

铁磁绝缘体中磁子输运性质的全电学方法研究获进展

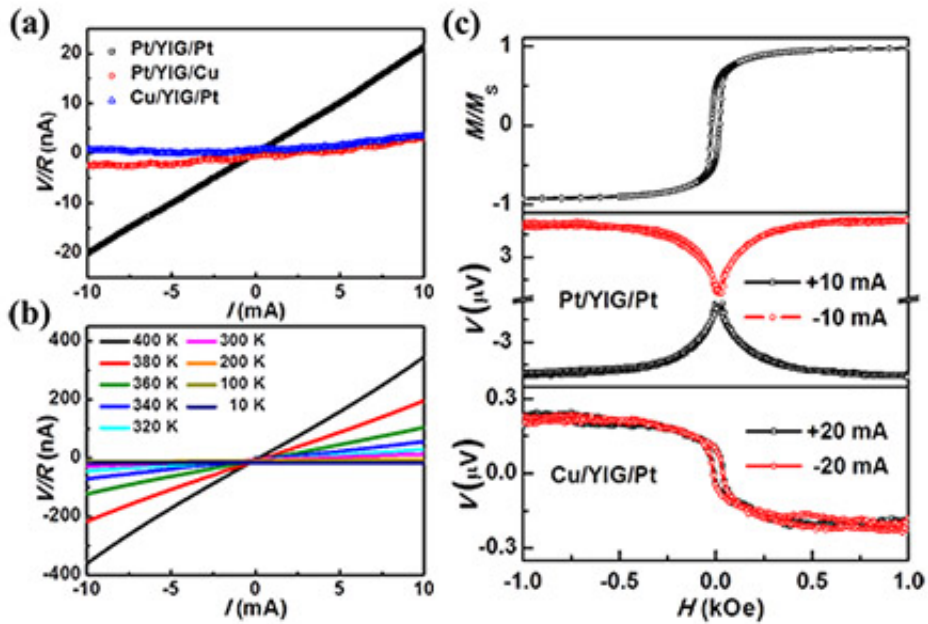


图1. 探测端电压和注入端电流的依赖关系 (a) 和 (b), 探测端电压的磁场依赖关系 (c)

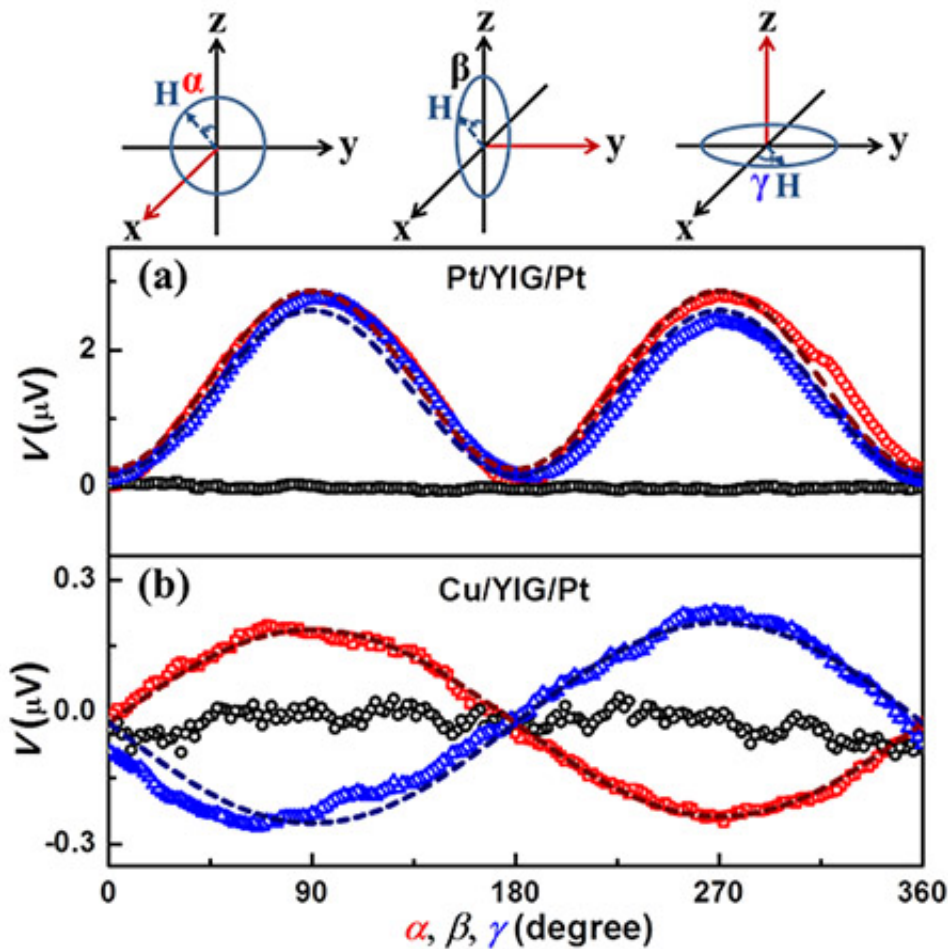


图2. Pt/YIG/Pt中的磁子拖拽电压 (a) 和Cu/YIG/Pt中的自旋塞贝克电压 (b) 与YIG磁化强度方向的依赖关系

磁性存储和磁逻辑等自旋电子学器件的核心在于自旋信息的传递，特别是自旋信息的产生、操控和探测是自旋电子

学领域的一个基本问题。现有的自旋电子学中自旋信息主要依赖金属中的传导电子，一个非常有趣的问题是，是否有其他粒子甚至是准粒子可以作为自旋信息的载体？作为铁磁体中低能激发态的准粒子——磁子，是一种玻色子，并且一个量子化的磁子携带一个普朗克常量的自旋角动量。在金属中，传导电子自旋的输运通常伴随着电荷的输运。而在铁磁绝缘体中，只存在通过磁子传递的自旋信息的输运而没有电荷的输运，从而可以显著降低器件的功耗。

2012年，美国亚利桑那大学教授张曙丰团队从理论上预测了在重金属/铁磁绝缘体/重金属(HM/MI/HM)三明治结构中，存在着磁子辅助的电流拖拽现象【S. S.-L. Zhang and S. Zhang, Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 096603；Phys. Rev. B 86 (2012) 214424】。其中一侧重金属中的电流由于自旋霍尔效应在HM/MI界面产生自旋积累，通过HM中传导电子和MI中局域磁矩之间的s-d电子之间的交换相互作用，可以激发MI中的磁子，磁子在MI中扩散形成磁子流，磁子流传递到另一侧的HM中转换成自旋流，该自旋流通过逆自旋霍尔效应从而可以在另一侧的HM中产生电流。

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研究员韩秀峰领导的研究团队，利用磁控溅射技术结合高温热处理工艺经过一系列样品的制备和优化，克服了以往YIG只能在单晶GGG衬底上制备的限制，在Si-SiO₂衬底上设计和制备了Pt/YIG/Pt这种新型的重金属/铁磁绝缘体/重金属层状自旋阀结构。通过透射电子显微镜(TEM)和高角环形暗场像(HAADF)表明YIG具有较好的晶体结构，并且Pt和YIG的界面比较清晰。通过振动样品磁强计(VSM)和铁磁共振吸收谱(FMR)表明该样品室温下具有较强的磁性和较低的阻尼系数。其中底部和顶部Pt分别作为注入端和探测端，注入端电流沿x方向施加，探测端电压同样沿x方向测量。该实验克服了以往的面内非局域自旋阀只能探测YIG中的磁子积累、无法直接探测YIG中磁子流的缺点，能够直接将实验结果和理论预测进行对比。

该课题组通过与张曙丰团队合作，进行了实验与理论模型的对比分析，发现该实验获得的室温下的电流拖拽系数可以达到10⁻⁴量级，探测端电压和注入端电流成线性关系，没有观察到截止电流，并且探测端电压和YIG磁化强度沿y方向分量的平方成正比，这一特性与以往的自旋转移力矩效应导致的YIG铁磁共振【Y. Kajiwara et al., Nature 464 (2010) 262】和温度梯度导致的自旋塞贝克效应【K. Uchida et al., Nat. Mater. 9 (2010) 894】不同。在YIG和Pt界面上，自旋和磁子的转换效率正比于YIG中平衡态磁子的数目，对于理想界面和二次方的磁子谱分布，其探测端电压和温度的5/2次方成正比。通过拟合探测端电压与YIG厚度的依赖关系，可以得到YIG中磁子流的衰减长度为38 nm，这点与其它研究组报道的有关YIG中自旋塞贝克效应的实验结果相接近【S. M. Rezende et al., Phys. Rev. B 89 (2014) 014416】。

该项研究工作制备出的Pt/YIG/Pt—重金属/铁磁绝缘体/重金属这种新型层状自旋阀结构，对于研究铁磁绝缘体中磁子的输运性质具有重要的实验与理论指导意义，是“铁磁绝缘体自旋电子学”中非常有代表性的突破性进展，它充分表明以铁磁绝缘体中磁子作为自旋信息载体的一类新型自旋电子学核心器件具有重要的应用前景，即以铁磁绝缘体中的磁子作为自旋信息的载体，可以克服电荷流动产生的焦耳热的影响，具有低能耗的特性；并且这种在Si-SiO₂上制备的垂直方向上的层状自旋阀结构，能够与现有的大规模集成电路工艺进行匹配，有助于未来自旋电子器件与半导体微电子器件的相互集成和综合利用。

该项工作的相关研究进展已发表在Phys. Rev. B 93 (2016) 060403(R)。相关研究得到了国家自然科学基金委员会、科技部和中科院有关项目基金的支持。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/89946.html>