

金属之光

2

中国科学院金属研究所
2017年 第2期 (总第190期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCE

金属之星

2016年度金属所
优秀奖获奖人员介绍

出版日期：2017年3月

石墨烯的晶畴尺寸及其电学和热学性质调控研究取得新进展

晶界是化学气相沉积（CVD）方法制备的大面积石墨烯薄膜中普遍存在的缺陷。深入理解晶界对石墨烯的电学和热学性质的影响对发展基于石墨烯的电子、光电和热电器件具有重要意义。尽管目前对于单个晶界对石墨烯性质影响的研究较多，但宏观尺度上晶粒尺寸对石墨烯电学和热学性质的影响尚不清楚。其主要原因是基于传统的析出（镍基体）或表面吸附生长（铜基体）机制的CVD生长方法无法在大范围内调控石墨烯的晶粒尺寸，制备晶粒尺寸小于电子和声子平均自由程（约1微米）的小晶粒石墨烯尤为困难。

最近，金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室先进炭材料研究部石墨烯研究组采用溶碳量适中的金属铂片作为生长基体，发展出一种基于“析出-表面吸附生长”原理的CVD方法，仅通过改变析出温度便实现了对石墨烯形核密度的控制，制备出晶粒尺寸在~200 纳米到~1 微米范围内均可调、且晶界完美拼合的高质量单层多晶石墨烯薄膜。在此基础上，获得了晶粒尺寸对多晶石墨烯的电导率和热导率的影响规律及晶界电阻率（ $\sim 0.3 \text{ k}\Omega \cdot \mu\text{m}$ ）和晶界热导（ $\sim 3.8 \times 10^9 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ），发现减小晶粒尺寸可导致热导率的显著降低但对电导率的影响较小。根据该影响规律推算，当石墨烯的晶粒尺寸从1毫米减小到5

纳米时，其热导率的衰减幅度可达300倍，而电导率的衰减仅为10倍左右，并且热导率和电导率随晶粒尺寸变化的变化率高于典型的半导体热材料。

上述结果可为通过晶粒尺寸工程调控石墨烯的电学和热学性质，实现其在电子、光电和热电领域的应用提供有益的指导。该成果得到了科技部重点研发计划、国家自然科学基金委杰出青年基金、重大项目、创新群体以及中科院重点部署项目等的资助，于2月16日在Nature Communications上在线发表（Nature Communications,8:14486, DOI: 10.1038/ncomms14486, 2017）。

金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室固体原子像研究部马秀良研究组、中山大学许宁生研究组以及浙江大学金传洪研究组的研究人员也参与了这项研究。

全文链接：

<http://www.nature.com/articles/ncomms14486>

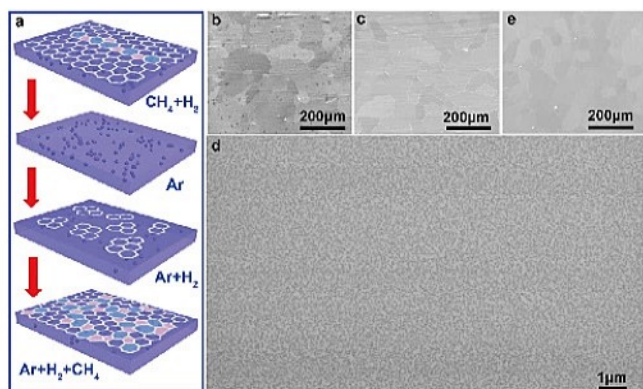


图1 以铂作为生长基体的“析出-表面吸附生长”CVD方法

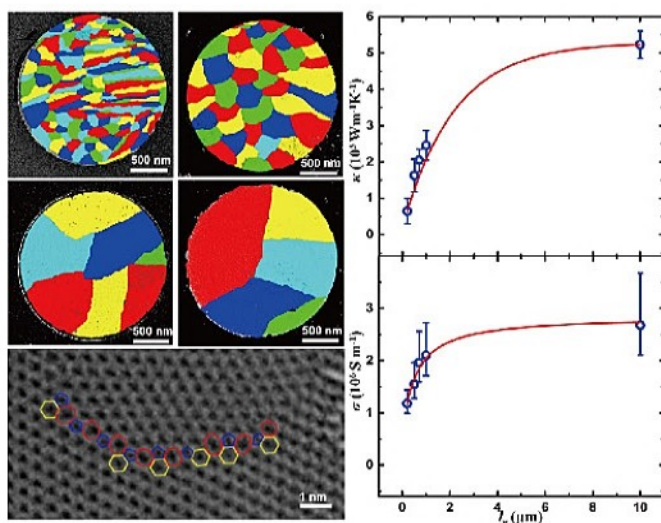


图2采用“析出-表面吸附生长”CVD方法制备的晶粒尺寸均可调的高质量多晶石墨烯薄膜及晶粒尺寸对石墨烯热导率和电导率的影响

石墨烯的洁净无损转移及柔性OLED应用研究取得新进展

化学气相沉积 (CVD) 方法制备的大面积石墨烯薄膜在柔性有机发光二极管 (OLED)、有机太阳能电池等薄膜光电器件领域具有重要的应用前景, 而其洁净、无损转移是实现上述应用的关键。虽然目前发展了多种以聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 为代表的高分子作为转移介质的转移方法, 但高分子与石墨烯间的相互作用较强且不易在溶剂中溶解, 导致转移后的石墨烯表面有大量的高分子残留和破损, 不仅降低了石墨烯的光电性能, 还极大地增加了石墨烯的表面粗糙度, 如PMMA转移后单层石墨烯的表面粗糙度可达数百纳米。因而, 以此作为透明电极制备的薄膜器件易发生短路、效率低, 大面积器件的制备尤为困难。目前已报道的采用石墨烯作为透明电极的OLED器件的发光面积大多小于1平方厘米, 而有机太阳能电池的活性面积则小于0.6平方厘米。

最近, 金属所沈阳材料科学国家 (联合) 实验室先进炭材料研究部石墨烯研究组发展了一种以小分子松香作为转移介质的转移方法, 实现了大面积石墨烯的洁净、无损转移。相比于传统使用的PMMA等高分子转移介质, 小分子松香树脂不仅易溶于多种有机溶剂, 与石墨烯的相互作用弱得多, 而且可以形成足够强度的薄膜以起到在转移过程中支撑石墨烯的作用。研究发现, 以松香转移的石墨

烯薄膜在表面粗糙度、结构完整性、光电性能及其均一性等方面均远优于以PMMA转移的样品。单层石墨烯薄膜的最大表面粗糙度仅为15纳米, 透光性高达97.4%, 在大面积范围内其面电阻的变化小于1%。多次转移后得到的5层石墨烯薄膜的导电性得到了极大的提高, 但其最大表面粗糙度也仅为35纳米。在此基础上, 他们与中国科学院长春应用化学研究所马东阁研究组的研究人员合作, 以这种表面洁净、结构完整、粗糙度极低的石墨烯作为透明电极, 制备出发光均匀、面积达56平方厘米的4英寸石墨烯基柔性OLED原型器件, 其亮度高达10,000cdm⁻², 已达到照明和显示的实用要求, 并且数次弯折后性能不衰减。

上述结果为CVD方法制备的石墨烯等二维材料的洁净无损转移提供了一个通用策略, 对促进其在大面积电子、光电等器件中的应用具有重要意义。该成果得到了科技部重点研发计划、国家自然科学基金委杰出青年基金、重大项目、创新群体以及中科院重点部署项目等的资助, 于2月24日在Nature Communications上在线发表 (Nature Communications, DOI: 10.1038/NCOMMS14560, 2017)。

全文链接: <http://www.nature.com/articles/ncomms14560>

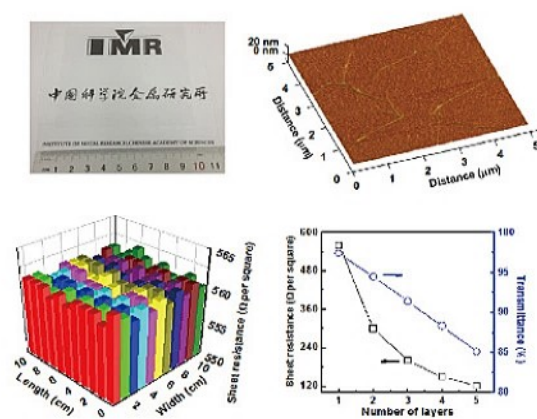


图1 以松香作为转移介质制备的洁净、无损的大面积石墨烯薄膜

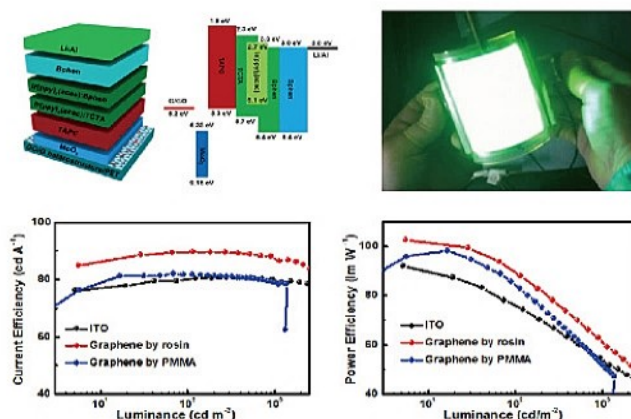


图2以松香转移的石墨烯薄膜作为透明电极制备的大面积柔性OLED器件

2016年度金属所优秀奖获奖人员介绍



任文才，
先进炭材料研究部，研究员，国家杰出青年科学基金获得者。

石墨烯等二维晶体材料具有多种新奇的物理化学性质，在电子、信息、能源、航空航天等领域具有广阔的应用前景，而材

料的控制制备是研究其物性和实现其在不同领域应用的前提和基础。近年来，任文才研究员主要致力于石墨烯等二维晶体材料的控制制备及其在光电、储能、复合材料等领域的应用基础研究，取得了系列原创性成果，在国内外产生了重要影响，推动了二维晶体材料领域的发展。主要研究成果包括：

揭示了石墨烯边界依赖的化学气相沉积（CVD）生长动力学机制（PNAS, 2013），阐明了晶界对石墨烯电学和热学性质的影响规律（Nat Commun, 2017），在国际上率先制备出毫米尺寸的高质量单晶石墨烯，发明了普适的电化学气体鼓泡无损转移新方法（Nat Commun, 2012, 获中国、美国、欧盟、日本、韩国专利），实现了大面积石墨烯的洁净无损转移，研制出4英寸柔性OLED器件（Nat Commun, 2017），为石墨烯在光/电器件中的应用奠定了基础。

提出了以多孔金属为生长基体的模板导向CVD方法，直接制备出高导电、柔性的石墨烯三维网络结构材料（Nat Mater, 2011），研制出基于该材料的高性能弹性导体、可快速充放电的柔性锂离子电池（PNAS, 2012）、轻质高效的柔性电磁屏蔽材料（Adv Mater, 2013）等，最近又

科技创新奖（基础研究类）——任文才

将该材料与氧化石墨烯结合起来，利用两者的互补优势和协同作用制备出高性能锂硫电池（Adv Mater, 2016），极大拓展了石墨烯的物性和应用。

发展出多种方法提高了化学氧化剥离法制备的石墨烯的导电性和可控性（ACS Nano, 2009 & 2010; Carbon, 2009 & 2010），发明了高效制备高质量石墨烯的新方法，技术入股建成年产30吨高质量石墨烯粉体生产线；率先揭示了石墨烯的场发射性能（Adv Mater, 2009），制备出系列高性能石墨烯复合电极材料（ACS Nano, 2010, 入选2006–2016年我国被引次数最高的10篇论文；Adv Funct Mater, 2010等），揭示了石墨烯与氧化物的协同储能效应，并系统探索了石墨烯粉体在热管理、导电油墨、防腐蚀涂层等领域的应用。

发展出一类新型二维晶体材料——二维过渡族金属碳化物晶体，发现超薄 Mo_2C 具有二维超导特性（Nat Mater, 2015），并揭示了其独特的畴结构及畴界对二维超导特性的影响（Nano Lett, 2016）；提出了以金作为生长基体的CVD方法，制备出严格单层的高质量二硫化钨，进而研制出大面积柔性晶体管阵列（Nat Commun, 2015）。

相关研究成果发表SCI论文100余篇，被SCI引用12,200多次；申请发明专利40多项，获授权专利近30项，1项已实施。多项工作被Nature、Nature Materials等选为“研究亮点”，1项入选“2011年度中国科学十大进展”。并应邀为Nature撰写News & Views 1篇、为Nature Nanotechnology纪念石墨烯发现十周年专辑撰写评述论文1篇。部分成果获2015年度辽宁省自然科学一等奖。

科技创新奖（应用研究和开发类）——李京

李京，国家金属腐蚀控制工程技术研究中心，研究员。李京研究员作为材料耐久性防护与工程化课题组组长，带领课题组以重防腐涂料的基础研究为依据，开发和生产了两个系列重防腐涂料，即SEBF熔融结合环氧粉末涂料和SLF高分子复合涂料，生产规模年产可达千吨；研究设计成功了国内首例万吨埋地管全自动内外涂装生产线和中、小型涂装生产线，已在全国安装8条；建立快速固化、常规热固化和常温固化三类涂装工艺；主持制订《熔融结合环氧粉末涂料的防腐蚀涂装》国家标准，获得专利24项。重防腐涂装技术已经在秦山核电站海水冷却回路系统、国家“西气东输”工程用天然气管道弯管、杭州湾跨海大桥钢管桩、舟山连岛金塘大桥钢管桩、上海市青草沙水源地原水工程输水工程等重大基础防腐工程中发挥了不可替代的作用，为国民经济建设做出了重要贡献。

近年来，李京又带领课题组承担了港珠澳大桥基础结构钢管桩设计寿命为120年的防腐工程。港珠澳大桥的大部分钢管复合桩位于泥下区，其涂层破坏方式主要来源于打桩过程中的机械损伤、泥砂碎石磨划伤和泥下腐蚀因素的长期侵蚀、降解等，因此李京课题组把研究防护涂层体系重点瞄准在解决打桩过程中的耐划伤性、耐磨损性和长期服役过程中抗海水渗透性、耐阴极剥离性和长期湿态附着力、耐微生物等方面，针对港珠澳大桥特定的海泥环境，从大桥论证时起就开展了相关涂层的研发工作，先后从涂层的抗渗透性、耐阴极剥离性等关键性能指标着手解决涂层的耐久性问题，保证了涂层的120年耐久性设计要求。

港珠澳大桥基础120年耐久性设计要求仅仅依靠涂层防腐的防护手段是远远达不到的，必须与阴极保护技术联合使用。以往我国跨海大桥的



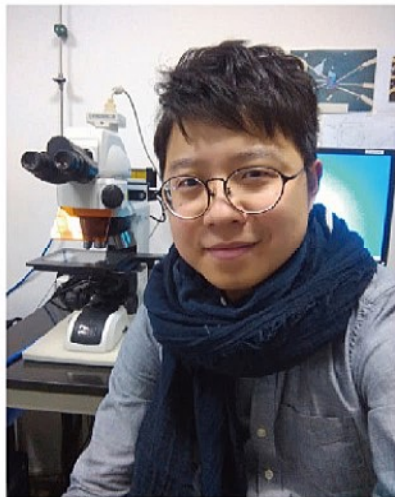
阴极保护重点是浸在海水中的钢管桩，而港珠澳大桥的多数钢管复合桩均位于混凝土承台下的海泥中，如何实施阴极保护没有先例可鉴，这给港珠澳大桥钢管复合桩的阴极保护耐久性设计提出了很大难题。李京带领课题组针对该腐蚀环境和结构特点，利用海水中的牺牲阳极、发射阴极，保护电流通过界面流向海泥中的钢管，解决了海泥中更换牺牲阳极难度过大的问题。

港珠澳大桥基础桥墩使用的混凝土是海工混凝土，其除强度和拌合物的和易性除应满足设计、施工要求外，在抗渗性、抗冻性、抗蚀性、防止钢筋锈蚀和抵抗冰凌撞击方面都有更高的要求，为此课题组研发出一种高性能涂层钢筋技术，专家鉴定认为其技术性能超过现有国内外相关涂层钢筋的技术指标，在同类产品中处于国际领先水平。

2016年9月27日，历时4年多建设的世界最长跨海大桥港珠澳大桥桥梁主体工程全面贯通。材料耐久性防护技术在港珠澳大桥工程建设中的重要应用标志着我国钢筋防腐迈出了重要一步，为我国重大海洋工程基础建设耐久性设计提供了强有力的技术支撑，同时也将极大地推动我国海洋工程钢筋防护水平的提升。

金属之星

优秀青年学者奖（基础研究类）——韩拯



韩拯，磁性材料与磁学研究部，研究员。2013年9月于法国奈尔研究所(Néel Institute)获得博士学位，后在美国哥伦比亚大学开展博士后研究。2015年以“青年千人计划”加入金属所

研究磁学与磁性材料研究部。

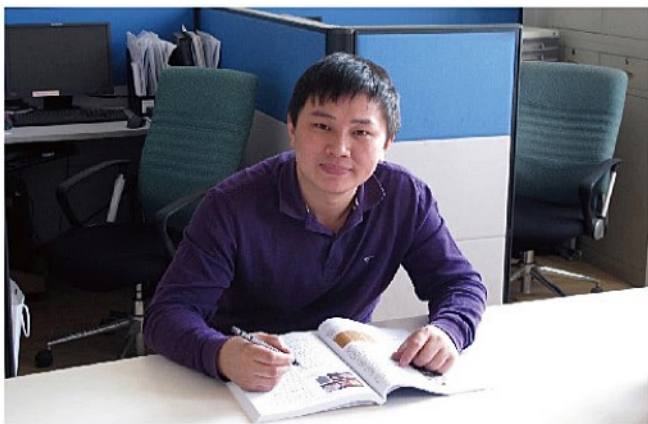
韩拯研究员自2010年起，采用微纳加工和人工堆垛的纳米复合手段，针对基于二维材料与其它诸如超导点阵、宽带半导体氮化硼等材料的界面耦合开展了一系列研究工作。实现了新型二维纳米复合体系(nano hybrids)的材料可控生长、原子层厚度人工堆垛、与功能材料的人工纳米复合，以及低温强磁场下的性能测试。揭示了相关体系经过人工纳米复合之后的新奇物理特性，相关工作发表在Science、Nature Physics、Nature Materials等学术期刊。

2016年，他在人工复合低维材料纳米器件

及其量子输运调控研究中取得了系列进展。在超高迁移率微纳器件中，利用原子级别平整的石墨栅极边缘定义pn结，使得入射电子不经过任何散射到达界面，并在门电压与弱磁场的共同调控下首次实验得到了电子负折射。成功地证实了科学家在理论上预言的Veselago透镜的电子光学版本。韩拯研究员作为共同第一作者将该工作发表在Science杂志(Science, 353, 1522, (2016))。该工作为电子光学实验及其新型全电控电子开关等方面的应用与发展奠定了基础，被Physics World杂志(英国皇家物理学会IOP旗下)评为2016年度“物理学十大突破”之一。

此外，韩拯研究员与先进炭材料研究部孙东明研究员合作，通过固相反应的方法成功制备出 WTe_2 的块体材料，并表征了块体性能。通过机械剥离得到了少数层和单层材料，基于此成功制备了 WTe_2 的纳米器件，并进行了一系列低温输运性能测试。发现缺陷在少数层 WTe_2 纳米器件中会引发金属-绝缘体转变，并伴随磁电阻从抛物线到线性再到弱反局域化的转变。通过对其微分电阻测试发现，少数层 WTe_2 纳米器件在低温下会出现库伦带隙，并且该库伦带隙会受温度及磁场的调控。该实验结果首次在缺陷调控的角度上揭示了少数层 WTe_2 磁电阻之间的变化关系，发表在2D Materials杂志(2D Mater. 4, 011011, 2017)。

优秀青年学者奖（应用研究和开发类）——朱正旺



朱正旺，非平衡金属材料研究部，项目研究员。2009-2010年在日本东北大学金属材料研

究所从事博士后研究，2010年回所。承担和参与了国家自然科学基金委、973、“载人航天”工程和国家其他部委等资助的多项课题。在Acta Materialia、Scripta Materialia、Scientific Reports和Applied Physics Letters等期刊发表研究论文50余篇，申请发明专利21项，授权12项。开发了多种新材料，已获得实际应用。入选中国科学院青年创新促进会，获得第三届师昌绪青年科技人才基金。

朱正旺研究员主要致力于非晶合金及其复合

材料的研究，在非晶及其复合材料结构设计、可控制备以及应用方面开展了广泛、深入而富有成效的科学研究，取得了一些具有重要影响的研究成果。

他开展了凝固控制与非晶合金形成、微观结构、性能之间关系研究，建立了浇铸温度与非晶合金热稳定性、微观结构、变形特性之间的关系，提出了通过浇铸温度的调控改善非晶合金的形成、调制非晶合金的微观结构的新方法，并阐述了相关内在机制。该发现一方面对于正确认识熔体结构与非晶形成的内在联系具有重要促进作用，丰富了非晶合金形成基本理论；另一方面促进了全面认识非晶合金的微观结构与力学性能关系。由此形成的非晶合金制备工艺图，保证了性能稳定的非晶合金制备，为其实际应用奠定了基础。相关技术成果已实现了转移转化。

系统研究了Ti基和Zr基非晶合金的二十面体局域有序与合金相组成之间的关系，提出了非晶复合材料结构设计和控制制备原理，建立了非晶复合材料可控制备的新方法，实现外加相+内生

界面的有机融合，成功制备出高性能、第二相体积分数可控且呈不同分布形式（如弥散分布、层状、双连续相等）的复合材料，最大拉伸塑性~10%，且具有加工硬化能力，揭示了变形机制。实现了非晶复合材料的高性能、结构设计和可控制备的相互统一。一方面为该类材料的实际应用奠定了技术基础，另一方面为其他高性能复合材料的结构设计与制备提供了成功的经验。

朱正旺研究员还将非晶合金引入废水处理领域，获得了比较理想的结果。发现并报道了Fe、Co和Ni基非晶合金对印染废水具有高效降解脱色的新功能，与常用零价铁相比，降解效率提高1~3个数量级以上，质量损失低，并能多次重复使用；提出以Fe基非晶合金条带作为电极降解偶氮染料水溶液方法，实现了高效、低能耗、低电极损耗降解，降解效率进一步提高，更能适应实际水理工况。以上结果拓展了非晶合金的应用领域，为解决非晶合金广泛应用的产生的大量废旧品问题、实现“以废制废”提供了一个有效途径。

优秀技术支撑奖——迟美

迟美，学报信息部，责任编辑。迟美作为一名科技期刊的责任编辑，爱岗敬业，在平凡的岗位上默默奉献，甘为他人做嫁衣，全身心的致力于科技传播。迟美同志自2010年在学报信息部工作以来，先后在《金属学报》、《AMSE》和《中国腐蚀与防护学报》三个编辑部工作，不但具备坚实的材料学科背景知识和扎实的编辑技能，同时全面熟悉并掌握中英文稿件的编校和出版工作，工作涉猎范围广，技术全面，对稿件处理的能力强，编辑业务能力突出。自2013年担任《中国腐蚀与防护学报》与《腐蚀科学与防护技术》编辑部主任以来，积极开展工作，不断为腐蚀期刊的可持续发展谋求新方法。她借助参加腐蚀与防护领域学术会议的机会，积极走访相关高校和科研院所，为期刊进行广泛宣传，并积极约稿、策划专刊，注重挖掘潜在的审稿专家和作者，扩大了两本期刊在腐蚀与防护领域科研技术



人员中的影响力。近年来，她积极开展腐蚀两刊的差异化办刊，注重提升《中国腐蚀与防护学报》的科研性及《腐蚀科学与防护技术》的应用性，腐蚀两刊的进步显著。其中，《中国腐蚀与防护学报》在中信所发布的CJCR影响因子逐年攀升，在最新公布的统计数据中，《中国腐蚀与防护学报》的影响因子为0.719，较去年提高了33%，在材料综合类期刊中排名第五。2015年



获得了“中国科协精品科技期刊工程第四期-学术质量提升”项目，共计45万的资助，实现了资助项目的零突破。迟美同志在工作过程中责任心强，对待稿件认真负责，有耐心，善于与作者进行沟通，协调能力突出。在处理疑难稿件时，她

通过反复修改和与作者沟通，使稿件达到出版要求，多位作者表示通过在《中国腐蚀与防护学报》投稿，提高了自身科研论文的写作能力，她认真负责的态度多次受到作者的好评，她也于2015年获得沈阳市新闻出版战线先进个人称号。



魏薇，研究生部，副研究员。自2009年9月至今，在研究生部从事研究生教育管理工作，主要负责留学生、就业、学生社团等管理工作。

留学生教育是我所增强国际影响力、促进文化交流、提升教育国际化水平和缓解招生名额限制的一项重要工作。经过几年的努力，金属所留学生数量初具规模，从几名增至几十名学生。目前在读博士生35人，分别来自印度、巴基斯坦、埃及、尼日利亚、伊朗、尼泊尔等8个国家，其中43%以上获得了发展中国家奖学金、中国政府奖学金、国科大奖学金和中科大奖学金。为了全面提升留学生工作质量，在积极拓展宣传渠道，吸引各国优秀生源的同时，魏薇本着“以人为本”的原则，建立了一套科学化、规范化、制度化的管理系统。四年来，留学生工作按部就班、有条不紊地开展，已有1名留学生顺利毕业并

优秀管理奖——魏薇

回国任教。

近年来，研究生就业形势日趋严峻。为了给毕业生提供更多高质量的就业信息，有针对性地开展就业指导和服务工作，她每年定期的、有针对性地选择100余家就业单位邮寄毕业生求职信息，扩大学生就业范围。从2011到2016年，通过所内招聘信息就业的毕业生达到就业人数的30%以上。同时，她通过就业信息问卷调查，多角度收集信息，为高质量就业服务和研究生培养工作提供指导意见。

高学历人才的素质培养是高等教育的重要任务之一，以学生为主体的学生社团对于素质教育的作用日益凸显。2011年开始魏薇重点倡导组织学生基于共同的兴趣爱好成立学生社团，现已成立学术型、社会实践型和文体型等学生社团11个，社团成员近300人，占在学学生总数的40%以上。五年来她始终以“全心全意为学生服务、营造特色校园文化、提高全体研究生的综合素质”为目标，力争传承金属所优秀文化，加强全体研究生的综合素质培养。

从事教育管理工作的六年来，不论是留学生工作、就业、还是学生社团管理工作，魏薇认为都是研究生培养的重要环节，对我所研究生事业的发展至关重要。她热爱工作岗位，一直努力做到坚持原则、高质高量、开拓进取、热情服务。