超导二极管效应研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/20743.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！

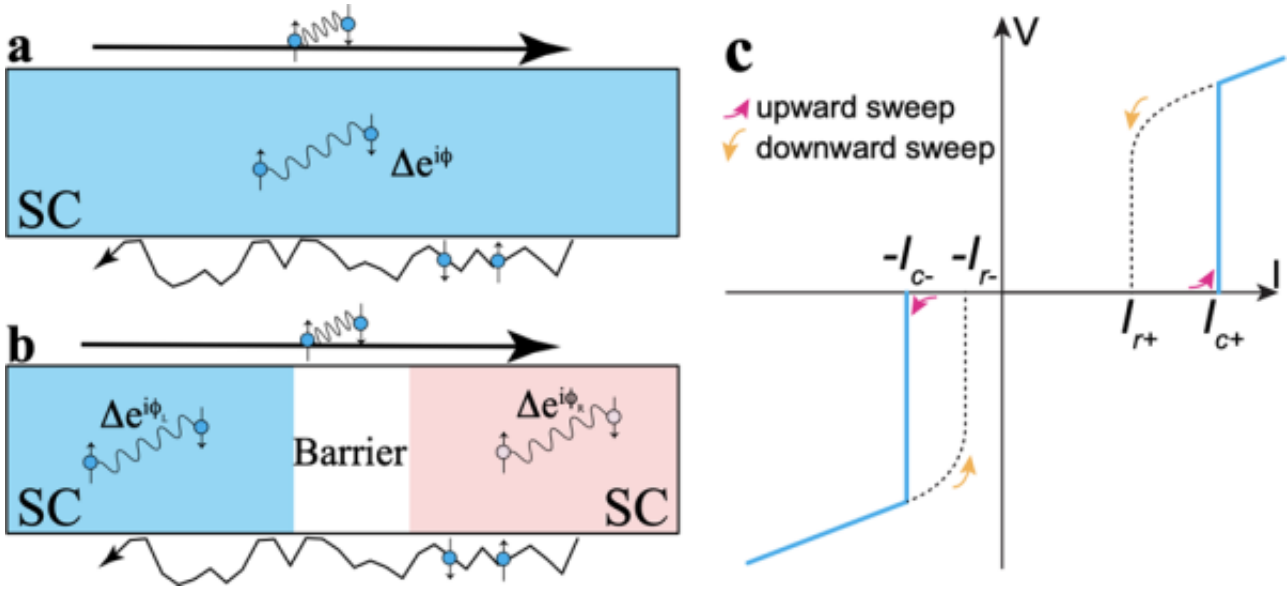
超导二极管效应研究获进展
。作为现代电子工业的基石，半导体电子器件的基元是实现半导体二极管效应的P-N结。半导体P-N结的特性之一是单向导电性。在正向偏置时，P-N结处于导通状态，允许电流通过；在反向偏置时，P-N结处于截止状态，电流无法通过。半导体电子器件利用这样的特性实现逻辑运算。与半导体材料类似，具有宏观量子现象的超导体在量子电子学占有重要地位，如超导量子干涉仪等。那么，能否在超导电流中实现二极管效应？由于超导电流的零电阻特性，答案似乎是否定的。

2007年，类比半导体P-N结，中国科学院物理研究所研究员胡江平与香港科技大学教授戴希等，在理论上提出利用电子、空穴掺杂超导体构造的约瑟夫森结来实现超导二极管效应，也称约瑟夫森二极管。然而，实验上实现超导二极管极具挑战。2020年，日本京都大学Teruo Ono研究组在Nb/V/Ta超晶格超导体中通过外加磁场实现超导二极管现象；2022年，荷兰代尔夫特理工大学Mazhar
Ali研究组在$NbSe_2/Nb_3Br_8/NbSe_2$
约瑟夫森结实现无外场的约瑟夫森二极管效应。这些实验结果引起关注，成为超导电子学的热点。具体而言，如图1a所示，超导二极管效应的基本特征：当电流向右传导时表现出无耗散的超导电流；当电流向左传导时表现出耗散的普通电流。约瑟夫森二极管效应也表现出同样的非倒易传导
，如
图1b所示
。超导二极管的电
流-
电压特征曲线如图1c所示，系统存在一个
正向临界电流I_{c+}。当正向电流$I<I_{c+}$
，系统表现出典型的零电阻现象；当电流$I>I_{c+}$
时，系统
表现出$V\neq0$耗散的
正常电阻。同样，在反向电流中，存
在另外一个临界电流$-I_{c-}$。$I_{c+}\neq I_{c-}$
是二极管的特性现象。如果施加一个幅度I_0电流方波（$Ic-<I_0<I_{c+}$
），系统则表
现出向右超导，向左电阻的
二极管效应。对于约瑟夫森结而言，除了I_c

二
极管
效应外，
由于存在势垒层和
在扫描过程中的电荷积累，约瑟夫森
结还存在一个回归电流I_r。$I_{r+} \neq I_{r-}$是约瑟夫森结的另一个二极管特征。

近日，中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心T06组研究员胡江平、特聘研究员蒋坤带领的团队，进一步拓展约瑟夫森二极管及超导二极管效应的理论研究，对超导二极管和约瑟夫森二极管现象进行对称性分析和分类。第一类在空间反演对称性破缺下发生。需要依赖电压的历史和电荷积累的$I_{r+} \neq I_{r-}$
现象是空间反演对称性破缺的典型要求，例如，约瑟夫森结结构的不对称、Rashba自旋轨道耦合效应等。第二类需要破坏时间反演对称性。由于$I_{c+} \neq I_{c-}$
现象发生在电压等于0的情况，系统需要在电流等于0时破坏时间反演对称性，如内禀磁性或者外加磁场。因此，约瑟夫森结二极管可分成时间反演破缺型和空间反演破缺型。对于这两类二极管，科研人员提出多种实现方
案并进行理论计算。该理论工作对$NbSe_2/Nb_3Br_8/NbSe_2$约瑟夫森二极管给出了理论解释。

相关研究成果发表在Physical Review X 12, 041013 (2022)上。胡江平、蒋坤在*Nature Physics*上撰写了题为*Superconducting diode effects*的News and Views。研究工作得到科技部、国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项及中科院稳定支持基础研究领域青年团队的支持。



a、本征超导体中的二极管效应，其中无耗散的超导电流可以向右传导，有耗散的正常电流向左传导。b、有2块超导体和势垒层（Barrier）构造的约瑟夫森结中的二极管效应。c、超导二极管电流-
电压特征曲线示意图。系统存在两个临界电流I_{c+}、$-I_{c-}$。$I_{c+} \neq I_{c-}$
表现出二极管效应。对于约瑟夫森结，还存在两个$I_{r+} \neq I_{r-}$的二极管效应。

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/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发