



策划/贾豫冬 文/惠琼 责任编辑/王方

# 研讨新材料国际发展 **趋势** **引领** 国内新材料创新发展

—— 2014新材料国际发展趋势高层论坛纪实 ——

为促进新材料原始创新、基础研究及相互间合作与发展,培养创新人才,消化吸收国际新材料发展最新成果,探讨中国新材料未来发展方向,由北京科技大学、北京航空航天大学、上海交通大学、电子科技大学、西北工业大学、西安交通大学和西北有色金属研究院发起成立了“新材料学术联盟”。联盟自2011年开始与中国工程院化工、冶金与材料工程学部和中国材料研究学会联合,先后在山东淄博、云南昆明和四川成都举办了“新材料国际发展趋势高层论坛”,以把握材料发展的最新动态,追踪材料研究前沿,推动新材料科学和产业的自主创新和科技进步。

2014年04月17日,国家发展和改革委员会宣布启动编制国民经济和社会发展的第十三个五年规划,要求规划编制必须强化全球视野和战略思维,目前工信部、科技厅及各省市科技部门已开展专题调研、研讨及规划编制工作。“2014新材料国际发展趋势高层论坛”针对发达国家新材料发展战略和新材料国际发展趋势的研讨对科学地制定我国新材料发展十三五规划具有重要借鉴意义。







周廉院士致开幕词



庄长兴副省长致辞



徐德龙院士致辞

2014年9月19~22日,“2014新材料国际发展趋势高层论坛”在陕西西安高新技术开发区都市之门会议中心成功召开。此次论坛由中国工程院化工、冶金与材料工程学部,中国材料研究学会,新材料学术联盟主办;西北工业大学、西安高新技术产业开发区管委会、西北有色金属研究院承办;《中国材料进展》杂志社、凝固技术国家重点实验室协办。论坛得到了中国工程院、国家自然科学基金委、国家科学技术部基础司、国家科学技术部高新司、国家发展和改革委员会高技术产业司和陕西省人民政府的大力支持。大会主席由周廉院士、干勇院士、黄伯云院士担任,西北工业大学副校长魏炳波院士、西安高新区党工委书记赵红专教授、中国材料研究学会秘书长韩雅芳教授、西北有色金属研究院院长张平祥教授担任执行主席。魏炳波院士主持了论坛开幕式。

大会主席周廉院士在开幕式讲话中指出,天、空、地、海各个领域都离不开材料。新材料是先进制造技术发展的基础,是人民生活水平提高的保障。新材料被国家列为战略性新兴产业之一。希望通过举办高层论坛,研讨新材料国际发展新趋势、新方向,为新材料创新人才培养提供交流、学习平台,以推动我国新材料在未来20~30年内尽快赶上国际先进水平。

陕西省副省长庄长兴在开幕式上作了重要讲话:陕西省在新材料研发和产业化方面具有传统优势,高性能结构材料、先进复合材料发展国内外领先;电子信息材料、新能源材料进展顺利。未来陕西省将加快推进新材料产业做大做强,在加大统筹协调、推进产业自主创新、建立多元化投融资体系、提升对人才的吸引力、营造良好的产业发展环境等方面出台新举措。

中国工程院副院长徐德龙院士在致辞中讲到,“新材料国际发展趋势高层论坛”自2011年举办以来,在国内材料学术界获得好评,有效促进了我国新材料科学和产业的创新发展,是中国工程院化工、冶金与材料工程学部重要系列活动之一。论坛的召开既是贯彻创新驱动发展战略的有效行动,也是履行中国工程院“工程科技思想库”职责的有效方式,对把握我国新材料发展方向,促进我国新材料科研及产业快速发展具有十分重要的意义。

西安高新技术开发区  
管委会副主任杨仁华致辞

西北工业大学校长江劲松教授致辞



中国科学院王崇愚院士、甘子钊院士、张统一院士、崔俊芝院士；中国工程院陈立泉院士、关桥院士、赵连成院士、屠海令院士、何季麟院士、张生勇院士、张寿荣院士、江东亮院士、付贤智院士、周克崧院士、姜德生院士、王一德院士、徐惠彬院士、李言荣院士、谭天伟院士、陈祥宝院士、王海舟院士、李元元院士、蹇锡高院士、李仲平院士、卢秉恒院士、傅恒志院士、张立同院士、吴以成院士等共计31位院士出席了本次高层论坛。中国工程院白玉良秘书长、陕西省教育厅总会计师张新民，以及来自国内近200家研究院所、高校及其材料学院的校长、院长及专家学者、政府部门和企业界的代表共800余人参加了本次论坛。

本次论坛共设有大会报告和“3D打印材料技术前沿论坛”、“材料基因组论坛”及“复合材料技术前沿论坛”3个分论坛报告。其中大会报告分超导材料、3D打印技术、光催化技术、复合材料、材料基因组、凝固技术6个主题，共邀请

了17位专家，分别对各自领域最新研究进展、应用及领域前沿等进行了专题讨论。21日下午，3个分论坛同时举行，共邀请了35位专家分别就3D打印材料技术前沿、材料基因组计划研究进展和复合材料技术前沿等3个新材料热点研究方向进行了最新进展及发展趋势讨论。在大会专题报告和分论坛报告期间均设有中间提问讨论环节，会场讨论热烈，场场爆满，专家有问必答，尤其是参会院士的高端点评，对我国新材料研究、产业发展提出了具体的建议和点子，论坛取得了圆满成功，广大与会代表均反映收获颇丰。本届论坛是自2011年以来，参会人数最多的一次，为国内新材料领域科研及产业工作者、材料专业硕博生搭建了全方位交流、学习、合作的高端平台。

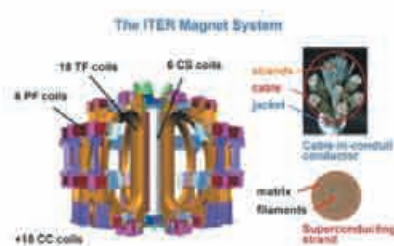
论坛首次举办了有近20家研究院所和新材料企业参展的展览会，以更好地促进新材料科技成果的有效转化和新材料产业的创新可持续发展。

周廉院士接受中央电视台采访



在“2014新材料国际发展趋势高层论坛”会议期间，大会主席周廉院士接受中央电视台、东方卫视和中国航空报社的采访，就中国新材料发展及新材料创新人才培养提出了建议。周廉院士指出，各地政府及研究机构不仅要关注国家已立项的、重点支持的关键材料的研发及产业发展，更要关注国际范围内新材料发展的方向和动态，立足未来，尽早布局。只有这样，20年或30年后才能做到关键材料的突破，同时抢占光电、能源等新材料领域的发展先机 and 专利位置。新材料国际发展趋势高层论坛的举办旨在探讨新材料国际发展趋势，研讨新材料发展方向，对于指引我国新材料未来发展和人才培养具有重要意义。对于新材料发展创新人才的培养，周廉院士提出两点建议：①现在人才培养的研究群体目光都集中在了国家大力支持的关键材料项目上，高校材料学院等研究机构对国际上新材料发展的动向和发展战略关注较少，应该对未来新材料的发展趋势作出战略研究，尽快做出响应，明确研究方向和人才培养方面的部署。②科研人才在合作的研究群体中接受联合培养对创新能力的提高非常有帮助。





1908年荷兰 Leiden 大学的 Kamerling Onnes 小组将 He 液化, 1911 年测量水银 Hg 的电阻温度曲线时发现在 4.2K (零下 269℃) 左右电阻突然消失。此性质被命名为超导性。目前已有数千种超导体被发现, 但是具有实用化价值的仅有低温超导材料 Nb47wt%Ti (NbTi)、Nb<sub>3</sub>Sn(Al)、高温超导材料 Bi-2223、Bi-2212、MgB<sub>2</sub>、ReBCO, 共 6 种。

## 政府及企业应更多关注和支持 超导材料研究及产业发展



超导材料进展专题由甘子钊院士(右一)和周廉院士(右二)主持。西北有色金属研究院张平祥研究员(左二)和南京大学周海虎教授(左一)分别作了题为“实用化超导材料研发及应用进展”和“高温超导材料研究和应用展望”的报告。

**低温超导应用方面已具有较好的材料基础** 张平祥研究员指出, 超导材料宏观/微观尺度的均匀性、材料性能/制备技术的综合性价比是实用化超导材料能否大规模应用的关键。大科学工程及 NMR (核磁共振) 等高端仪器装备将是我国实用化超导材料发展驱动力。通过参与国际热核聚变实验堆计划 (ITER), 提升了我国低温超导的研发及产业化能力。西北有色金属研究院和西部超导材料科技有限公司在 ITER 用和 MRI 用 NbTi 超导线材方面拥有多项自主知识产权的关键技术, 生产的 ITER 用 NbTi 超导线所有性能及性能稳定性均符合 ITER 要求, 其中 NbTi 导体通过了 ITER 认证测试, 进入批量化生产。同时, 介绍了 ITER 用内锡法 Nb<sub>3</sub>Sn 超导线材和青铜法 Nb<sub>3</sub>Sn 超导线材、实用化 MgB<sub>2</sub> 及 Bi2212 超导材料的研发进展和产业发展。展示了西北有色金属研究院研制的 300 mm MCZ 单晶硅制备用超导磁体和重离子加速器用超导磁体。中国聚变工程堆 (CFETR) 项目目前已经开始立项, 其对超导材料和磁体系统提出了严苛的要求, 有助于加速我国超导材料和磁体的研究及产业发展。



**中国铁基高温超导材料研究国际领先** 闻海虎教授的报告首先介绍了超导现象产生的原因——BCS理论(电-声子耦合)及其简单图像。指出这一理论在解释高温超导现象时具有局限性,但这也是超导这个传统物理问题仍然焕发生机的原因。目前铁基高温超导材料临界温度接近60 K,需要进一步提高。在已发现的铁基高温超导材料中有一半是由中国科研人员研究发现的,中国科学家在铁基超导领域占领主导地位。报告介绍了可能解释铁基超导现象的新理论——交换反铁磁涨落机制,并展示了其研究小组在实验验证这一机制方面取得的研究成果。指出铁基超导体在中温区强磁场下具有广阔应用前景,目前采用粉末套管法(Powder-in-Tube, PIT)已生长出铁基超导线材。未来某种程度上可以围绕反铁磁性寻找新型高温超导体,并在元素周期表上预测了碱金属、碱土、稀土、过渡金属和C、N、O、F等几类元素均可能是新型高温超导体需要的元素。

## 院士点睛:

**周廉院士** 认为我国低温超导材料、高温超导材料的研发取得了很大进展,两个报告十分鼓舞人心,但我国超导材料科研及产业发展仍存在3个问题,并提出了相应建议:

①我国低温超导材料产业已基本形成,但基于低温超导材料的如核磁共振成像系统等应用产业仍未形成,超导应用型企业国内还属空白;②高温超导体如 $MgB_2$ 的应用研究及产业化早期领先,但目前已远落后于美国,必须加紧追赶;③国内超导材料研发没有大的国家项目计划支持。建议超导领域学者、专家应该聚集起来就国际国内超导材料及产业发展现状、发展趋势写出报告书及计划书,积极申请进入十三五规划。

**王崇愚院士** 关于高温超导材料研究提出了3个问题:

①高温超导材料的研发重点是努力使铁基超导材料临界温度突破液氮温度(70 K),还是加快研发新型高温超导体?

闻海虎教授:在未来几年,这两个方向都是高温超导材料研究的重点。

②在元素周期表上预测可能具有高温超导性能的元素,有

没有考虑过化学元素组合性、化合物结构无限性方面的规律?

闻海虎教授:确实需要探讨这两方面的规律去指导新型高温超导材料的发现,目前从研发过程中也总结出一些经验体会。

③是否可以由马约拉纳费米子理论出发,去寻找新型高温超导体?

闻海虎教授:马约拉纳费米子理论的提出是一个非常重大的物理发现,目前研究人员已认识到该理论可为超导量子计算提供新的量子态;在未来,拓扑超导体结合马约拉纳费米子理论,将会产生一个新兴的物理领域。

**甘子钊院士** 指出在超导领域科学研究方面,超导不光是物理、电子学的课题,也是材料学研究的重要内容。目前超导应用方面的前景十分广阔,应用基础也基本成熟,希望国家、地方政府给予超导研究及产业发展更多支持。



## 热烈讨论:

ITER项目的进展情况及中国和其他国家的聚变工程堆项目进展如何?

张平祥研究员:由全球7个地区和国家参与的ITER项目正在建造,计划将于2019年点火。我国CFETR在立项建议阶段,日本、韩国、欧美国家也已开始计划。





3D打印技术,是以计算机三维设计模型为蓝本,通过软件分层离散和数控成型系统,利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,制造出实体产品。3D打印作为一种增材制造,与等材制造(铸造锻焊)、减材制造(车铣磨)三足鼎立,是信息技术与制造技术高度融合,实现点点可控的控形控性的制造技术。

## 3D打印技术 正在催生一个新时代的到来



3D打印技术进展专题由关桥院士(右二)和徐惠彬院士(右一)主持。西安交通大学卢秉恒院士(中)、西北工业大学黄卫东教授(左二)和北京航空航天大学王华明教授(左一)分别作了题为“正在改变世界的3D打印(增材制造)技术”、“增材制造与创新设计”和“高性能大型金属构件激光增材制造技术挑战与若干材料科学问题”的报告。



**正在改变世界的3D打印技术** 3D打印技术是各国战略必争、竞相争先的新技术领域。国内外3D打印技术已经在工业、医疗等领域得以应用,甚至包括利用3D打印技术制造飞机等。我国政府高层领导高度关注3D打印技术的研发,希望抓紧发展3D打印产业。美国政府也表示将增材制造即3D打印技术作为国家制造业发展的首要战略任务,持续给予资金支持。卢秉恒院士在其报告中提出了3D打印相关材料创新、工艺优化方向,以及生物材料打印与器官再造领域需要考虑的科学问题,呼吁多学科产学研用的协同创新,以加速其产业化进程。

**3D打印技术掀起全民创新设计的浪潮** 传统制造技术对结构设计有很严格的限制,而增材制造技术(即3D打印技术)提供了几乎可以制造任意复杂结构的可能性,因而有可能按照最理想的结构形式来设计零件结构,从而在最大限度地满足使用功能的条件下,显著减轻结构重量和提高可靠性。黄卫东教授的报告展示了国内外与结构设计相关的增材制造技术典型应用案例,如最佳应力分布结构设计、先进飞机零件气动特性优化设计、设计与制造双重减重的无人机零件等。增材制造将带来结构设计理念全新的革命,目前可概括为设计引导制造、功能性优先、最优化设计。目前这一新理念已引起各行各业设

计人员的兴趣和热情,全社会掀起了创新设计的浪潮。增材制造技术发展的一个重要方向是强化增材制造与最优化设计的互动研究,加强新型设计人才的培养。

**3D打印技术发展必须解决关键材料基础问题** 王华明教授的报告介绍到高性能大型金属构件激光增材制造技术是“变革性”的高性能、短流程、低成本、绿色、“材料/制造”、“控性/控形”一体化先进数字制造技术,但大型金属构件激光增材制造过程中内应力很大且难以控制,难以制造“大型构件”问题,以及内部质量难以控制、难以用作关键/主承力构件的问题是该技术面临的两大技术挑战。报告阐述了提高激光增材制造高性能大型金属构件综合力学性能需要解决的激光/金属交互作用机制、能量吸收利用及成形效率,激光熔池冶金、快速凝固行为和晶粒形态演化规律、内部缺陷形成机制、无损检验方法及缺陷力学行为等若干关键材料科学问题。报告最后介绍了其团队在大型金属构件激光增材制造技术内应力控制、变形开裂预防、激光增材制造装备、内部质量控制方法、技术标准体系建立方面取得的理论、技术成果。

## 院士点睛:

目前我国增材制造技术发展迅猛,在航空航天领域也已取得应用,现在是否有国家层面的增材制造技术发展路线图?

——关桥院士

中国机械工程学会2012年提出要制定增材制造技术发展路线图,近两年中国机械制造工艺协会相关分会就路线图也多次讨论交流,目前已向科技部、工信部提交了路线图初稿,提请讨论。

——卢秉恒院士

## 热烈讨论:

目前增材制造技术的尺寸精度、表面光洁度怎么样?

卢秉恒院士:目前大型件尺寸精度比铸件的略高,要达到更高表面光洁度,可对3D打印制品采用电化学、电解处理及电火花加工进行修复。

3D打印技术是否有可能用于制备单晶材料?

黄卫东教授:目前在送粉条件下采用3D打印技术已经可以实现单晶材料修复,但送粉工艺不能达到单晶叶片制备所需的尺寸精度;另外,在铺粉条件下采用3D打印技术能否制备单晶叶片还是未知数,应该比较困难。

王华明教授:在送粉、铺粉条件下采用3D打印技术制备单晶都很困难,而目前制备成多个微细柱状晶组成的组织是一个可实现的选择。

3D打印技术目前的增材效率如何?激光效率对增材效率、产品组织性能的影响规律是什么?

王华明教授:目前在保证质量的前提下,采用1万瓦功率的激光器,钛合金增材效率达到2 kg/h,增材制造时需要保证增材效率与组织性能之间的平衡。





# 制造技术领域 的国际制高点

## ——3D打印材料技术前沿论坛侧记

文/西北工业大学 林鑫

2014年9月21日下午，“2014新材料国际发展趋势高层论坛——3D打印材料技术前沿论坛”（以下简称3D打印分论坛）在西安都市之门二层学术报告厅隆重召开，能够容纳200人的会场内外聚集了众多的参会代表。3D打印分论坛由中国工程院化工、冶金与材料工程学部和中国工程院机械与运载工程学部主办，由快速制造国家工程研究中心、凝固技术国家重点实验室、国防科技工业激光增材制造研究应用中心和金属多孔材料国家重点实验室4家单位承办。

3D打印分论坛共邀请了西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室李涤尘教授、西北有色金属研究院金属多孔材料国家重点实验室汤慧萍研究员、西北工业大学凝固技术国家重点实验室林鑫教授、澳大利亚Monash大学国家轻合金研究中心吴鑫华教授、美国Drexel大学周功耀教授、华中科技大学史玉升教授、南京航空航天大学顾冬冬教授、华南理工大学人体组织功能重建工程技术研究中心杭飞博士、南京中科煜宸激光科技有限公司邢飞董事长和德国EOS公司张立强总监等10位报告人，分别就3D打印材料、3D打印技术的主要特征、进展及其在工业和生物医学领域应用情况进行了系统的交流。

从邀请报告可以看到，诞生于20世纪80年代末期的增材制造技术，即3D打印技术是制造技术原理的一次革命性突破。3D打印技术是最能代表信息化时代特征的制造技术，它以信息技术为支撑，以柔性化的产品制造方式最大限度地满足个性化需求，特别是20世纪90年代中期的金属3D打印技术及21世纪以来生物3D打印技术更是构思奇妙。



## ▶▶ 个性化、特异性医疗需求 持续支撑生物3D打印技术

周功耀教授和杭飞博士的报告展示了3D打印技术的个性化制造特征在生物医学领域的各种应用成果，阐述了该方向未来广阔的应用前景。个性化、特异性医疗需求的兴起，对3D打印技术在生物医学中的应用提供持续支撑，催生了一批新型的、专业化生物3D打印技术。目前，除了医疗模型、手术模板、金属或非金属修复体和植入体等，3D打印技术还在生物材料3D组织适配、组织工程支架制备、生物活性细胞、组织结构制造获得了初步的成功应用，为未来生物全功能器官的3D打印描绘了一个光辉的前景。同时，周功耀教授还报告了一种模仿树叶结构的、有多层互联互通道和微孔结构的人工光合作用设备的3D打印制造方法，在生物能源生产方面显示了诱人的应用前景。



## ►► 金属3D打印技术及工业化应用发展成果丰硕

本次3D打印分论坛中，金属3D打印技术及工业化应用的相关报告占70%以上，这在一定程度上说明了金属3D打印技术和应用的成熟度及重要性。金属高性能3D打印技术包括以激光立体成形（Laser Solid Forming-LSF）技术为代表的同步送粉（送丝）高能束（激光、电子束、电弧等）熔覆技术和以选区激光熔化技术（Selective Laser Melting-SLM）为代表的粉末床高能束（激光、电子束等）成形技术两个技术方向。该技术早期主要是应对航空航天领域高性能复杂构件成形的技术挑战。目前，在基于同步送粉方式的激光3D打印技术方面，特别是大型复杂钛合金构件的激光3D打印领域，我国总体的技术和应用水平居世界前列。本次论坛吴鑫华教授、汤慧萍研究员、林鑫教授和顾冬冬教授的报告重点对激光和电子束3D打印钛及钛合金、钛基复合材料的组织缺陷特征、成形精度控制和力学性能特征等进行了讨论，阐述了钛合金在金属3D打印中获得高力学性能的主要原因，并指出了金属3D打印过程中的热力行为、组织和缺陷控制、成形精度和效率匹配以及结构表征与性能评价等方法，仍然是金属3D打印技术未来发展所必须重点研究的关键问题。需要指出的是，美国GE公司在LEAP发动机燃油喷嘴3D打印批量生产的成功，启示了适用于个性化制造的金属3D打印技术在某些结构制造方面同样可以适用于工业化生产的批量化应用。

## ►► 3D打印材料的需求日益迫切

目前，围绕宏观结构制造的结构性能、力学性能、生物学性能和物理学性能需求，3D打印所涉及的主要材料有高分子材料、金属材料、陶瓷材料、复合材料、生物材料和智能材料。至2013年，3D打印材料的全球销售额已达到5.288亿美元，比上年增长26.8%，显示了全球对3D打印材料的强劲需求。3D打印材料是3D打印技术产业链中的重要环节。本次论坛史玉升教授及李泽尘教授的报告论述了3D打印技术对相关材料的需求特点，重点研讨了高分子粉末、金属粉末、陶瓷粉末材料的研究进展及发展趋势，指出了发展适用于3D打印技术工艺特征和服役性能要求的专用3D打印材料及相关标准是未来3D打印材料发展的一个重要方向，同时，发展低成本或适当成本、高性能的3D打印粉末、丝材等材料制备方法以及粉末标准也是一个必须要解决的关键问题。

## ►► 形成材料-工艺-装备-应用完整的3D打印技术科研和产业链

目前，我国在3D打印相关材料的基础研究、产业化发展、工程应用和推广应用方面与欧美发达国家相比还有很大差距，我国3D打印技术与产业尚未形成材料-工艺-装备-应用完整的科研和产业链。国内目前使用的3D打印材料主要来自3D打印设备研发机构自制材料，同时主要依据现有材料体系，这也为我国3D打印专用材料的科研和产业发展带来了巨大的提升空间。邢飞董事长和张立强总监的报告分析了增材制造技术在制造业中的地位及意义，激光制造技术和制造系统在国内外应用发展状况，当前国内外政策、应用领域、发展趋势及增材制造技术面临的挑战。指出增材制造技术重要的优势是实现了自由化设计，此外还具有实现个性化和定制化产品的量产、功能集成从而减少装配成本、实现无模化直接制造等显著特点。



2014 IFAM





光催化技术可以利用太阳光来驱动一系列重要化学反应，如光解水制氢、二氧化碳还原和降解污染物等，是未来清洁能源生产和环境污染治理的理想途径之一。目前，光催化技术大规模应用的瓶颈问题是光催化材料的太阳能转换效率低。

# 光催化技术

## 解决环境与能源问题的理想途径之一



光催化技术进展及应用专题由姜德生院士(右一)和李言荣院士(右二)主持。福州大学付贤智院士(中)、南京大学邹志刚教授(左二)和日本物质研究所叶金花研究员(左一)分别作了题为“基于光催化的清洁能源与环境新技术”、“光催化材料的机遇与挑战”和“人工光合成二氧化碳能源化”的报告。



**光催化技术基础研究任务艰巨** 目前光催化技术在实际应用过程中存在光催化过程量子效率低、太阳光利用率低等关键科学技术难题。付贤智院士的报告重点介绍了国内外在理论和应用方面解决这些问题取得的进展和成果,涵盖了表面晶格缺陷型 $\text{TiO}_2$ 光催化剂、金属氮化物型可见光光催化剂等新型光催化剂,以及光催化反应机理研究取得的重要进展,展示了光催化技术在环境、医疗等领域的诸多应用实例。并从基础研究、应用研究、产业发展3方面对光催化技术未来发展趋势进行了展望。



**光催化技术面临挑战和国际竞争** 发展可见光响应光催化材料是实现高效太阳能转换的最重要途径之一,但需要突破3大难点:①如何使光催化材料的带隙与可见光能量匹配;②如何使光催化材料的能带位置与反应物电极电位匹配;③如何降低光生电子-空穴的复合率。邹志刚教授在报告中介绍了其研究团队通过能带结构调控、载流子有效质量判据的提出、纳米微结构调控、纳米异质结结构、表面改性等途径提高光催化材料转换效率的研究工作。指出发展光催化材料分解天然海水产氢和廉价环保的铁系光催化材料是光催化技术的两个重要发展方向。强调光催化还原 $\text{CO}_2$ 制备碳氢燃料是实现碳循环的终极目标,目前我国已在航天航空密闭空间方面应用该技术,处于国际领先水平。

**人工光合成技术是最具挑战的方向** 光催化技术中的 $\text{CO}_2$ 能源化由于其本身的化学稳定性及还原反应过程的复杂性,目前研究还较薄弱。假设人工光合成技术的太阳能化学转化效率为5%,



利用全国1%的荒漠化土地,每年可吸收3.83亿吨 $\text{CO}_2$ ,将其转化成1.39亿吨 $\text{CH}_4$ 。目前国际上相继投入巨资攻克人工光合成技术瓶颈,2014年,中国基于半导体人工光合成的二氧化碳能源化基础研究项目获科技部“973”计划批准并支持,目标是在未来5年,人工光合成 $\text{CO}_2$ 的效率10倍于自然光合作用。叶金花研究员指出,大幅度提高太阳能转化效率的3个关键因素是:①太阳光谱吸收范围;②光子转化效率;③器件化系数。需要解决的关键科学问题有:半导体人工光合成的能带调控机制、半导体人工光合成的表/界面现象及光化学反应微观机制和复合材料组装集成的太阳能化学转换特性。

## 院士点睛:

光催化反应是否能高效进行是提高太阳能转换效率的关键之一。由于光催化反应过程研究难度大、耗时长等原因,一直以来对光催化反应机理研究、探讨较少,应该得到重视和加强。

——付贤智院士

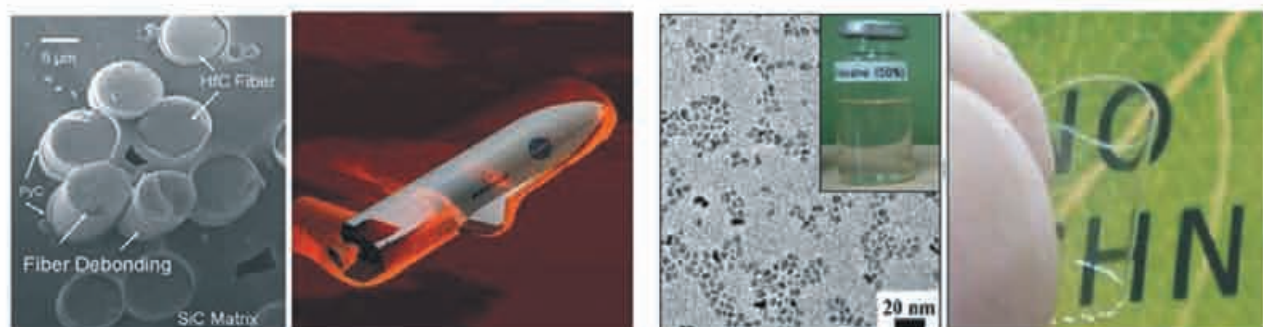
## 热烈讨论:

提高光催化材料的太阳能转换效率,新材料的开发与材料微结构、表面形貌调控哪个更关键?

邹志刚教授:设计新型光催化材料更加重要。光催化技术涉及物理、化学、材料、环境多个学科,希望各学科领域的科研人员能投身光催化技术研究方向,广泛开展交流合作。

叶金花研究员:今后光催化材料领域的高水平研究成果必将是基于新型光催化材料设计和反应机理研究这两方面。





复合材料,是以一种材料为基体,另一种材料为增强体组合而成的材料。各种材料在性能上互相取长补短,产生协同效应,使复合材料的综合性能优于原组成材料而满足各种不同的要求。复合材料具有轻质、耐腐蚀、耐高温、结构性能可设计性、易于实现结构功能一体化等性能优势。航空航天、武器装备、化工等诸多领域对其有重大需求。

## 探索 新型复合材料 解决 宏观薄弱环节



复合材料进展及应用专题由江东亮院士(右一)和陈祥宝院士(右二)主持。航天材料工艺研究所李仲平院士(中)、西北工业大学李贺军教授(左二)和金属基复合材料国家重点实验室张荻教授(左一)分别作了题为“临近空间高超声速飞行器材料问题——热结构的挑战”、“碳/碳复合材料抗氧化抗烧蚀研究”和“中国铝基复合材料研究现状和发展趋势”的报告。



**临近空间高超声速飞行器的“根基性”问题和世界性难题** 临近空间高超声速飞行器是一类具有超强突防能力，能实现全球快速精准打击，且有可能彻底打破全球现有军事平衡的新型武器，具有重要军事意义。李仲平院士在报告中介绍到，除了气动控制、动力系统技术方面的困难，材料与结构问题已直接影响飞行器研制进程，决定飞行试验的成败。美国最新IH（Integrated Hypersonics）计划将材料问题列为第二关键因素。报告重点分析了热结构的起源及热结构材料技术面临的烧蚀与非烧蚀取舍问题、超高温被动热防护问题以及轻量化问题和多角度应对之策。

**碳/碳复合材料高温含氧气氛下的氧化烧蚀问题亟待全面突破** 碳/碳复合材料是先进航空航天器及其动力系统不可或缺的关键材料。高温含氧气氛下的氧化烧蚀问题，成为制约该材料在航空航天领域推广应用的瓶颈。李贺军教授介绍了超高温结构复合材料重点实验室近年来从抗烧蚀热解碳织构控制、超高温陶瓷改性及抗氧化陶瓷涂层3个方面对碳/碳复合材料开展的深入研究，指出基体改性和涂层技术是提高其高温抗氧化抗烧蚀能力的有效手段。

**构筑金属基复合材料设计与可控复合制备加工理论体系** 航天、电子、交通运输、核工业等领域对铝基复合材料具有重大需求。我国金属基复合材料目前面临复合制备难、加工成型难、塑性/韧性差、工程转化难的发展瓶颈。张荻教授指出：根本解决途径是构筑金属基复合材料设计与可控复合制备加工理论体系。报告分析了这一共性理论基础涵盖的复合界面形成及作用机制，复合制备加工成型中组织形成机制及演化规律，使役条件下复合材料界面、组织与性能耦合响应机制等3大科学问题，以及通过仿生结构设计来改善铝基复合材料强韧性的新思路及研究成果。并介绍了SiCp/Al基复合材料在理论基础方面取得的成果及应用进展。

## 热烈讨论：



## 院士点睛：

复合材料是一类非常重要的材料，我国除树脂基复合材料外其他复合材料基础薄弱，与国外差距相当大。希望通过本次高层论坛，各位报告人和参会代表讨论出复合材料领域几个通过合作集成能快速的发展起来的方向，以实现几种关键复合材料的突破。

——周廉院士





# 探索新型复合材料 解决宏观薄弱环节

——复合材料技术前沿论坛侧记

文/西北工业大学 付前刚

我国在复合材料研究和应用方面已取得较大成绩，复合材料产量与机械化水平稳步提高，新产品、新工艺不断开发和应用，综合实力稳步增强。但是我们必须认识到复合材料基础研究的不足，关键技术未能实现彻底突破，所生产的复合材料产品性能的稳定性尚待提高。同时，还需研究发展高效、简便的工艺方法及连续生产的工艺设备，降低生产成本。今后仍需探索新的复合材料，如原位合成（原位生长）复合材料、纳米复合材料等，来解决宏观复合材料中存在的界面薄弱环节，提高增韧效果。研究热塑性高聚物基复合材料、高分子基原位复合材料、颗粒增强金属基复合材料的回收、再加工工艺、再生利用，提高相应的改进措施，是该领域今后的研究重点。

——中国工程院张立同院士、江东亮院士

“2014新材料国际发展趋势高层论坛——复合材料技术前沿论坛”（以下简称复合材料分论坛），于2014年9月21日下午在西安都市之门4楼401#及415#会议室顺利举行。复合材料分论坛由超高温结构复合材料重点实验室、金属基复合材料国家重点实验室、先进复合材料重点实验室、先进功能复合材料技术重点实验室、航天动力技术研究院、纤维材料改性国家重点实验室、有机无机复合材料国家重点实验室、环保型高分子材料国家地方联合工程实验室、哈尔滨工业大学金属复合材料与工程研究所等11家单位联合承办。本届复合材料分论坛，共邀请了18位报告人，因报告及参会人员众多，大会共安排了两个分会场，即便如此，会场仍座无虚席，连会场外也都聚集了全程站着听报告的代表。



## 复合材料分论坛 I

邀请报告主要包括陶瓷基复合材料、碳/碳复合材料、金属基复合材料等。论坛由中国工程院张立同院士主持，张寿荣院士、江东亮院士、李仲平院士出席了论坛。

- ▶▶ 1 成来飞教授主要讲述采用流延法(Tape Casting, TC)结合化学气相渗透法(Chemical Vapor Infiltration, CVI)制备SiC<sub>x</sub>/SiC层状结构陶瓷的方法。SiC<sub>x</sub>/SiC层状结构陶瓷充分发挥层状结构与晶须协同增韧作用，层间裂纹偏转，层内裂纹偏转、裂纹桥接和晶须拔出等为主要增韧机制。
- ▶▶ 2 侯晓研究员介绍了国外碳/碳扩张段技术的发展情况，对我国碳/碳复合材料扩张段研制中存在的关键技术问题及近年来的研究进展进行了介绍，对碳/碳扩张段技术的后续发展提出了建议。
- ▶▶ 3 哈尔滨工业大学武高辉教授在报告中提出了金属基复合材料的生命力在于材料的性能与功能的可设计性。通过介绍材料性能设计的几个成功的案例，说明金属基复合材料性能与功能设计是迎接挑战的有效方法，也是未来基础理论与应用技术的发展热点。
- ▶▶ 4 黄启忠教授研究了快速化学气相沉积过程特征及碳原子排列机理，提出了狭缝法化学气相沉积、多元耦合物理场化学气相沉积热解炭的沉积机理和生长模型，获得了多种热解炭微观结构。
- ▶▶ 5 冯志海研究员以航天领域国产碳纤维烧蚀耐热复合材料为重点，介绍了国产碳纤维研制进展情况，总结了国产碳纤维在烧蚀耐热复合材料中的应用基础研究方面的突破与进展，提出了烧蚀耐热用国产碳纤维的应用要求，并对未来国产碳纤维烧蚀耐热复合材料的发展趋势进行了展望。
- ▶▶ 6 董绍明研究员介绍了其团队研制的陶瓷基复合材料热结构件，其在国内液体火箭发动机中率先实现了成功应用，采取的多层交替超高温陶瓷涂层与纳米相增韧技术，提高了陶瓷的韧性和服役稳定性。



►►7 马宗义研究员通过建立金属基复合材料 (MMC) 的多尺度本构关系和塑性变形的多尺度虚拟化模型, 研究 MMC 在变形过程中的流变、微观结构和损伤的演化规律, 可揭示 MMC 宏观和微观多重尺度上的变形机制, 可为 MMC 组织与性能的可靠、精确调控提供理论依据, 并为 MMC 大型构件的高效、绿色加工制造奠定理论基础。

►►8 李志强教授介绍了采用片状粉末冶金技术 (Flake PM), 首先制备具有 CNTs 沿二维平面均匀分散的 CNTs/Al 片状复合粉末组元, 再经叠片组装成型、烧结致密化、挤压变形等处理, 获得具有贝壳纳米仿生叠层结构的 CNTs/Al 复合材料。

►►9 李国强教授讲述了采用先进的制备工艺, 获得了一种热导率  $> 200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 、平均热膨胀系数为  $7.00 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、密度低至  $2.7 \text{ g/cm}^3$  的金属复合材料, 从而成功地将该复合材料应用于高功率 LED 的 COB 封装, 在较小的散热基板上实现了高功率的 LED 光源。

## 复合材料分论坛II

邀请报告主要包括纳米复合材料、高分子复合材料、功能复合材料等。论坛由四川大学王玉忠教授主持, 中国工程院赵连成院士、蹇锡高院士出席论坛。

►►1 结构性碳纤维复合材料国家工程实验室的益小苏研究员分别介绍了复合材料高性能化、液态成型整体化制造、结构-功能一体化及“绿色化”的发展历程与进展, 包括国际评价和国内外的应用等。

►►2 陈建峰教授提出了采用超重力技术结合萃取-相转移的新方法 (HGRT) 制备纳米颗粒液相分散体及其高透明有机无机纳米复合材料, 解决了纳米颗粒在有机基体中的分散难题。成功开发了高固含量、高透明、高稳定、分散介质极性可调控的纳米金属、纳米氧化物和纳米氢氧化物等液相分散体及其宏量制备技术。

►►3 四川大学环保型高分子材料国家地方联合工程实验室王玉忠教授的报告, 包括两方面的内容: 设计合成介晶转变温度恰当的具有高阻燃性含磷热致性液晶高分子, 提高高分子材料的阻燃性与力学性能; 设计合成可以增强玻璃纤维/天然纤维界面相互作用的无卤阻燃剂, 解决玻纤或天然纤维增强的热塑性高分子复合材料因“烛芯效应”而导致阻燃效率降低的难题, 实现热塑性高分子复合材料的高效阻燃。

►►4 东华大学纤维材料改性国家重点实验室的朱美芳教授概述了通过有机无机纳米复合技术实现量大面广通用纤维、高性能纤维及生物质纤维的结构调控与性能优化的最新案例, 并展望了有机-无机杂化纤维材料的发展方向和应用前景。

►►5 美国华盛顿州立大学/北京航空航天大学仲伟虹教授的报告简要介绍了纳米填料生物处理方法。宏观弥散分布评价方法和损伤检测方法等工业技术成熟的纳米技术, 其团队开发的新型粘性电解质在安全性要求高的电动汽车和其他应用方面具有很大的潜力。

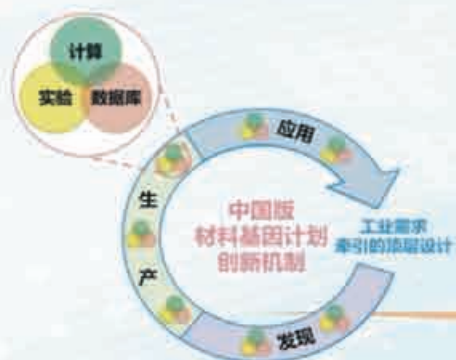
►►6 赫晓东教授讲述了将碳纳米管化学接枝到碳纤维表面, 大大提高了复合材料的界面性能; 通过对碳纳米管纤维结构设计, 显著提高了碳纳米管纤维的延伸率并赋予纤维更多的功能。简要展望了未来多功能多尺度复合材料的发展方向。

►►7 朱建勋研究员介绍了预成型体在烧蚀防热复合材料、高温透波复合材料、结构减重复合材料等多方面的研究应用情况, 阐明了预成型体技术对发展高性能复合材料的重要作用。

►►8 总后军需装备研究所张建新代表冯新星教授在报告中就碳纤维增强复合材料、长碳链聚酰胺及其复合材料、镁合金材料、气凝胶材料、泡沫材料、中空三维材料等轻量化材料的性能研究成果进行了分享。

►►9 黄小忠教授在报告中指出, 碳化硅纤维具有高强度、高模量、热稳定好等优点。将铍元素作为异质元素加入碳化硅纤维, 有望提高纤维的热导率和高温力学性能。报告按照含铍先驱体合成、先驱体熔融纺丝、先驱体纤维的预氧化和陶瓷化3个步骤介绍了含铍碳化硅纤维制备程序, 并对制得的纤维力学性能和耐高温性能进行了表征和分析, 发现含铍碳化硅纤维在空气中高温处理后的强度保留率明显高于普通碳化硅纤维。





材料基因组计划 (MGI) 是用高通量并行迭代替代传统试错法的多次顺序迭代, 逐步由“经验指导实验”向“理论预测、实验验证”的材料研究新模式转变, 最终实现材料“按需设计”。MGI包括高通量材料计算、高通量材料实验和材料数据库3个要素, 是材料创新的基础设施, 是MGI的核心。

# 中国材料基因组计划 如何跨出第一步?



材料基因组研究进展专题由王崇愚院士 (右二) 和屠海令院士 (右一) 主持。中国科学院物理研究所陈立泉院士 (中)、中国科学院理化研究所吴以成院士 (左二) 和西班牙马德里材料研究所崔予文研究员 (左一) 分别作了题为“中国MGI如何跨出第一步?”、“紫外非线性光学材料分子设计”和“钢铁及形状记忆合金中马氏体组织形貌的集成构造模型”的报告。



**“一个整体、多个层次、协同创新”地开展中国MGI** 结合美国“材料基因组计划”(MGI)的本质、具体措施及进展,陈立泉院士在报告中指出,我国关键新材料的自给率很低,在当前发达国家对材料研发突然发力、加快速度的背景下,我国开展材料基因组计划迫在眉睫。“一个整体、多个层次、协同创新”的战略措施主要包括:一个整体即选择几项国家急需的、国内有良好基础的关键材料进行示范,尽快积累经验及成果,以便进一步推广普及到整个材料领域;组建全国性的“材料基因组研究中心”;打造全国性的“材料创新基础设施”。多个层次是指联合发挥中央政府引导作用和地方政府的主导作用。协同创新包括计算、实验、数据库三要素协同、材料的“发现-研发-生产-应用”各个环节的协同、跨学科的研发团队的协同和“官产学研用”的协同。

**非线性光学领域采用阴离子基团理论结合第一性原理方法研究的新优势** 不同频率激光获得的基础是非线性光学晶体和非线性光学效应。吴以成院士的报告首先介绍了阴离子基团理论以及基于这一理论开展的硼酸盐体系非线性光学晶体探索。

指出基于BO<sub>3</sub>基团的新型非线性光学晶体KBBF突破了直接倍频深紫外激光壁垒,以KBBF晶体器件深紫外光源为核心研制成功了多种深紫外科学仪器前沿装备。我国科学家应用该系列装备在诸多领域获得了一系列重要研究成果。报告最后简要介绍了在非线性光学领域采用阴离子基团理论结合第一性原理方法的优势及取得的计算流程等成果。

**定量描述合金的结构、组织和性能是集成计算材料工程的核心内容** 崔予文研究员在报告中展示了马氏体晶体学和微弹性相场两类马氏体微观组织模型以及外在技术集成的方法及实例。详细介绍了基于群的不可约化表示的拉格朗日动力学马氏体微观组织模型(集成朗道模型),分析了该模型与前两类模型的异同及三者的内在集成。通过基于朗道模型开展的多晶钢铁和形状记忆合金马氏体相变规律及组织演化的探索研究工作,指出朗道模型可以减少传统模型中不具有明确物理意义的模拟参数,能有效地揭示相变过程中多场耦合在物理本质上的异同。



## ▶ 院士点睛:

材料数据库应该是多个层面的,每个实验室、研究团队需要有各自的数据库,但也应该建设国家层面大的数据库。建议应该成立国家层面的技术小组,制定数据库对接标准、共享原则等指导意见,以引导数据库的高效建立、有效应用;另外,当前数据库应该适应材料研究的特点,分为敏感材料军用数据库和民用数据库。

——陈立泉院士



## 热烈讨论:





# 一个整体 多个层次 协同创新

## ——材料基因组计划研究进展论坛侧记

文/西北工业大学 范晓丽



►►1 张统一院士的报告《上海大学材料基因组研究进展》，从材料研究的规划、组织和实施诸方面较为系统地介绍了上海大学材料基因组研究的进展以及刚刚成立的上海大学材料基因组研究院的建院思路，包括高通量集成计算和模拟平台、高通量实验和快速材料测试表征平台、大数据和数据库平台以及服役可靠性和失效分析平台等4个研发平台的建立。

2014年9月21日，“2014新材料国际发展趋势高层论坛——材料基因组计划研究进展论坛”（以下简称材料基因组分论坛）在西安都市之门一楼多功能厅如期举行，300余人的会场座无虚席。材料基因组分论坛由中国工程院化工、冶金与材料工程学部和中国材料研究学会主办，由中国工程院材料科学系统工程咨询项目组承办。论坛得到了中国科学院数学与系统科学研究院、中国科学院物理研究所清洁能源中心、西北工业大学材料基因组国际合作研究中心、绿色建材国家重点实验室、南京工业大学先进金属材料研究院材料计算所的大力支持。材料基因组分论坛共邀请了上海大学张统一院士、中国科学院数学与系统科学研究院崔俊芝院士、绿色建材国家重点实验室项晓东研究员、电子科技大学向勇教授、厦门大学刘兴军教授、上海大学材料科学与工程学院施思齐教授、中国科学院宁波材料所陈亮研究员、中国科学院物理研究所肖春娟研究员、中国工程物理研究院北京计算科学研究中心刘利民研究员等9位报告人。材料基因组计划是材料研究方法的变革，是思维和理念的转变，实施中国版MGI的核心是推广MGI理念和方法，以MGI技术的思维代替传统的试错法思维，以高通量并行迭代方法代替顺序迭代方法，其最终成败的关键是人才培养。

►►2 崔俊芝院士在其《新材料研发的集成化信息平台》报告中指出，集成化信息技术是支撑“材料基因工程”目标实现的关键技术之一，为了给新材料研发人员提供一个集成化、网络化，集计算资源、数据资源、实验检测和材料科技信息资源共享的研发平台，他建议建设“新材料研发的集成化信息平台”。该平台既是材料科学研究和新材料研发者的工具和环境，又是材料科学研究前沿科学问题的发源地，以及部分研究成果的归宿地。使材料物性预测的新模型、新算法、新软件 and 新的材料数据，可以快速集成于“平台”的软件库和数据库之中，加速新材料研发的进程。“平台”将基于云计算和移动互联网模式构建，以分布和集中并存的虚拟模式，集成来自不同单位和公司的计算材料科学软件、材料数据库、试验检测设备和材料科技信息资源；为跨领域和跨地区的新材料研发团队提供方便、有效和合理付费的计算服务、数据服务、实验检测服务、材料科学信息服务。





►►3 项晓东研究员在其《原位实时高通量组合材料实验技术》报告中首先介绍了高通量组合材料实验的起源,以及原位实时高通量组合材料实验技术的需求与发展现状,同时报告了其研究小组基于同步辐射大科学装置发展的普适性原位实时高通量材料成分/结构表征技术,该技术基于可调脉冲红外激光和同步辐射微束白光X射线,可探明涵盖时间、温度、环境气氛等工艺参数的材料结构-成分-工艺相关性。基于其它微区表征探针或谱学测试工具,还可发展一系列功能丰富的原位实时高通量表征技术,从而充分发挥高通量组合材料制备与表征技术作为“新材料搜索引擎”的潜力。

►►4 向勇教授报告的题目为《高通量组合材料芯片制备技术及装备技术》,介绍了一种自主开发的掩模镀膜法组合材料芯片制备技术及相应的高真空离子束溅射系统。该技术通过连续移动的掩模来精确控制叠层薄膜的厚度梯度,从而实现多元素组合和材料组分梯度,可以完整地覆盖三元材料相图的组分空间。此技术制备的叠层薄膜经过低温扩散和高温成相两个热力学步骤处理即可获得高质量的组合材料芯片。

►►5 刘兴军教授的报告《基于计算/实验一体化研究高性能Co基高温合金的设计与开发》以Nb-Si基和Co基高温合金的计算/实验一体化研究为例,阐明材料计算在新材料开发中的应用,以及计算和实验的相辅相成、相互促进的关系,进一步深化材料设计的理念,改变利用传统的“尝试法”研究和开发新材料的定式思维。

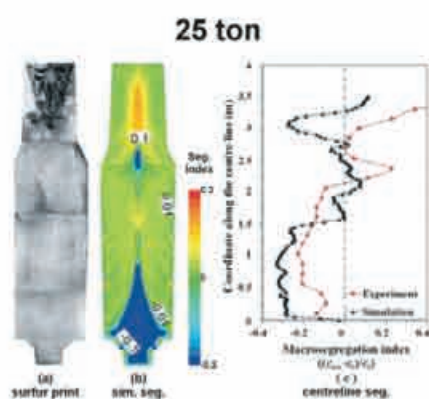
►►6 施思齐教授的报告《材料计算和实验结合推动锂离子电池的研发》阐述了与锂离子电池材料相关的计算材料学,包括第一性原理计算与实验手段、机器学习方法的结合等。介绍了将计算材料学和实验有机结合起来研究锂离子电池所涉及的基础科学问题的几个实例,报告展望了今后计算材料学在锂离子电池研发中扮演的角色和未来重点研发方向。

►►7 陈亮研究员作了题为《基于第一性原理的相图计算在材料设计中的应用》的报告,指出相图可以揭示多元体系在热力学条件下的反应以及相变过程,从而为实验提供有益的指导,随着计算机运算能力大幅提高以及相关程序的开发,相图计算在新型功能材料,如锂离子电池材料和光催化材料等研发方面做出了很大的贡献。介绍了其团队结合第一性原理、集团展开和蒙特卡洛等方法,研究“智能催化剂”Pt-CaTiO<sub>3</sub>等体系不同条件下的相平衡以及热力学变化过程方面的研究工作。

►►8 肖睿娟研究员的报告《高通量计算在锂离子电池材料筛选中的应用》介绍到,电动汽车与规模储能的发展需要开发大容量锂离子电池并显著提高电池安全性,采用固体电解质的全固态锂电池是公认的重要技术途径。报告重点介绍了其研究小组以2013版无机晶体学数据库为基础,通过高通量计算、第一性原理分子动力学方法来寻找合适的电解质材料的研究工作。

►►9 刘利民研究员的《绿色功能材料设计中的第一性原理设计》报告指出光催化材料的光催化反应发生在固体-液体界面,对其界面结构、微观反应过程的理解认识非常重要。报告介绍了采用第一性原理研究水对光电催化材料结构和电子性质的影响及新型催化剂设计方面的前沿研究成果。





凝固技术是以凝固原理为基础,进行凝固过程控制的工程技术领域,其目标是根据材料或产品使用性能的需求,获得期望的微观组织和无凝固缺陷的铸件或铸锭。研究凝固技术对控制材料 and 铸件的质量,研制和开发新材料具有极其重要的意义。

## 军民两用关键技术对发展 凝固控制技术有重大需求



凝固技术进展专题由魏炳波院士(右一)和李元元院士(右二)主持。西北工业大学介万奇教授(中)、中南大学粉末冶金国家重点实验室杜勇教授(左二)和奥地利莱奥本大学先进凝固及熔体过程数值仿真实验室吴孟怀教授(左一)分别作了题为“多组元合金铸造过程的凝固基础研究”、“热力学、热物理性能及凝固过程微结构表征”和“铸锭宏观组织和偏析的数值仿真”的报告。



### 凝固控制技术是应用型学科

航空航天大型铝合金结构件、大型铝合金型材用铸锭连铸、大型水电核电用铸件、航空发动机及地面燃机工作叶片（单晶及多晶）等的铸造对凝固控制技术有重大需求，但我国凝固控制技术的不发达限制了众多领域设备及技术的进步。介万奇教授在报告中指出了多组元合金凝固的4个前沿问题：①多元多相合金非平衡凝固行为的热力学与动力学耦合理论；②多元多相合金凝固过程的多层次表征及跨层次耦合理论；③多元合金非平衡凝固过程中熔体—界面—传输的协同调控原理；④电磁场和高能束作用下多元多相合金的凝固行为及其控制原理。报告展示了有效解决大型铸件冶金质量控制的反重力铸造技术、解决铸件力学性能和尺寸精度的大型结构件石膏型无冒口精密铸造技术、以及II-VI族化合物材料单晶制备技术等多项成果。



### 材料制备过程力学性能动态演变的定量描述

材料微结构的表征及其所需的数据库、计算工具及实验工具是材料基因的核心。第一性原理（分子动力学）、晶体相场法和有限元方法可以分别模拟微观纳米尺度、细观界面和宏观尺度的组织性能变化，是材料基因计算最重要的3种方法。杜勇教授在报告中介绍了其团队在Al合金相图热力学数据库、Al合金的扩散系数数据库、Al合金热物性参数数据库建立、Al合金凝固过程微结构表征方面的突出成果。介绍了其团队及柳百成院士课题组近年来在探索Al合金和Mg合金时效强化过程微结构与性能的定量关系方面的研究成果。指出，材料基因计算的另一重要内容是建立微结构与力学性能的本构方程，实现材料制备过程力学性能动态演变的定量描述。

### 多相计算流体动力学的发展为铸锭内铸态组织和宏观偏析形成过程的定量描述带来契机

自20世纪60年代Flemings时代起，人们经过半个世纪的努力已对铸锭内铸态组织和宏观偏析形成的物理机理有了定性的认识，但还是难以对其进行定量预测，主要原因是其与各种多相流现象有关，例如凝固糊状区枝晶间的对流、等轴晶区晶粒沉积等。近两年，我国“973”项目、欧盟冶金协会等仍通过组织专题研究及系列会议持续探索钢铸锭的铸态组织和缺陷研究，钢锭的制备和质量控制仍是大型装备制造的核心技术。奥地利莱奥本大学吴孟怀教授在报告中详细介绍了多相流—体平均凝固过程数值仿真模型，通过具体事例重点展示了多相计算流体动力学在铸锭铸态组织和宏观偏析形成过程动态数值仿真及定量描述方面的应用前景。





# 结束语

论坛大会主席周廉院士在论坛总结时，代表大会组委会感谢报告人和所有代表的支持。并指出：①生物材料、光电材料、纳米材料、能源材料等新材料的研究在美国、欧洲得到政府大力支持，发展迅速。这方面中国才刚刚起步，目前还存在巨大发展空间，呼吁政府、科研院所重视，抢占发展先机。并强调明年高层论坛的系列会议议题将主要围绕复合材料、材料表征、材料智能制造、生物材料、光电材料、纳米材料、能源材料等新材料体系和一些国内热点的研究方向；②高层论坛系列会议旨在探讨未来新材料发展方向，培养未来新材料科研人才，是在校研究生开阔视野、了解前沿、学习取经的好机会，应该支持广大学生参与。最后周廉院士通报了“2015年新材料国际发展趋势高层论坛”将于2015年9月在上海举行，由上海交通大学承办，热烈欢迎各位代表积极关注和参与。

