



《科学》首次发表中国科学家在铁基超导体领域研究成果

文章来源：物理研究所

发布时间：2011-07-15

【字号： 小 中 大 】

最近，《科学》发表了中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室（筹）表面物理实验室马旭村研究组与清华大学物理系薛其坤研究组合作，在铁基超导体FeSe电子配对对称性研究中取得的新进展。这是我国科学家首次在*Science*杂志上刊登该领域的研究成果。

铁基超导体是继铜氧化物高温超导体之后又被发现的一类新型高温超导材料。它的出现为高温超导电性的研究开辟了一个全新的研究方向，是目前物理学的一个研究热点。我国科学家在这个领域表现出色，整体研究水平处于国际领先行列。与铜氧化物高温超导体的研究类似，铁基超导机理研究的最核心科学问题是电子如何形成库珀电子对。因此，确定电子配对的对称性（也就是库珀电子对的形状）具有极其重要的意义，但这个问题至今没有一个明确的结论。

在所有铁基超导体研究中， β -FeSe具有最简单的化学结构，被认为是探索超导机制的原型体系。然而，目前所报道的FeSe单晶和薄膜样品均存在化学计量比的差异、无序或团簇状等问题，严重影响着对FeSe超导体中电子配对对称性和能隙函数中是否存在零线或节点等的确定。因此，获得高质量的单晶样品是进一步研究其超导机制的重要前提。

该研究团队把半导体领域中的分子束外延技术拓展到铁基超导材料的制备中，实现了对超导薄膜生长过程和形貌在原子水平上的精确控制（图1A），在石墨化的SiC(0001)衬底上制备出了化学成分严格可控的高质量单晶FeSe薄膜，利用同时具有空间和能量高分辨本领的低温强磁场扫描隧道显微技术对薄膜进行了原位的表征。图1B为所生长的FeSe薄膜的扫描隧道显微镜照片，图中每个亮点代表一个Se原子。2.2K下的原位低温扫描隧道谱实验表明，FeSe薄膜的超导转变温度与薄膜厚度的倒数 $1/d$ 成线性关系，超导的临界厚度为两个单位单胞。这部分工作发表在7月12日的《物理评论B》杂志上，并被选为“Editors' Suggestions”文章【*Phys. Rev. B* 84, 020503 (2011)】。

为了深入研究FeSe超导体的电子配对对称性这一重要问题，该研究团队对FeSe薄膜在极低温条件下的扫描隧道谱(dI/dV ，正比于样品的态密度)进行了详细的观测，发现了FeSe薄膜的 dI/dV 谱在0.4K时具有“V”型特点（图1C），直接证明了FeSe超导体配对函数中存在能隙零线。更为重要的是，通过采集零偏压下扫描隧道显微谱图像，在实空间直接观察到FeSe薄膜的量子化磁通、磁通中心的束缚态以及束缚态在空间的演化规律（图2）。单个磁通和束缚态在空间的演化均表现为两重对称性，确定性地证明了FeSe铁基超导体中的电子配对函数具有两重对称性。进一步的杂质态的空间分布和杂质散射实验结果也验证了上述结论（图3）。他们还与美国加州大学圣地亚哥分校的吴从军教授进行理论上的合作，提出FeSe电子配对四重对称性的破缺很可能与轨道依赖的电子结构的重组有关。

由于电子配对的对称性对理解铁基高温超导机理的重要意义，该成果刊登在6月17日的《科学》上【*Science* 332, 1410 (2011)】。这是我国科学家首次在*Science*杂志上刊登这个领域的研究成果。该成果的获得得益于该研究团队长期致力于精密实验技术发展所做的努力。他们将分子束外延技术与扫描隧道显微技术进行了有效的结合，并在国际上已经形成了自己独特的研究特色。

上述工作得到了国家自然科学基金、科技部和中国科学院的基金资助。

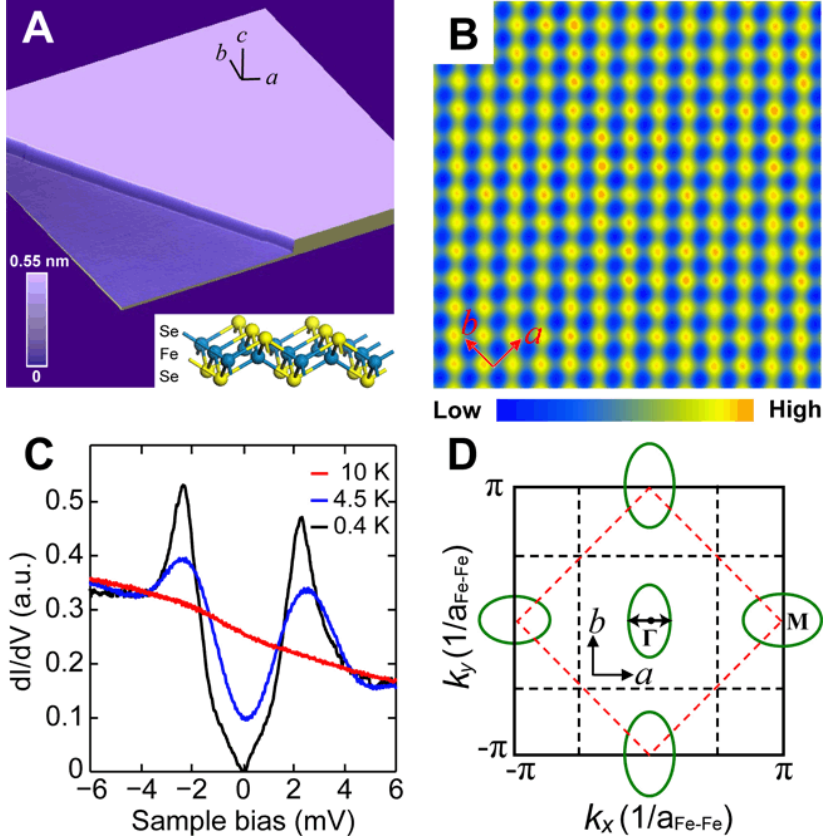


图1. (A) MBE方法制备30层厚FeSe薄膜的STM形貌图 (200 nm × 200 nm) 和 (B) 原子分辨图像 (5 nm × 5 nm)。 (C) 温度依赖的dI/dV谱。样品准粒子激发在0.4 K的温度下表现出“V”型的特点, 说明FeSe超导配对函数中存在能隙零线。 (D) FeSe超导体动量k空间费米面结构示意图。黑色虚线和红色虚线分别表示 $\cos k_x \cdot \cos k_y$ 和 $\cos k_x + \cos k_y$ 配对对称性的能隙零线。能隙零线的存在表明, FeSe超导体配对函数主要由 $\cos k_x + \cos k_y$ 成分组成。

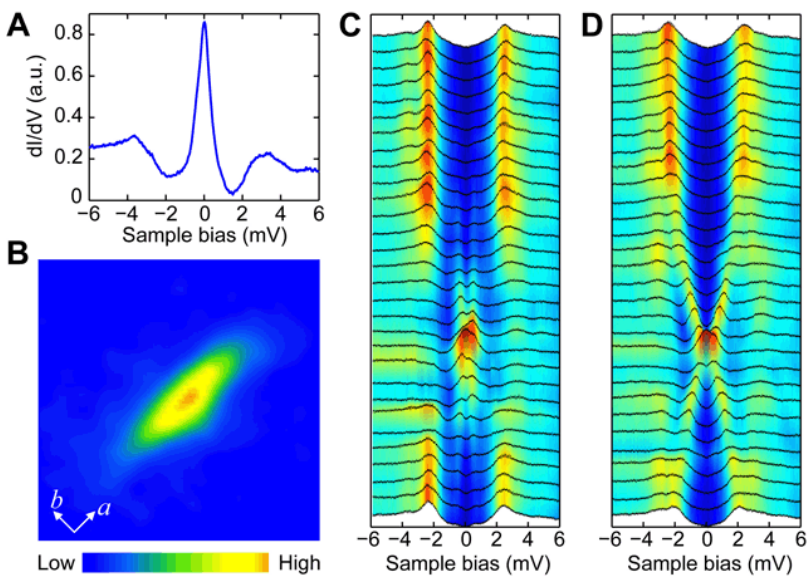


图2. FeSe超导体磁通束缚态。 (A) 在磁通中心所做的dI/dV谱。其零偏压电导峰 (Zero Bias Conductance Peak, ZBCP) 主要对应于磁通中心束缚态的基态。 (B) 单个磁通的STM图像 (40 nm × 40 nm, 1 Tesla)。磁通沿a方向拉长, 说明了配对能隙大小的各向异性。 (C, D) 磁通中心束缚态的空间演化。偏离磁通中心ZBCP峰分裂成为两个关于费米能级对称的峰, 但演化行为沿a, b方向不同。

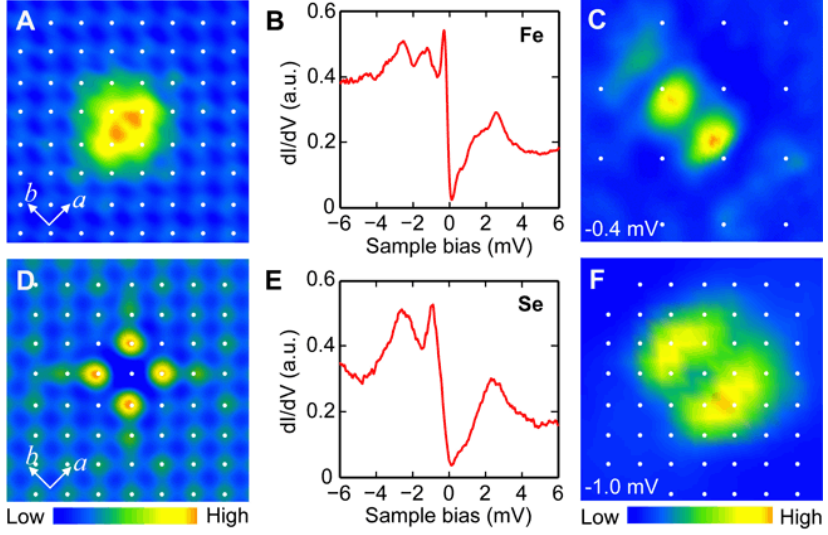


图3. FeSe超导体表面单个Fe原子(A)和Se缺陷(D)上的杂质态(B和E)以及杂质态的空间分布图像(C和F)。杂质态在空间的分布同样具有两重对称性。

打印本页

关闭本页