高压室温超导电性的新进展

罗会仟*

中国科学院物理研究所, 北京 100190

*联系人, E-mail: hqluo@iphy.ac.cn

收稿日期: 2020-11-16; 接受日期: 2020-11-30; 网络出版日期: 2021-07-07

国家重点研发计划(编号: 2018YFA0704200, 2017YFA0303100)、国家自然科学基金(编号: 11822411, 11961160699)和中国科学院青年创新促进会(编号: 2016004)资助项目

摘要 探索高临界温度乃至室温超导体, 一直以来都是凝聚态物理研究的梦想之一. 尽管理论早就预言, 金属氢或富氢化物在高压下可以实现室温超导, 然而实验却面临巨大的挑战. 最近, 研究人员报道在267 GPa的超高压下, C-S-H体系发现了287.7 K的超导电性, 超越了此前LaH₁₀体系中260 K的临界温度记录. 该记录更加逼近室温, 并为超导材料探索开辟了一条新思路.

关键词 超导, 氢化物, 高压, 室温

PACS: 74.10.+v, 74.25.Fy, 74.62.Fj, 74.70.Dd

超导材料具有零电阻和完全抗磁性, 其内部电子集体凝聚成了宏观量子态, 在传统电磁学领域和现代量子器件方面都有巨大的应用价值. 自1911年发现第一个超导体以来, 人们探索超导材料的脚步就从未停止过. 诸如金属合金、轻元素化合物、重费米子、有机化合物、铜氧化物、铁砷化物、铁硒化物等各类超导体体系不断被发现, 超导临界温度(T_c)的记录也一再被刷新. 目前, 常压下临界温度最高的材料是Hg-1223体系铜氧化物, $T_c=133$ K (图1)^[1].

如何获得更高临界温度的超导体? 高压是一种非常有效的途径. 高压下, 原材料之间互相接触紧密, 化学反应速度要远远大于常压情况, 能提高材料合成效率, 有希望制备常压下不稳定的新材料^[2]. 通过对材料施加高压, 不仅能够改变材料内部原子间距, 而且可以

促使其发生结构相变, 从而获得常压下难以得到的特殊电子结构和物态^[3]. 对于部分超导材料, 高压往往有助于提升其 T_c . 如Ca单质在216 GPa下 $T_c = 29$ K, Hg-1223体系的临界温度在高压下进一步提高到164 K. 理论上预言, 高压下的金属氢就是一种超导体, 临界温度可逼近室温(一般默认为 $T=300$ K). 然而因为高压下的材料合成和实验测量存在巨大的挑战, 特别是利用金刚石对顶砧实现的超高压技术非常困难, 金属氢的高压超导一直未能实现^[1]. 2016年, 英国爱丁堡大学Dalladay-Simpson等人^[4]在325 GPa获得了氢的一种“新固态”, 认为可能是金属氢. 2017年, 美国哈佛大学的Dias和Silvera研究组^[4]宣布在495 GPa下实现了金属氢, 却在测量室温超导电性时, 因操作失误打碎金刚石, 实验结果并未得以重复. 2014年12月, 德国马克斯普朗

引用格式: 罗会仟. 高压室温超导电性的新进展. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 117431

Luo H-Q. Room-temperature superconductivity may be achieved (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 117431, doi: [10.1360/SSPMA-2020-0466](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0466)

最近, 美国罗切斯特大学的Dias研究组^[7]在*Nature*发表了C-S-H体系高压超导电性的结果. 他们将微米级的C和S颗粒及氢气装入金刚石对顶砧并加压到4 GPa, 用一束激光将其加热充分反应. 继续加压到37 GPa以上, 拉曼光谱表明生成了新的物相. 在138 GPa压力下观察到了147 K的超导电性, 并在

117431-2

不过, 高压下材料的结构和物性测量极为困难, 含氢化物的高压超导电性需要多个研究组得以重复才能被最终确认^[9]. C-S-H体系中报道的电阻数据无论在零磁场和强磁场下均有比较陡峭的转变宽度, 这并不排除是其他类似超导现象, 特别是由此推算出的一些物理参量似乎并不完全符合超导的特征^[10]. 此外, 高压下的高临界温度超导材料也难以具有实用价值, 对高

压室温超导需要保持谨慎乐观态度. 近年来, 从二元到多元富氢化物的高压研究, 突破了单质金属氢的禁锢思路, 意味着更高 T_c 的超导材料将有可能被发现. 如果未来能从富氢化物中找到一种远高于室温的超导体, 它能够在较低的压力甚至常压下仍保持近室温超导电性且稳定存在, 那必将是超导机理和应用研究的重大突破.

参考文献

- 1 Luo H Q, Zhou X J. Miraculous superconductivity (in Chinese), *Modern Phys*, 2012, 24: 30 [罗会仟, 周兴江. 神奇的超导. 现代物理知识, 2012, 24: 30]; Luo H Q. Ages of superconductivity chapter 36: High pressure boost superconductivity (in Chinese), *Physics*, 2018, 47: 676 [罗会仟. 超导“小时代”之三十六: 压力山大更超导. 物理, 2018, 47: 676]
- 2 Li W M, Cao L P, Zhao J F, et al. Superconductivity of a cuprate with compressed local octahedron. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2019, 62: 037421
- 3 You W, Li L, Yang H Y, et al. Superconductivity, electronic phase diagram, and pressure effect in $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FBiS}_2$. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2019, 62: 957411
- 4 Dalladay-Simpson P, Howie R T, Gregoryanz E. Evidence for a new phase of dense hydrogen above 325 gigapascals. *Nature*, 2016, 529: 63–67; Dias R P, Silvera I F. Observation of the Wigner-Huntington transition to metallic hydrogen. *Science*, 2017, 355: 715–718, arXiv: 1610.01634
- 5 Drozdov A P, Eremets M I, Troyan I A, et al. Conventional superconductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system. *Nature*, 2015, 525: 73–76, arXiv: 1506.08190
- 6 Drozdov A P, Kong P P, Minkov V S, et al. Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures. *Nature*, 2019, 569: 528–531, arXiv: 1812.01561; Somayazulu M, Ahart M, Mishra A K, et al. Evidence for superconductivity above 260 K in lanthanum superhydride at megabar pressures. *Phys Rev Lett*, 2019, 122: 027001, arXiv: 1808.07695
- 7 Snider E, Dasenbrock-Gammon N, McBride R, et al. Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride. *Nature*, 2020, 586: 373–377
- 8 Li Y, Hao J, Liu H, et al. The metallization and superconductivity of dense hydrogen sulfide. *J Chem Phys*, 2014, 140: 174712, arXiv: 1402.2721; Ge Y F, Zhang F, Dias R P, et al. Room-temperature superconductivity in $\text{H}_3\text{S}_{1-x}\text{Z}_x$ ($\text{Z}=\text{C}, \text{Si}$), arXiv: 2011.12891
- 9 Hong F, Yang L, Shan P, et al. Superconductivity of lanthanum superhydride investigated using the standard four-probe configuration under high pressures. *Chin Phys Lett*, 2020, 37: 107401
- 10 Hirsch J E, Marsiglio F. Absence of high temperature superconductivity in hydrides under pressure, arXiv: 2010.10307

Room-temperature superconductivity may be achieved

LUO Hui-Qian^{*}

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Exploring high critical temperature even room temperature superconductor is a long-standing pursued dream in condensed matter physics research. Theoretically, room temperature superconductivity may exist in metallic hydrogen or superhydride under extreme high pressure, but the realization requires tremendous challenge in experiments. Recently, scientists claim they find 287.7 K superconductivity in C-S-H system under 267 GPa pressure, which breaks the record of 260 K in LaH₁₀ and further approaches room temperature. This study opens a new route to explore superconducting materials near room temperature.

superconductivity, superhydride, high pressure, room temperature

PACS: 74.10.+v, 74.25.Fy, 74.62.Fj, 74.70.Dd

doi: [10.1360/SSPMA-2020-0466](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0466)