

# 研制基体材料防护“新衣”，打造关键部件可靠“屏障”

——先进防护涂层材料与制备分论坛侧记

文/ 北京航空航天大学 刘冬瑞 何健



涂层可以赋予部件表面不同于基体材料的功能特性，为基体材料提供耐温、耐蚀、耐磨或隐身等特种功能，从而保障部件在各种复杂环境中的长时、可靠服役，涂层已经在航空、航天、船舶、核电、交通等领域发挥了重要的作用。近年来，面向国家重大需求，我国在防护涂层材料与界面设计、表征方法以及先进制造技术方面取得了重要进展。

2019年9月26日，在江城武汉“2019新材料国际发展趋势高层论坛（IFAM2019）”举行之际，北京航空航天大学、武汉理工大学、东北大学、武汉材料保

护研究所、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、广东省新材料研究所、西北有色金属研究院以及《中国材料进展》杂志社专门组织并承办了“先进防护涂层材料与制备分论坛”。分论坛围绕我国在涂层领域的前沿进展、发展趋势、存在问题及相关对策等展开研讨，邀请了国内14位知名专家就先进防护涂层的创新设计、制备技术、组织调控与服役演变等热点问题作了精彩报告。来自国内高校、科研院所、航发集团等单位的近百位专家学者、研究人员和青年学生参加了本次分论坛。与会人员就热障涂层、阻燃涂层、铝化物涂层、非晶涂层和耐高温硅树脂等多种涂层材料的关键科学技术问题进行了激烈的交流和讨论，促进了各研究单位的沟通与合作，激励了青年研究人员积极投入先进防护涂层的研究。值此建国70周年之际，先进防护涂层材料的研究者们借一场学术盛会庆祝祖国母亲的伟大生日，为祖国早日实现“中国梦”的目标做出材料人自己的贡献！

**北京航空航天大学宫声凯教授致开幕词** 欢迎大家来到江城武汉参加本次会议！这里有老面孔，也有很多新面孔，希望通过这次会议大家能和老朋友重聚，也认识一些新朋友，一起为防护涂层的发展努力！



## 精彩报告

**北京科技大学乔利杰教授** 针对涂层对金属基体力学性能的劣化作用尤其是降低基体疲劳寿命的问题，研究了膜致基体开裂的机理，认为涂层与涂层的开裂两者协同抑制了金属近表面的局部塑性变形，诱导了韧性基体中解理裂纹的萌生与扩展，导致基体开裂。据此提出了通过添加过渡层等方式降低裂纹在涂层中的扩展速度，缓解膜致基体开裂现象，解决涂层降低基体疲劳寿命问题的方法。

**西安交通大学李长久教授** 就多组元陶瓷材料等离子喷涂中的成分演变规律进行了讲述，介绍了 $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 等陶瓷材料在喷涂过程中的颗粒尺寸效应，提出有效抑制优先蒸发、获得成分均匀涂层的基本策略是使用不发生涡旋对流传质的较大尺寸粉末。

**北京矿冶研究总院于月光研究员** 介绍了航空发动机“钛火”问题的产生原因和解决措施，提出了“隔”、“阻”、“导”、“滑”的复合阻燃涂层设计理念，据此设计并成功制备了“NiCrAl抗氧化粘结层+YSZ陶瓷隔热层+Ni基/BN可磨耗封严层”的三层结构复合阻燃涂层，可满足400~750℃下的使用需求。



**武汉理工大学曹学强教授** 介绍了等离子喷涂对稀土铝酸盐晶体结构的影响，稀土铝酸盐涂层在烧结和热处理过程中会发生晶化，长出片状晶，释放应力，因此热导率低、抗热震好。曹教授团队围绕稀土铝酸盐的稀土改性、涂层无定形相的调控、抗热震性能和失效机理等进行了细致的研究。

**中国科学院宁波材料技术与工程研究所王立平研究员** 阐述了了适应苛刻环境强化防护涂层体系的创新设计和应用。团队针对极端情况下材料的学-电-化学-热耦合的强耦合损伤问题，开发了湿热环境适应性 $\text{MoS}_2$ 强化薄膜、高硬度 $\text{TiSiN}/\text{Ag}(\text{Cu})$ 薄膜等，提出多元复合协同以及精细结构的调控是发展高性能超高硬度功能薄膜的共性基础。亟待开展应用中的多因素耦合失效行为与寿命预测评估。

**广东省新材料研究所张小锋高工** 代表刘敏教授，介绍了团队在等离子物理气相沉积（PS-PVD）热障/环境障涂层方面的研究进展。利用热焰探针和原子发射光谱研究PS-PVD等离子射流的特性，提出了YSZ热障涂层的沉积机理，探索了其相应的工程化应用。同时对PS-PVD环境障涂层、固体氧化物燃料电池和透氧膜进行了探索性研究。

**北京航空航天大学郭洪波教授** 团队以高温金属防护涂层与单晶基体的互扩散问题和由此引发的单晶基体力学性能下降问题为出发点，设计研制了Pt/Re、Pt/Ru等多种适用于单晶表面的阻扩散涂层，结合模拟计算提出了Pt/Re、Pt/Ru阻扩散机制，该类涂层有望在1200℃超高温条件下获得应用。

**哈尔滨工业大学姜波教授** 从耐高温杂化树脂制备方法、树脂的光固化方法、超支化硅树脂的合成、聚合体系引发机制及引发效率、纤维增强硅树脂基复合材料制备技术等方面详细地介绍了自己团队在耐高温硅树脂涂层领域的研究工作。

**武汉材料保护研究所吴勇研究员** 介绍了空心叶片内孔CVD法制备铝化物涂层技术，包括硅改性、钇改性铝化物涂层的制备及其抗高温氧化、抗热腐蚀性能以及铝化物涂层对空心叶片力学性能的影响。此外，介绍了其自主研发的CVD系统装备，利用该装备可以在空心叶片内孔制备连续、均匀的铝化物涂层。

**西北有色金属研究院李争显研究员** 介绍了团队近年来在钛合金表面技术方面的研究进展。团队对钛合金采用表面加工、表面装饰、添加涂层、电活性处理、无氢渗碳等不同的处理方式，有效提升了钛合金耐蚀、耐磨、阻燃等能力，使钛及钛合金满足不同服役环境的应用需求。

**华中科技大学柳林教授** 指出，非晶合金由于强度高、耐腐蚀、易成型，作为海洋耐蚀涂层具有很大潜力。全面介绍了团队在非晶涂层方面的研究，包括非晶涂层的制备、空气和深海中的耐蚀性能、抗冲击性能、冲刷耐磨性能、疏水性能、抗辐照特性等。非晶涂层有望在海洋工程领域获得广阔应用。

**东北大学陈明辉教授** 详细介绍了王福会教授团队数十年来在纳米晶涂层方面的研究工作。纳米晶涂层大幅度提高了高温合金的抗氧化性能，同时避免了涂层与合金基体的界面元素互扩散，其纳米结构的高温长时稳定性可以通过晶界调控实现，因此有望成为高温防护涂层发展的新方向。

**上海交通大学赵晓峰教授** 介绍了高性能热障涂层粘结层结构材料的设计，包括Y均匀分布的MCrAlY涂层的设计与实现以及高熵抗氧化粘结层材料的设计两方面研究工作，为新型热障涂层粘结层的研制提供了新的思路。

**中国航发沈阳黎明发动机有限责任公司王璐研究员** 从工程应用一线角度介绍了航空发动机各零部件对功能涂层技术的需求。对国内航空发动机涂层技术在工程化应用中存在的问题进行了分析，提出了可磨耗封严涂层、高温防护涂层和隐身涂层等几大类涂层的重点研究方向。



2019 IFAM



# 聚焦“新”电池，赋能新时代

## ——能源电池材料分论坛侧记

文/武汉理工大学 左旭日 陈仁鹏 / 北京理工大学 黄茹玲 陈人杰

能源、信息、材料被誉为是现代文明的三大支柱技术。作为我国新能源汽车、智能电网、航空航天等战略新兴产业发展中必不可少的部分，以锂离子电池为代表的高性能储能器件及关键材料的发展日益得到重视。“2019新材料国际发展趋势高层论坛——能源电池材料分论坛”在美丽的江城武汉顺利召开。本次分论坛由中国工程院化工、冶金与材料工程学部和材料学术联盟、国家新材料产业发展战略咨询委员会等单位主办，由国家高技术绿色材料发展中心、北京理工大学绿色能源研究所、科技部“973”计划高性能二次电池项目组等单位联合承办。旨在聚集能源电池材料方面的技术专家、科研人员等群体，共同探讨新能源电池材料的现状及未来发展趋势，并促进电池材料技术的创新和应用，从而推动中国新能源材料技术由大国向强国迈进。分论坛由北京理工大学吴锋院士主持，邀请到12名来自各高校、科研院所的报告人分别从电池安全性问题、正极材料的设计与制备、电解液及固态电解质的创新、高性能负极材料的构筑以及储能器件方面的成果进行了深入地交流与探讨。

**分会主席吴锋院士总结发言：**新能源汽车行业对于电池的价格以及性能要求越来越高，基于多电子反应机制的新电池体系构筑和关键材料的突破非常重要；在电池固态化研究方面，既是热点也是难点，还有很多关键技术亟待攻克，需要科研人员一步一步去实现，每个人做出一点创新，不断积累，就是很大的进步！



吴锋 院士

## 精彩报告



艾新平 教授

**武汉大学艾新平教授**详细分析了引起动力电池热失控从而导致安全性事故频发的诱因，提出了提升材料和界面的热稳定性、构建浓度梯度材料、提高电极表面钝化膜热稳定性等改善途径与策略，并且给出了关于政策与法规方面的建议。

**武汉理工大学麦立强教授**系统介绍了在纳米线全固态电化学器件方面的研究工作：采用单根纳米线器件原位表征电子/离子输运机制，分析输运与容量衰减的内在联系；通过分级纳米线界面设计协同提升电极结构稳定性和电输运性能；采用电子/离子双连续通道调控电子与离子的协同输运，改善电化学反应动力学，取得了电子/离子的双连续新效应。



马紫峰 教授

**上海交通大学马紫峰教授**阐述了以钠离子电池为代表的新电池体系的研究工作：相比于锂离子电池，钠离子电池有着资源丰富、成本低廉、环境友好、面向大规模储能有效应用等特点；提出了一套高能量密度钠离子电池从研发到评价再到实际生产的规范；通过优化电解液的溶剂与钠盐体系，有效改善了电极与电解质的界面问题，制备了具有长循环寿命的钠离子全电池样品。

**重庆大学李莉教授**针对燃料电池体系中高成本贵金属铂的应用瓶颈问题，提出了开发成本低廉空气电极的研究思路；通过盐重结晶紧约束法、双金属低共熔盐紧约束法等方法研制开发出多种氮碳催化剂，有效改善了原有电极较少活性位点和低功率密度等不足。



麦立强 教授

**北京化工大学杨卷博士**介绍了以煤/渣油/石油焦为原料，创新研制出新结构高性能的碳材料；将结构杂乱的煤通过“分子剪裁”的策略，制备出具有规整结构和高附加值新型碳材料。

**太原理工大学杨哲伟博士**针对高容量金属硫化物导电性弱、稳定性差等问题，复合石墨烯制备得到用于固态超级电容器的高性能复合材料；并通过结构调控，利用物理/化学吸附限域作用以及催化效应，有效改善了锂硫电池中存在的穿梭效应，显著提升了循环稳定性能。

**南方科技大学邓永红教授**主要从电极表界面与电解液的副反应出发，探究了商用成膜添加剂以及高温添加剂的作用机理；系统分析了VC作为添加剂在负极表面形成致密SEI膜并抑制电解液酯交换反应的机制；PS作为添加剂可抑制金属离子溶出，提高电解液抗氧化分解的能力。

**北京理工大学苏岳锋教授**分别从库伦效率低、动力学阻滞、电压滞后、容量衰减、电压衰减、高电压循环6个方面介绍了富锂锰基材料的电化学核心问题，给出了有效的解决方法，并提出研发高比能正极材料是提升锂离子电池能量密度的核心问题。

**青岛大学郭向欣教授**阐述了各类固态电解质的优缺点，针对当前固态电池研究领域中国-固界面等关键科学问题，系统介绍了课题组在锂镧锆氧固态电池及关键材料方面的研究突破和创新思路。

**中国科学院物理研究所禹习谦研究员**基于传统的钴酸锂正极材料，系统深入地研究其失效机理，通过改性策略的优化设计合成出新型高电压钴酸锂正极材料，并提出采用钴酸锂为正极材料构筑固态电池新体系的创新思路。

**华中科技大学黄云辉教授**系统阐述了当前新能源汽车用动力电池的挑战主要集中在能量密度的提高、安全性能的改善、循环寿命的延长、制备成本的降低等方面；介绍了硅基负极、金属锂负极、锡合金负极等新型负极材料的研究现状与挑战，提出了构筑稳定金属锂负极材料的创新策略。

**天津大学冯奕钰教授**阐述了锂-氟化碳电池的研究意义和创新思路，通过调控氟碳原子比、氟碳键键型、微纳结构、碳源种类、引入单层氟化石墨烯纳米材料研制开发出高性能锂-氟化碳电池。



陈人杰 教授

本文成文之际，2019年诺贝尔化学奖授予了约翰·B·古迪纳（John B. Goodenough）、斯坦利·惠廷汉（M. Stanley Whittingham）和吉野彰（Akira Yoshino），以表彰他们在开发锂离子电池方面做出的卓越贡献，他们的创新工作被誉为“创造了一个可充电的世界”。面向未来科技创新的持续发展和人类社会的不断进步，高性能的新电池体系及关键材料的研发将继续前行、任重道远！



邓永红 教授



苏岳锋 教授



郭向欣 教授



禹习谦 研究员



黄云辉 教授

2019 / IFAM



# 高分子链接交叉前沿，造福国民生计

## ——先进高分子材料分论坛侧记

文/湖北大学 雷巍巍

2019年9月26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛——先进高分子材料分论坛”在武汉成功举办。蹇锡高院士、王玉忠院士、王琪院士、谭天伟院士担任分论坛主席，张立群教授、黄险波教授、解孝林教授、李光宪教授、徐坚教授担任分论坛秘书长。分论坛邀请了16位高分子材料领域资深专家围绕耐高温尼龙、双连续聚合物合金、杂化微球，老化失效、隔热、血液净化、诊疗、自组装和介电等方面展开报告和讨论。

“先进高分子材料”是指具有相对独特的物理化学性能，适用于特殊领域或特定环境，面向节能环保、可持续发展等战略新型产业发展、国民生计需要且市场短缺的各类高分子合成材料，或传统高分子材料中的特殊品种，广泛应用于国防军工及国民生产生活的各个领域。在国际竞争日益激烈的背景下掌握核心科技愈发重要，高分子材料科研工作者需合力突破技术障碍、推进自主创新、抢占前沿发展机遇。

## 改性/制备/失效机理

**金发科技股份有限公司张传辉博士** 采用沉淀聚合方法，合成了半芳香尼龙聚对苯二甲酰癸二胺（PA10T）。解决了传统熔融聚合方法因高温而导致的副反应难抑制的问题，实现了PA10T万吨级的全球最大产业规模。

**大连理工大学张守海教授** 阐述了基于含氮杂环类双酚单体，设计合成了新型杂萘联苯聚芳醚高性能高分子材料，研究了杂萘联苯聚芳醚结构与性能的关系，制备了耐高温的高效分离膜和新能源用的高性能离子交换膜。

**武汉大学蔡杰教授** 介绍到甲壳素具有巨大的潜在应用价值，但天然状态下，甲壳素难以溶解和熔融加工。其课题组成功实现了甲壳素在KOH/尿素水溶液中的直接快速溶解，同时还避免了复杂化学合成引起的工艺稳定性差、有机溶剂带来的高成本和溶剂残留等潜在问题。

**湖北大学施德安教授** 通过调控增溶剂SMA的分子量和MAH的含量，成功实现了SiO<sub>2</sub>选择性分布在两相界面处。当把SiO<sub>2</sub>换成ZnO时，进一步通过选择性溶剂二甲苯刻蚀PS相，可得到ZnO粒子孔洞表面优先分布的PA6/ZnO多孔抗菌材料。

**四川大学李光宪教授** 介绍了其对高分子材料在复杂服役环境中老化规律的部分研究工作，该工作是基于临界失效应变及自由体积变化的服役寿命预测方法，以及石墨烯与抗氧化剂协同作用的防治新方法等。



李光宪 教授

## 导热/导电/生物医用

**江南大学刘天西教授** 以高性能聚酰亚胺作为基体，以氧化石墨烯作为交联剂、调孔剂和增强相，通过溶胶-凝胶、冷冻干燥等步骤，制备了聚酰亚胺/石墨烯复合气凝胶。该气凝胶具有优异的力学与隔热性能，比模量可达229.9 MPa·cm<sup>3</sup>·g<sup>-1</sup>，最低导热率可达28 mW·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>。



王锦艳 教授

**大连理工大学王锦艳教授** 从“树脂分子结构-复合材料性能”关系出发，设计合成多种耐高温芳基均三嗪结构邻苯二甲腈树脂基体。所制备的石英纤维增强邻苯二甲腈树脂基复合材料具有稳定的高温宽频介电性能和优异的耐高温性能。



刘天西 教授



顾军渭 教授



程已雪 教授

**西北工业大学顾军渭教授** 介绍了导热高分子复合材料的设计构筑、导热填料的制备、表面功能化接枝改性、本征型高导热树脂基体的合成、高分子导热复合材料的性能调控以及导热机理的完善和发展等方面的研究。

**四川大学赵长生教授** 以提高材料在治疗过程中的生物安全性出发，提出仿生肝素功能基团，设计制备类肝素聚合物分离膜和类肝素凝胶微球，提高了材料的抗凝血性能和血液相容性，同时保证了材料的生物相容性。研发出自抗凝血液净化膜材料和各种特异毒素吸附材料。

**武汉大学程已雪教授** 将多肽和核酸适配子等功能基团引入天然高分子中，合成了系列功能化天然高分子衍生物，通过自组装备备了多种基于天然高分子及其功能化衍生物的传递系统，用于多种核酸治疗剂的传递。

## 信息/驱动/传感

**浙江大学谢涛教授** 介绍了含可逆键的聚合物网络由于其网络拓扑结构的重组能力而表现出的塑性（不可逆）变形行为。这种固态塑性有别于传统的热塑性及热固性聚合物，我们称之为热适应性聚合物。进一步阐述了这类新型聚合物的分子设计、物理机理以及不同于其它聚合物的宏观行为，在此基础上，介绍了这类材料的功能与应用。

**复旦大学武利民教授** 基于有机-无机之间的静电作用、酸碱共价键相互作用等机制构筑了一系列杂化胶体微球及其空心微球，在此基础上进一步探讨了微球新的性能和应用。

**上海大学刘轶教授** 介绍了全息高分子纳米复合材料是基于相干激光聚合诱导相分离制备的一类具有周期性结构的高分子纳米复合材料。提出了“光引发阻聚剂（photoinitiator）”的新概念，建立了相干激光聚合诱导相分离的数学模型，实现了全息高分子纳米复合材料的裸眼3D彩色图像储存。

**北京航空航天大学陈爱华副教授** 介绍了嵌段共聚物（BCP）由于可微相分离自组装形成丰富的微结构而被广泛研究。以PS-*b*-PMMA为骨架，引入液晶基元，制备了PS-*b*-PMMAz嵌段共聚物。该BCP旋涂成膜后，140 °C退火5 min可得到垂直取向的柱状结构和层状结构。



陈爱华 副教授



宁南英 研究员

**北京大学沈志豪教授** 介绍了离子凝胶是由交联聚合物网络和室温离子液体所构成的一种新型功能材料。利用ABA型三嵌段共聚物在离子液体A嵌段的自发聚集行为，将具有聚集诱导发光效应（AIE）的四苯基乙烯（TPE）分子引入三嵌段共聚物中，含TPE的嵌段会自发聚集形成物理交联点，可制备得到AIE发光离子凝胶。

**北京化工大学宁南英研究员** 介绍了介电弹性体驱动器（DEAs）具有形变大、响应时间短等优势，是新一代电话性聚合物驱动器发展的重点。其课题组致力于介电弹性体微观结构与机电性能的研究，设计制备了一系列新型高介电常数、低损耗、大电致形变的介电弹性体材料。



先进陶瓷及陶瓷基复合材料是目前材料科学中最活跃的领域之一，其作为新材料的重要组成部分支撑着我国高新技术产业、国防工业以及国家重大工程等领域的发展，带动传统产业和支柱产业的升级改造与更新换代，是我国七大战略新兴产业和“中国制造2025”重点发展的十大领域之一。先进陶瓷及陶瓷基复合材料正向高性能、高可靠性、功能集成、环境友好、低成本等方向发展。

## 先进陶瓷及陶瓷基复合材料：从基础研究到工程应用

### ——先进陶瓷及陶瓷基复合材料分论坛侧记

文/武汉理工大学 王恒 张帆 傅正义

“2019新材料国际发展趋势高层论坛——先进陶瓷及陶瓷基复合材料分论坛”由武汉理工大学、中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院金属研究所、北京航空航天大学、武汉科技大学和《中国材料进展》杂志社承办。分论坛邀请了15位知名专家就高品质陶瓷原材料合成、新体系与新结构设计、先进制备技术、多功能复合原理、大尺寸/复杂部件加工技术、工程化应用及特殊环境服役行为等方面研究进展和关键问题作了精彩报告。开幕式由傅正义教授主持，张联盟院士致辞，王京阳研究员、马朝利教授和李亚伟教授、汪长安教授主持了学术报告环节，董绍明研究员作闭幕式总结。



王京阳 研究员



马朝利 教授



李亚伟 教授



汪长安 教授

**分论坛主席张联盟院士寄语：**希望参加本论坛的陶瓷及相关材料的科技工作者能够相互促进、相互启发、共同进步，共同促进该领域的进一步蓬勃发展，为实现伟大的中国梦贡献自己的力量。

### 精彩报告

**中国科学院上海硅酸盐研究所董绍明研究员**介绍了团队基于材料所处服役环境的特点和性能要求，从制约材料耐温性能和使用寿命的本质问题入手，设计长时及超高温服役等功能特异性纤维增强陶瓷基复合材料，开发了低成本高性能超高温陶瓷基复合材料和长寿命陶瓷基复合材料制备技术，实现了材料/部件在国家多个重点工程任务中的应用。

**中国建材检验认证集团包亦望研究员**提出了用涂层法形成表层压应力，推导涂层应力的计算公式和预应力优化设计准则；通过基体和涂层的弹性模量和热膨胀系数，利用无压烧结实现陶瓷构件表面残余压应力的形成。发现该预应力设计能显著提高陶瓷弯曲强度，且不受材料形状和尺寸限制。

**中国科学院上海硅酸盐研究所黄政仁研究员**介绍了团队在先进碳化物陶瓷材料制备、结构设计和性能调控等方面的研究，从材料复相设计、晶界设计、应力设计、结构设计等角度发展了一大类具有不同性能特点的先进碳化物陶瓷；建立了系统的理论体系；突破了米级大尺寸、复杂形状碳化硅光学部件的关键制备技术。

**中国科学院金属研究所王京阳研究员**提出了多功能热障/环境障涂层的新思路，系统研究了稀土硅酸盐材料受高温水蒸气和熔融氧化物腐蚀的行为，建立了腐蚀性能变化规律与稀土元素的关联，探索了高温腐蚀时材料内禀惰性的新机理。可用于指导航空发动机用先进环境障涂层的稀土元素优选及性能精准调控。

**东华大学张国军教授**介绍了国内外高熵陶瓷的研究进展及团队合成的多种高熵陶瓷材料及其初步性能表征，包括高熵硅化物、高熵碳化物、高熵硼化物陶瓷、高熵TBC材料，以及相关高熵陶瓷基复合材料等。

**哈尔滨工业大学何培刚教授**介绍了核废料固封用无机聚合物常用的激发剂、活性陶瓷粉体、分散剂，报告了无机聚合物转化法制备先进陶瓷的聚合机理，以及模拟放射性Cs<sup>+</sup>/Sr<sup>2+</sup>固封方面的研究进展。

**清华大学汪长安教授**采用热压烧结技术制备了SiC/ZrB<sub>2</sub>陶瓷基复合材料，分析了增韧相的种类和添加量对ZrB<sub>2</sub>陶瓷强韧化效果的影响。采用放电等离子烧结制备的ZrB<sub>2</sub>基层状复合陶瓷，表明层状结构设计可较大幅度提高ZrB<sub>2</sub>陶瓷的断裂韧性。

**西安交通大学杨建锋教授**介绍了团队以蒸发凝聚为原理、晶种诱导为手段通过物理气相传输制备的高纯致密碳化硅陶瓷，研究了原料、衬底、晶种对碳化硅陶瓷组织和性能的影响，实现了对碳化硅陶瓷晶粒尺寸的控制和材料性能的协同设计和优化。

**北京航空航天大学马朝利教授**阐述了连续纤维增强陶瓷基复合材料结构单元（纤维、陶瓷基体、界面相）的原位性能与复合材料宏观性能的映射关系所遵循的力学原理，以及工艺技术对这种复合材料全面优化设计的制约特性。

**武汉科技大学李亚伟教授**介绍了不同碳源对碳化硅晶须形成的影响；并通过在含碳耐火材料制备中引入特定碳源或过渡金属催化剂，原位可控制备碳化硅晶须，显著提高了含碳耐火材料的热学和力学性能，并将该技术成功应用于高炉长寿用炭砖、连铸用铝碳滑动水口等耐火材料。



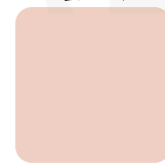
董绍明



包亦望



黄政仁



张海军



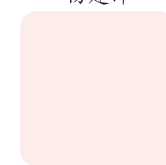
杨建锋



涂溶



王皓



王皓

**中国科学院上海硅酸盐研究所姚东旭研究员**分析了影响氮化硅基板热导和强度的各种因素——氮化硅陶瓷基板材料的组分设计、成型工艺和烧结等，并对国内氮化硅基板的研究现状进行了讨论。

**南京工业大学陆春华教授**针对高温光热转换材料光谱选择性不强、高温易氧化失效等问题，基于“电子、晶体、表面结构等跨尺度复合设计及光谱性能调控”思想，开发了选择吸收钙钛矿光热转换陶瓷。

**武汉理工大学张海军教授**介绍了莫来石柱晶自增强、镁铝尖晶石、硅藻土、氮化硅及氮化硅结合碳化硅多孔陶瓷的发泡-注凝成型法制备、力学和隔热性能；以废塑料为原料，通过催化裂解塑料原位生成CNTs的方法对多级孔陶瓷进行表面改性，制备了超疏水三维多孔陶瓷吸附材料。

**武汉理工大学王皓教授**发展了第一性原理结合键价理论的新方法，指导尖晶石型MgAlON透明陶瓷的设计和制备；发展了复杂固溶体晶体结构解析方法，建立了描述晶体本征性质的化学键参数定量模型；构建了尖晶石固溶体组成-结构-性能关系，实现透明结构陶瓷机械、光学、热学等性能的调控。

**武汉理工大学涂溶教授**介绍了激光化学气相沉积工艺对3C-SiC薄膜微观结构的影响机制，通过控制微观结构，获得适用于半导体外延、碳化硅-石墨烯导电、高比电容、超疏水涂层的3C-SiC薄膜。



# 开拓创新，方兴未艾，金属基复合材料发展迎来新的春天

## ——先进金属基复合材料分论坛侧记

文/上海交通大学 马 薇

金属基复合材料是空天技术、能源、电子通讯和交通运输等领域装备技术更新换代中不可或缺的关键材料，其应用广度、生产发展的速度和规模，已成为衡量一个国家材料科技水平的重要标志之一。金属基复合材料作为先进复合材料的重要分支，支撑着我国高新技术产业、国防工业以及国家重大工程的跨越式发展，发展前景广阔。近年来，随着我国装备制造业的振兴，金属基复合材料的发展迎来了前所未有的活跃，新材料、新技术层出不穷，研究队伍迅速壮大，我国的金属基复合材料领域迎来了一个蓬勃的发展时期。

2019年9月26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛——先进金属基复合材料分论坛”在武汉国际会议中心成功召开。本届论坛由上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室、哈尔滨工业大学金属复合材料国家地方联合工程实验室、北京有色金属研究总院、中国科学院金属研究所、武汉科技大学材料与冶金学院和《中国材料进展》杂志社承办。本论坛邀请国内10家单位的13位知名专家作精彩特邀报告，分享本领域最前沿技术和成果，并针对我国金属基复合材料发展现状、构型设计与制备、工程应用等问题与参会学者进行深入的交流讨论。上海交通大学欧阳求保研究员、河北工业大学崔春翔教授、中国科学院金属研究所马宗义研究员、西安工业大学李建平教授主持本次论坛。



梁淑华 教授



赵乃勤 教授



欧阳求保 研究员



崔春翔 教授



马宗义 研究员

# MATERIALS CHINA



**主持人李建平教授总结发言：**本次论坛汇集了国内金属基复合材料领域最权威的专家学者，报告水平非常高。从国家“973”计划项目实施以来，我国金属基复合材料的科研成果非常显著。主要体现在，金属基复合材料发展从铝基到镁基、钛基、铜基，从深空探测、登月工程到深海潜水工程，从结构到功能都遍地开花。另外，我国金属基复合材料的理论研究深度已走在国际前沿，我们打破原有单纯实验模式，发挥计算仿真的理论指导意义，更加注重材料的构型设计，真正体现了材料的复合。可以说我国金属基复合材料发展迎来新的春天，希望我国金属基复合材料越做越强，研究团队越来越壮大。最后特别感谢参会专家奉献精彩报告。

## 采用原位自生法制备复合材料已成为当前材料制备发展的主流趋势

河北工业大学崔春翔教授分享了纳米晶原位Al基复合材料孕育剂变质细化Al-Si-Mg合金的研究成果。上海交通大学欧阳求保研究员制备的碳化硅颗粒原位自生碳纳米管增强铝基复合材料具有高模、高强、高塑性的优点。西安工业大学李建平教授采用外加微米尺度增强体与固液原位反应自生纳米增强体相结合的复合技术制备了高温强度与疲劳性能超越传统铝合金材料的微纳粒子混杂增强铝基复合材料。上海交通大学吕维洁教授主要介绍了对原位自生钛基复合材料的精密加工技术的基础理论研究成果。



沈平 教授



李志强 研究员



肖伯律 研究员



张学习 教授

## 构型化设计成为制备先进复合材料的有利途径

天津大学赵乃勤教授通过对碳纳米材料网络构型的设计及复合新工艺的研发，制备三维碳纳米网络增强铜基复合材料，并分享了对不同类型碳纳米网络的复合材料的微观组织-力学性能关系的研究成果。吉林大学沈平教授受珍珠贝精细层状“砖-泥”结构和优异强韧性的启发，采用冰模板-熔渗技术制备了系列仿生层状金属陶瓷复合材料，为制备和加工一系列高性能大尺寸仿生结构材料提供新思路。上海交通大学李志强研究员则以表面预先复合碳纳米管或石墨烯的微纳铝片为结构基元，通过自组装堆砌，仿生制备具有类似“砖-泥”结构的CNT/Al、GNS/Al复合材料，相比均匀构型的同类材料展现出更好的模量、强度以及塑性。中国科学院金属研究所肖伯律研究员通过构建逼真的虚拟三维微观结构，并在此基础上为增强体和基体设置合理的弹塑性本构关系，建立了一种更为准确的预测颗粒增强金属基复合材料力学性能的有限元模型。哈尔滨工业大学张学习教授采用全新的建模技术构建网状复合材料几何模型，并结合有限元数值模拟技术，研究了网络结构参数对复合材料力学性能的影响规律。

## 金属基复合材料优良的性能，基本满足我国重大领域的战略需求

欧阳求保研究员为“嫦娥二号”、“嫦娥三号”、“玉兔号”提供铝基复合材料共计材料及部件18种。马宗义研究员攻克先进金属基复合材料板材、棒材等的塑性加工技术难题，制备的构件支撑了火星探测工程对高性能材料的需求。李建平教授研制的微纳粒子混杂增强铝基复合材料相比传统材料具有优异的综合性能，成功用于我国军事装备武器。吕维洁教授为航天领域提供高性能钛基复合材料及构件，研制的轻质高强高模原位自生钛基复合材料，还可用于我国深海无人潜航器耐压壳体。以上重大成果基本满足了我国航天、国防、深海探测领域发展对高性能材料的重大迫切需求，为打破国际上的技术封锁、材料禁运做出了贡献。



王新刚 教授

此外，中国科学院金属研究所马宗义研究员结合实验与模拟仿真对金属基复合材料的变形加工行为进行了细致研究，系列成果将为金属基复合材料大型构件的高效、绿色加工制造提供指导。西安理工大学梁淑华教授结合反应铸造法中原位反应充分的特征与粉末冶金技术中结构可设计性的特征，提出了双束熔体雾化制粉与粉末冶金相结合的铜基复合材料新型制备方法。华中科技大学吴树森教授针对液态搅拌铸造法，加入超声振动处理，展示并分析了纳米颗粒SiC<sub>np</sub>增强Al-5Cu铝基复合材料的组织与性能。长安大学王新刚教授介绍了采用包套热轧工艺在普通轧机上制备WCu20合金薄板的研究工作，制备的材料满足集成电路对于电子封装材料的要求。



吴树森 教授

2019 / IFAM



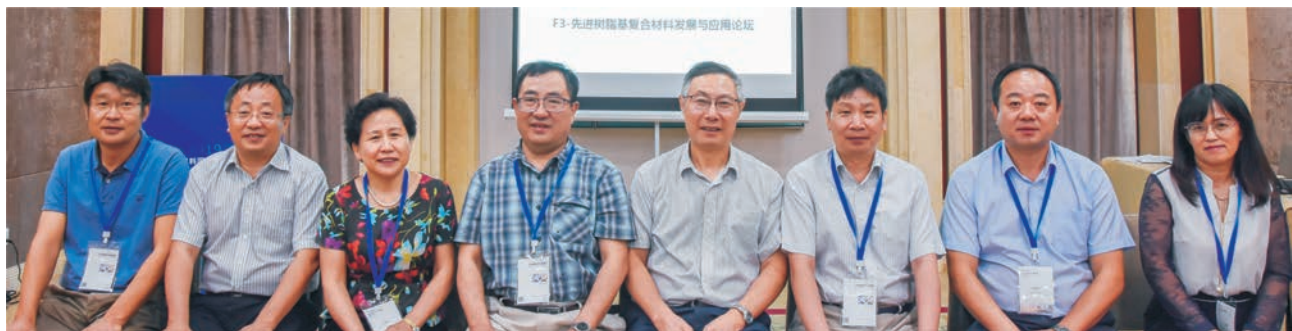
先进树脂基复合材料是由有机高分子基体材料与高性能纤维增强材料经过特殊成型工艺复合而成的具有新性能的材料。所得复合材料的综合性能往往优于原组成材料,具有比强度高、比刚度高、质量轻、耐腐蚀、可设计性强、整体成型和多功能一体化等优点,拥有一加一大于二的效果。目前在军民用大型飞机上,复合材料的用量进一步增大,先进树脂基复合材料已经发展成为关键的结构和结构功能一体化材料。进入新世纪,先进树脂基复合材料是现代武器装备及高性能民用设备不可或缺的重要组成部分,是材料研究的重点领域之一。

## 优势互补 一加一大于二的智慧

### ——先进树脂基复合材料发展与应用分论坛侧记

文/中国航空制造技术研究院复材中心 王耀宗

2019年9月24日,“2019新材料国际发展趋势高层论坛——先进树脂基复合材料发展与应用分论坛”在武汉顺利召开。分论坛共邀请9名国内知名学者作了学术报告。报告内容精彩纷呈,紧紧围绕先进树脂基复合材料发展现状及最新研究应用进展的主题,探讨了先进树脂基复合材料技术与产业面临的机遇与挑战。报告不仅指明了先进树脂基复合材料的发展方向,提出了产学研结合、军需牵引、民用推广的思想,也对研究进展中的关键技术难题展开了激烈的讨论。中国航空制造技术研究院邢丽英研究员、中国兵器工业集团第五三研究所魏化震研究员和中航复合材料有限责任公司包建文研究员主持了分论坛。中国工程院陈祥宝院士致开幕词,并表示相信论坛中碰撞出的思想火花将会照亮先进树脂基复合材料未来发展的新征程。



### 精彩报告



**中国航空制造技术研究院邢丽英研究员** 梳理了目前复合材料行业发展现状,指出碳纤维研发和生产龙头企业缺乏、制造工艺装备落后、原材料基础薄弱是其存在的主要问题。为此,复合材料工作者应紧紧围绕国家重大专项需求,以军民融合为依托,培养更多人才,建立健全复合材料产业链。



**航天材料及工艺研究所冯志海研究员** 提出通过表面设计形成氧化层以实现阻氧抗氧化,以及由热疏导热管理等角度出发的新的设计思路。最后强调防热与

结构材料应向着高性能化方向发展,力学性能、压缩性能需进一步提高。为此,科技工作者应投入更多精力物力,加强理论研究,开发新的防热技术。

**中国科学院化学研究所赵彤研究员** 介绍了邻苯二甲腈树脂及其复合材料。在分子设计方面,可通过调节分子量、向酚醛树脂侧链中引入腈基官能团、合成含氟单体等多种手段获得不同功能的系列邻苯二甲腈树脂单体。在配方调控方面,可通过加入低熔点改性剂、增韧颗粒等对复合材料性能进行改进。在工艺优化方面,该树脂体系适合制成预浸料或以RTM成型,用于厚壁制件的制造。该复合材料构件已在我国航天领域有所应用。



**中材科技股份有限公司朱建勋教授** 介绍了我国玻璃纤维产业从无到有、从小到大、从弱到强的3个发展阶段。指出目前我国玻璃纤维技术水平和产量均为世界领先,制备技术已完成从坩埚拉丝到池窑的转变。强调了虽然我国玻璃纤维产业发展迅猛,但存在附加产品欠缺、应用发展能力较弱、高档装备不足等问题。未来玻璃纤维产业发展将扩大新产品种类、扩大应用产品种类、打开下游产品市场。

**中国兵器工业集团第五三研究所魏化震研究员** 提出了装甲防护车辆对复合材料的需求,指出目前业界共发展了三代抗弹复合材料。但国内发展较国外先进水平仍有差距,芳纶II纤维需进一步提高综合性能和降低成本,并向系列化和应用方向研究发展。

**北京化工大学武德珍教授** 介绍了北京化工大学和江苏先诺新材料科技有限公司自主研发的聚酰亚胺纤维。该纤维具有高强高模、耐高低温、耐紫外辐射、低吸水、低介电、阻燃等性能,纤维拉伸强度可达4.0 GPa,拉伸模量可达160 GPa,且拉伸强度和拉伸模量均可调。聚酰亚胺纤维与树脂基体有良好的界面结合性,制备的复合材料有望应用于航空航天核工业以及警用民用等多种领域。

**成都飞机设计研究所张庆茂研究员** 从现代飞行器结构设计的需求出发,介绍了飞机相关结构对耐高温复合材料的迫切需求。鉴于聚酰亚胺复合材料具有轻质、整体化、耐高温、功能复合等特点,因此有望应用于飞机相关结构。聚酰亚胺复合材料相较钛合金可有效实现产品减重的目标,同时降低结构装配难度,具有广阔的应用前景。

**北京化工大学李刚研究员** 介绍了该课题组自主研发的一系列树脂基体和树脂胶膜。树脂用途涉及高强碳纤维专用树脂、高模碳纤维专用树脂、低成本制造专用树脂、结构粘结树脂胶膜。该课题组研发的树脂种类较多,应用分类详细,有望实现推广应用。

**中国商飞上海飞机制造有限公司陈萍研究员** 介绍了新成立的中国商飞复合材料中心的具体情况,同时阐述了材料鉴定的要求。进一步指出目前商飞公司在复合材料领域取得较多进展,已完成典型平尾结构、典型机翼壁板梁、典型机身结构的设计制造攻关。



### 精彩瞬间

先进树脂基复合材料在军民领域的应用日益广泛,已经发展成为一类关键的结构和结构功能一体化材料,但同时也面临着很多机遇和挑战。今天,本论坛邀请了多位国内复合材料领域知名专家对先进树脂基复合材料的现状和未来发展进行研讨,共同推进复合材料产业的发展。希望大家都能有所收获。

—— 陈祥宝院士

欢迎大家参加先进树脂基复合材料发展论坛,对先进树脂基复合材料学科和产业的未来发展进行讨论。感谢各位专家学者提供复合材料各专业方向的综述性发展趋势报告,使大家有机会对先进树脂基复合材料在航空航天以及民机应用领域的相关问题进行探讨。复合材料是一个朝阳专业,希望大家在本次论坛中有所收获,也希望今后有更多年轻人从事复合材料专业,把复合材料技术发扬光大。

—— 邢丽英研究员



2019 IFAM





以水泥混凝土为代表的建筑材料是世界上用量最大的材料，也是支撑我国基础设施建设以及一带一路、海洋大开发等重大战略实施的关键基础材料。在现今全球气候变化和能源紧张的严峻形势下，现代建筑材料发展的主要方向是绿色化和功能化。

## 支撑重大工程建设 设计建筑绿色未来 ——绿色与功能建筑材料分论坛侧记

文/武汉理工大学 胡传林 饶美娟

2019年9月26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛——绿色与功能建筑材料分论坛”在武汉国际会议中心顺利召开。会议由武汉理工大学胡曙光教授、中国建筑材料科学研究总院欧阳世翥教授、东南大学廖昌文院士以及中国建筑材料科学研究总院姚燕教授担任主席。与会的19位报告人分别从混凝土耐久性、改性水泥基材料、固废资源化以及水泥基材料碳化等方面进行了探讨与交流，对现代建筑材料绿色与功能化进行了充分的解析。

### 讨论热点：建筑材料耐久性问题

随着我国一带一路战略的实施，在西部与海洋地区兴建了大量的重大基础设施，混凝土的耐久性尤其是严酷环境下的耐久性问题成为诸多学者的研究热点：

**东南大学廖昌文院士** 团队深入研究严酷环境下的混凝土耐久性问题，从硫酸盐腐蚀、氯离子传输以及钢筋锈蚀角度分析混凝土结构破坏机理，并提出混凝土外防护措施、提高基体抗渗性能手段以及钢筋阻锈途径。

**北京工业大学李悦教授** 从微观、细观以及宏观尺度分别研究了硫酸盐环境下混凝土材料多尺度力学性能特点，提出硫酸盐侵蚀下净浆、砂浆、混凝土弹性模量预测模型以及单轴抗压实验的数值模拟。



**论坛主席胡曙光教授寄语：**建筑材料产业是我国建筑、交通、水利、电力、能源等行业发展的重要支撑产业。本届绿色与功能建筑材料分论坛涉及水泥基材料应用的方方面面，取得了很好的进展和突破，希望我们广大的建材同行、专家、青年学者以及同学们能够继续努力，使我们的建材行业朝着更加绿色、智能、环保、安全的方向迈进。



### 讨论焦点：碳化技术在建筑材料中的应用

**香港理工大学潘智生教授** 介绍了团队在利用碳化养护技术进行增强处理再生骨料方面的研究。加速二氧化碳（CO<sub>2</sub>）气体与再生混凝土骨料表面水泥砂浆中的活性成分之间的碳化反应，反应产物可以在一定程度上填充老旧砂浆中毛细孔和微裂缝，从而降低再生骨料的吸水率和压碎值，增加其表观密度。利用碳化处理后的再生骨料制备的混凝土产品，力学性能和耐久性能得到了显著改善。

**湖南大学史才军教授** 的报告题目为“利用二氧化碳生产高性能混凝土及制品”，总结了近期在CO<sub>2</sub>养护混凝土、CO<sub>2</sub>表面处理砂浆和CO<sub>2</sub>强化再生骨料等方面的研究工作。CO<sub>2</sub>养护混凝土是在有水环境中CO<sub>2</sub>可与水泥颗粒之间发生一系列化学反应。利用CO<sub>2</sub>技术制备绿色建筑混凝土制品，具有养护周期短、力学性能和耐久性能优异等特点。

**河南理工大学管学茂教授** 团队针对难以利用的冶炼氧化铝的废渣-拜耳法赤泥，低温合成了以C<sub>2</sub>S为主要组成的C<sub>2</sub>S-C<sub>4</sub>AF-C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>体系的新型胶凝材料，在其碳化硬化特性、反应热动力学规律、微观形貌和结构等方面的研究成果做了详细讲解。同时，结合对其水化硬化的特性研究，发现其通过短期碳化养护再水养护后可以具备更好的力学性能。



### 亮点内容

**中国建筑材料科学研究总院姚燕教授** 指出，建筑材料工业是我国国民经济重要的基础原材料制造业。我国建材行业面临结构失衡、整体产能过剩、局地严重过剩、污染物排放总量高等突出问题。就目前正在承担的总理基金课题“建材领域大气污染防治及调控政策研究”，针对典型建材区域分布和产排污节点形成了系列主要污染物控制技术与治理技术。发布的《打赢建材行业大气污染防治攻坚战实施方案》《水泥行业去产能行动计划（2017~2020）》等政策措施，坚持以建筑材料行业绿色发展为基础，以标准为导向，细分行业政策，推进建筑材料产业结构调整。

**澳门大学李宗津教授** 提出绿色混凝土先进技术与材料一定要以终端用户的需求来设计。将纳米科学和量子力学等引入了混凝土研究中，从水泥水化产物C-S-H本身的纳米结构出发，采用先进表征技术和模拟技术，利用密度泛函将C-S-H基本原理揭示出来，得到它的模型，并通过第一性原理设计新型水泥基材料，从而提高水泥基材料的力学性能与耐久性能。

**北京建筑大学宋少民教授** 介绍和解析了《高性能混凝土用骨料》标准体系，围绕机制砂细度模数、累计筛余、颗粒粒形的优化控制、机制砂混凝土配合比设计方法等方面的质疑、研究、观点和理念与会议代表进行了交流与分享。



### 热议话题

**深圳大学董必钦教授** 针对滨海混凝土材料综合劣化的原因和自修复技术的发展，提出硫铝酸盐微胶囊技术、微生物自修复技术、化学自修复胶囊、自免疫微胶囊智能等修复技术，成功实现“开裂”——“离子侵蚀”——“锈蚀”——“裂缝修复”——“离子固化与调节”——“锈蚀抑制”，为滨海混凝土劣化抑制提供了新的途径。

**东南大学钱春香教授** 提出钢渣稳定高效利用的手段——微生物矿化技术，通过微生物的特殊性作用，能够显著发挥钢渣较高的碳化活性，达到节能减排与固废资源化双重目标。并且成功取得了免泛碱清水混凝土和钢渣建筑材料的微生物矿化技术，研发了系列生态性微生物胶凝材料。

2019 IFAM



# 电子信息功能材料分论坛侧记

文/清华大学 王 瑞

2019年9月26日，“2019新材料国际发展趋势高层论坛——电子信息功能材料分论坛”在武汉国际会议中心顺利召开。分论坛由清华大学、中国科学院半导体研究所、电子科技大学、武汉理工大学、华中科技大学、中国科学院微电子研究所和《中国材料进展》杂志社联合承办。清华大学潘峰教授、中国科学院半导体研究所陈弘达研究员、电子科技大学邓龙江教授和华中科技大学缪向水教授担任主持。与会的18位报告人分别从高重复频率飞秒光纤激光及应用、分子印迹气敏传感材料及器件、忆阻器材料及器件研究、新型半导体材料等方面进行了探讨和交流。



## 报告精彩瞬间

**华南理工大学杨中民教授** 飞秒激光已广泛应用于工业加工、光谱测量、科学研究以及医疗等领域。杨教授介绍了飞秒光纤激光的发展现状、团队取得的高重复频率的飞秒光纤激光研究成果，并对飞秒光纤激光在超快测量等领域的应用进行了分析与展望。

**云南大学柳清菊教授** 分子印迹技术被称为“分子钥匙的人工锁”技术，可针对被测气体分子，设计出与之在形状、大小和官能团上均互补的传感材料，使材料具有专一识别性，提高其对待测气体的灵敏度。团队结合湿化学方法，以甲醛、苯、丙酮、甲醇等挥发性有机化合物为模板分子，制备出针对上述气体的高选择性有机/无机杂化气敏材料及传感器，实现一种到多种污染气体的同时检测，克服了传统器件灵敏度低、选择性差、检测气体单一等不足，可有效拓宽气敏传感器的应用。

**华中科技大学缪向水教授** 忆阻器是一种新型低功耗的信息存储与计算一体化器件，为构建突破冯·诺依曼瓶颈的新型计算机架构提供了一种崭新的思路和器件基础。缪教授介绍了忆阻器的机理、制备及其材料特性的研究进展，实现了基于忆阻器的逻辑运算和类脑计算功能。

**中国电子科技集团公司赖占平研究员** 半导体材料主要用于先进的微电子和光电子器件，是电子信息产业和武器装备信息化的物质基础。处于基础研究前沿的新型半导体材料主要指禁带宽度大于4.5电子伏特的超宽禁带半导体材料，包括氮化铝、金刚石、氧化镓单晶等，由于这些材料所固有的优越物理性能，将在微波大功率器件、高性能电力电子器件、日盲紫外探测器件、固态紫外激光器、紫外LED等领域具有重要应用。

**中国科学院苏州纳米研究所徐科研究员** III族氮化物半导体材料具有优异的光电特性，氮化镓是宽带微波通信的关键材料，发展高质量的氮化镓材料成为产业发展的关键。项目团队在氮化镓单晶生长的基础上，对比分析气相法和液相法两种方法，在2~6英寸的氮化镓单晶生长方面取得了进展，包括材料的掺杂调控与同质外延生长，并对III族氮化物同质外延技术在未来光电子和电子器件的应用前景和产业发展趋势方面进行了展望分析。

**清华大学段炼教授** 有机发光显示（OLED）技术发展迅速，有望成为新一代主流的显示技术。团队围绕有机发光显示的新机制、新材料开展了长期的研究，提出了热活化敏化发光的新型发光机制，制备出低电压、高效率、低效率滚降、长寿命的OLED器件，发展出多种高稳定性的有机发光材料。在TADF蓝光材料研究中，提出引入大位阻基团抑制三线态淬灭的设计思路，大幅度提高材料效率和稳定性。

**上海交通大学邓涛教授** 电子封装材料是电子器件热管理的关键，基于金属基复合材料设计新型热传导器件并实现与高功率电子器件的应用集成是未来高性能散热器件发展的方向。邓教授介绍了团队在前沿交叉领域的热传输气液相变高导热器件的最新研究进展及其在高功率电子器件封装系统的应用，包括构筑多级通道材料，金属基材料表面微纳米结构，化学修饰微纳米结构表面，以及针对中高温电子芯片的先进热管理材料的探索及应用。

**电子科技大学林媛教授** 氧化物由于其特殊的多场耦合特性，在传感器领域有着重要的应用。林教授介绍了团队在基于VO<sub>2</sub>、钙钛矿氧化物和氧化物/半导体异质结的可延展柔性器件的制备和性能调控，并讨论构建新型器件的可能性，氧化物器件可延展柔性化，将极大地拓展这类器件在新领域中的应用。由于氧化物的电学、光学等物理性能常常与应力应变有非常紧密的关联性，可延展柔性化设计也为氧化物材料和其物理性能的研究提供了新的平台。

电子信息功能材料分论坛每位报告人都围绕各自的研究内容与参会代表进行了深入的讨论交流，主持人潘峰教授在认真听取了18位报告人的报告后作总结发言，诚挚感谢每一位报告人精彩的学术报告。他指出，随着5G移动通信时代的到来，各国积极发展先进的电子信息材料技术，每位科研者应积极合作，共同推进我国信息材料的创新发展。



杨中民



柳清菊



缪向水



赖占平



徐科



段炼



邓涛



林媛



徐晨



秦勇



郝华



李红浪



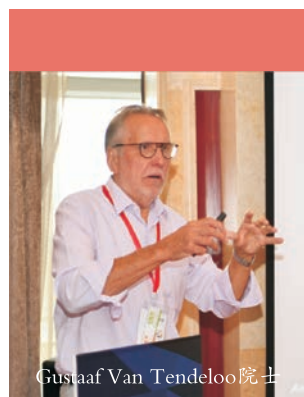
# 材料界面之超微观表征：“镜”中观乾坤

## ——材料界面、微纳分论坛侧记

文/太原理工大学 郭俊杰/陕西科技大学 郝晓东 张 帅

材料界面是材料组织的重要组成部分，对能量传递和物质输送起着十分重要的作用。通过特定的合成、制备、调控、改性等研究方法，可精确调控材料界面的化学组成、原子分子排列与超微观组织结构，能够直接影响材料的物理与化学性质，以及其在诸多领域的应用范围。目前，基于球差校正电子显微学技术，以及在光、热、电、力等外场作用下原位分析技术的发展，可实现对原子尺度下的材料合成、器件制备与加工、组织结构与成分的原位观察及对物理化学性质及性能的实时分析，对探索材料性能的超微观结构起源发挥着至关重要的作用。

“材料界面、微纳论坛”是历届“新材料国际发展趋势高层论坛”系列会议的重要活动之一。从2015年开始，已经连续举办5届，是我国材料界面结构表征领域影响大、级别高、水平高的重要研讨会之一。“2019新材料国际发展趋势高层论坛——材料界面、微纳论坛”于2019年9月26日在武汉国际会议中心成功召开。本次论坛由太原理工大学新材料界面科学与工程教育部重点实验室、武汉理工大学、武汉大学、中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家（联合）实验室、陕西科技大学材料原子-分子科学研究所、西安交通大学微纳尺度材料行为研究中心、清华大学北京电子显微镜中心、浙江大学电子显微中心和《中国材料进展》杂志社承办。分论坛邀请到叶恒强院士、朱静院士、张泽院士、王海舟院士和万立骏院士作为分会主席，许并社教授、马秀良研究员、单智伟教授、王建波教授和郭俊杰教授担任分会秘书长。分论坛邀请了国际电子显微学领域领军人物、比利时皇家艺术与科学院院士Gustaaf Van Tendeloo，16位国内电子显微学领域的中青年专家和捷欧路（北京）科贸有限公司的苗澍工程师做了本领域最前沿的学术报告。



Gustaaf Van Tendeloo院士



贾春林教授



马秀良研究员



**分论坛秘书长许并社教授总结发言：**本次（第五届）“材料界面、微纳论坛”邀请了18位报告专家，特别是世界电镜专家Gustaaf Van Tendeloo院士、贾春林教授和马秀良研究员，以及有很多后起之秀。论坛报告集中在二维材料、纳米功能材料、能源材料等研究热点，以及利用先进的球差校正电子显微技术、原位表征分析技术对材料科学领域的一些传统认识提出了新的观点，都是十分精彩的报告。大家的讨论也很积极，我感觉这点非常好。

“2020年新材料国际发展趋势高层论坛”将在北京召开，明年“材料界面、微纳论坛”不仅涉及基础材料，还将分享智能材料、认知材料、生物材料等研究领域的界面相关的前沿成果。我们期待有更多的年轻专家参与，希望分会不断丰富和壮大。

## 精彩报告

**西安交通大学贾春林教授** 分享了结合像差校正电子显微技术探讨**功能氧化物薄膜界面工程**的实例。利用像差校正透射电子显微技术，可以在原子尺度描述功能氧化物薄膜界面的精细结构，为其超微观结构调控提供重要的理论依据。

**中国科学院金属研究所马秀良研究员** 报告了利用像差校正透射电子显微技术在**金属钝化膜结构及其氯离子击破机制**方面的最新研究进展。研究成果为揭示氯离子与金属钝化膜的交互作用机制提供了直接的实验证据，为完善钝化膜击破理论提供了原子尺度的结构信息。

**中国科学院金属研究所陈春林研究员** 结合扫描透射电子显微技术（STEM）和第一性原理计算等方法，在采用不同沉积方法制备的MgO和Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>陶瓷薄膜材料中发现了一种**新型的亚稳态相：一维有序晶体**，更新了人们对固态物质结构的认识。一维有序晶体的发现表明固态物质结构的种类比人们的已有认知更加丰富，并且新结构的物理性质与相应常见结构类型具有显著差异。

**浙江工业大学朱艺涵教授** 为解决大部分孔材料对电子束极其敏感所导致无法采用电子显微镜表征的难题，采用超高灵敏的直接检测相机和低剂量成像技术，可以**直接观察对电子束敏感的孔材料的局域结构**，如表面、界面和缺陷等，为研究电子束敏感孔材料的构效关系提供了有力的证据。

**南方科技大学林君浩副教授** 利用球差校正透射扫描电子显微镜（STEM）中的汇聚电子束，**激发二维材料中的缺陷产生动态演变**，同时在原子尺度下观察它们重构的动态过程。通过对电子束的扫描路径进行编程控制，甚至能操纵缺陷的演变方式从而在二维材料中创造出新的纳米结构。

**武汉理工大学吴劲松教授** 通过原位高分辨率透射电子显微技术和密度泛函理论计算（DFT）研究Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>电极在**第一次充电（脱锂）过程中的结构演变和氧损失机理**，对设计新型的、高容量的锂金属氧化物电极材料有着很大的启发。



**浙江大学王江伟研究员** 介绍了利用原位纳米力学实验揭示不同界面变形的原子机制，从原子尺度揭示了**金属材料的界面变形行为及其微观机制**，对利用界面结构调控设计高性能材料具有重要意义。



**武汉大学郑赫副教授** 利用球差校正透射电子显微技术针对在能源存储及环境净化方面有重要应用的金属氧化物（包括Li-Mn-O、CuO、SnO<sub>2</sub>等）的结构缺陷进行原子尺度的系统性表征，为**金属氧化物构效关系的建立及应用设计**提供重要的借鉴。

