
单分子器件的电子输运通道调控及其巨磁阻效应研究取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/6450.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！

单分子器件的电子输运通道调控及其巨磁阻效应研究取得进展。信息技术的成功发展离不开电子学器件的小型化。对器件小型化的追求促使了人们对单分子器件的研究和理解，以求最终实现以单分子为基本单元构筑电路。单分子器件已经成了在纳米尺度研究各种有趣物理现象和机制的平台。在原子尺度上对单个原子/分子的量子态实现精确操纵以及对其物性实现可控调制一直是凝聚态物理及其应用领域中最重要的前沿研究之一，相关研究具有极强的挑战性。过去十多年的时间里，中国科学院院士、中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究员高鸿钧领导的研究团队在单分子尺度量子态的调制方面开展了系统的研究和探索，取得一系列研究成果。

上个世纪末，他们用扫描隧道显微镜(STM)成功地实现了单个原子的操纵与纳米结构的组装，在国际上首次证实在单分子极限尺度下的电导转变，在单个Rotaxane类分子水平上实现了稳定的超高密度信息存储[Phys. Rev. Lett. 84, 1780 (2000); J. Am. Chem. Soc. 127, 15338 (2005); J. Am. Chem. Soc. 129, 2204 (2007)]。2007年，他们报道了吸附于金单晶表面的磁性分子酞菁铁的研究工作，发现分子吸附位置对近藤(Kondo)效应的调控[Phys. Rev. Lett. 99, 106402 (2007)]，这是国际上首次报道固体表面吸附位置对单分子近藤效应的调控。2013年，他们通过金单晶表面酞菁锰分子中心锰原子对单个氢原子的吸附和脱附，实现了Kondo效应的“开”/“关”效应，从而在国际上首次实现单个自旋量子态的可逆操控及其在超高密度量子信息存储中的原理性应用[Scientific Reports 3, 1210 (2013), 被引用约100次]。2015年，他们在酞菁锰分子上通过STM进行原子“手术”，国际上首次实现了朗德g因子原子尺度的空间分辨[Phys. Rev. Lett. 114, 126601 (2015)]。此外，他们以大面积、高质量的石墨烯为基底，首次在实验上探测到了不同锰原子团簇内部的原子间自旋交换作用并实现了可控调制[Phys. Rev. Lett. 119, 176806 (2017)]。

在这一系列单分子/单原子尺度自旋特性研究的基础之上，近期，高鸿钧研究组博士杨锴和陈辉等人在基于酞菁铁的单分子器件中利用磁场实现了电子输运通道的选择，并成功实现了单分子尺度巨磁阻效应的调控。英国纽卡斯尔大学教授W. Hofer、中科院物理所研究员向涛、兰州大学教授罗洪刚和该研究组研究员杜世萱等在第一性原理计算以及机理的理论研究方面进行了研究，中科院上海技术物理研究所研究员胡亦斌对其巨磁阻效应进行了分析与计算。实验中测量的单分子器件由三部分构成：金单晶，STM金属针尖，以及金表面吸附的磁性分子酞菁铁分子(图1)。实验上在0.4 K下得到了金表面单个酞菁铁分子中心的扫描隧道谱(STS)，在费米能级处出现Kondo共振信号(线型为谷，Kondo dip)，外加磁场(2 T - 11 T)下的扫描隧道谱发现，Kondo共振信号的线型随着磁场增加发生了由谷到峰的变化(图2)。进一步在未加磁场和9 T磁场下对费米面处的Kondo共振信号进行mapping发现，未加磁场时的Kondo共振谷在实空间呈不对称分布，而在9 T磁场下Kondo共振峰在实空间呈对称分布(图3)。实验上外加磁场强度的变化将改变酞菁铁分子磁矩

的取向，密度泛函理论计算表明，酞菁铁分子磁矩取向的变化影响了费米面附近两个对称性不同的d轨道(dxz/dyz 和 dz^2)的态密度的相对大小(图4)，在弱磁场下费米面附近电子态密度主要由 dxz/dyz 轨道贡献，在强磁场下则主要由 dz^2 轨道贡献。基于这些实验和理论计算结果，他们提出了通过磁场的变化对单分子的电子传输通道进行可控选择的机制：在弱磁场下，电子主要通过分子中的 dxz/dyz 轨道进行传输；随着磁场增强，电子的传输路径逐渐向 dz^2 轨道变化，最终在高磁场下， dz^2 轨道起主要贡献。因此，单个酞菁铁分子的Kondo共振信号及其在实空间的分布可以作为“传感器”，实现单分子器件中电子的传输通道的测量。最终，他们利用磁场控制的单分子磁性取向的变化，实现了酞菁铁单分子巨磁阻效应的调控，并获得了高达93%的分子电导的变化，从而为未来单分子自旋电子器件在量子信息存储与计算领域的应用开辟了新的途径。

该项目得到国家自然科学基金(61888102)、科技部(2016YFA0202300, 2017YFA0302900)和中科院(XDB30000000)的支持。相关结果发表在8月9日出版的《自然-通讯》上[Nature Communications, 10, 3599, (2019)]。

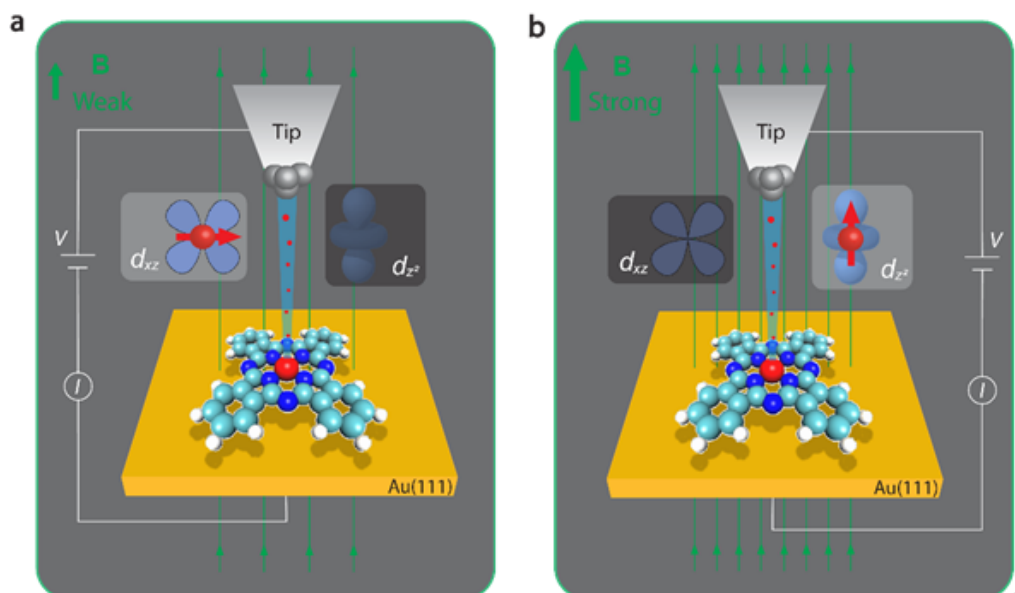


图1. 磁场对金单晶表面单个酞菁铁分子的电子传输路径调控示意图。

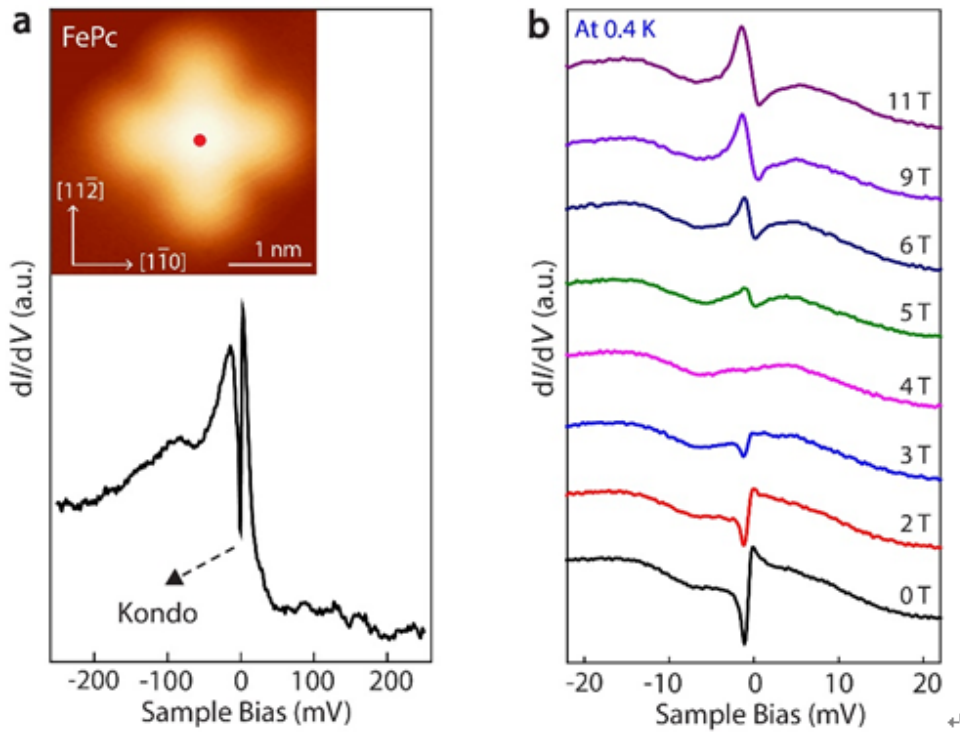


图2. 单个酞菁铁分子Kondo共振信号随磁场的变化。

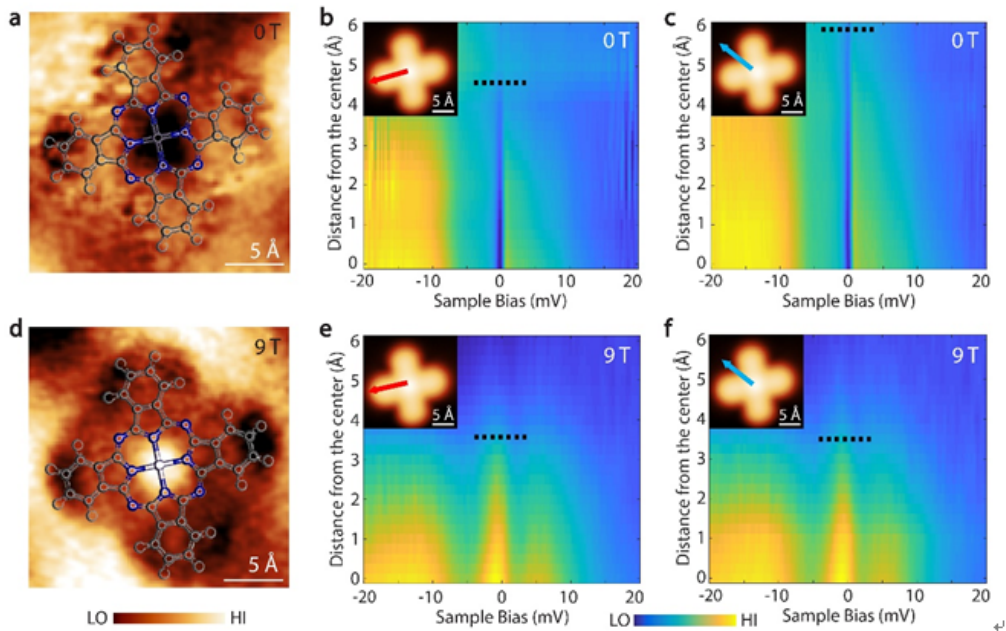


图3. 单个酞菁铁分子Kondo共振信号在不同磁场下的空间分布。

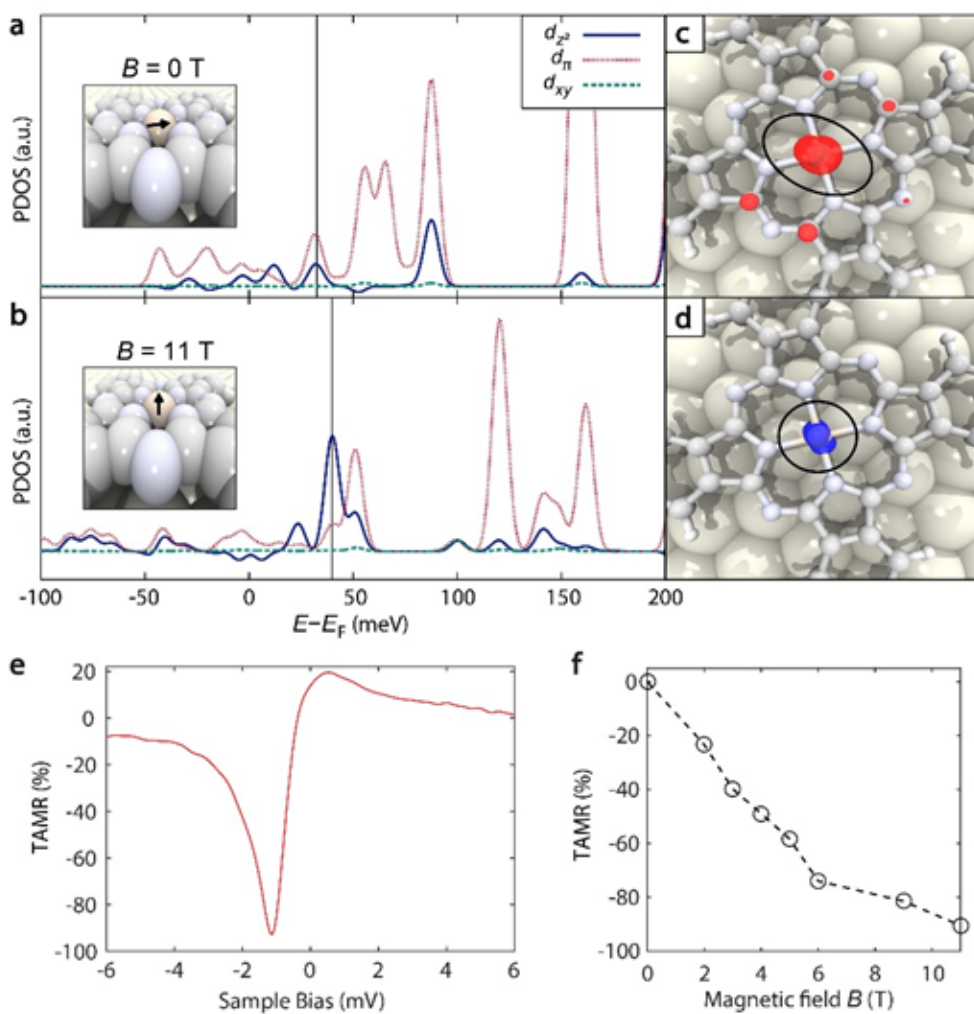


图4. 利用磁场调制单个酞菁铁分子的巨磁阻效应。

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

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