

收藏本站 设为首页

English 联系我们 网站地图 邮箱 旧版回顾



面向世界科技前沿, 面向国家重大需求, 面向国民经济主战场, 率先实现科学技术跨越发展, 率先建成国家创新人才高地, 率先建成国家高水平科技智库, 率先建设国际一流科研机构。

——中国科学院办院方针



官方微博



官方微信

首页 组织机构 科学研究 人才教育 学部与院士 资源条件 科学普及 党建与创新文化 信息公开 专题

搜索

首页 > 科研进展

量子阱双势垒磁性隧道结中长程相位相干性研究获进展

文章来源: 物理研究所 发布时间: 2015-10-21 【字号: 小 中 大】

我要分享

双势垒磁性隧道结利用在两个平行绝缘层之间的超薄磁性金属层形成二维量子阱(QW), 并通过调节金属层厚度和磁矩方向来控制量子阱共振隧穿, 是研究自旋相关的量子态、量子阱分立能级、量子阱共振隧穿磁电阻(QW-TMR)等自旋量子效应及自旋量子调控的标准结构, 也是研发各种基于量子阱共振隧穿磁电阻效应的新型自旋电子材料及量子阱共振隧穿二极管等重要单元器件的物理基础。因此这一研究课题在凝聚态物理及自旋电子学和磁学研究领域一直被重点关注。

2006年中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)磁学国家重点实验室M02课题组研究员韩秀峰领导的研究团队, 与美国橡树岭国家实验室研究员张晓光以及中国人民大学教授卢仲毅合作, 首次利用第一性原理计算方法研究和预测了Fe(001)/MgO/Fe/MgO/Fe双势垒磁性隧道结(DBMTJ)中存在的量子阱态和量子阱共振隧穿磁电阻效应【Y. Wang, Z. Y. Lu, X.-G. Zhang, and X. F. Han, *First-principles theory of quantum well resonance in double barrier MTJs*, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 087210】。通过态密度计算发现: 由于两边MgO势垒的束缚作用, 中间Fe层自旋多子的 Λ_1 能带会形成分立的量子阱能级。详细第一性原理计算给出了量子阱能级E随中间自由层厚度d的变化关系, 对所有量子阱能级与相累积模型都吻合很好, 表明量子阱层的近自由电子特性; 并且还提出当中间Fe层形成纳米岛状颗粒(量子点)时, 会导致库仑阻塞效应。该项工作为进一步研究具有量子阱共振隧穿磁电阻效应的双势垒磁性隧道结提供了理论依据, 受到国际同行的广泛关注。随后, 国际上有关MgO双势垒磁性隧道结的一系列实验研究都在借鉴这个理论计算结果, 但由于制备高质量双势垒磁性隧道结具有工艺上的复杂性和挑战性, 实验方面一直没有达到预期的效果。为了保证电子在量子阱中的相位相干性, 到目前为止, 双势垒磁性隧道结中的共振隧穿现象只能在量子阱宽度为1~2 nm 范围内被有限地观测到, 因此很难在量子阱中引入接触端来直接调控量子阱能级位置。因为电子的退相干过程通常是由于界面粗糙度及非弹性散射引起的, 为了抑制电子隧穿过程中的退相干效应, 能在较宽的量子阱中实现共振隧穿效应, 设计和优化新的双势垒磁性隧道结材料与结构是非常必要的。

该课题组进一步和其他国际同行的新近理论计算和实验研究发现: 简式为 AB_2O_4 型的尖晶石氧化物(如: $MgAl_2O_4$ 、 $ZnAl_2O_4$ 、 $SrMg_2O_4$ 、 $SiZn_2O_4$ 等)也很适合作为新型单晶磁性隧道结的势垒材料, 其能带结构具有 Δ_1 自旋过滤效应, 并且与常用磁性隧道结电极材料的铁磁金属Fe、Co、FeCo 合金及半金属Hecr合金 Co_2MnSi 、 Co_2FeAl 等更加匹配, 其晶格失配度相比MgO(001)单晶势垒会更小($<1\%$), 有望观测到巨大的隧穿磁电阻效应【J. Zhang, X.-G. Zhang, and X. F. Han, *Spinel oxides: Δ_1 spin-filter barrier for a class of MTJs*, *Appl. Phys. Lett.* 100 (2012) 222401】; 并利用磁控溅射方法初步制备出了基于非晶/多晶 $MgAl_2O_4$ 势垒和具有面内磁各向异性或垂直各向异性的CoFeB 薄膜及其CoFeB/MgAl₂O₄/CoFeB隧道结, 观测到了室温 and 低温下的隧穿磁电阻效应及其TMR比【B. S. Tao, D. L. Li, X. F. Han et al., *Perpendicular magnetic anisotropy in Ta/Co₄₀Fe₆₀B₂₀/MgAl₂O₄ structures and perpendicular CoFeB/MgAl₂O₄/CoFeB MTJ*, *Appl. Phys. Lett.* 105 (2014) 102407】。

基于上述探索, 2014年该课题组进而通过与法国南锡让拉莫研究所纳米磁性和自旋电子学组研究员陆沅等专家合作, 一同设计和开展了基于 $MgAl_2O_4$ 单晶势垒的核心结构为Fe(001)/MgAlOx/Fe(d)/MgAlOx/Fe的双势垒磁性隧道结的研究, 并利用法国先进的单晶异质结构多层膜制备系统, 成功地进行了样品的系统制备和优化, 其中中间Fe层厚度d分别为6.3 nm, 7.5 nm 和12.6 nm。并通过采用多种分析设备表征和自旋输运性质的测量, 在三种隧道结中均观测到了电导随偏压的振荡, 且振荡峰的数目随Fe层厚度增加而增加, 而振荡峰位的位置和第一性原理计算及位相累积模型的模拟结果符合较好, 证实了该振荡行为确实来源于中间Fe层的量子态。在如此宽的量子阱中依然可以保持电子相位的相干性, 是由于很好的Fe/MgAlOx界面及高质量的中间Fe层薄膜。由于MgAlOx和Fe晶格失配度很小, 所以界面处应力较小, 产生的位错缺陷很少, 所以在界面处的相位位移分布很小, 从而增强了量子阱共振隧穿效应。最终在很宽的量子阱中(12 nm)以及从低温到室温(10 ~ 300 K)均可以观测到电导随偏压的振荡效应。该项实验结果和重要阶段性进展, 已发表在《物理评论快报》杂志上【B. S. Tao, H. X. Yang, Y. L. Zuo, X. Devaux, G. Lengaigne, M. Hehn, D. Lacour, S. Andrieu, M. Chshiev, T. Hauet, F. Montaigne, S. Mangin, X. F. Han*, Y. Lu*, *Long range phase coherence in double barrier MTJs with large thick metallic quantum well*, *Phys. Rev. Lett.* 115 (2015) 157204】。

热点新闻

中科院与铁路总公司签署战略合作...

中科院举行离退休干部改革创新形势...
中科院与内蒙古自治区签署新一轮全面科...
发展中国科学院中国院士和学者代表座...
中科院与广东省签署合作协议 共同推进粤...
白春礼在第十三届健康与发展中山论坛上...

视频推荐

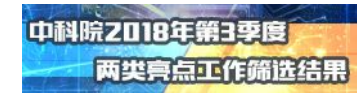


【新闻联播】“率先行动”计划 领跑科技体制改革



【新闻直播间】中科院: 粤港澳交叉科学中心成立

专题推荐

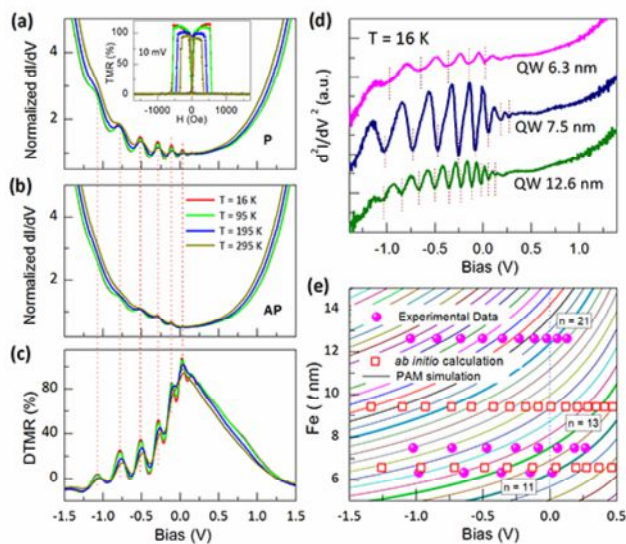


上述理论和实验研究以及重要阶段性进展,对继续研究和利用双势垒磁性隧道结中的量子阱态及量子阱共振隧穿磁电阻效应、获得更高的隧穿磁电阻比值、推动自旋电子学材料和物理的研究与核心器件的研发及应用,具有重要的学术价值和应用前景。

目前上述相关课题组正在继续推动有关这一课题的合作与深入研究。

该项研究工作得到了国家自然科学基金委员会中法国际合作与交流基金项目、科技部重大研究计划项目和中国科学院有关基金的资助。

文章链接: [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)



(a) 平行态和(b)反平行态电导及(c)微分TMR对偏压V的依赖关系; (d)不同厚度的量子阱的双势垒磁性隧道结其二阶电导随偏压的变化关系; (e)振荡峰位的实验测量结果。

(责任编辑:叶瑞优)



© 1996 - 2018 中国科学院 版权所有 京ICP备05002857号 京公网安备110402500047号 联系我们
地址:北京市三里河路52号 邮编:100864