



科人要闻 人才培养 媒体关注 校园文化 科大人 招生在线 科教视点
电子杂志 科研进展 学术讲堂 院系动态 视频新闻 新闻专题 中国科人报

搜

首页 在线投稿

● 首页 ● 新闻博览

中国科大在氧化物自旋电子学研究领域取得重大进展

2017-07-17

分享到: QQ空间 新浪微博 腾讯微博 人人网 微信

白春礼院长调研中国科大

世界首条量子保密通信干线顺利开通、洲际量子通信成功实施
我国初步构建天地一体化广域量子通信网络

我校入选国家“双一流”建设A类高校

我校2017年度基本科研业务费青年创新基金学生创新创业类项目评审会在先研院举行

先研院举办第二届“两学一做”学习教育知识通关挑战赛

中国科大发现NLRP3炎症小体特异性抑制剂

中国科大在基因转录调控研究中取得突破性进展

校团委举办学习《习近平的七年知青岁月》读书座谈会

综合性高校新工科建设研讨会在合肥召开

我校青促会当选中科院青促会2017年度优秀小组

中国科学院
中国科学技术大学
中国科大历史文化网
中国科大新闻中心
中国科大新浪微博
瀚海星云
科大校友创新创业基金会
中国高校传媒联盟
全院办校专题网站
中国科大50周年校庆
中国科大邮箱

最近,合肥微尺度物质科学国家实验室吴文彬课题组在氧化物自旋电子学研究领域取得突破。首次制备出基于全氧化物外延体系的人工反铁磁体—— $[\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3/\text{CaRu}_{1/2}\text{Ti}_{1/2}\text{O}_3]_N$,观察到随外加磁场清晰的具有层分辨的分步磁化翻转模式。成果以“All-oxide-based synthetic antiferromagnets exhibiting layer-resolved magnetization reversal”为题发表在《Science》杂志上【Chen et al., *Science* 357, 191-194 (2017)】。文章合作单位为德国尤利希中子科学中心,第一作者为我校博士生陈斌斌,通讯作者为吴文彬教授。

上世纪八十年代末, $[\text{Fe}/\text{Cr}]_N$ 和 $[\text{Co}/\text{Cu}]_N$ 等人工反铁磁体中巨磁阻(Giant Magnetoresistance, GMR)效应的发现,促成了自旋电子学的诞生,同时也正是因为其在商业磁存储等领域的成功应用,使得当今云存储和云计算等新兴产业成为可能。人工反铁磁体是由铁磁层和非磁层交替生长形成的多层膜材料(层数 N ,各层厚度在纳米至亚纳米量级),由于相邻铁磁层之间具有所谓的反铁磁层间交换耦合,各层磁化在零场下呈反平行排列。相比于单相反铁磁晶体中巨大的交换场(几十万高斯),人工反铁磁体的层间交换作用要弱得多(几十到几千高斯),并且随层厚等制备参数变化大小可调,使实际应用成为可能。当外加磁场克服层间耦合使相邻铁磁层的磁化平行时,人工反铁磁体的电阻发生显著变化,导致GMR效应。如今,人工反铁磁体不仅成为多种新型自旋电子学器件的重要组成部分(诸如磁随机存储器等),也是研究反铁磁材料的磁化动力学和磁畴结构等基础问题的重要载体。

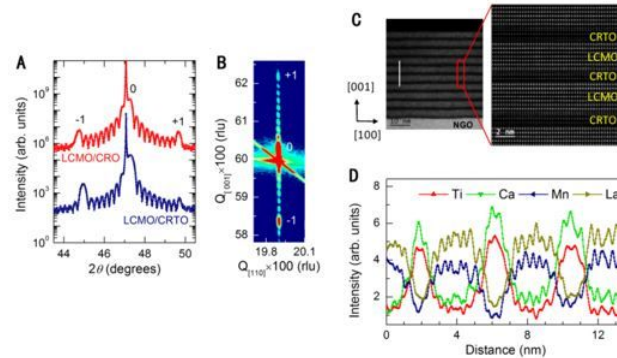
长期以来,针对人工反铁磁体材料、物理和器件的研究多集中于过渡金属及其合金材料。而过渡金属氧化物作为另一大类材料体系,虽不乏铁磁性和非磁性成员,但成功制备全氧化物人工反铁磁体却鲜有报道。这类材料因其高温超导、庞磁电阻、磁电耦合、铁电极化以及离子电导等一系列物理和化学效应,早已成为人们广为关注的研究对象。同时,由于晶体结构上的相似性,它们易于相互外延生长,形成多功能器件;由于众所周知的电荷、自旋、轨道、晶格多自由度相互作用和对称性破缺等,其表面和外延异质界面往往会诱导出新的量子物态和新效应。可以说,在过去的十多年,随着薄膜生长和检测技术的不断提升,有关氧化物外延异质界面的研究一直是精彩纷呈。然而,在这类材料中,作为一种最基本的器件结构单元——全氧化物人工反铁磁体的缺失,无疑是一重大缺憾,也严重阻碍了相关氧化物电子学和自旋电子学器件的研制和发展。

事实上,鉴于氧化物材料丰富的物性和特有的优越性,如半金属铁磁性、抗氧化及热稳定性,早在上世纪末人们就开始尝试制备全氧化物反铁磁体。然而,对该类材料也有如下问题必须解决。其一,磁性氧化物普遍存在所谓的“死层”,即随着薄膜厚度降低,其铁磁性衰退乃至消失,这极大地制约了氧化物人工反铁磁体的研制;其二,薄膜厚度起伏易导致相邻磁性层之间形成静磁耦合,而非反铁磁耦合,故构建超薄人工反铁磁体要求高质量的异质外延生长,保证各层均具有原子级平整和清晰界面;其三,要实现层间反铁磁耦合和具有层分辨的分步磁化翻转模式,磁性层必须具有较强的单轴磁各向异性;其四,反铁磁层间交换耦合源于RKKY相互作用或自旋极化隧穿,合适的非磁性层包括电子结构和缺陷态至关重要。吴文彬课题组长期从事复杂氧化物的外延生长及物性研究,近年来针对上述问题开展了一系列深入的研究[Appl. Phys. Lett. 103, 262402 (2013); 104, 242416 (2014); Nat. Commun. 6, 8980 (2015); Nature Mater. 15, 956 (2016); ACS Appl. Mater. Interfaces 8, 34924 (2016)]。

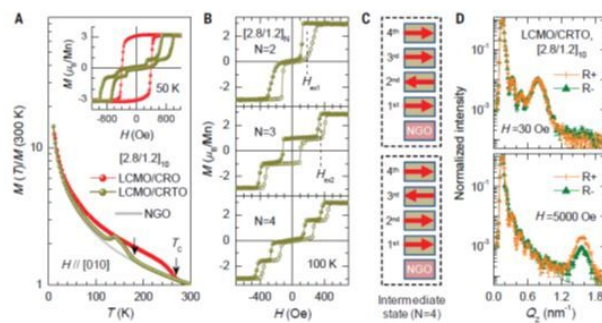
他们发现 $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3(\text{LCMO})/\text{CaRu}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3(\text{CRTO})$ 界面由于Mn-O-Ru间电荷转移可有效抑制LCMO铁磁层的“死层”效应;两种材料具有完全匹配的晶格参数和对称性,可得到完好的界面保证了多层膜和超晶格的外延生长;其低对称性正交结构使磁性层具有单轴磁各向异性;另外,在CRTO非磁层中Ru、Ti含量的变化导致其电子态和输运性能可调。在此基础上,他们在 $\text{LCMO}/\text{CaRu}_{1/2}\text{Ti}_{1/2}\text{O}_3(\text{CRTO})$ 中发现了清晰的反铁磁层间交换耦合效应,首次观察到从表层和内

部各磁性层分步磁化翻转模式，给出了耦合强度随各层厚度及温度的变化规律，以及可能的耦合机制。该工作无疑对氧化物自旋电子学的发展将起到重要的推动作用，同时也为功能氧化物界面的深入探索提供了新的平台和思路。

图一为LCMO/CRTO人工反铁磁体结构表征。X射线扫描及倒空间扫描显示清晰的卫星峰及卫星斑点（A，B），表明样品规整的层状周期结构。STEM及EELS表征（C,D）显示LCMO与CRTO层之间界面明锐，离子互扩散极其微弱。高质量的外延质量是构建人工反铁磁晶体的前提。



图一：LCMO/CRTO人工反铁磁晶体结构表征：（A）X射线扫描；（B）X射线倒易空间扫描；（C）断面HAADF-STEM表征；（D）界面EELS表征

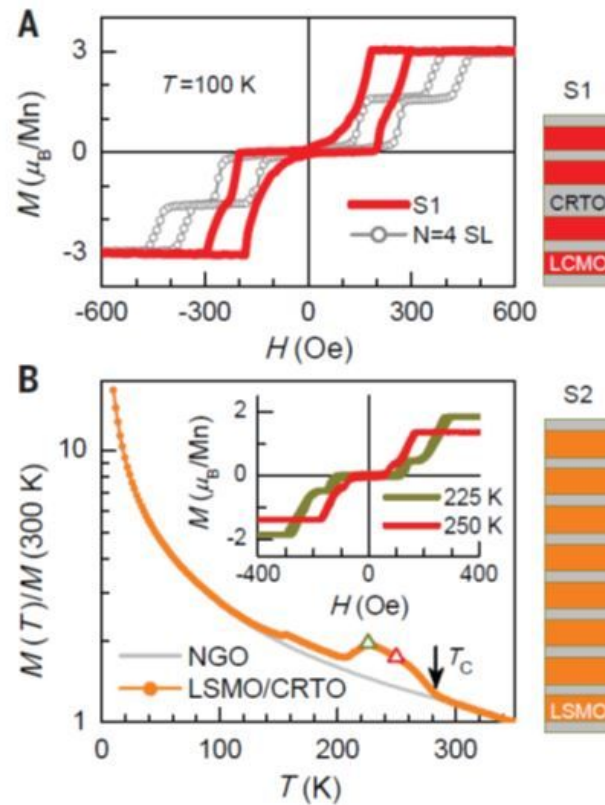


图二：LCMO/CRTO人工反铁磁体磁性表征：（A）LCMO/CRTO与LCMO/CRO超晶格磁化曲线及磁滞回线；（B）具有不同周期LCMO/CRTO超晶格的磁滞回线；（C）LCMO/CRTO（N=4）超晶格两种可能的中间态磁构型；（D）LCMO/CRTO（N=10）人工反铁磁超晶格在不同外场下极化中子反射谱

如图二A所示，相比于LCMO/CRO样品典型的铁磁特征，LCMO/CRTO超晶格磁化强度在140 K以下开始迅速减小，磁滞回线显示零场下剩余磁化接近为零，并在 $\pm 1/5M_s$ 处（ M_s 为饱和磁化强度）出现磁化平台。通过分析具有不同堆垛周期N的超晶格样品磁滞回线（图二B），研究人员将该磁化平台归结为表层和内部LCMO层磁化的分步翻转，究其原因在于二者因相邻LCMO层数不同而受到的层间耦合作用不同。且对于 $N > 3$ 的超晶格，存在两种等几率的磁化翻转次序，继而导致两种不同的中间态磁化构型（图二C）。以上结果与过渡金属体系蒙特卡洛模拟结果相一致。

通过与德国尤利希中子科学中心研究员苏夷希（科大93届校友）合作，该体系中的反铁磁耦合态进一步被极化中子反射（PNR）实验证实（图二D）：零场下，PNR得出的磁结构周期为超晶格周期厚度的两倍，表明相邻LCMO层磁化反平行排列；而高场下，所有LCMO层磁化平行排列，磁结构周期与超晶格厚度周期相同。

通过控制中间非磁层厚度，LCMO/CRTO人工反铁磁基本单元（ $N=2$ ）能实现较高场下磁性号叠加，同时保持弱场下的零磁化态（图三A）。此外，研究人员还发现类似的反铁磁层间耦合作用在 T_c 接近室温的 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ （LSMO）/CRTO超晶格中亦能实现（图三B）。考虑到该体系中适中的磁化翻转场以及磁化构型对外场的灵敏响应，该结果将赋予其在生物检测及自旋电子学器件领域具有应用前景。



图三：基于CRTO非磁层的人工反铁磁体的拓展：（A）两个人工反铁磁基本单元（N=2）的铁磁型叠加；（B）LSMO/CRTO（N=8）人工反铁磁晶体磁性表征

《Science》杂志的审稿人评价称：“这是一项非常高水准的实验工作”

（The experimental work is of very high standard），“当前研究在样品质量和表征上堪称绝技”

（The present study more generally is a tour de force in terms of sample quality and sample characterization）。

“我认为这些结果非常有趣且潜在地开辟了研究其它氧化物多层膜的一个新方向”（I find these results very interesting and potentially opening a new direction of research for other oxide multilayers）。

该工作受到国家自然科学基金、国家重点基础研究发展计划、以及合肥大科学中心的项目资助。

论文链接：

<http://science.sciencemag.org/content/sci/357/6347/191.full.pdf>

（合肥微尺度物质科学国家实验室、科技部）

中国科大新闻网



中国科大官方微博



中国科大官方微信



Copyright 2007 - 2008 All Rights Reserved 中国科学技术大学 版权所有 Email: news@ustc.edu.cn

主办：中国科学技术大学 承办：新闻中心 技术支持：网络信息中心

地址：安徽省合肥市金寨路96号 邮编：230026