# 过渡金属硫化物中伊辛超导电性研究取得新进展

二维层状过渡金属硫化物$MX_2$（M代表Mo，Nb，W；X代表S，Se，Te）中的强自旋－轨道耦合作用与结构的多样性赋予这类材料许多新奇的物理性质，如在少数层$1T_d$相的$WTe_2$中观测到量子自旋霍尔效应，在少数层2H相的$MoS_2$与$NbSe_2$中观测到伊辛超导电性等。这些发现使得$MX_2$材料成为当前凝聚态物理学和材料科学研究的一个热点。

通常BCS超导体的上临界磁场是不会超过泡利顺磁极限的，因为一旦超过这一极限，两个自旋相反电子之间的s波配对就不能维持了。但在2H-$MX_2$材料的晶体结构中，面内中心反演对称性的破缺导致伊辛自旋－轨道耦合的出现。此时，库伯对中电子的自旋方向会被钉扎在面外，使得面内的上临界磁场可以远超泡利极限，达到几十甚至上百特斯拉。这种超导电性被称为伊辛超导，其特有的性质为强磁场中超导电性的应用提供了新途径。此外，最近有理论认为可以利用伊辛超导体来构造马约拉纳费米子，为拓扑量子计算研究提供新的实验平台。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心固态量子信息与计算实验室研究员吕力团队近年来一直从事拓扑物态方面的研究。从2015年底，团队成员、副研究员刘广同开始关注利用二维过渡金属硫化物开展拓扑超导研究。通过与新加坡南洋理工大学教授刘政（Zheng Liu）合作，近年来在高质量少数层$MX_2$样品的研究方面取得一系列进展，构建了这一材料家族生长、形貌、结构和物性数据的“图书馆”，相关成果先后发表在Adv. Mat. 29, 1603471 (2017)（被选为封面文章）、Nat. Commun. 8, 394 (2017)以及Nature 556, 355 (2018)上。

最近，他们在少数层高质量$MoTe_2$样品的物性研究方面又取得新进展，在$T_d$相的$MoTe_2$样品中发现了一种由各向异性自旋－轨道耦合导致的新型伊辛超导体电性。与已经发现的面内各向同性的伊辛超导体不同，该新型超导体的面内上临界磁场（$Hc2,//$）呈现出显著的两度对称性，并且在不同方向均超过泡利极限。这是在实验上首次观察到面内各向异性的伊辛超导电性。理论计算表明，这种现象的出现是由于$T_d$相特殊的晶格对称性诱导出了一种独特的自旋－轨道耦合作用$g=(gx,gy,gz)$。一方面，x方向上面内的镜面对称破缺导致了面外的伊辛自旋－轨道耦合作用gz，使得研究人员观测到了以往发现的伊辛超导的$Hc2,//$增强现象。另一方面，面外镜面对称破缺导致了面内各相异性的自旋－轨道耦合作用（gx与gy）。这就是实验上观测到$Hc_2,//$面内两度对称性的原因。这一发现将有助于加深对过渡金属硫化物中新奇超导现象的认识，有助于促进相关材料超导自旋电子学器件的应用研究。

该工作是在多位研究人员的通力合作下完成的。刘政指导的博士后周家东（Jiadong Zhou）制备出高质量少层$MoTe_2$样品；南方科技大学教授林君浩（Junhao Lin）利用高分辨透射电子显微镜（STEM）对少数层$MoTe_2$样品进行了表征，证实了其结构为$T_d$相；刘广同带领学生崔健、李沛岭完成了低温强磁场的电学输运测量，发现了二维超导电性、面内上临界场的增强以及其两度对称性；香港科技大学教授罗锦团（K. T. Law）和学生贺文宇从理论上给出了各向异性自旋－轨道耦合作用下的超导机制。

相关研究成果于5月3日在线发表于《自然-通讯》（Nature Communications，DOI: 10.1038/s41467-019-09995-0）杂志上。该项工作得到科技部（2016YFA0300600与2015CB921101）、国家自然科学基金委（11527806与11874406）、深圳科技创新基金（ZDSYS20170303165926217）、新加坡国家研究基金（NRF-RF2013-08, MOE Tier 2 MOE2016-T2-2-153, MOE2015-T2-2-007，A*Star QTE programme）、日本学术振兴会科学基金（JP16H06333，P16382）、裘槎基金会和香港研究资助局（C6026-16W, 16309718, 16307117, 16324216, ECS26302118）的资助。

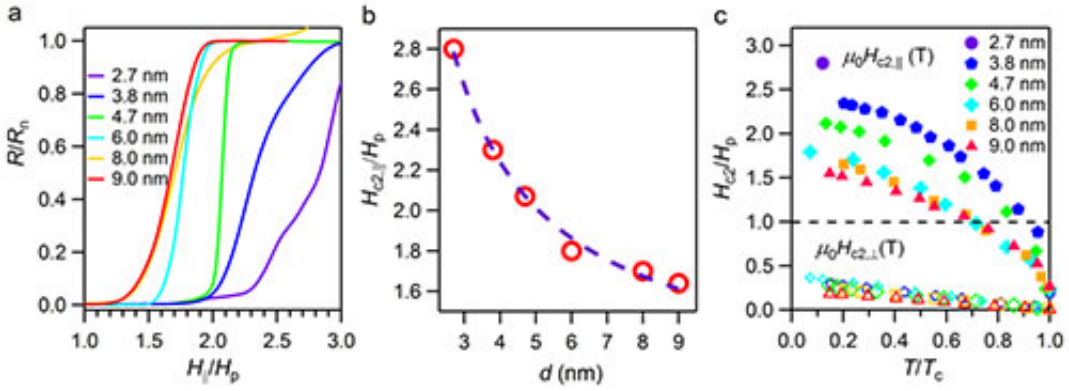


图1. 少数层T $_d$相$MoTe_2$样品中面内上临界磁场的实验数据。a）0.3 K时不同厚度样品的磁电阻曲线。纵轴为约化磁电阻（R/Rn），横轴为约化面内磁场（H∥/Hp）。b）0.3 K时约化面内上临界磁场（Hc2,∥/Hp）随样品厚度的依赖关系。c）不同厚度样品中约化温度（T/Tc）与约化上临界磁场（Hc2/Hp）的相图。

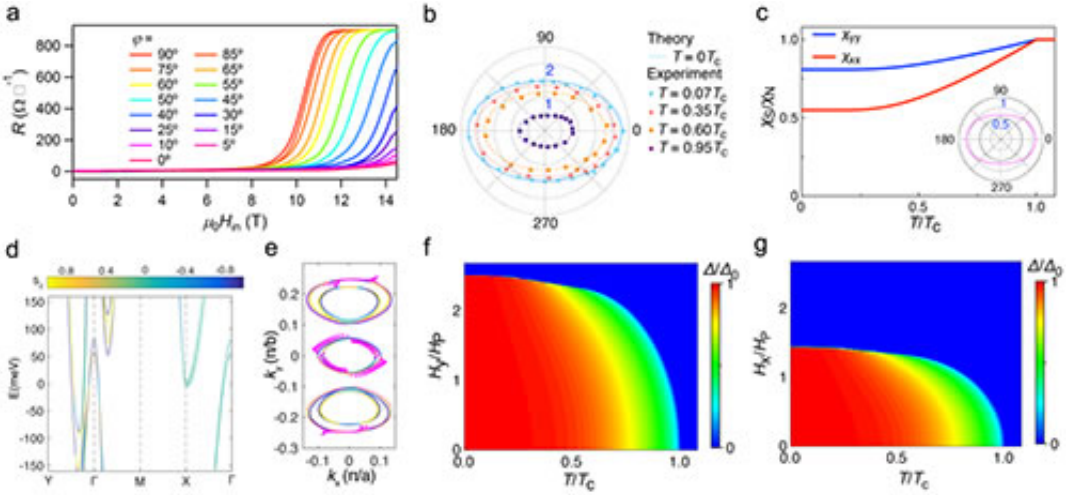


图2. 少数层T $_d$相$MoTe_2$样品面内上临界磁场的两度对称性。a）0.3 K时3nm厚$MoTe_2$样品在不同面内转角（φ）时的磁电阻曲线。b）温度为0.07 Tc、0.35 Tc、0.6 Tc与0.95 Tc时测量到的不同面内旋转角（φ）下的约化面内上临界磁场（Hc2,∥/Hp）。c）x与y方向面内约化自旋磁化率（χS/χN）对约化温度（T/Tc）的依赖关系。d）$1T_d$-$MoTe_2$能带结构的第一性原理计算结果。e）理论计算给出的面内自旋织构。f）和g）理论预期的面内y方向与x方向各向异性上临界磁场的相图。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/139464.html