实测半导体砷化硼，理论预言“稳了”

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/19346.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！

实测半导体砷化硼，理论预言“稳了”。7月22日，国家纳米科学中心（以下简称纳米中心）研究员刘新风研究团队在《科学》上发表论文，首次在半导体砷化硼中检测到其电子空穴约化迁移率约1550 cm2/Vs, 这一测量结果与理论预测值的1680 cm2/Vs
非常接近，有望为半导体砷化硼在集成电路领域的应用提供重要基础数据指导。



利用瞬态反射显微成像测试砷化硼的载流子迁移率示意图 （研究团队供图）

绝佳材料 一票否决？

手机、电脑等电子产品用久了会发烫，是许多人熟悉的体会。随着芯片集成规模不断增大，散热问题成为一个大困扰。科学家把出现这一现象的原因归结为用来制作芯片的半导体材料硅150W/mK的热导率不够高，热导率越高则散热越快。

为此，材料学家一直期待能够找一种具有更高热导率的材料。然而，遗憾的是，如果用铜的热导率400W/mK作为一个标准，具有更高热导率的半导体材料只有氧化石墨烯、碳化硅等寥寥几种。氧化石墨烯因为层状结构的限制，其热导性质很难应用。碳化硅是三维半导体，现在已经广泛应用，但热导率也仅有500W/mK。刘新风告诉《中国科学报》。

2018年，《科学》上连续发表3篇论文报道，美国科学家用化学气相沉积方法成功制备出砷化硼。事实上，这一早在1958年提出的化合物却由于理论预测的热导率不高，而一直没能走进人们寻求优秀半导体材料的视野。

直到2013年，随着计算机算力大幅度提高，一批材料的各项性质得到重新预测。有科学家预测砷化硼的热导率可以媲美金刚石的2000W/mK，引发了学界和业界的极大兴趣。

不仅如此，理论预测还表明，砷化硼还具有非常高电子空穴约化迁移率1680 cm2/Vs。这决定了半导体材料的逻辑运算速度，迁移率越高，则运算速度越快。岳帅介绍。

这种同时拥有超高热导率和迁移率的半导体材料令人期待不已，在集成电路领域的未来应用将同时实现缓解散热困难和更高的运算速度。

然而，当科学家手握着真实的砷化硼样品后，实测数据却令人喜忧参半。喜的是，样品实测最高热导率为1300W/mK，已经接近硅的10倍。忧的是，2021年的一项研究表明，其迁移率仅仅22 cm2V-1s-1，几乎一票否决了它在半导体领域的可能应用。

困难重重，攀登高峰

一时间，理论预言和实测不一致的结果让材料学家有点懵圈：到底是理论预言错了，还是实测方法有问题？

刘新风介绍，在2021年的这项工作中，科学家采用的是基于霍尔效应的传统电学测量方法。需要在样品上制备上百微米的电极，由于现阶段制备样品的杂质很多，会因为空间分辨率不够而导致误差。因此，发展出空间分辨率更高的方法实现砷化硼样品的迁移率测量，成为全球科学家争相攀登的科学高峰。

对刘新风课题组而言，这是一项超高难度的工作。首先，样品制备难。休斯顿大学任志锋课题组负责摸索实验条件、生长样品，刘新风课题组和休斯顿大学包吉明课题组则进行纯度表征。几年下来，他们无数次地重复这个过程，不断优化实验条件。

在岳帅的记忆里，苦中作乐是那段时间的真实写照。样品中含有万分之一的碳杂质，有一次长出一批样品来，一检测居然测到了金刚石的信号！岳帅回忆，大家高兴了好半天，没想到用生长砷化硼的方法意外收获了昂贵的钻石。

开拓疆野，坚持不懈

样品制备好之后，接下来需要做的就是挑选高纯度样品。在科研人员看来，这是一个前人从未涉足过的无人区。砷化硼样品刚刚被制备出来不到5年，它的基本物理性质还不清楚，没有人知道哪一块区域是高纯度的。刘新风说。

不过，他们一直认真地享受着开拓知识新疆野的冒险家角色，不断尝试通过发光、拉曼光谱、吸收、热导率、X射线衍射、载流子动力学等方法获得材料各方面特征，试图总结出与纯度有关的规律。

长时间的重复工作中对大量样品的反复比较，他们最终确定了综合应用X射线、拉曼和带边荧光信号来判断样品纯度的方法，并基于这种新方法挑选出了高纯样品。

进一步，科研人员自主搭建了一套全新的超快载流子扩散显微成像系统。这套系统基于光学原理进行检测，避免了此前需要利用电极导致空间分辨率低的缺陷，实现了实时、原位的观测。

利用这套测量系统，科研人员系统比较了具有不同杂质浓度的砷化硼电子和空穴的扩散速度，首次在高纯样品区域检测到其约化迁移率约 1550 cm2V-1s-1，与理论预测值非常接近。这无疑给未来砷化硼广泛应用在光电器件、电子元件中吃了一颗定心丸。

因为曾经具有开发科研仪器的经验，而且课题组也有搭建仪器设备的优良基础和传统，从准备到搭建再到获得完美数据，岳帅只花了2个月时间，感觉不难。

不过，科学探索的过程让岳帅觉得并不轻松。对于基础研究，要做真正有用的东西，结果有可能会出得慢一些，但是坚持下来人间值得！他说，刘老师也一直鼓励和支持我们这样去做，言传并且身教。

纳米中心副研究员岳帅为文章第一作者，休斯顿大学博士田非（现中山大学教授）为共同第一作者。纳米中心研究员刘新风为通讯作者，休斯顿大学教授包吉明和任志锋为共同通讯作者。（来源：中国科学报 甘晓）

相关论文信息：https://doi.org/10.1126/science.abn4727

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。
作者：刘新风等 来源：《科学》

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