

# 金属之光

6

中国科学院金属研究所  
2014年 第6期 (总第157期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH CHINESE ACADEMY OF SCIENCE

## 热结构复合材料课题组



# 共晶锡铟焊料与铜基板的界面反应研究进展

共晶锡铟合金的熔点约为120℃，是一种典型的低熔点无铅焊料，被广泛应用于低温互连领域和多级微电子封装。与其他锡基无铅焊料不同的是，该合金中的Sn和In元素都可以与Cu进行反应，从而生成种类繁多的不同金属间化合物，如： $Cu_6Sn_5$ 、 $Cu_3Sn$ 、 $Cu_7In_3$ 、 $Cu_9In_4$ 、 $CuIn_2$ 、 $Cu_2In$ 和 $Cu_{10}In_3$ 等等。由于这些金属间化合物的成分较为接近，在界面反应中难以区分，一直以来缺少针对锡铟-铜互连体系界面反应的系统研究，限制了锡铟无铅焊料的推广应用。

近年来，金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室刘志权研究员和田飞飞博士详细研究了共晶锡铟焊料在单晶与多晶铜上的界面反应，表征了金属间化合物的种类和形貌，发现了界面化合物间的相互转化，揭示了界面Kirkendall孔洞的形成机制，取得了以下主要研究进展：1）利用电子显微学表征技术，精确鉴定出了In-48Sn/Cu互连体系在回流焊后，界面组织由两种晶体结构三种不同形貌的金属间化合物组成——四方结构的 $Cu(In,Sn)_2$ 与粗晶和细晶双层六方结构的 $Cu_2(In,Sn)$ ，并揭示了界面化合物的生成顺序和生长剥离机制；2）利用EBSD分析技术，发现了单晶Cu基体上粗晶 $Cu_2(In,Sn)$ 化合物的择优生长位向关系——在(100)Cu和(111)Cu基体上沿<011>方向生长，而在(102)Cu基体上沿<010>方向生长，两者的

原子错配度分别为2.3%和2.9%；3）发现了固态时效过程中界面化合物的相互转化，包括 $Cu(In,Sn)_2$ 生长而 $Cu_2(In,Sn)$ 消耗， $Cu_2(In,Sn)$ 和 $Cu(In,Sn)_2$ 共同生长，以及 $Cu_2(In,Sn)$ 生长而 $Cu(In,Sn)_2$ 消耗三种类型，设计时效实验验证了两相间的可逆转变，并用界面反应分析方法讨论了不同温度下界面化合物的相互转化机制；4）通过Cr-marker实验，确定了In-48Sn/Cu互连体系中反应初始界面为粗晶和细晶 $Cu_2(In,Sn)$ 化合物层的分界面，同时也是Kirkendall孔洞界面，阐明了初始界面两侧化合物的生长机制及Kirkendall孔洞的形成机制。

上述研究成果对于理解In-48Sn/Cu互连体系的界面反应行为和封装可靠性具有重要意义，相关工作得到了中国科学院“百人计划”项目和国家重大基础研究计划973项目的资助，部分成果已经发表于Journal of Applied Physics 115(2014)043520-10, Journal of Alloys and Compounds 588(2014)662-667和591(2014)351-355，以及Materials Letters 121(2014)185-187上。

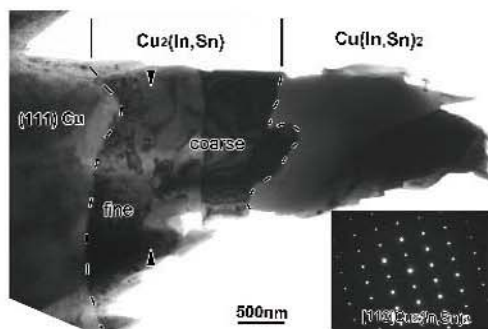


图1 界面反应形成的块状 $Cu(In,Sn)_2$ 及粗晶和细晶 $Cu_2(In,Sn)$ 化合物

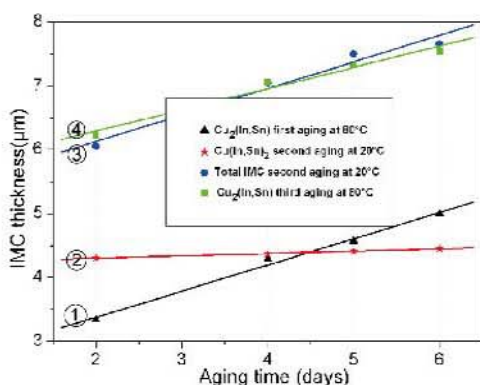


图2 单晶Cu基体上粗晶 $Cu_2(In,Sn)$ 化合物的择优生长

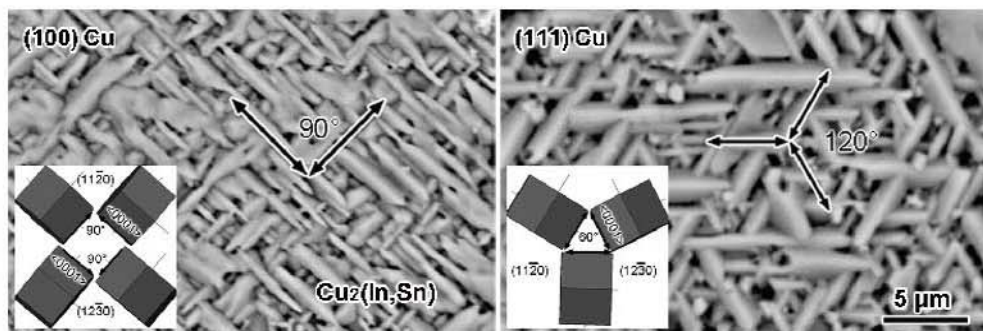


图3 固态时效过程中 $Cu(In,Sn)_2$ 和 $Cu_2(In,Sn)$ 化合物可逆转变的实验验证

# 新型含有咪唑、三苯胺结构聚酰胺酰亚胺电致变色材料的合成

聚酰胺酰亚胺简称PAI，是酰亚胺环和酰胺键有规则交替排列的一类聚合物。玻璃化温度 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ ， $250^{\circ}\text{C}$ 下具有优越的机械性能，热变形温度为 $269^{\circ}\text{C}$ ，模塑料拉伸强度为 $90\text{MPa}(23^{\circ}\text{C})$ 和 $59\text{MPa}(260^{\circ}\text{C})$ ，弯曲强度为 $157\text{MPa}(23^{\circ}\text{C})$ 和 $96\text{MPa}(260^{\circ}\text{C})$ 。

聚酰胺酰亚胺具有优良的机械性能，本色料拉伸强度为 $190\text{MPa}$ 。模制塑料主要用于齿轮、辊子、轴承和复印机分离爪等。它具有良好的耐烧蚀性能和高温、高频下的电磁性，可作飞行器的烧蚀材料、透磁材料和结构材料。它对金属和其它材料有很好的粘接性能，适用作漆包线漆、浸渍漆、薄膜、层压板材、涂层和粘合剂。用它制作的漆包线已用于H级深水潜水电机上。

电致变色是指材料的光学属性（反射率、透过率、吸收率等）在外加电场的作用下发生稳定、可逆的颜色变化的现象，在外观上表现为颜色和透明度的可逆变化。具有电致变色性能的材料称为电致变色材料，用电致变色材料做成的器件称为电致变色器件。这类器件工作时，在两个透明导电层之间加上一定的电压，电致变色层材料在电压作用下发生氧化还原反应，颜色发生变化。电致变色智能玻璃在电场作用下具有光吸收透过的可调节性，可选择性地吸收或反射外界的热辐射和内部的热扩散，减少办公大楼和民用住宅因保持适宜温度而消耗的大量能源，同时也能起到改善自然光照强度、防窥的目的。电致变色材料具有双稳态的性能，用电致变色材料做成的电致变色显示器件不仅不需要背光灯，而且显示静态图像后，只要显示内容不变化，就不会耗电，达到节能的目的。电致变色显示器与其它显示器相比具有无视盲角、对比度高等优点。用电致变色材料制备的自动防眩后视镜，可以通过电子感应系统，根据外来光的强度调节反射光的强度，达到防眩目的作用，使驾驶更加安

全。电致变色智能玻璃能以较低的电压（ $2\sim 5\text{V}$ ）和较低的功率调节汽车、飞机内部的光线强度，使旅途更加舒适。目前，电致变色调光玻璃已经在一些高档轿车和飞机上得到应用。

近期，金属所钛合金研究部刘禹博士与吉林大学晁丹明博士合作，制备出一系列新型具有电致变色性能的聚酰胺酰亚胺聚合物。该工作发表在杂志Organic Electronic（2014, 15, 1422–1431）<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566119914001451>）。

他们通过多步有机合成制备出一系列含有三苯胺、咪唑功能基团的聚酰胺酰亚胺（PAI）材料。该系列聚合物具有高玻璃化转变温度、高耐热性、高溶解性等优点，可应用于电致发光材料领域。该聚合物材料具有较高的颜色转化效率（ $205\text{cm}^2/\text{C}$ ）和较大的颜色变化率（ $80\% \text{at } 776\text{nm}$ ）。该聚合物在 $1.27\text{V}$ 直流电压下可使颜色由淡黄变为绿色（半氧化态），提高电压到 $1.68\text{V}$ 后变为蓝黑色（全氧化态）。由于合成的PAI材料具有较高的耐温等级，所以在某些特种环境，例如极寒极热条件下具有潜在应用价值。

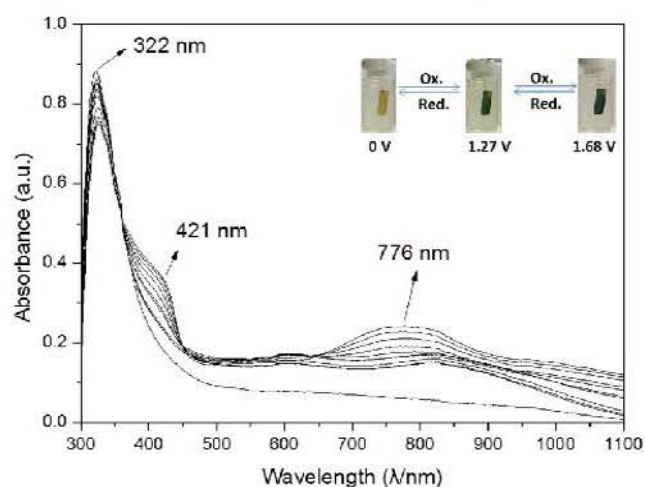


图1 聚酰胺酰亚胺膜在不同电压下的收谱图

# 聚焦：

## 热结构复合材料课题组



中科院金属所热结构复合材料组从1972年起在国内率先开展化学气相渗制备C/C复合材料研究，也是国内最早开展化学气相渗制备C/SiC复合材料研究的单位之一。课题组研究成果“化学气相渗及制备新材料”曾获得国家科技进步二等奖。围绕航天耐热领域，该课题组先后承担国家863项目、科学院重大基金项目等三十余项，在C/C、C/陶制备工艺和材料研究方面取得了创新性的成果，并积累了大量经验。特别是在材料体系设计与组分优化、制备工艺及参数优化、组织控制及性能评价、抗烧蚀机理研究等方面做了大量研究工作，并取得了阶段性成果。在复合材料快速制备工艺方面取得突破，发明了快速化学气相渗技术，大幅度降低了C/C、C/SiC复合材料的成本，并形成了量产；在碳基、陶瓷基复合材料研究方面积累了丰富的经验，成功地研发出多种新型C/C、C/SiC、C/C-SiC-UHTC陶瓷基复合材料。经过几十年的发展，热结构复合材料组已经发展成集应用基础研究、应用研究及工程化研究为一体的研究队伍，共有工作人员15人，包括研究人员3人、支撑人员3人、技术工人9人，另有研究生2人。

近年来，为了应对未来航天器长时高速飞行、重复使用、高效费比、高可靠性的技术挑战，耐热复合材料将迎来一个持续的发展热潮，总体趋势朝着高性能化、轻质化、多功能化、低成本化方向发展，跨学科基础研究以及材料体系、制备方法创新研究将在未来耐热复合材料发展中发挥不可或缺的关键作用。热结构复合材料组适时调整研究方向，将其发展定位于瞄准航天耐热等极端服役环境，致力于超高温新材料新工艺研究，重点开展新型超高温碳基-陶瓷基复合材料制备技术及涂层研究，以及高效快速低成本耐热构件制备技术研究，以满足航天器对耐热材料发展的需求。

随着航天器的发展，对热防护材料提出了全新的使用要求，即要求材料具有耐超高温、长时间抗氧化、（近）零烧蚀的特性。针对以上的材料要求以及技术瓶颈，该课题组在复合材料结构设计、成分控制、强韧化机制、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。主要创新点如下：在材料研究方面，采用快速化学气相渗技术

首次成功制备出大尺寸-高密度-近化学剂量比的C/SiC复合材料。在制备过程中，探索出快速化学气相渗（CVI）制备C/SiC复合材料的工艺路径；提出了快速CVI过程中SiC的沉积机制；并提出了Si原子在热解碳界面层的扩散对材料力学性能的影响机制，从而有效解决了传统CVI工艺制备时间长、厚度效应明显且难制备高密度材料的问题。研制出一种具有长时间抗氧化零烧蚀特性的C-ZrB<sub>2</sub>/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ZrB<sub>2</sub>，实现了材料在1000-2000℃的全氧化防护。为了进一步提高材料强度和耐高温能力，研制出C-ZrB<sub>2</sub>/C-SiC-ZrB<sub>2</sub>复合材料。其特点是采用纤维和颗粒作为二元增强体，起到增强增韧的作用；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ZrB<sub>2</sub>-SiC基体，起到抗冲刷、抗氧化和抗烧蚀的作用。该材料具有优异的超高温力学性能和抗氧化性能。研制出一种新型三明治结构材料，该材料具有以下特点：两侧为致密的C/ZrB<sub>2</sub>-SiC复合材料起到抵抗超高温和抗烧蚀的作用，中间为致密C/SiC复合材料，起到提供结构强度、抵抗高温和抑制氧化的作用，该材料经1000s、1800℃循环或连续烧蚀，表现出很好的可重复使用特性。

热结构复合材料组在发展新型耐热材料体系的同时，积极开展新型耐热构件研制，近年来已研制出不同材料体系的100余种耐热组件，满足了国家任务的需求。另外，课题组积极推进C/C、C/陶复合材料产业化，与10余家企业建立了广泛合作。

未来，热结构复合材料组将通过发展化学气相渗过程强化技术、高温化学气相沉积技术、热解碳与碳化硅微观结构控制技术、复相高温陶瓷基体前驱体热转化技术、超高温抗氧化涂层技术等关键制备技术，着眼于开展新型非烧蚀型C/C-SiC、C/SiC及C/SiC-UHTC复合材料研究以及多功能防隔热一体化材料研究，以期在结构设计、界面层、基体结构、氧化防护、加工装配等方面实现材料技术集成。

## 西田先生

刘志权

2013年11月，我应邀前往日本大阪大学做为期三个月的访问教授。由于学校的国际交流中心客房紧张，朋友通过中介帮我在校外租了一间公寓房，西田先生便是我的房东。虽然以前曾经在日本工作生活过六年多，结识过许多日本友人，但西田先生在短短三个月中所留给我的印象，仍然让人难以忘怀。

初识西田先生，是我抵达大阪的当日下午，从机场赶到公寓时已是傍晚4点多。在朋友打电话联络房东的空当儿，我打量了一下面前的公寓。这是一座南北向的四层楼房，有三十几个房间，楼前的空地上整整齐齐地排列着入居者的自行车，院内墙边错落有致地摆满着各式各样的盆景和鲜花。不大的小院儿，竟显得井然有序、生机盎然。一位五十多岁的中年男子小跑着迎了出来，他中等身材，体态匀称，头戴鸭舌帽，身穿夹克衫，国字方脸，颧骨稍高，还没走到近前就弓着腰笑容可掬地对我进行了标准的日式欢迎，这便是西田先生了。

寒暄过后，西田先生将我带到预定的房间，逐个看过屋内设施物品并确认入住后，我们开始办理入住手续。首先签署租房协议并缴纳租金，交接房间钥匙；其次介绍水、电和煤气的使用方法，计量依据和缴费方法；然后说明公共洗衣机和烘干机的使用方法、注意事项；最后是垃圾的分类方法，收集地点和日期等。不知不觉一个半小时过去了。根据我以往在日本搬家的经验，入住程序介绍到此就该结束了。没想到上述常规内容介绍完毕，西田先生又拿出一个大档案袋，展开其中的一张地图，用记号笔标出了我所住的公寓和在大阪大学工作的研究室位置，并画出了步行或骑车的最近路线。接着又拿出了一叠途径我们住处的所有巴士的时刻表（分工作日、周末及假期共三种），并详细说明到大阪大学、地铁站、市役所、医院、商场等地的不同线路和早末班时间。最后，他又拿出十几张住处周围商店的宣传页，包括电器、家具、服装、蔬菜、肉类等，用不同颜色的笔在地图上——标记，并详细介绍商品打折的日期和时间段等。西田先生将所有的信息一一介绍完才放心地离去，前后足足用了三个小时！这是我所经历的最全面的入住介绍，囊括了衣食住行的各个方面。后来三个月的生活证明，这些资料对于一个外国人是多么重要！它给我提供了极大的便利，让我少走了不少弯路。我不得

不对一丝不苟得近乎啰哩啰嗦的西田先生心生敬意。

入住之后，我慢慢与西田先生熟识起来。这么大的一个公寓，只有他和他的母亲两个人打理，但每天的洒扫清洁、物品修缮都做得井井有条。最让我感到耳目一新的是，即使在冬日里，公寓的院墙边、楼梯口和走廊角也都摆上了盛放的鲜花盆景，而且每十天半个月就会更换一次。我原以为这些都是租借而来，后来才知道这些花都是西田先生随时令变化自己栽种的。西田先生真是独具匠心啊！2014年元旦前夕，西田先生特地将一盆含苞待放的梅花放在了我房门前的走廊拐角处。整个元月直至春节，走廊里梅花飘香，不由得驻足观赏，感念善解人意的西田先生对我这个独在异乡游子的特别关照。

转眼三个月的访问期即将结束，在办理退房手续时，西田先生不折不扣地坚持原则又使我感触颇多。朋友来帮我搬东西时，将所骑的摩托车停在了楼下的自行车区，西田先生来敲门要求将摩托车推走，原因是朋友不是公寓的入住者，短暂停留也不可以（停车处有告示），我们只好无可奈何地将摩托车推到了远处超市的停车区。此外，我在跟电力公司结算电费时，因我出发那天清早对方工作人员来不了，便在前一天下午前来结算并要求在结算后拉下电闸。西田先生为我据理力争，说清早来不了是电力公司的责任，冬天晚上冷，我需要用空调取暖，不能拉电闸！为我争取到免费使用一晚电量的权利。

第二天一早，我启程回国离开公寓时，西田先生特意赶来送给我一张院子里盆景的照片，并执意拉着行李箱一直将我送上了去地铁站的巴士。车轮启动的一瞬间，我们互相摆手，眼角渐渐润湿……

这就是我到大阪大学访问时的房东，一个一丝不苟、善解人意又坚持原则的普通日本人——西田先生。



西田先生赠送的庭院盆景照片

# 为了美好而存活

夏天

昨夜良久未眠，与朋友激烈地探讨叔本华的哲学思想，因为它强烈地冲击了我的人生观和价值观。争论的最后，推崇叔本华思想的这位朋友也没有将我说服，我依然坚持自己对人生意义的理解。

我不能理解“人生的意义就是虚无”，不能理解“一切皆空”。虽然我也认可内心的宁静是幸福的本质，但对于人生是一种无意义的、除了摆脱痛苦就毫无任何真正价值的存在的说法颇有异议。的确，人的生存并非首先来自其本意，因为只有当他/她存在以后才有了相应的意识，故我们每个人的存在都是一种被动行为。而至于活下去的动力，正是我强烈质疑叔本华思想的地方。我也曾一度认为活着是一种本能行为，来自深埋在体内的生命力，如叔本华所说的“饥饿和性欲”，具有明显的生物性，这种观点也得到了弗洛伊德的支持。但是，随着自己思考的深入，我对活着的动力有了新的认识，而且深信这也是人活着的意义所在：美好。我们活着是为了生活中极少出现但真真切切存在着的美好。

曾独坐窗前，凝望车水马龙的繁华都市，质问自己在这人世间活着的原因。古人云：天下熙熙，皆为利来；天下攘攘，皆为利往。但对名利的追求只是一部分人的生存目标，而且名利只是一种媒介，隐藏在其背后的动机才是关乎活着的动力的问题。当然，人生的苦难、责任，作为压力，也可以成为活着的动力。显然，经历和品尝苦难并非人们所渴望的，谁会极力地去寻找苦难呢？如果人生尽是苦难，甚至连人们全力付出养育的下一代也不过是另一拨在人世间遭罪的生灵，那又何必让他们来到这世上？如果人生是一场虚无而痛苦的梦境，为何我们所有人不去选择自

我了结这场不愉快的体验？不可否认，人是自身欲望的奴隶，没完没了的欲望永远得不到彻底的满足，于是就有了痛苦。但是，仅仅因为痛苦的存在就否定人生的意义么？因噎废食不过如此吧。就像兔子爱德华所说：如果怕伤害而选择不去爱，那我们何必来这人世间？既然活着，为何不可以享受的心态将更多的注意力放在美好的事物上？

我认为最根本的美好恰恰是生命力的展示，如初生的娇嫩婴儿，如含苞待放的少女，如夏天随处可见的层层浓荫，如温暖的阳光甘甜的雨露，还有一系列由此引申的抽象的美好，如亲情、爱情、友情、智慧、优雅等等。这些美好的事物才是活着的意义所在，它们值得我们历经种种磨难和痛苦来换取，值得我们在叔本华所说的“一所监狱，或一个罪犯流放地”的人世间走一遭。

静谧夜晚，台灯柔和的光线下翻开的一本书，春风中含羞未开的花蕾，孩童清澈纯真的眸子，指甲触碰琴弦流淌的音乐，以及家人不容置疑甚至略显霸道的遮风挡雨，爱人出乎意料的体贴宠爱，朋友放你在心上的在乎……每次感受到这些美好，我便更加坚信这是人活着的动力和意义所在，也会为了更多的美好去努力去付出。生，就应如夏花一般绚烂，就要有火一般的热情。如张惠妹，伤则痛彻心扉，爱则全心投入；如泰戈尔，以入世的欢喜之心听松间潺潺流水，看树影婆娑，在儿童的天真中透露出非凡的智慧；如席慕容，记着篱笆前的绿树白花，记着夏日出水的莲，记着与爱人之间的蔷薇，记着象征可孕育生命的女人的那条大江河。

即使这个世界没那么美好，依然努力做一个美好明媚的女子。

## 金属所的雨夜

高温合金研究部601组 张宇

滴滴答答，迷迷蒙蒙，细细的春雨如珍珠般轻轻的飘落在金属所的土地上，为金属所这座神圣的科研殿堂蒙上了一层神秘的面纱。

瞬间，金属所变得沉寂了，除了沙沙的雨声。

春雨，带来了春天的甘霖。一滴一滴晶莹剔透的水滴，凝聚着春天的精华，犹如琼浆玉液，滋润着金属所

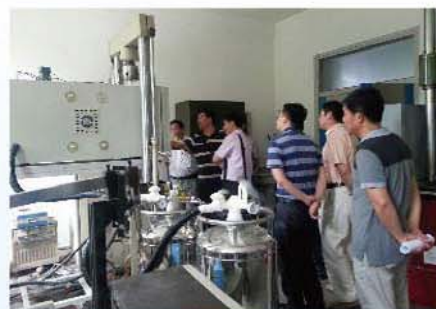
的一草一木、一花一果。草绿了，木高了，花开了。这一切仿佛在向忙碌的人们暗示着——春天到来了！

春雨，春天的使者。她带来的不仅仅是滋润大地的甘霖，更带来了春天的气息。春天，百花绽放，万物复苏。尤其在树林中漫步，扑面而来的是槐花阵阵的清香，沁人心脾。这个味道，让我想（下转封底）



6月26日下午，沈阳海关王宁关长一行6人到我所调研进出口工作情况。王宁关长充分肯定了金属所在材料

研究领域取得的丰硕成果，并对进口仪器设备减免税及归类等相关问题进行了详细解答。王宁关长表示，希望能为金属所的进口仪器设备减免税工作提供更多的指导、帮助和支持。



6月20日，公共技术服务中心2012年度院级仪器设备功能开发技术创新项目“低温应变炉开发”、“激光加工中心真空条件表面加工功能开发”顺利通过科学院验收。



金属所检测中心获得了由中国国家认证认可监督管理委员会颁发的计量认证证书(有效期：2014年5月8日至2017年5月7日)和由中国合格评定国家认可委员会颁发的实验室认可证书(有效期：2014年4月22日至2017年4月21日)。至此，金属所检测中心具有的计量认证范围和认可检测能力范围在原有的化学分析、气体分析、金相检验、力学性能和无损检测的基础上，又扩充了疲劳、断裂韧性、热物性、弹性模量、持久和蠕变等。



所工会于6月14日在沈水湾公园组织了主题为“全民健身，科学同行”的健身走活动。全所有23个分工会、500余人参加了此次活动。大家沿着奥林匹克健身路步行至三好桥折返，还有一些同志“暴走”至工农桥后返回。



2013年度李薰材料科学讲座系列讲座奖获得者、日本东北大学Tadao Watanabe教授于6月10日至6月13日访问金属所并开展学术交流。来访期间，Watanabe教授与我所材料疲劳与断裂研究部及非平衡金属材料研究部的科研人员进行了深入交流。他十分关心青年科技人才的发展，鼓励他们要充分利用宝贵的时间和资源，努力在所从事的领域做出优秀工作。

他十分关心青年科技人才的发展，鼓励他们要充分利用宝贵的时间和资源，努力在所从事的领域做出优秀工作。



6月6日，我所2014年度学位授予仪式暨毕业典礼、师昌绪奖学金颁奖仪式在所学术报告厅隆重举行。所学位评定委员会委员、导师代表、2014年度学位获得者、毕业生及亲友近400人出席了典礼。

# 中国梦 改革梦 我的梦

——省直机关庆祝建国65周年美术书法摄影作品展



缓河雾影 (佟百运)



沧桑 (佟百运)

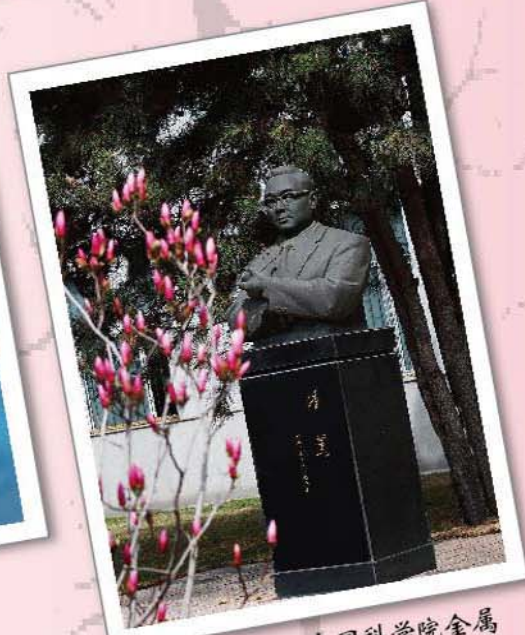


雨后 (佟百运)

## 金属所作品 show



一滴水里看世界 (侯介山)



一代大师——中国科学院金属研究所创始人李薰先生 (吕明)

(上接5版)到了家乡。此时此刻，家乡的槐花开始绽放，思乡的情绪在心中泛起。余秋雨曾经说过“夜雨是行人的大敌，并非夜雨使道路泥泞，而是滴滴雨声，容易激起人们思乡的情怀。”

我喜欢春雨，更喜欢在雨中漫步。春雨是神圣的，更是透明的，因为她荡涤着尘世的喧嚣，洗去了闹市的污垢，让金属所显得更加洁净，更加端庄。在春雨的洗涤下，树木显得更加郁郁葱葱，树叶显得更加翠绿。在夜色的笼罩下，再加上朦胧的灯光，雨中的金属所显得更加神秘、更加迷人。

收起雨伞，雨中漫步，与春雨进行零距离的接触，体验那一滴一滴雨的湿润，感受着一滴滴雨的丝

滑。这丝滑如婴儿皮肤般清凉、爽滑。这清凉、这爽滑，让人陶醉，令人心旷神怡。

春雨的降临，预示着春天的到来。一年之计在于春。我们也算是幸运儿，因为赶上了科研的春天。中国梦的实现，必须依靠科技，依靠人才。同样，现代国际竞争是综合国力的较量。而综合国力，经济是基础，科技是龙头。可以说，金属所的科研人员，正沐浴着细细的春雨。

雨一直下，而我紧张的大脑已经得到放松，疲劳已经缓解。离开树林，走进教研室，我又开始了自己的课题工作。

而窗外，雨还在下……