
应变记忆效应对磁热材料滞后损耗的非易失性调控研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/4932.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！

应变记忆效应对磁热材料滞后损耗的非易失性调控研究获进展。随着人民生活水平的提高，制冷需求量急剧上涨，导致用于制冷的能耗大幅增加。传统气体压缩制冷技术使用的工质破坏大气臭氧层，加剧全球变暖。全球气候巴黎公约颁布以来，寻找一种替代传统气体压缩制冷的技术成为人们的迫切需求。基于磁热效应的固态制冷技术具有节能环保的特点，有望成为传统气体压缩制冷的替代技术。其中，具有一级相变性质的巨磁热材料是最具应用潜力的磁制冷工质材料，然而一级相变材料固有的滞后损耗严重影响制冷效率。同时，随着微纳电子器件日趋集成化和精密化，微纳尺度的制冷需求日益增多。制冷材料的薄膜化成为固态制冷研究的一个重要方向。

具有近等原子比的FeRh合金呈现磁有序和晶格序的耦合。室温附近，伴随反铁磁(AFM)-铁磁(FM)的磁相变出现1%的体积膨胀。这一特性使FeRh对温度、磁场和应变等多种外场敏感。因此，除了巨磁热效应，FeRh合金还被发现具有巨弹热和压热效应。虽然早在1990年FeRh合金被发现具有巨磁热效应，但是由于大的滞后损耗和不可逆性(磁滞损耗会导致制冷循环中的漏热)，FeRh很少被用于磁制冷应用。

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研究员胡凤霞、副研究员王晶、中科院院士沈保根以及博士研究生乔凯明等人在对巨磁热效应材料长期研究积累的基础上成功地在铁电基片PMN-PT上生长出具有与块材性质相当的FeRh合金薄膜，为磁制冷器件的微型化提供了基础。利用铁电基片PMN-PT在脉冲电场诱导下发生R-O相变的特性，在FeRh薄膜中产生非易失性应变。通过将此应变引入磁制冷循环，在整个制冷温区大幅降低了FeRh合金薄膜的磁滞损耗。并且，利用弹性应变产生的机械功补偿磁滞损耗的同时，也避免了在磁化和退磁过程中引入恒定电场，从而有效解决了磁制冷样机设计中遇到的双场循环的瓶颈问题。定量分析表明，当引入的非易失性应变足够大时，薄膜有效制冷能力(RC_{eff})可以通过利用外部机械功得到大幅提升。在仅考虑磁滞损耗和机械功贡献的情况下，理想循环的制冷系数可达到一个新高度。这一工作创新性地提出了制冷循环与应变记忆效应相结合的新方法，不但有助于拓宽FeRh作为制冷剂的应用前景，为降低类似一级相变材料的磁滞损耗提供了新思路，而且为利用机械功提高固态工质制冷能力开辟了一条新途径。

此外，在对FeRh薄膜材料制冷性能研究过程中，通过有限元模拟和实验相结合研究了具有高热导的Cu、Ag、Au、Pt、石墨烯等物质分别作为固态换热介质时异质结构体系里基片的漏热行为。理论模拟和实验结果均表明，当选择Cu为固态换热介质时，基片的漏热可忽略不计。这一结果表明通过选择合适的换热介质可以有效解决基片的漏热问题，消除了长期以来存在的对以薄膜为制冷工质的疑虑，为制冷材料的薄膜化研究提供了实验和理论支撑。

这一工作发表在Nano Energy上(Nano Energy 59 (2019) 285 – 294)。该工作得到科技部、国家自然科学基金委和中科院重点项目的支持。

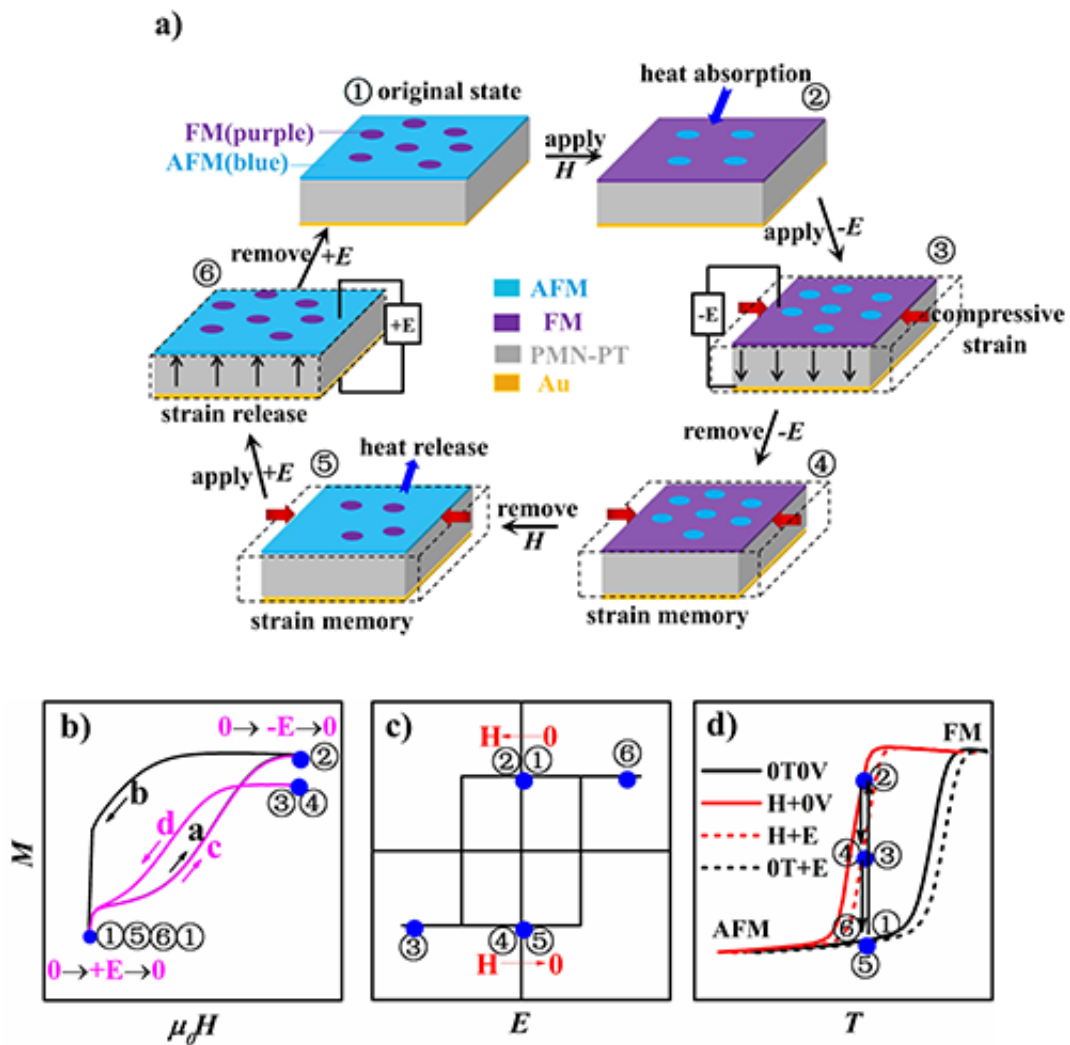


图1 (a) 引入应变记忆效应的双场激励磁制冷循环示意图，(b) 不加电场(黑色)和脉冲电场(粉色)下FeRh薄膜磁化强度随磁场的变化，以及相应的(c) FeRh薄膜磁化强度随电场的变化和(d) FeRh薄膜磁化强度随温度的变化。

图2 引入应变记忆效应的实验测量。(a) FeRh / PMN-PT异质结测量模型示意图，其中H和E分别表示施加的磁场和电场。(b) 在5T和310K下FeRh薄膜磁化强度随电场的变化曲线。A-B, 施加-6kV/cm电场由基片引入的压应变使部分FM相转化为AFM相，磁化强度下降;B-C, 移去-6kV/cm电场，应变记忆效应使磁化强度近似保持不变 ;C-D, 施加+6kV/cm电场释放应变使部分AFM相回到FM相，磁化强度上升;D-A, 移去+6kV/cm电场，应变记忆效应使磁化强度近似保持不变，(c) 零电场下前两圈磁场循环FeRh薄膜磁化强度随磁场的变化曲线，以及 (d) 在5T和0T恒定磁场下施加脉冲电场FeRh薄膜磁化强度随磁场的变化曲线。假设脉冲电场产生的应变更大，路径6将沿路径6' 或路径6"。可以看出，由路径5-6、5-6'、5-6" 围成的面积远小于图(c)中3-4围成的面积甚至变成负的(路径5、6、6'、6" 仅有磁场没有电场)，表示应变记忆效应导致的滞后损耗的非易失性大幅下降，其来源于应变产生的机械功的补偿作用。下部分的图对应于上述过程中磁场和电场随时间的变化曲线。

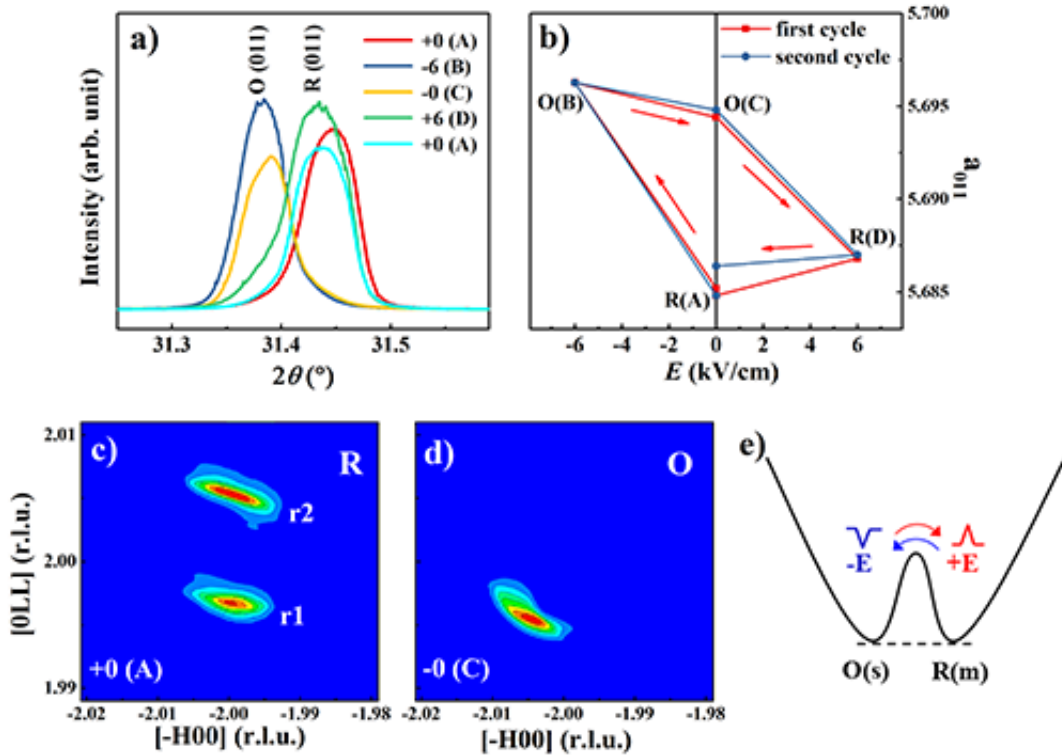


图3 (a) 室温原位施加电场下不同电场的XRD图谱，(b) 面外[011]方向晶格参数 a_{011} 随电场的变化，此结果和图二(b)一致，表明电场产生的应变记忆效应。脉冲电场施加后 (c) +0和 (d) -0态下PMN-PT基片(-222)倒易空间图。(e) 多畴R相(R(m))和单畴O相(O(s))的假想吉布斯自由能曲线。

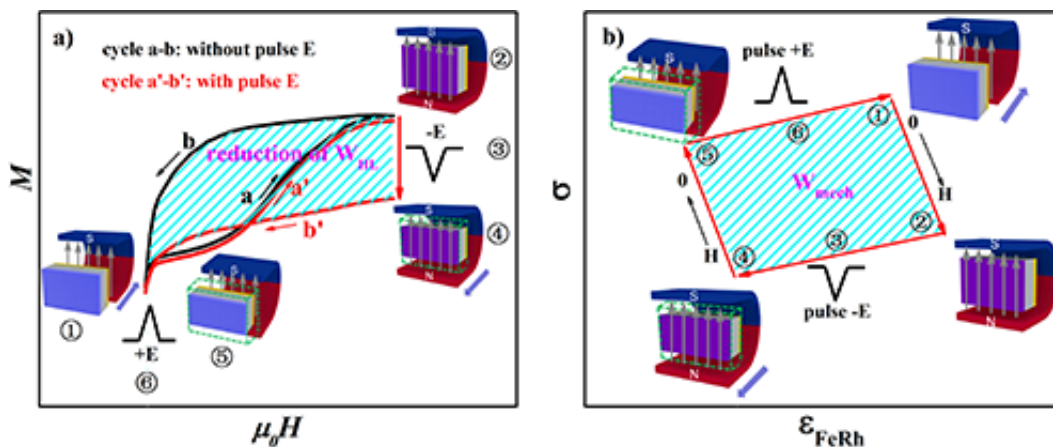


图4 (a) 不加电场与脉冲电场下磁化曲线示意图，阴影部分表示磁滞损耗的非易失性减小量;(b) 在施加脉冲电场的制冷循环中，FeRh薄膜应力随面内应变变化示意图，阴影部分表示机械功。

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](http://iikx.com)转发