

# 金属之光

6

中国科学院金属研究所  
2018年 第6期 (总第206期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH. CHINESE ACADEMY OF SCIENCE

传承金属所精神  
铸就金色人生

——致毕业季

出版日期：2018年7月



# 高应变率冲击液压成形技术及装备研究取得重要进展

最近，中国科学院金属研究所塑性加工先进技术课题组在铝合金板材高应变率冲击液压成形技术与装备方面取得系列重要进展，有望推动和提升我国航空钣金制造业发展水平。

航空航天装备中，钣金类零件占总零部件数量以及制造工作量占全机工作量均在20%以上。针对目前航空领域对钣金零件的轻量化及整体化发展的迫切需求，具有凸台、加强筋和小圆角等小特征结构的铝、镁、钛轻质合金复杂异型薄壁钣金零件的制造已成为推动大型飞机水平提升亟待解决的重要问题。航空用高强铝、镁、钛等轻质合金塑性差，成形过程中容易起皱和开裂。我国一直沿袭前苏联的落锤成形技术，该技术需通过模具压制与人工结合，通过锤击、垫橡胶等方式进行多道次压制和人工辅助加工成形，以消除起皱，并通过人工手动工序控制材料流动以防止

破裂发生，要求操作者具有丰富的加工经验和技巧。落锤成形由于是刚性模成形，成形零件会有划痕等缺陷，成品率不高，零件精度及一致性差，材料利用率低，模具寿命较低，劳动条件和安全性差。

针对上述复杂航空钣金零件制造过程中的问题及我国大飞机行业的发展需求，金属所塑性加工先进技术团队博士生马彦、徐勇副研究员及张士宏研究员等人基于与中航工业沈飞集团、中航工业成都飞机公司和中国航天科技集团公司第一研究院的生产需求开展研究，并与白俄罗斯科学院和罗马尼亚克卢日-纳波利技术大学开展交流与合作，通过将充液拉伸成形技术与高速冲击成形技术相结合，提出了一种新型冲击液压成形技术。

课题组完成了从理论分析、设备研制到工艺验证的全链条研究。通过霍普金森拉杆实验研究发现，5A06铝合金单向拉伸试件在高应变速率条件下 ( $2.7 \times 10^3 \text{s}^{-1}$ ) 的延伸率相比于准静态条件增加了40%。课题组自行设计了一台板材冲击液压成形极限试验装置，发现5A06铝合金板件的冲击液压成形极限相比于准静态液压成形极限得到了大幅提高。通过自行设计的冲击液压成形物理

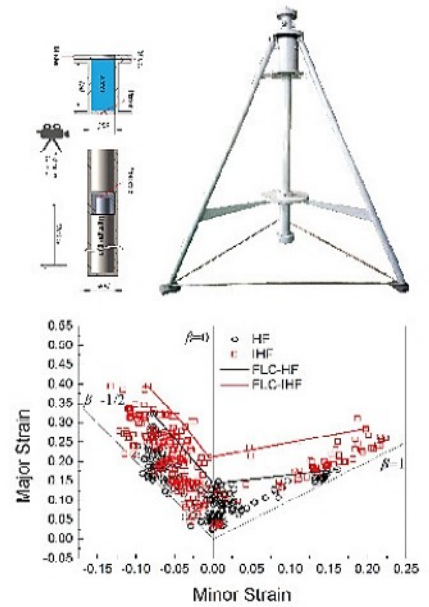


图2 (a) 5A06高应变速率板成形极限测试原理及实验装置，(b) 冲击液压成形极限曲线和准静态液压成形极限曲线。

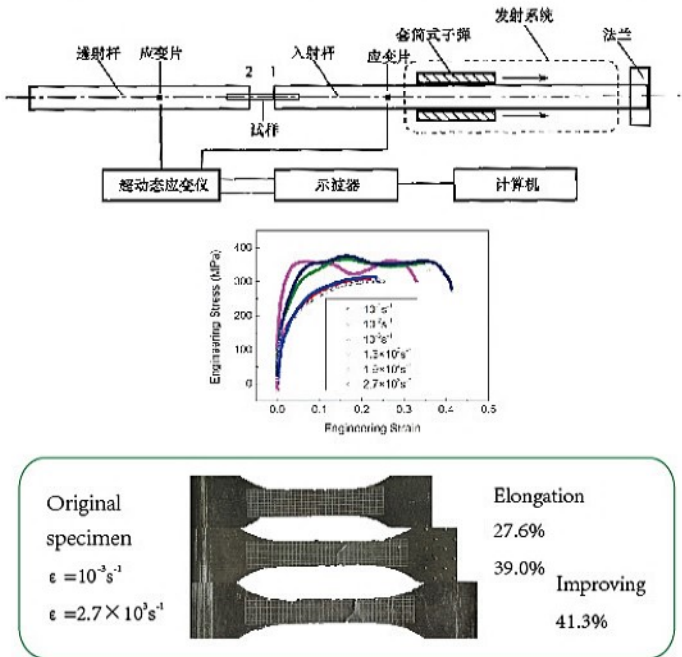


图1 (a) 霍普金森拉杆实验装置，(b) 5A06高应变速率应力应变曲线，(c) 高应变速率拉伸和准静态拉伸延伸率对比。



模拟实验装置，对冲击液压成形的冲击传承载特性及设备关键工艺参数进行了理论和实验研究，发现该工艺同样适用于高强铝合金、铝锂合金、镁合金、钛合金等材料成形。

基于以上研究，课题组自主研发了新型冲击液压成形专用设备。该设备创造性地采用液压蓄能器组合结构，实现了大质量冲击体的高能高速驱动及控制，由于采用了液体这一柔性成形介质，成形零件具有良好的表面质量。

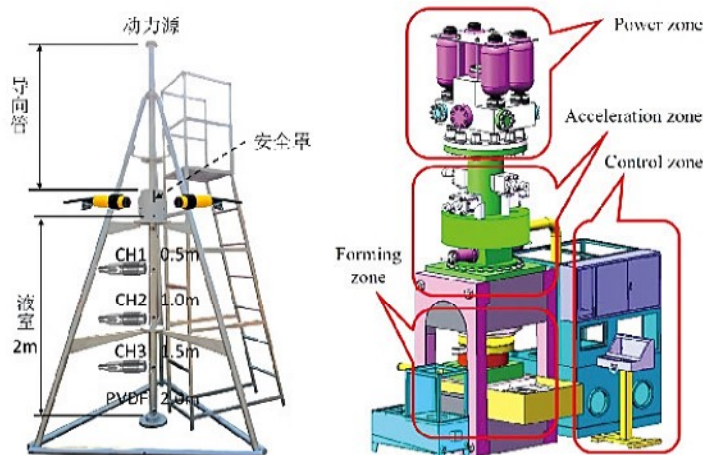


图3 (a) 冲击液压成形物理模拟实验装置，  
(b) 冲击液压成形设备原理图。

角填充能力，并且能够有效地抑制回弹。与现有落锤生产技术相比，该技术将传统8道次以上的人工辅助制造过程改变为2道次的自动化生产过程，无需中间工艺热处理，使生产效率提高约400%。

课题组综合考虑了多种方案的优缺点，大胆提出了基于

液压蓄能器原理的创新方案，在河南兴迪锻压设备有限公司的帮助下，研制成功一台全新原理的、世界上第一台可以用于生产的冲击液压成形设备。

相关研究成果于5月2日在线发表在国际机械工程组织 (The International Academy for Production Engineering, 简称CIRP) 的会刊CIRP Annals—Manufacturing Technology上 (DOI: 10.1016@j.cirp.2018.04.024)，并应邀在8月份东京举办的国际CIRP学术年会上作报告。CIRP是国际机械工程制造领域的核心权威专家组织，CIRP Annals是机械制造领域最权威的期刊 (IF因子4.2以



图4 5A06铝合金复杂薄壁口框零件  
(a) 落压成形，(b) 冲击液压成形。

通过室温高应变率成形，无需热处理即可提高材料在室温条件下的塑性。设备的最大冲击能量200kJ，最高冲击速度80m/s，具有适合于工业化应用的自动操作模式。该设备最大可用于500mm×500mm×3mm的铝、镁、钛等低塑性合金的板材成形，也可用于需要同等成形能量的管材成形、汽车板件成形、板材与管材的冲孔等工序。

课题组已经通过冲击液压成形技术成功实现了航空复杂薄壁口框零件的成形。该技术制造的口框零件具有更均匀的壁厚减薄率，更好的小圆

上)。

该研究得到了中国科学院国际合作局、沈阳市科技局等部门重点研发项目的支持。



图5 冲击液压成形的2B06飞机板件，2道次，无中间热处理，无人工辅助，冲孔成形同模具一次完成。



# 聚焦：功能薄膜与纳米新材料的生长设计与应用课题组

功能薄膜与纳米新材料的生长设计与应用课题组以姜辛研究员为学科带头人和课题组长，面向国家在航空航天、汽车、新能源、信息、环保和海洋装备等领域对新材料的重大战略需求，立足薄膜与界面科学基础研究前沿，发展具有实际应用前景、功能独特的新型薄膜和纳米材料，建立“材料设计、性能表征和实际应用”全链条发展方向，组建优秀青年研究队伍，培养薄膜材料领域研究人才，加快国家和地方相关薄膜材料基础研究和产业化进程。

课题组组建7年来取得的研究成果在重要学术刊物如Nano Letters、Advanced Functional Materials、Journal of Materials Chemistry A、ACS Applied Materials & Interfaces等上发表论文总计50余篇，申报和授权国家专利40余项，培养研究生24人次。课题组争取到国家基金委、中国科学院、省市级基础科研项目998万元，争取到齐鲁工业大学、山东省科学院、沈阳建筑大学等委托项目238.5万元。课题组与德国锡根大学、日本NIMS研究所、香港城市大学、东北大学、吉林大学、哈尔滨工业大学、北京工业大学、西南科技大学和辽宁大学等国内外知名院所开展长期合作研究，与厦门钨业集团有限公司、中国电子科技集团第四十六研究所、河南富耐克超硬材料有限公司等合作开展应用研究，努力把课题组的科研成果转化为实际生产力，推动相关材料的产业化进程。7年来引进“所优秀学者”1名，培养研究员1名、副研究员3名、工程师2名、助理研究员1名，已经成为一支在国内具有一定影响力的薄膜与纳米材料研究团队。

## 1. 金刚石薄膜材料应用研究及其装备制造

金刚石材料具有高的硬度和耐磨性、高的弹性模量（1050GPa）、极高的热导率（2000 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>）、低的热膨胀系数（0.8×10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>）、低的摩擦系数（约0.1）、良好的自润滑性和化学稳定性等优异性能，可以有效达到减少刀

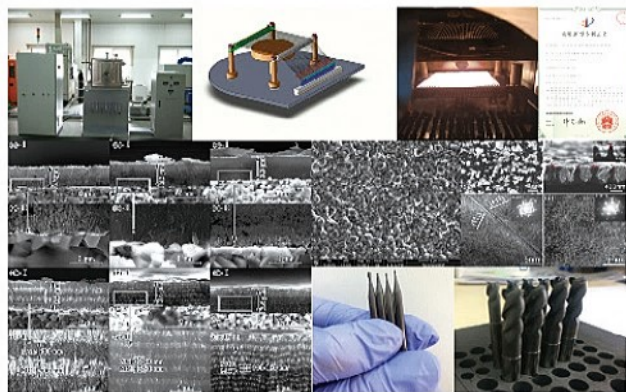


图1 热丝CVD系统和金刚石涂层刀具开发

具磨损，延长刀具寿命，提高切削速度的目的。对于高端制造业用高耐磨材料、复合材料、高硅铝合金及其它韧性有色金属和石墨等新型先进材料来说，如果想实现高精度、高效率、高性能和高稳定性切削加工，必须使用金刚石涂层刀具。姜辛研究员和黄楠副研究员科研团队，提出采用金刚石和β-SiC两相复合涂层作为金刚石刀具涂层的过渡层的方案，在改善金刚石刀具涂层膜基结合力的同时，还可以解决金刚石涂层连续生长问题。他们围绕高钴硬质合金和细晶硬质合金刀具开展金刚石涂层技术研发，开发出多种牌号的硬质合金基金刚石涂层镀膜工艺，寻找适用于各种牌号的金刚石镀膜普适性核心技术，为实现新型金刚石涂层结构设计和产业化应用提供技术基础和理论指导。目前获得的金刚石涂层结合力达到100kg（压痕法测试），硬度达到80GPa以上，金刚石涂层含量大于92%。课题组结合国外先进经验制造出具有我国自主知识产权的金刚石涂层刀具装备——热丝CVD系统，满足我国对于高端制造业用金刚石涂层装备的需求，打破该设备进口垄断，降低制造成本，提高相关领域国际竞争力。另外，在环境保护方面，金刚石电极可作为高级氧化电极，通过电解水分子生成氧化性极强的羟基自由基氧化剂，从而将废水中的有机污染物彻底氧化为水和二氧化碳，在废水处理领



域具有良好的应用前景，其处理效率和能耗优于传统的高级氧化方法——芬顿法、氧化絮凝法、臭氧法、超声降解和光催化法等。课题组已经开发在硅基体和金属基体大面积制备新型金刚石电极材料，可以用于焦化废水、电镀、制药废水、化工、钢厂等治理毒废水排放，目前正在进行相关内容的成果转化工作。相关研究成果获得除国家“千人计划”项目之外的沈阳市“双百工程”项目、国家基金委青年科学基金项目、辽宁省自然科学基金项目等各项经费支持396.5万元，发表学术20余篇，授权专利8项。

## 2. 金刚石、石墨新型薄膜材料基础研究

环境是人类生存和发展的前提，随着我国工业化进程的加剧，我国水环境面临的形势非常严

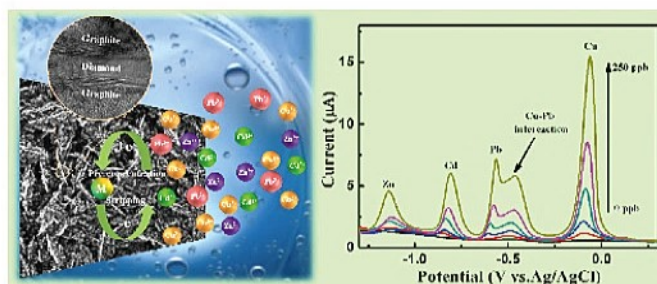


图2 金刚石/石墨电极检测痕量重金属离子

峻，水资源污染与饮用水安全问题日益突出。水污染的主要来源之一是重金属污染，当重金属（锌、铬、铅、铜、银、汞、金等）离子超过一定浓度会通过抑制人体蛋白质、酶活性和抑制抗氧化代谢等，对人体健康造成严重危害，而这样的浓度往往是微量的甚至仅达到ppb级别，因此精确检测饮用水中痕量重金属离子对于人类健康具有重要意义。姜辛研究员和黄楠副研究员科研团队首次采用安全环保的导电金刚石、石墨复合电极，利用阳极溶出伏安法对水溶液中的铜离子( $\text{Cu}^{2+}$ )和银离子( $\text{Ag}^+$ )进行检测。结果表明该电极电化学窗口为 $\sim 3.1\text{ V}$ ，并且在水中和有机溶液中均具备很好的电化学响应，可以应用于水中和有机溶液中的电化学检测，检测极限分别为 $5.6\text{ ppb}$ 和 $5.8\text{ ppb}$ 。同时在较宽区间内（ $10\text{ ppb}-1000\text{ ppb}$ ）阳极峰值电流与重金属离子浓度呈现良好的线性关系，线性相关系数 $r^2 \geq 0.999$ 。铜离子与银离子

的检测极限满足我国饮用水卫生标准，且与商用Hg电极和BDD相当，有望应用于痕量重金属离子检测方面。同时利用该电极还实现了多种重金属离子( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ )的共检测，收到了很好的效果。相关研究成果发表在核心期刊ACS Applied Materials & Interfaces、Langmuir、Sensors and Actuators B. Chemical等。

## 3. 伪二元固溶体纳米材料的生长设计与表征

姜辛研究员和刘宝丹研究员科研团队基于结构及晶格匹配原理，设计一系列具有独特性能和应用价值的多元半导体固溶体纳米结构。先后成功合成了一维GaP-ZnS及GaN-ZnO四元固溶体纳米线，并利用高分辨透射电镜及能谱技术对其进行结构、物相及成分确定。研究发现，在纳米尺度范围内形成固溶体时，形成单相的条件十分苛刻，而且固溶度同相应块体材料相比明显变窄；当增加掺杂相比比例时，会出现明显的相分离而形成核壳结构，这与理论计算结果（ $\sim 5\%$ ）一致。此外，在GaP-ZnS体系中，观察到少量的Zn，S原子掺杂到GaP晶格中会诱发GaP纳米线由半导体向绝缘体的转变，相关机理还在进一步研究之中。相关成果发表在Inorganic Chemistry、Small、Dalton Transactions、Nanoscale、Advanced Functional Materials。

## 4. 基于微弧氧化法的金属氧化物纳米材料可控制备技术

金属氧化物纳米材料在环境催化净化、能量存储、生物质转化利用等方面具有重要应用价值。传统的制备金属氧化物的方法为溶胶凝胶和水热法，但是这两种方法制备的金属氧化物纳米颗粒容易团聚、结晶性差，催化性能低下。针对这一问题，姜辛研究员和刘宝丹研究员（下转六版）

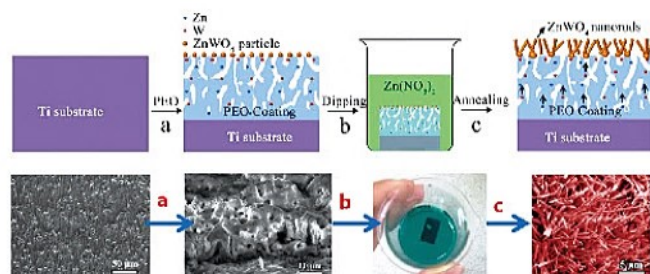


图3 微弧氧化法制备 $\text{ZnWO}_4$ 纳米材料生长示意图



# 传承金属所精神 铸就金色人生

## ——导师代表戎利建研究员在毕业典礼上的讲话

编者按：春花尽，夏荷起，6月毕业季悄然而至！又一批莘莘学子离开熟悉的金属所校园，踏上他们新的人生旅途。本年度金属所共有137名同学毕业，其中博士生87名、硕士生50名。6月6日，金属所为他们举办了隆重的学位授予仪式暨毕业典礼，金属所所长左良、所学位评定委员会成员、导师代表及毕业生亲友见证了这一重要时刻。

毕业典礼上，导师代表戎利建研究员真诚地期望同学们在未来的人生道路上做志存高远、淡泊名利、兢兢业业、有情有义、温暖善良的金属所人。在这离别的季节，金属所的孩子们，请带上老师的临行嘱托和祝福，乘风破浪，勇往直前，进取拼搏吧！



尊敬的各位导师、各位来宾，亲爱的同学们：  
大家上午好！

今天，我们在这里隆重举行中国科学院金属研究所2018届研究生学位授予仪式暨毕业典礼。在此，我代表全体导师，向即将开启人生新篇章的同学们致以最诚挚的祝贺和最衷心的祝福！祝贺同学们顺利毕业，获得学位！祝贺你们的导师和家人，迎来了你们学成毕业的时刻！

作为一名博士研究生导师，也是各位同学们的学长，今天我的心情和大家一样激动。长期以来，我一直希望能有这样一个机会，在一个正式的场合表达我作为导师对研究生同学们的真诚谢意和祝福。这里我要感谢所学位委员会给我这个机会，因为本届学位会即将到届，我是最后一名由本届学位会委派的在毕业典礼上讲话的导师代表，同时还能为在金属所毕业的国科大和中科大的同学们壮行，对我机会更是难得。

首先，我要代表全体导师，对我们的研究生同学们真诚的说一声：谢谢你们！感谢你们为金属所科研工作做出的积极贡献，感谢你们美好青春年华的陪伴。你们的辛勤、智慧与汗水为我们所一项项科研成果增添了沉甸甸的份量，正是你们使导师们的工作和生活充满了青春、快乐与阳光的气息。你们的陪伴将成为导师们最美好的回忆，你们的成长与成才也是我们最大的成就与骄傲！

其次，我想说一说我们金属所人身上彰显、传承的金属所人精神。从今天起，大部分同学就要离所开始新的人生征程。作为23年前同样在这里庆祝毕业的过来人，我很能理解大家此时的心情。相信此时此刻，你们比任何时候都想再留点时间去看看所内熟悉的花园、挥洒过汗水的运动场、熬夜工作过的实验室和培养帮助过自己的老师和同学们。作为看着你们一步步成长起来的导师，我们有很多不舍，更多的是牵挂。因此，在你们收拾行囊之际，我想和大家再叮嘱几句话，就是如何做一个金属所人，算作临别的赠言。

2011年师先生获得国家最高科技奖，在所展室的橱窗中陈列了获奖的证书，这份崇高荣誉的背后记载着师先生早年冲破美国重重阻挠回国，满腔热血投身新中国建设；带领大家创新研制出九小孔铸造高温合金叶片，填补国内空白，在航空发动机上获得大量应用；即使在文革中身受迫害，依然不忘初心，信念坚定。世界在变，但爱国之心永不变。希望同学们记住这个故事，做一个志存高远，有家国情怀、与祖国同行的金属所人。

1995年我博士毕业刚留所工作，在为课题组申报国家奖项目准备材料期间，亲眼目睹了我的导师李依依院士作为项目的第一负责人，却坚决要求同事们将她自己的名字写在最后；2000年课题组的项目申报科学院科技进步奖时，同样是项目负责人，她依然要求把自己列在最后一位。这



让我真正懂得了什么是“非淡泊无以明志，非宁静无以致远”。希望同学们记住这个故事，做一个淡泊名利、不计得失的金属所人。

2017年我所金涛研究员英年早逝，作为所里的重要技术骨干和学术带头人，患病期间他一直坚持工作，在生命的最后关头仍在关心课题组项目申报的情况，真正践行了工作是他人生的第一要义。在他身上，我们读懂了什么是使命感和责任感，读懂了一个科学工作者献身科学的伟大精神和坚韧不拔的坚定信念。希望同学们记住这个故事，做一个勤勤恳恳、兢兢业业的金属所人。

1999年我第一次出国去加拿大参加国际会议，遇到我所所友吴倾宇博士，他开车5个多小时赶到会场，和参加会议的金属所所友进行了多方面的交流和探讨。会后，他托我将他精心收集的资料带回所里，说是可能对所内相关的课题研究有参考价值。正是由于无数个像吴倾宇博士这样的所友的反哺，使我们能在这里时刻同步关注材料科学的前沿与尖端技术。希望同学们记住这个故事，做一个有情有义、懂得感恩的金属所人。

2009年我所多年的优秀共产党员孙传武大夫获得“感动沈河十大人物”。他几十年如一日，

有事随叫随到，热情待人，以无私的爱心温暖了身边的每一个人，他是金生社区的“120”、孤老的孝子。退休后，他依然是早出晚归，忙碌依旧。希望同学们记住这个故事，做一个心有大爱、温暖善良的金属所人。

同学们，志当远、学贵恒、德向善。在一个个看似平凡的金属所人身上，闪耀、传递着不平凡的金属所人精神，这样的人和事在金属所数不胜数，同学们在日常生活中也能感同身受，他们也为大家树立了学习的榜样。今天以后，作为金属所的主人和所友，你们将代表着金属所的形象。真诚期望你们能将金属所人精神发扬光大，在未来的人生道路上团结互助，努力拼搏，不畏艰险，不负所学，以不变的初心聚力新时代，共筑中国梦，在各自的岗位上大展宏图。请相信，翱翔腾飞的时候，我们全体导师将支撑你们的翅膀；龙困浅滩的时候，金属所宽容的学术环境将是你们最高效的充电站和最温暖的避风港。

最后，祝全体毕业生前程似锦、一生顺利、健康快乐！愿你们轻装出门去，归来仍少年。

欢迎同学们常回家看看！  
谢谢大家！

(上接四版) 科研团队利用传统的微弧氧化技术所形成的钝化层微孔通道作为金属离子的载体，通过控制微弧氧化过程，使不同离子存储于氧化膜基体，同时辅以浸渍和热处理工艺，就可以在微弧氧化膜表面生长出结晶良好、尺寸与形貌可控的金属氧化物纳米材料。而且这种方法具有良好的普适性，可以制备钨酸盐、钛酸盐、钼酸盐等，为金属氧化物的可控制备提供了新的途径。相关成果发表在Nanoscale、CrystEngComm、Scientific Reports。

#### 5. 功能薄膜的结构设计与生长机理解析

功能薄膜及纳米材料的物理、化学和力学性质依赖于其特定的界面及表面结构，而其界面结构依赖于其生长过程，因此研究功能薄膜及纳米材料的生长机理具有非常重要的意义。姜辛研究员和杨兵副研究员科研团队通过一步法在(001) Si衬底制备了碳化硅/石墨烯(SiC/graphene)多级层状薄膜，并发现一种缺陷诱导的双相协同生长

方式。研究发现SiC内产生大量缺陷，石墨烯优先在SiC内缺陷处形核并生长，导致SiC分层薄化并最终形成SiC/graphene多层膜(ACS Appl. Mater. Interfaces, 7(2015), 28508–28517; Carbon, 95(2015), 824–832)。

#### 6. 钙钛矿太阳能电池与新型透明导电薄膜

基于有机-无机杂化钙钛矿材料的固态广泛电池因制造成本低、工艺过程简单、颜色多彩可调及可制备在柔性基底上等优点，极具发展潜力。经过近几年的发展，钙钛矿太阳能电池已获得超过20%的能量转换效率，性能接近碲化镉、铜铟镓硒等传统薄膜电池，民用前景十分广泛。姜辛研究员和邱建航副研究员科研团队主要针对钙钛矿材料能级调控、高质量钙钛矿薄膜制备方法探索、高性能透明导电薄膜设计和全无机钙钛矿电池制备等方面开展研究工作，相关论文发表在JACS, JMCA, Nanoscale等杂志，并被多次引用。





6月27日至29日，由科学院人事局资助主办，金属所承办的“现代金相分析技术理论与实际操作”精品培训班在金属所举办。



6月26日，科技部高新司“材料领域国家工程技术研究中心”沈阳联合调研会在金属所召开。10个国家工程技术研究中心分别围绕科技创新、成果转化与推广、科技团队建设等方面汇报了中心的运行情况，相关省市科技管理部门也分别介绍了本地区材料领域科研基地和产业化基地等相关情况。



6月19日至22日，金属所参与承办的亚太材料科学院（APAM）2018学术

年会暨第十五届沈阳科学学术年会在沈阳召开，本次会议的主题为“沈阳振兴，材料先行”。

2017年度李薰讲座奖获得者、美国德克萨斯大学埃尔帕索分校的R. Devesh K. Misra教授于6月14日访问金属所。



6月12日，江苏省委副书记、省长吴政隆在辽宁省调研考察期间，到我所视察指导工作，辽宁省委副书记、省长唐一军等领导陪同视察。吴政隆

省长对金属所在科研领域取得的重要科技成果表示赞赏，他希望江苏省企业加强与金属所在稀土钢等科研领域的合作，发展高端钢材产品，为促进钢铁行业转型升级做出贡献。

6月7日，中国科学院青年创新促进会国情院情考察团到金属所访问交流，来自30余个院属单位的近70名会员参加了此次活动。

