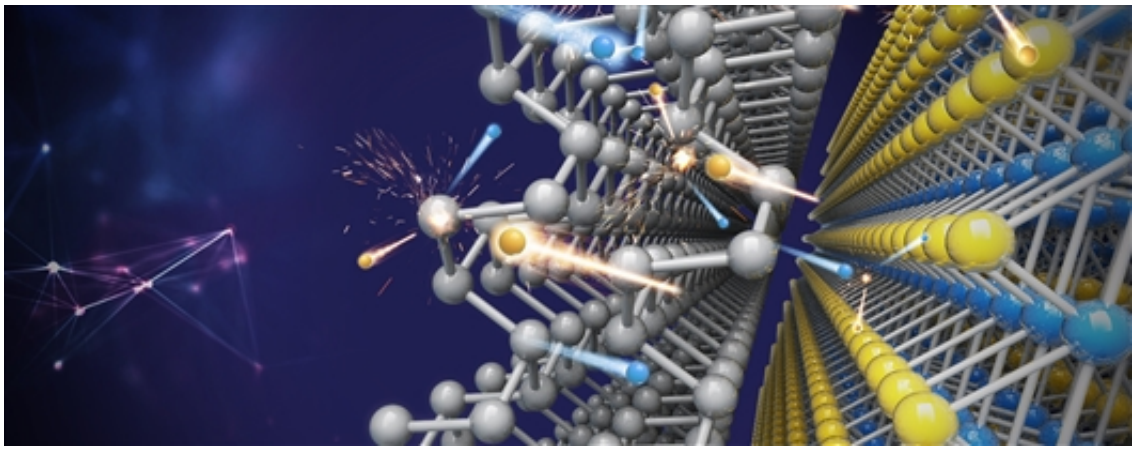
研究首次证明可在二维垂直异质结中实现弹道雪崩

作者：秦志伟 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/3830.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！



研究首次证明可在二维垂直异质结中实现弹道雪崩。异质结的原子结构效果图和弹道雪崩示意图
弹道原本是量子物理的概念，而雪崩是半导体物理中的基本现象，两者貌似无关。但南京大学电子科学与工程学院教授王肖沐/施毅课题组与该校物理学院教授缪峰课题组密切合作，让两者邂逅，首次在二维材料垂直异质结中提出和实现一种新型PN结击穿机制：弹道雪崩。 基于传统雪崩反向击穿机制的光电探测器是实现单光子探测的重要手段，目前已成为通信网络、光谱技术以及量子通讯等应用中的核心部件。
但是，传统的雪崩击穿过程功耗高、噪声大，且不可控，弹道雪崩有望解决上述问题。

缪峰告诉《中国科学报》，在此基础上，合作团队进一步制作出性能优异的中红外弹道雪崩光电探测器和弹道雪崩晶体管。相关研究成果1月22日在线发表于《自然—纳米技术》。
雪崩过程：基本又实用 对于生活在三维世界的我们，鲜有二维的概念。缪峰将二维材料形象地比喻成一本书中的一页纸，只是这页纸只有一个原子那么薄。二维材料的层与层之间有微弱的范德华作用力。所谓范德华作用力，是指存在于分子间的一种吸引力。

一页纸很容易从书本中撕下来，但单层二维材料一度被理论学家预言是无法剥离出来的。直到2004年，英国曼彻斯特大学的科研人员成功制备出单层石墨烯，这一预言才被打破。 正是15年前石墨烯的成功制备，才让更多的二维材料走进人们的视野，比如黑磷和过渡金属硫属化物。 然而，单一的二维材料都有其优缺点。为了扬长避短，两种及两种以上的二维材料需要搭乐高，这样就形成了范德华异质结，可以用来实现一些特殊的PN结。 PN结具有单向导电性，它是构成二极管、三极管等半导体器件的基础。王肖沐向《中国科学报》介绍，在半导体器件中，雪崩过程是指载流子通过电场加速获得高能量，从而离化晶格实现载流子倍增和电流放大的一种物理现象，这是一类基本又实用的物理过程。 例如，光通信和单光子探测等许多应用，都利用雪崩击穿

的雪崩光电二极管来实现。但对目前半导体技术来说，雪崩过程通常需要在大尺寸的器件中加很高的电压才能实现，而且有噪声高等缺点。王肖沐说。 未经验证的猜想成真 《中国科学报》在采访中了解到，合作团队有很好的合作基础，一年多前就围绕范德华异质结中远红外光电器件的研究取得了一项重要成果，发表在《科学》子刊上。 这次，他们尝试构建的是一个电流纵向传输的PN结器件。黑磷是合作团队选中的二维材料，利用黑磷具有垂直方向迁移率高的优点，他们制作了一个沟道只有10纳米长、小于电子平均自由程的PN结。 研究人员利用自己制作的高质量硒化铟/黑磷垂直异质结器件，观测到5个量级电流跳变的弹道雪崩现象。 所谓弹道，是指载流子的弹道运输行为。弹道输运，指电子传输过程中几乎不受到散射。缪峰向记者介绍，就像子弹打过去，中间没有任何阻碍，这是一种量子现象，我们也称之为相位相干输运。 早在2007年，还在美国攻读博士学位的缪峰就首次发现，在石墨烯的平面内，电子存在像子弹一样的弹道输运行为，该成果被《科学》报道。 不过，王肖沐强调，弹道雪崩击穿理论并不是团队首次提出，领域内早有人在理论上设想过，不过缺乏可行的实验设计，长期以来仅作为未经验证的猜想存在，我们是第一次成功验证在二维材料垂直异质结中可以实现弹道雪崩。 在功能材料学家、中国科学院院士祝世宁看来，弹道雪崩击穿革新了人们对PN结雪崩击穿的认识和理解，一举解决了传统器件电压高、散射严重等缺点。 这种雪崩击穿独特的地方在于，电子和空穴两种载流子可以在沟道中往复地进行晶格离化和载流子倍增。

祝世宁告诉《中国科学报》，这样变传统链式倍增为共振式倍增，可实现很高的电流放大。
中红外单光子探测展现潜力 基于弹道雪崩现象，合作团队进一步制作出了性能优异的中红外弹道雪崩光电探测器和弹道雪崩晶体管。 据缪峰介绍，合作团队在实验中发现，基于该弹道雪崩现象的中红外探测器展现了极高(大于1万)的放大倍数，以及低于传统雪崩光电探测器理论极限的噪声性能。 光子也称光量子，是光能量的基本单位，光子数可分辨的探测能力是光子信息处理的核心。如果按照单个光子的能量计算，在可见光和近红波段内，其能量仅在10-19焦耳量级。 王肖沐表示，要想探测这样微弱的信号，需要特殊的光电探测器件，即雪崩光子探测器。 然而，随着量子信息技术的飞速发展，在自由空间中的许多重要应用如三维激光雷达成像、天文物理以及大气观测等方面，需要拓展探测器的波长范围至3～5微米或8～12微米的大气透明窗口中，传统的雪崩光子探测器无法满足其需求。 以中红外弹道雪崩光电探测器为例，合作团队制备的探测器正是工作在这一重要的波段，已经展现出了实现中红外单光子探测的巨大潜力。该器件将在未来星地通讯、高分辨率遥感等系统中扮演重要角色。

王肖沐说。 对于取得的上述研究成果，缪峰将其归纳为合作团队的紧密合作，更是基础研究和应用研究结合的结果。 据悉，目前合作团队已经开展了中红外单光子探测系统以及雪崩探测器焦平面阵列成像的研究工作。希望通过不断的努力，实现未来实用化的探测芯片。缪峰说。
相关论文信息：DOI:10.1038/s41565-018-0348-z

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