

用晶体中带状褶皱的取向调控超导态

铁基超导体中超导电性的起源在经过十几年的研究后仍然没有定论。多轨道自由度和其它纠缠电子序阻碍了研究人员对铁基超导体配对机理的理解。作为一种微扰手段，外加压力可以破除超导基态的简并，并且能够提供非常规超导电性如何与其它序参量相互作用的信息。例如，一种面内电阻各向异性和自旋激发在施加单轴压的电子掺杂 BaFe_2As_2 中被观测到；对 FeSe 施加静水压，一种磁有序结构能够演生出来，和高温超导电性共存，同时增强的自旋涨落也被证实。

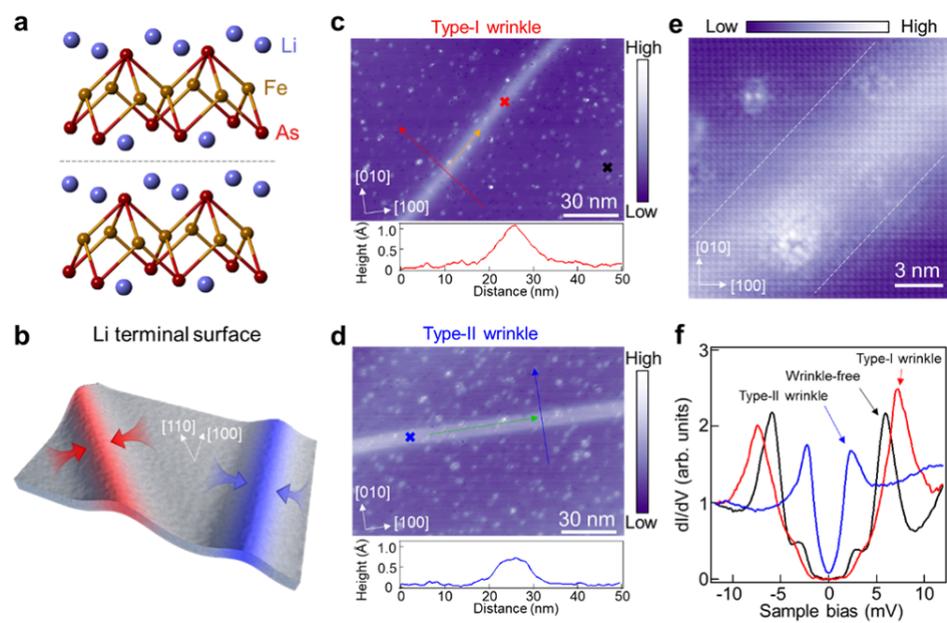
铁基超导体 LiFeAs 的相图简单，不被其它电子序如磁有序或向列序所干扰。因此 LiFeAs 是研究超导电性随压力演化的理想平台。在静水压下，输运实验揭示了 LiFeAs 超导转变温度 T_c 随着压力增大而线性减小，并且未观测到磁有序或向列序的出现。然而，当施加单轴压在 Fe-Fe 方向时，稳定的近晶相出现且抑制超导电性。相比于静水压，方向依赖的应力在 LiFeAs 中能触发不同的影响。由于 LiFeAs 布里渊区中存在多费米面结构以及该材料体系中的电子关联特性， LiFeAs 中超导序参量被方向依赖的应力影响错综复杂。

近期，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心高鸿钧、丁洪带领的研究团队，利用极低温扫描隧道显微镜系统，研究了 LiFeAs 表面两类带状褶皱结构及其方向依赖对超导电性的影响。他们首先在 LiFeAs 表面观测到两类带状褶皱结构，第一类沿着 $[110]$ 方向（即 Fe-Fe 方向），第二类沿着 $[100]$ 方向（即 Fe-As 方向）。 dI/dV 单谱显示，与无褶皱区域的超导能隙相比，第一类褶皱能增大超导能隙而第二类褶皱抑制超导能隙（图一）。 dI/dV 线谱显示，增大或减小超导能隙的效应从褶皱的一个边缘持续到另一个边缘，且沿着褶皱方向保持空间均匀性（图二）。变温的 dI/dV 谱表明第一类褶皱增大超导转变温度 T_c 而第二类褶皱处 T_c 几乎不变（图三）。相比于无褶皱处磁通涡旋的 C_4 对称性，褶皱处涡旋表现出 C_2 对称性，说明褶皱处局域单轴应力的存在。而对不同取向的带状褶皱进行统计显示，在一个特定的方向，褶皱上超导能隙大小存在一个跳变（图四），对应着从第一类褶皱到第二类褶皱的转变。

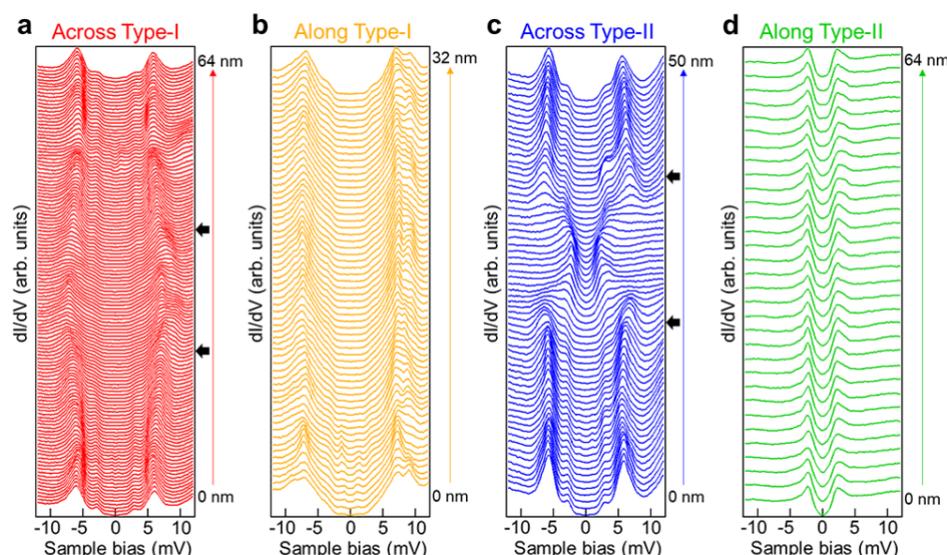
结合其它的实验证据，他们发现褶皱的局域单轴应力能改变能带结构，且不同类褶皱改变的方式不同：第一类褶皱使 d_{xz} 能带移动到费米面之上，增加了态密度进而增强超导电性；第二类褶皱使 d_{yz} 和 d_{xz} 都移动到费米面之下，只留下 d_{xy} 穿过费米面，故只能观测到 d_{xy} 的小能隙（图四）。能带的移动导致可能的Lifshitz转变，进而影响超导电性。该工作首次在 LiFeAs 体系中报导了超导增强的现象，说明不同方向的局域单轴应力对 LiFeAs 的非传统超导电性有强烈影响。

在该项工作的研究中，高鸿钧研究组与丁洪研究组等进行了密切合作。曹路（博士生，高鸿钧组）、刘文尧（博士生，丁洪组）和李更（副研究员，高鸿钧组）为论文共同第一作者。高鸿钧、丁洪和李更为共同通讯作者。物理所靳常青、望贤成和代光阳提供了 LiFeAs 单晶。物理所蒋坤特聘研究员和胡江平研究员进行了理论计算。该工作得到科技部（2019YFA0308500，2018YFA0305700，2016YFA0401000）、国家自然科学基金（11888101，52072401，61888102，51991340，11820101003，11921004，11674371）和中国科学院（XDB28000000，XDB07000000）的支持。相关成果以“Two distinct superconducting states controlled by orientations of local wrinkles in LiFeAs ”为题于2021年11月2日发表在Nature Communications上。

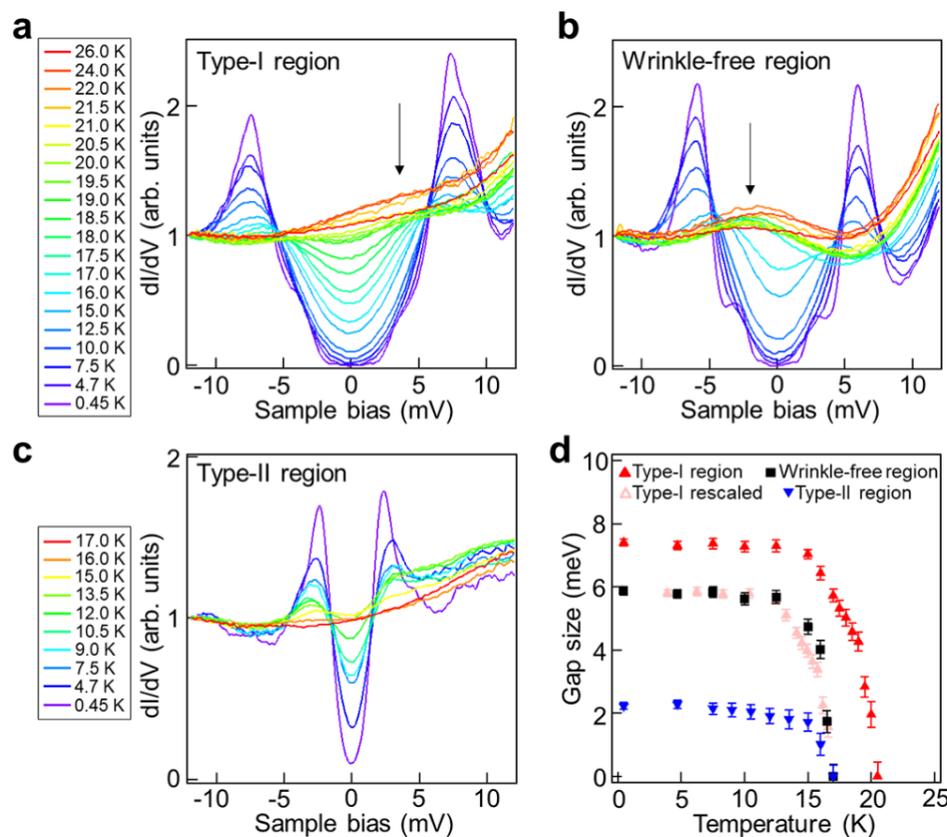
文章链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-021-26708-8>



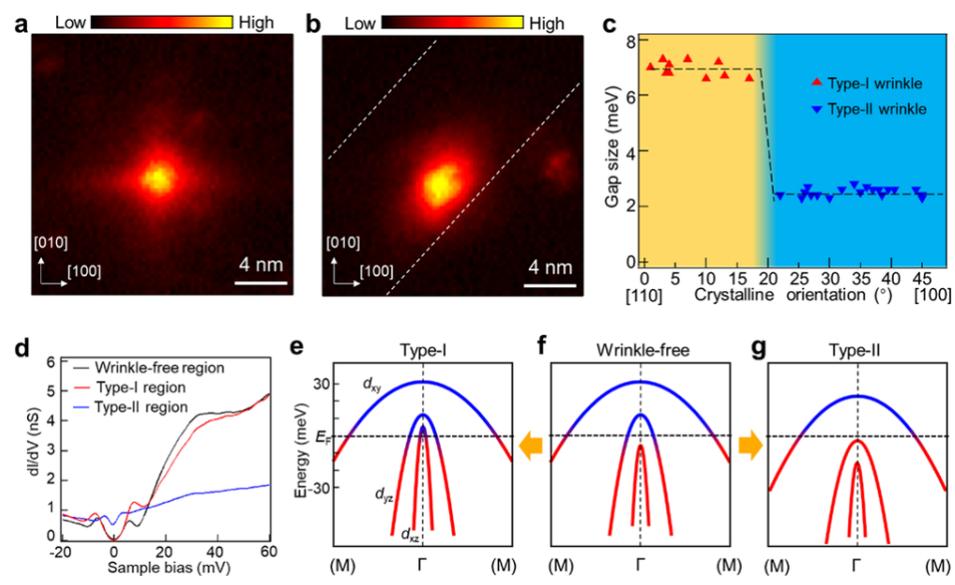
图一：LiFeAs表面应力诱导的褶皱。



图二：第一类和第二类褶皱上的超导能隙。



图三：褶皱上超导能隙的温度依赖。



图四：单轴应力诱导的能带移动。

[Nature Commun. 12, 6312 \(2021\).pdf](#)