金属之光

1

中国科学院金属研究所
2020年 第1期（总第218期）

INSTITUTE OF METAL RESEARCH.CHINESE ACADEMY OF SCIENCE

出版日期：2020年3月

金属之星

2019年度金属所优秀奖获奖人员风采

【颁奖词】精准控制过冷熔体绽放枝晶花朵，执着追求单晶叶片完美品质，在力与火的洗礼中，把材料性能发挥到极致，助力战鹰翱翔蓝天。

科技创新奖（应用研究和开发类）获得者——周亦胄

周亦胄，国家“万人计划”入选者，辽宁省“五一奖章”获得者。主要从事高温合金材料与叶片制备技术及其废料回收再利用的研究工作。负责国家科技重大专项、大飞机材料研制项目、国家重点研发计划课题、国家基础加强项目课题等各类高温合金材料与叶片研制项目20余项。发表SCI论文100余篇，获得授权专利36项，制定企业标准4项。

周亦胄研究员打造了从高温合金材料研发—合金冶炼—叶片铸造—叶片修复—废料回收再利用的完整高温合金产业技术研发链条。

他通过开展合金成分对组织与性能影响的研究，确定了第二代单晶高温合金DD405和DD419主元素、微量元素与杂质元素的控制范围，满足了我国多个型号航空发动机对关键单晶高温合金的迫切需求。通过研究铼、钌等关键元素对单晶高温合金析出相、组织稳定性以及力学性能的影响，带领团队研发出第三代单晶高温合金DD490和第四代单晶高温合金DD491，为我国第五代航空发动机的预研提供了材料基础。

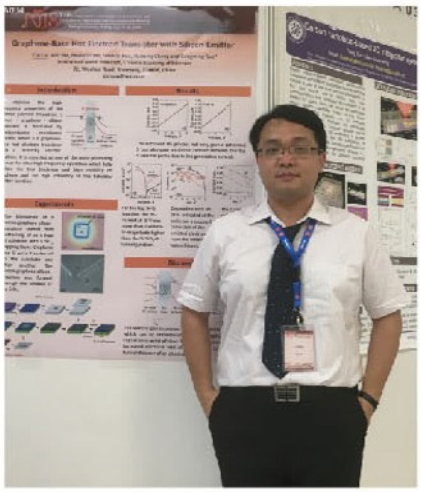
他带领团队通过研究合金熔体中杂质元素的反应去除机理以及主元素的烧损挥发规律，将高温合金中氧、氮、硫含量从20ppm以上降低到5ppm以下，达到国内领先水平。实现了合金中各主元素含量的精确控制，把最容易发生成分波动的C、Y元素含量控制在±0.01wt.%以内，Cr、Hf、Al等元素含量控制在±0.1wt.%以内，显著降低了单晶高温合金的力学及工艺性能波动。

从研究定向凝固的晶体生长理论以及杂晶、小角晶界、取向偏离、合金/型壳反应、热裂、再结晶等单晶叶片冶金缺陷的形成机制与控制方法着手，发展了从模具设计到铸件检验的单晶叶片全流程控制制备技术，研制出了多种单晶叶片，并通过了发动机的试车与试飞考核，不仅解决了多种单晶叶片从无到有的问题，还将实心单晶叶片合格率从小于20%提高到80%以上，复杂空心单晶叶片合格率从小于10%提高到50%以上，为我国新型航空发动机的研制提供了叶片保障。

单晶叶片铸造产生的废料率常高达70%。由于缺少相关分离提取技术，合金废料中的铼、钌、钽、钨、钼等高价值元素未被充分利用，造

成了极大的资源浪费和经济损失。通过开展高温合金废料的湿法冶金分离提取研究，实现了从合金废料中分离回收铼、钌、钽、钨、钼等高价值元素的目标，形成了与之配套的高温合金制造技术，使第三、第四代单晶高温合金制造成本显著降低。

优秀青年学者奖（基础研究类）获得者——刘驰



【颁奖词】致力于联合不同维度材料与技术优势，构筑后摩尔时代混合维度电子器件。制备硅–石墨烯–锗晶体管，将石墨烯基区晶体管延迟时间减少千倍，为实现超高速晶体管开辟新路。

刘驰，先进炭材料研究部，副研究员，金属所“引进优秀学者”。

微电子技术经过70多年的持续发展为现代信息社会奠定了器件基础，而纳米电子技术也在本世纪崛起为最具前途的下一代器件技术之一。二者的进一步发展充满挑战，因此科学家们尝试将它们结合起来，使其成为突破瓶颈的方法之一。结合自上而下缩小器件的微电子技术和自下而上组装器件的纳米电子技术，刘驰博士致力于联合不同维度材料与技术优势，使用新材料、新结构和新原理，构筑适用于后摩尔时代的混合维度电子器件。

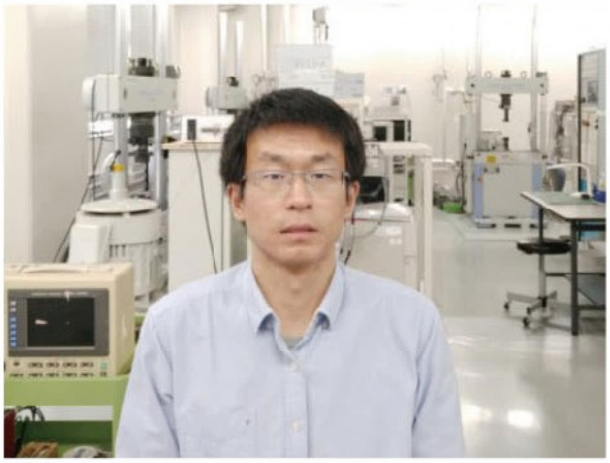
2019年，结合传统的硅、锗半导体材料和石墨烯二维纳米材料，刘驰博士等在国际上率先制备了硅–石墨烯–锗晶体管，成功将石墨烯基区晶体管的延迟时间缩短了1000倍以上，可将其截止频率由兆赫兹（MHz）提升至吉赫兹（GHz），并在未来有望实现工作于太赫兹（THz）领域（Nature Commun. 2019, 10, 4873）。

1947年，第一个晶体管诞生于贝尔实验室，标志着人类社会进入了信息技术的新时代。在过去的几十年里，提高晶体管的工作频率一直是人们不懈的追求，异质结双极型晶体管（HBT）和热电子晶体管（HET）等高速器件相继被研究报道。然而，当需要进一步提高频率时，这些器件遭遇了瓶颈。HBT的截止频率将最终被基区渡越时间所限制，而HET则受限于无孔、低阻的超薄金属基区的制备难题。石墨烯是一种近年来被广泛研究且性能优异的二维材料，人们提出使用石墨烯作为基区材料制备晶体管，其原子级厚度将消除基区渡越时间的限制，同时其超高的载流子迁移率也有助于实现高质量的低阻基区。已报道的石墨烯基区晶体管普遍采用隧穿发射结，然而隧穿发射结的势垒高度严重限制了该晶体管作为高速电子器件的发展前景。

刘驰博士等提出半导体薄膜和石墨烯转移工艺，首次制备出以肖特基结作为发射结的垂直结

构构的硅–石墨烯–锗晶体管。与已报道的隧穿发射结相比，硅–石墨烯肖特基结表现出目前最大的开态电流（692 A cm^{-2} @ 5V）和最小的发射结电容（41 nF cm^{-2}），从而得到最短的发射结充电时间（118 ps），使器件总延迟时间缩短了1000倍以上（128 ps），可将器件的截止频率由约1.0 MHz提升至1.2 GHz。通过使用掺杂较重的锗衬底（0.1 Ω cm），可实现共基极增益接近于1且功率增益大于1的晶体管。通过基于实验数据的建模，发现该器件具备了工作于太赫兹领域的潜力。该项研究工作极大地提升了石墨烯基区晶体管的性能，为未来最终实现超高速晶体管奠定了基础。

刘驰博士得到了国家自然科学基金、金属所和沈阳材料科学国家研究中心等项目资助，研究结果发表于Nature Communications，以及IEEE Electron Device Letters和IEEE Transactions on Electron Devices等电子器件领域国际顶级期刊，部分研究成果被科技日报、中国青年报等国内外媒体报道并用于科普宣传。



优秀青年学者奖（应用研究和开发类）获得者——陈胜虎

【颁奖词】为国内首座钠冷示范快堆建设，研发了主容器及堆内构件用不锈钢，不仅打破了国外的封锁，还将国外快堆采用的四种材料统型为一种。

陈胜虎，特殊环境材料研究部，项目研究员。致力于四代核电用高性能结构材料的研发与国产化，负责国家重点研发计划子任务、国家自然科学基金青年项目和面上项目、辽宁省博士启动基金等多项课题。发表论文20余篇，申请专利10余项。入选中国科学院青年创新促进会会员和辽宁省百千万人才工程。

制定了四代钠冷快堆用316KD板材的技术标准，并联合企业实现钢板国产化，保证了我国首座示范快堆的自主化建设进度。钠冷示范快堆工程的启动，标志着我国成为第六个掌握快堆技术的国家，是国家核能发展战略的关键一步。钠冷快堆的服役工况极其苛刻，长期处于高温、腐蚀、辐照等极端环境，国内尚无此工况使用的材料标准，前期模型堆中的结构材料依赖国外进口，不仅价格昂贵，而且受制于人。为了实现示范快堆的自主化建设，打破国外的封锁，亟需建立关键设备用钢板的技术标准，以满足安全性和可靠性要求。

陈胜虎研究员将国外快堆选用的四种材料统一为一种316KD不锈钢，通过合金元素和微观组织的控制，保证材料兼顾强韧性、腐蚀性能、疲

劳性能和持久性能等，满足了工程设计对材料的性能指标要求，制定出钠冷快堆用316KD板材的技术标准（初版）。另一方面，基于实验室研究提出的制备工艺参数，联合山西太钢不锈钢股份有限公司进行了316KD的工业化试制。澄清了厚大铸坯中铁素体的形成机制并提出消除对策，实现铁素体含量小于1%的316KD铸坯制备；揭示了钢板厚度方向混晶现象和表面晶粒异常粗大现象的原因，优化热轧及固溶工艺，实现钢板全厚度方向晶粒度级差不超过2级的控制。

经过三年的攻关，完成了40~90mm系列厚度、单重大于12吨316KD钢板的国产化，国产化钢板的组织均匀性和性能均优于进口钢板，山西太钢不锈钢股份有限公司成为40mm以上厚度316KD钢板的全球唯一合格供货商。国产化钢板已在中国一重（大连）用于示范快堆的自主化建造。

此外，陈胜虎研究员提出晶粒尺寸与碳化物协同控制的思想，实现高性能低活化铁素体/马氏体钢的制备。低活化铁素体/马氏体钢被视为第四代核反应堆的堆芯部件、包壳管以及聚变反应堆的主要结构材料。然而，高温作用下材料界面处的碳化物易发生粗化，导致高温强度在550℃以上显著下降；且受控于材料中的铬含量，抗液态金属腐蚀性能不理想。如何提高低活化铁素体/马氏体钢的高温力学性能及抗液态金属腐蚀性能成为国内外的研究重点。陈胜虎研究员提出晶粒尺寸与碳化物协同控制的思想，通过细化晶粒尺寸提高抗液态金属腐蚀性能的同时，通过细小碳化物的弥散分布控制，来保证细晶结构的稳定性和提高高温力学性能。目前正进一步推进相关制备技术在铅冷快堆堆芯部件及包壳管上的工程化应用。

优秀技术支撑奖获得者——屈伸

【颁奖词】他是一名金属医生，十年间开展各类构件失效分析案例500余项，涉及多种型号航空发动机、燃机、动力系统的故障分析与改进，为解决国防装备的“心脏病”开出了治疗良方。

屈伸，副研究员，材料失效分析中心副主任，中国机械工程学会失效分析分会委员，中国航空学会失效分析分会委员。长期从事关键工程构件失效分析工作。

国防装备的失效会造成巨大的政治和社会影响，严重贻误军事训练和战斗任务的正常进行，同时给国家带来巨大的经济损失。因此，对国防装备的失效分析非常重要，是失效分析行业内要求最高的领域。从2009年开始，屈伸副研究员与

国防装备研制、生产单位紧密结合，承担了多种型号国防装备及构件的失效分析工作。这些分析工作为国防装备在研制和使用中的故障排除、工艺技术改进确定了方向，为型号装备研制工作的顺利进行及故障装备的恢复使用提供了先决条件。

在国民经济领域，重型燃机体现了一个国家顶尖的科研水平以及机械制造业的尖端技术，因而被誉为“装备制造业皇冠上的明珠”。国内进口燃机一旦发生故障，会造成巨大的经济损失。而外国生产企业往往凭借其技术优势将责任归结到国内使用企业，因此客观、准确、及时的故障原因分析是能否索赔成功的关键因素，也决定了能否有力地维护国家利益。近年来，他开展了进口燃机包括GE、Alstom、Mitsubishi-Hitachi、Solar的多种型号重燃机组的涉外失效分析工作。通过有力的证据、客观的结论、据理力争的谈判，从根本上理清了赔付责任，为国内企业挽回了过亿元的经济损失。

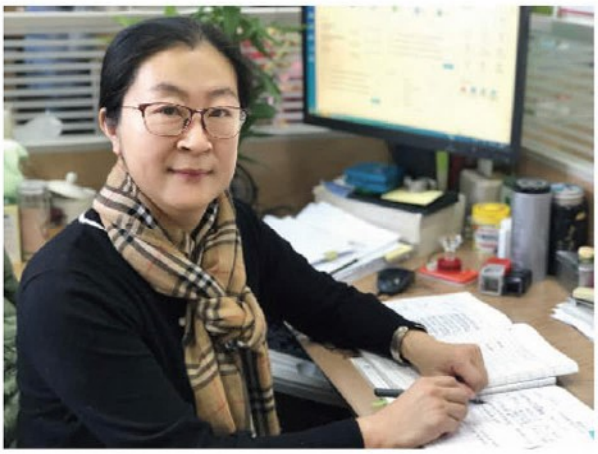
同时他协助政府完成了多项突发事件的事故原因调查工作，例如某市锅炉爆炸事故分析”“某市锰业爆炸事故分析”“某市铅锌矿厂管道爆裂事故分析”等分析工作。社会突发事故的发生往往造成较大的经济损失与人员伤亡，并且社会影响较大。这类事件要求相关部门迅速地做出反应并选派专家进行事故原因调查，将后续损失最小化。他多次深入事故现场调研，在恶劣的环境下采集现场数据、提取关键检材、确定事故原因，为政府后续处置提供了客观、科学的依据。

2009-2019年，屈伸副研究员带领团队共承担各类失效分析案例500余项，涉及航天、航空、舰船、装备、电力、高铁、石油、化工等行业，包括钢铁、高温合金、钛合金、铝合金、镁合金、铜合金、复合材料等多种构件材料，覆盖全国27个省、直辖市以及海外300余家企业。他先后承担和参与了国家自然科学青年基金、国家自然科学基金重大项目、汽车联合基金等关于材料疲劳与断裂有关的基础类科研项目7项，累计发表论文17篇，被SCI刊物论文引用450余次。培养青年技术人才5名，联合培养研究生2名，荣获首届（2013）SYNL技术服务奖。2018年11月24日中央电视台“走近科学”栏目以“金属医生”为专题报道了失效分析团队的工作，2019年1月，中国科学报以“问诊失效金属构件”为题进行了专题报道。

优秀管理奖获得者——何孝瑛

【颁奖词】默默无闻扎根文书岗位十余年，爱岗敬业、坚持原则、乐于奉献，为研究所各项工作提供了重要保障，做到了把一份平凡的工作用心做，用心的工作坚持做。

何孝瑛，综合办公室，六级职员，主要负责文书工作。文书工作是管理工作的重要组成部



分，包括印章、印鉴管理和公文处理、运转等，是研究所上情下达、下情上传的桥梁和纽带。

何孝瑛同志默默无闻扎根文书岗位十余年，她像一颗螺丝钉一样尽职尽责，始终保持严谨的工作作风，并坚持原则、乐于奉献。她又像春风化雨一样待人处事，始终将“急他人之所急、想他人之所想”的服务意识践行于日常工作中，在平凡岗位上闪耀着美丽的光辉。

一枚小小的所印代表了金属所的权威性和法律性，她严把用印质量关，严格按照《金属所印章管理办法》《事业单位法人证书使用管理办法》的有关规定，对研究所各类用印事项严格把关，坚持维护印章使用的合法性和严肃性，有效维护金属所的权益，防止因用印不慎而给金属所带来不良影响或造成损失。有人说她太认真，太仔细了，而她总是坚持自己的原则：“印章虽小，但事关研究所的利益，所以用印无小事。”

在严格坚持用印审批制度的同时，她又不失灵活，经常能够采取合适的方式处理一些急需用印情况，确保不因用印问题而影响材料的报送。她始终树立全心全意为所内各部门服务的意识，急科研一线之所急，无论是下班后、双休日还是节假日，一个电话何孝瑛总是随叫随到。一次两次容易，难的是十多年的坚持始终。占用自己的休息时间以确保正常用印已成为她的家常便饭。何孝瑛说，文书岗位没有轰轰烈烈的感人事迹，坚持不懈、脚踏实地做好本职工作就是最大的光荣。

公文处理是文书工作另一项重要内容。工作中她始终坚持实事求是、准确规范、严谨细致、安全保密的原则，累计收文万余件、发文千件以上，较好地完成了公文处理工作，公文运转良好。她经常与各级领导、业务助理、职能部门保持良好的沟通协作，加强对职能部门公文处理工作的业务指导和培训，遇到问题解决问题，促进了收文、发文、阅文、办文的时效性，提高了工作效率。在发文办理过程中，她从源头抓起，在行文方向、文种和标题、公文格式各要素上严格把关，努力做到公文格式规范、条理清楚，使研究所对外树立良好形象。

在制度建设方面，她根据研究所实际制定了《金属所公文处理办法》《金属所电子公文管理办法（试行）》等文件，使发文、收文流程制度化、规范化。收集整理完成《金属所规章制度文件汇编》并不断更新，使研究所依规管理有章可循、有据可查，为研究所各项工作规范化管理提供了重要的支撑和保障。

对于今后的工作，她仍然会全心全意投入，在平凡的工作岗位上不忘初心、保持本色，为金属所发展贡献自己的一份力量。

金属之星

双年度优秀教学奖获得者——杜奎

【颁奖词】2011年，他接过了《材料的结构》这门重要课程的教学任务。他循循善诱，方法新颖，在传授知识的同时，培养学生科学思维方式。在他的不懈努力下，这门课程已被列为中国科学技术大学研究生核心课程。

杜奎，材料结构与缺陷研究部，研究员、博士生导师。长期从事定量电子显微学研究，重点研究了高温合金、钛合金等材料服役条件下的形变动力学，从基础研究方向推动关键金属结构材料的优化设计与服役安全。在金属原子尺度结构与力学性能关系方面取得了多项创新性成果，引起了国内外同行的广泛关注。拓展了在原子尺度直观揭示物质结构与缺陷的定量电子显微学方法和三维重构技术，实现了在若干金属结构材料构建微结构与性能之间的关系。负责承担了国家自然科学基金航空发动机重大研究计划重点项目、面上项目、青年项目。作为通讯、第一作者在Nature Communications、Physical Review Letters、Acta Materialia、Nano Letters等期刊上发表论文三十余篇。

在科研工作方面，杜奎研究员将原子分辨率的动态成像技术与定量应变分析相结合，通过对位错、孪晶形核时晶体点阵原子尺度应变的定量分析，首次由实验测量获得单个位错、孪晶萌生和扩展时的局域应力变化。这一方法为直接测量金属材料在外加载荷下发生塑性变形时的应力动态变化提供了新的测试手段。以块体纳米孪晶金属为例，定量地建立了材料中原子尺度应力集中与力学性能的直接关系，揭示了材料微观变形机制与宏观力学性能的联系。发现晶界存在显著的尺寸效应，揭示了金属材料中晶界结构的尺寸效应及行为。杜奎研究员实现了铼原子在位错、层错上偏聚占位的原子级成分表征，确定了第三代镍基单晶高温合金蠕变不同阶段转化的结构演化特征。在涡轮盘用合金中发现了钴元素在层错上偏聚形成铃木气团，确立了该合金变形时动态失稳的物理机制。提出了准原位疲劳实验方法，在亚稳beta型钛合金疲劳实验中取得成功，建立了该合金形变行为、力学性能与结构演化的关系。

2011年，杜奎研究员承担了《材料的结构》这门具有挑战性的课程。在课堂教学中，他将学科的核心基础知识与研究进展相结合，把课堂讲授与分组专题演讲、专题报告写作相结合。课堂之外，他将学生按专题分组，针对学习中的一系列专题知识，让学生查阅文献、准备PowerPoint文件，进行分组演讲、问答，在评分中强调创造性、批判性，从而激发了学生主动学习的兴趣，锻炼了他们创造性、批判性思维方式。在教学中，杜奎组织学生选题，通过查阅文献、分析总结、理论计算的方式，撰写文献报告，加深了学生对课堂中学习的基础知识的理解和运用，同时培养了查阅、分析、总结文献的能力。课堂内外气氛活跃，同学们积极参与讨论。在他的不懈努力下，这门课程已被列为中国科学技术大学研究生核心课程。

中国科学院金属研究所
INSTITUTE OF METAL RESEARCH,CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
主　　编：左良　　副 主 编：徐岩　孙晓峰
责任编辑：刘言

IMR
联系电话：024-23971507
E-mail:yanliu@imr.ac.cn
通信地址：沈阳市文化路72号 / 邮编：110016
homepage:http://www.imr.cas.cn