

Observation of Magnon Spin Transport in BiFeO₃ Thin Films

Observation of Magnon Spin Transport in BiFeO₃ Thin Films

Tianxiang Nan (School of Integrated Circuits and Beijing National Research Center for Information Science and Technology (BNRist), Tsinghua University)

AFM 2025

[Ques] This study experimentally demonstrates efficient magnon spin transport through multiferroic BiFeO₃ thin films at room temperature, with significant transmission exceeding 80 nm thickness and spin-torque efficiency comparable to a control bilayer.

[关键问题] 本文通过实验在室温下观测到多铁性 BiFeO₃薄膜中高效的自旋磁子输运，证实其在 SrRuO₃/BiFeO₃/NiFe 三层结构中可实现厚度超过 80 nm 的磁子电流传输，并展现出与 SrRuO₃/NiFe 双层相当的磁子自旋力矩效率。

[Sum] The work establishes multiferroic BiFeO₃ as a promising material platform for low-power antiferromagnetic magnonic devices, showing efficient magnon transport and a non-monotonic thickness dependence of the damping-like magnon spin-torque efficiency.

[亮点 1] 实现了在室温下、厚度超过 80 nm 的 BiFeO₃薄膜中高效传输磁子电流。

[亮点 2] 磁子自旋力矩效率在 SrRuO₃/BiFeO₃/NiFe 三层结构中与无 BiFeO₃的双层结构相当，显示出 BiFeO₃在磁子器件中的优异性能。

[思考] ① BiFeO₃中磁子输运的具体物理机制是什么？是否与铁电畴结构或反铁磁序的耦合有关？

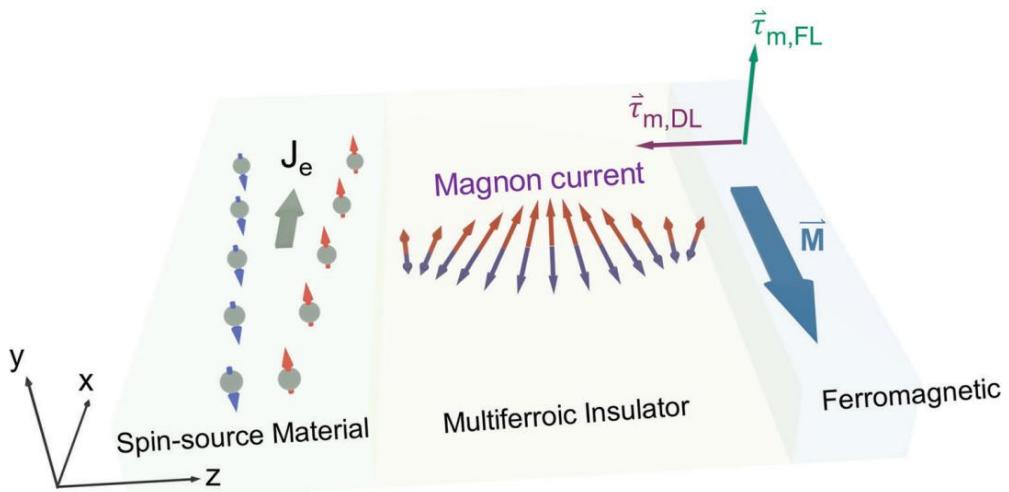
[思考] ② 能否通过调控 BiFeO₃的铁电极化方向来实时调控磁子输运效率？

[拓展阅读 1] 磁子输运在反铁磁绝缘体中的厚度依赖性

[拓展阅读 1] 本文发现 BiFeO₃中磁子自旋力矩效率随厚度先增后减，这与反铁磁序的增强和磁子扩散的竞争有关。这一现象在其他反铁磁体系（如 NiO、CoO）中也有报道，值得进一步研究不同反铁磁绝缘体中磁子弛豫长度与材料厚度、界面质量的关系，以及其对器件性能的影响。

[拓展阅读 2] 多铁性材料中电场调控磁子输运

[拓展阅读 2] BiFeO₃作为室温多铁材料，其铁电极化与反铁磁序之间存在强磁电耦合。理论上已预测其磁子色散关系可被电场调控。未来可设计具有独立电极的器件结构，研究在施加电场条件下 BiFeO₃中磁子输运行为的可调性，为实现电控磁子器件提供实验基础。



Low-Field Regime of Magnon Transport in PLD-Grown YIG Films

Ramamoorthy Ramesh (Department of Physics, University of California, Berkeley, California 94720, United States)

Nano Letter (2025)

[Ques] This study demonstrates that the suppression of magnon diffusion length by external magnetic fields persists down to the zero-field limit in YIG films, and identifies in-plane uniaxial magnetic anisotropy as the dominant factor governing magnon transport in the low-field regime.

[关键问题] 该研究揭示了外磁场对 YIG 薄膜中磁子扩散长度的抑制效应会持续到零场极限，并发现面内单轴磁各向异性是低场区域调控磁子输送的主导因素。

[Sum] Field-free operation is essential for maximizing magnonic signals in YIG, with in-plane uniaxial magnetic anisotropy playing a critical role in low-field magnon transport and offering a pathway for designing field-free magnonic devices.

[亮点 1] 揭示了即使在小至 10 mT 的磁场下，非局域自旋电压也会衰减约 20%，表明磁场对磁子输送的抑制效应在极低场下依然显著。

[亮点 2] 通过 Stoner-Wohlfarth 宏自旋模型量化了面内单轴磁各向异性参数，并发现其在低温下可增强 10 倍，为低温场自由磁子器件设计提供了关键依据。

[思考] ① 能否通过人工工程（如应变、界面设计）来精确调控 YIG 薄膜的面内磁各向异性，从而优化零场下的磁子输运效率？

[思考] ② 在真正的零场条件下，磁畴结构是否会成为影响磁子输运的主导因素？如何区分磁各向异性和磁畴效应对磁子传输的贡献？

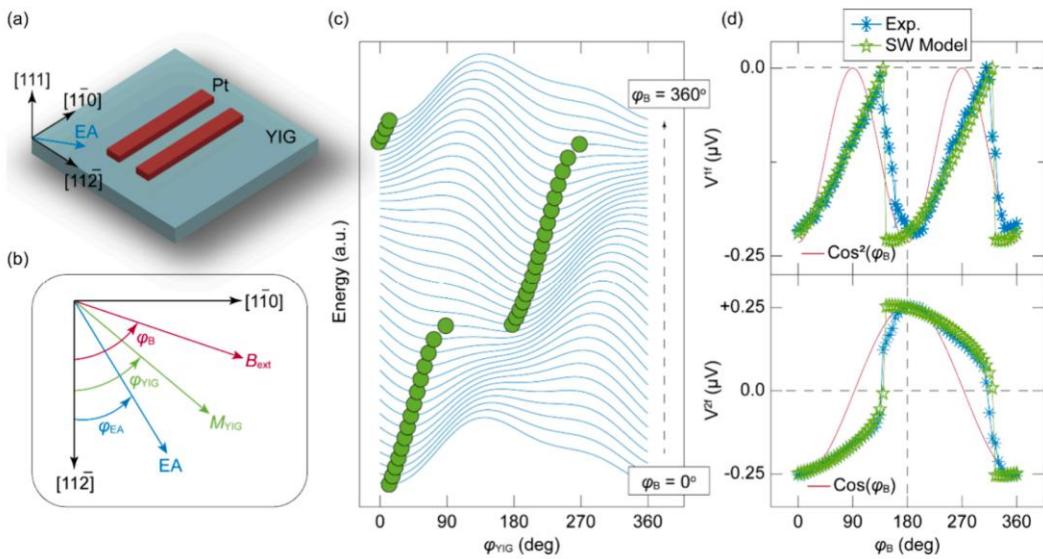
[拓展阅读 1] 磁各向异性对自旋注入/探测效率的调控机制

[拓展阅读 1] 本文发现 Pt/YIG 界面处的自旋注入和探测效率(η_{inj}, η_{det})强烈依赖于 YIG 磁化方向与自旋积累极化方向(σ)之间的夹角，符合 $\eta \propto \cos(\Delta\phi_{EA})$ 的关系。这一现象源于界面自旋混合电导的非共线特性。未来可深入研究不同金属/绝缘体磁体界面的自旋输运对称性，探索通过界面工程（如插入氧化层、调控界面粗糙度）

来增强各向异性耦合效率，为实现更高信噪比的零场磁子器件提供理论指导和实验方案。

[拓展阅读 2] 低温下磁各向异性增强的物理起源及其对磁子耗散的影响

[拓展阅读 2] 研究发现 YIG 的面内磁各向异性能在低温下增强约 10 倍，这可能与磁晶各向异性的温度依赖性（如 Callen-Callen 定律）以及衬底诱导的磁弹性耦合有关。在毫开尔文温度下，GGG 衬底的顺磁响应和杂散场可能进一步影响 YIG 的磁各向异性和磁子耗散。未来需要结合低温非局域输运测量与磁各向异性的微观表征（如 X 射线磁圆二色性），系统研究从室温到超低温区间各向异性参数的演化规律，这对量子磁子学平台的设计至关重要。



SPELLs BeyondStory 编辑部

编辑：闫婷

投稿人：杨铸

日期：2025-11-04