

中国科学院物理研究所 M05组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第71期

2020年09月14日

磁性二维晶体中拓扑磁性斯格明子的发现

磁性斯格明子 (Magnetic Skyrmion) 是一种具有手性自旋的纳米磁畴结构, 它具有拓扑保护性、低驱动电流密度, 以及磁、电场和温度等多物理调控的特性, 是未来高密度、高速度、低能耗信息存储器件的核心理想存储单元。开发更多优异性能的磁性斯格明子新材料是目前磁电子学领域的研究热点, 也是推进磁性斯格明子实用化的关键。

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M05组长期从事新型磁性功能材料的探索及物性研究, 先后开发出多种磁斯格明子材料新体系。例如, 2016年, 在六角结构MnNiGa合金中, 获得宽温区跨室温的双涡旋磁性斯格明子【见科研进展: [宽温域室温磁性斯格明子\(Skyrmion\)研究取得重要进展](#)】; 2017年, 在Kagome晶格阻挫磁性合金Fe₃Sn₂中, 观察到具有最高居里温度的多拓扑态磁性斯格明子【见科研进展: [Kagome晶格阻挫磁体中的多拓扑态宽温区磁性斯格明子](#)】; 2018年, 利用聚焦离子束和微纳加工技术, 制备出单链磁性斯格明子器件【见科研进展: [实现创记录高温稳定单链磁斯格明子器件](#)】, 并最终观察到电流驱动单个磁性斯格明子手性翻转【见科研进展: [磁斯格明子自旋手性调控研究取得进展](#)】。同时总结出在中心对称晶体结构材料中获得磁性斯格明子的两个必要条件: 即适中的磁单轴各向异性和磁结构不稳定特征。这两类室温新材料体系的发现及自旋拓扑态调控研究, 为推进磁斯格明子存储器件的应用提供了材料和理论支持。

基于上述研究思路, 最近, 该课题组博士生丁贝、博士生李泽方和王文洪研究员等与A01组姚媛副研究员合作, 在二维磁性材料Fe₃GeTe₂(FGT)中首次观察到布洛赫型磁性斯格明子自旋结构。如图1所示, Fe₃GeTe₂由Fe(2) - Ge原子形成的六角环和Fe(1)原子形成的三角结构构成层内双层结构, 层间穿插两层Te原子分割Fe/FeGe/Fe层。通过精心设计试验, 分别采用温度震荡的化学气相运输法和助溶剂法生长出高质量的FGT单晶样品。细致的磁性测量发现该材料在居里温度以下 ($T_C \sim 150K$) 呈现出适中的磁晶各向异性, 而且其磁结构存在不稳定特征。随后, 利用洛伦兹透射电子显微镜观察到FGT单晶薄片样品中, 随着外加垂直磁场的增加, 条状磁畴逐渐收缩形成磁性斯格明子拓扑磁畴结构 (见图2)。进一步通过场冷实验, 对磁性斯格明子的密度进行了调控, 实现了零磁场且高密度的磁性斯格明子晶格结构。由于磁性斯格明子具有拓扑稳定性, 可以存在于不同倾角的场冷调控中 (见图3), 并结合微磁学模拟, 进一步证实该材料中的磁性斯格明子呈布洛赫型磁矩排列。

特别值得指出, 二维范德华磁性材料拥有易于解理和转移的优点, 且在少层甚至单层下能保持长程磁有序, 在纳米微电子器件中具有巨大的应用价值。因此, 该项工作将磁性斯格明子的研究拓展到二维磁性材料, 不仅有助于推进磁性斯格明子材料的器件化, 也为深入研究磁性斯格明子的拓扑自旋结构提供了新候选材料体系。

相关研究内容以题名为“Observation of Magnetic Skyrmion Bubbles in a van der Waals Ferromagnet Fe₃GeTe₂”发表在《Nano Letters》杂志上。该工作得到科技部国家重点研发计划、国家自然科学基金和北京市自然科学基金的支持。

相关工作链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.9b03453>

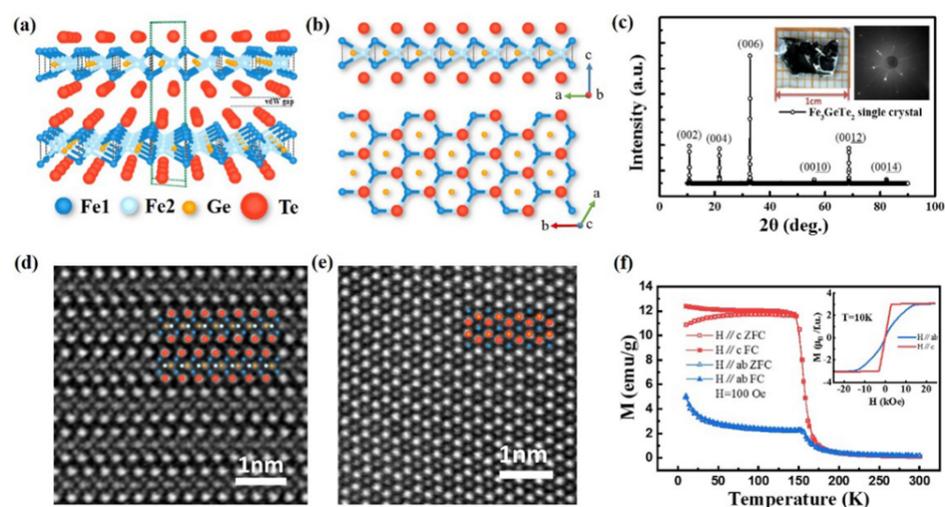


图1. 二维 Fe_3GeTe_2 (FGT)单晶的晶体结构和磁性。(a) 层间范德华间隙的双层结构示意图。(b) 从ac和ab面分别观察单层FGT晶体结构示意图。(c) X射线衍射图谱，插图是光学照片和劳厄衍射图，显示所看到的晶面为ab面。(d, e) [010]和[001]方向的高分辨STEM HAADF图像。插图显示了双层Te原子的堆积结构和Fe(2) - Ge层的六角环。(f) H//ab面和H//c轴条件下测得的ZFC和FC的磁热曲线，二者在居里温度之下不重合，表明FGT单晶具有不稳定磁结构特征。插图为 $T = 10\text{K}$ 时磁化曲线，表明FGT单晶具有适中的磁晶各向异性。

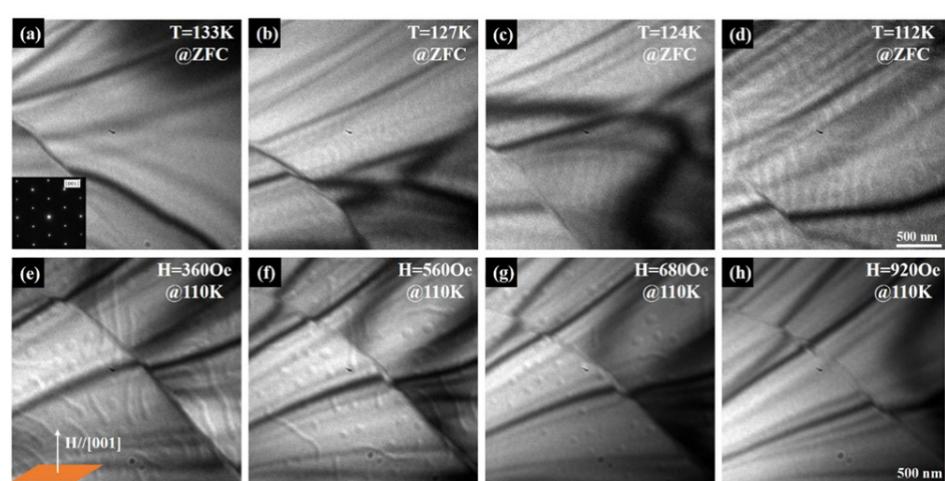


图2. (a - d) 零场冷操作后，不同温度下磁畴的欠焦洛伦兹照片；(a) 中插图为选区电子衍射，表明样品表面为ab晶面。当温度低于130K，条状磁畴自发地出现，随着温度降低更加清晰可见；(e - f) 温度在110K时，条状磁畴随外加磁场演化的欠焦洛伦兹照片；(e) 插图为外加磁场方向，垂直于ab晶面。随着垂直磁场增加条状磁畴 (e) 逐渐转变为磁性斯格明子(f - g)，并最终形成铁磁态 (h)，比例尺为500nm。

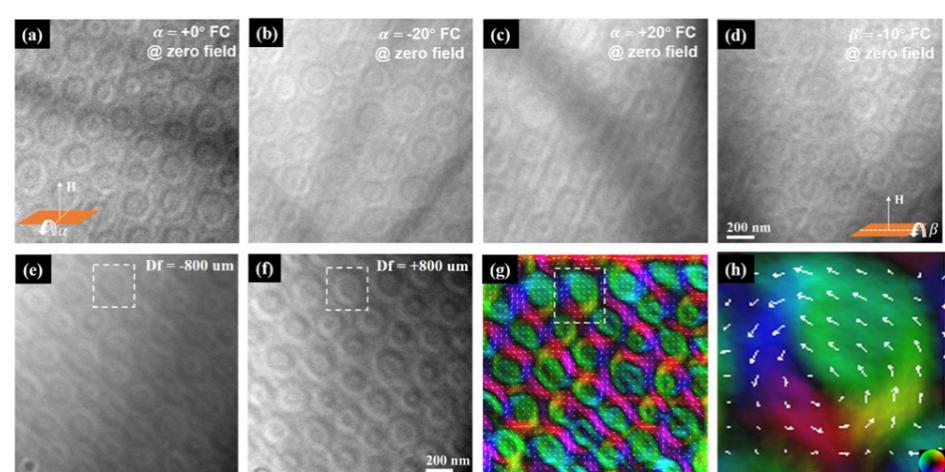


图3. (a - d) 不同倾角场冷(600Oe)调控，温度在93K时磁性斯格明子的欠焦洛伦兹照片。【插图为倾角方向(a) $\alpha = -20^\circ$, (b) $\alpha = 0^\circ$, (c) $\alpha = +20^\circ$, 和(d) $\beta = -10^\circ$ 】。(e, f) 温度在93K、零场条件下拍摄的磁性斯格明子的欠焦和过焦洛伦兹图像。比例尺为200nm。(g) 结合(e)和(f)图，TIE处理之后的磁性斯格明子晶格面内自旋结构。(h) 单个磁性斯格明子面内自旋结构：各点磁化方向，如右下角色轮所示；磁性斯格明子的磁矩呈涡旋态排列，表明是布洛赫型磁性斯格明子。



版权所有 © 2015-2021 中国科学院物理研究所 京ICP备05002789号-1 京公网安备1101080082号 主办：中国科学院物理研究所 北京中关村南三街8号 100190