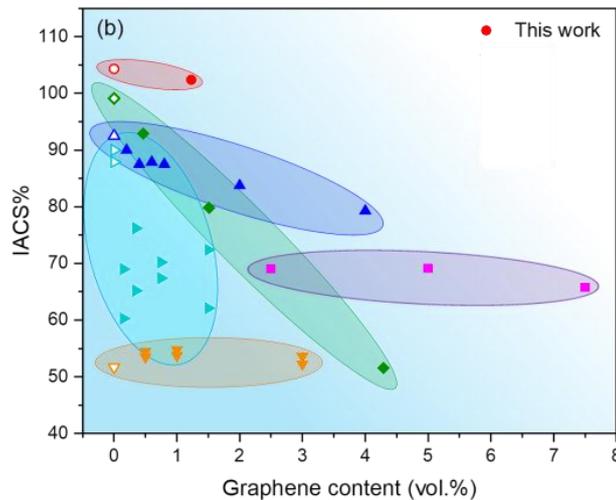


图 5 国内外研究中石墨烯增强铜基复合材料的电导率汇总

图 6 为石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的热扩散系数的比较, 由图可以看出石墨烯增强铜基复合材料的热扩散系数较纯铜有较大提高, 且在高温下更为显著。

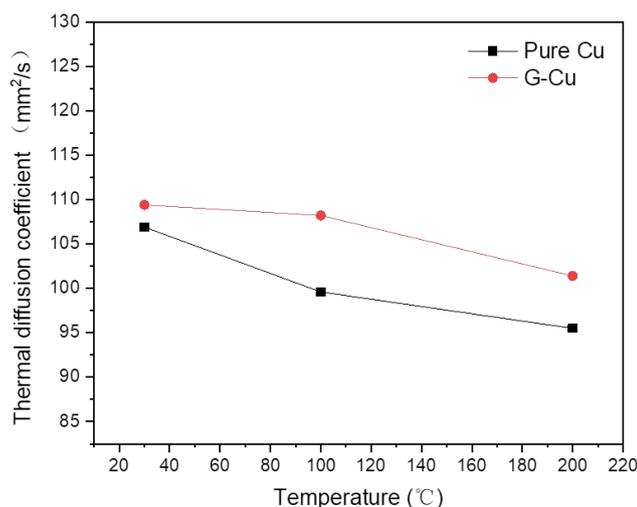


图 6 石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的热扩散系数比较

图 7 为石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的摩擦系数的比较,由图可以看出石墨烯增强铜基复合材料的摩擦系数较纯铜有大幅度的下降,下降至原来的 60%。

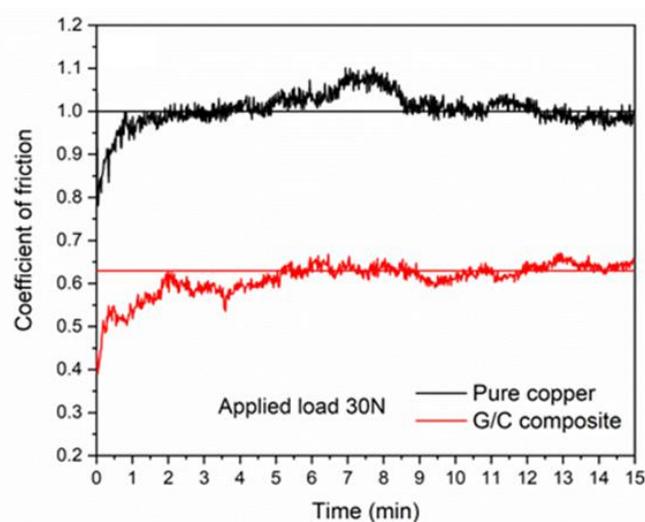


图 7 石墨烯增强铜基复合材料与纯铜的摩擦系数比较

综上所述,利用本技术制备的石墨烯增强复合材料具有优异的综合性能。

三、市场前景及应用

作为一种石墨烯包覆粉体技术,本技术应用十分广泛,可应用于各类金属、陶瓷以及高分子粉体的改性处理,且对粉体形貌、尺寸无特殊要求,可实现微纳尺度球形及非球形粉体的石墨烯改性包覆。

利用本技术制备的核壳结构石墨烯包覆粉体可利用传统粉末冶金或 3D 打印进行成型制备，得到的金属基、陶瓷基、高分子基复合材料及产品可应用于先进轨道交通、电子电信、航空航天、人工智能等众多领域。

四、技术成熟度

实验室阶段 工程化阶段 产业化阶段

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

52. 可降解生物医用超高纯镁（5N）生产装备与工艺研发

团队负责人：单智伟

所在学院：材料科学与工程学院

一、项目简介

金属镁具有优异的生物相容性、良好的生物降解性和有益的生物功能性，被誉为“全新一代生物医用植入材料”。但这些性能极易受到微量杂质元素的影响（生理毒性和不均匀腐蚀降低器件可靠性），因此生物医用镁器件的原材料必须使用高纯镁。受限于现有提纯、熔炼方法的技术原理和操作成本，当前国内企业只能生产4N级高纯镁；国外少数企业能够提供超4N高纯镁，但价格极昂贵，购买手续极繁杂。本项目拟基于团队原创的“气态原子选择性分离”新纯化方法，研发一套生产公斤级的生物医用5N超高纯镁示范装备和操作工艺，进而为下游生物医用镁器件公司提供可直接使用的、优质稳定的原材料，同时也推进更多镁基植入器械的商品化进程。

二、产品性能优势

本项目原创的“气态原子选择性分离”的新型纯化思路，研发气相过滤纯化炉及工艺，配套惰性气氛保护的高纯镁洁净熔炼技术。

1. 一次蒸发实现5N级超高纯镁的稳产：

针对真空蒸馏法原理上难除的杂质，寻找“亲杂质原子疏镁”的洁净滤材，使镁蒸气中的杂质原子在合适的温度区间被选择性吸附而不引入其他污染，强化除杂效果；通过温度场、流场的控制实现镁蒸气“不粘壁”结晶，切断结晶器侧壁可能的杂质引入。

2. 提高高纯镁的收得率：

借助高效的“吸附过滤”，蒸出的杂质几乎全部都提前在滤材上富集，高纯镁蒸气进入结晶器形成高纯镁，大幅提升高纯镁的收得率。

3. 有效控制铸锭的杂质含量：

通过惰性气体保护控制大气环境引入的非金属夹杂；通过使用洁净高纯坩埚和模具切断系统的杂质引入。通过重力过滤去除熔体自带氧化皮。

4. 熔炼过程绿色无污染：

高纯镁洁净熔炼技术熔炼过程全程不添加熔剂，不使用有毒气体，保证工艺过程无污染、无有害物质排放。

三、市场前景及应用

生物医用 5N 超高纯镁的应用领域为医疗器械中的高值医疗耗材领域。使用 5N 超高纯镁为原料可制成的最有特色的可降解生物医用器件——镁支架和镁骨钉，分属高值医疗耗材中的血管介入器件和骨科植入器件两个规模最大的细分市场。

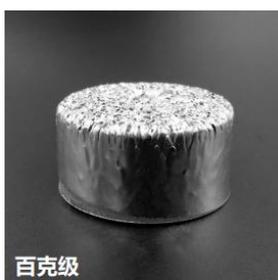
四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

五、合作方式

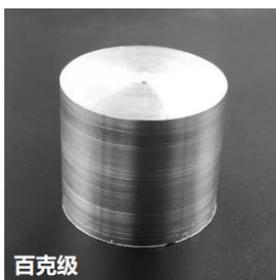
联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

附图



百克级

5N超高纯镁结晶

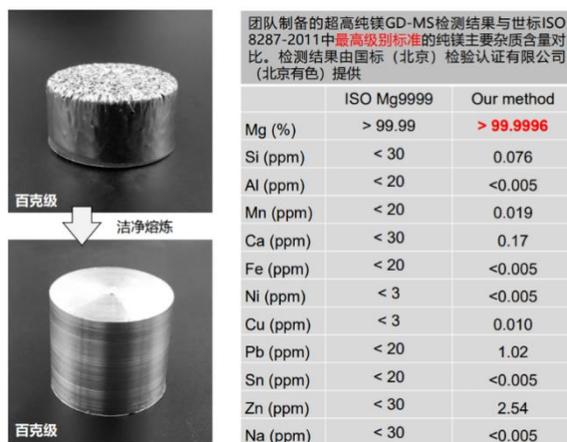


百克级

5N超高纯镁铸锭



镁植入器件示例：纯镁骨钉



402 无机非金属材料

53. 英寸级单晶金刚石衬底及其关键设备的产业化

负责人: 王宏兴

所在学院: 电信学院

一、项目简介

金刚石单晶集电学、光学、力学和热学等优异特性于一体，在高温、高频、高效大功率电子器件、生物传感器、日盲紫外和粒子闪烁体探测与成像、光电器件、航空航天和武器系统等方面极具应用前景，被誉为“终极半导体”。金刚石电子器件相比其他半导体器件具有高效率（约提高 18%）、低损耗（约降低 30%）、体积小和更高的集成度、而且无需冷却系统。其耗能大约为现有器件的 1/5-1/3。目前日、美、欧、中已纷纷投入巨资、并成立相关组织和产学研机构推进金刚石单晶材料及其电子器件的研发与应用。英寸级单晶金刚石衬底及其关键设备的产业化，可以极大地推进我国半导体的革命性变革，实现我国微电子行业的跨越式发展，达到国际先进水平。

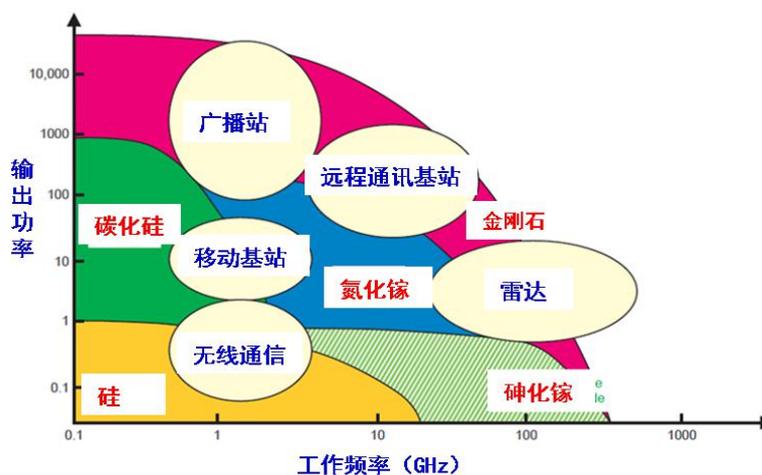


图1 金刚石半导体特性

二、产品性能优势

（1）基本原理及关键技术内容

- 单晶金刚石半导体衬底外延生长工艺通过研究金刚石 MPCVD 生长动力学过程的异常成核及以（111）配向的粒子为中心的 Hillock 形成机理；
- 优化设计 MPCVD 反应腔体结构，实现微波等离子体的大面积、高密度和均匀化；
- 优化反应腔室的热场分布及气流分布；
- 利用单晶金刚石晶体的等效晶面特征，研究外延生长过程中的横向生长（Lateral over Growth）技术，采用相互垂直晶面的外延生长方式，获得 $10 \times 10\text{mm}^2$ 以上面积的金金刚石衬底；
- 研究高能离子注入技术在金刚石浅表层下形成非金刚石层的有关规律及方法，获得表面层可分离的同质金刚石单晶衬底，为金刚石单晶的“克隆”创造条件；
- 研究不同晶向的衬底接触部的晶体融合机理及规律，利用拼凑融合方式外延生长并形成更大面积的单晶衬底，满足 1 英寸大面积单晶金刚石衬底的量产需求。

（2）创新点

- 采用等晶面及镶嵌拼凑融合的方法形成一套大面积单晶金刚石生长的工艺规范，可生产 1 英寸（ $25.4 \times 25.4\text{mm}$ ）以上单晶金刚石衬底及薄膜产品。

- 获得采用克隆技术量产大面积单晶金刚石的整体技术。

三、市场前景及应用

按照日本相关公司的预测，随着金刚石半导体的发展，在 2030 年，中国的市场规模达到 100 亿美元。由于金刚石生产中的主要成本是甲烷、氢气和消耗电力的费用，成本较低，经济效益显著。团队拥有 MPCVD 设备全套自主知识产权，且制造出的单晶金刚石衬底材料，功率密度已超越日本、意大利等国家，在尺寸上，该团队可提供厘米级（1cm*1cm）产品，也为国际先进水平。国际上虽然有英寸级、2 英寸级产品出现，但仍处于科研实验阶段，产量极低，无法产业化应用。

本项目开发和产业化的产品及其市场应用包括以下几个方面：

（1）金刚石单晶衬底

大面积单晶金刚石衬底主要为开发和产业化以下的金刚石电子器件提供外延生长衬底：

- 大功率金刚石电力电子器件：其可替代现有的 Si、SiC 等电力转换器件和开关电源，大幅减小转换器件尺寸，而且无需散热，实现转化效率的大幅提升和功耗的大幅下降，可靠性大幅提升。金刚石电子器件的耗能将是现在使用的器件的 1/3-1/5。
- 超高频大功率金刚石电子器件（微波、毫米波雷达）：可用在火控武器系统、雷达、高速无线通信、火箭及航空航天等领域。可替代现在使用的行波管，使得武器系统和通信系统更加小型化和可靠性的大幅提高，大幅提高通信系统的数据传输速率，大幅降低卫星及其它航天器的重量、发射成本和抗辐照能力。
- 应用于集成电路芯片：开发基于金刚石的下一代集成电路芯片，彻底解决集成电路散热瓶颈问题，使得集成电路更加规模化，更加高速化。
- 金刚石紫外 LED、LD：可使用在环保与医用杀菌，高密度数据储存等方面。
- DNA 等生物传感器：利用金刚石与生物细胞的亲和性及其生物传感器的高灵敏性，开发各种金刚石生物传感器；同时，也可以制成生物武器探测器等。

- 日盲紫外探测器和超快粒子辐射闪烁体探测器：应用于导弹制导与预警、深空 x 光通信。
- 其他的电子器件和传感器。

(2) 战斗机和其他武器系统的抗高能微波及耐磨视窗材料

利用金刚石的远红外到深紫外的高透光特性，高导热特性以及高强度特性，可以制成高功率微波武器的窗口、长程导胆窗口和探测器的窗口。

(3) 超硬材料工具方面

金刚石具有最高的导热率和杨氏模量，是迄今为止最硬的物质，这就使得金刚石在刀具等工具行业里有着广泛的应用。比如美国苹果公司的 iPhone 手机的加工就需要用到大量的单晶金刚石，还有石油勘探所用钻头，精密加工刀头，手术刀等等。

(4) 微波等离子体 CVD 设备

以上几个方面的大量应用就需要用到 MPCVD 设备。因此，在金刚石电子器件，军工市场展开之后，MPCVD 的需求也会大幅攀升。



图 2 关键设备-MPCVD

(5) 电力电子器件（宽紧带、耐高压、抗击穿）

(6) 培育钻石

四、技术成熟度

实验室阶段 工程化阶段 产业化阶段

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

附图：

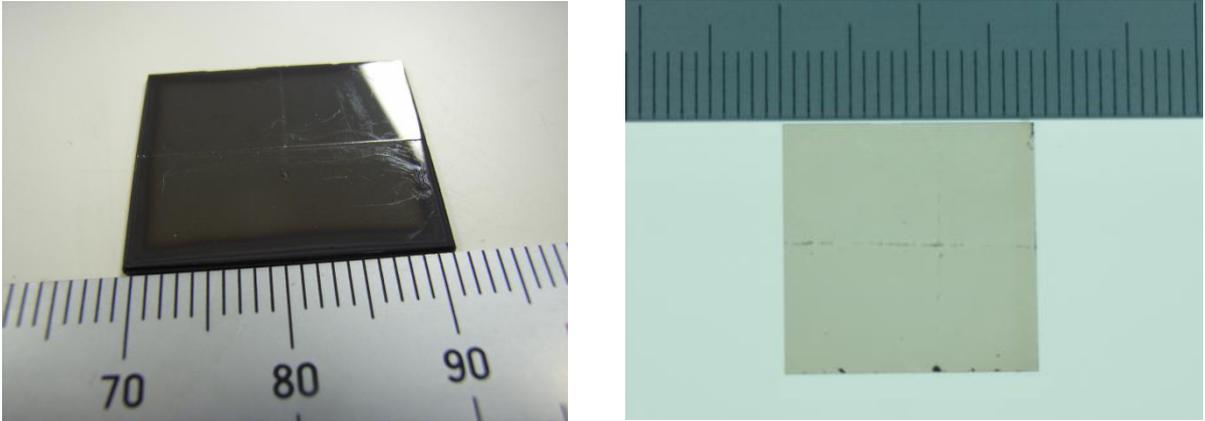


图3 单晶金刚石衬底“克隆”生长（左：剥离前；右：剥离后）

54. 高附加值-高性能活性炭制备及超级电容器应用

负责人：陈元振

所在学院：材料科学与工程学院

一、项目简介

兰炭是以低变质煤为原料在隔绝空气的情况采用低温干馏技术生产的一种固体产品。它是一种较为硬而脆的煤种，在开采及运输的过程中会产生大量的焦末，其中粒度在 3mm 以下的兰炭焦末约占总量的 10%左右，一般作为低级燃料处理或弃置与地头、河道，不仅浪费了资源、也对环境造成了污染。我们的工作是将兰炭经过改性后加工制作成高品质活性炭材料，延长兰炭产业链，变废为宝。它在超级电容器储能，水处理、海水淡化、催化剂载体和吸附等领域有广泛应用。其中，作为超级电容器电极材料应用较广。超级电容器是一种介于传统电容器与电池之间储能器件。其主要特征是大电流充放电优异，功率密度高，循环寿命超长（大于 10 万次），应用温度范围广（-20-80 度），非常适合作为高功率电源设备，如用于汽车启动电源，城市公交电源，重型机械高功率电源，动车能量回收装置和军事武器如激光炮等电源设备。

目前，市场上的多孔碳材料主要是用椰壳等植物通过一次碳化和二次活化完成，工序较多，耗能大。本项目采用一步活化便可将其转变成优质的多孔碳材料。研究结果表明，兰炭基多孔材料容量大幅度提升，是未活化材料的 4-6 倍。5000 次循环基本保持不变。最高容量在 225 F/g。本团队通过对多孔碳进一步改性以后，容量进一步提升，最高容量可以达到 280 F/g，显示出很强的电荷储存能力。现在市场上高性能活性炭的价格在 100 万元/吨以上，用兰炭制备的活性炭，生产成本可以控制在 3-5 万元/吨，利润巨大！

兰炭粉末制备多孔碳的优势：

- (1) 节能。利用兰炭制备多孔碳只需要一步活化即可，相比于椰壳和生物质，通过“碳化+活化”过程，步骤少，操作简单，节约能源。
- (2) 生产过程中使用的活化剂可以重复使用，因此投入成本少。
- (3) 多孔碳的制备温度低，能耗低，制作成本低。

(4) 制作的多孔碳比表面积大。做电容器电极容量高。做吸附剂则吸附能力强。

(5) 现在市场上高品质活性炭的价格是 100 万元/吨,用兰炭制备的活性炭比表面积大,结构稳定,成本 3-5 万元/吨,因此,利润巨大。

二、技术指标 (性能参数)

比表面积 ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	2000
堆密度 (g ml^{-1})	>0.4
灰分 (%)	<1
粒度 (D50, μm)	~ 5, 10, 20, 50 (不同规格)
水系参考比电容 (F g^{-1})	220-250
有机系参考比电容 (F g^{-1})	150

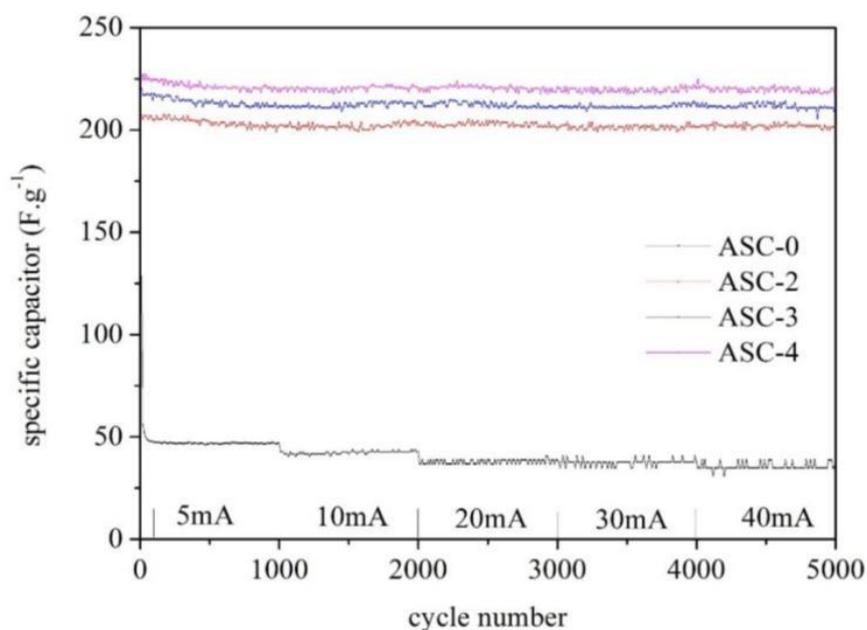


图 1 兰炭基活性炭电容循环性能测试

三、市场前景及应用

目前国内生产的活性炭主要集中在中端和低端产品,缺乏低灰、高强度、高吸附性、具有特殊用途的品种,使得活性炭的价格低廉,利润低,出口多作为生产高档活性炭的原料。而本项目采用物理化学法可制备出性

能优异的高端活性碳材料。将其应用于超级电容器，将在诸多领域广泛应用，市场前景非常广阔。

四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

55. 石墨烯快速制备技术

负责人：陈元振

所在学院：材料科学与工程学院

一、项目简介

石墨烯可以视为单层石墨结构，其独特的二维结构及其优良导电性使其在微电子、半导体、电池以及防腐涂层中得到应用。目前石墨烯生产方法主要有机械剥离法，化学气相沉积法，电辅助氧化法和氧化还原法。表 1 里列举了这几种方法的优缺点。

表 1 石墨烯各生产方式优缺点对比

生产方式	优点	缺点
机械剥离法	石墨烯品质较高，操作简单，成本低廉	获得的石墨烯尺寸不稳定，无法实现量产。
化学气相沉积法	操作相对简单，石墨烯可以大面积生长，得到的石墨烯较为完整，质量较好	高温工艺，成本高；只能达到平方厘米的量级，难以满足石墨烯的工业化应用
电辅助氧化法	生产设备简单	难以控制石墨烯生长层数；石墨烯较难从 SiC 基板上转移；使用强氧化剂，有害气体产生。
氧化还原法	简单易行的工艺成、高效且成本较低	石墨烯在生产过程易发生不可逆转的团聚；氧化还原的过程中，电子结构及晶体的完整性易被破坏，难以生产高品质产品；生产废液造成环境污染。

本团队开发的石墨烯采用气氛-电弧法，可以实现石墨烯的快速制备。相比于传统石墨烯制备方法，它具有如下优势：

1) 生产效率极高。氧化法制备石墨烯耗时约 3-7 天电弧法可在几分钟到十几分钟内完成，效率是普通方法的 400 多倍。

2) 可实现自动化。电弧法制备石墨烯属于纯物理法，从填料，抽气，放电，到收集，整个过程都可以用设置程序完成，实现自动化。

3) 清洁，无污染。传统的化学氧化法要大量使用浓硫酸，磷酸，高锰酸钾，硝酸盐等，制备过程中会造成空气污染和水污染，工人的操作环境差。而电弧法在密闭的腔室中完成，而且不会产生污染物。

4) 材料纯度高。物理电弧法不会引入杂质对石墨烯造成污染，而且电弧放电是持续稳定的，因此，石墨烯的纯度高，均一性好。

电弧法制备的石墨烯形貌如图 1 所示，石墨烯为小尺寸片状形貌，透射电镜（图 1 c, d）显示石墨烯为 1-7 层不等的碳原子层组成。

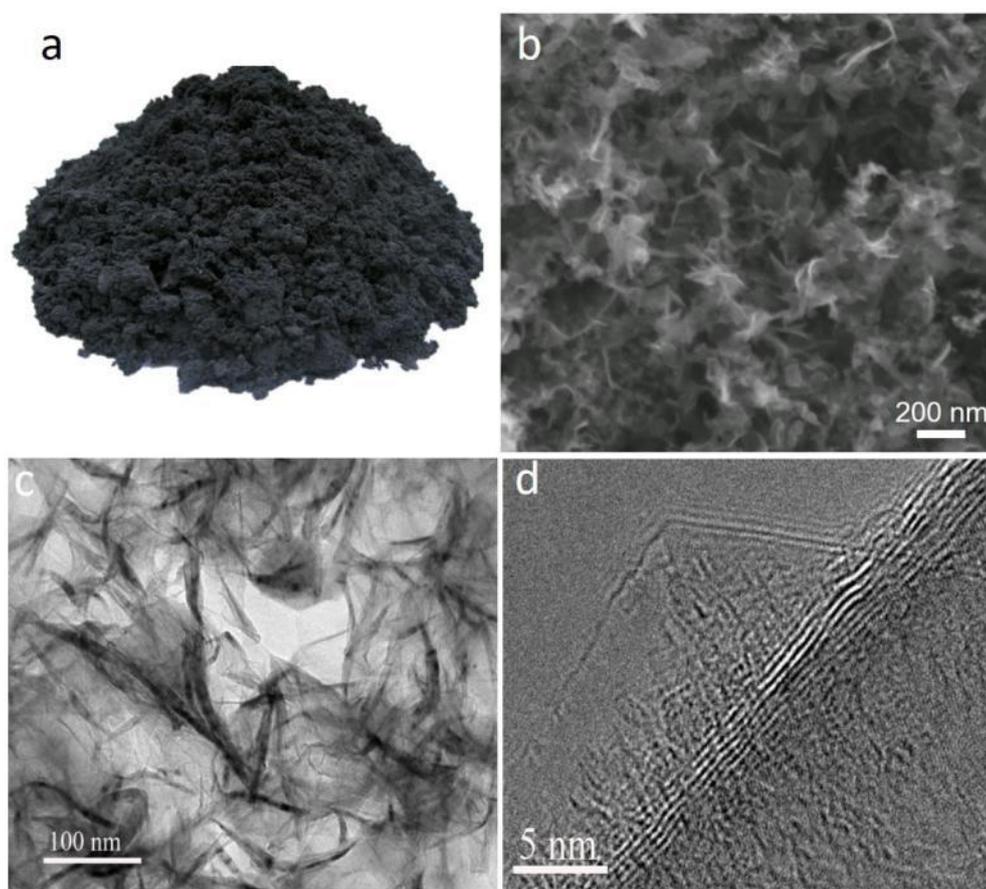


图 1 石墨烯形貌表征

二、技术指标（性能参数）

	1-7 层
	90%（视石墨棒加工方法）

	200-500 nm

三、市场前景及应用

随着批量化生产以及大尺寸等难题的逐步突破,石墨烯的产业化应用步伐正在加快,基于已有的研究成果,最先实现商业化应用的领域可能会是移动设备、航空航天、新能源电池领域。不同形貌的石墨烯具有不同的应用范围。如大尺寸石墨烯膜可以用作柔性显示器,变色玻璃。石墨烯还可以用来制作晶体管,这种晶体管在接近单个原子的尺度上依然能稳定地工作。本项目生产的石墨烯为小尺寸石墨烯粉体材料,可以在汽车,新能源电池,催化剂载体,石墨烯电缆,散热片等方面有巨大的应用潜力。

四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权(许可) 面议

56. 大尺寸 SiC 蜂窝陶瓷蓄热体制备技术

负责人:史忠旗

所在学院:材料科学与工程学院

一、项目简介

SiC 陶瓷具有较高的热导率,高温强度高、抗侵蚀和抗氧化能力强,抗热震性良好,作为蓄热体材料性能优势显著。但目前 SiC 蜂窝陶瓷存在工艺成本高、大尺寸产品成型及烧结难度大等问题,限制了其应用。针对上述问题,本项目从原料组分、成型及烧结等方面进行系统研究与优化,成功开发出了高性能、低成本的大尺寸 SiC 蜂窝陶瓷蓄热体。

二、产品性能优势

蜂窝陶瓷特点:(1)比表面积大;(2)化学性质稳定;(3)抗腐蚀;(4)良好的蓄热性能;(5)良好的热震性能;(6)优异的高温性能。其性能与其他蓄热材料的对比如下表所示。

性能	SiC 蜂窝 陶瓷	对比产品厂商典型值及标准规定值								
		堇青石		堇青石莫来石		莫来石		刚玉莫来石		
		厂商典型值	JCT2135	厂商典型值	JCT2135	厂商典型值	JCT2135	厂商典型值	JCT2135	
容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.88	0.6~0.8	0.4~0.8	0.7~0.9	0.5~0.9	0.8~1.0	0.6~1.1	0.9~1.1	≥ 0.9	
体积密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2.15	1.9~2.6	/	2.9~3.2	/	2.9	/	/	/	
热膨胀系数 ($20\sim 1000^{\circ}\text{C}$)/ $10^{-6}\cdot\text{k}^{-1}$	5.5	1.8~2.3	≤ 2.5	4~5	≤ 3	5~6	≤ 5.5	5~6.5	≤ 6	
比热容 (RT) / $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$	25 $^{\circ}\text{C}$ 1.23 5	≥ 0.85	≥ 0.75	≥ 0.9	≥ 0.75	≥ 1.0	≥ 0.8	≥ 1.1	≥ 0.8	
热导率 (RT) / $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$	25 $^{\circ}\text{C}$ 24.6	≥ 1	/	≥ 1.1	/	≥ 1.2	/	≥ 1.2	/	
强度/ MPa	轴向 压缩	45.7	≥ 20	≥ 20	≥ 22	≥ 20	≥ 22	≥ 20	≥ 25	≥ 20
	径向 压缩	10.4	> 8	≥ 3	> 10	≥ 3	> 10	≥ 4	> 12	≥ 4
抗热震性/ $^{\circ}\text{C}$	*	250~360	≥ 500	250~300	≥ 400	230~350	≥ 300	/	≥ 300	

由表可知, SiC 蜂窝陶瓷综合性能远优于现有蜂窝陶瓷产品。

三、市场前景及应用

蜂窝陶瓷蓄热体是蓄热式高温燃烧技术的核心部件，在加热炉、锻造炉、溶化炉、均热炉等工业炉窑中应用广泛，典型应用：如回转式空气预热器（APH）中的应用。



图1 大尺寸 SiC 蜂窝陶瓷

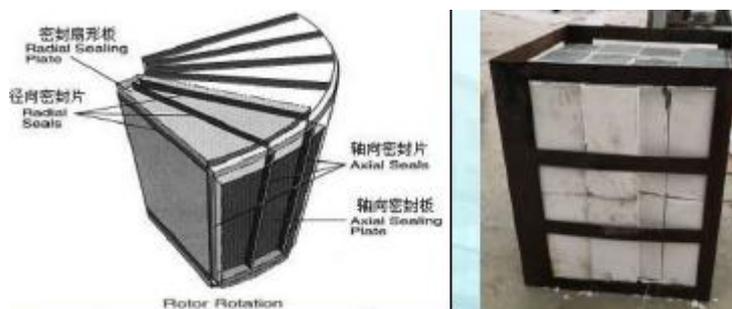


图2 大尺寸 SiC 蜂窝陶瓷在回转式空气预热器（APH）中的应用

四、技术成熟度

●概念验证 □原理样机 □工程样机 ⚙中试 ●产业化

五、合作方式

●联合研发 ●技术入股 ⚙转让 ⚙授权（许可） ●面议

57. 高浓度石墨烯墨汁规模化制备技术

负责人: 李磊

所在学院: 材料科学与工程学院

一、项目简介

石墨烯具有高理论比表面积、高电子迁移率、高热导率等优异特性使其在各领域具有巨大应用前景。目前制备的石墨烯主要以粉体形式存在。石墨烯墨汁是一种高效使用石墨烯粉体的方案, 备受科研界和工业界的关注。目前墨汁制备方案普遍存在诸如工艺繁琐、剂毒性大、固含量低等问题, 严重制约着其广泛应用。

本项目成功发展一种高效方法规模化制备高质量石墨烯墨汁, 进而制备石墨烯基复合材料墨汁, 可以通过 3D 打印、刮涂等方式直接开发其利用。

二、产品性能优势

本项目石墨烯墨汁具有以下优势: 浓度高且可调 (15wt%)、溶剂环境友好且成本低、墨汁粘度调控性好、工艺简单、适用于各种材料基底等。除此之外, 该墨汁可以和其它材料混合, 制备石墨烯基复合材料墨汁, 比如石墨烯-碳纳米管墨汁、石墨烯-活性炭墨汁、石墨烯-镍钴锰酸锂墨汁等。



图 1 石墨烯墨汁样品

三、市场前景及应用

石墨烯市场前景和应用巨大。比如，在锂离子电池领域，石墨烯可以作为导电剂、粘结剂以及散热剂使用。石墨烯导电墨汁在锂电产业预计到 2020 年其产值将达 10 亿人民币。在超级电容器领域，石墨烯及石墨烯基复合材料可以作为储能材料。在散热领域，石墨烯墨汁可以制备散热膜。

四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

58. 二氧化锡量子点溶液制备技术与应用

负责人：王红康

所在学院： 电气工程学院

一、项目简介

本项目提供一种二氧化锡量子点溶液（图二）的生产制备工艺，方法简单，成本低廉，可规模化生产放大，可实现与各种基底材料复合。与纳米粉体材料相比，溶液避免了粉体的分散，而纳米粉体材料往往需要有机表面活性剂助分散，工艺步骤复杂。二氧化锡量子点溶液可通过喷涂方式或者浸渍-提拉方式，实现二氧化锡涂层在各种基底上的涂覆。

二、产品性能优势

该二氧化锡量子点溶液的制备在常温下搅拌而得，不需要加热，也不需要昂贵的实验设备，制备方法十分简便，可实现在不同基底上的均匀、透明涂覆，也可以有均匀地吸附在其他纳米介质如碳纳米管、石墨烯等碳材料上，在气敏传感器、储能材料、催化等领域具有重要应用前景。

三、市场前景及应用

依据行业《2019-2025 全球与中国纳米二氧化锡市场现状及未来发展趋势》调研报告，纳米二氧化锡组作为重要化工原料，市场规模巨大。其应用领域十分广泛，包括 ITO 等半导体电子工业材料，陶瓷釉料的遮光剂、乳浊剂、着色剂，气敏元件材料，导电陶瓷及电极材料，抗菌材料，低辐射玻璃，抗静电材料，有机合成催化剂，锡盐，织物媒染剂和增重剂，铜和玻璃的磨光剂等。银锡触头材料。银氧化锡触头材料是近年发展迅速的新型环保电触头材料，是替代传统银氧化镉触头的理想材料；塑料和建筑行业的抗静电添加剂，用于平板和 CRT(阴极射线管)显示的透明导电材料，电工及电子元件，用于熔炼特种玻璃的氧化锡电极；用于光催化抗菌材料，等等。

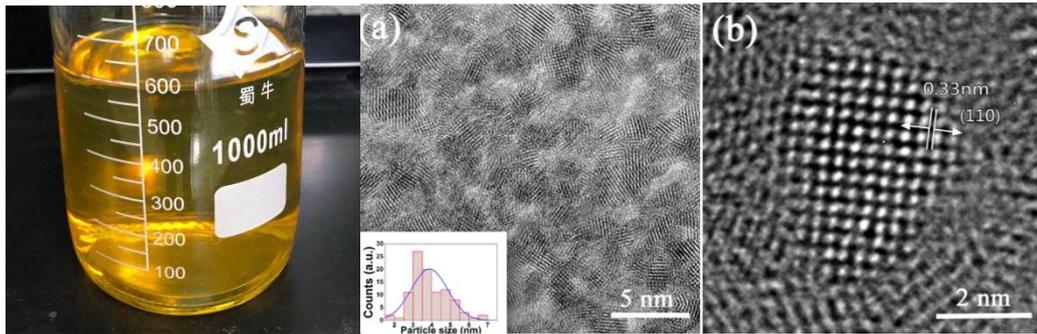
四、技术成熟度

概念验证 原理样机 工程样机 中试 产业化

五、合作方式

联合研发 技术入股 转让 授权（许可） 面议

附图



图（二）本项目研发二氧化锡量子点溶液及其电镜图像