

---

# 科学家发现二维体系中的最高电导率

作者：黄辛 龚凡 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/4345.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！*

科学家发现二维体系中的最高电导率。电子在纳米结构中的传输是一个‘千军万马过独木桥’的过程，而我们找出了一条绿色通道。复旦大学物理学系教授修发贤这样介绍他的最新研究成果。

在纳米尺寸的导体中运动着的电子若找不到宽敞的通路，相互撞击，四处碰壁，就会使导体发热，产生能量损耗。寻找超高导电材料是解决此类问题的一把钥匙。

复旦大学物理学系修发贤课题组近日在砷化铟纳米带中观测到其表面态具有超高电导率，这也是目前二维体系中的最高电导率，其低电子散射几率的机制源自外尔半金属特有的电子结构(即费米弧表面态)。

3月19日，相关研究成果以长文(Article)形式在线发表于《自然—材料》(Nature Materials)。

正如实心的管子不能通水，空心的管子允许水流过，如果材料中有大量可以参与导电的自由电子，则称为导体。单位时间内通过单位面积的电子数量，决定了材料导电性的好坏。

铜、金和银是现行应用最广泛的优良导体。其中，铜已经大规模用于晶体管的互连导线。但遗憾的是，当这些材料变得很薄，进入二维尺度时，电子的散射明显增多，其运动方向容易发生大角度偏折，导电性将迅速变差。

信息时代，计算机和智能设备体积越来越小，同时信号传输量爆炸式增长，芯片中上千万细如发丝的晶体管互连导线运送压力随之加大，电流从输入端进入芯片时，相当于千军万马从大草原一下子上了独木桥，如果电子在独木桥上有巨大耗散，芯片运行时就会剧烈发热，影响运行状态。修发贤说，这一定程度上制约着信息领域的进一步发展。

不用排队，也不会拥挤，有没有一种办法让大量电子在这些纳米级互连导线中顺畅高速通行?如果能构建一条‘绿色通道’就好了!

一般来说，增加导电性无非有两种办法，一是把电子变多，二是让电子跑得快些，然而，这两者很难同时实现。但在外尔半金属砷化铟纳米带的表面，不可思议的事情发生了，修发贤课题组基于拓扑表面态(费米弧)的低散射率机制，实现了百倍于金属铜薄膜和千倍于石墨烯的导电性，这是目前二维体系中最好的。

砷化铟其实是物理学家们的老朋友了，近几年作为第一批发现的外尔半金属被广泛研究，但以往成果都止步于肉眼可见的高维度体材料，其低维状态下的物理性质研究迟迟未有涉及。纳米材料

---

的制备是要过的第一道难关。

铌的熔点很高，砷的熔点又特别低，要把这两种材料融在一起非常难。高温加热蒸不出来，半年后，研究人员改变硬碰硬的思路，用氯化铌和氢气的化学反应作为铌的来源，再与砷结合。气体流量有多大？温度有多少？是不是需要催化剂？又经过一年多的反复试验，纳米结构终于长出来了。

宽约几微米，长约几十微米，厚度在纳米级别，在指甲盖大小的氧化硅衬底上，分布着百万个比头发丝还要细的纳米晶体。课题组从0到1制备出了高质量样品，这本身已是一项创举。

《自然-材料》的审稿人对样品质量给出了高度评价：用于制备砷化铌纳米带的方法是有趣的、创新的，这是拓扑材料领域的一项非常及时的工作。他们生长出了一些非常好的样品。

在成功制备砷化铌纳米带之后，修发贤团队还不满足，决意攀登更高的山峰：进一步观察和发现材料特性。研究人员发现，制备出的新材料有着惊人的高导电率，材料本身既具有很高浓度的电子又具备超高的迁移率。

修发贤介绍，砷化铌纳米带的高电导率要归功于其表面与众不同的电子结构—具有拓扑保护的表面态(费米弧)，拓扑保护的表面态的概念可以这样理解，就像是家里用的瓷碗外表面镀了一层金，瓷碗本身不导电，但表面这一层金膜导电。更神奇的是，如果存在拓扑保护，这层金膜被磨掉之后，下面就会自动再出现一层金膜，重新形成导电层。这就是一种由物质本身的电子结构决定的拓扑表面态。

那么如何得知这种表面态导致了高的电导率呢？研究人员运用了测量低温量子震荡的测试方法，证明了来自费米弧表面态的电子贡献了大部分的电导率，与低温霍尔器件的测量方法相比对，可以获取这些电子的浓度和迁移率。修发贤告诉《中国科学报》，砷化铌中的这种费米弧表面态具备低散射率的特性，即使在较高电子浓度的情况下，体系仍然保持低散射几率。这样就能确保大部分电子都沿一个方向运动，让电子传输的效率大大提高。

和常规的量子现象不同，费米弧这一特性即使在室温仍然有效。这一发现为材料科学寻找高性能导体提供了一个可行思路。利用这种特殊的电子结构，可以在提高电子数量的同时，降低电子散射，从而实现优异的导电特性，这在降低电子器件能耗等方面有潜在应用。

据悉，复旦大学物理学系教授修发贤为通讯作者，复旦大学物理学系博士生张成为第一作者，复旦大学物理学系本科生倪卓亮、中科院强磁场科学中心副研究员张警蕾、复旦大学物理学系博士生袁翔为共同第一作者。研究工作由复旦大学、中国科学院强磁场科学中心、南京大学、加州大学戴维斯分校、昆士兰大学、北京工业大学、苏黎世联邦理工学院、爱尔兰三一学院等多家单位合作完成，其中南京大学万贤纲教授和加州大学戴维斯分校Sergey Savrasov教授提供了重要的理论支持。

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](http://iikx.com)转发