

金属之光

2

中国科学院金属研究所
2015年 第2期 (总第165期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

金苑春雪

出版日期：2015年3月



工业化规模抗菌不锈钢试生产成功

近期，金属所杨柯研究员带领的研究团队与国内不锈钢企业合作，通过设计并优化抗菌不锈钢的冶炼和加工工艺，成功地生产出40吨级规模的304型含铜抗菌不锈钢板材。生产出的抗菌不锈钢板材的宽度为1200mm，有2.5mm、1.0mm、0.8mm、0.5mm和



40吨级304-Cu抗菌不锈钢板卷实物照片

0.4mm等不同厚度，板厚公差控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 。这批抗菌不锈钢板材在满足常规力学性能的基础上，通过了中科院理化技术研究所的抗菌性能检测，具有优异的抗菌性能。此外，在有害金属离子释放、细胞毒性等人体安全性方面，中国食品药品检定研究院的检测结果表明，该抗菌不锈钢板材完全符合国家规定的安全范围要求。

近年来，国内外屡次发生大肠杆菌等细菌感染的集体中毒现象，给人们带来了极大的恐慌，并造成了重大的经济损失。特别是肆虐国内外的“非典”、禽流感等致病菌传染性疾病的爆发，更是强烈地震撼了国人。人们越来越希望生活在更加清洁美好的环境中，而那些需要在洁净环境下工作的场所（医院、制药、食品加工、厨房等）则会对周围环

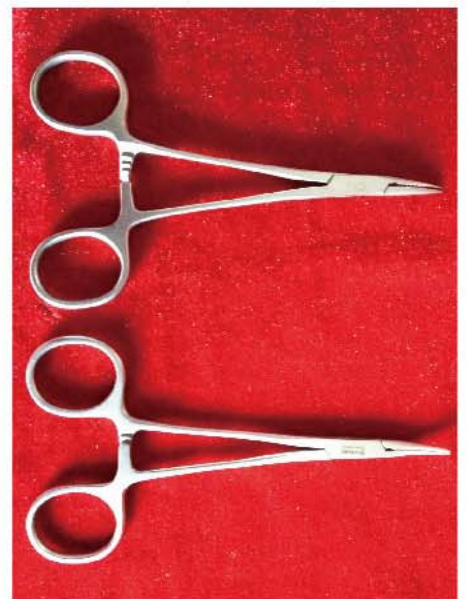
境提出更高的要求。抗菌不锈钢的出现，能够满足日常环境对抗菌的需要，它是通过在现有不锈钢材料中加入适量的抗菌金属元素，如铜（Cu）、银（Ag）等，使不锈钢整体产生强烈、广谱和持久的抗菌功能。

杨柯团队在我国最早开发出奥氏体、铁素体、马氏体、双相等结构的系列抗菌不锈钢新材料，它们兼具结构材料和抗菌功能材料的双重特点，既可作为结构材料和装饰美化材料，同时也具有杀菌或抑菌的自清洁功能。

工业化规模抗菌不锈钢试生产的成功，标志着已具备大规模推广应用抗菌不锈钢的材料基础。目前，已经有多家家电及日用品企业与金属所进行初步的合作，产品包括抗菌不锈钢水槽、抗菌不锈钢空调托盘、抗菌不锈钢餐具、抗菌不锈钢洗衣机滚筒、抗菌不锈钢手术器械、抗菌不锈钢骨科植入物产品等。未来随着抗菌不锈钢产品的逐步上市，必然会吸引更多的企业参与到抗菌不锈钢的市场推广和应用，创造更加广泛的社会效益和可观的经济效益。



抗菌不锈钢餐具



抗菌不锈钢手术器械

非晶合金的成分、结构及力学行为与弹性关系研究新进展

与晶态合金相比，非晶合金的结构很难清晰定量地表征与描述，其力学行为也难以通过传统位错理论等加以分析，同时非晶合金的强韧化也难以通过传统理论与方法实现。相比于复杂的原子排列结构，非晶合金的弹性常数可以通过无损的方法方便测得，并且往往能够与其力学行为密切关联。近期，材料疲劳与断裂研究部葛庭燧奖研金资助研究人员刘增乾博士与张哲峰研究员等从非晶合金的微观结构特征与变形机理出发，在理论上建立了合金成分、结构及力学行为（包括变形与韧脆转变、强度与断裂以及强韧化）与其弹性之间的定量关系并揭示了相关机理，上述关系解释了一些重要的实验现象并得到了大量实验数据的验证。相关研究有望加深人们对于非晶合金的结构与力学行为的理解，并且针对非晶合金从弹性出发建立了一套完全不同于传统晶态合金的研究思路和分析方法。

研究内容主要包括：1) 从成分出发精确预测与设计弹性。揭示了根据传统复合材料的混合定律预测非晶合金弹性的不合理性及其机理，从非晶态结构与微观不均匀性出发，建立了合金成分与弹性常数的统一关系，实现了弹性的精确预测与设计，计算结果与实验值吻合良好。2) 从弹性出发揭示结构特征。发现了非晶合金中普遍存在的反常软化现象，即剪切模量随基体含量的增加而降低，提出了非晶结构的双相模型，揭示了非晶结构的局域不均匀性特征及其与宏观力学性能的关系。3) 从弹性出发揭示变形与韧脆转变机理。从热力学角度定量分析了非晶合金微观剪切变形与开裂的能量驱动力与阻力，提出了反映变形模式与韧脆转变的基本热力学准则，揭示了泊松比影响变形模式及韧脆转变的机理，并提出了一个统一参数 δ 以表征材料塑性变形与开裂的相互竞争关系。4) 从弹性出发揭示强度与断裂机理。从能量角度揭示了非晶合金抵抗剪切与开裂的能力，建立了宏观断裂模式因子 α 与泊松比 ν 的定量关系，并运用椭圆断裂准则，实现了由弹性出发预测各种非晶合金在不同应力状态下的临界断裂条件、强度与断裂行为，理论计算结果与实验结果吻合良好，如图1所示。5) 从弹性出

发实现合金强韧化。揭示了非晶合金强度与韧性间的相互制约关系及其机理，阐明了强度、韧性及总体强韧性水平的决定因素，提出了从弹性角度实现非晶合金强韧化的理论与方法以及“成分-弹性-力学性能”的整体强韧化思路，如图2所示。

上述研究成果发表在Applied Physics Letters 113 (2013) 181909, Journal of Applied Physics 114 (2013) 243519, Philosophical Magazine Letters 94 (2014) 658-668, Journal of Applied Physics 115 (2014) 163505, Journal of Applied Physics 115 (2014) 203513, 以及Journal of Applied Physics 117 (2015) 014901。

相关研究得到了国家自然科学基金重点项目（51331007）和中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家（联合）实验室葛庭燧奖研金的资助。

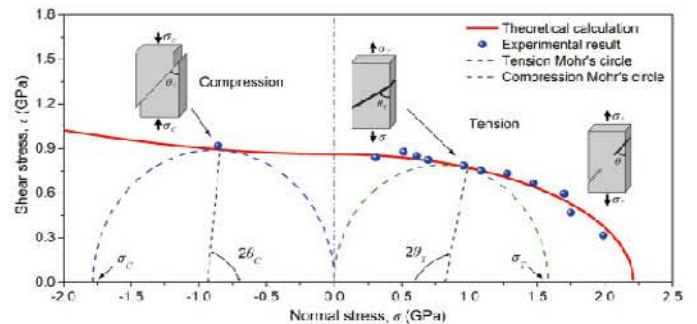


图1 根据弹性常数计算得到的Zr_{52.5}Ni_{14.6}Al₁₀Cu_{17.9}Ti₅非晶合金的临界断裂条件及其与实验结果的比较

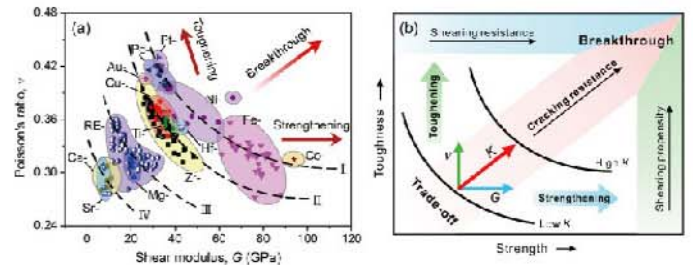


图2 (a) 不同体系非晶合金剪切模量与泊松比之间的关系以及 (b) 从弹性出发实现非晶合金强韧化的思路

2014年度金属所优秀奖获奖人员介绍



王振华，磁性材料与磁学研究部，项目研究员。

一直以来，磁电阻的材料由于其基础研究和器件应用中所起巨大作用而倍受关注。研究发现材料的经典磁电阻随外磁场具有二次方关系，即在足够大磁场下，磁电阻趋于饱和。特殊的是，非饱和和线性磁电阻可能存在于具有开放费米面材料中。在能隙接近零（或较小）的半导体材料中发现多种有趣的磁电阻现象，如在银掺杂 $Ag_{2+x}Se$ 和 $Ag_{2+x}Te$ 材料中发现反常的线性磁电阻。随后很多理论试图解释这种非饱和和线性磁电阻。Abrikosov等认为零能隙半导体因为只有一个朗道能级而在大磁场下具有量子限制，从而可能产生非饱和磁电阻。Parish和Littlewood则认为材料的非均匀性导致电流涨落可能导致非饱和和磁电阻。

在过去几年，由于拓扑绝缘体具有零能隙狄拉克表面态，拓扑绝缘体材料的磁电阻引起越来越多研究者兴趣。在拓扑绝缘体单晶、薄膜、纳米片等材料中发现线性磁电阻。他们认为单晶材料的线性磁电阻是来源于材料二维无能隙拓扑表面态。另外，也有研究认为即使在单晶或薄膜材料中，电子不均匀和导电性涨落对线性磁电阻也非常重要。直到现在，拓扑绝缘体材料中线性磁电阻的确切因素还不十分清楚。

近年来，王振华项目研究员针对拓扑绝缘体纳米材料制备、表面特性及机制开展了深入系统的研究工作。在 Bi_2Te_3 薄膜体系中发现线性磁电阻现象，在很大温度范围内，即使外场加到14T，线性磁电阻仍显示不饱和趋势。通过研究不同致密度的薄膜材料，发现在很大迁移率范围内，线性磁电阻和材料迁移率间存在

优秀科技创新奖（基础研究类）

获奖者——王振华

普适关系。而不同致密度薄膜材料中，磁电阻和迁移率成正比关系。这些结果说明迁移率的涨落导致了典型线性磁电阻，这与Parish和Littlewood提出的理论完全吻合。有关 Bi_2Te_3 薄膜的研究结果提供明确证据，证实材料物理上或结构上不均匀性是线性磁电阻的来源，并且为控制拓扑绝缘体材料的磁电阻提供新的方法。首次在 $Bi_2(Te_xSe_{1-x})_3$ 纳米带材料中发现双极化电场现象。研究发现随着 Bi_2Te_3 纳米带中Se含量的增加， Bi_2Te_3 纳米带导电性从金属性调至到半导体性。当磁场为零时，存在弱反局域化特性。利用栅极电压可使半导体导电从N型转为P型。纳米带厚度对栅极电压的调制有很大影响，厚度越小，N型到P型转变越明显，并且这种转变可调节到较高温度。

相关的研究结果已在Nano Letter及ACS Nano等国际刊物上发表。

优秀科技创新奖（应用研究和开发类）

获奖者——崔玉友



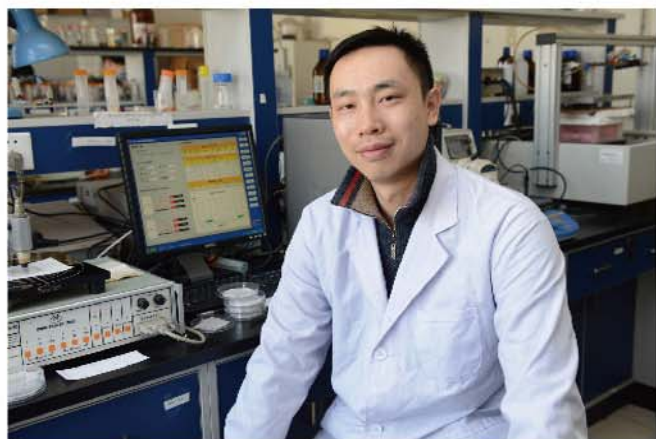
崔玉友，钛合金研究部，研究员。

TiAl合金不仅可实现发动机静载荷的大幅减重、提高推重比，而且可显著提高发动机的燃油效率、减少尾气和噪音排放，是先进航空发动机高压压气机及低压涡轮叶片等部件首选的轻质高温结构材料。然而

TiAl合金塑性低、工艺性能差，给TiAl合金的部件制备和应用带来极大挑战。美国GE公司经过近二十年技术研发和应用研究，发展了铸造超尺寸叶片坯料再经过机械加工的TiAl合金低压涡轮叶片制备技术，并成功应用于装配波音787梦幻客机的GENx发动机。净尺寸TiAl合金低压涡轮叶片制备技术是降低叶片成本和拓展叶片应用的关键，是一项极具国际挑战性的核心技术。

崔玉友作为核心技术人员，潜心从事TiAl金属间化合物材料和制备技术研究二十余年，发展了适用于TiAl合金这种低塑性、高活性材料特点的材料制备技术和部件离心精密铸造技术。凭借良好的技术基础，金属所于2007年成为英国罗罗公司研发净尺寸TiAl合金低压涡轮叶片的合作伙伴之一。崔玉友作为技术负责人带领项目组经过近两年的刻苦攻关，在国际上率先突破了净尺寸TiAl合金低压涡轮叶片离心精密铸造成型的关键技术，在激烈的国际竞争中占得先机，成为罗罗公司TiAl合金

低压涡轮叶片技术研发的首选合作方。并相继突破了TiAl母合金制备、叶片成分和组织控制及冶金缺陷控制等系列关键技术，研制的TiAl合金叶片于2009年通过了罗罗公司进行的振动疲劳考核实验，疲劳寿命达到设计寿命的2倍以上。2014年9月通过了模拟发动飞行状态的1750周次的台份试车考核试验，标志着金属所研制的TiAl合金叶片达到发动机装机使用要求，也达到国际先进水平。2011年5月金属所成为罗罗公司第一个TiAl合金母合金锭的合格供应商，也是迄今罗罗公司在亚洲的第一个转动部件原材料的合格供应商。2012年2月金属所成为罗罗公司第一个TiAl合金低压涡轮叶片的合格供应商。目前金属所正在与宝钢和罗罗公司进一步合作，进行TiAl合金叶片的技术成熟度提升和产业化研究，并提供4台份用于发动机进一步实验测试和真实飞行条件下装机考核的TiAl合金叶片，预计在2019年实现TiAl合金叶片产业化和在TrentXWB发动机上广泛应用。



裴嵩峰，先进炭材料研究部，副研究员。

石墨烯是一种新型纳米炭材料，有望在化工、电子、储能以及功能复合材料等领域获得广泛应用。如可作为催化剂或催化剂载体用于化学合成，作为导电添加剂用于制备锂电池复合电极材料、导电油墨/胶黏剂、防静电/导热/防辐射塑料，可用于制造超级电容器、新型储能材料等，这些应用将推动我国在能源化工领域的进步，具有良好的经济和社会效益。其中高质量石墨烯的大量和可控制备是实现石墨烯应用的重要前提。

以石墨为原料利用化学剥离的方法制备石墨烯被公认是最有可能实现石墨烯低成本大量制备的途径。在石墨烯研究初期，这一过程主要是利用强氧化剂将石墨进行氧化和剥离先得到氧化石墨烯（GO），再经过还原处理得到石墨烯（r-GO）。裴嵩峰在对GO表面化

优秀青年学者奖（基础研究类） 获奖者——裴嵩峰

学结构系统分析的基础上，提出了先取代后消去的还原机制，利用氢碘酸、氢溴酸等卤化试剂，实现了GO在较低温度下（ $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ）的快速、高效还原。还原后所得石墨烯薄膜的体积电导率可以达到300 S/cm以上，明显优于已有化学还原方法的效果。相关研究论文分别发表在Carbon和ACS Nano上，累计SCI他引超过900次。

为了获得更高质量的石墨烯材料并降低石墨烯的制备成本，在大量实验研究的基础上，裴嵩峰博士提出了一种全新的“固相插层-液相膨胀剥离”方法来制备石墨烯。即先通过插层的方法将具有催化活性的物质均匀插入到石墨层间形成石墨插层化合物（GIC），再将GIC投入到可以与层间催化物质发生反应并产生气体的膨胀液是实现GIC的自发膨胀剥离，从而获得石墨烯。该方法在产品质量、生产效率、环境保护和成本控制方面相比传统方法都具有明显优势；石墨烯产率大于80%（质量百分比），石墨烯产品为少数层石墨烯混合物，以5-8层为主，厚度小于3纳米，石墨烯片层横向尺寸大于1微米。石墨烯结晶性质良好，碳氧比大于30，粉体电导率大于500S/cm，纯度大于97%。目前，该方法已获得国家专利授权。基于该技术，金属所与相关企业合作研发成功石墨烯大量制备的中试设备，实现日产5公斤石墨烯的生产能力，目前已稳定生产，并创造了良好的经济效益。

金属之星

优秀青年学者奖（应用研究和开发类） 获奖者——汤素芳

汤素芳，专用材料与器件研究部，项目研究员。

汤素芳带领的团队在超高温复合材料结构设计、成分控制、烧蚀机理、热力耦合行为，以及过程控制技术和表面涂层技术等方面均开展了大量的研究工作。

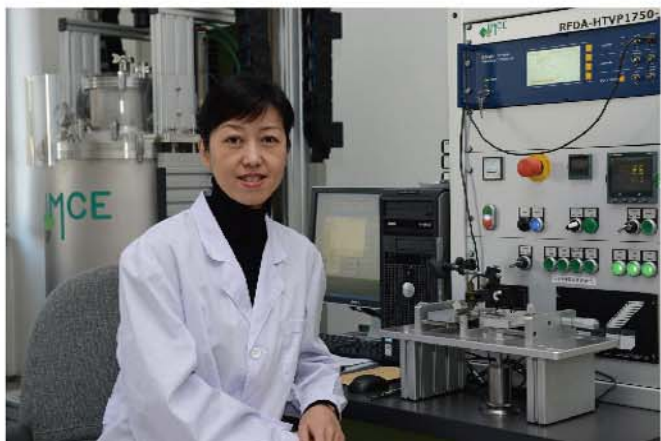
高超音速飞行器面临严酷的工作环境：长时间、高热流、高热焓、有氧环境，飞行器表面最高温度可达1600-1700℃甚至以上，传统的C/C和C/SiC复合材料均不能满足使用要求，必须研制新型的超高温复合材料。针对以上的应用需求，首次提出并研制出一种具有耐超高温、长时间、抗氧化、零烧蚀特性的C-ZrB₂/SiC复合材料，通过在C/SiC复合材料内引入含有高熔点相和低熔点相元素的ZrB₂，实现了材料在1000-2000℃的全氧化防护。其抗氧化机理在于1000-1200℃依赖于硼硅酸盐，1200-1600℃依赖于SiO₂，1600℃以上则依赖于填充有硅酸盐的ZrO₂网络结构。该材料现已通过环境温度2000℃左右的电弧风洞考核。为了进一步克服制备工艺对材料尺寸效应的限制，研制出一种新型的纤维-颗粒二元增强三元陶瓷基复合材料C_f-ZrB_{2p}/C-SiC-ZrB₂，其特点是碳纤维与ZrB₂颗粒作为二元增强体，起到增强、增韧且提高抗氧化、抗烧蚀的作用。基体结构从内到外依次是C基体、SiC基体以及弥散在其中的纳米级ZrB₂-SiC，起到抗冲刷、抗氧化和抗烧蚀的作用。

根据其使用特点来对碳纤维增强陶瓷基复合材料的不同单元（基体、纤维、界面和孔隙）的组成、结



构和空间分布进行设计构筑，是未来超高温复合材料发展的一个重要方向。近两年，在不断丰富材料制备手段和充分认识超高温复合材料使用环境后，构筑了一种新型三明治结构材料和一种皮层结构材料。前者两侧为致密的C/ZrB₂-SiC复合材料，起到抵抗超高温和抗烧蚀的作用。中间为致密的C/SiC复合材料，起到提供结构强度和抵抗高温和抑制氧化的作用，该材料在1000s、1800℃循环或连续烧蚀，表现出很好的性能；而后者一侧为致密的C/C-ZrB₂-SiC复合材料起到抵抗超高温和抗烧蚀的作用，中间为多孔C/C-SiC起到降低Z向热导的作用，另一侧为致密C/C-SiC起到提高材料力学性能的作用，该材料与传统C/SiC相比，其超高温抗烧蚀性能有大幅提高，而Z向热导降低了65%。

上述相关研究成果在Corros Sci、J Am Ceram Soc、Mater Sci Eng A、Carbon、J Eur Ceram Soc等刊物上发表，目前已他引230余次，在Mater Sci Eng A 465上发表的综述性论文他引近100次。



优秀技术支撑奖获得者——杨菲

杨菲，技术支撑部，高级实验师。

杨菲从事热物性测试工作近二十年，负责高温热导仪、高温热膨胀仪、石英膨胀仪等热物理性能测试设备以及高温弹性性能分析仪的测试、维修。她负责的测试平台以准确的测试结果和完善的设备管理通过了CMA计量认证和CNAS实验室认可的权威认证。为所内外各类科研项目及时提供了大量可靠的实验数据和重要的技术支持。她还在设备功能完善、测试技术改进、非标样品测试、异常数据分析、仪器研制等方

面做出成绩。

针对高温热膨胀仪在相变点测试不准确的现象，杨菲排除了升温速率、局部热交换以及不同膨胀系数、不同传导系数材质垫片对测试结果的影响，并以大量实验数据和图表向国外工程师指出这是设计缺陷所致，致使该公司低价出售一台石英膨胀仪以弥补原设备的缺陷。她克服泡沫结构材料试样密度低、孔洞大、弹性模量小、结构复杂等带来的种种困难，仔细调节试样节点位置、敲击和探测位置，耐心甄别共振频率中的固有频率，完成Ni基等多种合金泡沫结构材料的弹性模量测试。她还设计特殊试样架，测试出十几微米厚、一百微米宽的铂银合金细薄丝的弹性模



刘言，所办公室，六级职员。

多年来刘言在信息宣传岗位坚持积极、准确、适度原则，努力为金属所营造良好的新闻舆论环境。为了做好对外宣传工作，她与中央和地方的新闻媒体记者多交朋友，建立了良好的合作关系。工作中，她积极了解所里的各项工作进展，捕捉新闻素材，努力做好科研人员和新闻媒体之间的桥梁纽带。近年来，在各科室和科技人员的积极配合下，刘言组织策划了一些宣传我所科技进展和重要事件的活动，推动和促进了我所越来越多的科研成果、科研人员走向国内的重要媒体。2014年通过中央电视台、新华社、光明日报、科技日报、中新社、人民网、中国科学报、辽宁电视台、沈阳电视台等报刊、电视共宣传金属所成果及事件40次。在对外宣传工作中，她不断开拓工作思路，将对外宣传工作与科普工作紧密结合，2014年组织联系中央电视台拍摄“抗菌不锈钢”专题科普节目，在走进科学“奇趣实验”节目播出；组织联系湖南卫视

量。她正在自行研制一套低温、低膨胀材料热膨胀测试仪器，可完成-170~200℃低温条件的高精度热膨胀测试，并获得“中科院仪器设备功能开发技术创新项目”资助。

杨菲好学上进，努力学习物理性能测试及材料方面的相关知识，不断提高业务水平，并进修获得金属所的工程硕士学位。她负责的进口设备需要经常与外国工程师交流沟通，尤其当设备维修需要远程控制时，她主动帮助锁定问题目标，提出建设性意见，积极配合维修操作。她认真负责、精益求精、耐心细致的专业素质得到来自美国、比利时工程师的好评。

优秀管理奖获得者——刘言

“求真夏令营”节目到我所拍摄“净水材料”专题科普节目，通过制作播出这些节目，在向社会公众普及科学知识的同时，也展示了金属所的良好形象。

在建所60周年所庆活动中，刘言她还负责组织所庆征文、所史知识竞赛等活动，取得了良好的效果。由所办牵头撰写的《金属所六十周年》是一项时间紧、任务重的工作。刘言在《金属所六十周年》中负责起草了一系列材料，并牵头负责文字校稿工作。经过大家的不懈努力，终于按时间节点顺利完成了任务。此外，负责起草了所庆活动中的各种文稿，许多稿件都是几易其稿，虽然任务艰巨，但她还是很好地完成。在“忆所史、讲传统”主题活动中，她走访所内多位老同志，通过现场采访，撰写了多篇反映金属所历史人物的文章，在院内外发表。在李薰先生百年诞辰纪念活动中，刘言还负责了在《中国科学报》上进行专版宣传的组稿工作，并参与制作李薰先生百年诞辰纪录片。

作为所报《金属之光》责任编辑，刘言努力做好编辑和改版工作。为了进一步提高《金属之光》的宣传质量，刘言作为主要的策划者和实施者，从2013年1月开始，对《金属之光》的版面内容、形式等方面进行了全面改进。改版之后的《金属之光》坚持“走进科研工作、反映金属所人工作生活”的特点，美观性和宣传质量得到了较大的改观。

科普工作是国立研究机构义不容辞的责任。金属所公众科学日活动从2004年起开始，已连续举办了11届，已惠及社会公众5000余人，为金属所树立良好的社会形象发挥了积极作用。

3月6日，为纪念“三八国际劳动妇女节”105周年，展示金属所女职工的风采，增强女职工的健身意识，所工会于3月6日中午举办了喜迎



“三八妇女节”环所健身走活动，共有300多名女职工参加。

2月27日晚，中央电视台年度大型公益性节目“感动中国”人物评选活动揭晓，已故金属所名誉所长、两院院士师昌绪先生当选“2014年感动中国人物”，组委会给予师先生的颁奖词是“八载隔洋同对月，一心挫霸誓归国。归来是你的梦，盈满对祖国的情。有胆识，敢担当，空心涡轮叶片，是你送给祖国的翅膀。两院元勋、三世书香，一介书生、国之栋梁。”



1月20日，詹文龙副院长率院考核组对金属所领导班子进行届中考核。



1月9日至11日，中国科学院发展规划局组织国际知名科学家对金属所进行了“一三五”现场专家诊断评估。评估专家组由来自美、英、德、法、奥地利、韩国6个国家大学和研究机构的9位国际知名专家组成，专家组组长由英国皇家工程院副院长、布拉德福德大学校长Brian Cantor教授担任。专家组对金属所整体科研和管理水平以及“一三五”发展规划给出了高度评价，对学科建设、团队合作等提出了建设性意见和建议。



1月6日，“中国科学院辽宁省人民政府沈阳市人民政府共建沈阳材料国家实验室协议”在辽宁省政府签署，中国科学院副院长阴和俊、辽宁省副省长刘强、沈阳市常务副市长顾春明出席签字仪式。该协议的签署，标志着沈阳材料国家实验室建设正式进入实施阶段。在座谈会上，合作三方领导对共建国家实验室给予高度赞同，并表示要通力合作，完成协议规定的各项任务。

沈阳材料国家实验室建设是金属所落实中科院“率先行动”计划的重要举措。沈阳材料国家实验室定位于围绕国家发展战略，开展从基础研究、技术研发、工程化研究、产业孵化到技术推广的全链条、贯通式的材料研究，促进材料的原始创新以及成果高效快速转化，引领和带动装备制造业和相关产业转型升级。力争经过3-5年的努力，将国家实验室建设成为立足辽宁，辐射全国，国际一流的研究平台，凝聚一批海内外高水平研

发人才，实现材料科技创新能力国际领先，材料技术研发与应用无缝衔接，支撑辽宁产业发展，提升我国制造业的全球竞争力，打造中国材料研发高地。沈阳材料国家实验室由中科院和辽宁省、沈阳市共同建设。中科院作为国家实验室的依托部门，对国家实验室建设给予指导和支持，对国家实验室运行所需的机制体制改革开辟“政策特区”，对国家实验室的运行管理和科技活动组织进行监督。辽宁省负责协调省内相关资源，制定措施支持国家实验室基本建设、科研条件建设、技术孵化等工作。沈阳市具体负责落实国家实验室建设用地与基本建设组织实施，支持人才引进等工作。

