



策划/贾豫冬 编辑/惠琼 吴锐 张雨明 王瑛 费蒙飞 摄影/王嘉琦等

坚持开放交流合作 促进中国材料进展

—— 2019新材料国际发展趋势高层论坛纪实 ——

MATERIALS CHINA

“新材料国际发展趋势高层论坛”系列会议由中国工程院周廉院士发起，中国工程院化工、冶金与材料工程学部和材料学术联盟、中国材料研究学会、国家新材料产业发展战略咨询委员会等单位主办，自2011年开始由材料学术联盟各单位先后在淄博、昆明、成都、西安、上海、南京、沈阳等地连续召开了8届，成为了国内材料界一年一度的学术盛会。论坛的所有报告均为邀请报告，大会报告及分论坛设置均紧扣新材料发展前沿，是具有极大影响力和时效性的高端学术交流平台。

2019年9月24~26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛（IFAM2019）”在武汉国际会议中心隆重召开。本届高层论坛由武汉理工大学、北京航空航天大学、武汉市科技局、《中国材料进展》杂志社联合承办。本次论坛中，25日的大会学术报告环节分为纳米材料、先进复合材料、新型硅酸盐材料、新材料与新功能、光电材料及应用5个方向，共11个特邀报告。另外，还设置了28个分论坛及“第五届优秀青年科学家论坛”，共有逾500位国内外知名材料科学家和优秀青年学者作报告。其中，“第五届优秀青年科学家论坛”的5个分会和“先进树脂基复合材料发展与应用论坛”、“新材料产业与技术投资促进国际论坛”于24日下午召开。26日同期举办了：材料与生命物质的交叉创新、材料服役行为、金属结构材料、防护涂层材料、能源电池材料、高分子材料、陶瓷及陶瓷基复合材料、金属基复合材料、绿色与功能建筑材料、电子信息功能材料、材料界面与微纳、3D打印、材料智能制备加工、计算材料学、超材料、智能材料、生物医用材料、高熵合金与非晶材料、纳米材料、功能晶体材料与晶体生长、功能玻璃材料、光电材料、热电材料、光催化材料、磁性材料25个领域的分论坛，涵盖范围广、报告水平高，兼具新兴、重点与热点领域。论坛同期还举办了新材料实验室及仪器设备展览，为参会代表及新材料相关企业提供了展示交流、深入了解的平台。





INTERNATIONAL FORUM ON ADVANCED MATERIALS



扫码关注会议公众号

中国工程院徐惠彬、薛群基、张联盟、张寿荣、江东亮、桑凤亭、赵连城、吴以成、姜德生、陈祥宝、缪昌文、李卫、毛新平、王玉忠、丁文江、谢建新、聂祚仁、吴锋、周济、顾敏院士，中国科学院李述汤、赵东元、刘忠范、南策文、陈仙辉、张清杰院士，欧洲科学院、比利时皇家科学院苏宝连院士，欧洲科学院岳远征、任广禹院士，澳大利亚工程院一兵院士，美国斯坦福大学崔屹教授，加拿大工程院李献国院士、杨军院士，武汉市委副书记、市长周先旺先生，武汉市政协主席胡曙光先生，国家科技部高新司材料处曹学军调研员，国家科技部高技术中心史冬梅处长，武汉市政府、武汉市科协各领导，及来自国内外材料领域260余家高校、企业单位的领导、专家学者、青年学者近2000位代表出席论坛。开幕式由论坛执行主席、武汉理工大学张联盟院士主持。大会主席徐惠彬院士致开幕辞，中国工程院主席团成员、中国工程院化工、冶金与材料工程学部原主任薛群基院士，武汉理工大学校长张清杰院士，武汉市人民政府周先旺市长分别致辞。

周廉院士 因身体原因不能到会，特意在病房中亲笔写下“祝大会顺利召开，促进中国材料进展，坚持才能胜利！”的寄语并委托张联盟院士对各位院士、专家莅临会议表示了诚挚的谢意。

徐惠彬院士 在开幕致辞中表示，本届“新材料国际发展趋势高层论坛”的分会设置保持了论坛的传统重点方向，同时还兼顾了武汉各高校的学科优势、研究特色。论坛主题数量、规模逐年增加，今年的邀请报告达418个，还有84个推荐的优秀青年科学家报告，特邀报告人都是我国材料领域的中青年领军人才。在即将迎来新中国成立70周年之际，材料界的科技工作者借此机会欢

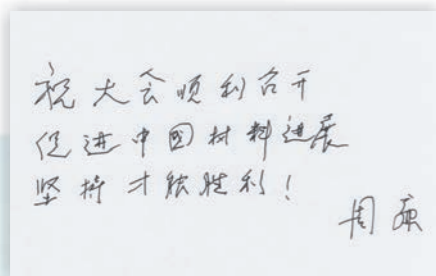
聚一堂，希望材料人勇担使命、团结一致、努力拼搏，为实现中国梦贡献青春和力量。

薛群基院士 指出高层论坛为我国材料领域学者、学生搭建了高水平的交流学习平台，新材料国际发展趋势高层论坛系列会议有效地团结、发挥了院士群体的智力优势，有力践行了“开展前瞻性、针对性、储备性战略研究，服务国家、服务产业、服务社会、服务民生”的工程院职责。他勉励道，材料科研人员要敢于走前人没走过的路，矢志实现关键核心技术自主可控，把创新主动权、发展主动权牢牢掌握在自己手中。

张清杰院士 代表本届论坛东道主武汉理工大学和各承办单位，对各位远道而来的嘉宾表示了欢迎。他介绍道，本次会议参会人数近2000人，方向涵盖重大基础科学、前沿科学领域，是一次高水平的学术盛会。

周先旺市长 代表武汉市政府、武汉人民和武汉这座城市，对本次论坛的召开表示了热烈的祝贺，对各位远道而来的嘉宾表示了热烈的欢迎，并承诺要做好服务工作，运用好论坛交流成果。他表示，为打造新一线城市，武汉将以开放的姿态，立足人才优势，着力将新材料打造成新的支柱产业，发挥新材料在新兴领域发展中的支撑作用。

随后举行的大会特邀学术报告环节邀请了著名材料科学家崔屹教授、刘忠范院士、傅正义教授、武高辉教授、胡曙光教授、彭寿教授、沈晓冬教授、赵东元院士、王晓临教授、李述汤院士就5个主题分别作了精彩报告，评述了材料领域前沿研究进展及发展趋势，探讨了国内材料发展现存瓶颈问题及发展策略。



张联盟院士主持开幕式



徐惠彬院士致开幕辞



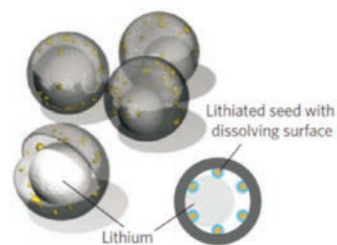
薛群基院士致辞



张清杰院士致辞



周先旺市长致欢迎辞



纳观尺度的材料设计、制备与控制，是关于人类未来福祉的重要领域。其中，电池材料的研发、石墨烯的工业化制备，都是众多材料科学家一直以来投入大量研究的热点。清洁能源的发展，挑战是多方面的：电池的能量密度上限、寿命更长、充电更快、完全安全、回收利用、大规模储能等。能源转换存储、空气过滤、水过滤、土壤等领域的可持续发展及环境保护，需要不断开发新的材料并取得突破。石墨烯具有最高的导电率和导热率，以及轻质高强、柔性、透明等优异特性，但其产业化之路仍旧漫长崎岖。挑战与机遇并存，纳米技术为人类面临的若干生存危机提供了方向。

持续探索纳观领域 求解人类能源之问



纳米材料主题由张清杰院士、徐惠彬院士（右）主持。美国斯坦福大学崔屹教授（中）作了题为“Nanomaterials Design for Energy and Environment”的报告；北京大学刘忠范院士（左）作了题为“石墨烯新材料：从科学到工程”的报告。

美国斯坦福大学崔屹教授 回顾了自己团队10多年来在能源转换存储、清洁能源、电池材料研究中的研究进展，即“Grand Challenges for Energy Storage”。得益于十几年来冷冻电镜技术突飞猛进的发展，自2016年来，崔教授团队借鉴结构生物学的经验，将冷冻电镜用于电池材料中不稳定材料的研究，如钙钛矿、金属锂、MOF等，有利于深入理解材料界面层结构，解释提升电池稳定性等性能的结构本质和内在机制。

北京大学刘忠范院士 在报告中指出，中国的石墨烯产业面临严峻挑战，而世界石墨烯产业仍处于“期望的顶峰而非发展的顶峰”阶段，我们可以借鉴碳纤维材料产业的启示，充分警惕行业泡沫。从基础研究向产业化推进，以工程为目的，以企业为先导。介绍了过去10年来，团队在高质量石墨烯薄膜的化学气相沉积生长方法、批量制备技术与装备、超级石墨烯玻璃、超级石墨烯光纤、石墨烯基第三代半导体照明器件等诸多方面的技术突破。制备决定未来，引领全球石墨烯制备技术及装备、与企业建立定制化研发服务和装备，是其团队努力的方向。



崔屹教授



刘忠范院士



热烈讨论

• 人们都希望能把石墨烯制备得无限接近单层。您现在在这个晶圆是不是已经能做到4英寸或者6英寸的单层理想石墨烯了？

刘忠范院士：高温炉子里在铜表面生长石墨烯，想做两层反而难，一般是表面自限制自催化原理使生长出来的通常是单层。而在镍表面，几层左右，很难控制单层。铜镍合金如果控制好比例的话，也可以做到单层。所以单层不是大问题，质量是大问题。

• 现在结晶完整度能做到什么样呢？

刘忠范院士：单晶尺寸4英寸和6英寸可以做到，成品率在90%以上，但价格还是比较高。在单晶铜表面生长的石墨烯，一个原子层的厚度，想把它剥下来放到需要的地方谈何容易，可以说是奇难无比。我们有个团队专门在做，尽管有各种办法，但它的成品率极低，这是一个巨大的挑战。

• 氧化石墨烯现在还是多层或者碎片，向理想的石墨烯形态靠拢，目前还有哪些工作？

刘忠范院士：对于粉体石墨烯来说，比较典型的技术路线都是从石墨剥离开始去做。石墨的剥离，比如氧化还原法，氧化一般都是化工过程，比如用浓硫酸去氧化，加上高锰酸钾，再通过超声等方法制备。这样得到的产物肯定有一个分布，每人做的都不一样，同一个人今天做的和明天做的也很难一样。从石墨矿往下走，通过氧化还原是一条技术路线，但还有别的技术路线完全不是通过石墨矿去做，比如高温炉也可以烧出粉体石墨烯来，尽管比较贵。所以哪条技术路线好未来确实不好讲，跟用途也有关。有时候需要大片的、有的需要导电性、有的需要导热性，完全不一样。制备决定未来，无论是粉体还是薄膜，都需要专业的团队全力以赴一直去做。

• 从一线科研人到一线企业家，这个过程中是不是有一些变化可以分享？

刘忠范院士：我不是企业家，但我会培养出很多企业家来，这是我的目标（笑）。几十年来我一直做基础研究，也发了一堆文章，但时间久了之后我问自己，什么叫成就感？发几篇顶级期刊不算，成就感应是愿意向孙子说的事，是能写到教科书里的东西，是实实在在的贡献。就是这个突然的感觉让我下决心，我得做点有成就感的事情。

• 为什么您的报告中很多问题都用“3”这个数字，比如“3倍”“3个”等，有什么含义吗？

崔屹教授：一个新的概念如果让大家能记住，我至少要短期发3篇paper（笑）。说寿命延长3倍，我们想电池有30年的寿命，以便将来实现大规模储能。现在电池的水平，像锂电池，大概就不到10年，所以大概是3倍。而成本正好差不多要降3倍，变成原来的三分之一，这个是巧合。顺便说一句，我在家里排行也是老三（笑）。

• 因为液态电解质在猛烈撞击下有可能导致短路，现在有人在研究固态电解质。固态电解质有什么关键问题亟待解决？怎样才能使之在性能上与液态电解质相媲美呢？



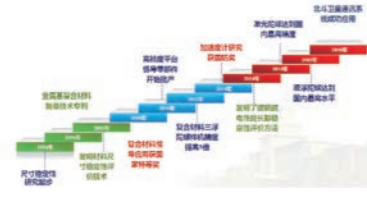
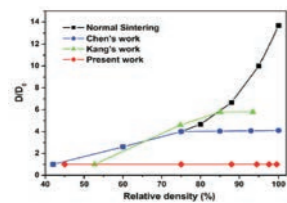
崔屹教授：固态电解质是一个非常重要的研究方向。液态电解质有可燃性，大家也在解决到底怎样才能彻底安全的问题，我的实验室也在做。把燃烧、可燃性全都解决还是有希望的。固态电解质的价值，第一是安全性，第二因为固态的界面力学性能很强，特别是让金属锂很有可能用得成功。固态电解质面临很多挑战：第一个，除了硫化物这一类的固态电解质离子性很强，其它都不够。氧化物的还可以，但不够，高分子的还很低，都需要加强。第二个挑战，它和电极材料的界面稳定性不够好，会有副反应，界面层形成之后阻抗也大，界面层形成的过程中因为反应造成晶体结构的变化，会使陶瓷裂开。最近的研究发现金属锂还是可以钻过去。第三个挑战，除了高分子，固态电解质要做薄很难，无机电解质太脆，加工性很差。和液态电解质相比，固态电解质的密度高，密度高就重，所以需要更薄。最后，固态电解质怎么三维地和电极材料混在一起真的让电池正负极都能导离子，挑战也很大。我觉得现在固态电解质处于这样一个阶段：研究值得做，但工业界千万不要被忽悠。太难，要做打长期战斗的准备。现在还是液态电解质的天下。



吴以成 院士



赵东元 院士



先进复合材料具有轻质、强度高、模量高、耐高温、耐磨损、结构-功能一体化等高性能，有望满足航天、地面国防装备高速运行、极端环境服役条件下对高性能材料的需求。我国材料科研人员深入研究、持续创新，在先进复合材料的结构-性能关系机理研究、材料设计、制备技术创新及装备制造等各方面取得大批关键技术突破

和成果，制备的先进复合材料支撑了探月工程、载人航天工程、北斗卫星导航系统等重大工程成功实施和国防装备升级换代。我国先进复合材料的研究水平和人才队伍已处于国际先进水平，将在我国未来高科技领域和高质量经济发展中画出浓墨重彩的一笔。

敢为人先 持续创新： 先进复合材料支撑我国国防装备升级换代



先进复合材料主题由陈祥宝院士（右）和谢建新院士主持。武汉理工大学傅正义教授（左）作了题为“高性能特种陶瓷材料结构控制原理与制备新技术”的报告，哈尔滨工业大学武高辉教授（中）作了题为“惯性仪表精度漂移的材料学问题与仪表级复合材料设计和应用”的报告。

制备高性能特种陶瓷材料存在烧结温度高、大尺寸制备困难、复杂形状加工困难等难点，**武汉理工大学傅正义教授**带领团队针对该领域开展深入、系统研究，在烧结机理研究和烧结技术及装备研发方面，取得多项重大成果。傅正义教授在报告中首先详细阐述了陶瓷烧结中致密化、晶粒长大两个最基本过程的热力学原理，介绍了他们基于压力提高对“二阶段烧结方法”的发展和提出的基于类塑性变形为控制机制的陶瓷快速烧结机制，这一先进技术可保证提高陶瓷密实度的同时晶粒不长大。他还分享了近期开展的一些创新研究工作：GPa量级压力场作用下的陶瓷材料致密化机理研究、放电等离子体烧结（FSPS）及闪烧烧结机理研究、基于燃烧合成的超快速烧结技术（SHS/QP）、过程仿生的陶瓷制备新技术基础研究。



哈尔滨工业大学武高辉教授详细解析了温度扰动下材料的内禀变形是惯性仪表精度漂移的本质性原因，介绍了采用形变热处理和成分设计、析出相调控方法解决引起铝合金微纳米变形的材料各向异性问题和相稳定问题。针对铝合金弹性模量低、热膨胀系数大、微屈服强度不足的问题，他们在国际上独创性地提出设计、应用仪表级铝合金复合材料，基于大量实验基础研究和材料成分设计、组织调控完成了仪表级铝合金复合材料弹性模量设计、微屈服强度设计、应力稳定性设计、膨胀系数设计和相稳定性设计等创新工作，并通过自主开发“自排气压力浸渗技术”，解决了铝合金复合材料制备时的致密度问题、界面反应问题，研制成功的仪表级铝合金复合材料性能国际领先，支撑了我国惯性器件、空间光学、激光通讯等领域装备技术水平自主提升。

热烈讨论

• 对温度扰动引起的材料微变形和尺寸不稳定问题，可否使用零膨胀材料来解决？

武高辉教授：材料随温度变化膨胀、收缩和材料的尺寸稳定性是两个不同概念。膨胀、收缩可以预测、计算进而进行补偿设计，尺寸不稳定是指经多次温度扰动后残余的微变形量，与合金的相稳定、组织稳定性及其耦合等有关。我们测过，零膨胀材料尺寸也不稳定。

• 丁文江院士：解决相稳定性以提高尺寸稳定性时，提出了“不同析出相的比容变化互补”这一概念，这个非常好，那么不同相的选择、比例怎样控制？

武高辉教授：相匹配设计是通过计算模拟和实验进行的，在铝合金中相对简单一些，而在复合材料中十分困难。

SiC的界面会吸附 Mg 等元素，SiC颗粒含量、尺寸不同，界面含量也不同，因而吸附量就不一样，严格地说，一种规格的复合材料只对应一种铝合金基体。

• 丁文江院士：你们设计的SiC/Al复合材料，SiC是α型还是β型？对疲劳问题有没有考虑？

武高辉教授：用的是β型的，考虑晶体结构与Al有相似性，形貌是尖角形的，这样可以约束基体微变形。对疲劳问题，已安排研究生开展相关研究。

• 谢建新院士：傅教授报告中关于“贝壳里面长陶瓷”的最新工作，是个很好的思路。那要长出满足尺寸需求、具有实用价值的陶瓷，在实验室中怎样实现“贝壳”的环境？

傅正义教授：“材料在贝壳这个全生物平台环境里面的变化、生长”这个课题，是一个非常基础的研究，我们希望通过这些基础研究探究并获得贝壳等自然环境对陶瓷生长的几个关键影响因素，受此启发，进而开发过程仿生的陶瓷制备新技术。





新型硅酸盐材料广泛应用于基础设施建设、信息通讯等领域，是现代经济社会发展的基石。随着我国经济高质量发展和新形势下国家安全战略的需要，新型硅酸盐材料面临着新的挑战。材料研究人员应持续推进新型硅酸盐材料发展与产业布局，加快新型硅酸盐材料的研发，创造颠覆性技术，实现技术转化转移，以促进新型硅酸盐材料行业的快速发展，为我国经济又好又快发展提供保障。

新型硅酸盐材料产业化发展 助力经济发展，推动中国速度

2019新材料国际发展趋势高层论坛

2019年9月24-26日 武汉

主办单位
中国工程院化工、冶金与材料工程学部
材料学联盟
国家新材料产业发展战略咨询委员会
中国材料研究学会
武汉市人民政府

承办单位
武汉理工大学
北京航空航天大学
武汉市科技局
《中国材料进展》杂志社

协办单位
华中科技大学 / 武汉大学 / 湖北大学 / 武汉工程大学
材料复合新技术国家重点实验室
硅酸盐建筑材料国家重点实验室
光纤传感技术国家工程实验室



新型硅酸盐材料主题由江东亮院士（中）和张联盟院士（右一）主持。武汉理工大学胡曙光教授（右二）作了题为“高铁相硅酸盐水泥研究与材料开发应用”的报告、中国建材国际工程集团有限公司彭寿教授（左二）作了题为“高世代TFT-LCD玻璃基板浮法工艺技术研究与展望”的报告、南京工业大学沈晓冬教授（左一）作了题为“气凝胶纳米材料与应用”的报告。

武汉理工大学胡曙光教授在报告中阐述了水泥混凝土材料在现代化重大基础设施建设、海洋和地下工程建设中面临的新挑战，重点介绍了以硅酸盐水泥熟料中铁相系列矿物为对象，以提高水泥抗蚀性能和协同强度为目标，以第一性原理计算、“差分键级”原理、掺杂离子固溶倾向预测为理论基础，系统研究了铁相矿物组成与结构对水泥熟料活性、抵御化学介质侵蚀，以及高温水化相稳定性的规律，提出了通过优化设计与控制铁相组成、采用离子掺杂和设定熟料煅烧制度的方法，制备生产出具有高强、高抗蚀、低水化热、耐冲磨特性的高铁相硅酸盐水泥。基于研究成果，该团队已成功开发了工业化生产线，其水泥和混凝土制品已广泛应用于海滨地区的核电站、海港基础、机场跑道、地下隧道等工程。

中国建材国际工程集团有限公司彭寿教授在报告中指出，信息显示产业已成为我国国民经济的重要支柱与战略性新兴产业。玻璃基板作为信息显示产业的关键材料，长期被外国极少数公司垄断，是我国信息显示产业亟待攻关的“卡脖子”材料。在高世代TFT-LCD玻璃基板



的研发中，彭教授及其团队通过开展玻璃基板组成-结构-性能本构关系的研究，开发出适合浮法工艺的配方体系；通过熔窑计算模型进行数值仿真模拟研究，确定了熔制工艺、熔窑结构、温度控制方法等，实现了高效熔化；通过开展玻璃液流场、温度场等内在关系模拟研究，开发出了高效澄清、均化系统；通过多相共存数值模拟研究，实现了高粘度玻璃液超薄浮法稳定成形。彭教授表示将持续推进高世代玻璃基板技术与产业布局，加快推进LTPS玻璃基板、柔性玻璃基板、5G基站信号源玻璃的研发。

南京工业大学沈晓冬教授指出气凝胶材料是由纳米颗粒组成的纳米多孔网络结构，具有密度低、孔隙率高、比表面积高等结构特征，使其具有了优异的绝热、吸附和催化性能，已成为国际新材料研究的热点。重点阐述了其团队在气凝胶隔热、吸附、催化等领域的最新研究进展和产业化推动工作。针对二氧化硅强度低、耐高温性能差、疏水性弱等难题，分别通过溶胶离子成核生长调控、多网络协同增强、功能基团定向置换、热力学结构强化等网络结构调控研究，突破了气凝胶网络结构调控和高温结构稳定性的关键技术，实现了柔性气凝胶、380℃疏水气凝胶和1700℃高温高强气凝胶材料的制备和应用。沈教授最后希望有更多科研工作者关注气凝胶材料的研发，通过发表重大原始创新的文章，创造颠覆性的技术，实现技术转化转移，以促进我国气凝胶材料行业的快速发展。

热烈讨论

· **王晓临教授**：在您的报告中有一张气凝胶SiO₂的照片，它的接触角角度大于120°，SiO₂为亲水性材料，为什么做成多孔材料后成为疏水材料？

沈晓冬教授：气凝胶SiO₂本身表面羟基很多，为亲水材料，但是将其甲基改性后就会疏水。

· **刘轶教授**：面对混凝土这么复杂、重要的材料，您从计算的角度，提到用“键级”的方法去进行设计、做计算，让人印象深刻。但“键级”更多的是描述共价键强度的计算量，氧化物金属结合时实际上还有离子键，也就是说电负性差异会导致电荷传递不同、静电作用不同，这方面您有考虑过吗？这对混凝土设计是否有帮助？



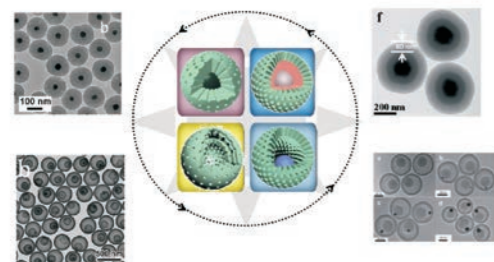
胡曙光教授：我们实验室在本工作一开始主要是基于过去在水泥生产中为了节能，往往希望能降低煅烧温度。曾有一段时间主要采取矿化剂这种方式降低其共熔温度，使硅酸盐固相反应变为固液相反应，降低温度，加快硅酸盐矿物的形成，这样就形成外来离子对原有硅酸盐矿物活性的影响，固液进去后会改变其结构，正是由于这种结构的改变，破坏了它的晶形的完整性，使它具有更大活性，计算时主要考虑哪些离子容易进去，从这样一个角度进行计算。以往主要采取实验室做大量实验的方式，得到原料中所含的离子，但是后来结合其它学者的共同研究，借助他们的计算方法，引入价键键能、键级的计算。您提到的这几种键型，我们考虑的还不够多，下一步可以从这几种键型的角度考虑，可能这不仅仅是对熟料矿物的形成，对水化反应也会引入定量的方法。

· **您关于玻璃基板的报告十分精彩，我想问一下针对新一代、11世代玻璃基板开发过程中会有哪些难点或挑战？新一代产品应用市场前景是怎样的？**



彭寿教授：非常感谢您的提问，前边已经讲过，8.5代已经做出来了，但是11世代玻璃基板尺寸要求越来越大，生产主要有两个重点难点：①对玻璃成分、结构、弹性模量（>75 GPa）、强度要求很重要。②玻璃基板薄形化和大尺寸，在整个过程中的工艺拉引和摊薄，以及设备和工艺的联动还需加强。

目前8.5代已经有18条生产线，后面会陆续上11代生产线，我正在倡导在11代生产线上能兼容LTPS的低温多晶硅，希望走一步可以想到更远一步，所以从市场角度来说前景是无限的。



未来30年,在20个高科技领域中有包括新型武器、能源、太空科技、合成生物科技等12个领域与材料和功能相关。众所周知,材料、性能与技术三者关系密不可分,性能是目的、材料是基础、技术是手段。新材料和新性能的发展离不开技术的进步。随着“界面组装调控”、“性能周期表”等新兴技术的提出与发展,具有丰富结构和奇异性能的介孔材料和自旋零带材料被设计研发出来,广泛应用于能源、生物医学、环境等领域。因此,加速对新材料和新功能的研究,将推动和支持高新技术产业的发展。

聚焦新材料与新功能 抢占高新技术产业制高点



新材料与新功能主题由周济院士和聂祚仁院士(右)主持。复旦大学赵东元院士(中)作了题为“定向组装合成多级结构功能介孔材料”的报告、澳大利亚伍伦贡(卧龙岗)大学王晓临教授(左)作了题为“Grand Design of New Materials and Properties”的报告。

复旦大学赵东元院士表示由于高的比表面积、大的孔体积、纳米尺度的骨架、纳米限域效应以及可调孔径和形貌等特点,介孔材料被广泛应用于能源存储和转化、催化、生物医学、环境修复和电子器件等领域。基于以上优异的性能和广阔的应用背景,如何利用化学方法、利用自组装方式来创造有序的多孔材料是团队近年来的研究重点。很多硅酸盐、金属氧化物材料都能通过自组装的方式形成有序的多孔结构,因此可以赋予这些材料特有的功能,如介孔SiO₂纳米颗粒具有独特的光电性能。自组装体形成的基础是由范德华力、氢键、 $\pi-\pi$ 相互作用,疏水相互作用等较弱的、可逆的非共价作用力驱动分子自组装。在此过程中,可以通过控制介观结构、骨架组成、成核位点、介孔生长、孔道尺寸及走向来调节自组装过程。球体由于具有最小的比表面积、最大的体积、最小的表面能,是自然界最完美的结构。基于这一结构,赵院士介绍了团队利用“界面组装调控”创造全新的具有奇特功能的材料。具体包括:利用外延生长诱导合成病毒状(海胆状)介孔纳米颗粒;利用微乳液限域自组装法制备核@壳结构;利用介孔各向异性外延生长合成蛋黄@壳、双面神、半球、中空单开口等非对称结构。赵院士表示,未来团队将深入理解界面自组装调控这一思想,明确控制自组装过程的决定因素并在介孔材料产业化方面实现重大突破。



澳大利亚伍伦贡(卧龙岗)大学王晓临教授总结指出,美国《2016~2045年新兴科技趋势报告》涉及的20个领域中有包括先进材料、能源、增材制造、医学、太空科技等12个领域都和材料与性能相关,这使我们设计新材料或开发新特性变得日益迫切。在材料设计中,我们通常会存在以下几点疑问:还有哪些新材料和新性能?它们都是什么?它们在哪儿?如何发现?基于以上问题,王教授回顾了传统方法与新方法在材料与性能设计中的应用。新材料设计主要经历了以下过程:发现新元素→保持原有晶体结构条件下进行部分或完全替代→晶体结构的改变→结构维度的改变(结构复合材料)→空间类型的改变(拓扑结构)→复合性能(隐形材料)→物质形式的转变→新电子能带结构→新电子状态。通过对“新电子能带结构”的研究,创新性地提出了“自旋极化的零带半导体材料”概念,为新型反量子霍尔效应提供了平台。正值门捷列夫发现元素周期表150周年,王教授介绍了其发现的基于性能来设计材料的“性能元素周期表”。该表是基于电荷、直线运动、自旋(自转)3个基本属性而产生的60种不同的基本性能元素。他还展示了性能元素周期表如何在新的、不同的电磁光力等性能、电子态、新的能带、新的物理状态等方面的应用。希望通过展示使材料设计变得简单、有趣,从而吸引更多研究人员参与到新材料和新特性的宏伟设计中。

热烈讨论

·上海大学刘轶教授:自组装产生了丰富多彩的结构,非常迷人。自组装结构的物理机制是靠范德华力、氢键等非共价相互作用,是否为一个基准?可否在自组装过程中引入共价键相互作用?

赵东元院士:感谢您的提问。从化学的角度,共价键是强键,可以通过化学反应控制进行有机全合成。不论是多大的分子,都可以通过化学手段模拟合成,现在已经合成到了非常大的结构。包括晶体生长,都可以通过共价键等强键来调控。共价键是有方向性和饱和性的,可以通过化学反应来控制它;对于自组装来说,还是相同的分子、没有发生改变,通过弱的相互作用使它们聚集在一起,这样的聚集过程就会产生新的功能。

·上海大学刘轶教授:有诺奖工作指出,可以利用机械键的空间位阻等作用调控自组装过程,是否介于弱键和强键之间的相互作用也可以用于调控自组装过程?

赵东元院士:是的,介于弱键和强键之间的相互作用也可以使分子聚集在一起形成多功能或超功能材料。



·周济院士:您提出的“自旋零带材料”有哪些宏观性质?哪些潜在应用?

王晓临教授:感谢周院士的提问。“自旋零带材料”中的电子或空穴是完全极化的。高效率的自旋电子器件需要载流子是完全极化的。因此,“自旋零带材料”可以用来作自旋逻辑器件。“自旋零带材料”具有以下3个能带特点:抛物线型、平带型和线性型。对于线性型,交点处导电电子与石墨烯能带一样,没有质量,电子速度或迁移率很大。加上材料本身是铁磁性的,当该完全自旋极化的电子运动时,周围的磁距就会把这些电子局域化使其变成绝缘体,而处于样品边缘的电子仍是自由的,就会出现反量子霍尔效应。边缘电子运动就是无能量损耗的。

向自然学习：实现从无生命复合到有生命复合的跨越

——材料与生命物质的交叉创新分论坛侧记

文/武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室 吴亮

材料复合的发展趋势是多尺度多组分的精确复合和多层次多功能的精确调控，以大幅提高材料的性能。生命复合材料来自大自然的启示，是大自然生物体中最普遍的现象，具有高效协同的功能特性。将材料与生命物质进行精确复合，伴随着新原理的发现和新功能产生，可为解决能源、环境、医疗健康、生命科学中的挑战提供新思想、新技术、新方法！这一科学思想把具有特殊功能的细胞或生命体引入到材料制备中，创造出具有生命功能的仿生复合材料，从而实现从无生命复合到有生命复合的跨越，具有开创性学术意义和前瞻性应用前景。

“2019新材料国际发展趋势高层论坛（IFAM2019）”首次设置了“材料与生命物质的交叉创新分论坛”，其作为28个分论坛的首个分论坛，意义重大，是我国材料、生物、化学等交叉学科领域影响大、级别高、水平高的重要研讨会之一。该分论坛由武汉理工大学、北京航空航天大学、浙江大学、东南大学和《中国材料进展》杂志社共同承办，江雷院士、张生勇院士、谭天伟院士、陈芬儿院士、郑裕国院士，欧洲科学院、比利时皇家科学院苏宝连院士作分会主席，孙涛垒、李昱、阳晓宇、唐睿康和钱春香教授担任分会秘书长，邀请了14位材料、生物、化学交叉领域知名专家作前沿的学术报告。



朱美芳教授



唐睿康教授



张荻教授



顾宁教授

分论坛开幕致辞



欧洲科学院、比利时皇家科学院苏宝连院士在分论坛开幕式致辞中表示本次分论坛汇聚了国内在材料和生命交叉领域的众多顶尖专家和中青年高层次人才，充分体现了新材料国际发展趋势高层论坛的高端规格。材料与生命物质的交叉是我国面向2035年的颠覆性新材料战略及武汉理工大学材料学科双一流建设的重点领域，也是武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室今后10~15年的重点发展方向。此次分论坛的召开是一次展示新成果、产出新概念、激发新思想的好机会，将促进相关学科领域的蓬勃发展和持久繁荣。

议题焦点：向大自然学习

东华大学朱美芳教授指出广泛存在于自然界中的植物类、甲壳类、贝壳类等生命体均是有机-无机杂化材料，为人工合成和设计杂化材料提供了思路。通过对有机-无机两相界面的调控，融合无机材料的功能性和有机材料的可设计性，可实现“1+1>2”的杂化材料设计与制备。

上海交通大学张荻教授提出“道法自然”的思想理念，以性能为导向，甄选生物序构，设计、创制出材料单元+自然构型的拟态复合及遗态复合材料。受贝壳的强韧化特性启发提出了“微纳砖砌金属构型复合”的学术思路和技术原型。以鲨鱼皮为仿生对象，优化结构设计，制备出了阻力显著降低的鲨鱼皮泳衣。另外，还介绍了以蝴蝶翅膀为仿生对象制备高性能光催化材料方面的工作。

浙江大学唐睿康教授从自然界中的生物矿化现象出发，分别从生物调控材料和材料调控生物两个方面介绍了课题组最新研究进展。提出仿拟自然利用材料来改造生物，如通过对禽流感病毒矿化位点的调控，改变病毒的感染和传播，从矿化态机理角度解释了人会被来自于禽类的病毒感染但病毒不会在人群中传播的原因。介绍了基于矿化材料的新型药物载体进行肿瘤治疗等方面的工作。

中国科学院理化技术研究所王树涛研究员向自然学习研究了几种生物界面上的特殊粘附现象，并受此启发发展了系列仿生粘附可控界面。设计、制备了仿蜻蜓干态粘附材料，解决了传统仿苍耳尼龙粘扣易坏、噪音大等问题。

华中科技大学苏彬教授通过蜘蛛腿上的纤毛结构，仿生制备出了可以感知环境气流变化的传感器。

热烈讨论：新思想与新概念

中国科学院上海硅酸盐研究所施剑林研究员提出了纳米催化医学的新概念，利用纳米颗粒的催化反应进行瘤内氧组分调控进而原位杀死肿瘤细胞，为肿瘤治疗提供了新策略。

日本神奈川大学金仁华教授提出了无机高分子的新概念，认为高分子不应成为有机领域的专属名词，把分子结构引入到无机材料中并结合化学键类型分析，像分子筛等无机材料也可以看成是由单体构筑而成的高分子。



施剑林研究员



冯传良教授



金仁华教授



钱春香教授



2019 IFAM

先进金属结构材料：“老树”在新需求环境下不断开出“新花”

——先进金属结构材料分论坛侧记

文/钢铁研究总院 何西扣

金属结构材料是用量最大的传统材料，历史悠久，是材料的鼻祖。很多人认为金属结构材料是夕阳产业，其实对于特殊钢、钛合金、铝合金、镁合金以及难熔合金等特种合金，建设制造业强国和共建“一带一路”的国家政策和发展任务，为他们提供了大展身手的大舞台。

2019年9月26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛——先进金属结构材料分论坛”在武汉国际会议中心成功召开。本次论坛由钢铁研究总院、中国科学院金属研究所、武汉理工大学、武汉科技大学、北京科技大学、东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室、西北有色金属研究院和《中国材料进展》杂志社承办，由中信金属股份有限公司等单位协办。毛新平院士、潘复生院士和聂祚仁院士担任分论坛主席。分论坛邀请了国内金属结构材料领域17位知名专家，围绕着先进特殊钢、铝合金、钛合金、镁合金和难熔合金等做了精彩报告，所有报告均为领域内的最新研究成果，代表了国内外先进金属结构材料的重点方向和研究水平。

先进特殊钢材料正向高强度、高耐热、高可靠方向不断发展

中国钢研科技集团有限公司刘正东教授介绍了团队自主研制的G115马氏体耐热钢工程化进展情况，G115钢代表火电锅炉马氏体耐热钢的最高水平，是唯一具备工程应用条件的新一代马氏体耐热钢，正在支撑我国全球首台630℃超超临界机组示范工程的建设。宝钢集团研究院王利教授梳理了汽车（轿车）结构钢的百年发展历史、汽车结构钢现状，详细分析了轻质合金发展、汽车驱动能源方式转变对汽车钢的挑战，讨论了目前的研究热点——高强度制造、变形加工方面的难点问题。华北理工大学张福成教授介绍了其团队在纳米贝氏体钢方面的最新研究进展和应用情况，开发的超细/纳米贝氏体钢在轴承、铁路辙叉、耐磨钢板等领域已实现广泛应用。北京科技大学罗海文教授介绍了国民经济建设多个领域对超高强度、高韧性钢材的迫切需求，指出其是一种国内急需而国外也没有的“卡脖子材料”，汇报了其团队研制的超高强高韧热轧中锰钢板及其优异性能。



毛新平院士讲话：“IFAM2019-先进金属结构材料分论坛”今年是第二次设立，旨在促进黑色金属和有色金属之间的交流。2019年分论坛的17个邀请报告，覆盖了基础研究、关键技术研究、工程应用研究，报告精彩、讨论热烈。先进金属结构材料是在一定需求前提下的“老树开新花”，随着需求不断提升，将不断焕发新的活力。特别是随着我国的深空、深地、深海战略的实施，对先进金属结构材料的需求将更加迫切。在未来很长一段时间内，先进金属结构材料仍将是主流的材料。未来的亚洲，特别是中国，将是世界金属材料的创新中心和工程应用中心。

铝、镁、钛及难熔合金材料在轻量化和军工行业应用越来越广

北京科技大学康永林教授介绍了铝合金凝固控制及4G/5G通讯、新能源汽车大型薄壁件流变压铸成型技术的最新研究进展，详细介绍了流变压铸铝合金的模具设计、凝固控制-流变压铸一体化流程及应用情况。上海交通大学曾小勤教授团队汇报了镁合金导热计算、导热镁合金设计准则、高导热镁合金开发方面的研究进展，研制的高导热镁合金已在5G通讯散热模块进行试用。重庆大学蒋斌教授团队介绍了通过预拉伸改性和非对称加工改善镁合金变形加工困难、各向异性严重的研究工作。西部金属材料公司葛鹏教授介绍了低成本装甲钛合金、新型船用钛合金、高工艺性低成本细晶钛合金、高温钛合金、低成本TC4钛合金等军民用钛合金板材的工艺研发、产品开发和性能情况。中南大学范景莲教授介绍了自主研发的微纳复合超高温轻质难熔金属基复合材料的设计思路与应用研究进展，他们提出及攻克了多项制备、加工技术难题，如原位自生界面强化微纳复合技术、梯度复合多相陶瓷涂层及其制备技术、大尺寸复材与大面积涂层工程化制备成套技术和装备、复合刀具-复合加工技术等，研制的产品支撑了新型飞行器、导弹、新一代战机等的发展。



金属冶炼凝固技术、锻轧技术是金属结构材料性能的关键保障

中国科学院金属研究所李殿中研究员介绍了两相区大变形对凝固组织影响的探索性研究成果，通过两相区大变形实验与多场耦合模拟技术相结合，研究了短流程铸锻一体化技术，并实现了初步工程应用。东北大学王昭东教授团队介绍到薄带铸轧技术是铝合金板带材的先进短流程生产方式，且有利于成分均匀和组织细化。但目前仅对纯铝、低合金化铝材料技术开发较成熟，对高合金含量、高性能铝合金的薄带铸轧技术基础研究非常薄弱。同时介绍了团队在该研究方向的多项进展。武汉理工大学华林教授团队在报告中指出，构件制造过程获得宏观性能同时形成微观损伤及缺陷，展示了电磁冲击对钛合金局部微观组织调控、各方面性能提升的研究成果。上海大学任忠鸣教授团队介绍了在金属凝固、铸造各个阶段、各尺度下电磁场影响冶金相变机理的研究成果，包括了磁场影响固液界面、热电磁效应对胞枝晶生长影响、磁场对柱状晶向等轴晶体转变的影响、磁场作用降低3D打印零件残余应力并细化组织等。昆明理工大学杨斌教授团队介绍了通过钙热还原-等离子球化工艺，从二氧化钛直接制备球形钛粉及多孔金属钛；真空熔炼钛合金元素挥发的相关热力学模型研究、TC4熔炼过程中组元Al的成分调控实践；钛废料回收时固溶氧脱除相关研究进展。武汉科技大学张一敏教授介绍了团队多年围绕“钒资源绿色矿物加工”进行的基础研究、技术创新和装备研制，提出了氧化型钒页岩双循环氧化技术和原生型钒页岩一步高温沸腾氧化技术，极大地推动了行业技术进步和绿色发展，并介绍了铁/钒尾渣在线循环利用技术研究进展。

基础研究是推动先进金属结构材料不断进步的钥匙

武汉理工大学吴开明教授介绍到核聚变托卡马克装置的包层结构材料低活化钢的服役环境是高温和强磁场的极端条件，它在长期服役环境下的性能变化、失效与破坏对核聚变反应堆的安全至关重要，报告了Fe基合金材料在高温与强磁场协同作用下元素扩散、相析出、组织转变方面的奇特行为。西安交通大学单智伟教授团队介绍了通过原位电镜观察到的微纳米纯镁样品中锥面位错的交滑移行为，原位电镜对于认知位错行为是非常好的手段，与会专家产生了浓厚的兴趣。

2019 IFAM

材料服役行为是材料科学与工程的重要组成部分,澄清服役环境中材料的损伤机理、认识其损伤动力学过程、评价工程结构的安全性与服役寿命、发展延长寿命的技术(包括研发新材料、表面改性与防护涂层等)是该领域的重要任务。这些问题也是目前高铁、核电、航空、航天、油气、海洋、基础设施等多领域中碰到的难题。

材料服役行为研究：助力国家名片

——材料服役行为分论坛侧记

文/中国科学院金属研究所 王媛

“IFAM2019-材料服役行为分论坛”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,材料学术联盟和国家新材料产业发展战略咨询委员会主办,由中国科学院金属研究所、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中国科学院兰州化学物理研究所、武汉科技大学和《中国材料进展》杂志社承办,国家金属腐蚀控制工程技术研究中心、固体润滑国家重点实验室、中国科学院海洋新材料与应用技术重点实验室、中国科学院核用材料与安全评价重点实验室和中国材料研究学会疲劳分会协办。本次论坛由薛群基先生、柯伟先生、周克崧先生和刘维民先生4位院士担任共同主席,韩恩厚研究员、张哲峰研究员、王立平研究员、周峰研究员和刘静教授担任秘书长。韩恩厚研究员主持了开幕式,薛群基院士进行了开幕致辞,15位来自国内高校、科研院所和企业的材料服役行为专家作了精彩的邀请报告,就材料服役行为领域的发展现状、问题和趋势同与会专家学者等进行了深入的讨论交流。全国50余名材料服役行为研究人员参加了本次论坛。



韩恩厚 研究员



张哲峰 研究员



王俭秋 研究员



刘静 教授



宿彦京 教授

国家名片——核电

中国科学院金属研究所王俭秋研究员提出800合金和690合金在高温高压水中稳定性的差异机制,在含溶解氧的高温水中,铬优先溶解,使690合金丧失高铬的优势。提出在残余压应力区,材料发生应力腐蚀开裂的机制:划伤使690合金表面产生微观缺陷,在高温高压水中发生择优腐蚀,产生的氧化物在缺陷处堆积并在缺陷前端产生局部的拉应力,从而导致应力腐蚀开裂。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所常可可研究员介绍了高温液钠介质中金属表面涂层材料微观结构长期演变的热力学与动力学规律,揭示了材料的原子扩散、相转变与超结构的形成机制及对材料力学性能的影响。研究了腐蚀-磨损交互作用下的摩擦-化学反应膜形成及动态磨蚀机制。

中国科学院力学研究所钱桂安研究员基于最弱链接理论,提出了一种新的局部断裂理论及标定方法,应用于核电反应堆压力容器钢的安全评定,并得到验证,了解理断裂的裂尖约束及尺寸效应问题,进一步对比了新方法与断裂主曲线方法在反应堆压力容器钢断裂评估中的差异。

中国科学院金属研究所韩恩厚研究员采用电化学方法与新发明的核电高温高压水中原位划伤再钝化技术评价了中科院核用材料与安全评价重点实验室研发的3种高熵合金的耐腐蚀性能,与核电站现役耐腐蚀性能很好的690TT镍基合金相比,高熵合金在核电高温高压水中具有良好的耐腐蚀性。在此基础上专门设计了适用于核电站的高熵合金。

国家名片——高铁

中车青岛四方机车车辆股份有限公司林华强高工介绍了铝合金材料在轨道交通车辆车体、转向架、车下设备等主要承载结构工程化应用情况,以轻量化高强铝合金材料国产化历程和地域环境运营服役失效为例,介绍了轨道交通车辆制造行业材料科学与工程学科建设与解决材料腐蚀问题的若干措施。

中车青岛四方机车车辆股份有限公司李忠文高工针对影响车轴安全运行的两个关键问题介绍了主要研究工作:①跟踪了轮座微动磨损区域的形态演变,评估了国内动车组轮座微动磨损状态的安全性;②针对车轴表面发生的损伤,结合有限元计算和全尺寸车轴台架试验,研究了不同深度缺陷的非扩展行为及裂纹扩展剩余寿命,同时提出了高速铁路车轴发展亟需解决的科学问题。

东北大学谢里阳教授介绍了铝合金结构部件性能与材料试样性能之间的关系。用结构部件上各关键部位的疲劳强度/高应力部位的疲劳寿命最小极值统计量表示结构部件的疲劳强度/寿命分布,建立了存在多个高应力部位的大型结构部件的疲劳强度/可靠寿命模型。

服役行为基础研究与先进损伤控制技术

中国科学院金属研究所张哲峰研究员提出以循环滞回能作为疲劳损伤参数,预测内燃机活塞与缸盖材料疲劳寿命。以疲劳韧性作为金属材料抗疲劳设计的内在性能参数,疲劳损伤转化因子作为评价金属材料疲劳损伤转化程度参数,对发展和制备耐高温低周疲劳与热机械疲劳损伤金属材料具有指导意义。

天津大学陈旭教授介绍了在455 °C对2.25Cr-1Mo-V钢进行了一系列低周疲劳、棘轮疲劳及蠕变-棘轮疲劳试验后,讨论应变幅、应力水平、加载率、保持时间及保持方向对其变形行为和疲劳寿命的影响。

中国科学院兰州化学物理研究所乔竹辉研究员设计制备了系列高韧-润滑一体化陶瓷基复合材料,有效提高了陶瓷的韧性和宽温域范围内的摩擦学性能,并介绍了其增韧减磨机理研究成果。

河南科技大学宋克兴教授设计并制备了颗粒增强铜基复合材料,揭示了颗粒特征参量与铜基复合材料力学性能和导电性能的内在关联,以及颗粒特征参量对铜基复合材料载流摩擦磨损性能的影响规律;揭示了制备工艺对铜基复合材料综合性能及载流摩擦服役效能的作用机制。

北京科技大学宿彦京教授介绍了等静压对氢原子在金属表面的吸附及基体内的扩散过程的影响。通过第一性原理计算模拟发现,等静压降低吸附氢原子进入金属次表层的能垒,促使吸附氢原子进入金属次表层,从而增加材料中的氢浓度,导致深海环境的氢脆。

厦门大学林昌健教授介绍了不锈钢的耐腐蚀机理模型,从钝化膜组分、结构、缺陷状态等关键要素阐明不锈钢耐腐蚀机制,并发展了一种可大幅度提高不锈钢耐腐蚀性的表面电化学技术,大幅度增强不锈钢耐局部腐蚀能力,还推出了一种新型的不锈钢防护专用涂料。

武汉科技大学刘静教授通过添加单一以及复合脱氧剂作为夹杂物改性剂,试制出了亚微米级夹杂弥散分布的试验管线钢,通过理论计算分析并结合试验测试,给出了耐腐蚀钢的临界夹杂物尺寸。经测试,新研发的控制夹杂物后的钢种具有良好的抗氢致开裂(HIC)性能。



薛群基院士致开幕词 材料损伤机制不仅是作基础研究论文,更要为器件设计提供帮助。我们要把大部分的研究力量放在基础研究上,重点安排青年科技力量研究材料损伤机理、损伤预防、预测和模型等方面。除了“三深”(深空、深海、深地)领域的重大工程材料损伤之外,也希望生物工程领域的材料损伤能引起足够重视。微电子领域、能源电池领域的电磁场、海水、辐照、超高真空等环境下的材料损伤研究异军突起,很高兴有众多年轻专家参与关注。腐蚀、磨损和疲劳虽然是古老学科,但新的工业技术需求将提出新的要求,需要更多年轻人进行基础研究。

2019 IFAM