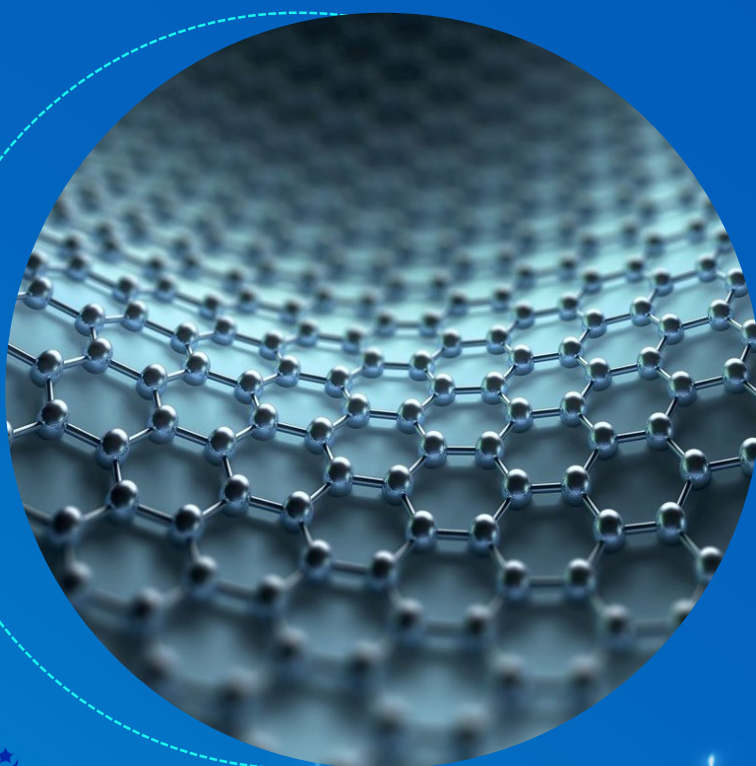


02 新材料

NEW
MATERIALS
/
/



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

02

新材料
(18项)

1. 稀土铁石榴石单晶厚膜生长技术（航天学院）	19
2. 大尺寸超高导热金刚石单晶制备技术（航天学院）	20
3. 电致变色节能玻璃（航天学院）	21
4. 煤基硬碳负极材料制备技术（航天学院）	22
5. 超高强镁合金及其制备成形技术（材料学院）	23
6. 特异性材料搅拌摩擦焊接技术（材料学院）	24
7. 石墨烯及其超高性能块体材料制备（材料学院）	25
8. 石墨烯微连接-超级电容器技术（材料学院）	26
9. 金属型差压铸造技术（材料学院）	27
10. 轻合金复杂薄壁构件流体压力成形技术及装备（材料学院）	28
11. 轻质耐热高强韧网状结构钛基复合材料设计及制备（材料学院）	29
12. 复杂曲面薄壁铝合金件刚柔复合热胀成形技术（材料学院）	30
13. 高效热电器件全链条研制与集成制造技术（材料学院）	31
14. 钛合金重熔净化提纯技术（材料学院）	32
15. 钛合金薄壁构件非平衡态冷模热成形技术（材料学院）	33
16. 高铁轮对连续-脉冲复合激光高效清洗技术（材料学院）	34
17. 风电叶片用可降解环氧树脂（化工学院）	35
18. 超黑涂层技术（化工学院）	36

1. 稀土铁石榴石单晶厚膜生长技术（航天学院）

【成果简介】

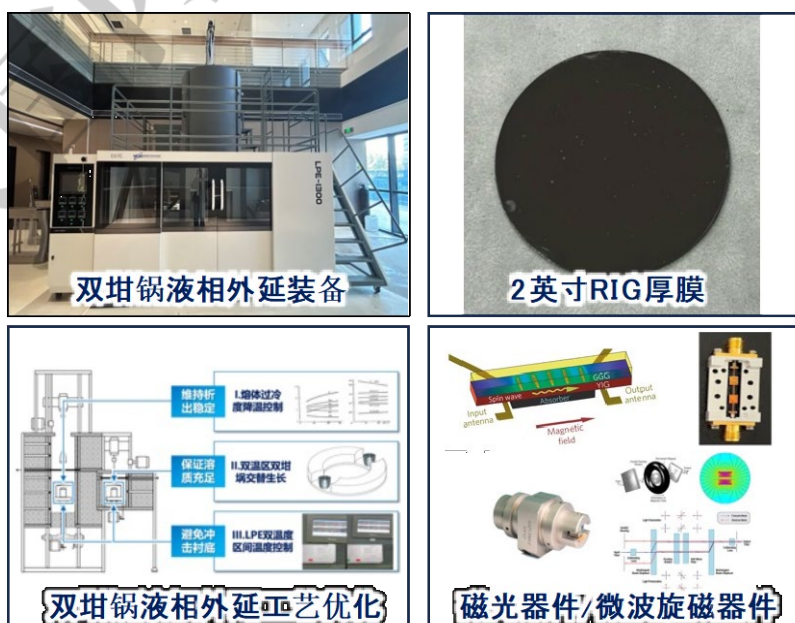
面向雷达、航天等领域中宽带微波频率器件和磁光隔离器件小型化、片式化及芯片化的发展需求，针对外延2/3英寸稀土铁石榴石单晶厚膜材料（RIG）难以突破400 μm 的技术瓶颈问题，团队研发了高维尔德常数、低场驱动、低损耗的稀土铁石榴石单晶厚膜生长技术及新型双坩锅液相外延装备。该技术基于法拉第转子（稀土铁石榴石单晶薄膜）在磁场调制下使得偏振光产生非互易旋转，实现对光的强度（隔离）和方向（环形）进行调制，实现了大尺寸、高品质稀土铁石榴石单晶厚膜可控制备，建立了完整的材料-机理-器件-装备一体化技术路线。

【技术指标】

薄膜厚度大于400 μm 、尺寸2~3英寸、铁磁共振线宽小于5Oe、阻尼系数小于 2×10^{-4} 、近红外波段透射率大于90%，能够有效的满足微波磁性器件与磁光器件应用需求。

【典型应用】

该技术可应用磁光隔离器、磁调谐滤波器、振荡器、环形器等微波及光元器件的构建，可推广至激光制导、激光测距、光电对抗和激光通讯等领域应用。



稀土铁石榴石单晶厚膜材料及器件

2.大尺寸超高导热金刚石单晶制备技术（航天学院）

【成果简介】

随着高频电子装备集成化及5G通信、物联网、超算及数据中心等战略新兴行业的应用数量骤增，功耗指数级增长，器件散热成为限制关键应用的最大瓶颈。团队围绕节能减排、智能制造、高频通信等国家重大战略对超高导热材料提出的迫切需求，完成了新模式微波CVD研制、低缺陷高导热金刚石生长、器件兼容金刚石增强导热应用验证等内容，发明了氧化物介质层调控界面载流子输运技术，抑制载流子界面复合，获得了高开路电压（1.7V）、抗辐照、长寿命金刚石同位素电池，打破国外技术壁垒，建立自有知识产权体系，装备及材料性能得到行业认可。相关研究成果荣获中国专利金奖。

【技术指标】

该技术采用自研设备配套晶体生长工艺，提升金刚石热导率突破 $2400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，协同实现了金刚石高品质及高速率两个关键要素，降低成本，有助于产业化应用。突破了金刚石三维集成封装的通孔加工宏量制备与沉铜电连接技术瓶颈，界面连接强度提高5倍以上，微波功率器件电流密度提升10%以上。

【典型应用】

该技术可广泛应用于金刚石材料生长制备，用于下一代半导体衬底研发、半导体散热、高能激光/微波窗口等领域。相关研究成果成功应用于中国电科集团GaN器件、华为相关散热应用等。



金刚石MPCVD生长装备及材料

3.电致变色节能玻璃（航天学院）

【成果简介】

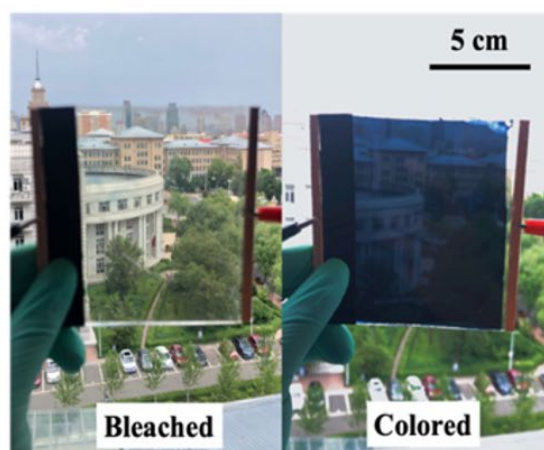
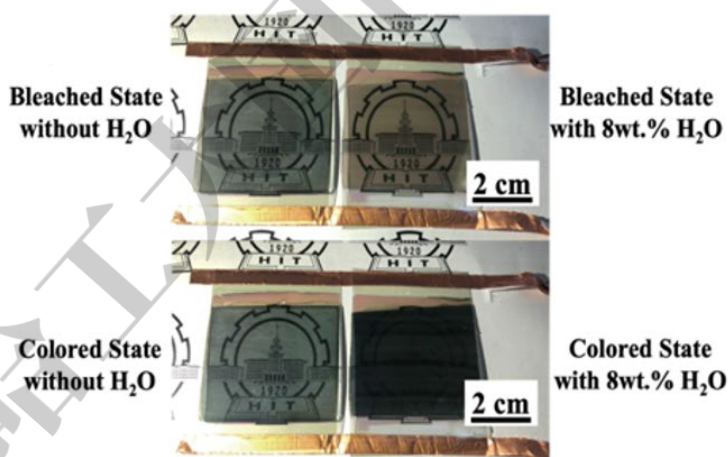
当前我国建筑物的能耗约占社会总能耗的28%，如果对新建建筑的能耗不作控制的话，预计其在2030年就将超过工业能耗，达到全社会总能耗的40%左右，成为全社会第一能耗大户。而窗户是建筑物产生能量损失的主要原因，约有30%-50%的能量是通过窗户流失的。针对以上问题，研制了电致变色节能玻璃，其是一种绿色节能产品，将电致变色材料与玻璃结合，利用材料的电致变色性能，可人工调节玻璃颜色及光强度，从而实现人为调控遮阳系数和传热系数，以降低在照明、制冷、采暖等方面的能耗。

【技术指标】

电致变色透过率调制幅度大于50%，循环使用寿命大于10000次，变色时间小于5分钟， -30°C 至 60°C 范围内稳定工作。至少具有一个以上的中间态。较现有的LOW-E玻璃节能效果提升60%。

【应用前景】

针对电致变色节能玻璃的设计及制造，特别是在大面积生产过程中的工艺问题进行了改善，可将其广泛应用于建筑、3C产品、汽车天幕等领域。



电致变色器件褪色和着色态实物图对比

4.煤基硬碳负极材料制备技术（航天学院）

【成果简介】

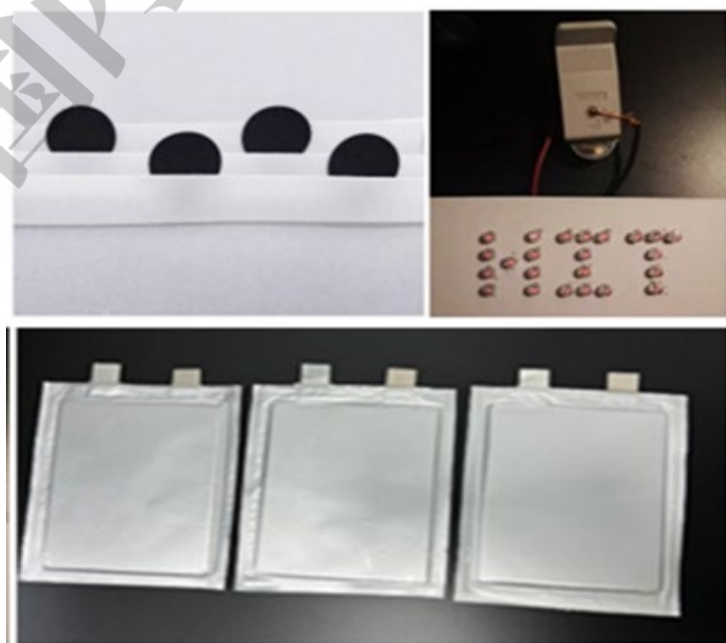
随着电动汽车、智能设备等行业的高速发展，快速充电电池拥有巨大市场前景，现有锂离子电池石墨负极在快速充电过程容易镀锂，加速电池性能衰减和引发安全隐患。针对以上问题以及钠离子电池作为补充能源体系的市场实际需求，团队研发了可应用于锂/钠离子电池的煤基硬碳负极材料制备技术。针对现有钠离子电池硬碳负极成本高、稳定性差等问题，通过研究优化预处理工艺降低灰分、控制低温热处理温度、碳化温度等关键材料技术，实现煤基硬碳负极材料的低成本可控制备。

【技术指标】

该材料可实现容量 ≥ 320 mAh/g，容量保持率 $\geq 80\%$ 。

【典型应用】

该技术制备的煤基硬碳负极材料可广泛应用于锂/钠离子电池之中，可以支持煤基硬碳产业，扩大煤资源优势；开拓碳基新材料新能源产业，促进现代煤化工高端化、多元化、低碳化的发展，实现烟煤实用局限性的突破。



成果应用于软包电池成品图

5. 超高强镁合金及其制备成形技术（材料学院）

【成果简介】

针对镁合金存在的绝对强度低、塑性差的问题，团队开发了新型轻质超高强变形镁合金。该技术通过改进合金成分、优化铸造及热处理工艺，获得了具有双峰晶粒尺寸分布的“软-硬”复合层片微结构及近连续网状分布的基面和棱柱面纳米析出相，研制出了低成本超高强阻燃Mg-Al-Ca-Mn系镁合金。该合金具有密度低、比强度和比刚度高、阻尼减振性好等优点，对于推动镁合金在航空、航天和其它高技术领域的应用具有重要意义。

【技术指标】

通过该技术研发的镁合金，屈服强度达400-460MPa，较传统工艺提升50%，延伸率提升一倍。

【典型应用】

该技术可广泛应用于航空、汽车、装备制造等领域。已与波音公司合作开发了超高强韧阻燃耐蚀稀土镁合金航空座椅构件。



Mg-Gd-Y-Zn-Zr 合金挤压无缝管材



Mg-Gd-Y-Zn-Zr合金锻件

6. 特异性材料搅拌摩擦焊接技术（材料学院）

【成果简介】

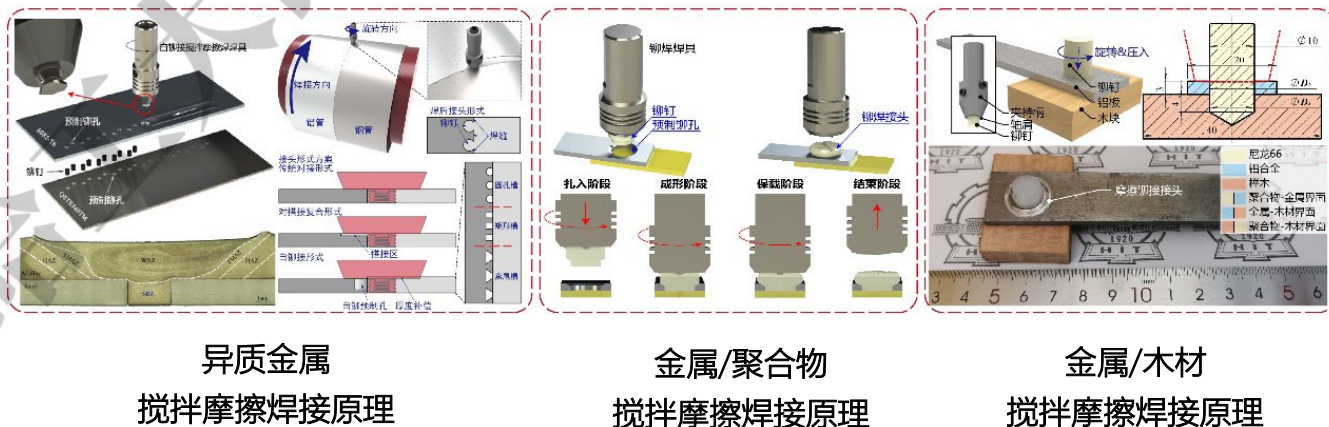
针对特异性材料连接需求，团队兼顾焊接冶金和机械铆接双重模式，突破了特异性材料间结构和冶金属性错配问题，为轻质高强连接提供了可行方案。针对铝/钢、铝/钛、铝/铜等异种金属连接，提出了强形变诱导搅拌摩擦扩散焊、自铆接搅拌摩擦焊、外源铆接搅拌摩擦焊、摩擦堆焊预涂层搅拌摩擦搭接等方法，兼顾焊接冶金连接和铆接机械连接，实现了低温高质连接及可靠性评价。开发了铝合金与聚合物搅拌摩擦铆焊技术，结合铆（机械连接）和焊（冶金连接）的协同作用，增大了界面结合面积，强化了机械连接效果，构建了界面微区调控准则，揭示了金属与聚合物固相连接机制，实现了金属与聚合物连接的控形控性。针对金属与木材冶金不相容问题，引入了聚合物中间层和铆接结构，辅以大塑性变形，将铝合金-木材不相容界面转化为铝合金-聚合物-木材过渡界面，实现物理和化学复合连接，实现了金属与木材的优质环境友好型连接。

【技术指标】

铝合金与聚合物搅拌摩擦铆焊接头强度达33MPa，铝合金与木材摩擦铆接接头强度达36MPa，达到已报道国际最高水平。

【典型应用】

该技术已成功产业化应用在铝/钢新能源汽车等结构件生产、铝/铜3C产品电连接件生产中。



7. 石墨烯及其超高性能块体材料制备（材料学院）

【成果简介】

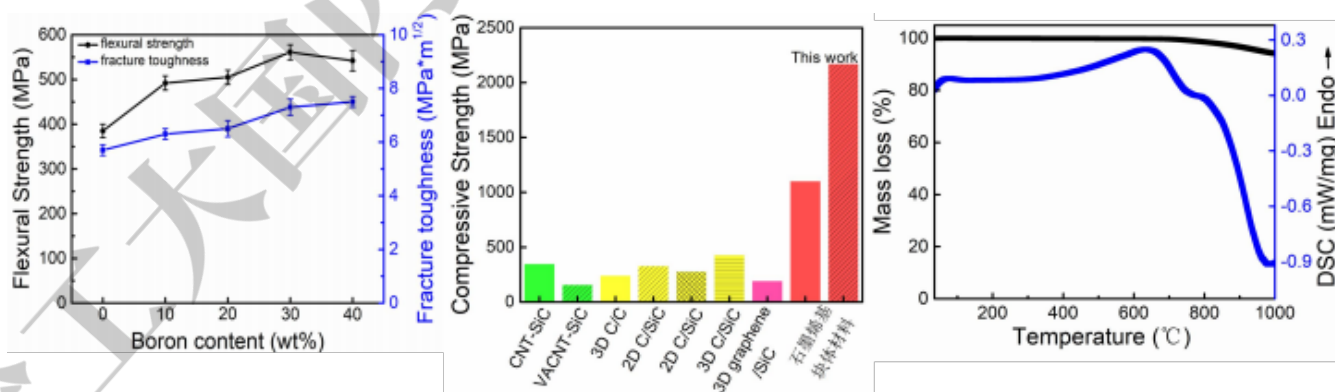
团队开发出“点石成金”的石墨烯批量制备技术（SHS）。该技术以活泼金属做还原剂，利用高放热反应，将大理石或生物质等廉价碳源通过燃烧合成转变成高附加值的石墨烯。同时，利用SHS石墨烯产品，通过3D共价键连结技术实现石墨烯片层之间的高强度连接，研发出了超高性能石墨烯块体材料。实现了石墨烯的低成本生产和超高性能石墨烯块体材料的制备，形成了一系列具有自主知识产权的专利技术。已获国家发明专利6项授权，1项实现专利权转让并批量生产。

【技术指标】

相较传统技术，通过该技术制备的石墨烯块体材料强度高、断裂韧性优异、耐高温耐腐蚀性能好，其压缩强度高达2.2GPa。

【典型应用】

该技术产品已成功实现量产，产品可应用于制备核电站等钢架防腐涂料、导电材料。



石墨烯块体材料力学性能及高温抗氧化性

8. 石墨烯微连接-超级电容器技术（材料学院）

【成果简介】

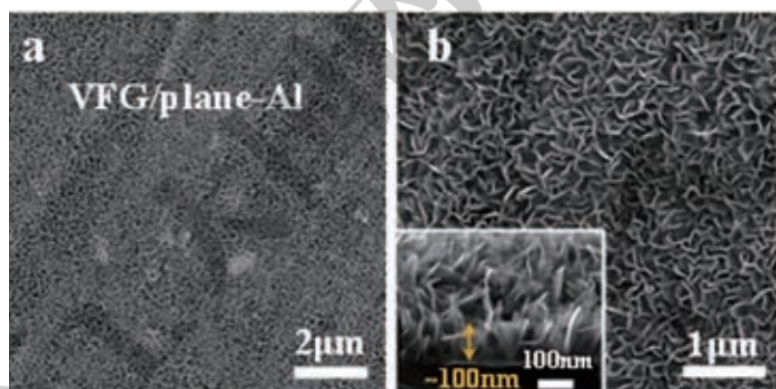
该技术突破了铝表面低温制备石墨烯、石墨烯/铝低阻抗连接、石墨烯/铝连接结构调控等关键问题，攻克了铝表面致密氧化膜刻蚀、二次氧化、集电极表面三维化处理等技术难关，打破了国外技术封锁。基于原位制备石墨烯技术，实现了高质量、垂直取向石墨烯电极材料的大规模制备，免去了涂装工艺过程，从而降低生产成本，提高生产效率。

【技术指标】

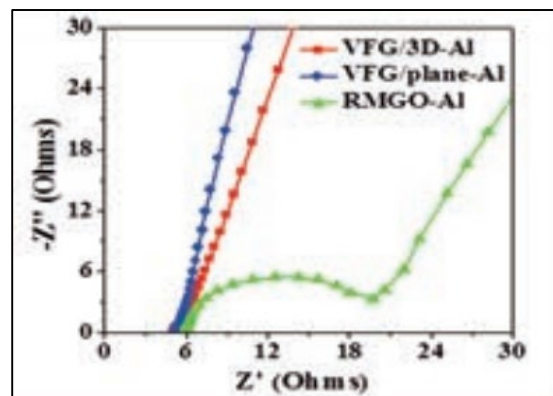
相较传统涂装工艺，通过该技术制备的石墨烯电极材料的接触电阻由 12Ω 降低至 0.1Ω ，具有低成本、低阻抗、高性能的优势。

【典型应用】

通过该技术研制的石墨烯材料可用作超级电容器与动力电池的电池材料，可替代国外垄断的高价涂炭铝箔电极材料，用于超微型的超级电容器等储能器件领域。



垂直取向石墨烯(VFG)/
铝基电极材料的表面形貌



石墨烯与铝连接阻抗谱

9.金属型差压铸造技术（材料学院）

【成果简介】

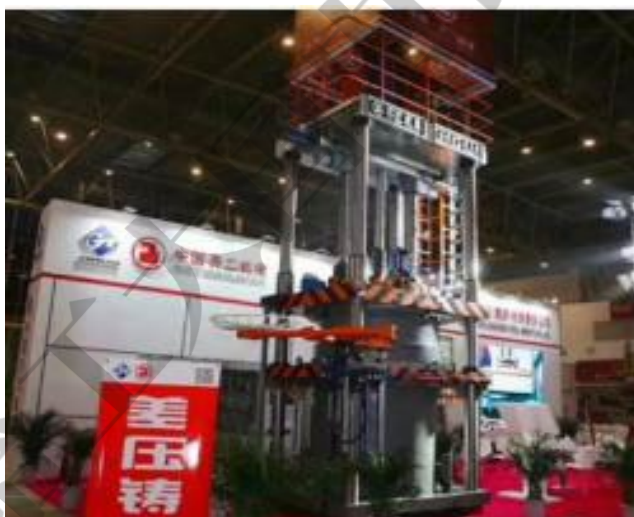
金属型差压铸造技术继承了金属型低压铸造和传统砂型差压铸造的特点。该技术采用自下而上充型且在压力下凝固的方式，使得充型过程平稳可控，凝固组织致密，可有效减少铸造缺陷，提高铸件力学性能。该技术易于实现连续自动化生产，铸件尺寸精度和表面质量也大大提升，有效克服了传统差压铸造技术的不足。

【技术指标】

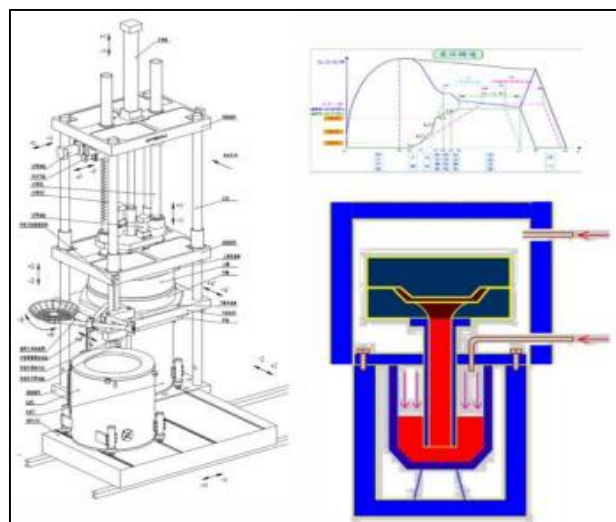
相较于传统技术，该技术消除了铝合金铸件中的氧化夹渣、缩孔、缩松等缺陷，大幅度提高了铸件冶金质量，铸件性能提升了20-30%。

【典型应用】

该技术在汽车、航空、航天等领域具有广泛的应用前景，可替代钣金件、焊接件和机械连接件，现已成功应用于新能源汽车整体承力结构件的铸造成形。



研制的国内首台金属型差压铸造机



金属型差压铸造原理

10.轻合金复杂薄壁构件流体压力成形技术及装备 (材料学院)

【成果简介】

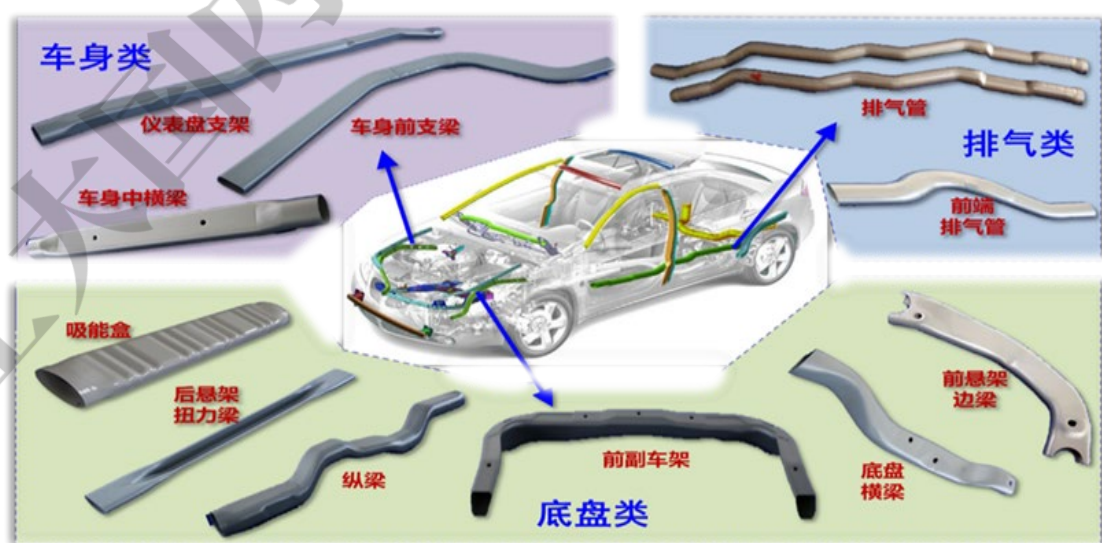
新能源汽车、高铁和新一代航空航天飞行器对高性能复杂整体薄壁构件需求迫切，然而此类构件材料难变形、形状复杂、性能要求高，为传统成形技术带来巨大的挑战。针对以上技术难题，提出轻合金复杂薄壁构件流体压力成形技术，利用流体作为传力介质对工件进行塑性成形，通过闭环伺服系统精确控制压力加载曲线，构建了流体压力成形技术体系，取得了理论突破/工艺创新/装备实现/工程应用一体化的系统性成果，实现了自主技术关键件的批量生产。相关成果获得国家奖励4项，中国专利金奖1项，省部级奖励4项，授权发明专利100余项（含国际专利20项）

【技术指标】

突破欧美对我国火箭、飞机、汽车等高端制造关键技术严格封锁，成功应用于我国十大车企及20余个航天、航空等国之重器型号，成套装备反出口到欧美国家，生产成品率达99.5%。

【典型应用】

在新能源汽车、高铁、自行车、航空、航天等领域有重要应用前景。



汽车三大类典型应用：底盘、车身和排气类

11. 轻质耐热高强韧网状结构钛基复合材料设计及制备（材料学院）

【成果简介】

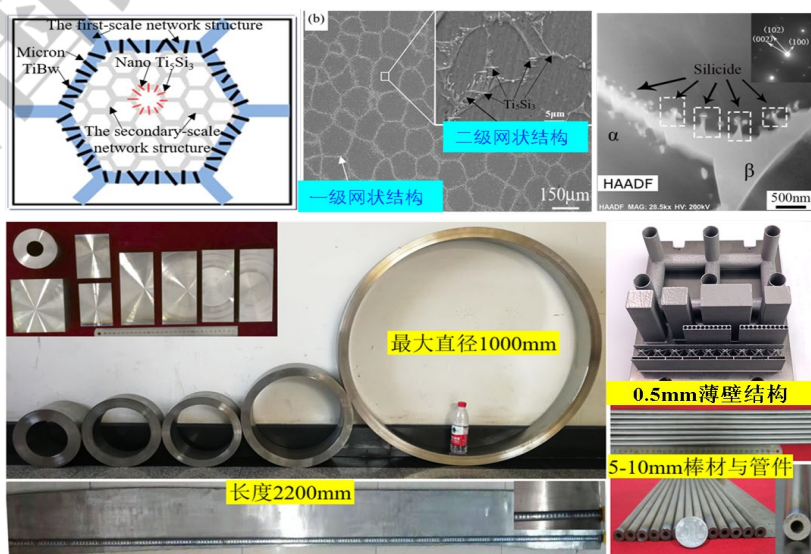
针对商业航空航天等领域对轻质耐热高强韧材料的迫切需求，设计了网状结构钛基复合材料。该材料塑性较传统钛基复合材料提高5倍，从根本上解决了粉末冶金钛基复合材料瓶颈问题。进一步构建了两级网状结构钛基复合材料，大幅提高了其高温力学性能，蠕变持久断裂时间较钛合金最高提高20倍。攻克了非连续增强钛基复合材料大尺寸坯料稳定制备、大尺寸板材轧制制备与超塑性成形、薄壁复杂构件激光增材近净成形，以及构件焊接、机械加工、热处理改性等多项关键技术。相关成果获省部级奖励4项。

【技术指标】

该材料密度(4.5g/cm^3)与传统钛合金相当，但使用温度高至 $600\text{--}800^\circ\text{C}$ 。 600°C 抗拉强度达到 800MPa ， 700°C 抗拉强度达到 500MPa ，较传统高温合金实现减重40%以上。单件坯料稳定制备能力达到 400kg 。单一构件最大尺寸达 2.5m 。板材厚度及丝材直径尺寸可达 0.5mm 。

【典型应用】

在航空航天领域气动格栅、中介机匣、头部壳体、涡轮泵、阴阳球、飞行器舵翼等耐热部件有重要应用。



网状结构钛基复合材料微观组织结构与构件外观

12.复杂曲面薄壁铝合金件刚柔复合热胀成形技术 (材料学院)

【成果简介】

针对复杂曲面局部集中变形控制的难题，发明了快速超塑成形技术。该技术采用刚模和气体作为传力介质传递载荷，使板材在高温压力作用下贴靠模具以实现金属板材零件的成形，突破了刚柔热介质顺序加载协调变形及缺陷控制关键技术，提高了生产效率，降低了生产成本。授权国家发明专利11项，主要技术及应用作为2020年国家技术发明二等奖重要支撑。

【技术指标】

突破了大尺寸局部小特征和截面突变构件的成形极限，3米零件尺寸误差控制在2毫米以内。

【典型应用】

该技术打破了相关工艺只能应用于昂贵的航天航空产品的限制，在国内首次成功应用于高铁车头工业态铝合金蒙皮的生产制造，在京张高铁、复兴号(标动250 、标动350车头、京张高铁)、重庆地铁、伦敦地铁制造中成功应用。



京张高铁



超高温超塑成形机 (1200°C)

13. 高效热电器件全链条研制与集成制造技术 (材料学院)

【成果简介】

热电材料和器件能够直接实现热能与电能直接相互转换，长期应用在深空探测同位素温差发电器和半导体固态制冷等领域。热电材料的性能与阻挡层的稳定性直接决定着热电器件的性能及长期服役稳定性。针对高稳定性阻挡层筛选的问题，基于密度泛函理论计算的相图预测，提出了热电界面材料的普适性精准设计策略，构建了典型热电材料的界面材料成分设计准则；并基于多尺度缺陷构建等方式优化了材料性能，研制出了高性能Mg基、方钴矿基等热电发电器件，以及Mg基、 Bi_2Te_3 基热电制冷器件，突破了热电器件全链条研制技术瓶颈，为热电转换技术的规模化应用提供技术支撑。相关研究成果发表在了 *Science*, *Energ. Environ. Sci.*, *Nat. Commun.* 等杂志上。

【技术指标】

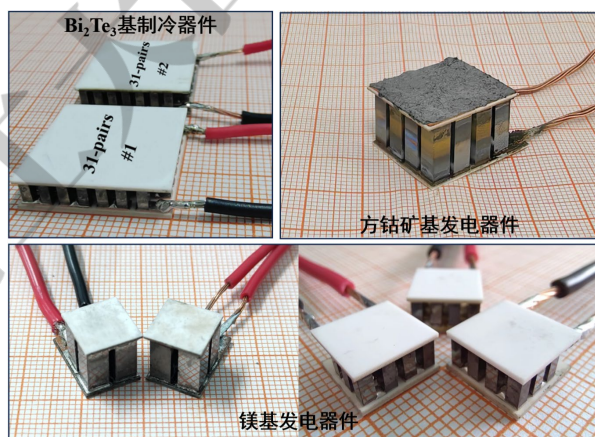
低温镁基热电器件在低温端293 K，温差300 K时转换效率高达9.25%；

中温方钴矿基热电器件在低温端293 K，温差580 K时转换效率高达9%；

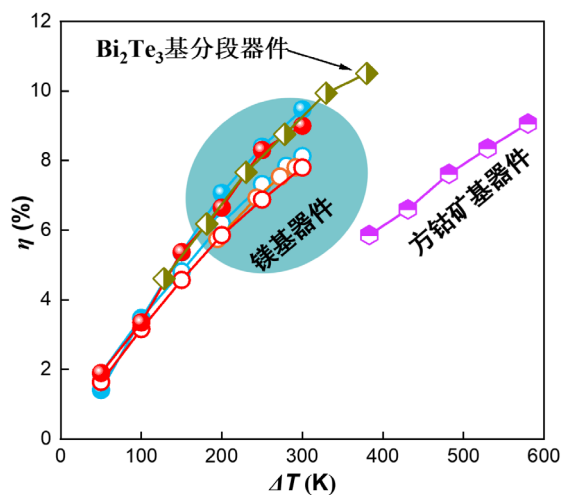
低温 Bi_2Te_3 基热电制冷器件在热端300 K下，最大温差高达70 K。

【典型应用】

该技术突破热电器件全链条研制技术瓶颈，为深空探测核电池、余热回收发电以及电子元器件精密温控等产业的规模化应用提供技术支撑。



高效热电器件



发电器件转换效率

14. 钛合金重熔净化提纯技术（材料学院）

【成果简介】

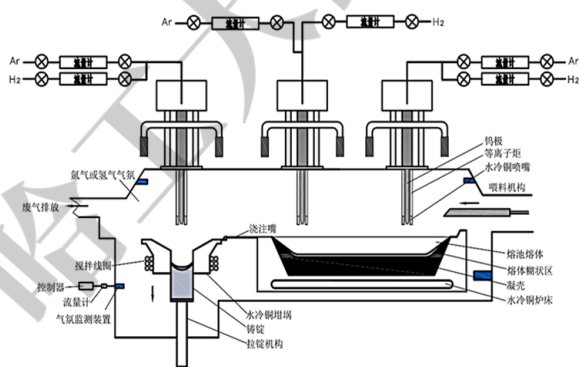
面对钛合金材料制造过程中氧、氮、碳等杂质含量出现不可逆增长，造成生产余料无法重复使用问题，开发了一种多用途、高纯度、连续可控的钛合金余料重熔精炼净化新思路、新装备及新技术，利用该装备可以实现钛合金余料的高质量熔炼和精炼回收，获得的纯净的钛合金熔体可以制备成高质量钛合金铸锭，实现钛合金铸造及制粉生产中的高品质应用。解决了钛合金余料重熔精炼和元素成分精准控制等难题，突破钛合金余料净化回收关键技术，极大降低钛合金应用成本，拓展钛合金使用范围及使用量，这是目前限制钛合金广泛应用的主要问题之一，为探索钛合金绿色低碳、高效循环再利用，提供了一条有效的理论和技术途径。

【技术指标】

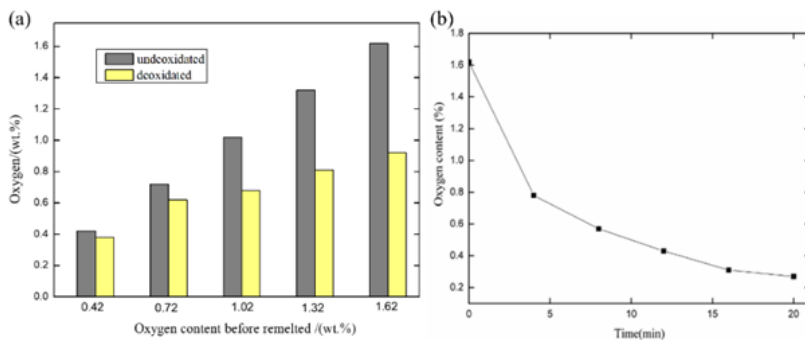
有效降低钛合金余料中的氧、氮、碳等低密度杂质元素含量，其中氧含量 $\leq 700\text{ppm}$ 、氮含量 $\leq 100\text{ppm}$ 、碳含量 $\leq 300\text{ppm}$ ；实现对钛合金铸造及制粉生产余料的重熔净化提纯回收，合金的化学成分达到《钛及钛合金属牌号和化学成分》所规定的要求。

【典型应用】

该技术可实现TC4、TA15等多种牌号钛合金的循环回收利用，以及高纯钛合金及钛基复合材料的制备与生产。



总体结构原理图



净化前后钛合金氧含量变化趋势

15. 钛合金薄壁构件非平衡态冷模热成形技术

(材料学院)

【成果简介】

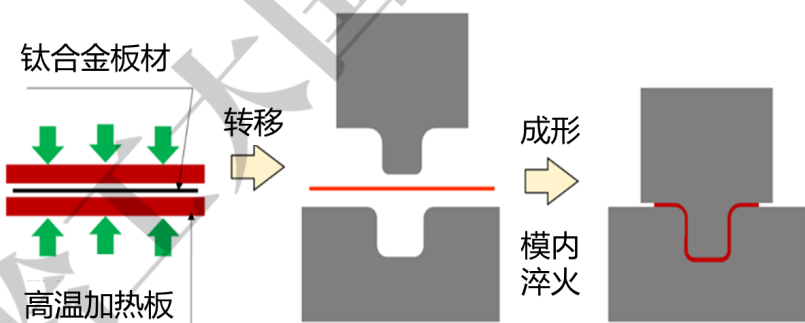
针对钛合金薄壁构件传统等温平衡态成形效率低、成本高、精度与性能协同控制困难等难题，提出钛合金薄壁构件非平衡态冷模热成形新技术，通过对坯料的快速加热，使材料处于非平衡状态，抑制了材料相变及晶粒粗化，提高钛合金冷模热成形极限，同时利用冷模具对快速加热后的坯料进行快速成形和模内淬火，提高构件成形后性能，实现尺寸精度和组织性能一体化控制。开发了钛合金板材/管材快速加热专用装置，相关成果授权中国发明专利4项，美国发明专利1项。

【技术指标】

钛合金坯料加热速率可达 $900^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，可变革性将钛合金薄壁构件加热及成形总时间从传统5小时以上缩短至2分钟以内，成形后材料强度提升5%以上。

【典型应用】

该技术已应用于TC4、TA15、TC2、TA32、Ti60、TA2等多种钛与钛合金薄壁构件的成形，可推广应用至商业航空、航天、船舶、汽车等行业。



非平衡态冷模热成形技术原理图



钛合金薄壁构件

16. 高铁轮对连续-脉冲复合激光高效清洗技术 (材料学院)

【成果简介】

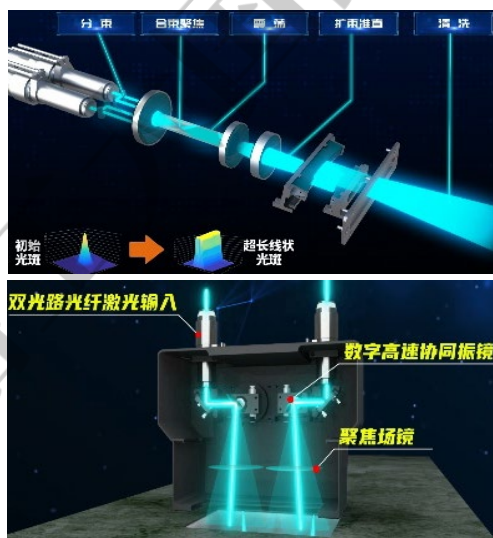
针对高铁轮对检修过程表面油漆、锈蚀的去除存在污染环境、危害操作人员健康、效率低、劳动强度大等问题，提出了连续-脉冲复合激光高效清洗技术，发明了多光源复合光路光束整形与调控方法，突破了高速数字振镜加减与激光脉冲频率协同调控技术，实现了连续-脉冲复合激光光束的超长线光斑输出，提高了轮对的清洗效率，降低了检修成本，减少了污染的排放。项目成果获授权国家发明专利8项，2023年国家部委科技进步一等奖1项，中国专利优秀奖1项。

【技术指标】

激光功率：4000W连续激光+500W脉冲激光，6000W连续激光+1000W脉冲激光；轮对表面油漆清洗效率：10分钟/轴；轮对表面锈蚀清洗效率：6分钟/轴；表面清洗质量等级：优于Sa2.0；机器人重复定位精度： $\pm 0.05\text{mm}$ ；最大运动速度：10m/min。

【典型应用】

该技术能够完全替代传统的化学溶剂、机械打磨的清洗方式，在国内首次成功应用于沈阳动车段高铁轮对检修的油漆清洗，并应用于哈尔滨铁路局货车轮对表面的锈蚀清洗。还可推广应用于飞机蒙皮表面油漆、轮船表面锈蚀、航天钛合金进气道表面氧化膜清洗。



多光源激光光束整形与调控



高铁轮对激光清洗装备

17.风电叶片用可降解环氧树脂（化工学院）

【成果简介】

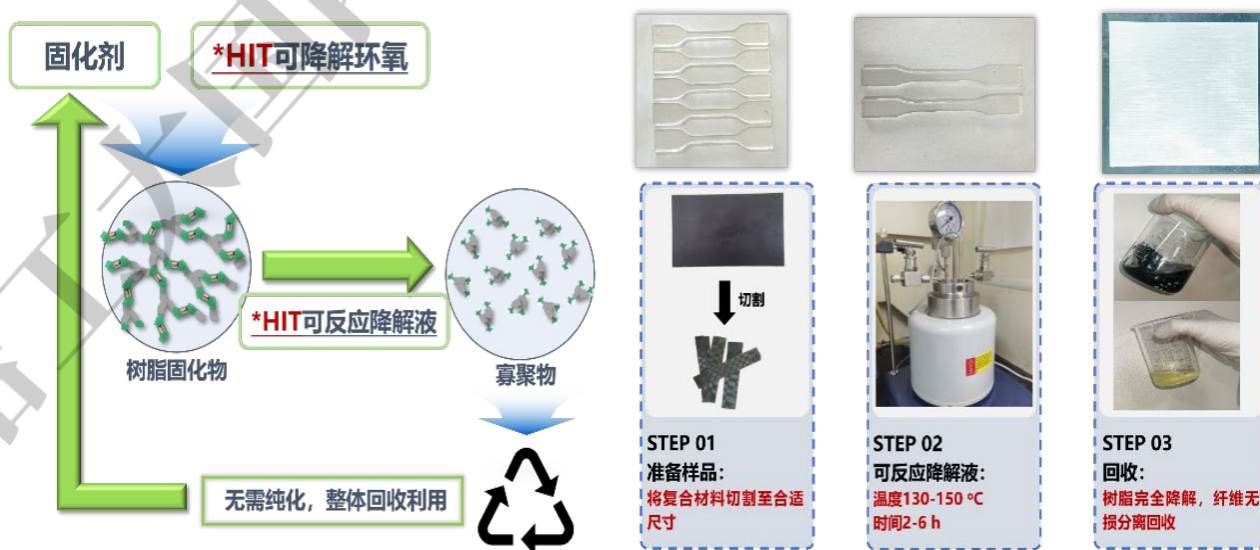
开发了风电叶片用可降解环氧树脂系列化产品，该产品无溶剂，室温下具有较长工艺适用期，产品的使用与现有灌注、拉挤等成型工艺完全相同，客户认可度高。全套生产环节均不依赖进口，生产过程无副产物。树脂的理化性能、浇铸体和复材的力学性能、工艺性能等均与现有树脂相当，满足在叶片上应用的规范与要求。研发了配套的树脂及其复材的降解液，该降解液分子可定向进攻树脂中的刺激响应基团，将其降解为可重新利用的寡聚物。降解产物无需分离纯化，可实现纤维、树脂绿色全回收及再利用，全过程不产生新的污染物。

【技术指标】

该产品原料及生产成本低，与现有风电灌注树脂成本相当，具有单次百公斤-吨级生产规模。可降解树脂固化物强度可达70MPa，模量高于3.0GPa，具有优秀的环境稳定性。采用独有的降解液配方和方法，实现复材纤维增强体的无损回收，回收得到的碳纤维性能保持率超过98%，重新成型的树脂强度可达到65 MPa以上。

【应用前景】

该技术可用于回收生产纤维和树脂，回收预期利润丰厚，可达5万元/吨，带动复材、风电等产业的高质量发展。



可降解环氧树脂研究

18.超黑涂层技术（化工学院）

【成果简介】

超黑涂层能够捕获几乎所有照射在其上的光，被广泛应用于激光雷达、光谱仪、显微镜、相机等光学仪器的杂散光抑制，是提高仪器探测信噪比、灵敏度及反演精度的核心材料。其吸收率越高，对杂散光的抑制作用越强。开发了一种满足多种基体、复杂形面、超大面积实施和空间极端环境应用需求的超黑涂层，可在光学仪器关键表面实施，有效减少光学仪器成像干扰，提升光学仪器的探测精度，保障高性能光学仪器稳定运行。

【技术指标】

宽光谱吸收大于0.99，可凝挥发物小于0.01%，性能与技术成熟度均优于国内外现役同类产品。

【应用前景】

超黑涂层目前已在光学镜头及成像、车载激光雷达、机器视觉、精密光学仪器、医疗仪器、航空航天等领域广泛应用，市场前景广阔。



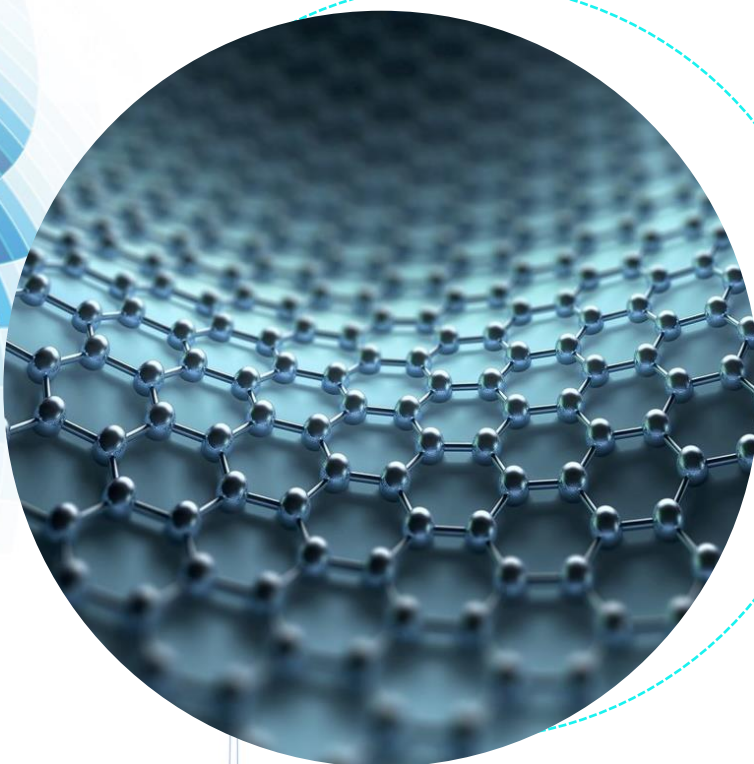
实施超黑涂层的遮光罩

02

新材料

NEW
MATERIALS

/



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

02

新材料 (13项)

1. 超轻质低成本微纳多功能绝热复合材料技术 (航天学院)	13
2. 形状记忆聚合物及其复合材料 (航天学院)	14
3. 生物质基防火保温新材料 (化工学院)	15
4. 磷化锆锌晶体材料及其器件 (化工学院)	16
5. 泡沫金属材料制备技术 (化工学院)	17
6. 工模具表面的液中放电沉积陶瓷层技术 (机电学院)	18
7. 结构功能一体化陶瓷材料及其精密成型 (材料学院)	19
8. 低成本钛合金精密旋压工艺与成套装备 (材料学院)	20
9. 纳米增强耐磨堆焊材料 (材料学院)	21
10. 高性能纳米结构陶瓷涂层材料 (材料学院)	22
11. 特种泵阀工业用材料及相关铸造技术 (材料学院)	23
12. 大功率LED用导热/绝缘/高发射率辐射散热陶瓷涂层技术 (材料学院)	24
13. 燃烧合成技术生产3D石墨烯及氮硼掺杂石墨烯粉体 (材料学院)	25

1.超轻质低成本微纳多功能绝热复合材料技术 (航天学院)

【成果简介】

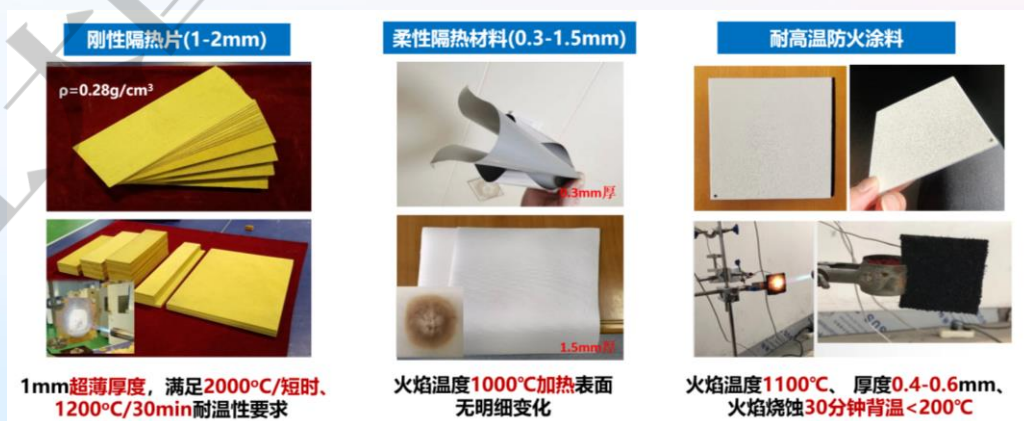
传统新能源动力装备、商业航天、核电、船舶、化工等需求用防隔热复合材料存在耐温低、服役时间短、韧性差、成本高的行业痛点，设计研发了系列新型超轻重微纳绝热复合材料产品，具有耐热、阻燃/不燃、疏水、吸声和刚柔兼顾等性能特点，突破了极端环境下绝热复合材料/涂层的设计、研发、生产和应用等核心技术，成果应用于多项重大高新科技工程和商业航天，入选中国高校十大科技进展。

【技术指标】

超薄微纳绝热复合材料耐温短时耐3000°C、长时间1200°C/30min，导热系数小于0.03W/mK，密度0.2~0.8g/cm³可调，抗压强度5MPa，压缩应变50%不破坏，平面方向抗拉强度10~20MPa。防火涂层厚度0.4~0.6mm，耐1000-1150°C/30min，背温低于200°C，界面结合强度近5MPa。

【应用前景】

成果目前应用于新一代飞船热防护系统和商业航天防热结构，拓展应用于新能源动力电池装置防护、储能电站静态防护、钢结构防火、移动无人消防车、舱室防火-吸声、核能高效隔热等高新工程。



超轻质低成本微纳多功能绝热复合材料技术指标

2.形状记忆聚合物及其复合材料（航天学院）

【成果简介】

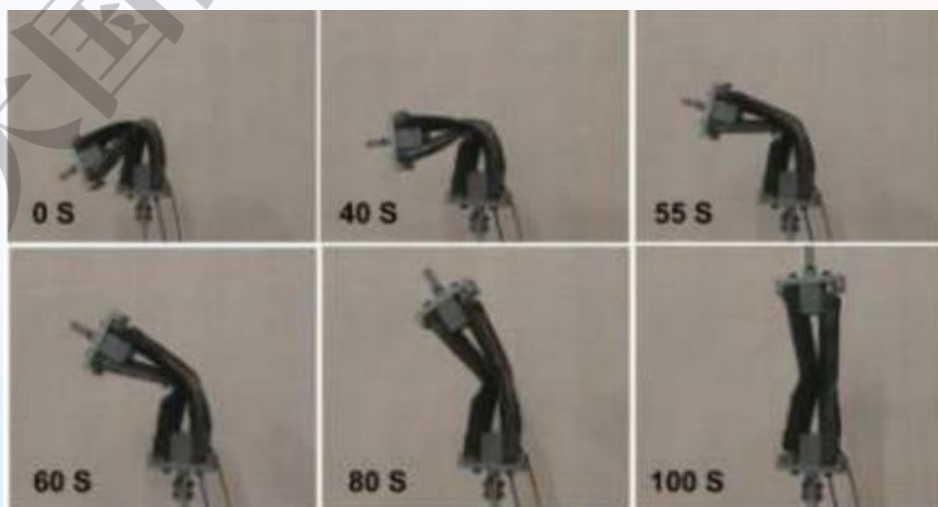
基于形状记忆聚合物的低成本、质量轻、形变量大、良好的生物相容性、生物降解吸收性、易驱动和性能可控等一系列优异性能，研制出多种不同相变温度的形状记忆聚合物材料，提出了适合不同领域应用的形状记忆聚合物多种驱动方法；同时通过将形状记忆聚合物与其他材料复合，开发了医学、航空和航天领域的应用，取得了很好的研究效果，技术水平达到国际先进水平，技术成熟可以大范围推广。

【技术指标】

研制玻璃化转变温度为 30-300℃的形状记忆聚合物；所研制的形状记忆聚合物回复率达97%以上。

【应用前景】

形状记忆聚合物智能生物材料可用于血栓清除器，骨组织固定器件、手术缝合线、药物定点释放、和心脏血管支架等医学领域；形状记忆聚合物复合材料可用于可展开天线、可展开桁架、变形机翼等航空、航天复合材料结构。



碳纤维增强的环氧形状记忆复合材料铰链展开过程图

3.生物质基防火保温新材料（化工学院）

【成果简介】

生物质基防火保温材料技术是以先进多元耐高温杂化树脂、生物质秸秆粉末为基体，通过发泡剂与发泡工艺设计，生物质秸秆粉末改性等方法，制备的一种高性能泡沫防火保温复合材料。通过化学发泡，生物质基掺杂，高温快速陶瓷化技术手段实现了该材料体系的快速、稳定、低成本、批量生产制造，其具有轻质、防火、隔热、环保绿色的优点，可广泛应用于防火封堵、通风管道、高铁车体保温降噪、外墙保温等领域。

【技术指标】

- 1.密度：0.05-0.4 g/cm³;
- 2.成型温度：60℃;
- 3.防火级别：难燃(B1级);
- 4.导热系数：<0.03 W/m·k;
- 5.陶瓷化：1200-1500℃转化;
- 6.压缩强度：>0.5 Mpa。

【应用前景】

防火封堵、耐火通风管道、防火门芯、高铁车体保温隔音、外墙保温材料等领域。



生物质基防火保温材料的应用

4. 磷化锗锌晶体材料及其器件（化工学院）

【成果简介】

磷化锗锌 (ZnGeP_2) 晶体是一种性能优异的非线性光学材料，是目前获取中远红外激光的首选材料，享有“中红外晶体之王”的美誉。哈工大自2003年在国家自然科学基金的支持下，率先开始 ZnGeP_2 晶体的研究，经过20年攻关，突破了大尺寸 ZnGeP_2 晶体的晶体生长、缺陷控制、器件制作、器件辐照等关键技术，获得直径4英寸高质量晶体和 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 30\text{mm}$ 高性能器件，完全实现了晶体的自主可控，全面替代国外进口。研究成果获国家技术发明二等奖。

【技术指标】

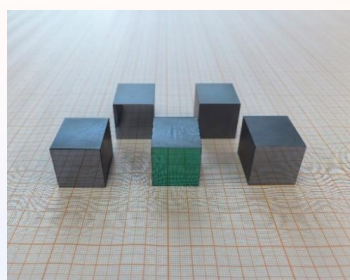
晶体直径 ≥ 4 英寸，器件尺寸 $\geq 25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 30\text{mm}$ ，单块器件中波激光最高输出平均功率为 150W，单块器件最大脉冲能量 400mJ 中波激光输出，晶体尺寸、单脉冲能量为目前报道最好水平。

【应用前景】

在激光手术、大气监测、红外医疗器械、激光雷达、远距离化学传感等方面具有重要应用。



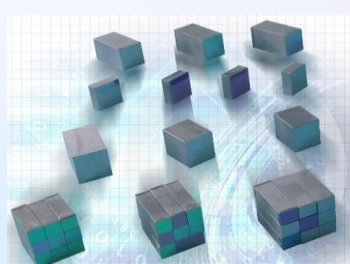
直径4英寸晶体



$25 \times 25 \times 30\text{mm}$ 器件



直径60mm晶体



各种典型尺寸器件

5. 泡沫金属材料制备技术（化工学院）

【成果简介】

研究的泡沫金属材料具有三维网状结构、比表面积大、孔隙率高、孔径小，包括泡沫镍、泡沫铁、泡沫铜等，是未来节能环保领域的基础功能材料。

【技术指标】

孔隙率：90-98%；孔径：300-1500微米。

【应用前景】

用于电动汽车动力电池、催化载体、吸音材料、过滤器、散热装置等。未来几十年，泡沫金属材料在电池行业、石油化工、建材、节能环保等领域应用前景广阔，每年有数十亿元的市场。



泡沫金属材料样品及显微组织扫描照片

6.工模具表面的液中放电沉积陶瓷层技术 (机电学院)

【成果简介】

使用含有Ti、TiC、W、WC等粉末的压铸或烧结电极和普通的煤油基工作液，在普通电火花加工机床上，利用放电过程中粉末材料与工作液中的碳原子所产生的物理、化学反应，在工件表面沉积TiC、WC等陶瓷材料，通过控制放电时间和放电参数得到不同厚度、不同性能的陶瓷层。该方法无需专用设备，是一种高性能、低成本的陶瓷层生成技术，而且可以方便地实现不同点位的局部强化。

【技术指标】

厚度为5-600 μm 的金属碳化物陶瓷层，使工件表面的硬度提高5倍以上，耐磨性提高7倍以上。对高速钢车刀、钻头等的涂层刀具使用寿命实验表明，可提高刀具使用寿命2倍以上。

【应用前景】

成果可应用于工具、模具（如车刀、钻头、冲模）等的表面改性以及功能器件的局部强化等方面。

7. 结构功能一体化陶瓷材料及其精密成型 (材料学院)

【成果简介】

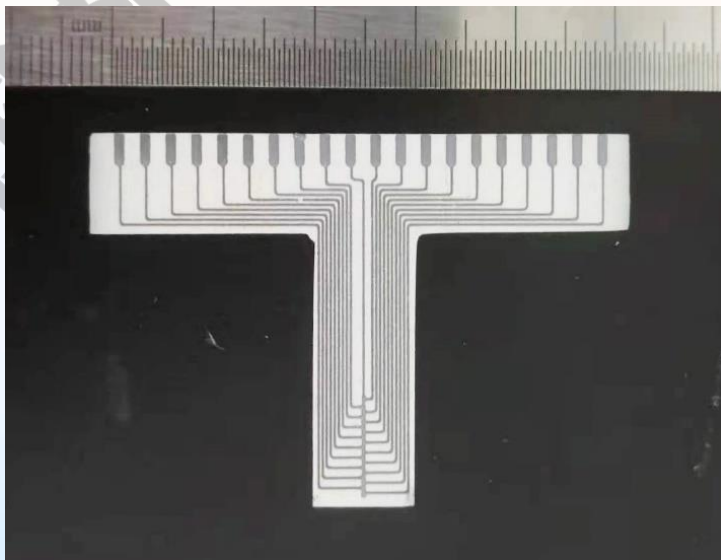
本项目基于传统气动直写式陶瓷3D打印机存在的精度低、无法实现高精度曲面空间打印的问题，开发出低成本高精度气动直写式3D打印机陶瓷打印机、高精度气动直写曲面共形3D打印设备及控制软件、以及配套使用的结构功能一体化陶瓷3D打印用浆料。

【技术指标】

使用该打印机进行了陶瓷、银浆料、石墨烯等浆料的高精度直写3D打印，成型精度达到150 μm ，成型范围达到400 $\text{mm} \times 400 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ，气动压力范围0-100 Psi，设备成本低、性能稳定，可应用于科研、工业生产过程中的陶瓷、水凝胶、导电银浆等多种普适性材料的高精度3D打印。

【应用前景】

3D打印应用领域广泛，打印机需求量较大的行业包括航天、医疗设备、高科技、教育业以及制造业。随着技术的成熟，目前3D打印技术已在航空航天、医疗、汽车、机械设备制造及消费领域得到了一定的应用。



3D打印氮化硅基超高温天线

8.低成本钛合金精密旋压工艺与成套装备 (材料学院)

【成果简介】

针对航空、航天、舰船、核电和石化行业对低成本、高强度、耐热耐蚀的钛合金整体薄壁回转体构件的迫切需求，突破了低成本高性能钛合金材料研发、低成本钛合金短流程开坯、精密旋压及热处理等关键技术，开发了低成本钛合金精密热旋压成套工艺与装备，解决了钛合金强度高、塑性差、加工困难的难题，制造出了一系列质量良好的大尺寸钛合金薄壁筒形件、锥形件及曲母线件产品，在钛合金大尺寸薄壁构件精密旋压技术上居于国内领先。

【技术指标】

突破了 Ti_2AlNb 薄壁构件毛坯制备、高效加热、组织性能精确调控等难题，制造出了质量良好的进气道锥段（ $\Phi 530mm$ ）和直筒段样件（ $\Phi 400mm$ ），为某高超声速武器的研制提供了技术支撑。目前，哈工大在钛合金等难变形材料的精密旋压工艺与装备开发方面技术已经成熟，具备了实用条件，填补了国内空白。

【应用前景】

旋压技术以其高精度、高效率等优点，成为制造薄壁回转体构件的先进加工技术。与传统的高强钢比重量显著降低，且具有优异的耐热耐蚀性能。



低成本钛合金精密旋压工艺与成套装备

9. 纳米增强耐磨堆焊材料（材料学院）

【成果简介】

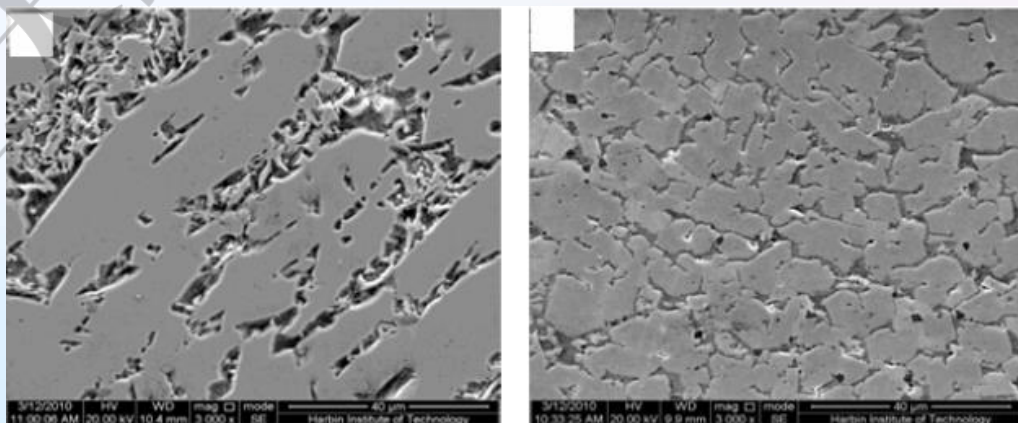
目前耐磨堆焊技术已成为电力、水泥、钢铁、机械、船舶、管件制造等企业耐磨部件堆焊修复的首选。如水泥行业立磨辊，和钢铁行业轧辊都大量使用。为了改变国内耐磨堆焊材料落后的局面，我们开发出了纳米增强耐磨堆焊材料。该技术是在堆焊焊丝或焊条制作过程中在焊药中加入适量适宜的纳米增强剂以提高最终耐磨堆焊层的性能和使用寿命。增强剂的加入可使堆焊层的表面硬度明显升高。

【技术指标】

未加增强剂时，硬度为652HV，断裂韧性KIC为7.9MPa $m^{1/2}$ ；而当加入增强剂后，初生碳化物明显细化，硬度和断裂韧性显著提高，硬度为HV1011，断裂韧性KIC为12.93MPa $m^{1/2}$ ，分别比未加增强剂前提高55%和64%。与未加纳米增强剂的相比，纳米增强使堆焊层的耐磨性和抗冲蚀性能分别提高500%和200%以上。硬度和断裂韧性可比未加增强剂前提高50%以上。耐磨性能可提高200%以上。

【应用前景】

电力、水泥、钢铁、机械、船舶、管件制造等企业耐磨部件堆焊及修复。如水泥行业立磨辊、辊压机；冶金行业轧辊；船舶甲板、海上平台甲板；工程机械耐磨件等。



加与未加改性剂的堆焊层显微组织扫描照片

10.高性能纳米结构陶瓷涂层材料（材料学院）

【成果简介】

由于普通纳米粉尺寸小、质量轻，易被气流吹散或被高温火焰烧蚀掉，故不能直接用于热喷涂。而纳米粉末的再造粒方法，能使具有纳米结构的粉末材料能够用于传统的热喷涂喷枪上，从而制备出纳米结构热喷涂涂层成为可能。采用纳米改性技术制造的热喷涂纳米结构涂层材料和涂层具有十分优异的强韧性能、耐磨抗蚀性能、抗热震性能及良好的可加工性能。这一在世界上首获实际应用的纳米结构涂层技术被美国海军称之为了一项革命性的先进技术。作为一种绿色环保技术，这种纳米陶瓷涂层是不仅可以替代有污染的电镀铬方法，而且可以大幅度提高材料的表面性能，大幅度提高机械装备的寿命。

【技术指标】

所开发出的纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层比目前广泛使用的商用美科130涂层有着高出3-10倍的耐磨性，高出1倍的抗蚀性，高出1倍左右的断裂韧性，高出1-2倍的结合强度和抗热震性能，高出5-10倍的疲劳抗力。

【应用前景】

可广泛应用在机械设备、航空航天、石油、化工、造纸、发电、煤炭、汽车、船舶、冶金、刀具等诸多领域。



高性能纳米结构陶瓷涂层材料应用

11.特种泵阀工业用材料及相关铸造技术 (材料学院)

【成果简介】

本项目针对特种泵和阀门工业用耐磨耐蚀抗冲击高铬铸铁，采用近净成形铸造技术，生产抗硬料或软料磨蚀，在PH值3-9范围内工作的泵体、阀门和叶轮等铸件，材质采用课题组自行研制的新型高铬耐磨耐蚀铸铁，该技术的主体部分包括新材料研制和铸造、热处理和修复工艺研发，在技术层面上与山东双轮集团有限公司和温州宣达实业公司进行了广泛合作，其中“脱硫渣浆泵用新型钛氮共添加高铬铸铁及其铸造工艺”已在双轮集团进行了产业化转化，该材质被企业列入技术标准。

【技术指标】

新型高铬铸铁的拉伸强度大于650MPa；抗弯强度大于1100MPa；冲击韧性大于9J/cm²。新型高铬铸铁在PH=4的模拟工况腐蚀液中的腐蚀速率小于0.015mm/a。

【应用前景】

火力水利发电、石油开采、精细化工、生物制药、水利工程、排水灌溉、船舶工程、海洋开发、海水淡化。

12.大功率LED用导热/绝缘/高发射率辐射散热陶瓷涂层技术（材料学院）

【成果简介】

LED灯半导体芯片在发光的同时产生的热量不能有效散发，导致芯片结温升高过快，使LED芯片寿命随结温升高成指数减小，且光衰加重。开发新型的电子封装散热基板及散热涂层材料对LED灯的芯片结温进行有效控制，是LED器件特别是大功率LED设计应用中存在的国际性关键难题。本项目提出采用新颖思路在LED封装用铝基板两侧一步微弧氧化原位构建，含SiC与AlN协同提高导热与热发射性能的 Al_2O_3 -SiC-AlN全新结构陶瓷涂层，实现导热/绝缘/高发射率辐射散热三重功能，通过强化导热与辐射散热特性解决大功率LED高效散热关键问题，将使p-n结温降低 10°C 左右，寿命提高一倍以上。一步微弧氧化高效制备方法将取代传统制备铝散热基板导热绝缘介质层和高发射率散热涂层的二步复杂方法，是半导体金属散热基片的一次技术革命。大功率LED散热问题的突破，可促进LED企业研发生产更大功率的LED灯；研究成果还可以拓展用于需要辐射散热的其它电子器件及汽车发动机散热器件等行业。

【技术指标】

大功率LED灯珠（5W以上）的结点温度比无涂层的降低 $10\sim 20^\circ\text{C}$ ，LED灯寿命延长1倍以上，光通量增加了10-20%。

【应用前景】

电子器件散热问题的突破，可促进企业研发生产更大功率的电子器件，因为大功率器件意味着产生更大的热量，通过此技术的使用，使企业研发和生产大功率器件成为了可能。该技术还可以拓展用于需要散热的其它物件，如工业设备散热，汽车零部件散热等各行业。

13.燃烧合成技术生产3D石墨烯及氮硼掺杂石墨烯粉体（材料学院）

【成果简介】

本项目提出一种具有自主知识产权的低成本燃烧合成制备石墨烯的工业生产技术。燃烧合成法是继石墨氧化还原法之后又一种具有工业前景的制备石墨烯粉体的方法。所制得的石墨烯片层直径为几百纳米，厚度小于3nm，具有褶皱3D结构，不易团聚，在溶剂中分散性好，有效比表面积大，在许多能源存储和复合材料等领域具有广阔的应用前景。本技术所制石墨烯结构独特、成本低、性能可调节，具有自主知识产权，目前已经在实验室中成功制备出多种石墨烯粉体，但石墨烯产量很少，亟需推进该技术的工业化小试工作，推进石墨烯的生产技术开发和后续实际应用。

【技术指标】

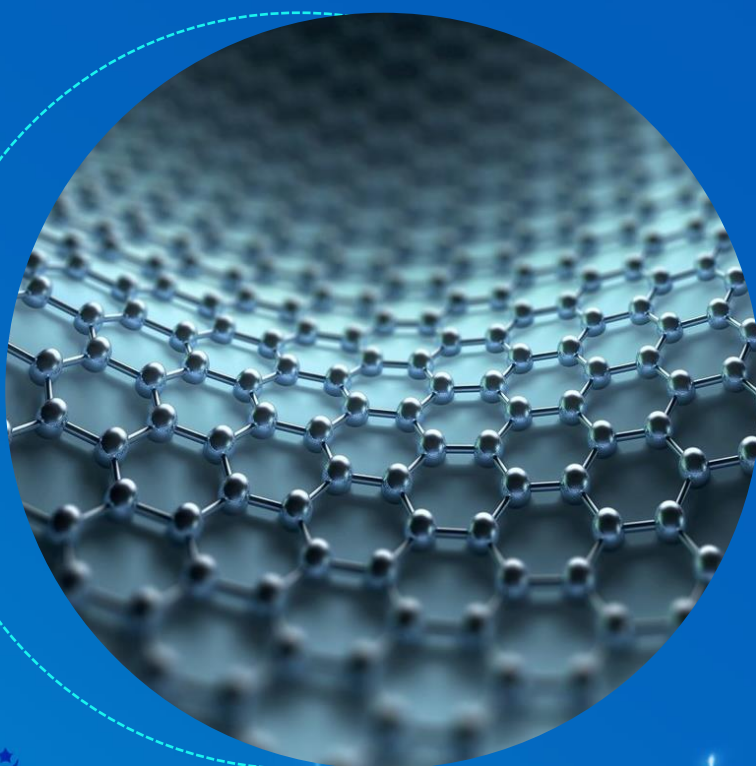
石墨烯层数：1-10层；成本低于1元/克；比表面积大于300m²/g；在溶剂中的浓度和分散性可通过掺杂石墨烯表面张力来调节。

【应用前景】

石墨烯在下游应用主要集中在四大块，即石墨烯改性超级电容器用活性炭、石墨烯改性锂电电极材料、石墨烯改性塑料和防腐导电、涂料。

02 新材料

NEW
MATERIALS
/
/



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 录

CONTENTS

02

新材料 (12项)

1. 钛基复合材料成形与构件制备（材料学院）	16
2. 高硬度高模量钛基复合材料（材料学院）	17
3. 高耐磨与高强韧一体化TMCS（材料学院）	18
4. 电磁成形技术（材料学院）	19
5. 航天轻质热管精密制造技术（材料学院）	20
6. 航空航天小弯曲半径管路成形技术（材料学院）	21
7. 钛合金燃料电池双极板电磁辅助成形技术（材料学院）	22
8. 一体化膜电极系列产品（航天学院）	23
9. 镁合金表面超音速冷喷涂镀铝技术（化工学院）	24
10. 润滑油增效用纳米微球（化工学院）	25
11. 高性能光学与太赫兹电光功能器件（物理学院）	26
12. 三维自支撑纳米多孔金属大规模制备技术（物理学院）	27

1. 钛基复合材料成形与构件制备（材料学院）

【成果简介】

针对钛基复合材料微观非均匀性较大，网状结构协调变形机理与改性困难的难题，修正了适合于网状结构非连续增强钛基复合材料的热加工图与成形参数，探索出了两级控形控性成形机制，揭示了增强相富集区与增强相贫化区的强塑性同步提升机理。攻克了 $\Phi 600\text{mm}$ 盘件、 $\Phi 1000\text{mm}$ 环件、2200mm板件、 $< \Phi 10\text{mm}$ 棒材与管件成形技术，解决了航天、航空多种关键构件的迫切需求，为减重提供重要支撑，获省自然科学一等奖。

【技术指标】

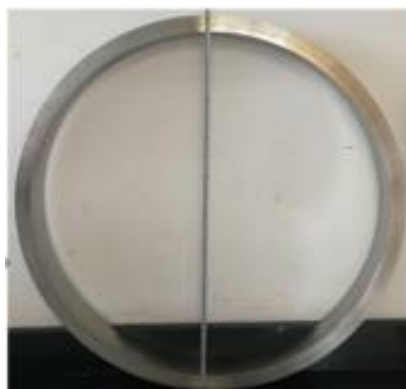
单批量非连续钛基复合材料构件制备重量与尺寸：大于100kg，中介机匣直径1000mm，粉末冶金网状结构非连续增强钛基复合材料现有报道最大尺寸，满足大尺寸与批量需求；紧固件室温拉伸强度：1334MPa；紧固件室温拉伸延伸率：11%。

【应用前景】

该技术解决大尺寸钛基复合材料制备和成形等瓶颈问题，攻克大尺寸圆盘成形技术，解决系列气动格栅轻质耐热高强韧结构材料迫切需求，最高温度720℃，替代高温合金构件，最高单件实现减重5800g(减重46.9%)。攻克高强韧钛基复合材料高端紧固件成形技术，可打破其他国家对高性能钛合金紧固件的技术封锁与价格垄断综合性能较进口钛合金紧固件提升20%以上。



锥面构件设计图



中介机匣

2.高硬度高模量钛基复合材料（材料学院）

【成果简介】

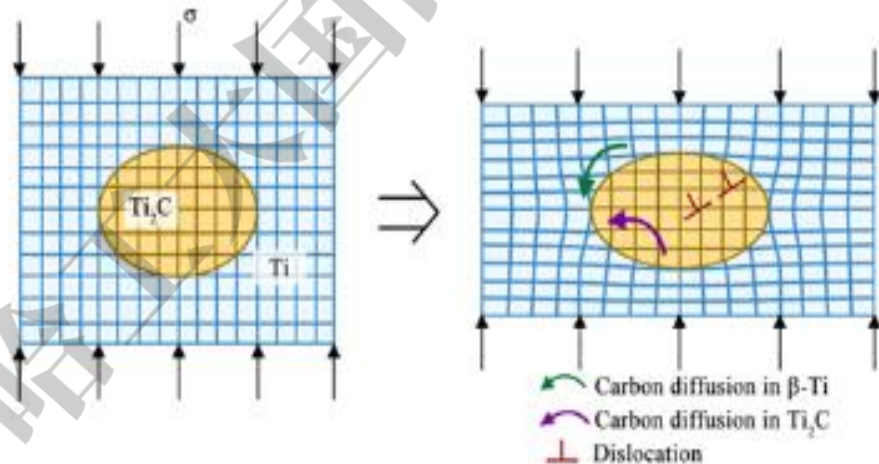
针对高模量的钛基复合材料由于陶瓷相含量过高而难以热加工等问题，采用钛粉与碳粉发生原位反应生成 TiC_x 制备出高模量钛基复合材料， TiC_x 中析出纯Ti作为金属相与陶瓷相相互镶嵌成双连通结构，实现弹性模量与热加工性能的协同提升，突破了高模量钛基复合材料难以热变形的瓶颈，系统研究热变形行为和机理，为同领域内钛基复合材料和其他金属基复合材料的变形工艺和机理研究提供参考。同时热变形工艺可以减少钛基复合材料生产过程中材料损耗，降低构件生产成本，拓宽钛基复合材料的应用。相关成果申请国家重点研发计划一项。

【技术指标】

弹性模量最高220GPa，密度约 $4.6g/cm^3$ ，同时还具高硬度，高耐磨性、可变形特点，热压后材料内部无裂纹或破碎陶瓷相。

【应用前景】

该技术解决了高弹性模量钛基复合材料的热加工困难等问题，有望被广泛应用于部分精密仪器中，如高精度光学仪器、航空航天设备的关键部件以及半导体制造设备。



复合材料变形机制示意图



烧结态复合材料宏观形貌

3.高耐磨与高强韧一体化TMCS（材料学院）

【成果简介】

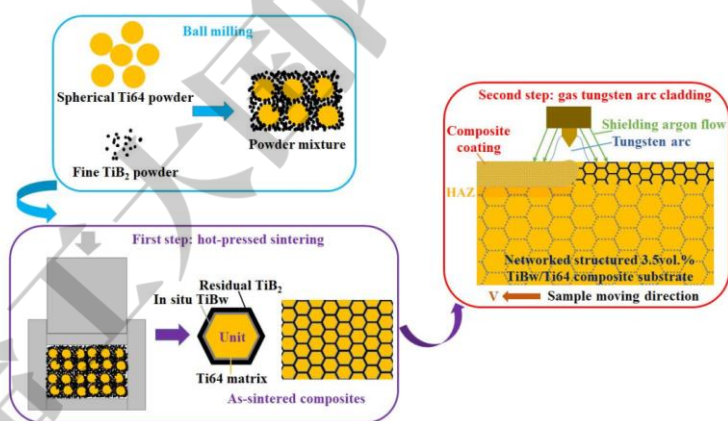
采用TIG熔覆方法在高强韧网状结构钛基复合材料表面研制高增强体含量钛基复合耐磨涂层，通过陶瓷相的支撑保护抵抗擦伤及钛基体组织细化与固溶强化效果，获得高硬度/高耐磨涂层高强韧基底冶金结合一体化。

【技术指标】

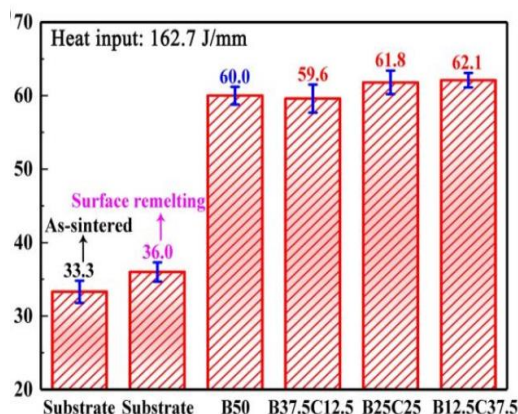
高耐磨与高强韧一体化TMCS硬度最高HRC62.1，高出基底材料(HRC 33.3) 86.4%;相应体积磨损速率为 $7.35 \times 10^5 \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ，与基底材料($6.78 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)相比下降幅度约一个数量级，具有优异耐磨性。

【应用前景】

该技术极大地提高了钛基复合材料的硬度耐磨性，实现钛基复合材料高强韧与高耐磨性一体化，有望应用于航天飞行器等多种耐磨构件，代替耐磨钢等传统耐磨材料实现减重40%以上，大幅提升综合性能。



两步法制备高含量TiB₂/TC4熔覆层示意图



不同TiB₂:TiC含量混合强化涂层宏观硬度变化

4.电磁成形技术（材料学院）

【成果简介】

电磁成形技术，通过将高压电容器中的电磁能瞬时转化为机械能，使轻合金板材和管材发生高速率塑性变形，获得所需几何形状、尺寸和性能制件的成形加工过程。该技术在室温下，可显著提高难变形金属的塑性成形性能，尤其适合铝合金板材和管材成形高速率变形过程（ $\sim 100\text{m/s}$ ），制件成形加工时间在毫秒级。非接触加载与单模（无模）成形，制件表面质量佳，成形精度高，而且工艺参数简单，能量输入控制精确，加工过程柔性高，可在一次加工中实现多成形工序复合。

【技术指标】

该技术在室温下，可显著提高难变形金属的塑性成形性能，尤其适合铝合金板材和管材成形高速率变形过程，制件成形加工时间在毫秒级。

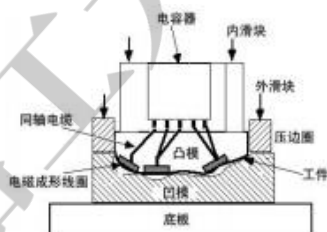
【应用前景】

直接类——电磁力直接作用于坯料：

管成形——航天用铝合金、高温合金、不锈钢异形管；管连接装配——异种金属管/管、管/轴机械连接与冶金连接，金属/非金属装配连接；

板成形——2219-O（CS）、LD10、2A12、铜合金、不锈钢板材等；

辅助类——多成形工序集成到一次加工过程，或与钢模冲压、液压成形、拉形等复合，在难成形处施加脉冲磁场力，提高形状和尺寸精度，实现大型复杂钣金件的成形制造。



冲压-电磁成形复合工艺原理



减小拉深件底部圆角



消减弯曲回弹

5. 航天轻质热管精密制造技术（材料学院）

【成果简介】

航天热控技术是制约卫星等航天器稳定性、可靠性和服役寿命的关键技术。以铝合金沟槽热管和蒸汽腔为代表的航天轻质热管是一种依靠内部工质相变和微沟槽吸液芯驱动工质回流来实现高效热传输的被动传热元件，具有传热系数高、一致性好、结构紧凑、可靠性高等优点。项目整体技术处于国际领先水平，拥有20余件自主知识产权，技术成熟度高。

【技术指标】

目前已开发吸液芯沟槽尺寸0.2~0.5mm、外形尺寸4mm、14.1mm、29.4mm、500×500 mm等多种规格铝合金沟槽热管产品和蒸汽腔平板热管，管壳材料以6063铝合金为主，工质为液氨或丙酮等，可提供定制化产品服务。产品主要技术指标为：微槽尺寸0.2~0.3mm，尺寸精度±0.05mm，充装精度±0.1g，传热性能>5W/m，温度均匀性±0.5℃。

【应用前景】

国内航天热管市场正面临着民用航天市场供不应求、新兴商业航天商场格局尚未成形的机遇和挑战。针对热控技术领域人造卫星和宇航设备散热问题，常规热管已经难以满足航天器高导热、微型化和轻量化的热控技术需求。



HP-Ω-14.1-40-0.3



HP-Ω-29.4-30-0.3



HP-Tra-4-4-0.27

6. 航空航天小弯曲半径管路成形技术（材料学院）

【成果简介】

小弯曲半径弯管整体成形技术采用预先数控弯曲、再流体高压成形的技术路线，通过合理设置预弯曲半径和流体高压成形压力、轴向进给及型面，可有效控制小弯曲半径弯管的外侧减薄和内侧起皱缺陷，满足最小壁厚和管端壁厚均匀性的要求，解决了冲压半管焊接的弯管焊后变形导致管端圆度差，需要人工多次矫形、修复才可满足与其他管路对焊的精度要求的问题。主要技术优势是可以实现小弯曲半径弯管的整体成形，成形效率、成形质量远高于传统成形的小弯曲半径弯管。

【技术指标】

小弯曲半径弯管成型技术最小相对弯曲半径可达到0.8，远小于数控弯管的成形极限1.5。经过几年的研究和典型样件研制，产品直径从 $\varnothing 20$ - $\varnothing 60$ 、弯曲半径从0.8-1.32的几十个规格已考核验证。

【应用前景】

目前，小弯曲半径不锈钢弯管成形技术已经用于国内两大发动机厂家。该类技术及产品可以进一步延伸拓展到其他航空发动机、运载火箭发动机的燃油输送系统、滑油输送系统以及飞机线缆管路系统，由弯管零件制造到组件的高端制造，市场规模年产值1亿。



7. 钛合金燃料电池双极板电磁辅助成形技术 (材料学院)

【成果简介】

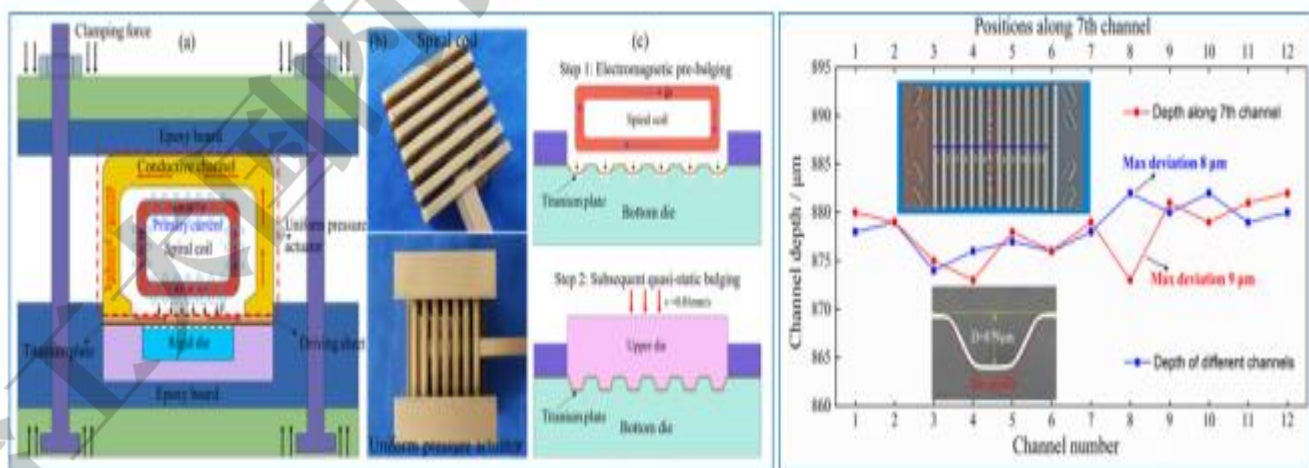
针对钛合金双极板冲压成形质量不佳、极限深宽比较小等问题，提出了钛合金双极板电磁辅助成形新方法，解决了钛合金双极板微流道成形回弹严重、几何精度差、表面质量差等问题，突破了大面积微结构模具制造、微结构跨尺度成形精度控制等关键技术，实现了钛合金燃料电池双极板的高质量、高精度制造，显著提升了成形效率，降低了制造成本，成果获授权国家发明专利1项。

【技术指标】

预放电电压：10kV；驱动板厚度：0.2mm；放电次数：单次放电；流道深度比：0.88；最大减薄率：17.3%；流道深度偏差：9 μ m；侧壁倾角：55.6°。

【应用前景】

该技术可以有效提高钛合金燃料电池双极板的尺寸精度与成形质量，在国内率先开展电磁辅助成形双极板工艺研究，并实现钛合金双极板样件的小批量试制。



钛合金双极板电磁预胀形-准静态模压复合成形新技术

8.一体化膜电极系列产品（航天学院）

【成果简介】

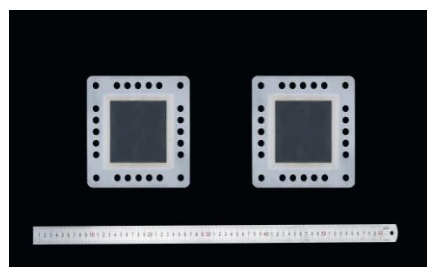
针对我国氢燃料电池产业尚处于初期发展阶段，燃料电池系统中质子交换膜、催化剂和膜电极等都存在“卡脖子”问题的严峻现状，由国家级人才计划入选者何伟东教授组建的团队在氢能关键部件材料的设计、制备、测试、仿真和产业化方面进行了完备的布局，致力于打造高端质子交换膜产品，开发膜/催化剂一体化膜电极，打破燃料电池和电解水制氢关键材料被国外产品垄断的局面。所研发的一体化膜电极系列产品已成功应用于电解水制氢领域。相关成果获2020年国家发明协会发明创新金奖、2019年中国产学研合作创新成果奖。

【技术指标】

团队自主研发的质子交换膜厚度在5~500 μm 精确可控，并可批量化生产。80 $^{\circ}\text{C}$ 下质子传导率 $> 0.16 \text{ S/cm}$ ，机械强度 $> 32 \text{ MPa}$ 。已经成功应用于氢燃料电池及电解水制氢领域。应用到氢燃料电池时，功率密度高达 1.4 W/cm^2 ，超过杜邦Nafion[®]质子交换膜（功率密度为 1.1 W/cm^2 ）、戈尔GORE-SELECT[®]膜（功率密度为 1.2 W/cm^2 ）以及旭硝子化工Flemion[®]膜（功率密度为 1.1 W/cm^2 ）。基于10 μm 薄膜的一体化膜电极，应用于氢燃料电池时性能已超越美国杜邦等系列产品，功率密度 $\geq 14 \text{ W/cm}^2$ （0.65V电池电压），一体化膜电极的耐久性 $\geq 10000 \text{ h}$ 。基于180 μm 厚膜的一体化膜电极，应用于电解水制氢领域时，电流密度为 $2 \text{ A/cm}^2 @ 2 \text{ V}$ ，可稳定运行60000 h，且极具成本和耐久性优势。

【应用前景】

该技术跨领域应用广泛，市场潜力大，产业链丰富。膜电极国产化将加速多行业发展。我国膜及催化剂技术待产业化，受制国外。何教授团队自研膜电极望破技术壁垒，促氢能产业，具重大意义。国产膜批量化还适电解水制氢等，市场潜力千亿级。



一体化膜电极系列产品

9. 镁合金表面超音速冷喷涂镀铝技术 (化工学院)

【成果简介】

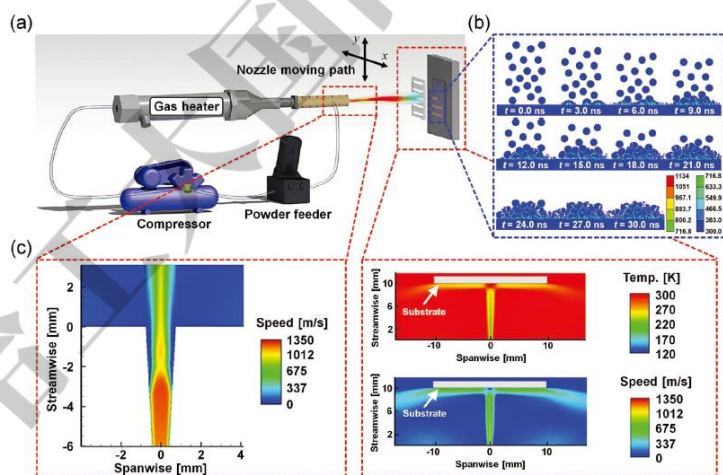
镁合金具有密度低、高比强度，切削加工、铸造性能优异，生物相容性良好等特性，在电子通讯、航空航天等领域具有广泛的应用前景。镁合金是轻合金材料，能替代其他的金属材料，进而显著提高宇宙飞船和车辆的速度，使其轻量化。随着我国轨道交通产业的飞速发展，轨道交通车辆减重要求迫切。但镁合金的耐腐蚀耐磨性较差且化学性质活泼，限制了其广泛应用。因此，拟开发新型镁合金表面功能涂层技术，提高镁合金使用寿命，拓宽镁合金应用范围。

【技术指标】

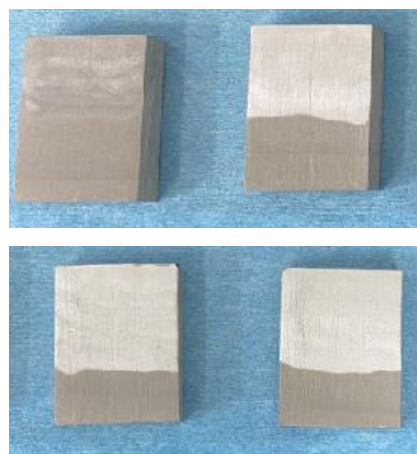
涂层硬度： ≥ 120 HV200；厚度： ≤ 400 μm ；孔隙率： $\leq 0.80\%$ ；自腐蚀电位： ≥ -0.85 。

【应用前景】

采用冷喷涂技术在镁合金表面开发均匀、致密和高结合强度的铝涂层，实现镁合金表面的以铝代镁，满足后续表面功能涂层制备需求，进而提高镁合金表面的防腐耐磨特性，满足航空航天、汽车制造和电子工业等各大领域应用需求。



超音速冷喷涂原理图



冷喷涂铝图层试样

10. 润滑油增效用纳米微球（化工学院）

【成果简介】

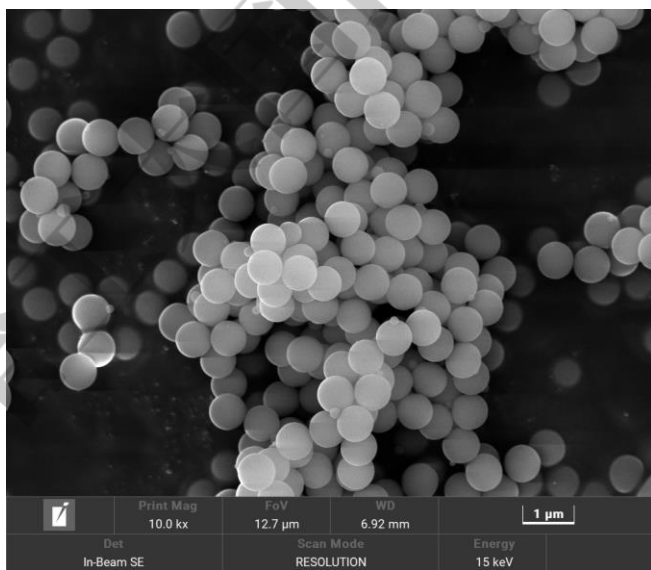
针对润滑油在极端工况下（如齿轮、叶片和曲轴等关键部件）的极压抗磨性能需求，研发了多种陶瓷单分散纳米微球作为润滑油增效添加剂。该纳米微球凭借其独特的正圆形球体结构，通过填充、修复及滚珠效应显著降低了摩擦系数与磨损程度，有效减少了因摩擦产生的热量。微球尺寸精确可控，既能高效填充微观摩擦间隙，又具备高熔点特性，能够承受长时间运行中的高温环境。此外，纳米微球对工业白油具有增稠作用，可根据需求调节润滑油黏度，确保其在最佳性能范围内运行。该添加剂展现出优异的稳定性，在润滑油中分散均匀且无沉降板结现象，进一步实现了显著的节油效果。这一创新成果为提升润滑油性能、延长机械部件寿命提供了强有力的技术支持。

【技术指标】

尺寸范围：百纳米至十微米量级（可控）；**黏度调节：**对工业白油具有增稠作用，可按需调节。

【应用前景】

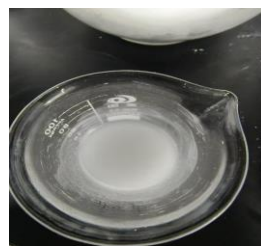
润滑油增效微球能够显著提升润滑油的极压抗磨性能，保障发动机及传动系统的稳定运行，延长设备使用寿命，降低维护成本。同时，其显著的节油效果也符合当前节能减排的环保趋势。其技术成熟与应用拓展，正引领润滑油行业升级，助力高端装备质量控制，为我国制造业的绿色发展贡献力量。



纳米微球扫描电镜图



纳米微球与32#工业白油直接混合效果



纳米微球与32#白油在超声条件下混合效果

润滑油增效用微球

11.高性能光学与太赫兹电光功能器件 (物理学院)

【成果简介】

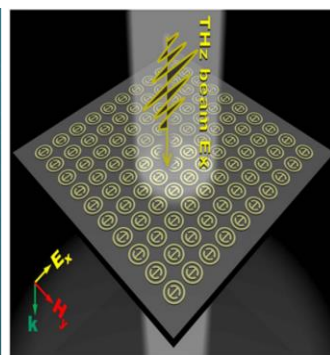
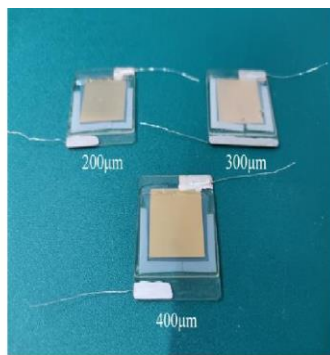
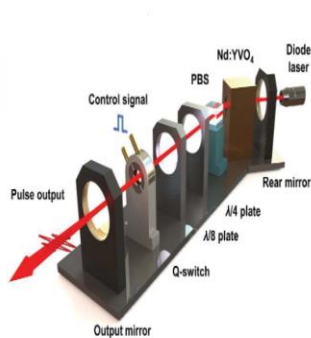
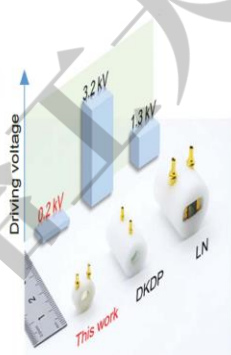
针对高通量红外与太赫兹器件的发展受限于功能材料和调制手段匮乏的问题，面向传统电光晶体和ITO电极一直难以克服低损耗高性能电光调控的技术瓶颈。围绕“新材料、新机制、高性能”的核心物理问题，研发出了高效能的多功能电光调制材料与器件，提出了功能导向的调制材料器件化协同增益新方法，实现了信息传输与调制技术的革新，形成了高通量红外与太赫兹调制技术优势，对国民经济与国家发展具有重要的意义。相关合作成果发表于Science、Nature、Science Advances等顶级期刊，并入选2020年度中国科学十大进展。获黑龙江省自然科学二等奖2项、黑龙江省高校科学技术奖一等奖1项等。

【技术指标】

电光晶体材料：线性电光系数： $\geq 500 \text{ pm V}^{-1}$ ；二次电光系数 $\geq 1 \times 10^{-14} \text{ m}^2 \text{ V}^{-2}$ ；**电光调Q器件：**驱动电压：200 V；脉宽：2 ns；**太赫兹透明电极材料：**工作带宽覆盖 $0.3\text{--}10 \text{ THz}$ ；透过率 $\geq 90\%$ ；电导率 $\geq 5000 \text{ S cm}^{-1}$ ；**太赫兹调制器件：**工作带宽覆盖 $0.3\text{--}10 \text{ THz}$ ，相移大于 360° 、插损小于3 dB。

【应用前景】

该成果可广泛应用于激光/太赫兹通信、传感、雷达等系统以提升光学精确操控与高通量信息传递能力。截至目前，该技术已完成多项国家级项目验证，指标均优于合同要求。



红外与太赫兹调制器件

12. 三维自支撑纳米多孔金属大规模制备技术 (物理学院)

【成果简介】

基于国家能源、环保、航空航天和生物等领域对高性能三维自支撑纳米多孔金属的重大需求，提出了三维自支撑纳米多孔金属（镍，钴，铁，铜及其合金）的大规模制备技术。该技术从高温条件下气体和固体相互作用的基本原理出发，突破了传统纳米多孔金属制备工艺复杂、需要大量酸碱溶液使用，难以大规模制备等技术瓶颈，解决了三维纳米多孔金属机械强度差、使用寿命短等难题。相关成果发表于Advanced Functional Materials, Nano Energy等顶级期刊，并获得国家发明专利十余项。

【技术指标】

以此技术为基础制备的高频高速电路用高质量低轮廓电解铜箔系列产品，综合水平达到国内领先（表面粗糙度 $< 2 \mu\text{m}$ ，抗剥离强度 $> 1 \text{ N/mm}$ ）；以此技术制备的碱性电解水制氢的高性能纳米多孔镍电极，可节约30%制备成本，电极性能超过了一般工业应用水平。

【应用前景】

该技术制备的三维自支撑纳米多孔金属可广泛应用于催化、传感和新能源领域。截至目前，该技术已经成功应用于江苏南通“高频高速电路用低轮廓铜箔”以及中船七一八所“高性能碱性电解槽新型电极”等项目。



碱性
电解槽



低
轮廓
铜箔



纳米多孔金属制备和应用场景