物理所铁基超导体统一相图研究取得进展

自2008年被发现以来，已有至少20种不同结构铁砷化物或铁硒化物被证实存在超导电性，它们统称为铁基超导体。由于铁基超导体同样可以突破BCS强耦合理论预言的40K的麦克米兰极限，它和铜氧化物超导体一起被列入高温超导家族，其超导微观机理问题至今仍是凝聚态物理前沿领域皇冠上的明珠。

经过多年研究，人们普遍认为，铜氧化物高温超导电性均可视作对反铁磁莫特绝缘体的母体进行掺杂而获得，从而存在一个统一描述的相图。对铁基超导体而言，其所谓“母体”具有反铁磁性，却表现出金属导电性(具有一定浓度的载流子)，通过对母体掺杂电子、空穴甚至同价掺杂都可以诱导出超导电性。更令人难以理解的是，相当一部分未掺杂的铁基超导“母体”本身甚至具有超导电性，进一步掺杂反而可能抑制超导。不同体系的铁基超导体，具有千奇百怪的电子态相图，单纯用掺杂浓度作为变量，已不足以准确描述其物理行为。因此，寻找描述铁基超导体物理性质的统一变量，以及严格物理意义上的母体，成为铁基超导机理研究重点之一。

近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)SC8研究组通过测量单轴压力下的电阻行为，对大量铁基样品母体和掺杂样品的向列相涨落性质进行了详细研究，发现反铁磁有序磁矩反比于向列居里常数。这暗示铁基超导体的磁基态可以通过调节向列涨落的强度获得。由此可以建立一个统一的铁基超导体相图，其中超导诞生于某一假设理想母体，该母体具有很大的有序磁矩及较弱的向列涨落。

仔细观察不同体系铁基超导体掺杂相图，可以发现其中反铁磁有序、超导电性和电子向列相三者是最显著的特征 (图1)。电子向列相指的是，系统中呈现出打破晶格固有的旋转对称性的电子态，在铁基超导体中表现为晶体ab面内二重对称的电子态性质。寻找反铁磁、超导和向列相三者之间的具体关系，是理解铁基超导微观机理的关键。尽管在某些铁基超导体中并不存在反铁磁序，但电子向列相或向列涨落总是存在的。研究组基于独立设计搭建的一套基于压电陶瓷片的单轴压力电测量装置，实现了对电子向列型涨落进行非常精密的测量，并首次揭示了向列型量子临界点与铁基超导电性的密切联系。通过更广泛地测量1111、122、 11、111、112等多个铁基超导体的系列样品，他们发现对存在二级结构相变的样品，或最佳掺杂的样品，其向列相磁化率温度依赖行为皆可用居里-外斯定律来描述 (图2)。由此，可以定义一个居里常数An，用于描述向列相涨落强度。该居里常数绝对值的倒数|An|-1，和铁基超导体的静态有效磁矩M，成一个非常简单的线性标度关系，即：向列涨落越强，其反铁磁性就越弱。这是实验上首次将反铁磁有序磁矩大小与另一物理量相联系。当反铁磁和向列相消失时，会形成一个量子临界点，正好对应最佳掺杂超导电性 (图3)。由此，可以从物理上定义一个严格意义的铁基超导母体(HPC)，它具有很大的有序磁矩及极弱的向列涨落。通过增强向列涨落，可以抑制其反铁磁性并最终获得高温超导电性 (图4)。该统一电子态相图的建立，为理解不同铁基超导体系中复杂的掺杂物理行为开启了崭新的视角，对铁基超导微观机理研究具有重要启示。需要指出的是，这一相图可能仍无法解释一些特殊的铁基超导体材料，如LiFeAs、“1111”体系中第二个超导区域、加压下FeSe相图，以及不超导的Cu、Cr、Mn掺杂体系等。这一工作发表在Physical Review Letters上。

该系列研究工作得到了中科院战略性先导科技专项(B类)、中科院青促会、国家重点基础研究发展计划（973计划）、国家重点研发计划、国家自然科学基金、国家青年千人计划等的支持。

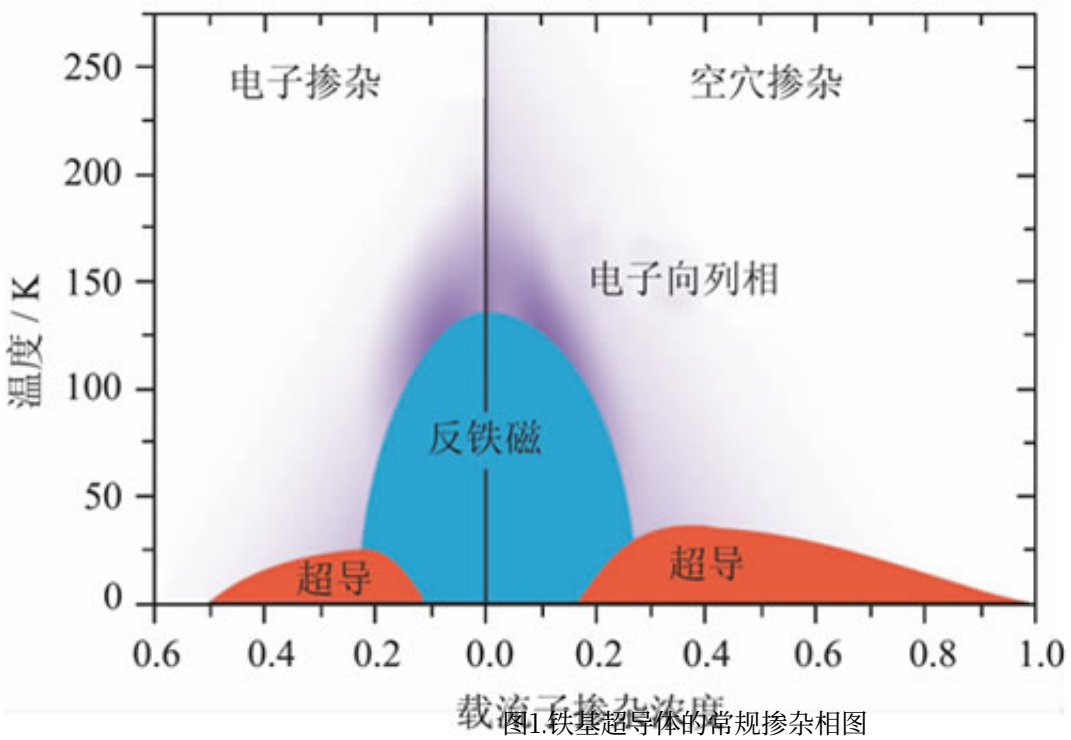

图1.铁基超导体的常规掺杂相图

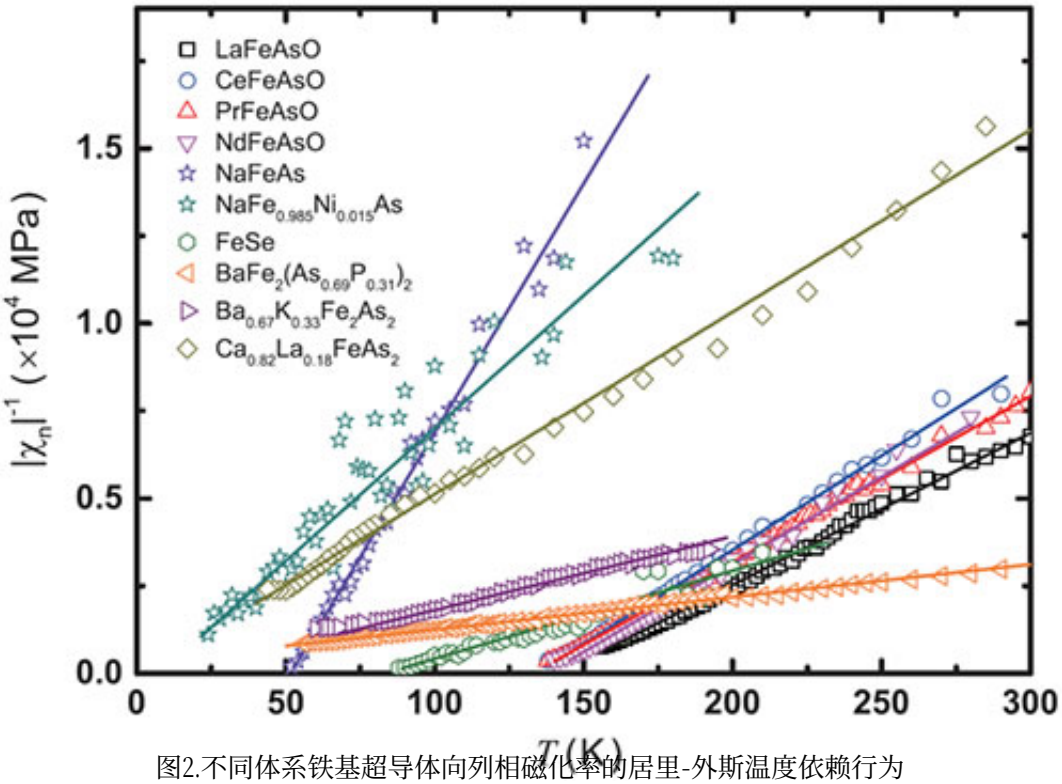

图2.不同体系铁基超导体向列相磁化率的居里-外斯温度依赖行为

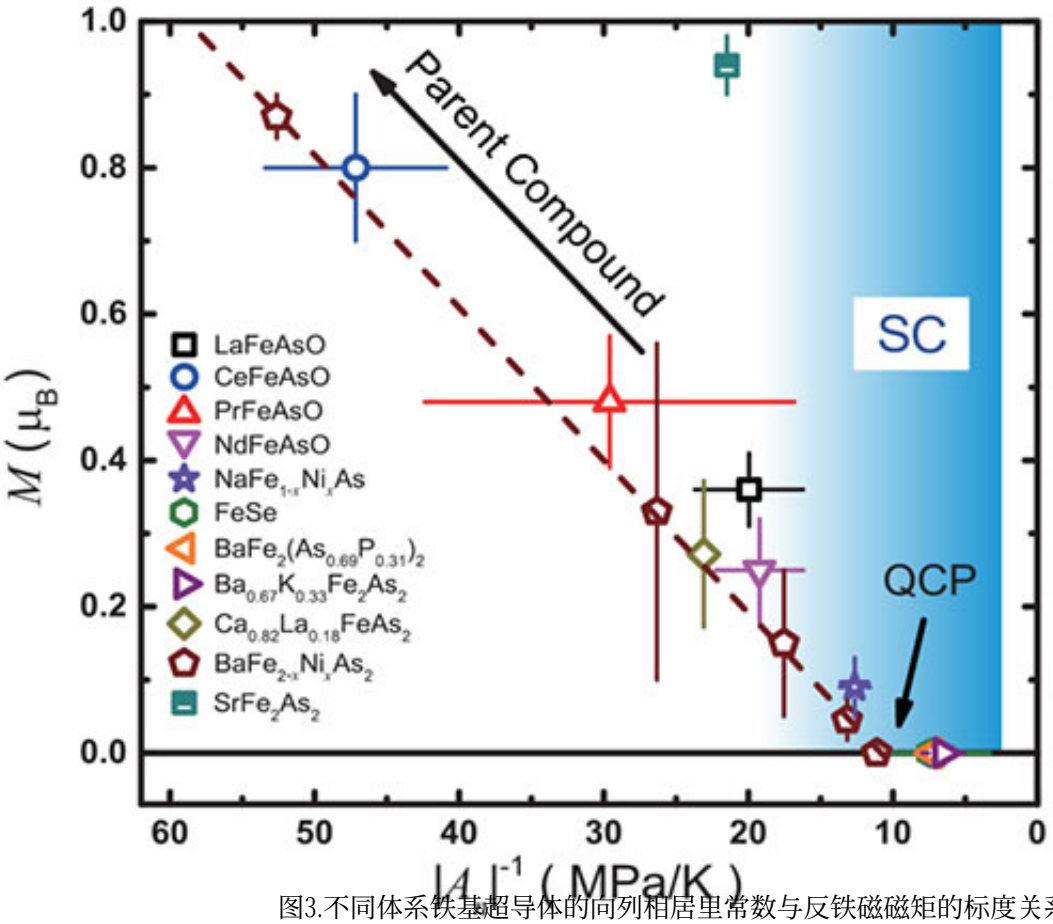

图3.不同体系铁基超导体的向列相居里常数与反铁磁磁矩的标度关系

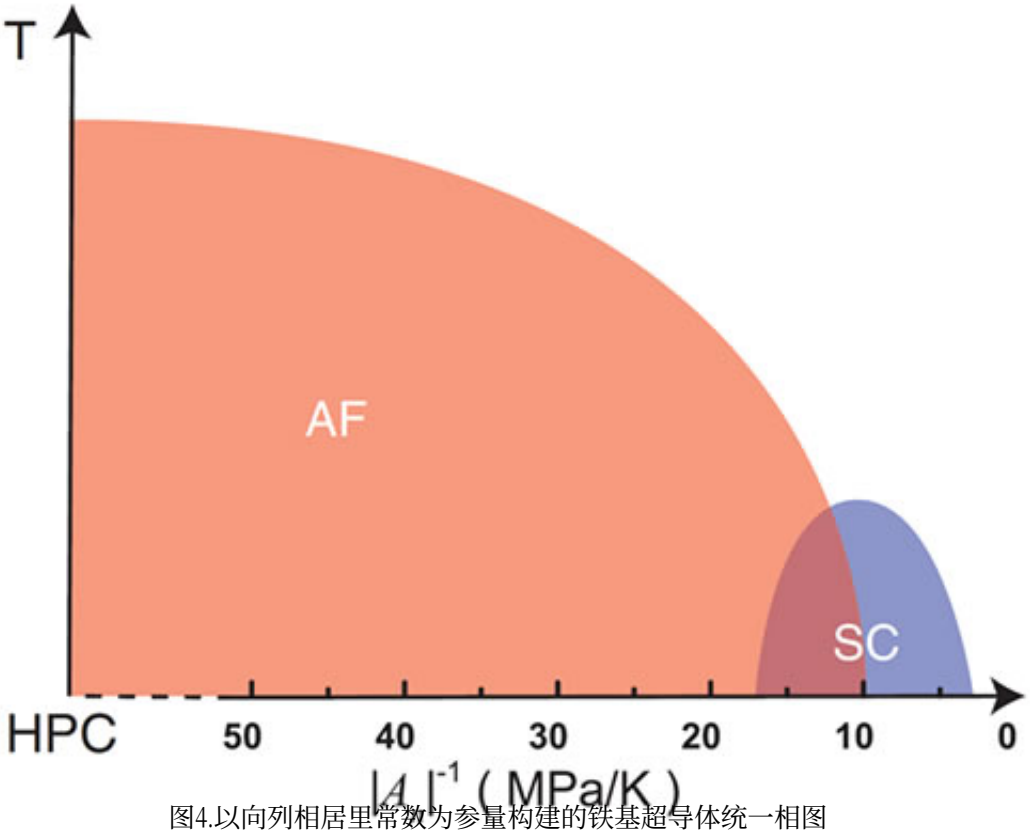

图4.以向列相居里常数为参量构建的铁基超导体统一相图

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/117209.html