

## 自旋波在超低阻尼磁性薄膜绝缘体中的传播

自旋波 (Spin Wave), 也被称作磁振子 (Magnon), 是自旋集体振动在空间的一种传播模式。正如固体中相互作用的原子体系由于各种激发作用引起的集体运动, 称为点阵波(弹性波)或声子一样。近年来, 自旋波电子学或者称为磁振子自旋电子学受到广泛关注。2015年 *Nature Physics* 有一系列文章介绍这一领域。(6月刊 focus: Magnon spintronics)

研究自旋波的实验方法是利用自旋波与其他物理现象或因素的相互作用, 例如磁共振方法、光散射方法和中子散射方法等。自旋波的研究对于基础研究和实际应用都有重要意义。例如: 自旋波的热激发是决定若干基本磁性随温度变化的重要因素; 利用铁氧体中激发和传播的静磁波可制成多种在微波技术中有用的静磁波器件(如延迟线、滤波器、信噪比增强器等)。

可操纵的“自旋波”, 是在磁性材料中移动的波。从物理上说, 这些自旋波非常像在海洋的表面上传播的水波一样。然而, 像电磁波(即光波和无线电波)一样, 自旋波能有效地从一个地方传递能量和信息到另一个地方。可以控制存储和携带信息的磁性材料的内部运动。这项技术突破可以在减少所需的能量的同时增强信息处理能力。

固态中的波控制开启了现代信息技术的新途径, 以声表面波为基础的器件在数以亿计的移动设备中有着巨大的市场。自旋波将会在如今的信息处理和实现方面有很大的推动作用, 比如图像处理 and 语音识别领域。然而, 纳米磁振子器件的实现迄今为止受到衰减长度相对较短通常只有十几微米的金属铁磁体限制。在这篇文章中我们证明了纳米级的 YIG(钇铁石榴石)薄膜可以克服衰减长度短的问题。通过使用共面波导, 我们激发了一个大系列的短波长的自旋波。从这些数据, 我们估计出一个大约 600 微米的宏观的衰减长度。考虑到以磁振子为基础的纳米技术有着超低阻尼, 固有阻尼参数甚至表明能达到约 1 毫米的记录值。另外, 有着大波矢的自旋波展现出了非交互的属性, 与纳米级的以自旋波为基础的逻辑新概念相关。我们希望我们的研究结果能用于 GHz 的自旋波进行连续数据处理和大型阵列的细胞磁阵列中, 从而推动图像处理和语音识别的发展。

我们经过一系列复杂的工艺制作出用于实验测量的钇铁石榴石薄膜样品。先通过脉冲激光器沉积将 YIG 沉积在 GGG(钆镓石榴石)衬底上, 形成 $45^\circ$ 角四边形结构, 再使用电子束曝光和离子束刻蚀形成我们需要的结构。样品厚度为 20 纳米, 通过 X 射线反射计测出表面均匀度小于 0.5 纳米, 吉尔伯特阻尼参数为 $2.3 \times 10^{-4}$ , 该参数表征了自旋波在不同材料中传播的衰减程度。我们分别就获得的实验数据进行分析 and 计算, 得到了自旋波的弛豫时间、衰减长度、群速度以及非互易性。

总之, 我们已经表明在纳米级厚度 YIG(钇铁石榴石)薄膜中激发的自旋波展示出了一个显著的依靠波矢的非互易性, 并且找到了磁性薄膜材料的衰减长度的记录值。研究结果预计将推动自旋波的相干处理的应用, 如集成的马赫-曾德耳干涉仪、磁蜂窝网络和磁全息存储器。与自旋波相关的研究在未来很长的一段时间里仍然会是热点, 自旋电子中心后续工作是利用自旋波测量系统测量一些新的介质材料和特殊结构。

于海明, 电子信息工程学院, 教授, 青年千人, E-mail: [haiming.yu@buaa.edu.cn](mailto:haiming.yu@buaa.edu.cn)

### 参考文献

- [1]Kajiwara, Y. et al. Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator. *Nature* 464, 262–266 (2010).
- [2]Liu, T. et al. Ferromagnetic resonance of sputtered yttrium iron garnet nanometer films. *J. Appl. Phys.* 115, 17A501 (2014).

[3]Eshaghian-Wilner, M. M., Khitun, A. & Wang, K. L. Spin-wave architectures. US patent 8193598, B2 (2012).

[4]d'Allivy Kelly, O. et al. Inverse spin Hall effect in nanometer-thick yttrium iron garnet/Pt system. App. Phys. Lett. 103, 082408 (2014).

