

宁波材料所在三元MAX相中实现二维铁磁材料的构筑

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/16099.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！

近日，中国科学院宁波材料技术与工程研究所Near-Room-Temperature Ferromagnetic Behavior of Single-Atom-Thick 2D Iron in Nanolaminated Ternary MAX Phases为题在Applied Physics Reviews上在线发表最新研究成果。美国物理学会网站上也以Trio of ternary MAX phases expand possibilities for 2D ferromagnetic materials fabrication为题对该工作做亮点介绍。

$M_{n+1}AX_n$ (MAX) 相是一类具有六方晶体结构 ($P6_3mm/c$) 的三元层状碳化物，其中M为前过渡族金属，A一般认为是

A和 A族元素，X为碳或/和氮， $n=1-3$ 。

$M_{n+1}AX_n$ 晶体结构由 $M_{n+1}X_n$

纳米结构亚层与A位单原子层交替堆垛

而成，相邻两层 $M_{n+1}X_n$

单元呈孪晶位相，A原子层位于镜面位置，X原子填补M原子所构成的八面体间隙。根据n值的不同，通常简称为211 ($n=1$)、312 ($n=2$) 和413 ($n=3$) 相。MAX相独特的晶体结构和电子云分布使其兼具金属和陶瓷性质，表现出耐高温、抗氧化、高导热导电、耐辐照和优良的损伤容限等特点，因而MAX相通常被考虑作为高安全结构材料使用，对其功能应用关注较少。从MAX相晶格成键特征来看，A原子和最近邻的M原子之间键合较弱，可以最大程度地体现A位元素的物理化学性质。MAX相可能是构建二维铁磁单原子层的理想模板，并有望作为功能材料在自旋电子器件中得到应用。近年来，磁性MAX相因其独特的层状结构和在自旋电子等领域的潜在应用而备受关注，如何通过结构设计获得具有全新物理化学性质和功能应用的三元磁性MAX相，一直是该领域学者努力的重要方向。尽管目前已报道的三元MAX相材料约有90种，但磁性元素占据MAX相二维单原子A层三元MAX相材料的创制仍未实现。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所先进能源材料工程实验室长期致力于三元层状MAX相材料的开发与应用研究。2019年，实验室通过A位合金化策略首次将磁性元素Fe、Co、Ni和Mn引入MAX相的A原子层，合成了一系列的、磁性 $V_2(A_xSn_{1-x})C$ ($A=Fe, Co, Ni$ 或Mn) 相。然而由于竞争相的存在，常规的粉末烧结法无法合成三元MAX相 V_2

AC ($A=Fe$)。随后实验室提

出了同晶置换方法，该方法在保持 $M_{n+1}X_n$

亚层结构稳定的同时，在A位单原子二维空间上实现了原子层交换，合成了一系列A位为后过渡族元素的全新MAX相。以上研究成果表明通过传统制备手段无法合成的三元铁基MAX新相，可以通过“自上而下” (Top-down) 的同晶置换策略来实现。

近期，宁波材料所

先进能源材料工程实验室采用同晶置换策略，利用常见的 Ta_2AlC 、 Ti_2FeN 和 Nb_2AlC

MAX相作为模板材料，通过MA

X相中活泼的Al原子层与熔融 $FeCl_2$

路易斯酸盐的氧化还原反应成功制得Fe原子占据MAX相二维单原子A层的三种全新铁基三元MA

X相 Ta_2FeC 、 Ti_2FeN 和 Nb_2

FeC 。

实验结果表明，三种新型铁基MAX相均呈现铁磁性质。相比A位为部分磁性元素的 $V_2(Sn,Fe)C$

MAX相， Nb_2FeC 的饱和磁化强度可达到19.69 emu/g，高出前者（0.08

emu/g）两个数量级，且 Ta_2FeC 和 Nb_2FeC 的居里温度分别高达291 K和282 K，高于以前报道的磁

性MAX相，表明新合成的三元铁基MAX相材料具有近室温铁磁性质，这对实际应用具有重要意义。

此外，三元铁基MAX相的磁性质对化学组成的具有依赖性，如合成的 Ti_2FeN

MAX相其饱和磁化强度和居里温度分别为5.93 emu/g和208 K。因此，MAX相能起到很好的单层原子

结构模板作用，并有望通过调控MAX相的M位和X位元素成分进一步提高MAX相的磁性和居里

温度，实现在功能器件上的应用。第一性原理计算表明三元铁基MAX相的磁性主要来源于构建

的二维铁原子层的层内相互交换作用。考虑到MAX相天然的纳米层状结构、高稳定性、高各向

异性输运特性和成分可调性（M、A或X元素及其固溶），MAX相的同晶置换策略为二维铁磁单

原子层的构筑及其在电子和自旋电子领域的应用提供了很好的途径。

该项工作得到国家自然科学基金、中科院对外合作重点项目、浙江省领军型创新创业团队、宁波市顶尖人才团队等支持。

[论文链接](#)

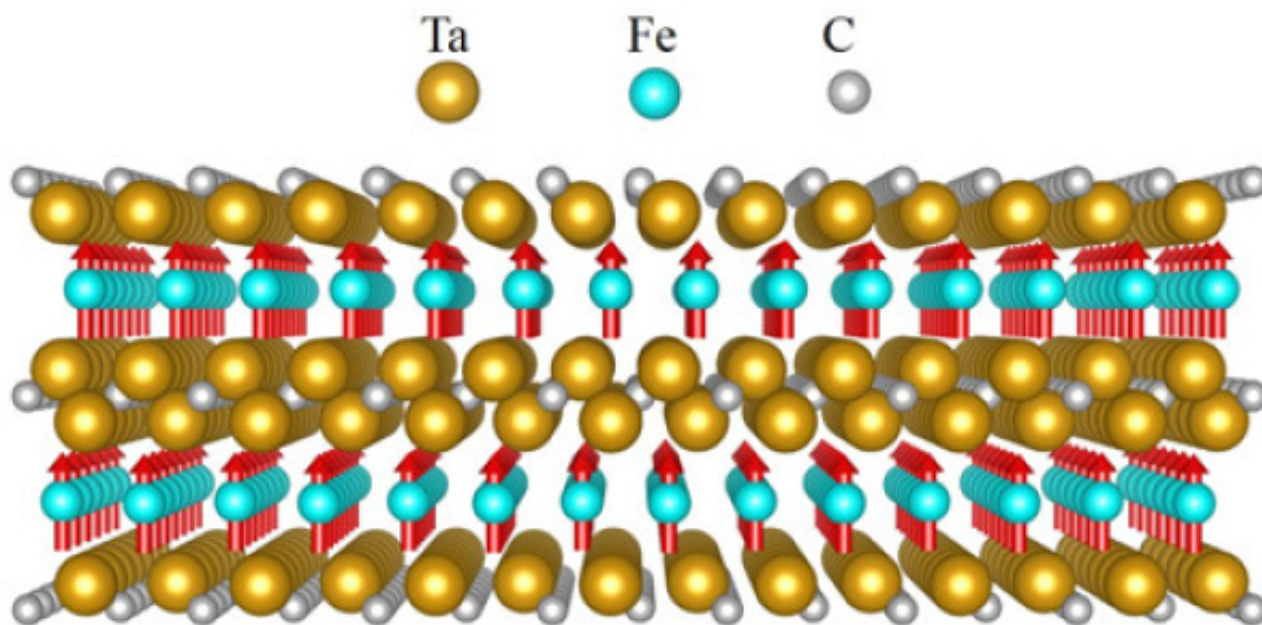


图1 MAX相晶格示意图显示二维单原子层厚Fe原子的电子自旋分布

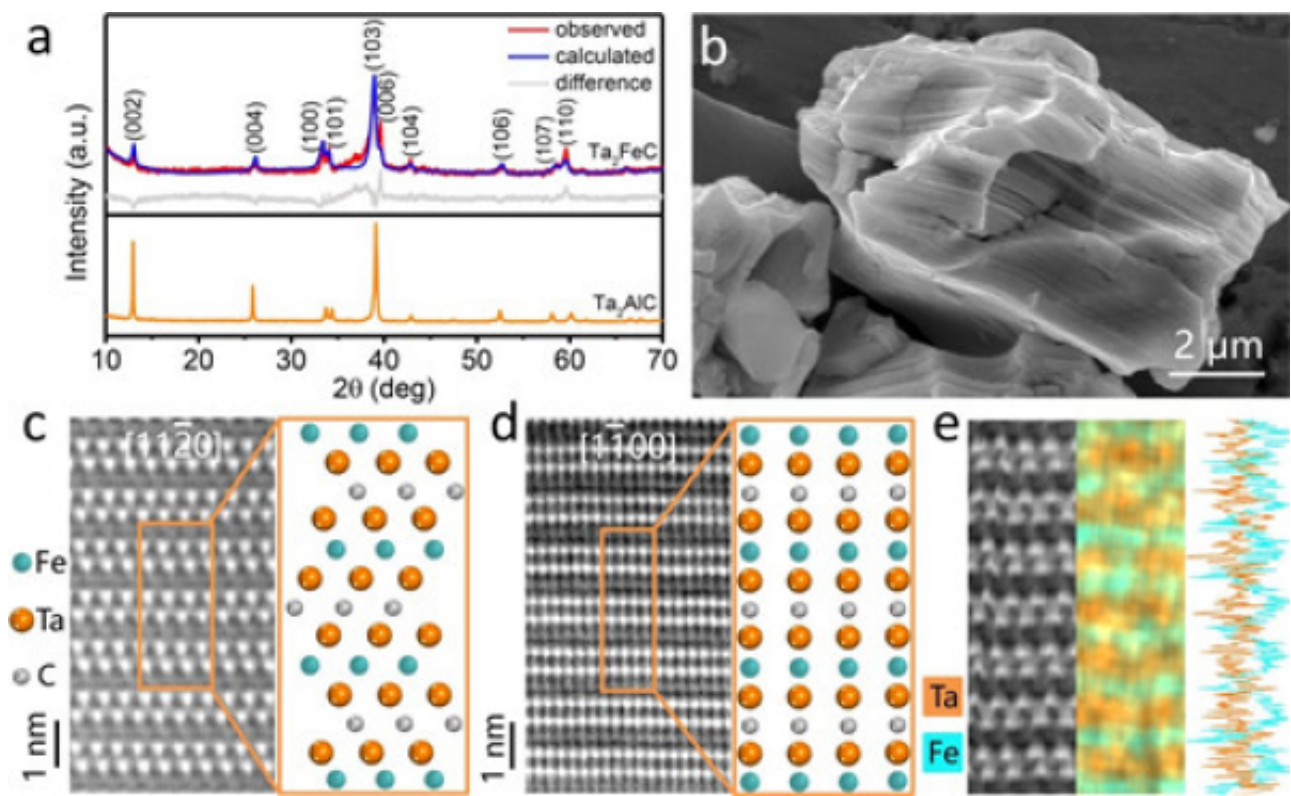


图2 新型三元 Ta_2FeC MAX相材料的相成分和微观结构

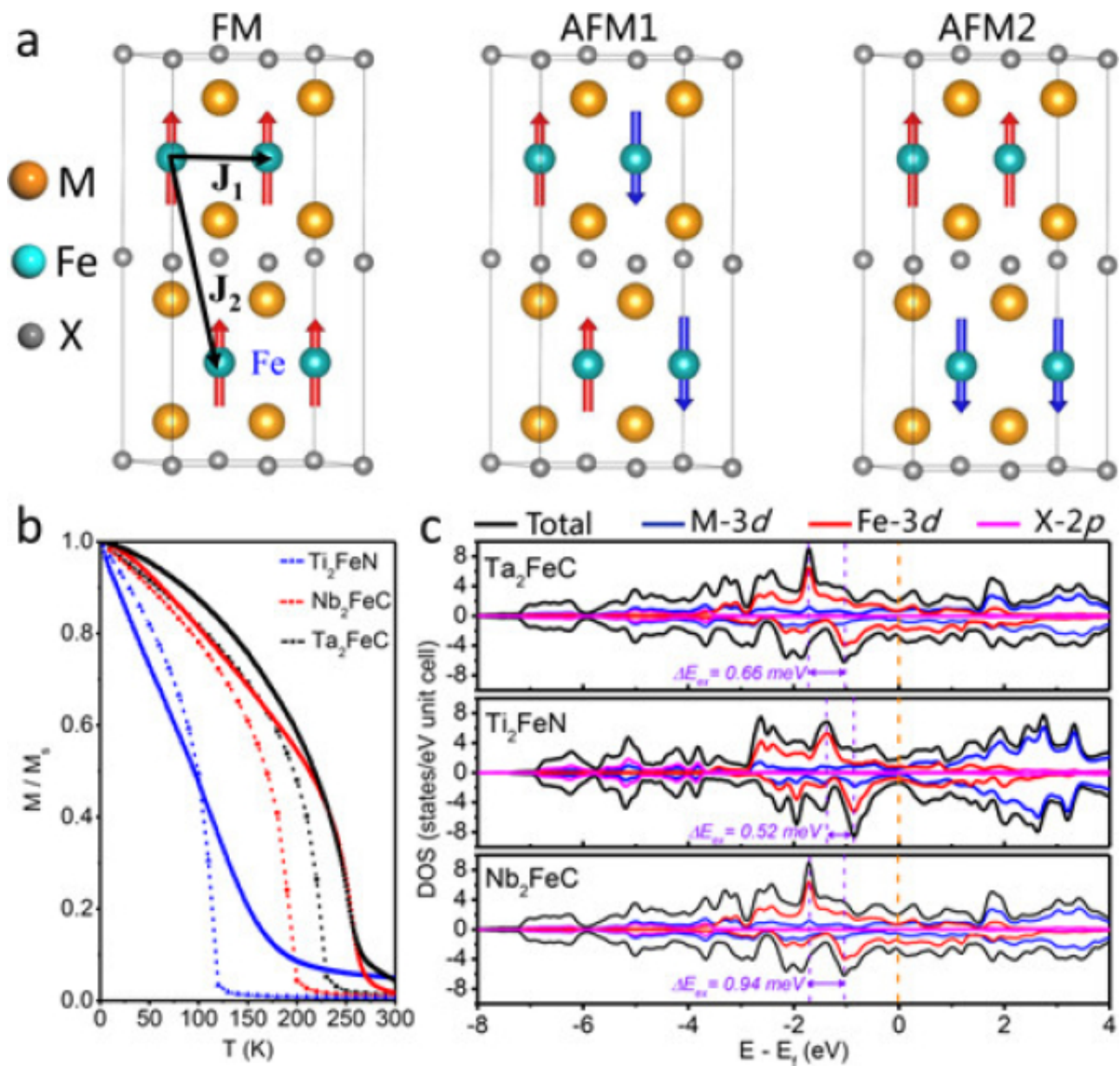


图3 第一性原理计算模拟新型铁基MAX相三元材料的磁性质

研究团队单位：宁波材料技术与工程研究所

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