

金属之光

10

中国科学院金属研究所
2014年 第10期 (总第161期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

金苑秋韵



锰氧化物纳米复合薄膜及其低场磁电阻效应的研究取得新进展

近期，沈阳材料科学国家（联合）实验室磁性材料与磁学研究部王占杰课题组，采用脉冲激光沉积方法，通过自组装生长模式，制备了多种复合结构的锰氧化物纳米复合薄膜；通过控制锰氧化物纳米复合薄膜的微结构，实现了温度区域可调的巨大的低场磁电阻效应。其中，具有棋盘状纳米结构的复合薄膜在室温附近显示出较大的低场磁电阻效应，在室温磁电阻微电子元器件上有广泛的应用前景。这一研究成果对巨磁电阻锰氧化物材料的研究和应用将起到重要的推动作用。

磁电阻效应 (Magnetoresistance: MR) 是指材料的电阻随磁场而变化的现象。近年来，巨磁电阻效应已经广泛地应用于数据读取磁头、磁随机存储器、磁传感器等微电子元器件上。上世纪90年代初，人们在掺杂锰氧化物薄膜中发现了比巨磁电阻效应更大的MR值，故称为庞磁电阻效应 (Colossal Magnetoresistance, CMR)。因此，锰氧化物材料受到了研究者的广泛关注。大量的研究结果表明，虽然锰氧化物的本征磁电

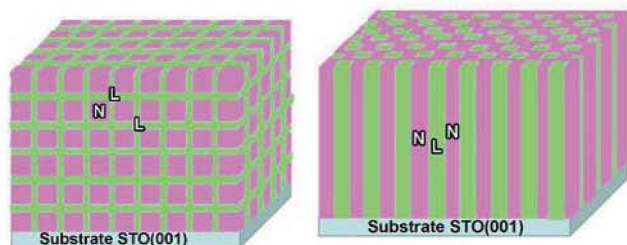


图1纳米棋盘状结构和纳米柱状结构的示意图

阻值很大，但是存在着适用温度区间窄、要求外加磁场高(~3特斯拉)等问题，至今尚未得到实际应用。1996年Hwang等人发现，多晶钙钛矿锰氧化物薄膜在远低于居里温度的低温、在很小的外加磁场下具有显著的磁电阻效应，称其为低场磁电阻效应(Low-field Magnetoresistance, LFMR)。人们已经尝试了多种方法用于提高锰氧化物的低场磁电阻，包括人工形成晶界、引入缺陷以及高阻态的第二相等。但是其低场磁电阻效应的温度区间多位于10~150K的低温，无法在室温附近应用。因此，在增加锰氧化物薄膜的低场磁电阻的同时，如何提高其发生温度是需要解决的一个关键问题。

针对这一问题，该课题组研究人员在 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO)中引入NiO第二相，采用脉冲激光沉积方法

(Pulsed Laser Deposition: PLD)，通过自组装生长模式制备出了纳米棋盘结构和纳米柱状结构的复合薄膜(图

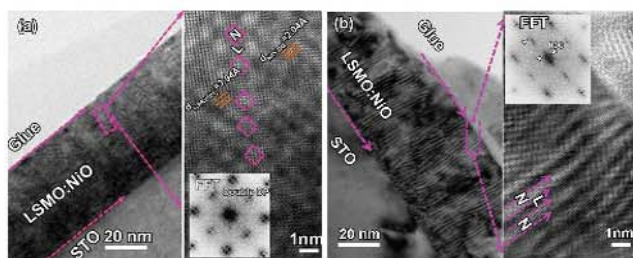


图2 具有不同微观组织结构的LSMO-NiO纳米复合薄膜的TEM和HRTEM断面照片以及FFT斑点：(a) 纳米棋盘结构，(b) 纳米柱状结构

1和图2)。图1是两种理想的微观组织结构的示意图，其中，L代表LSMO，N代表NiO。LSMO和NiO两相相间，构成纳米棋盘状结构和纳米柱状结构。其中，NiO相的尺寸应控制在1~2nm，以形成纳米尺度的LSMO/NiO/LSMO磁隧道结。利用LSMO/NiO/LSMO的隧穿电阻以及LSMO/NiO界面的散射作用提高复合薄膜的磁电阻；通过控制LSMO母相的应变以及由其引起的居里温度和金属-绝缘转变温度的变化，在增大低场磁电阻的同时提高低场磁电阻效应的发生温度。之所以选用反铁磁、半导体的NiO作为第二相，主要考虑以下几方面的因素：1)NiO与LSMO具有良好的晶格匹配度。该课题组研究人员在研究LSMO: NiO颗粒复合薄膜、层状复合薄膜的交换偏置现象时发现，在NiO/LSMO界面，NiO和LSMO具有良好的晶体学外延关系(Journal of Applied Physics, 113 (2013), 223903., IEEE Transactions on Magnetics, 50 (2014), 1000304)。2) 由于 Ni^{2+} (0.69Å) 离子半径远大于 Mn^{3+} (下转二版)

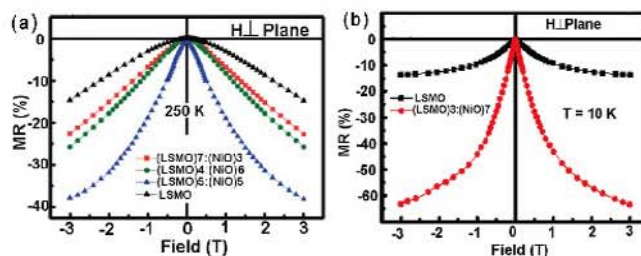


图3 (a)不同成分LSMO-NiO纳米复合薄膜的磁电阻随磁场变化曲线，(b)具有纳米柱状结构的70% NiO的LSMO: NiO薄膜的磁电阻随磁场变化曲线

DZ125L合金铸造工艺性能研究进展

DZ125L合金作为一种具有自主知识产权的第一代定向凝固高温合金，由于其具有良好的力学性能和物理性能（密度小 8.35g/cm^3 ）被广泛应用，目前主要用于生产航空发动机涡轮导向叶片和工作叶片。然而，该合金在空心涡轮工作叶片生产过程中成品率波动很大。现场跟踪发现，显微疏松和热裂纹缺陷是导致叶片成品率波动明显的主要因素。高温合金研究部郑志研究员团队对DZ125L合金铸造工艺性能的影响因素进行了详细研究。

研究发现，DZ125L合金（2.2wt.%Ti）的铸造工艺带十分狭窄。这要求合金在铸造生产过程中，需要保证精准的温度梯度、型壳强度和型芯强度，才能避免合金叶片产生热裂纹。

研究还发现，进一步降低合金中的微量元素O、N、S、P的含量，可显著降低铸造叶片中的显微疏松数量，同时也有益于降低合金铸造过程中的热裂纹敏感度。究其原因主要是微量元素的降低，显著缩短了合金凝固过程中不可补缩区的宽度，最终降低了显微疏松形成和裂纹萌生的几率。

刘恩泽副研究员和杨飞雪工程师进一步研究了DZ125L合金中Ti元素对涡轮工作叶片铸造工

艺性能的影响，发现合金中Ti含量低于1.0wt.%时，显著加宽了合金叶片的铸造工艺带，采用国内多家叶片生产企业的定向凝固设备，均可保证叶片生产过程中无热裂纹缺陷。研究认为合金中的Ti含量降低，显著降低合金的凝固区间温度，降低了裂纹的萌生几率。Ti含量降低，会减少合金中 γ' 相的体积分数，进而降低了合金的力学性能水平，相应研究成果在Materials and Design杂志上发表。

基于对DZ125L合金铸造工艺性能的深入研究，研究人员认识到合金成分设计过程中要兼顾力学性能和工艺性能。在此基础上，成功研发出了第二代高强抗热腐蚀DZ468合金，该合金兼备良好的力学性能和工艺性能，相关研究成果在Materials Science Forum杂志上发表。

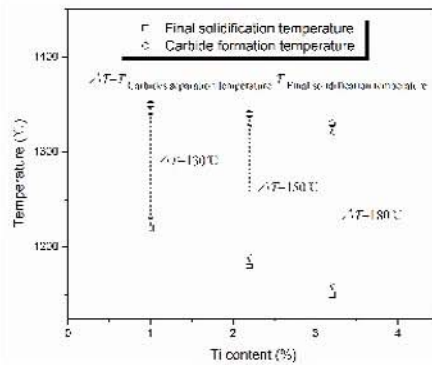


图1 终凝温度、碳化物析出温度与合金中Ti含量之间的关系

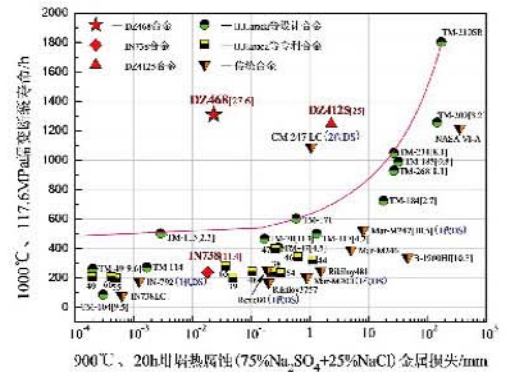


图2 不同合金蠕变断裂强度和抗热腐蚀性能比较

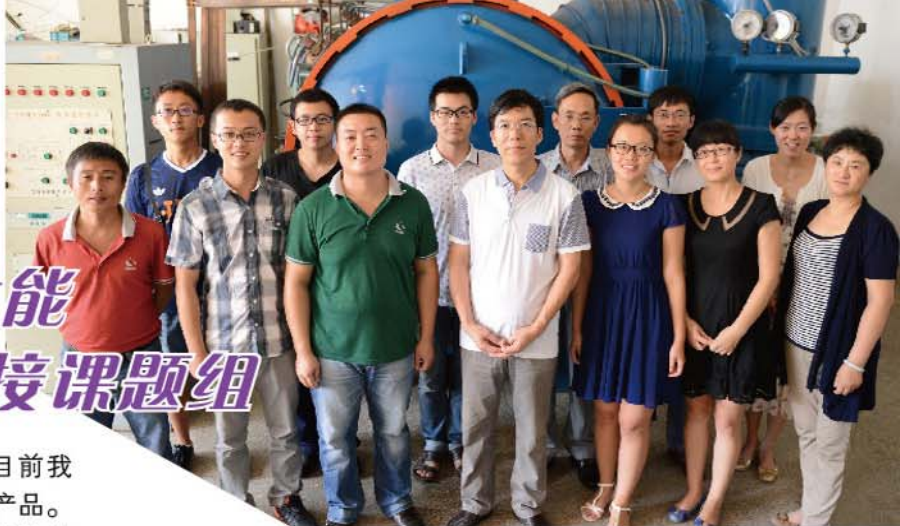
（上接一版）和 Mn^{4+} 离子半径（分别为： 0.58\AA 和 0.53\AA ），所以 Ni^{2+} 不会替代 Mn^{3+} 和 Mn^{4+} 离子而进入LSMO晶格。这样，就避免了由于成分变化而引起的LSMO磁性、居里温度和金属-绝缘转变温度等的变化。3) 由于NiO的半导体特性，可以在LSMO/NiO界面形成比较高的势垒差以满足磁隧道结中高阻态第二相的要求。4) 如果能控制NiO尺寸和分布，就有可能形成由NiO和LSMO构成的LSMO/NiO/LSMO隧道结。图2是所制备的具有纳米棋盘结构和纳米柱状结构的LSMO-NiO复合薄膜的TEM和HRTEM断面照片。

磁电阻测试结果表明：棋盘状结构的50%NiO体积比的LSMO-NiO复合薄膜在200~300K温度范围显示出较大的低场磁电阻效应（在250 K和1T下，LFMR =

~17%）；纳米柱状结构的70%NiO的LSMO-NiO复合薄膜在10~210K温度范围显示出巨大的低场磁电阻效应（在10K和1T下，LFMR=~41%）(图3)。通过控制LSMO:NiO纳米复合薄膜的微结构，实现了温度区域可调的巨大的LFMR。微观组织结构对复合薄膜磁电阻性能的影响可以用有效电路模型解释。其作用机制是由于复合薄膜中存在LSMO/NiO界面的电子自旋散射和纳米尺度的LSMO/NiO/LSMO磁隧道结。相关研究结果已经发表在Advanced Functional Materials, 24 (2014) 5393 - 5401。

相关研究工作得到了中科院百人计划，科技部973，国家自然科学基金，沈阳材料科学国家（联合）实验室基础前沿创新等项目的支持。

聚焦：焊接接头性能和可靠性连接课题组



焊接是金属结构材料的最主要连接手段，目前我国年产7亿吨的钢材约50%采用焊接方法制造成产品。航空航天飞行器、地面交通、高铁、核电、船舶等装备的发展，都离不开焊接技术。当前焊接技术的主要发展方向为优质、高效和绿色。获得性能好、寿命长的焊接接头即为优质；采用机器人等自动化的生产方式和高的焊缝填充效率即为高效；实施材料可回收、减少和杜绝有害物质即为绿色。

金属所焊接接头性能和可靠性连接课题组在陈怀宁研究员带领下，以提供优质焊接接头为主要研究目标，取得了系列成果。目前实验室有人员15人（含研究生4人），研究领域包括两方面：一是焊接接头性能测试与改善技术，包括焊接接头性能分析检测技术、焊接残余应力测量和消除技术；另一方面致力于新型材料和特种结构的可靠性连接，尤其在超高强度钢压力容器的弧焊技术，钛合金、金属/陶瓷钎焊技术，高效换热器研制等领域有较高的研发水平。

近年来，该课题组围绕重大装备和重大民生工程，重点解决产品研制和生产过程中出现的瓶颈问题，确保重大任务的按时完成。

1) 焊接结构延寿处理和评价技术的研究与应用

课题组系统研究了爆炸处理消除大型结构焊接应力的现场适用技术，此方面成果已被国内教科书和手册引用，并成功应用于三峡电站、缅甸密松其培电站、中铝总公司常压容器等上千件焊接构件，被电力行业标准DL/T5017推荐采用，形成了国家标准GB/T 26078。针对石化行业小直径管道、复合板容器应力腐蚀开裂难题，课题组发明了温差形变法快速消除焊接应力新技术。自主发明的无损快捷压痕应变法应力检测技术，已形成国家标准GB/T 24179。课题组采用球形压痕在线评价材料力学性能系统（IBIS），具有

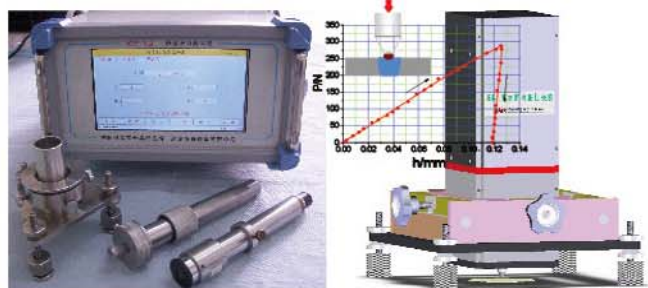


图1 KJS-3系列压痕应变法应力测量系统（左）
IBIS力学性能检测系统（右）

自己的独特算法和设备便携特性，目前正在完善和定型生产中。

2) 可靠性焊接技术的研究与应用

课题组围绕航空航天各种飞行器项目，解决了关键或主要部件的焊接制作难题。如采用“等安全性”焊接技术应用于“神舟”号系列飞船航天气瓶的焊接生产；结构复杂、细长易变形的飞行器的钎焊；民航飞机发动机重要零部件的维修。另外，在船用小型高效钛合金散热器、堆芯余热不锈钢换热器、发动机铝合金支撑底座等新型结构件的可靠性连接方面都获得了成功。



图2 颁布的国家标准

3) 近年来取得的主要成果

课题组完成了4项有关残余应力方面的国家标准编制（已颁布2项），申请和授权的专利13项、省部级科技进步奖2项，培养博士生2名、硕士生15名，其中硕士生孟宪陆、崔航获得首届中国机械工程学会焊接学会创新奖，硕士生胡楷雄获金属所优秀研究生创新研究项目资助和金属所师昌绪奖学金二等奖。

4) 社会兼职和荣誉称号

课题组组长陈怀宁研究员担任中国机械工程学会焊接学会理事、辽宁省机械工程学会焊接学会副理事长、辽宁省机械工程学会学术委员会委员、省机械工程学会压力容器分会常务理事、《焊接学报》和《焊管》杂志编委等职务，并荣获了辽宁省高层次科技专家、《焊接学报》十大优秀评审人等称号。吴昌忠高工担任全国焊接标委会委员。

针对国家和企业需求，目前该课题组研发工作的重点有：钛/钢异质材料、小直径复合管等特殊焊接成型技术，油气管道焊接与评价技术，球压法力学性能检测仪（IBIS）的研制推广，国家级残余应力分析测试中心的建立等。

卡定沟小感

风下一叶

从西藏回来很久了，日记里记载了很多闻所未闻、见所未见的奇闻异事。本次出游算是给自己恶补了一次，无论是从中国广袤的土地种类，还是纷杂的高原物种，亦或是忠贞不二的信仰。

从自然景观上而言，西藏并不是一个高树林立的地方。高原苔原带的气息，只适合灌木杂陈，却没有密林参天。尽管如此，奔腾的河流，连绵的山川，以及无处不在的高原驰骋动物，给这个氧分子浓度不高的地方赋予了另一种无以言表的美。有时，你会觉得它像是一片草原，安详而静谧；有时，你会觉得它像是一片牧场，热情而奔放；有时，你会觉得它像是一朵白云，干净而又舒适；有时，你会觉得它像是阳光，温暖而又炽烈。

然而，最吸引我的是卡定沟。一个颇有南方温婉气息的高原景致。这里极像是一片世外桃源，是有着江南美女般的远山青黛，全然摒弃了藏区的空旷与粗野。

卡定沟的秀美不逊于张家界，不得不慨叹造物者的神奇，在一望无际的高原之上，璀璨这一片山水。山犹如鬼斧神工，奇石屹立，加之与宗教中的众神造型相映

成趣；水好似天降甘泉，奔流成瀑，与山间茂密的翠竹掩映生辉。奔走于山林之中，浸染于飞瀑之间，你会觉得自己是多么的渺小，飞瀑水滴的冰冷，混杂着雨水的浸湿，氤氲的一切都似梦如幻，不知身在何方。山间青竹浓密，石阶忽高忽低，雨滴忽急忽缓，山涧忽大忽小。是梦？又清晰的如此触手可及般的真实。

在青藏高原极度缺氧的情况下，进了卡定沟的深山密林，对清新氧气的需求似乎变得不再急切，即便跑跳都那般恣意，有点泰山的感觉。那种穿林打叶的快感，那种放逐山野的自由，那种游目骋怀的急切，那种融入自然的欣喜，那种栖身于土壤，又欲回归土壤的热诚，从未如此体会过，活着是如此的快乐。

就好像霎时回归了儿时的童心，对周边的一切都极尽好奇，都需要重新认知并赋予新的定义。这种新鲜血液冲灌脑顶的感觉，让我觉得对自然，以及对自我的认知都需要再度衡量。与其说这是一次认识自然的过程，不如说这是一次认识再认识自我的过程。

莫听穿林打叶声，何妨吟啸且徐行！

“读书破万卷，下笔如有神”

（《唐·杜甫·奉赠韦左丞丈二十二韵》）。

——题记

读书忧

张宇

题记中的诗句，当时曾作为条幅挂在我小学四年级教室的课堂上，可惜四年级时的我对此没有太多领悟。虽说我现在是工科博士在读，但闲暇之余不忘舞文弄墨，可最近写作总感觉“无话可说”，原因在于书读得不够多。的确，十几年的求学生涯让我忽略了读书。除了考试复习以及专业用书，很少翻阅其他的书籍。

一份调查表明，国人的阅读量日益减少，平均每天阅读时间不足15分钟。现在，越来越多的大学生知道哪里有星巴克，哪里有水煮鱼，哪里有电影院，但对当地的图书馆和大型书店却知之甚少，甚至连当地的市民都很少听说过图书馆。闲暇时间我们愿意宅在家里上网、泡吧、看泡沫剧，却没有时间精心阅读。学校周围餐饮、网吧等餐饮娱乐设施齐全，但像样的书店却少之又少，国民的读书热情日益下降，更有甚者甚至长时间不碰书本。

不读书的原因固然很多。随着网络媒体的发达，人们过多的沉迷于电子信息，如电视和网络，却很少能静下心来仔细阅读。或者只读一些文化快餐，而对经典的名著却不愿意阅读。同样，人们追求物质享受的同时忽略了精神的追求，这也造成了中国的部分富豪没有“贵

族精神”，有的只是“暴发户”精神。同样，读书的缺失，也是社会浮躁的体现。我们的教育投入不少，但却很少能培养出“大师”。科技发展了几十年，我们却总是与诺贝尔奖绝缘。我们的经济飞速发展，但我们的重工业却始终落后，一些先进关键零部件依然需要进口。

历史上我们曾经有过辉煌的汉唐盛世，有著名的“四大发明”，但由于沉迷于“天朝上国”的美梦而遭受了鸦片战争和甲午海战的惨败，甚至险些亡国。相反，犹太人因为经常读书。婴儿出生时，犹太人在书本上涂抹蜂蜜让婴儿舔食，告诉婴儿“书本是甜的”。同样，犹太人的一生是不断读书、不断学习的一生，因此，即使在恶劣的环境中，他们仍然赢得了生存和发展的空间——建立了以色列国。而我们整天高喊“民族复兴”、“实现中国梦”等口号，口号喊累了就去上网，而没有考虑去图书馆、去书店看书学习。

书籍对于一个人来说，犹如国家的军队。养兵千日用兵一时，军队在关键时刻必然发挥关键的作用。九八抗洪、汶川救灾、索马里护航，完全验证了这一点。同样，只有不断的读书、不断的学习，自己才能进步，正所谓厚积薄发。祖国的振兴，民族的富强以及中国梦的实现，需要一点一滴的积累，这一切需要科技、需要知识。而这一切的基础就是多读书！相反，读书习惯的缺失，极有可能导致科技的落后，从而导致历史悲剧的重演。

为了实现中国梦，与其高喊口号，不如静下心来，翻开书本多读几本书吧！

金苑



作者吕明



作者吕明



作者张炳大



作者吕明



作者张炳大



作者吕明



作者张万贞



作者张万贞

作者吕明

10月22日下午，由英国驻华使馆和金属所共同举办的“沈阳·英国周”先进材料交流会在金属所召开，来自英国驻华使馆、英国4所大学、沈阳市科技局及金属所的15位代表参加了会议。与会代表针对双方感兴趣的纳米器件、功能材料、抗菌金属、航空材料和先进制造工艺等主题进行了热烈讨论，并交流了中英合作基金申请体会。



金属、航空材料和先进制造工艺等主题进行了热烈讨论，并交流了中英合作基金申请体会。



10月17日，中国科学院核用材料与安全评价重点实验室在沈阳成立运行，并召开了首届学术委员会会议。中国工程院柯伟院士、中国工程院周玉院士、中科院前沿科学与教育局刘桂菊副局长、金属所谭若兵副所长为实验室揭牌。

行，并召开了首届学术委员会会议。中国工程院柯伟院士、中国工程院周玉院士、中科院前沿科学与教育局刘桂菊副局长、金属所谭若兵副所长为实验室揭牌。

10月16日，空客集团创新中心增材制造研发团队负责人Jonathan Meyer、空客新兴技术与概念经理Dale King、空客中国工业合作部李飞和英国伯明翰大学Mike Loretto教授访问金属所。双方交流了钛合金粉末技术进展，讨论了满足不同类别增材制造应用要求需要开展的工作。



Loretto教授访问金属所。双方交流了钛合金粉末技术进展，讨论了满足不同类别增材制造应用要求需要开展的工作。



9月30日，北方重工集团有限公司董事长兼党委书记耿洪臣一行8人到金属所调研访问。会议期间，双方就战略合作、公司协议等基本达成一致。

9月28日下午，所工会组织开展了2014年金属所喜迎国庆职工趣味运动会。各分工会积极组织，全所职工踊跃参加，共有24个分工会、900余人次参加了活动。



9月25日至28日“第五届能源、水和健康纳米科学进展三边研讨会”在金属所召开，中国、印度和新加坡相关领域40余位知名专家学者参加了会议。研讨会就能源、水和健康等相关领域的难点、热点及前沿科学问题进行了深入的交流和探讨。

专家学者参加了会议。研讨会就能源、水和健康等相关领域的难点、热点及前沿科学问题进行了深入的交流和探讨。