

镍基超导体研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19827.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！

在迄今发现的所有

超导体中，铜氧化物高温超导体保持

常压下超导临界温度 (T_c)

的最高纪录，其非常规的超导微观机理仍是凝聚态物理领域最具挑战性的科学问题之一。作为元素周期表中Cu的最近邻元素Ni，早在20世纪90年代初便有理论指出，无限层结构的镍氧化物因与铜氧化物高温超导体具有相似的晶体结构和电子构型，被认为是潜在的高温超导体。然而，30多年来实验方面的进展迟缓，在无限层镍氧化物的多晶、单晶以及薄膜样品中均未发现超导。2019年，美国斯坦福大学Harold Hwang研究小组采用软化学局部规整还原反应 (topotactic reduction)，将外延生长的钙钛矿 $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_3$

薄膜前驱体还原为无限层结构的 $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_2$ 薄膜，并在其中首次观察到 $T_c = 9\text{--}15$

K的超导电性，掀起了镍基超导体研究的热潮【Nature 572, 624 (2019)】。这是近年来超导研究领域的重要进展，吸引了大量的后续理论和实验研究，最新进展可参阅综述文章【《中国科学：物理学力学天文学》51, 047405 (2021)；The Innovation 3, 100202 (2022)】。然而，由于无限层镍基超导薄膜的制备条件苛刻，在较长一段时间内国际上仅有少数几个研究小组可以制备出具有超导转变的薄膜样品，这成为镍基超导研究中面临的主要困难之一。尽管后续研究报道了其他碱土金属掺杂的稀土镍基超导体如 $\text{La}_{1-x}(\text{Ca/Sr})_x\text{NiO}_2$ 、 $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_2$ ，但最高 T_c

均没有超过15K，远低于铜氧化物高温超导体的 T_c 。

。如何进一步提高镍基超导体的 T_c 以及其与铜氧化物高温超导体的异同一直是领域内焦点。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心开展了镍基超导体的实验研究：光物理重点实验室

实验室L03组

研究员金奎娟团队攻

克多项样品制备的技术难题，生长出高质

量的无限层 $\text{Pr}_{0.82}\text{Sr}_{0.18}\text{NiO}_2$ (PSNO) 超导薄膜，其超导起始温度 (T_c^{onset}) 可达17-20 K (图1)，

这为深入开展镍基超导体的实验研究奠定了基础。此外，超导国家重点实验室SC07组特聘研究员朱志海、研究员周兴江团队制备出 $\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{NiO}_2$ 超导薄膜【Chinese Physics Letters 38, 077401 (2021)】。近日，极端条件物理重点实验室EX6组博士研究生王宁宁、陈科宇以及副研究员孙建平和研究员程金光，采用六面砧大腔体高压低温物性测量装置，在12.1 GPa高静水压、1.5 K最低温和8.5 T磁场的综合极端环境下，对高质量的PSNO薄膜开展了详细的高压磁电输运性质测量，发现其超导转变温度随压力增加而单调升高且没有出现饱和迹象，12.1

GPa时 T_c^{onset} 升高至约31 K，这表明镍基超导体的 T_c 可进一步提高。

由于软化学局部规整还原反应制备的无限层镍基超导薄膜非常脆弱，必须在非常好的静水压环境

下才能获得其超导转变的压力效应。因此，能提供良好静水压环境的六面砧装置对于获得PSNO超导薄膜较大范围内的压力效应发挥了关键作用。图2展示了采用两种不同液体传压介质测试的两个PSNO薄膜样品的高压电阻率数据。从图中可以看出，超导转变温度随压力增加而单调升高，在12.1 GPa时其 T_c^{onset} 可达到31 K。图3显示了根据多个样品高压下的测量结果而确定的温度-压力相图，从图中可以确定 T_c^{onset} 的压力系数为 $dT_c^{\text{onset}}/dP \approx 1$ K/GPa，且在研究的压力范围内没有饱和迹象，这意味 T_c 在更高压力下可进一步升高。为了揭示PSNO薄膜超导电性正压力效应的起源，研究测试了不同压力和磁场下的电阻率曲线，并通过金兹堡-朗道公式和Werthamer-Helfand-Hohenberg (WHH) 公式分析了上临界场随压力的变化关系（图4）。研究表明，高压下电子有效质量 m^* 单调减小，这意味着电子关联随加压而减弱；而根据近期对无限层镍基超导薄膜的理论研究成果，其 T_c 与电子关联具有反相关性，这与本研究的实验结果吻合。此外，研究总结了已报道的无限层镍基超导薄膜最佳掺杂所对应的 T_c 与c轴长度的关系【图4(c)】，可以看出 T_c 随c轴减小而逐渐升高，这样高压下c轴的持续减小也可以解释 T_c 随压力单调升高的规律。上述成果对进一步提高镍基超导体的 T_c 以及构建理论模型和理解其超导机理提供了重要参考。

相关研究成果发表在《自然-通讯》(Nature Communications)

上。研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、北京市自然科学基金、中科院战略性先导科技专项(B类)等的支持。日本东京大学的科研人员参与研究。

[论文链接](#)

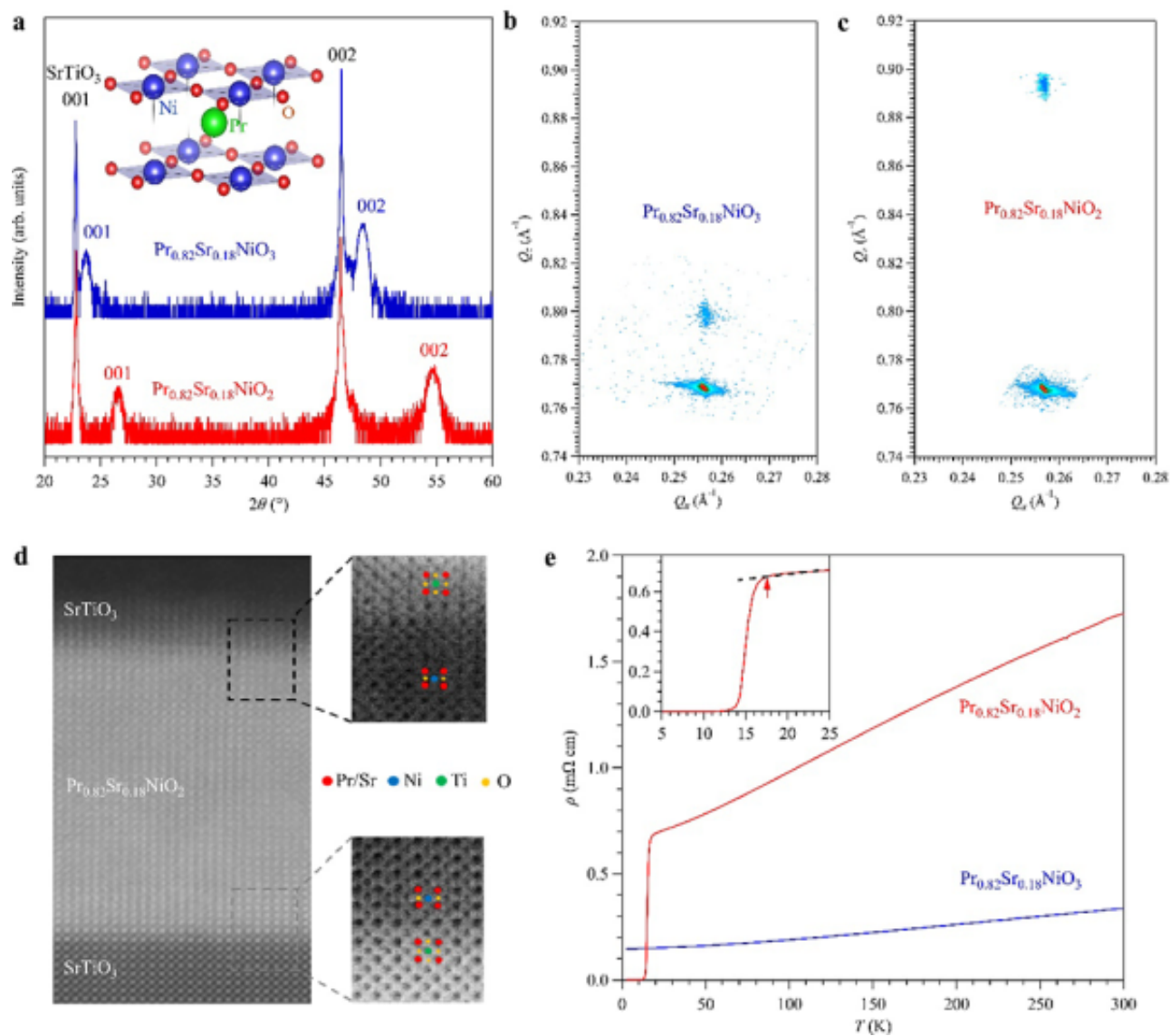


图1.无限层 $\text{Pr}_{0.82}\text{Sr}_{0.18}\text{NiO}_2$ 薄膜超导体XRD、TEM以及电阻率数据

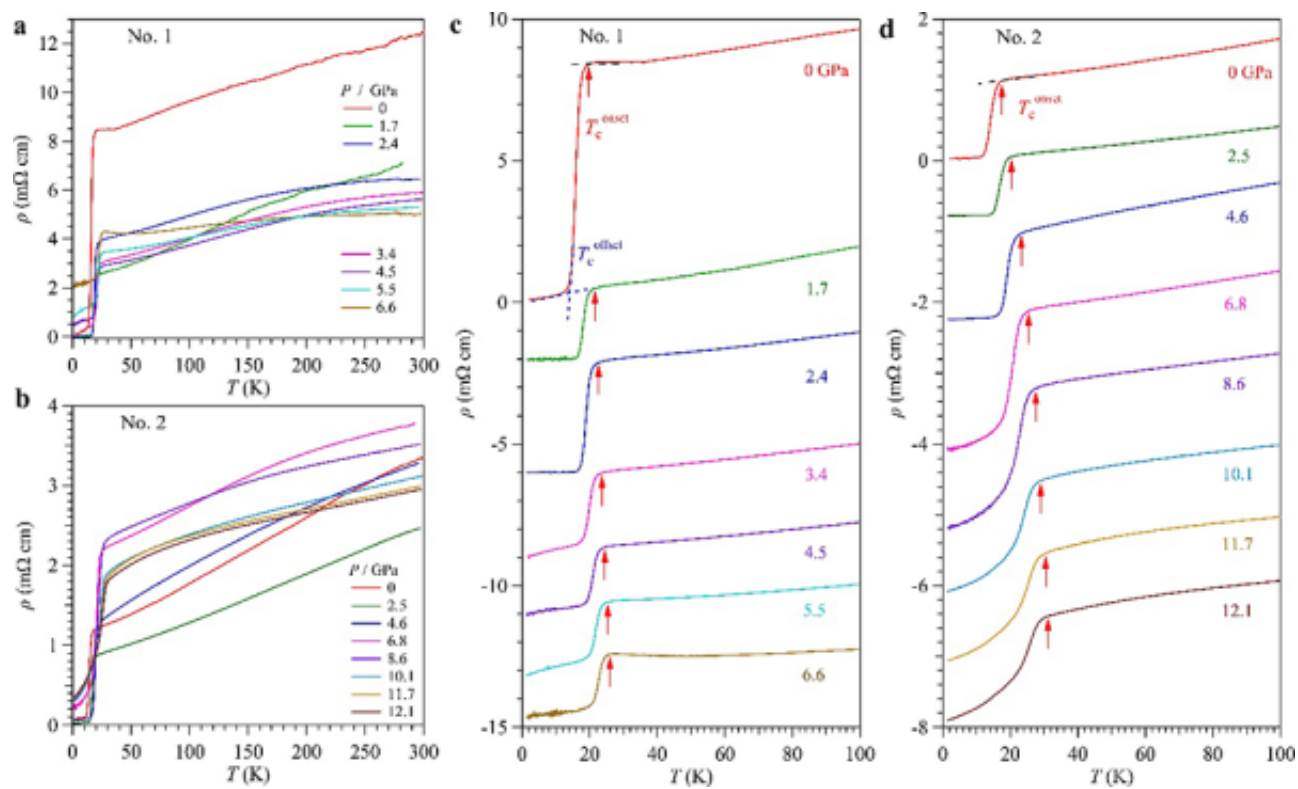


图2.无限层 $\text{Pr}_{0.82}\text{Sr}_{0.18}\text{NiO}_2$ 超导薄膜高压下的电阻率

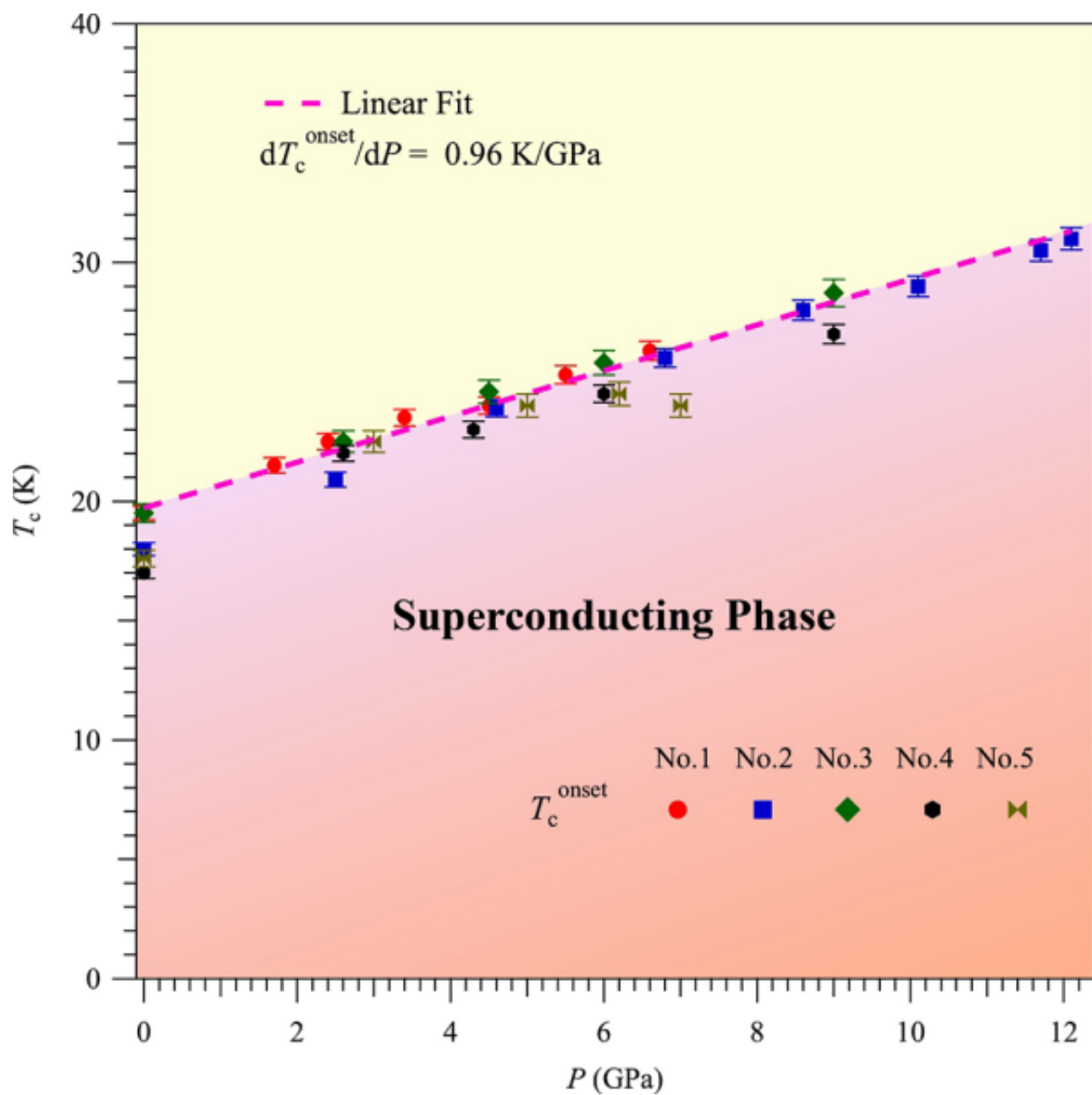


图3.无限层 $\text{Pr}_{0.82}\text{Sr}_{0.18}\text{NiO}_2$ 超导薄膜的温度-压力相图

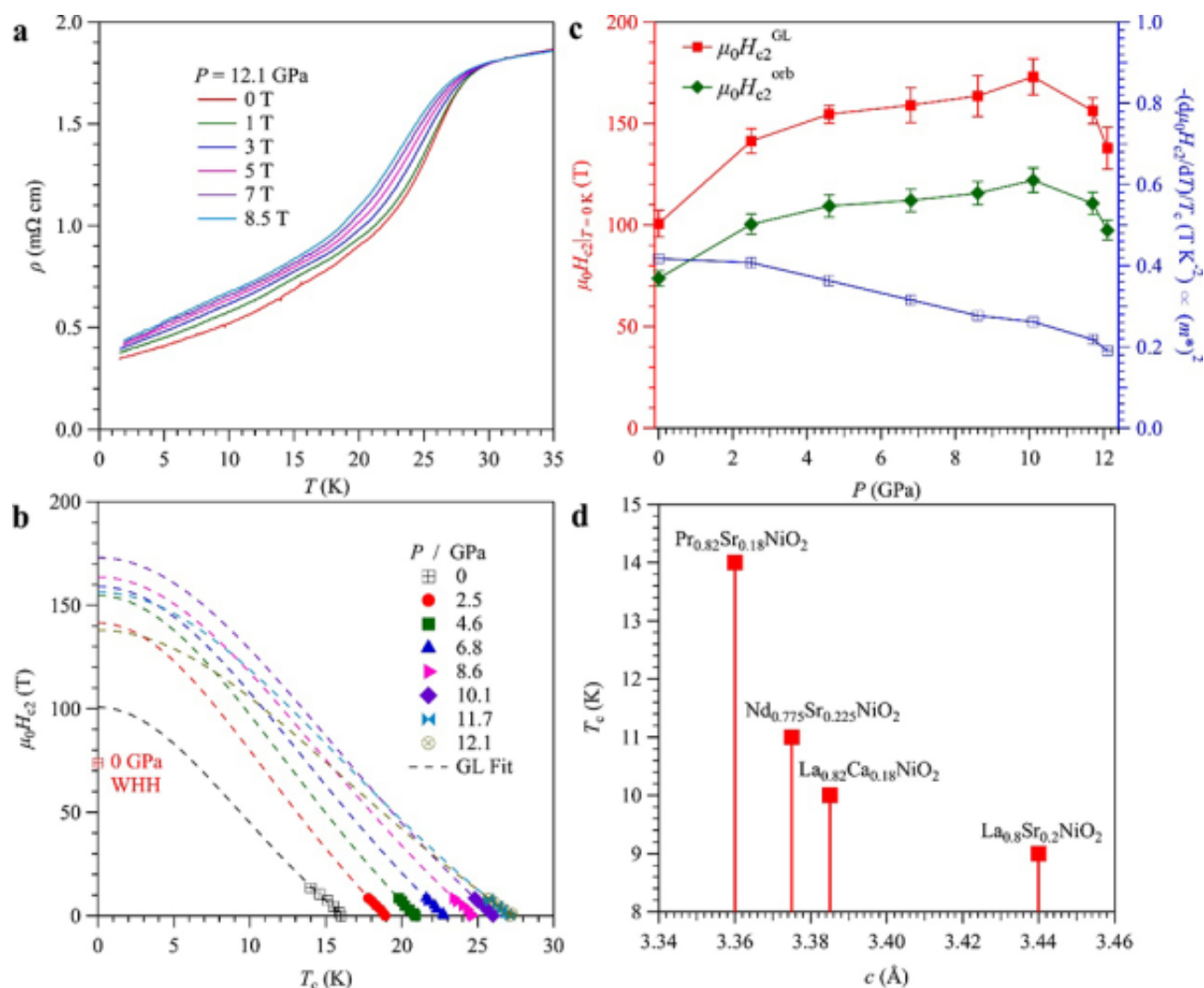


图4.无限层 $\text{Pr}_{0.82}\text{Sr}_{0.18}\text{NiO}_2$ 超导薄膜的上临界场以及不同镍基超导薄膜 c 轴间距与超导 T_c 的关系

研究团队单位：物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发