

双金属量子阱层中共振隧穿研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/5163.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

双金属量子阱层中共振隧穿研究获进展。磁性隧道结中的量子阱共振隧穿效应由于其重要的科学与应用价值而被广泛关注和研究。在半导体领域，多量子阱之间的共振隧穿已经被证实和应用，例如共振隧穿二极管、多量子阱的发光二极管等。然而，目前为止还没有在金属结构中实现多量子阱的共振隧穿。在金属量子阱层中由于各种退相干因素使得电子很难保持相干性，从而使得在实验上实现多金属量子阱层之间的共振隧穿效应非常具有挑战性，这对磁性隧道结中的量子阱共振隧穿尤其如此。

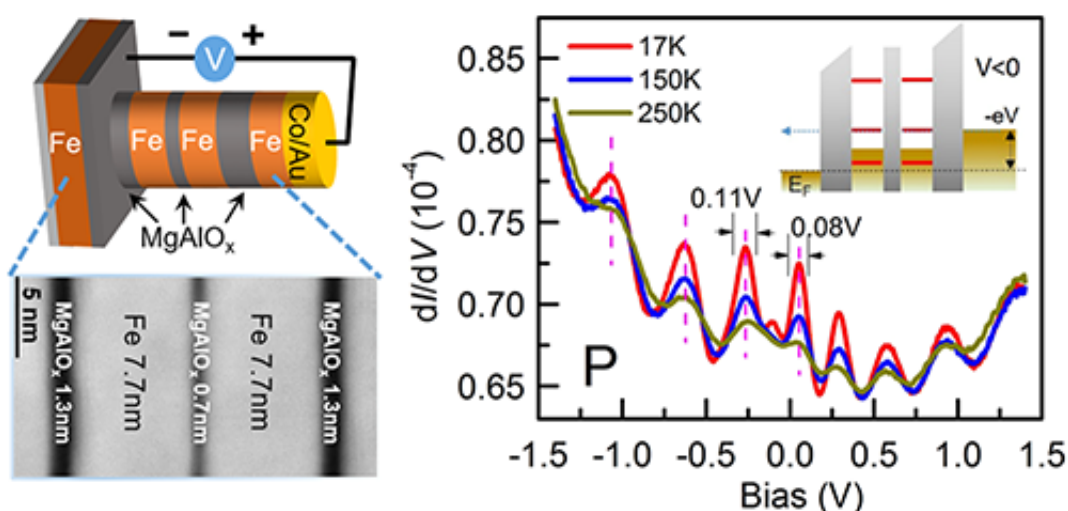
中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心磁学国家重点实验室M02课题组研究员韩秀峰领导的研究团队，2014年通过与法国让拉莫研究所/洛林大学博士陆沅、教授Stéphane Mangin、Michel Hehn等所在的“纳米磁性和自旋电子学组”合作，一同设计并制备了基于新型尖晶石结构的MgAl₂O₄单晶势垒的核心结构为Fe(001)/MgAlOx/Fe(d)/MgAlOx/Fe的双势垒磁性隧道结。在中间Fe层厚度d分别为6.3nm, 7.5nm 和12.6nm的样品中均观测到了由量子阱态导致的电导随偏压的振荡现象。在如此宽的量子阱中依然可以保持电子相位的相干性，是因为实验上制备出了高质量的准单晶Fe/MgAlOx界面及中间量子阱Fe层薄膜。由于MgAlOx和Fe晶格失配度很小，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。最终从低温到室温在较窄和很宽的量子阱中都可以观测到电导随偏压的振荡效应(即QW-TMR量子阱共振隧穿磁电阻效应)。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*, Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 15 7204]。基于上述实验研究结果，该团队继续推动了这一课题的合作，又进一步开展了双金属量子阱层中共振隧穿效应的相关研究。

首先，为了证明在三势垒隧道结中可以形成双量子阱态，研究人员制备出了核心结构为Fe/MgAlOx(3 MLs)/Fe(9 nm)/MgAlOx(6 MLs)/Fe(9 nm)/MgAlOx(3 MLs)/Fe的三势垒隧道结。由于底部和顶部MgAlOx势垒比较薄，导致两层金属量子阱层的费米面与相邻的Fe电极费米面钉扎在一起。因此，在正负偏压下，只能探测某一层量子阱层中的量子阱态。实验结果显示在正负偏压下，均观测到了电导随偏压振荡现象，说明在三势垒隧道结中确实形成了双量子阱态。进而，实验研究发现，为了实现双量子阱中的共振隧穿，必须满足三个条件：(1) 两层量子阱层厚度相同以保证量子能级位置匹配；(2) 量子阱层的费米能级不能与相邻电极的费米能级钉扎在一起；(3) 降落在中间势垒层上的电压必须很小，以保证两层量子阱中的量子阱态能级位置对齐。基于上述考虑，制备了核心结构为Fe/MgAlOx(6 MLs)/Fe(7.7 nm)/MgAlOx(3 MLs)/Fe(7.7 nm)/MgAlOx(6 MLs)/Fe的三势垒隧道结。在该样品中，也在正负偏压下均观测到电导随偏压振荡的现象，并且通过位相累积模型模拟得出振荡峰位和数量与厚度为7.7 nm Fe相符。这说明虽然电子穿过两层Fe层，但是只表现出一层的量子阱态，

并且共振峰的半高宽只有单量子阱层的一半，证明在实验上确实实现了通过了两层量子阱层的共振隧穿。

该研究工作首次实现了磁性隧道结双金属量子阱层中的共振隧穿，为进一步发展基于共振隧穿效应的新型自旋电子学器件奠定了重要的实验基础。相关研究工作发表在《纳米快报》上 [B. S. Tao, C. H. Wan, P. Tang, J. F. Feng, H. X. Wei, X. Wang, S. Andrieu, H. X. Yang, M. Chshiev, X. Devaux, T. Hauet, F. Montaigne, S. Mangin, M. Hehn, D. Lacour, X. F. Han, Y. Lu. Coherent Resonant Tunneling through Double Metallic Quantum Well States. Nano Lett. 19 (2019) 3019 – 3026]。

该项研究工作得到国家自然科学基金委员会、科技部国家重点研发项目、中法国际合作与交流基金项目和中科院有关基金的大力资助。



左图：核心结构为Fe/MgAlO_x(6 MLs)/Fe(7.7 nm)/MgAlO_x(3 MLs)/Fe(7.7 nm)/MgAlO_x(6 MLs)/Fe的三势垒隧道结结构示意图及高分辨电镜照片;右图：该样品正负偏压下电导随偏压的依赖关系，插图电子在负偏压下的隧穿示意图。

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发