

# 理化所一三五季报

2017 年第二季度

## 突破一 先进激光技术的创新与应用

概述：本方向本季度在研项目 18 项，其中新增 1 项；引进光学专业博士 1 名；共召开 7 次调度会议。

### （一）本方向本季度重要进展

本季度在大功率固体激光及系统、中红外变频固体激光和皮秒固体激光等方面取得重要进展。（略）

### （二）下一步工作计划

下一步将继续在大功率固体激光、钠信标、中红外变频固体激光和皮秒固体激光等方面开展相关工作。（略）

## 突破二 液氮温区 KJ 制冷技术创新及其应用

概述：本方向本季度在研项目 5 项；共召开 5 次调度会议。

### （一）本方向本季度重要进展

本季度在 20m 制冷机、型号用制冷机和小型制冷机等方面取得重要进展。（略）

### （二）下一步工作计划

下一步将继续在 20m 制冷机、型号用制冷机和小型制冷机等方面开展相关工作。（略）

## 突破三 大型低温制冷系统技术研发及工程应用

概述：本方向本季度在研项目 1 项，即“液氮到超流氮温区大型低温制冷系统研制”项目，是中国科学院国家重大科研装备研制专项计划实施的项目之一，分为 6 个子方向。

### （一）本方向本季度重要进展

**1. 冷箱：**250W@4.5K 完成两轮冷箱改造，开展换热器性能实验，验证了换热器的设计方法和制造工艺。2500w@4k 配合流程进行主流程优化，开展 2500w@4k 换热器、冷箱的设计和优化。针对 500w@2k 系统超流氮负压换热器的测试平台开展两次试验，取得了初步结果。

**2. 集成：**250W@4.5K 系统冷箱改造完成，进行了系统调试和性能测试，得到初步结果，为进一步改造提供方向和依据；2500W@4.5K 系统完成廊坊园区集成三维布局图的初步论证。

**3. 流程设计：**完成了 2500W@4.5K 制冷机流程与 PID 设计的内部评审，根据评审意见进行修改完善。在实验验证的基础上，解决了 250W@4.5K 制冷机温度测量的问题，对其改造后的性能评估起到了重要的作用。配合 250W@4.5K 制冷机的改造工程，对制冷机控制系统进行了改进，完成温度计的安装和测试。

**4. 冷压缩机：**与高速电机生产厂家进行技术交流，讨论电机安装工艺和动平衡测量。初步完成高速电机测试平台搭建，实现磁悬浮轴承支撑设计转速的高速电机试运行。磁悬浮性能测试平台完成组装，正在升速调试。完成整机结构设计和传热计算，初步完成仿真模拟和优化设计，开始准备整机机械制图设计。完成冷压缩机性能测试辅助冷箱的方案设计和加工投标。

**5. 氮螺杆压缩机：**对 2500W@4.5K 滤油器进行了零部件加工清洗处理；豪顿压缩机已经发货；冰轮压缩机开始机组组装；与进行技

术交流，确认了机组流程。

**6. 透平膨胀机：**对 250W@4.5K 制冷机上的透平膨胀机进行了热力性能测试，完成了稳定性测试平台的设计和加工、氦透平膨胀机低温性能实验台升级改造的设计及气体轴承实验台的设计。

## **（二）下一步工作计划**

**1. 冷箱：**2500w@4k、500w@2k 各子部件的设计和加工，500w@2k 超流氮负压换热器平台完成验收并获取关键参数。

**2. 集成：**进一步改造 250W@4.5K 制冷机，进行系统调试和 72 小时稳定运行实验；250W@4.5K 系统验收测试；进一步论证 2500W@4.5K 系统在廊坊园区集成的三维布局图。

**3. 流程设计：**确定 2500W 制冷机的流程设计和 PID 参数，配合 250W 制冷机的改造和验收工作。

**4. 冷压缩机：**完成冷压缩机组设计和计算以及整机工程图纸，联系冷压缩机加工厂家。高速电机测试平台和磁悬浮性能测试平台调试验收。

**5. 氮螺杆压缩机：**2500W@4.5K 滤油器完成组装；冰轮压缩机完成机组组装；压缩机开始机组组装。

**6. 透平膨胀机：**完成 2500W@4.5K 氦透平膨胀机的热力设计，完成氦透平膨胀机低温性能实验台的搭建，完成气体轴承实验台的加工和调试工作。

## **突破四 仿生智能超浸润界面材料体系构筑与调控**

概述：本方向本季度在研项目 51 项。召开协调会议 2 次。本季度在仿生纳米孔道能源材料与能源器件、仿生粘附界面材料、仿生微

纳米结构的构筑和加工等方面展开了系统深入的研究,取得了一系列原创性研究成果,发表 SCI 论文 22 篇,其中包括 1 篇 *Sci. Adv.*、1 篇 *J. Am. Chem. Soc.*、1 篇 *Angew. Chem. Int. Ed.*和 2 篇 *Adv. Mater.*。

### (一) 本方向本季度重要进展

1. 仿生纳米孔道能源材料与能源器件: 从生物体中不同形状的生物蛋白质通道入手,采用非对称化学刻蚀的方法,制备了一系列结构可精确调控的仿生固态纳米通道,其主要由大口端的锥形区域、中间的柱形区域和小口端的锥形区域等三部分组成。通过对不同区域进行功能化修饰,改变其表面电荷性质,实现了方向可控的离子整流和大小可调的离子门控功能。进一步借助 Poisson-Nernst-Planck 方程仿真模拟,这种通道结构和表面电荷协同控制的离子传输机理得到了很好的验证,同时也为未来的应用奠定了良好理论基础(*Angew. Chem. Int. Ed.*2017, 56, 8168)。此外,进一步制备了基于嵌段共聚物的超薄复合离子通道膜,其有着亚微米级别的厚度以及超高的阴离子选择性;系统地研究了体系渗透能量转换性能与浓度梯度以及膜厚度之间的关系,当混合海水和河水时最大的能源密度可以达到  $2.04 \text{ W/m}^2$ ; 由于该复合膜的孔利用率比较低,如果提高孔利用率,有望进一步提高输出功率;该工作为设计高性能的盐差发电薄膜提供了新思路(*J. Am. Chem. Soc.*2017, 139, 8905 )。

将基于仿生纳米孔道的能量转换拓展到具有类贝壳结构的二维层状材料中(*Adv. Funct. Mater.*2017, 27, 1604302; *Chem. Sci.*2017, 8, 4381),使用化学修饰的带有正负两种相反电荷的氧化石墨烯膜组取

代传统的离子交换膜，通过混合具有不同浓度的离子溶液，实现了  $0.77 \text{ W/m}^2$  的功率密度，其性能较目前主流的商用离子交换提高了 54% (Adv. Funct. Mater. 2017, 27, 1603623); 其转换的能源可以来自人尿液、汗液、酸雨、工业废水、强酸/强碱和果汁等。此外，首次实现了利用仿生二维离子通道膜材料可以驱动实际的用电器，包括计算器、计时器、温/湿度计、各种颜色的 LED 等。从具有(四面体/八面体) 1: 1 构型的天然矿物中(如高岭石)液相剥离两面异性的二维纳米晶体，并将之组装成为功能膜材料(Adv. Mater. 2017, 29, 1700177); 经过化学修饰得到具有 Janus 结构的二维组装单元; 抽滤后形成拥有纳米及亚纳米尺度的通道和近乎完美离子选择性的二维层状膜，其性能媲美甚至超越石墨烯膜。原料价格仅为  $0.013 \text{ 元/m}^2$ ，比石墨烯膜和商用离子交换膜低 5 个量级。原料高岭石可从矿渣中提取，变废为宝，具有经济和环境双重效益。

2. 仿生粘附界面材料: 提出了一种普适性的乳液界面聚合方法，通过将亲、疏水单体同时引入到油水界面体系，构筑了水（亲水单体水溶液）包油（疏水性单体）的油水界面；在聚合过程中，使聚合发生在油水界面的某一位点上，以这一活性位点为中心进行界面优势生长。调控界面两侧水油组分，通过二元协同的效应，就可以制备拓扑结构和化学组成精确可调的各向异性聚合物 Janus 微球。这种方法为设计制备新型的聚合物材料提供了新的思路，制备得到的各向异性微球在油水分离、固体表面活性剂、蛋白分离和细菌分离等方面展示出巨大的应用前景(Sci. Adv.2017, 3, e1603203)。

在该体系中，疏水性的引发剂首先在油滴内部引发疏水性单体的聚合，生成一个聚合物活性核。当聚合物活性核运动到油水界面上时，其表面活性位点能够引发水相中的亲水单体发生聚合。从而将聚合物活性核锚定在油水界面上，进而发生界面锚定聚合。亲水性单体和疏水性单体在界面的优先共聚，最终形成具有亲水亲油性质的各向异性 Janus 微球。通过调节亲疏水单体浓度、聚合时间可实现不同拓扑结构和表面化学的 Janus 微球的可控制备。这种方法具有非常好的普适性，可适用于各种类型的聚合反应体系，例如界面缩聚反应、离子聚合、配位聚合等。同时，基于 Janus 微球独特的月牙结构，利用其亲疏水两面性质的不同，可实现不同粒径微球的分选以及细菌分离。这种方法不仅局限于各向异性的 Janus 微球的合成，还可以扩展到二维 Janus 膜材料的制备，基于膜两侧性质的差异，可实现环境响应性形变 (NPG Asia Mater. 2017, 9, e380)。这种方法打破了传统乳液聚合只形成球形微球的限制，开辟了乳液聚合的新方向。

3. 仿生微纳米结构的构筑和加工：系统研究了双光束激光照射条件下光与银离子的相互作用，研究发现利用单一波长的激光照射银离子溶液在柔性基底上难以得到紧致的银纳米线条，但是两束激光同时照射条件下能够得到良好的银纳米线条。这种柔性的银纳米线条具有良好的导电性、可弯折性，有望应用于新型柔性器件中 (Appl. Phys. Lett. 2017, 110, 263113)。此外，利用双光子加工技术加工了聚乙二醇的微结构，系统研究了加工条件，如：激光功率、扫描速度，层间距等对微结构模量的影响，发现激光功率的增加会提高结构的模量，而

增大扫描速度或者层间距则会引起微结构模量的下降。在此基础上加工了血红细胞模型，为组织修复提供了一种潜在的方法（Appl. Surf. Sci., 2017, 416,273-280）。

## （二）下一步工作计划

1. 围绕新型仿生纳米孔道的构筑及其在能源转换方面的应用，着重从以下几个方面开展研究：（1）构筑结构新颖、性能优异的仿生固态纳米通道，为研究限域空间内离子传输机制及建立新理论模型奠定良好的基础；（2）继续构筑超薄的复合聚合物膜材料，通过控制膜上通道的参数和提高通道的利用率，实现高能量密度的浓差能源转换，以期为盐差发电薄膜打下良好的基础。

2. 围绕仿生粘附界面材料体系，着重从以下几个方面开展研究：（1）研究独特的生命界面体系表面粘附现象，揭示界面粘附的多尺度结构、化学组成与粘附性能的构效关系。为研究和建立多尺度界面粘附模型提供依据；（2）制备仿生粘附可控的界面材料，研究水环境下细胞的动态识别粘附、抗粘附等性质，探索可用于癌细胞分离新技术，以期为恶性肿瘤的治疗提供新途径。

3. 围绕仿生微纳米结构的构筑和加工，着重从以下两个方面开展研究：（1）研究跨尺度加工技术。针对仿生结构中同时存在跨尺度和高精度结构的特点，研究能够兼顾大面积快速加工跨尺度结构的制备技术，为研究和建立多尺度仿生结构的制备加工提供技术支撑。（2）研究生物相容性结构的构筑。利用生物相容性材料，制备仿生微纳米结构，研究材料和结构对其生物相容性的影响，探索具有良好生物相

容性的仿生结构，为组织工程修复提供新的途径。

## 培育一 光化学转换与光化学合成

概述：本方向本季度在研项目 12 项，新增科研项目 1 项；召开协调会议 2 次。继续开展光催化分解水制氢及催化产氧方面的研究工作，并在利用非贵金属催化产氢、电化学产氧等方面取得了显著进展。

### （一）本方向本季度重要进展

1. 通过一步水热法成功实现氮掺杂程度可控的碳量子点制备。研究发现，随着氮掺杂程度的提高，碳量子点的荧光量子效率大幅提高（26.8% ~ 66.8%），表明结构中的非辐射载流子复合中心减少，有利于其作为光敏剂实现更高效的光激发电荷转移。在与商业 P25 型  $\text{TiO}_2$  形成纳米复合物后，其紫外及可见光区的催化活性均随氮掺杂程度的增加而明显提升，这得益于氮掺杂对碳量子点光激发电荷分离和转移效率的提升。相关研究工作以全文形式发表在国际化学领域知名期刊（*Chem. Sus. Chem.*, **2017**, DOI: 10.1002/cssc.201700943）。

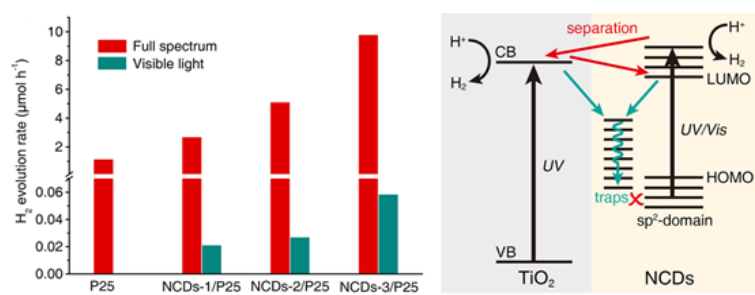


图 1 氮掺杂碳量子点 NCDs/P25  $\text{TiO}_2$  纳米复合材料（左图）

光催化产氢性能及光激发电荷转移作用示意图（右图）

2. 在镍基泡沫上原位生长超薄  $\delta\text{-MnO}_2$  纳米片阵列，构筑了新型双功能  $\delta\text{-MnO}_2$  电极，该电极不仅暴露出丰富的电催化反应的活性位点，并且具有优异的导电性，在电催化析氢和析氧反应体系中展现出



优异的电催化性能（在  $10\text{mA cm}^{-2}$  电流密度下具有 197 和 320mV 的低超电势，以及 62 和 40mV/dec 的塔菲尔斜率）。X 射线吸收精细结构谱分析(EXAFS)和密度泛函理论（DFT）计算表明优越的催化性能源自超薄  $\delta\text{-MnO}_2$  纳米片上的大量氧空位，导致  $\delta\text{-MnO}_2$  具有类似金属性质以及对于水分子强吸附作用。这种通过引入缺陷来提高电催化剂的能量转换效率新方法为开发新型高效非贵金属催化剂提供了新的研究思路。相关研究工作发表在国际顶尖能源领域杂志（*Adv. Energy Mater.*, **2017**, DOI: 10.1002/aenm.201700005）。

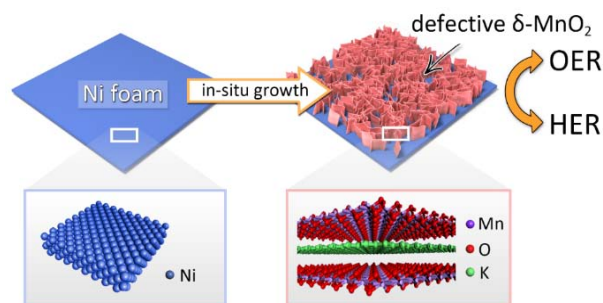


图 2 新型高效电催化剂  $\delta\text{-MnO}_2$  在电催化反应中的作用示意图

3. 利用石墨炔与钴离子之间的相互作用，将钴纳米粒子原位负载到了三维的石墨炔铜泡沫电极上。扫描电镜以及透射电镜表明，钴纳米粒子均匀分散在石墨炔的表面，其平均的粒径为  $\sim 4\text{ nm}$ 。该电极在  $0.1\text{ M KOH}$  溶液中，成功实现了水的氧化反应。产氧的过电位约为  $0.3\text{ V}$ ，在  $1.6\text{ V vs RHE}$  的电位下，基于钴离子的质量催化活性达到  $413\text{ A/g}$ 。在 4 小时的电解过程中，该电极能够保持比较稳定的电流密度，表明石墨炔能够作为一种很好的催化剂载体来稳定金属纳米粒子，并用于水的氧化反应。这种利用石墨炔作为催化剂载体来稳定纳米粒子的方法，制备简单，价廉实用，为制备高分散、高活性的催化剂提供了新的思路和途径。相关研究结果发表在国际催化领域顶级期刊（*ACS Catal.* DOI: 10.1021/ acscatal. 7b01781.）。

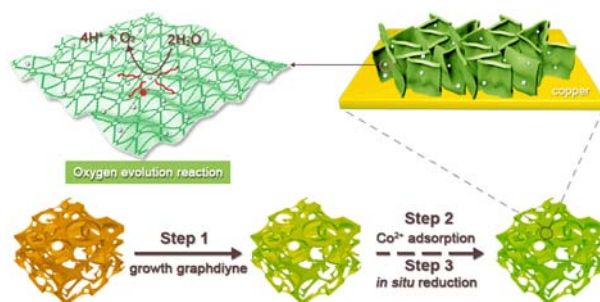


图 3 Cu@GDY/Co 电极制备示意图

4. 在重大项目立项方面，吴骊珠研究员负责的“纳米结构的光电和光化学转换体系构建”课题成功获得国家重点研发计划项目的资助，科技部批复的课题总预算经费为 740 万元。

## （二）下一步工作计划

将在前期工作基础上，继续进行高效、稳定和廉价的太阳能光催化制氢和二氧化碳还原体系的研究，利用光化学反应新技术以及可见光催化继续开发惰性键活化新反应研究。

## 培育二 环境友好材料与绿色生产工艺

概述：本方向本季度在研项目 2 项；围绕酶法明胶关键技术和降解树脂工艺的讨论会共计召开 2 次；招聘技术工人 1 人。

### （一）本方向本季度重要进展

1. 完成酶法明胶工业酶制剂的开发和中试制备，着手工业化试产准备工作；根据前期调研和试验，完成酶法胶污水处理新方案和固废综合利用方案，目前正在进行试验验证；开展酶法胶在胶囊制备过程中的工艺研究，初步完成了明胶硬胶囊的准工业制备，与 10 家胶囊企业合作开展试产工作；进行酶法明胶预处理工艺的优化，优选了高效节能的破碎设备，提高了生产效率；开展酶法胶脱色工艺研究，

进一步提高明胶透过率，达到药用胶囊生产对透过率要求。

2. 山东悦泰 15 万吨 PBS/PBAT 生产线基建工作正式开展，与地方政府、投资方多次沟通和现场考察，初步确定了可降解塑料产业布局中国西北地区及“一带一路”沿线的规划设计和落地方案及下游地膜产品的生产和应用，落地方选择新疆奎屯市。

## **（二）下一步工作计划**

2017 年下半年完成工业酶制剂的批量生产，满足明胶生产指标要求；完成酶法胶硬胶囊生产工艺探索，实现硬胶囊批量制造；完成酶法胶污水和固废处理工艺优化；实现酶法骨素明胶的生产线贯通。

## **培育三 激光显示及产业化**

概述：本方向本季度围绕高性能激光家庭影院和大型公共激光显示（含激光电影放映机）等激光显示产品化开发。在研项目 2 项，结题 1 项；召开激光显示重大项目协调会 5 次、扩大会议 1 次，重点研发计划总体技术方案暨项目年度进展研讨会 1 次。

### **（一）本方向本季度重要进展**

1. “重点新材料研发及应用”国家重大项目材料编写、论证工作。

根据上级科技部门指示，2017 年第二季度主要围绕“重点新材料研发及应用”国家重大项目开展前期论证工作。2014 年到 2016 年，在中科院的领导下，中科院理化所联合院内外优势单位（院内外科研、产业及地方十多个单位组成），建议/论证将激光显示列入国家材料重

大工程（即国家重大项目），获得通过。2017 年，由科技部牵头组织论证“重点新材料研发及应用”国家重大项目的实施方案，预计在 2018 年启动。



图3 “重点新材料研发及应用”重大项目进展情况

在论证过程中，业务处和应用激光中心在所内组织多次研讨会，邀请团队的核心成员集中起草、修改和论证实施方案，获得了科技部主管部门的肯定。2017 年 6 月 30 日，理化所组织激光显示重大项目扩大会议，院科发局陈文开副局长、理化所张丽萍所长、苏州纳米所杨辉所长、福建物构所曹荣所长、半导体所杨富华副所长、许祖彦院士、刘韵洁院士、丁文华院士、王立军院士以及各单位主要领导均出席了会议，与会专家认真讨论了科技部“重点新材料研发及应用”重大项目中“激光显示关键材料及应用”实施方案上报稿，一致认为方向明确，目标先进，路线合理可行。同时建议：在激光显示整机和工程化方面要考虑高动态范围（HDR）的显示需求；要注重对激光显示材料和元器件工作的支持力度；进一步充实实施方案。

2. 在研的重点研发计划项目正在顺利实施，并作为项目牵头单位参加了战略性先进电子材料总体技术方案/项目年度进展研讨会并汇报工作。

(1) 理化所牵头的“双高清/大色域激光显示整机研发及表征评估”重点研发计划项目取得了多项成果。

1) 攻克了精密/复杂结构整机一体化的设计和制造技术、4K 超高清信号重建技术、高精度的色空间转换和颜色校正等整机关键技术, 研发成功三基色 LD 高清激光家庭影院产品样机, 距幕布仅 45cm 处可实现 80-120 英寸巨幕投影, 分辨率达到  $1920 \times 1080$  (2K), 输出亮度 3200 流明, 色域达到了 150%NTSC (BT.2020 广色域标准), 功耗仅为 200W, 是同尺寸液晶电视的三分之一, 色彩绚丽, 观看舒适, 节能环保, 技术指标已达国际先进水平。



图 4 三基色 LD 激光电视

此外, 为实现 4K 分辨率的项目目标, 项目组部署了 4K 光学引擎的相关研发工作, 包括 DLP 照明光路的设计、光学引擎的光学、结构和散热设计、光学引擎与三基色光源模组的光学接口评估等, 初步完成了 4K DLP 照明的样机装调和测试、DLP 驱动板及前端信号板的开发、4K/10bit 视频信号的快速编解码及信号重建等, 实现了 4K 分辨率的图像显示, 为 4K 激光显示整机研发奠定了技术基础。

2) 突破了高性能/低成本三基色激光光源关键技术、新型相变冷却热管理技术。根据项目研究目标, 研制出 50W 级 RGB 三基色激光



模组，红绿蓝三基色耦合模块均得到了较高的耦合效率，输出功率分别可达 7.7W、7.1W 和 32.5W，已经满足激光显示整机的应用需求。

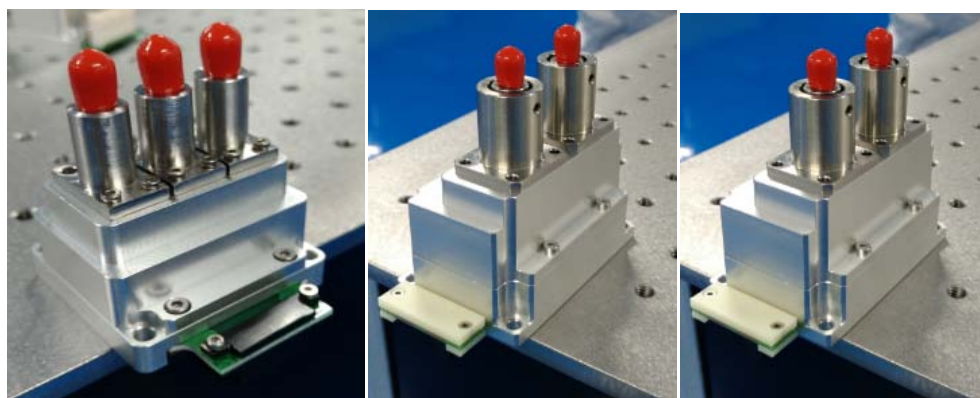


图 5 红光光源模块绿光光源模块蓝光光源模块

表 1 三基色激光模组主要技术指标

参数	指标 (R)	指标 (G)	指标 (B)
输出功率	7.7W	7.1 W	32.5W
波长	638nm	520nm	445nm
光纤	400um/0.22	400um/0.22	400um/0.22
耦合效率	90%	>88%	>88%
驱动	40V@0.7A	38V@1.6A	34V@3A

为探索可满足激光显示整机需求的新体制激光光源，开展了红绿蓝三基色半导体激光阵列关键技术研究。红光 LD 方面，设计和模拟了红光 LD 单管芯片的新型外延结构，实现了 120 微米条宽芯片条件下 1W 的功率输出（室温），输出波长 640nm，热阻=10K/W；蓝绿光 LD 方面，建立了 TO 封装的多脊形 LD 列阵的热学模拟模型，国内首次实现了绿光 LD 列阵激射，输出功率达 100mW，波长为 505 ~

507nm。相关研究成果发表在 Optics Express、Applied Physics Letters 等国际知名光学期刊。

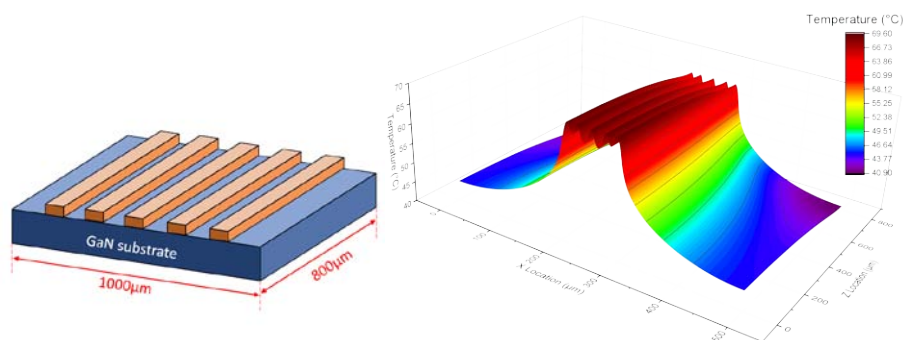


图 6 绿光 LD 阵列设计与仿真

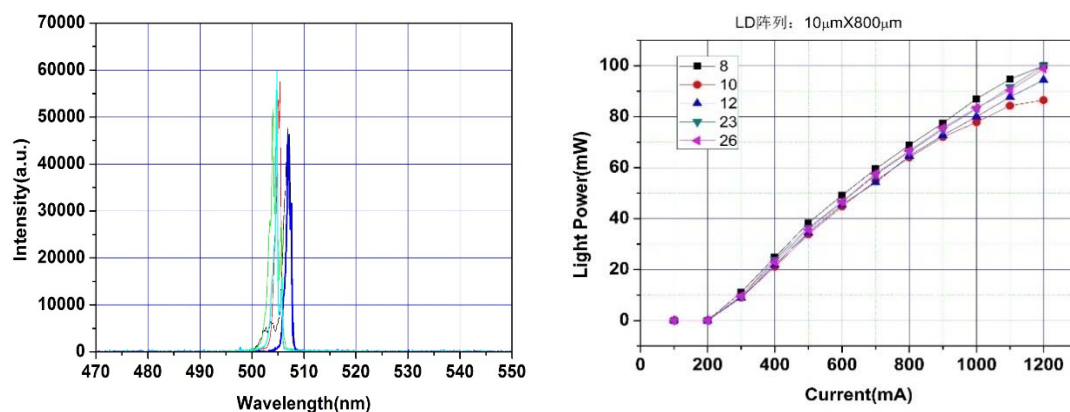


图 7 绿光 LD 阵列激光输出波长绿光 LD 阵列 P-I 曲线

3) 开展了人工微结构与量子阱共同作用下的电子光子联合调控及人工微结构对激光器相干性的作用研究、RGB 三基色独立激光光源彩色散斑及其抑制技术研究和人眼模拟的散斑标准研究, 采用多手段协同散斑抑制技术 (液晶空间光调制器+MEMS 扫描镜), 实现了 7.94% 散斑对比度, 接近实用化水平。同时, 设计了低阈值随机微结构光子晶体, 基于聚焦离子束刻蚀工艺开展 InP/GaAs 随机微结构光子晶体的工艺研究, 研发出了近红外波段低热阻光子晶体阵列激光器, 并实现了低热阻随机光子晶体激光器的光谱展宽, 从激光光源本身实

现了散斑抑制,为下一步的实用化奠定了基础。相关研究成果发表在 Optics Express 等国际知名光学期刊。

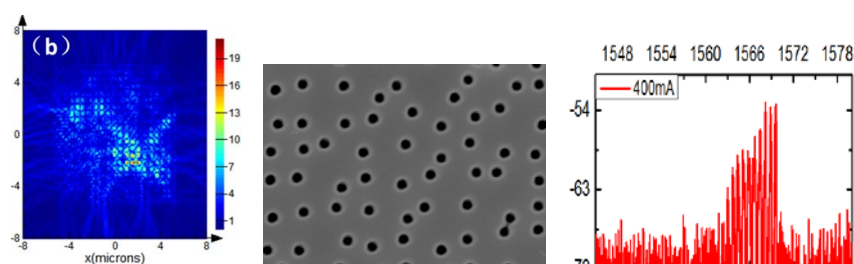


图 8 随机光子晶体激光器设计、仿真与光谱展宽

4) 设计和优化了超短焦投影镜头的结构与镜片设计,其中较原结构减少了三个镜片的偏心,这样使得加工难度大大降低,同时机械装配的难度也降低,将 MTF (传函) 从  $0.3@0.5\text{lp/mm}$  提升至  $0.4@0.5\text{lp/mm}$ ,提高了实用化水平。

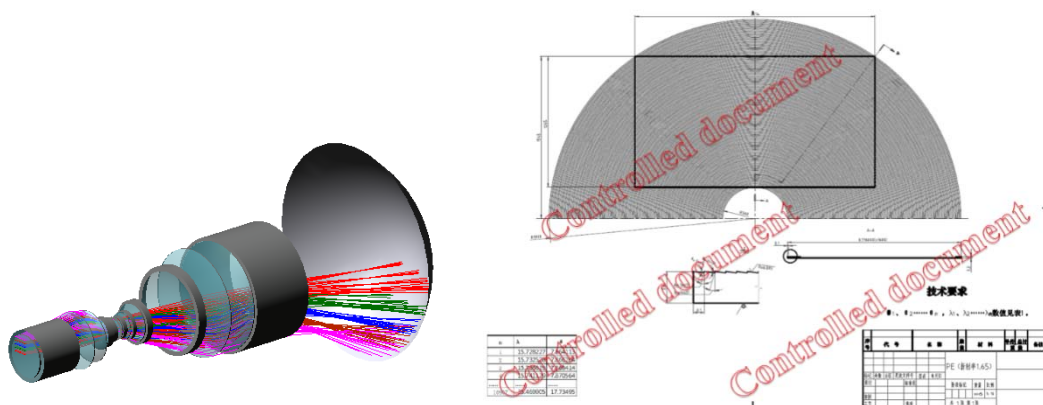


图 9 折反式/离轴成像超短焦镜头设计 (左图)

超短焦激光显示投影屏幕设计 (右图)

开展了超短焦激光显示投影屏幕的原理设计 (宽高比: 16:9; 尺寸 100"; 投射比: 0.233), 突破了大尺寸微结构屏幕精密模具设计与制造技术、新型反射功能层材料开发与成型技术以及超大尺寸光学膜 Roll-To-Roll 技术等, 研发出超短焦激光显示投影屏幕, 实现了亮度系数  $\beta=1.101$ 、幕面解像力 100 线对/mm (支持 4k 分辨率显示), 上



述检测均基于 GB/T13982-2011《反射和透射放映银幕》、通过第三方检测机构评测，目视观察无影响放映效果的花斑和明暗条纹，已经达到了项目的中期考核要求。同时制定了超短焦激光显示的屏幕行业标准并已提交工信部待批准实施。

开展了液晶材料组成及性质的研究，对液晶材料进行了参数设计，成功获得了液晶材料的配方组成，通过优化液晶盒体结构和显示模式，液晶材料的响应时间为 4ms，驱动电压为 10V。通过优化液晶材料的配方组成，成功得到了蓝相液晶，同时使得蓝相材料的温域范围从 13°C 提高到 81.9°C，并且覆盖了低温到高温区域。利用浸润性差别手段初步实现了液晶分子的自组装趋向，得到了微米级的液晶阵列，为下一步研制高克尔系数的液晶材料、开展激光平板显示研究奠定了重要基础。相关研究成果发表在 *Advanced Functional materials* 和 *Journal of Materials Chemistry C* 等国际知名材料期刊。

5) 围绕双高清/大色域激光显示市场应用需求，主要开展了激光显示综合性能表征测试平台及激光显示标准化研究。首先调研了国际国内已有激光显示、液晶电视标准化现状，形成国际国内已有激光显示、液晶电视标准化现状报告 1 份；研究激光显示标准体系，形成完善的激光显示标准体系框架；研究大色域双高清图像评测方法（光电测量+画质测量），形成标准 1 项，散斑的视觉评价和测量方法，形成标准 1 项，并推动激光显示标准提案列入 IEC 国际标准；研究激光显示光辐射安全测量方法，形成标准 1 项；制定了《激光电视基本技术要求及测量方法》标准，形成报批稿。开展三基色 LD 显示光源与整

机综合性能测试方法研究，初步开发了三基色 LD 单管芯片测试设备和蓝绿光 LD TO 模块测试设备两种测试系统，同时已制定了阵列芯片和 COS 封装的光源测试系统，为下一步测试系统的开发奠定了基础。

综上，项目一年来取得了一系列重要研究成果，提高了激光显示在科技和产业领域的影响力，产生了一定的社会效益，也为“重点新材料研发及应用”激光显示重大项目的推进打下了良好的基础。累计发表论文 18 篇，其中 SCI 收录 12 篇，影响因子大于 3 的 SCI 论文共 8 篇；申请发明专利 12 项，形成标准报批稿 2 项，培养了一批青年科技骨干。

## （二）下一步工作计划

1. 项目组将继续开展相关研究，完善和优化 4K 激光家庭影院的整机一体化设计，攻克小型化高性能三基色 LD 激光模组、高效率控制驱动、高精度分时调制、颜色管理、高效能热管理、匀场照明与散斑消除等产业化关键技术，顺利开展重点研发计划项目研究，力争开发出低成本/高性能激光家庭影院产品。

2. 目前，国家重点新材料研发及应用重大项目——激光显示已经进入到实施方案论证阶段，为了顺利争取项目立项，提高激光显示在国际、国内科技和产业领域的影响力，下一步将继续开展更多类型/系列化激光显示样机/产品开发，并参加包括科技部、中科院在内的多项重要成就展（如科技部中华文明成就展等），进一步推广理化所自主开发的激光显示产品。

## 培育四 分散能源气体液化分离技术与应用

概述：本方向本季度在研项目 3 项，召开协调会议 5 次。

### （一）本方向本季度重要进展

1. 偏远天然气气井方面：结合现场运行现场数据和经验，进行了冷箱换热器和净化系统进行了持续优化和调整，完成了干气天然气类型撬装式液化装置的整套制造、调试和运行等工艺文件的标准化定型。

2. 液化装置应用方面：新部署陕西榆林地区气液化现场装置，共完成 2 套日处理量 6 万方液化装置的设计和制造及现场工程。

3. 余热利用方面：完成了余热驱动型的吸收式制冷系统方案设计。

### （二）下一步工作计划

为了有效利用大量发电余热，并覆盖预冷用冷水需求，拟开发余热驱动型的制冷系统，最大限度的降低能耗、节能减排；拟建立了小型化的测试样机，开始做好试验测试并准备工作。

## 培育五 液态金属材料前沿技术

本方向本季度在研项目 8 项，召开协调会议 3 次。

### （一）本方向本季度重要进展

#### 1. 发现镱基合金液态金属热界面材料体积膨胀效应

镱基合金液态金属热界面材料在氧化作用和空气中水的化学作

用下发生体积膨胀效应（见图 10 和图 11），在 26% 与 96% 的相对湿度下制备的镓基热界面材料均出现了明显的体积膨胀行为，并且随着环境湿度与温度的增加，热界面材料膨胀速率与膨胀系数逐渐增大。通过气相色谱检测膨胀过程产生的气体，同时通过扫描电镜与 X 射线衍射技术对膨胀产物进行成分分析，证实热界面材料中的镓氧化物与水发生化学反应，产生了氢气，进而导致热界面材料发生体积膨胀。腐蚀变质后的镓基液态金属热界面材料会呈现出疏松多孔的结构，导致材料整体热导率急剧下降，不利于界面热传导。考虑到实际应用，在制备这种热界面材料的过程中，需对环境湿度与氧化作用进行控制，隔绝氧气和水与热界面材料的直接接触。这一发现拓展了人们对镓基液态金属理化性质的认识，也为镓基热界面材料的实际应用提供现实指导。相关研究成果发表于《*Int. J. Thermophys.*》杂志（*Int. J. Thermophys.*, 38:91, 2017）。

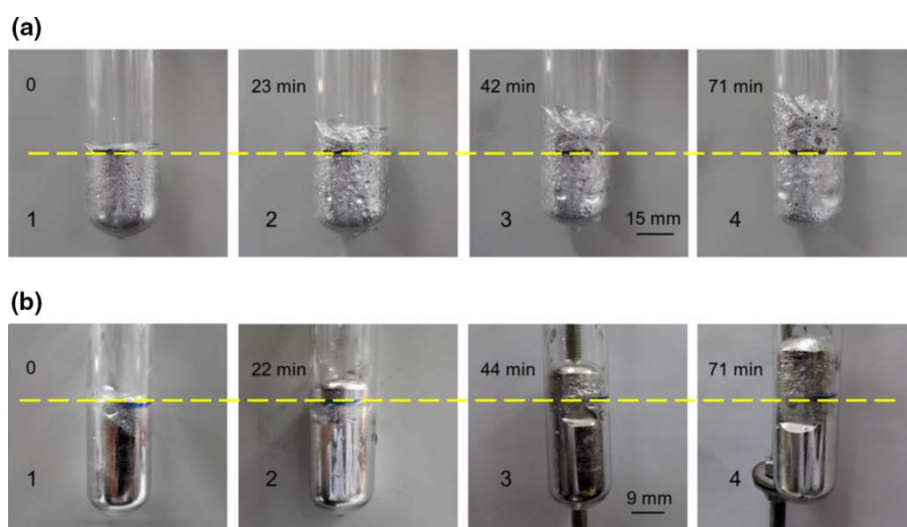


图 10 5h 氧化（a）和 2h 氧化（b）镓基热界面材料体积随时间膨胀变化情况（96%相对湿度）

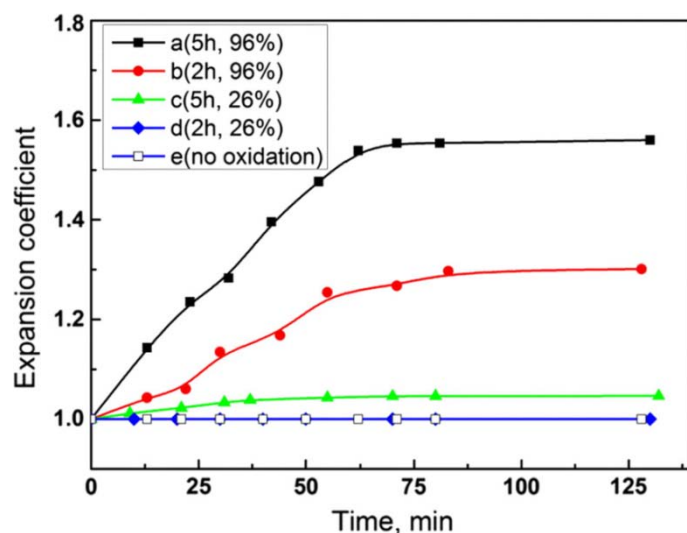


图 11 镓基热界面材料体积随时间膨胀变化情况

## 2. 室温镓基合金液态金属可控催化铝-海水产氢技术研究

室温镓基合金液态金属可以作为一种可回收循环使用的催化剂，用于铝-海水制氢（见图 12 和图 13）。镓基液态金属通过喷涂或涂覆方式在铝板上形成一层薄膜，腐蚀铝板表层从而使其化学活性增强；当被液态金属腐蚀铝板表层接触海水时，铝-水发生反应生成氢气。海水盐溶液浓度越大、温度越高，产氢速率就会越快；液态金属腐蚀铝板表层越深、面积越大，产氢量就会越多。这一研究对未来大规模、低成本利用海水制氢开辟了新途径。相关研究成果发表于《*RSC Advances*》杂志（*RSC Adv.*, 7, 30839–30844, 2017）。

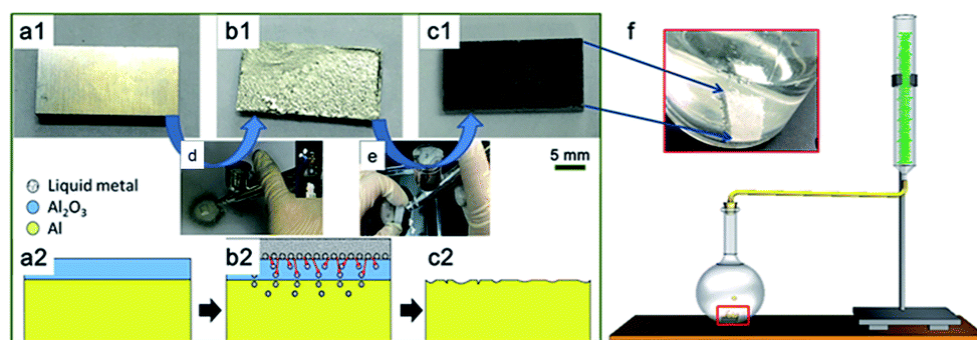


图 12 室温液态金属催化铝-海水产氢示意图

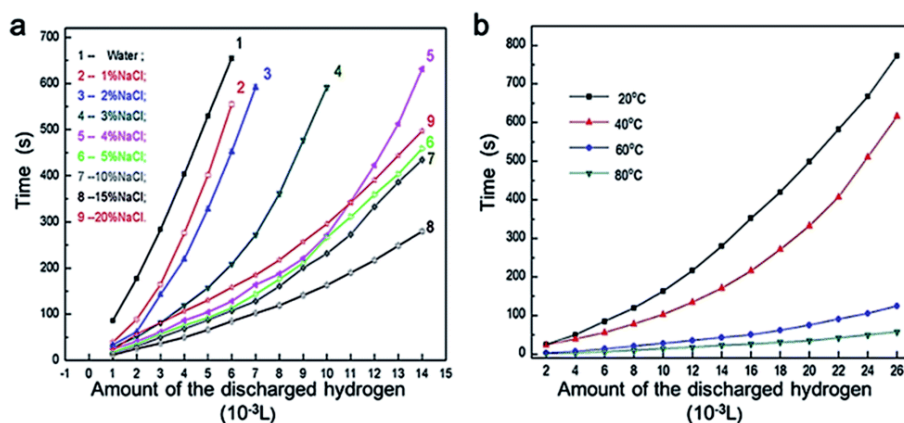


图 13 室温液态金属催化铝-海水产氢量随海水盐溶液浓度、温度关系

### 3. 低熔点金属相变热控技术研究

通过实验研究和理论预测，筛选制备出一种熔点为  $62^{\circ}\text{C}$  的高热导率共晶合金  $\text{Bi}_{31.6}\text{In}_{48.8}\text{Sn}_{19.6}$  (E-BiInSn) 并发展出对应的相变温控技术。与传统有机相变材料相比，E-BiInSn 相变热沉能有效抑制热冲击过程的热源温升。这种低熔点金属非常适于高密度瞬态热流发热器件的热控管理，为大功率 LED 或固体激光等散热提供了新途径 (*International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2017)。

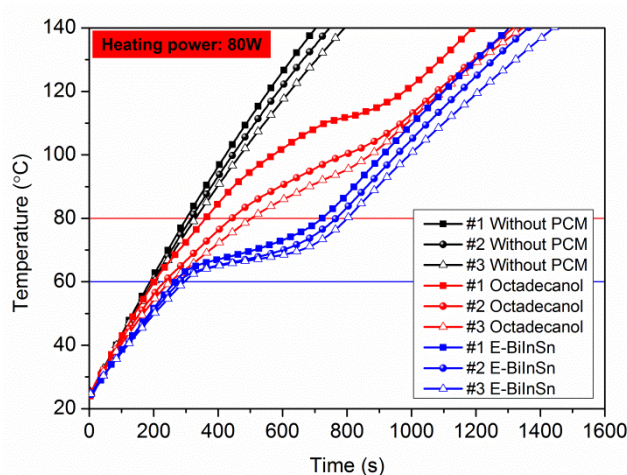


图 5 低熔点金属与有机相变材料热控性能对比

## （二）下一步工作计划

1. 高热导率液态金属复合功能材料研制及测量平台搭建。
2. 高功率（激光）低熔点液态金属相变热控样机研制及性能测试。
3. 液态金属可控变形基础原理与应用研究：揭示液态金属变形特性的空间构象转换机制、液态金属与弹性载体相互作用及其力传递规律、外场诱导和自驱动型的液态金属变形及运动机理；构建阵列式自驱动型液态金属微泵驱动应用技术。