
中国科大发现磁性交换新机制，实现高居里温度和强磁性的二维铁磁分子材料

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25728.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！

中国科大发现磁性交换新机制，实现高居里温度和强磁性的二维铁磁分子材料。中国科学技术大学精准智能化学重点实验室吴长征教授课题组发现有机分子与无机结构形成磁性交换新机制，获得高居里温度（ $>400\text{ K}$ ）和强磁性（ $4\text{ emu}\cdot\text{g}^{-1}$ ）的二维铁磁分子材料。

北京时间2024年1月10日，相关研究成果以Room-temperature long-range ferromagnetic order in a confined molecular monolayer为题发表在Nature Physics上。

自发平行自旋有序结构是铁磁形成的本源，而自旋-自旋交换相互作用则是产生自旋有序结构的根本机制，它决定了材料的宏观磁学特性。由于交换相互作用对相邻自旋之间的空间距离极为敏感，因此利用晶体框架这一具有确切结构来锚定自旋之间的间距可以有效产生长程磁有序，这在传统三维磁性固体中是行之有效的手段。然而当材料的厚度降至原子级尺度时，自旋在第三维度上的锚定开始解耦，自旋有序排列极易受到热扰动的影响，根据Mermin-Wagner理论，在二维材料中很难实现长程铁磁有序。因此二维磁性材料的寻找成为了研究的重点。近年来，在一些强磁晶各向异性体系，如 $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ 、 CrI_3 和 $\text{Fe}_3\text{Ge}_2\text{Te}_2$ 等陆续发现二维铁磁性，突破了理论的限制，成功实现了稳定的二维自旋长程有序结构。然而，受到热扰动的影响，在目前已发现的绝大部分二维磁性体系中，铁磁转变温度远低于室温。因此，实现具有室温铁磁性的二维材料仍然面临着巨大的挑战。

磁性分子作为一种磁性基元，其较远距离的交换相互作用带来了不依赖特定无机晶体结构新型铁磁有序体系，成为了解决上述挑战的切入点。然而，如何操控分子间相互作用实现长程自旋有序仍然是一个挑战。为了解决这一挑战，该团队利用二硫化锡（ SnS_2 ）层状材料层间，以有机分子（二茂钴（ $\text{Co}(\text{Cp})_2$ ）作为磁性基元，通过插层化学，基于层间限域效应构建了类蜂巢状的室温磁性分子单层结构。

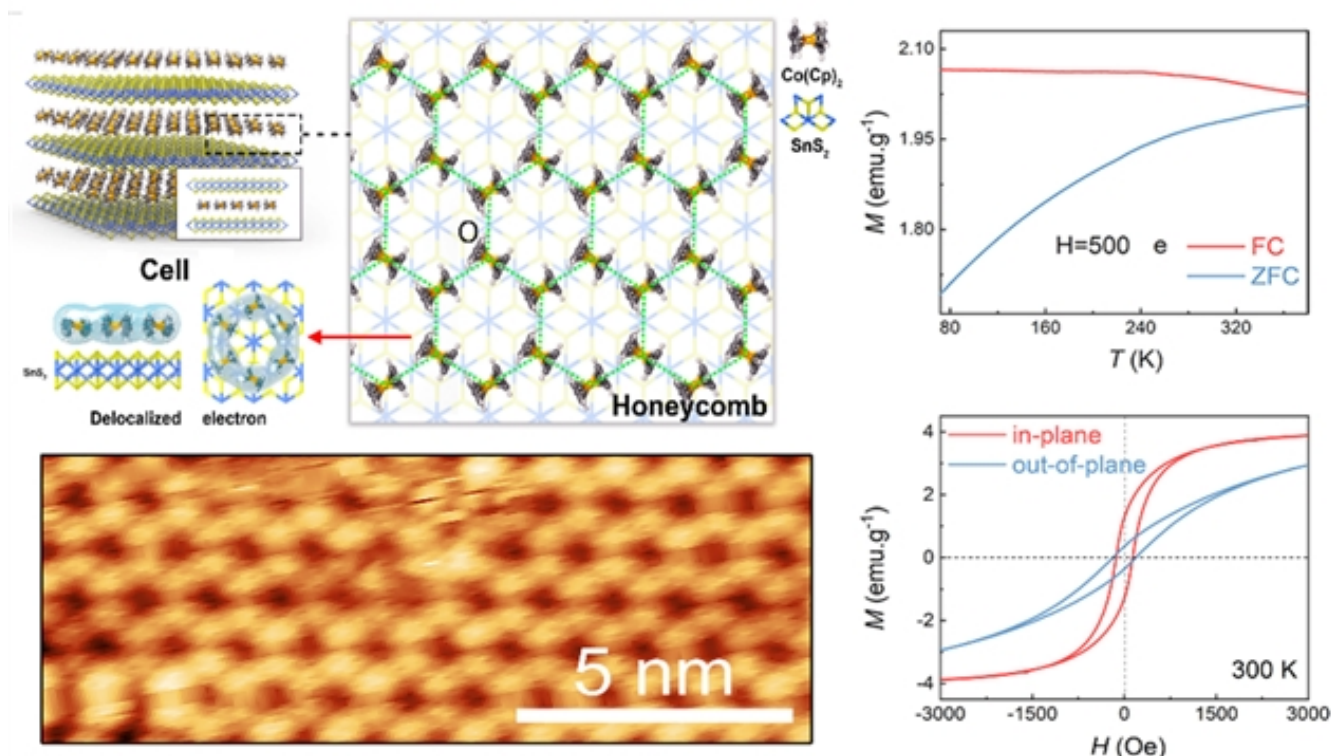
SnS_2 作为一种典型的金属二硫族化合物，具有类似石墨烯的层状结构，其二维层间空隙提供了限制 $\text{Co}(\text{Cp})_2$ 分子几何和自旋取向所需的限域空间。团队通过设计溶剂热插层法将 $\text{Co}(\text{Cp})_2$ 分子有序插入 SnS_2 层间合成有机-无机（ $\text{Co}(\text{Cp})_2/\text{SnS}_2$ ）超晶格结构，并在异质界面处形成了化学势驱动的电荷转移，使得相邻有机分子间通过无机基底形成耦合作用，最终导致结构各向异性和长程磁交换作用的出现。通过STM和AFM联用扫描探针显微技术成功表征出限域在 SnS_2 层间的单个 $\text{Co}(\text{Cp})_2$ 分子的取向和形成的单层分子类蜂巢状阵列。值得注意的是从图像中还可以看出，相邻 $\text{Co}(\text{Cp})_2$ 分子的电子云相互弥散，形成具有类似石墨烯体系的离域键电子分布。正是该离域电子态促进了 $\text{Co}(\text{Cp})_2$ 分子之间的自旋交换相互作用，从而诱导长程自旋有序和室温铁磁特性。该

结构打破传统的利用无机晶体产生铁磁的特定框架，通过维度受限的分子间相互作用获得长程磁有序的有机分子构型，通过无机层状材料保护，实现抗热扰动能力大幅度提升。

理论计算表明，该离域电子态的本质是有机-

无机超晶格 (Co(Cp)₂/SnS₂) 界面动态电荷转移形成的二维-[Co(Cp)₂-S₂--Co(Cp)₂+]-共振超交换新机制，介导了磁性基元间强铁磁耦合并进一步得到高的临界温度和大的饱和磁化强度的二维铁磁分子层。进一步通过对该超晶格体系变温磁化率测量发现场冷 (FC) 曲线随着温度下降呈现上升趋势，零场冷 (ZFC) 曲线呈现下降趋势。同时FC和ZFC曲线之间没有交点，表明Co(Cp)₂/SnS₂的铁磁转变温度超过了仪器的最大温度限制 (380 K)。通过对Co(Cp)₂/SnS₂的转角磁性测试进一步揭示了其室温下的铁磁各向异性，易磁化轴 (EMA) 沿平面内方向，饱和磁化强度的达4 emu.g⁻¹。

该工作有别于传统无机固体框架下铁磁结构，是在无机层状材料的层间限域效应下以单个分子作为磁性基元构造高性能磁性结构单层，有助于推动磁性材料和磁性器件领域的创新和进步，有望为电子技术、信息存储和量子计算等应用领域提供更好的解决方案。



二维磁性分子单层结构和室温铁磁性

近年来，吴长征教授、郭宇桥副教授课题组针对二维材料普遍缺乏本征磁性和难以引入净自旋的科学难点，发展表面化学调控途径在二维体系引入本征磁性新策略。特别是发展表面配位化学方法，分别获得了包括二维超顺磁 (Angew. Chem. 2016, 55, 3176)、自旋阻挫 (Phys. Rev. Lett. 2014, 113, 157202)、近藤效应 (Nature Commun. 2016, 7, 11210)、和二维半金属 (Adv. Mater. 2017, 29, 1703123) 等新颖量子行为在内的系列二维磁性新结构。进一步利用界面配位化学调控，基于等静压调控自旋长程有序 (Adv. Mater. 2017, 29, 1700715)，通过层数依赖调控自旋有序 (Adv. Mater. 2023, 35, 2209365)，获得二维铁磁材料。

中国科学技术大学微尺度物质科学国家研究中心刘雨桦博士、吕海峰博士后研究员、化学与材料科学学院袁秉凯特任副研究员（现为中国科学院苏州纳米所副研究员）和博士生刘洋是本论文共同第一作者，精准智能化学重点实验室吴长征教授、郭宇桥副教授和武晓君教授是本论文通讯作者。该项研究工作得到了国家同步辐射实验室（NSRL）、北京同步辐射装置（BSRF）、中国科学院强磁场科学中心（HMFL）和中国科学技术大学微纳研究与制造中心的宝贵机时支持，也受到国家自然科学基金委创新研究群体项目、重大项目，国家杰出青年科学基金项目，科技部国家重点研发计划和中国科学技术大学青年创新重点基金等项目的资助。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41567-023-02312-z>

作者：吴长征等 来源：《自然—物理学》

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](https://www.iikx.com)转发