

高压合成双钙钛矿新材料:极低冷却场诱导的巨大交换偏置效应

过渡金属钙钛矿氧化物表现出丰富的物理性质,为凝聚态物理和材料科学的研究提供了一个广阔的舞台。简单钙钛矿具有 ABO_3 构型,若将B位放入两种金属离子,则会衍生出B位有序钙钛矿 $A_2BB'O_6$ 。在后者中,两种过渡金属离子间将产生B-B/B'-B'/B-B'等多重磁关联,他们间的竞争将诱发丰富磁电性能。如果同时将高、低轨道d电子的过渡金属元素填入B位,例如3d(B)-5d(B')的组合,由于同时具有强关联效应和强自旋轨道耦合,将诱发出多铁性,轨道有序,半金属性等诸多奇异的物理性质。

常规条件制备的钙钛矿材料由于容忍因子(t 因子)的限制,决定了B-O-B'的键角总是接近 180° ,而这想要获得较强3d-5d磁关联,则需要较小的B-O-B'的键角。为了达到这一目的,需要A位放入小尺寸离子,这势必使容忍因子严重偏离理想值1,这样的结构难以用常规条件制备。高压是研制具备特殊性能新材料的重要技术手段,高压高温合成技术可以稳定钙钛矿中的结构畸变,拓宽容忍因子范围。同时高压在自然界广泛存在,研究高压新物态是认识自然界实体物质的重要前提。中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心极端条件实验室EX5组靳常青团队长期开展类钙钛矿功能新材料的高压研制,通过高压技术创新,设计并研制发现了多种含有钙钛矿结构基元的量子功能新材料(**Nature** **375**, 301(1995); **PRB** **61**, 778 (2000); **PNAS** **105**, 7115(2008); ; **Chem. Mater.** **30**, 7047 (2018); **PNAS** **116**, 12156 (2019); **Angew. Chem.** **59**, 8240 (2020); **Nat. Commun.** **12**, 747 (2021); **Chem. Mater.** **34**, 97 (2022))。

近期,靳常青、邓正团队在高压合成的B位有序双钙钛矿结构功能材料研究上取得重要进展。磁交换偏置效应在自旋电子学领域有着广泛的应用,对一般的磁交换偏置材料而言,交换偏置场往往需要较大的冷却场(10^3 高斯以上),这显然对实际应该非常不利。邓正副研究员与李文敏博士运用高压技术成功研制了B位有序双钙钛矿新材料 Y_2NiIrO_6 ,该材料在192K发生亚铁磁转变,在170K以下表现出明显的磁交换偏置。低温下,仅需15高斯的冷却场(cooling field)就可以诱导1.1T的交换偏置场,如此低的冷却场在目前已知的材料中是非常罕见的。需要说明的是,这一交换偏置场是由磁滞回线在纵向上的移动(VMS效应)产生的,因此产生机制必然与传统的磁交换偏置效应不同。他们利用中子衍射和x射线磁圆二色(XMCD)确认了 Ni^{2+} - Ir^{4+} 磁矩的长程亚铁磁有序,XMCD进一步观察到 Ir^{4+} 的强自旋轨道耦合及明确的轨道序。磁力显微镜(MFM)观察到磁畴奇异行为:施加较小的冷却场就可以显著改变磁畴的状态,但是低温下已经形成的磁畴在 $\pm 3T$ 的外磁场内均不发生明显改变,部分畴壁甚至在 $\pm 7T$ 的磁场变化中能够得以保持。正是这种被“钉”住的畴壁让磁滞回线在纵向上的产生移动。需要说明的是, Y_2NiIrO_6 中的VMS效应并不能用小回线现象来解释:在略高的温度下,磁滞回线能够在 $\pm 7T$ 的磁场中饱和,但是仍然能够观察到明显的VMS及其诱发的交换偏置场。结合中子衍射精修得到的准确 IrO_6 八面体构型,他们认为压缩的八面体使Ir的轨道磁矩更倾向于沿最短的Ir-O键长排列,这种晶格-轨道间的耦合由强自旋轨道耦合、Ir-Ni间的强反铁磁关联放大,最终产生了巨大的磁各向异性,导致了畴壁的钉扎。

具有极低冷却场及大交换偏置效应的 Y_2NiIrO_6 将能提高自旋阀这类关键自旋电子学器件的灵敏度和稳定性,同时由于其极高的磁畴灵敏度,也在低场探测领域有着巨大应用潜力。相关研究成果以“Giant Exchange Bias-Like Effect at Low Cooling Fields Induced by Pinned Magnetic Domains in Y_2NiIrO_6 Double Perovskite”为题,作为首页插图文章(frontispiece),于2023年4月26日在Advanced Materials上发表。本研究获得了美国Rutgers大学Greenblatt教授、德国马普所Z.W.Hu教授、物理所何伦华研究员、胡凤霞研究员、孙继荣研究员、张颖研究员、刘恩克研究员等多个团队的密切合作。该工作得到了科技部、国家自然科学基金委、北京市科委和中科院青促会等项目的支持。

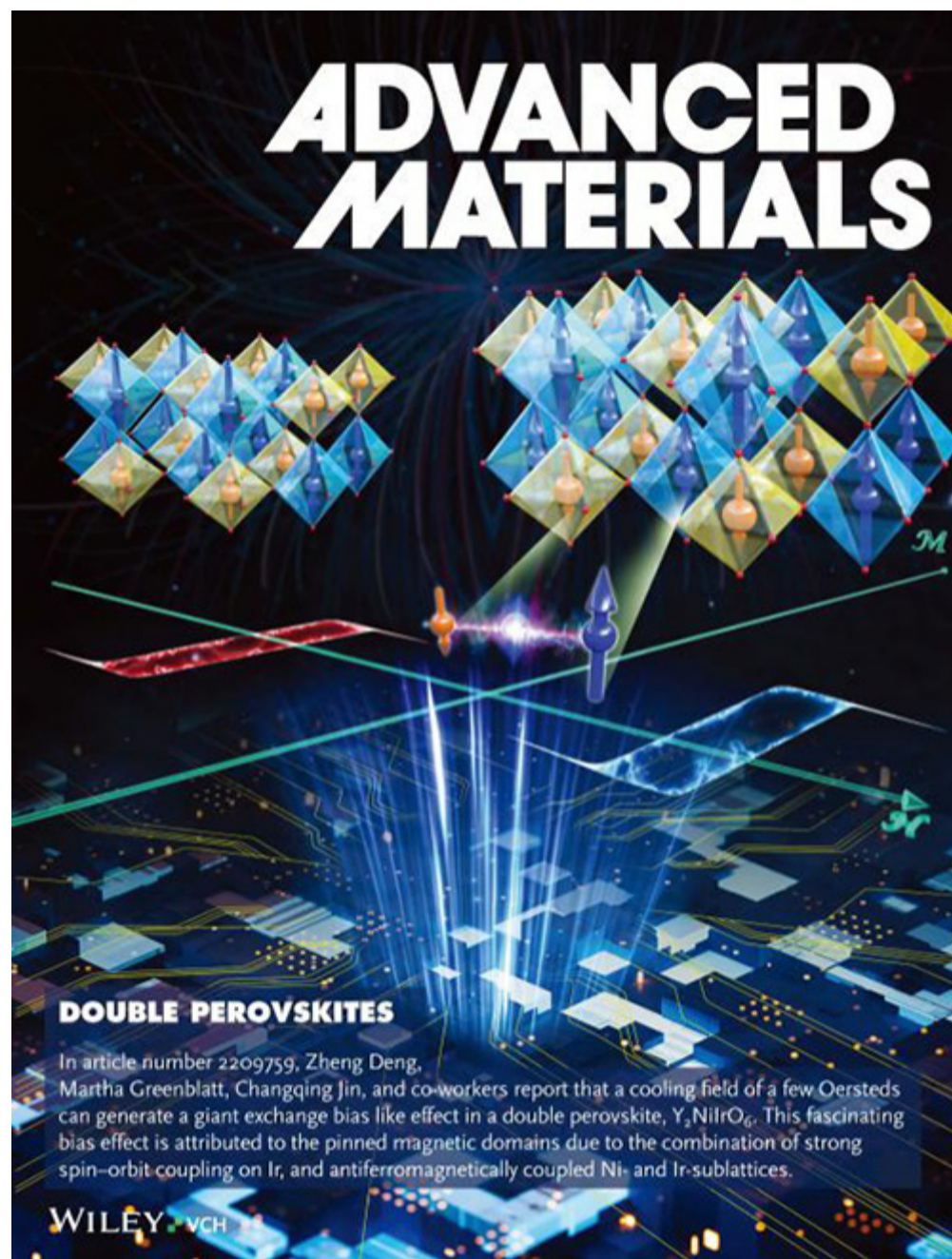
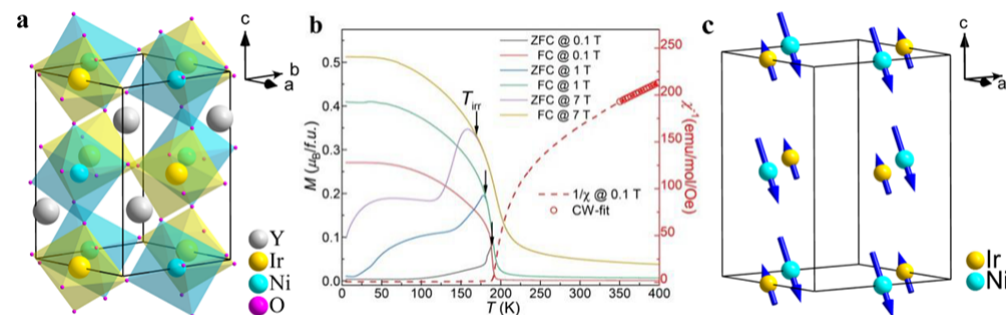
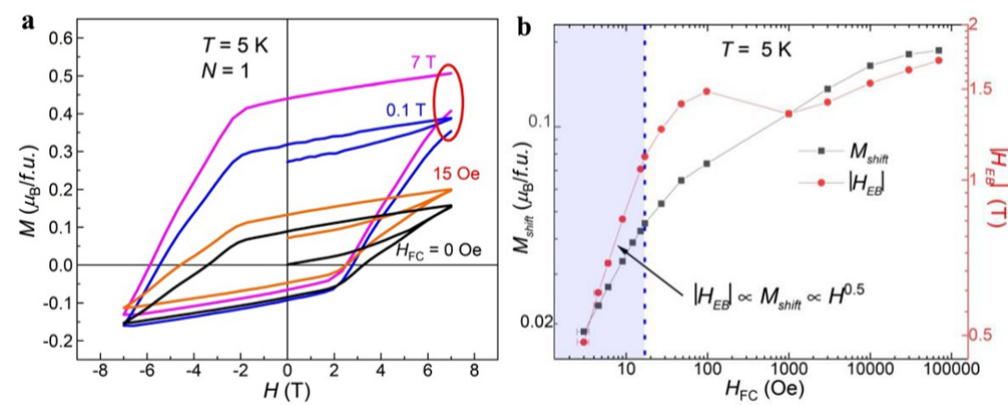
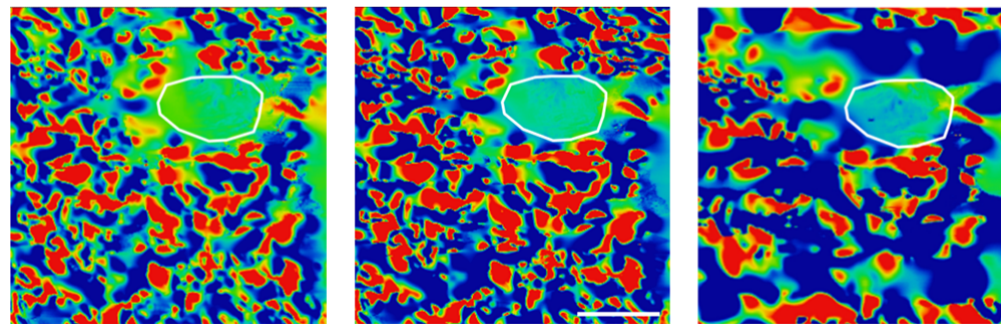


图1. 本工作被选为Advanced Materials首页插图文章

图2. Y_2NiIrO_6 的晶体结构, 磁化率-温度曲线以及磁结构图3. 5K时不同冷却场中 Y_2NiIrO_6 的磁滞回线, 以及VMS和交换偏执场与冷却场的对应曲线图4. 零场冷后1.6K的温度下, Y_2NiIrO_6 分别在0T, 2.5T和7T的畴结构。绿色, 蓝色, 红色分别表示零磁, 正磁矩和负磁矩

[电子所刊](#)
[公开课](#)
[微信](#)
[联系我们](#)
[友情链接](#)
[所长信箱](#)
[违纪违法举报](#)



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

