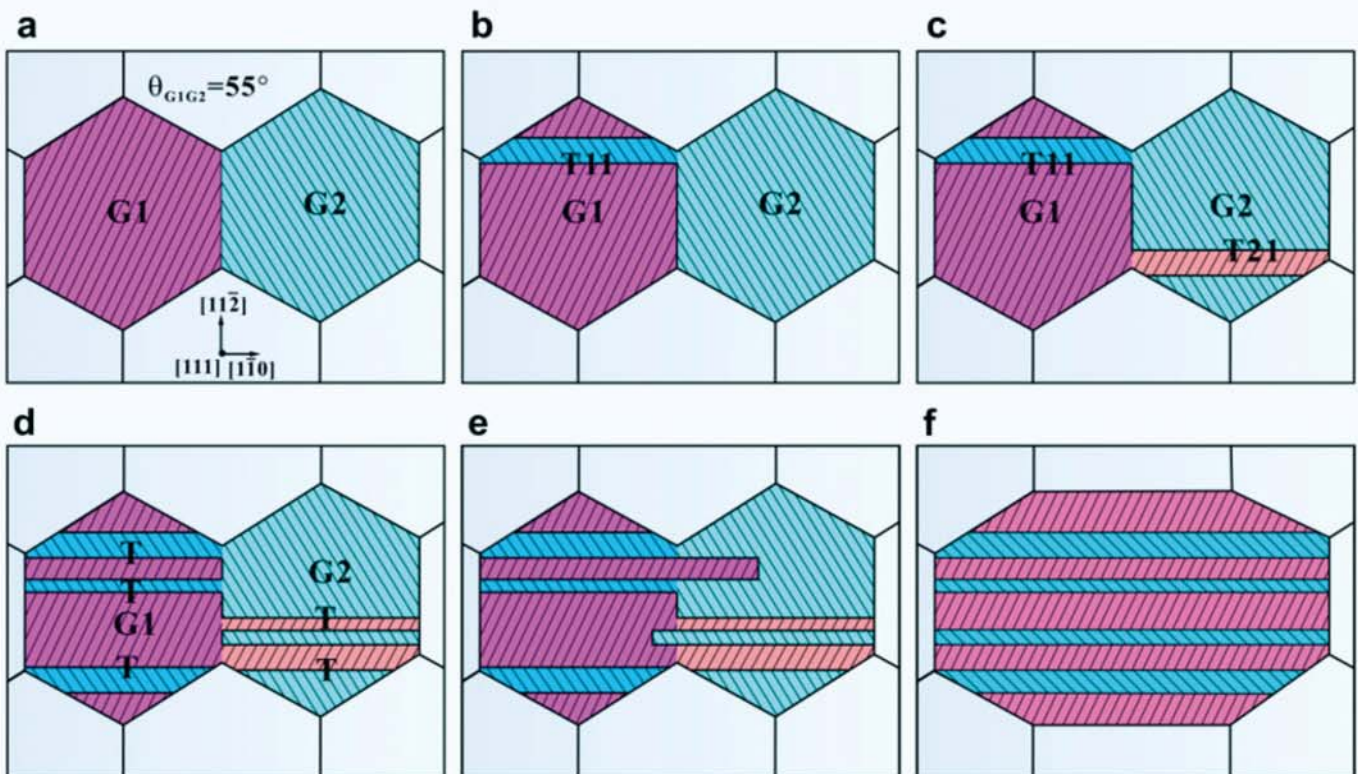


## 疲劳加载下纳米尺度金属 薄膜晶粒长大机制研究获新进展



# 疲劳加载下纳米尺度金属薄膜晶粒长大机制研究获新进展

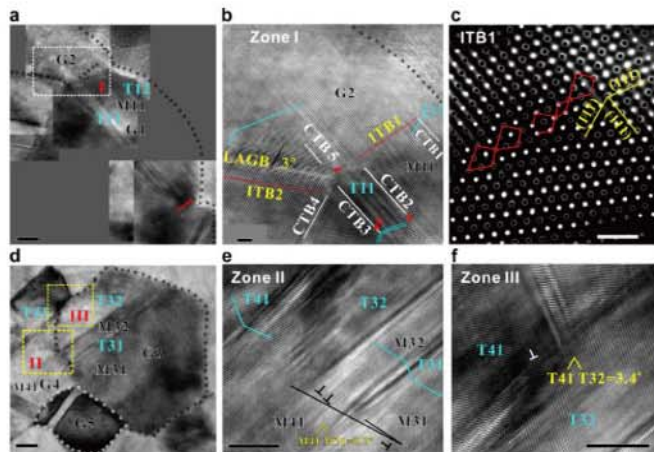


图1 循环加载后的20 nm厚金薄膜微观形貌观察。a、d为带有多重孪晶的粗化晶粒；b、c和e、f为相应区域的放大图。标尺：a、d-f为5 nm，b、c为1 nm。

在多晶金属中，尽管晶界具有阻碍位错运动、强化材料的重要作用，但当材料的晶粒尺寸减小到纳米尺度时，晶界将变得不稳定。主要表现为：室温下的各种机械加载（单向拉伸、疲劳、压痕加载等）能够诱发明显的晶粒长大和晶界迁移。另一方面，由于晶粒尺寸的减小，面心立方金属中不全位错运动及由此而引发的孪生行为变得更加突出。关键的科学问题在于：纳米尺度下晶粒长大/晶界迁移是否与这个尺度下的孪晶形成有关？如果有关，孪晶形成在晶粒长大过程中扮演怎样的角色？

最近，沈阳材料科学国家（联合）实验室材料疲劳与断裂研究部张广平研究员领导的课题组（包括博士生罗雪梅和朱晓飞副研究员）通过对纳米尺度面心立方结构的金薄膜疲劳加载下晶粒长大原子尺度的观察与理论分析，揭示了孪生辅助纳米晶粒长大的物理机制。这项研究发现，室温下的疲劳加载导致平均晶粒为19nm的20nm厚金薄膜中晶粒长大；同时，发生孪生的晶粒数目明显增加。大多数长大的晶粒中出现了纳

米尺度的多重孪晶。通过原子尺度的观察和分析发现：纳米孪晶的形成是辅助晶粒长大的一个有效方式。这一物理过程为：疲劳加载下孪晶的形成可以逐渐改变晶粒的局部取向，并促使晶界分解为易迁移的片段（图1）；随着循环周次的增加，两个晶粒通过相互的孪晶形成以及晶界的不断分解，逐渐合并长大为一个晶粒。为此，科研人员提出了一个循环加载下“孪晶辅助纳米尺度金薄膜晶粒长大”的全新物理机制（图2）。

这一研究结果的意义在于：一方面，清楚地揭示了疲劳加载下孪晶辅助纳米晶粒长大的基本机制及这一机制下存在

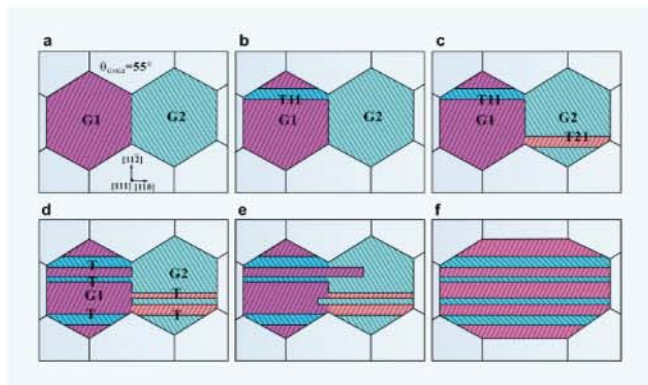


图2孪晶辅助纳米晶粒长大的物理机制示意图

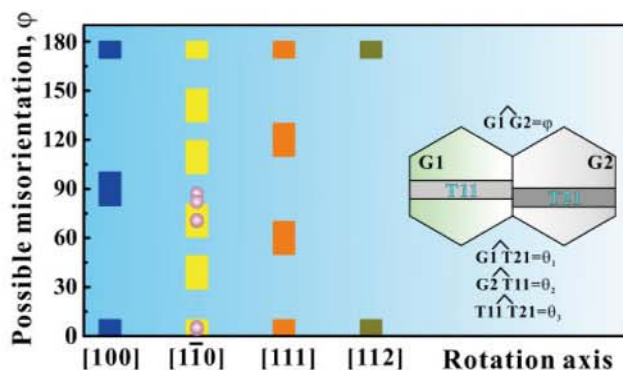
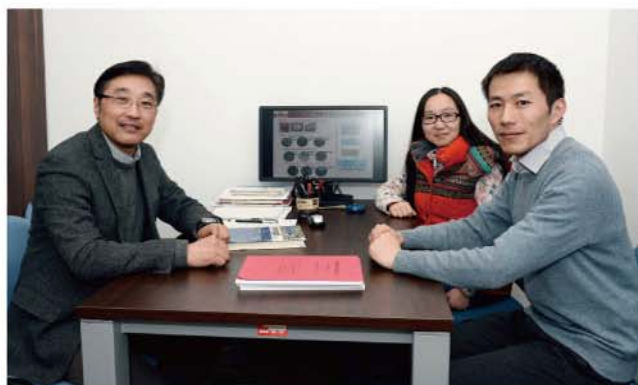


图3适合孪晶辅助纳米晶粒长大的晶粒取向差关系

的晶粒取向差关系(图3)，阐明了孪晶辅助纳米晶粒的有限长大能够在一定程度上消耗循环塑性、减缓疲劳损伤形成，从而对金属薄膜疲劳强度的提高具有显著作用；另一方面，对纳米尺度金属薄膜及纳米晶金属材料的晶界设计及晶界稳定性的利用与调控，发展高强度、高疲劳可靠性的结构金属材料具有重要的参考价值。

相关论文已于1月3日在线发表于《自然-通讯》上(Nature Communications 5:3021(2014), DOI: 10.1038/ncomms4021)。

本研究得到国家自然科学基金、科技部“973”计划项目以及沈阳材料科学国家（联合）实验室导向项目的资助。



张广平研究员（左）和博士生罗雪梅（右二）、朱晓飞副研究员（右一）

# 全钒液流电池电极活性及影响机制研究

大力发展风力发电和太阳能发电，是实现减少温室气体排放进而控制环境恶化的有力措施。但风力发电和光伏发电的输出不稳定、不连续，随着这类能源所占比重的增加，对电网的安全运行构成了影响。通过储能把不稳定的输出变成满足入网要求或使用要求的电能，是这些可再生能源进一步发展的关键。此外，储能也是发展分布式供能和智能电网不可或缺的元素之一。与其它二次电池相比，全钒液流电池（钒电池）具有功率与容量相互独立、可深度充放电、安全性好、寿命长等优点，是满足规模储能需求的最主要、最可行的技术之一。

电极作为钒电池活性物质—各价态钒离子进行电化学反应和能量交换的场所，是决定电池整体工作性能的关键之一。碳材料的电化学窗口宽、导电性高、化学稳定性好、比表面积大（采用碳毡形式的电极），而且价格低廉，是作为钒电池电极的合理选择。然而，钒离子通常在碳电极上的反应速率较低，在正负极上反应能力存在明显差异，且反应机制至今不甚清楚。因此，系统地研究和揭示钒离子在碳材料上的电极反应特性，认识其电化学活性及其控制机制对于钒电池技术发展具有显见的意义。

金属腐蚀与防护国家重点实验室应用电化学团队，在实验室基金、省市科技计划，尤其是973课题（电极材料的结构、性能优化及电极过程动力学研究，2010CB227203）的支持下开展了相应研究工作。

碳电极活性与其表面的官能团有关，但一般化学或电化学处理难以获得对电极的显著改性效果。研究团队通过用含有特定官能团的物质来处理电极表面或制备复合电极，使相应的电化学活化和催化作用得以突出显现。主要技术方案为：采用多壁纳米碳管（MWCNTs）、羟基化多壁纳米碳管（-OH MWCNTs）、羧基化多壁纳米碳管（-COOH MWCNTs）和石墨烯等修饰玻碳电极，或以氧化石墨与石墨制备氧化石墨-石墨复合电极，再予以电化学、组成和结构的表征分析。

以石墨烯、多壁碳管、羟基化多壁碳管、羧基化多壁碳管修饰后玻碳电极的循环伏安实验结果如图1所示。相较于未进行功能化的原始碳管，羟基化碳管和羧基化碳管表现了较优异的电化学活性。

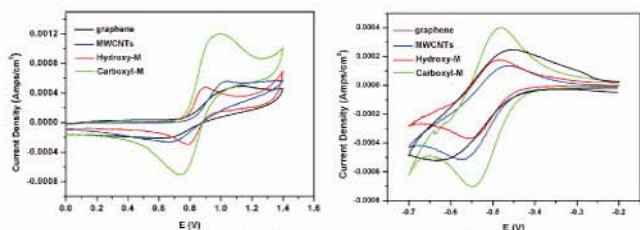


图1 不同修饰处理电极的循环伏安结果

在石墨与氧化石墨所构成的复合电极中，氧化石墨含量低于3wt%时，随其含量增加复合电极的电化学活性增加，

但高于3wt%后，复合电极的电化学活性增加趋缓。这显然是由于氧化石墨含量的增加一方面使电化学反应活性位点增多，而另一方面却使复合电极的导电性降低。

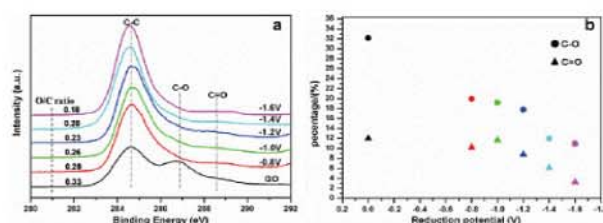


图2 电化学还原氧化石墨的XPS分析

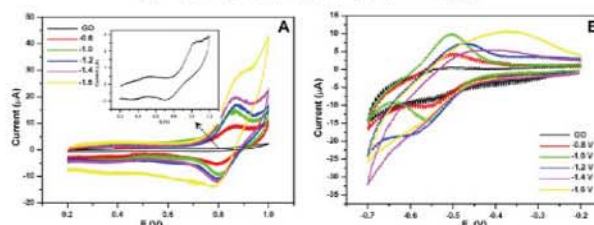


图3 电化学还原氧化石墨的循环伏安结果

为认识含氧官能团中的C=O双键和C-O单键的作用，在不同电位下对氧化石墨电极进行电化学还原。当电位不超过-1.0V时，氧化石墨上的C-O单键被还原（见图2），其电化学活性显著提高（见图3）；当还原电位超过-1.0V后，氧化石墨上的C=O双键开始被还原，无论正极还是负极的电化学活性均下降，表明C=O双键才是真正的电化学反应活性位点。

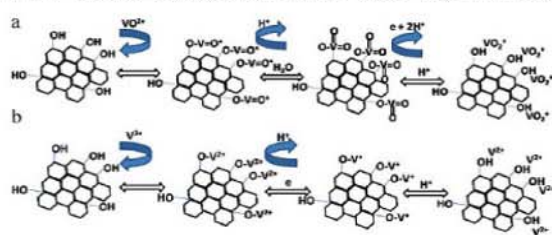


图4 提出的含氧官能团对正负极反应的催化机制

上述相关结果发表在Electrochim Acta 56 (2011) 5290-5294, Carbon 49 (2011) 3463-3470 和Carbon 55 (2013) 313-320。

为进一步系统和全面（从材料本体的结构与组成，表面官能团等）地揭示电极的活性影响规律和控制机制，研究团队采用静电纺丝+碳化相结合的手段制备试验电极并进行研究。现已探索了碳化温度对电极的影响：在600-1000℃温度区间，碳纤维内部结构及性能发生了较大变化，主要表现为二维乱层石墨结构的形成和导电性的提高。初步结果发表在J Power Sources 241 (2013) 709-717。

研究团队基于钒电池技术及其储能产业发展的需要，致力于电极的活性控制与反应动力学的持续和深入研究，努力在钒电池科学体系建设中做出应有贡献。

# 搪瓷涂层性能调控以及对合金基体的高温防护机理研究

传统的高温防护涂层分为金属涂层与陶瓷涂层两大类。金属涂层的有益组元（铝）在使用过程中持续消耗，涂层的长效性受到极大影响；而表面沉积的陶瓷涂层，由于其与基体合金之间较大的线热膨胀系数差异以及较弱的界面结合，热循环条件下容易导致界面的开裂剥落。由于其化学惰性以及能与合金基体形成界面的化学结合，搪瓷涂层作为高温合金以及钛合金的高温防护涂层有其独特的优势。

金属腐蚀与防护国家重点实验室王福会研究员与朱圣龙研究员领导的课题组针对高温搪瓷涂层的研发开展了大量的前期研究工作，成功开发了几种用于高温合金以及钛合金的高温搪瓷涂层。陈明辉博士等科研人员研究发现，通过对搪瓷涂层的高温组织调控、氧化铝颗粒以及金属颗粒的添加等措施，可以大幅度提高搪瓷涂层的热物理性能，相关的研究结果发表于J. Am. Ceram. Soc. 2010, 93: 3230–3235; J. Am. Ceram. Soc. 2013, 96: 1456–1463; Int. J. Appl. Ceram. Technol. 2013, 10: 224–233; Mater. Sci. Eng. A 2011, 528: 3186–3192; Mater. Sci. Eng. A 2011, 528: 1360–1366。他们提出并推导了氧化铝颗粒增强搪瓷强度的三种机理及其数学表达式，研究结果发表于Physica B 2013, 413: 15–20。在对搪瓷涂层性能调控规律的掌握基础之上，研发了一种由氧化铝以及NiCrAlY金属颗粒增强增韧的搪瓷基三元复合涂层。由该涂层涂覆的K38G高温合金，能承受1000℃高温氧化100小时以及水淬50次的考核，见图1。成功地解决了搪瓷基高温防护涂层抗热震性能不足这一本征性难题，相关研究结果发表于Surf. Coat. Technol. 2012, 206: 2566–2571。

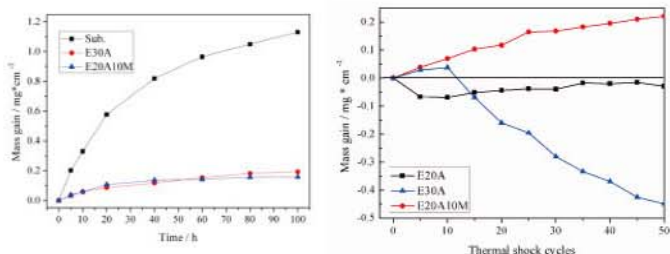


图1.涂覆有搪瓷-氧化铝-NiCrAlY三元复合涂层（E20A10M）的K38G高温合金以及合金基体1000℃下高温氧化以及热震动力学曲线

在一种富铬高温合金（K38G）上涂覆搪瓷涂层，研究

人员对涂覆搪瓷涂层的K38G涂层与基体界面反应开展了大量细致的研究工作。研究发现高温合金中的重要组元铬非常容易与搪瓷中的部分助溶剂组元发生置换反应，生成了气相的金属单质（如锌蒸汽）。这一结果成功解释了一直以来困扰搪瓷涂层研究的表面发泡问题，相关研究结果发表于Surf. Coat. Technol. 2013, 216: 145–151。而通过氧化铝颗粒的添加，提高搪瓷软化点以及高温强度后，涂层的发泡被成功抑制，并进一步深入研究了氧化铝颗粒添加抑制搪瓷涂层与高温合金基体界面反应的微观机理，研究结果发表于Appl. Surf. Sci. 2013, 271: 228–233。在对搪瓷涂层与高温合金界面反应的细致研究基础上，研究人员系统地提出了搪瓷涂层对不同类型高温合金的高温防护机理，相关研究结果发表于Corros. Sci. 2013, 73: 331–341。对于富铬型高温合金，搪瓷涂层通过抑制界面铬的反应、降低界面氧分压促进了铝的选择性氧化，从而提高其抗高温氧化性能，见图2；而对于富铝型高温合金，搪瓷涂层则通过对界面过渡性氧化物（NiO）的选择性溶解，加速了高温合金/搪瓷涂层界面稳定型氧化铝（ $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）的生成，以提高体系的抗高温氧化性能。

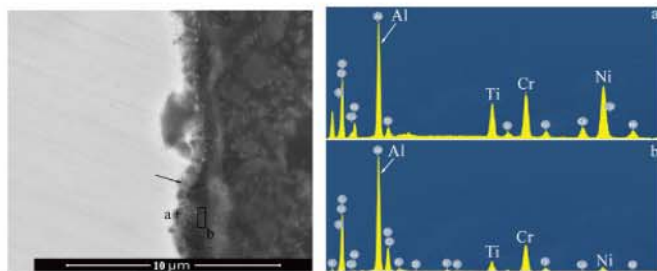


图2.搪瓷基复合涂层在搪瓷/高温合金界面促进铝的选择性氧化

此外，他们详细研究了搪瓷涂层对钛合金的高温防护性能。研究表明搪瓷涂层在800–900℃下能够为钛合金基体提供非常优异的抗高温氧化能力，相关结果发表于Surf. Coat. Technol. 2013, 218: 30–38。不同于传统的金属涂层，搪瓷涂层与钛合金的界面互扩散（反应）区很窄（约几百纳米）。利用氧气在搪瓷涂层中的扩散通量关系，提出了搪瓷涂层对钛合金的高温防护机理并推导了该体系的高温氧化过程速度表达式，研究结果发表于Corros. Sci. 2013, 74: 178–186。

聚焦：

# 特种材料制备 及过程模拟创新课题组



合金的凝固组织决定了其性能，因此，长期以来合金凝固过程与凝固组织控制一直是材料科学领域的课题之一。赵九洲研究员于2000年入选中科院百人计划，领导的“特种材料制备及过程模拟”创新课题组，以合金凝固、快速凝固新材料为主要研究方向，坚持基础研究与工业化应用开发相结合，先后承担了国家基金国际合作重大项目1项(获评优秀)、国家基金重大项目课题1项(获评优秀)、国家基金重点项目2项、面上项目7项、青年基金1项、中德国际合作基金1项以及国家921、科技部973等国家、省、市科研项目和多项中铝等企业的产业化研究。课题组获省部级科技进步一等奖1项、二等奖2项，省部级自然科学二等奖1项，参编专著3本，发表SCI论文108篇，申报国家发明专利15项。主要研究工作及进展如下：

### 1) 液相分离型合金凝固与原位自生颗粒复合材料

一些合金在冷却过程中首先发生液-液相变，被称为液相分离型合金。该类合金十分广泛，约占整个二元合金系的1/6，如能将其制成弥散相以粒子形式均匀分布于基体的复合材料，则其中许多具有重要的工业应用背景，例如，Cu-(25~50)wt%Cr是高性能电触头材料等。但通常液相分离型合金极易形成偏析型凝固组织，这严重限制了它们的工业开发与应用。近年来，课题组应用连续/定向凝固技术、快速凝固

技术等研究了该类合金的凝固特性，研究了电场、磁场、离心力场等外场对凝固过程及组织的影响，并建立了该类合金的凝固模型，通过实验与模拟相结合的方法，清晰地展示液相分离型合金凝固组织形成过程、关键影响因素与控制方

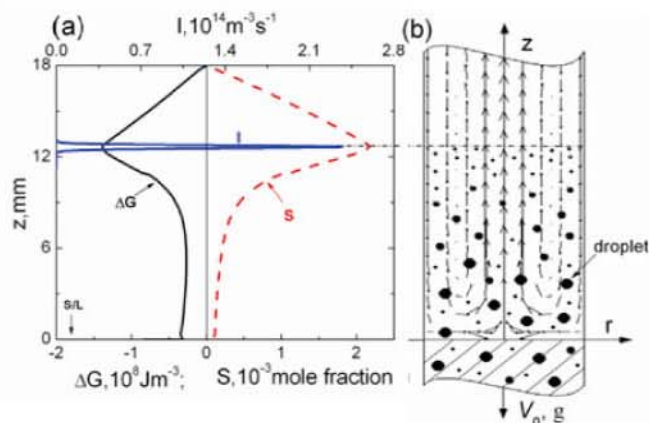


图1 a) 连续凝固条件下凝固界面前沿熔体过饱和度(S), 液相分离驱动力( $\Delta G$ )和弥散相液滴形核率( $I$ )。b)凝固界面前沿组织演变过程及流场。 $V_0$ : 凝固速度,  $g$ : 重力加速度。

法，见图1。研究表明，熔体对流导致弥散相液滴形核速率及尺寸呈现空间分布不均匀性，促进偏析型凝固组织的形成；恒定磁场能有效地抑制熔体对流，有利于弥散型复合凝固组织的形成；当弥散相的导电率较基体高时，脉冲电场可以提高弥散相液滴的形核驱动力与形核率，促进弥散型复合凝固组织的形成；可以利用直流电流控制弥散相液滴的空间迁移行为，制备壳/核型特种复合线材。这样的复合线材在诸如电力机车导线等方面具有应用前景；通过合理地设计合金成分，可以利用液相分离过程制备非晶合金基复合材料（见图2）和双相块体金属玻璃（见图3）等。进而，课题组将相关的研究方法与模型拓展应用于合金熔体内化合物颗粒沉淀析出和合金时效时弥散相粒子沉淀析出过程研究，探索了原位自生颗粒复合材料的组织形成机制与控制方法。详见Appl. Phys. Lett. 87(2005)131905; Appl. Phys. Lett. (下转五版)



课题组负责人赵九洲研究员（右）及研究生

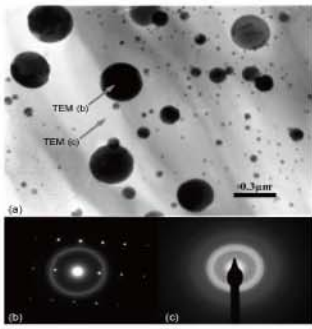


图2 快速凝固Al-Pb-Ni-Y-Co合金非晶复合材料。Al基非晶基体上分布着Pb相粒子。

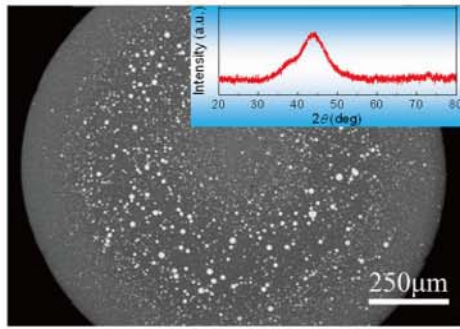


图3 Zr-Ce-La-Al-Co双相块体非晶合金材料。Zr基非晶基体上分布着CeLa基非晶粒子。

(上接四版) 92(2008)241902.; Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 131907; Acta Mater. 54(2006)1749; Metall. Mater. Trans. A, 42A(2011)3200; Acta Mater. 61 (2013) 2102等。

### 2) 过冷熔体内晶态相形核与枝晶生长动力学过程

枝晶是金属材料常见的凝固组织。晶核的形成和枝晶生长决定了枝晶的形态及合金性能。为了深入理解晶核的形成机理和凝固组织形成机制，课题组采用实验与模拟相结合开展研究，探索了晶相形核和长大的微观机理，建立了多元合金凝固组织形成过程的三维元胞自动机模型，研发了耦合合

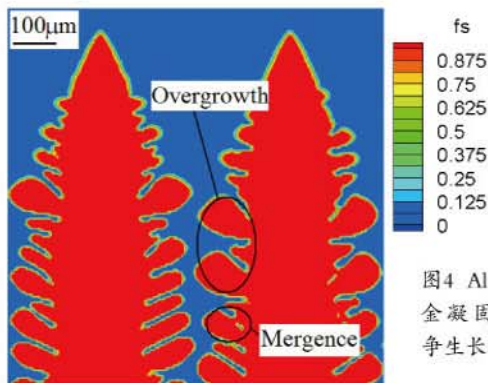


图4 Al-Cu-Mg合金凝固时枝晶竞争生长过程

金热力学与凝固动力学的模拟方法，清晰展示了枝晶型凝固组织形成过程，见图4。详见Appl. Phys. Lett. 89(2006)031903; Acta Mater. 60 (2012) 2249等。

### 3) 新材料研发与产业化

课题组重视基于基础研究成果、针对工业需求研发新材料及制备技术，近年来承担了多项中铝等企业的新材料研制及制备技术研发项目，在喷射成形快速凝固合金材料、高硼含量Al-B合金、Al-Ti-B合金研发等发面做了大量工作。主要成果有：研发了多种Cu基、铝基合金的喷射成形

技术，为企业研制了喷射成形设备，实现了Cu-Cr等电工用合金的快速凝固制备；针对国内一些厂家在高纯铝生产上依赖进口Al-B合金的现状，研发了高硼含量Al-B合金的制备技术及试生产线，实现了该合金的工业生产，产品质量优于国内外同类产品，见图5；针对国内在一些高品质铝合金材料生产上依赖于进口Al-Ti-B晶粒细化剂的现状，课题组研发了新型Al-Ti-B合金制备技术，初步实验结果表明，所研制的Al-Ti-B合金对工业纯铝和7050合金的细化能力远高于国内同类产品。

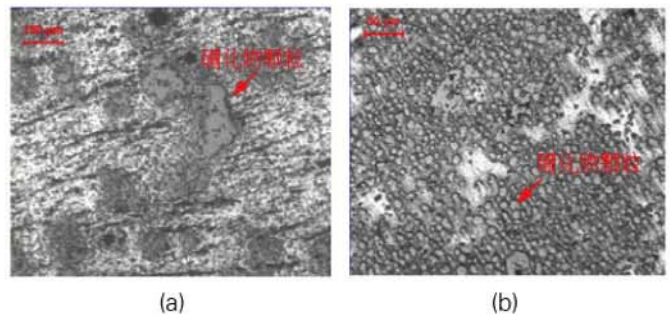


图5 进口(a)和课题组研发(b)Al-B合金的组织。课题组研制Al-B合金的硼含量和硼化物粒子的弥散度均优于进口产品。

作为我所对外宣传的窗口之一，所报《金属之光》改版后在不断摸索中已经走过了2013年。在新的一年里，我们希望进一步提升《金属之光》的品质和内涵，使《金属之光》成为展示金属所科研工作、展现金属所人风采、传递金属所文化的平台。我们希望得到您更多的支持和关注，现向全所职工、研究生、离退休职工、广大所友诚约稿件！主要栏目介绍如下：

“科研进展”版：介绍金属所科研工作的最新进展。

“科研聚焦”版：介绍金属所各研究方向的发展情况、承担任务和前期工作情况。

## 征文/图启事

“金属文化”版：体裁内容不限，如散文随笔、科普文章、研究生工作学习生活感受、离退休生活等。

“我来show”版：个人介绍、工作生活感悟。

此外，为使本刊封面更富有特色，更具美感，特公开征集封面照片。

图片要求：1、主题以金属所景、物、人为主。

2、采用JPG格式，每幅作品不得小于3MB。

欢迎大家积极参与，踊跃投稿！

联系人：刘言 yanliu@imr.ac.cn 23971507

《金属之光》编辑部

## 空谷幽兰自芳华

材料失效分析中心 王强

梅、兰、竹、菊并称为“花间四君子”，傲、幽、坚、淡是对它们品质的最好归结。古人云：“琴棋书画养心，梅兰竹菊寄情”。它们象征凌寒傲雪、幽芳灵动、虚心有节、高洁淡雅，故深为人们所喜爱。兰花品种较多，有春兰、蕙兰、寒兰、建兰等，花姿窈窕，色泽艳丽。兰花常常给人幽芳逸致的感觉，能涤濯人的灵魂，象征美好、友谊、幽静。兰常生于空谷，“空谷幽兰”描绘兰的品性静逸安宁，无怨无争。

“夫幽兰之生空谷，非历遐绝景者，莫得而采之，而幽兰不以无采而减其臭。”明·张居正《七贤咏叙》。幽兰，空谷，独倚月光，微风轻抚，馥郁芬芳，这是人间的绝佳景致，大美境界。空谷幽寂，幽兰独放，令人触景生情。境如勾，心如弦，空谷中幽兰奏响了一季绝美的乐章。幽，静逸而安宁；兰，芬芳而不争。兰生空谷是静美的契合。觅幽兰于空谷，心境臻于空灵，如入画境。一梦醒来，回到现实，幽兰独放，食飧静美，沐浴着暖阳。无怨无争也是一种境界。花品似人品，兰可称花间“君子”，自有君子性情。缘何可以君子喻兰呢？最早一部诗歌总集《诗经》中《关雎》这样写道：“关关雎鸠，在河之洲。窈窕淑女，君子好逑。”《庄子·山木》：“且君子之交淡若水，小人之交甘若饴；君子淡以亲，小人甘以绝。”从古至今，君子多指那些人格高尚，道德品行兼好之人。用君子喻兰花，可见兰花的幽雅与不争，百花之中恐无出其右。

那一株幽兰似是你我，在空寂的山谷中独自芳华。“空山四无人，知有幽兰花。花开不可见，香气清且嘉。”在科研的视界里，实如空谷般幽静。这里是一片净土，植身于科研的沃壤，努力奉献，修身明德，宁静致远。放眼望去，今天的世界哪还有什么桃源，所到之处，处处喧嚣，乌烟瘴气，哪有安静可寻呢？古人说：“静以修身，简以养德。”静是一种性情，静是一时心态，静是一世修为，静是一生追求。心静自然凉，作为科研人，能得静谧于清幽之所，觅真知，琢己见，探微寻幽，实在难得。空谷虽然静寂无言，但却有诗情画意，可养性修身。古诗《鹿柴》：“空山不见人，但闻人语响。返景入深林，复照青苔上。”空是境界，无是哲学。《道德经》中：“三十辐共一毂，当其无，有车之用。埴埴以为器，当其无，有器之用。凿户牖以为室，当其无，有室之用。故有之以为利，无之以为用。”空谷因空

而寂，因空而打开想象空间，给人发散的思维和律动的灵感。因无而静，给人心旷神怡的感觉，在精神的世界里纵情奔驰。空谷，或为贫瘠之地，或为矮草丛生之所，或为野果飘香之涧，亦或为林莽苍苍之境。无论死与生，兰兀自在这里生长，随风轻舞，不为情殇。“我爱幽兰异众芳，不将颜色媚春阳。西风寒露深林下，任是无人也自香。”兰之品格与风度是科研人的镜像，有君子性情，不屈从，不附势，不为名利，只为一静，意志坚定，淡定从容。

那一株幽兰又似是真理，在空灵的山谷中期待你我觅寻。投身科研，修心性，觅真理，逐梦想。真理的道路前方好似横亘着一座高山，山有九巅，层峦叠嶂，终岁人迹罕至，令人望而生畏。山外有一深谷，兰生于谷，历经四季，日月轮转，绽放生命之光。听闻幽兰藏身于远山深谷，众人希冀一睹真容，于是竞相攀登。有人登上一峰，有人深入一谷，有人终其一生，也仅过数重山，只能望远山而兴叹，于是困惑茫然。有毅力且意志坚定的人忘食废寝，达于九巅，赏幽兰于空谷，最终遂心所愿。心中有兰，便不为世俗所惑，能不畏艰险所吓，亦不畏筲路蓝缕，只为情愫兀自前行，涉水拔山，终岁功成。

那一方空谷恰似金属所，得清谧于喧嚣，藏幽兰于静寂。门外车马喧嚣，尘土飞扬。门内寂静清幽，白杨两行。虽无清泉小流，但却深藏林园幽幽。闲暇里，轻踱漫步于甬道，冥思静想于林下，任思维与理想驰骋，享受生命的质感。这里四季分明，春日百花盛芳，夏日绿荫如幔，秋日红叶飘飞，冬日素裹银妆。工作于此，似入桃源，亦有“问君何能尔？心远地自偏。”的切身感受。“空山新雨后，天气晚来秋，明月松间照，清泉石上流。”有时想想，即便王维至此，恐怕也会有几分感慨与艳羡。君子生于此，长于此，终于此；学于此，用于此，传于此。境如斯，情何不似兰？

幽兰藏空谷，空谷纳幽兰。情随境生，情随境迁。诸葛亮亮的《诫子书》中写道：“非淡泊无以明志，非宁静无以致远。”生于此，如何不“淡泊”，又怎能不“宁静”？虽然还未达到“问今是何世，乃不知有汉，无论魏晋”的境界，却也满怀“两耳不闻窗外车马喧嚣，一心只为科研殚精竭虑”之深情。境如斯，生命如歌，君子如兰，于是心生感慨：空谷藏有幽兰花，春夏秋冬自芳华。



孙东明，研究员，沈阳材料科学国家（联合）实验室，先进炭材料研究部。从事微纳电子学器件研究，开展基于碳纳米管/石墨烯的薄膜晶体管和集成电路的工作，提出气相过滤转移技术制备柔性晶体管电路器件，研究成果发表在Nature Nanotechnology和Nature Communications等期刊。2012年入选中国科学院“百人计划”，2013年入选中组部“青年千人计划”。



张兴，2003年本科毕业于中国科学技术大学材料科学与工程专业，2007年获得加州大学圣地亚哥分校材料科学与工程专业博士学位，2008-2013年期间先后在加州大学圣地亚哥分校医学院和莱斯大学生物工程系从事博士后研究工作。于2013年6月作为“百人计划”入所任职工程合金研究部研究员，从事高分子和陶瓷基生物医用材料研究，包括磷酸钙类人工骨陶瓷、聚乙二醇医用高分子材料，以及材料与细胞间作用。



杨金波，1975年10月出生于湖北谷城。1999年于清华大学获得学士学位。同年，在清华大学材料科学与工程系硕博连读，并于2004年获得博士学位。毕业后，先后在日本茨城大学、日本东北大学和美国橡树岭国家实验室从事第二相析出物和辐照缺陷对材料力学性能影响的研究。2013年10月作为“百人计划”引进到沈阳材料科学国家（联合）实验室材料疲劳与断裂研究部工作。到所工作后的研究方向为材料变形与断裂机制的计算模拟，主要研究目标是在原子尺度分辨率下实时模拟计算材料的形变与断裂，从而揭示微观组织（如位错组态/晶界/相界面/剪切带等）与变形机制及断裂机制间的关系，为材料力学性能的优化与设计提供理论基础。



颜华杰，1982年2月出生，湖南省常宁市人。2010年于中国科学院金属研究所获得博士学位。2010年至2012年底，在荷兰格罗宁根大学从事博士后研究工作。博士期间主要研究方向为等通道转角挤压(ECAP)技术强化镁合金；博士后期间主要研究方向为MAX相层状陶瓷的损伤与自愈合机制等。目前发表学术论文27篇，SCI他引约400次，担任Philosophy Magazine, Scripta Materialia等期刊审稿人。2013年5月作为“所引进优秀学者”加入沈阳材料科学国家（联合）实验室材料疲劳与断裂研究部，聘为副研究员，目前研究方向为材料损伤与愈合机制。



张炳森，2009年毕业于东北大学，获工学博士学位。2009年9月至2011年11月在德国马普学会Fritz-Haber研究所从事博士后研究工作。2011年12月通过金属所“葛庭燧奖研金”评审，与沈阳材料科学国家（联合）实验室催化材料研究部苏党生研究员合作工作，研究方向为碳基催化材料的微结构研究。2013年11月通过金属所引进优秀学者评审，聘为项目研究员，目前研究方向为纳米催化材料的微结构及构效关系研究。在Angew. Chem. Int. Ed.、Small、Chem. Commun.、ChemCatChem等学术期刊上发表论文60余篇，参加国际、国内学术会议做大会和分会报告10余次。主持国家自然科学基金青年基金、中国博士后科学基金面上资助、金属研究所“葛庭燧奖研金”、金属研究所“引进优秀学者”资助等项目。



李波，1978年7月出生。2001年6月于黑龙江大学获得学士学位，2004年6月于吉林大学获得硕士学位，2005年1月-2008年12月在德国柏林弗里茨哈勃研究所理论系攻读博士学位，并于2009年1月获得物理博士学位。之后在美国加州大学圣巴巴拉分校开展博士后工作。2011年10月通过金属所“葛庭燧奖研金”评审，与沈阳材料科学国家（联合）实验室催化材料研究部苏党生研究员合作开展工作，研究方向为碳催化的理论研究。在PRL、J. Phys. Chem. C等期刊上发表论文14篇。2013年10月通过金属所引进优秀学者评审，聘为副研究员，目前研究方向为催化剂催化性质和反应机理理论化学计算研究。

# 2013年引进优秀人才 Show