
Gbps单光子通信：超导探测显神威

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/27976.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！

Gbps单光子通信：超导探测显神威。 导读

紫金山实验室和南京大学超导电子学研究所所属‘单光子探测与通信实验室’成功研制高性能超导纳米线四象限单光子探测器，将单光子通信速率提升至1.5 Gbps，为高速深空激光通信需求提供简洁的超导解决方案。

相关研究成果以A compact multi-pixel superconducting nanowire single-photon detector array supporting gigabit space-to-ground communications为题，发表于Light: Science Applications。南京大学博士生郝浩为论文的第一作者，南京大学赵清源教授为论文的通信作者，吴培亨院士领导了整个项目的实施。

单光子通信技术

对遥远深空进行探索，揭示宇宙奥秘，寻找宜居星球，是全人类的共同梦想。然而，极远的通信距离、大量科学数据的高速回传需求，是深空探测任务面临的共性挑战。相比传统微波，激光在空间传输具有更小的发散角，能量更加集中，通信系统的带宽也可以做得更宽。因此，激光通信技术有望在深空通信中获得重要应用。但是，卫星的功率有限，激光器的功率很难愈做愈大，随着通信距离增加，巨大的空间衰减使得地面望远镜能够接收的信号强度愈来愈小，达到少光子乃至单光子的量级。为了应对此挑战，单光子通信技术应运而生。

脉冲位置编码调制

单光子通信中通常使用脉冲位置编码调制（PPM, short for pulse position modulation）。如图1所示，PPM通过调制光脉冲的时间位置加载比特信息。在M阶PPM中，每个光脉冲可携带的比特信息为 $\log_2 M$ 。接收端仅需要探测光脉冲所处时间位置，即可实现信号解调。当光脉冲传输遥远距离，衰减至光子量级时，就需要接收机具备单光子探测灵敏度，从而实现每探测一个光子，获得 $\log_2 M$ 比特信息的高灵敏度。

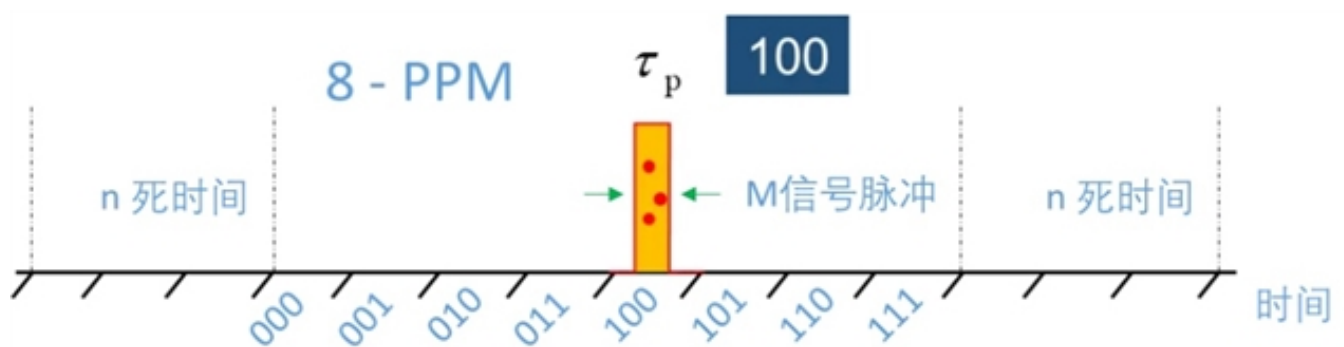


图1：脉冲位置调制原理（图源：作者）

超导纳米线单光子探测器

单光子通信技术中的关键当然是高性能的单光子探测器。经过二十余年发展，超导纳米线单光子探测器（SNSPD, short for superconducting nanowire single-photon detector）已成为其中的佼佼者。作为基本的敏感器件(如图2所示)，其结构是在衬底上生长几纳米厚的超导薄膜，再通过电子束光刻方法，制备成数十纳米宽、间距为百纳米的曲折线。运行时，器件置于低温下、偏置在稍低于临界电流的工作点。而当光子入射时，器件从超导态转变为正常态，产生电压信号输出。这种超导纳米线单光子探测器凭借其低时间抖动、低暗计数、高计数率、高探测效率，为多个研究团队广泛应用。

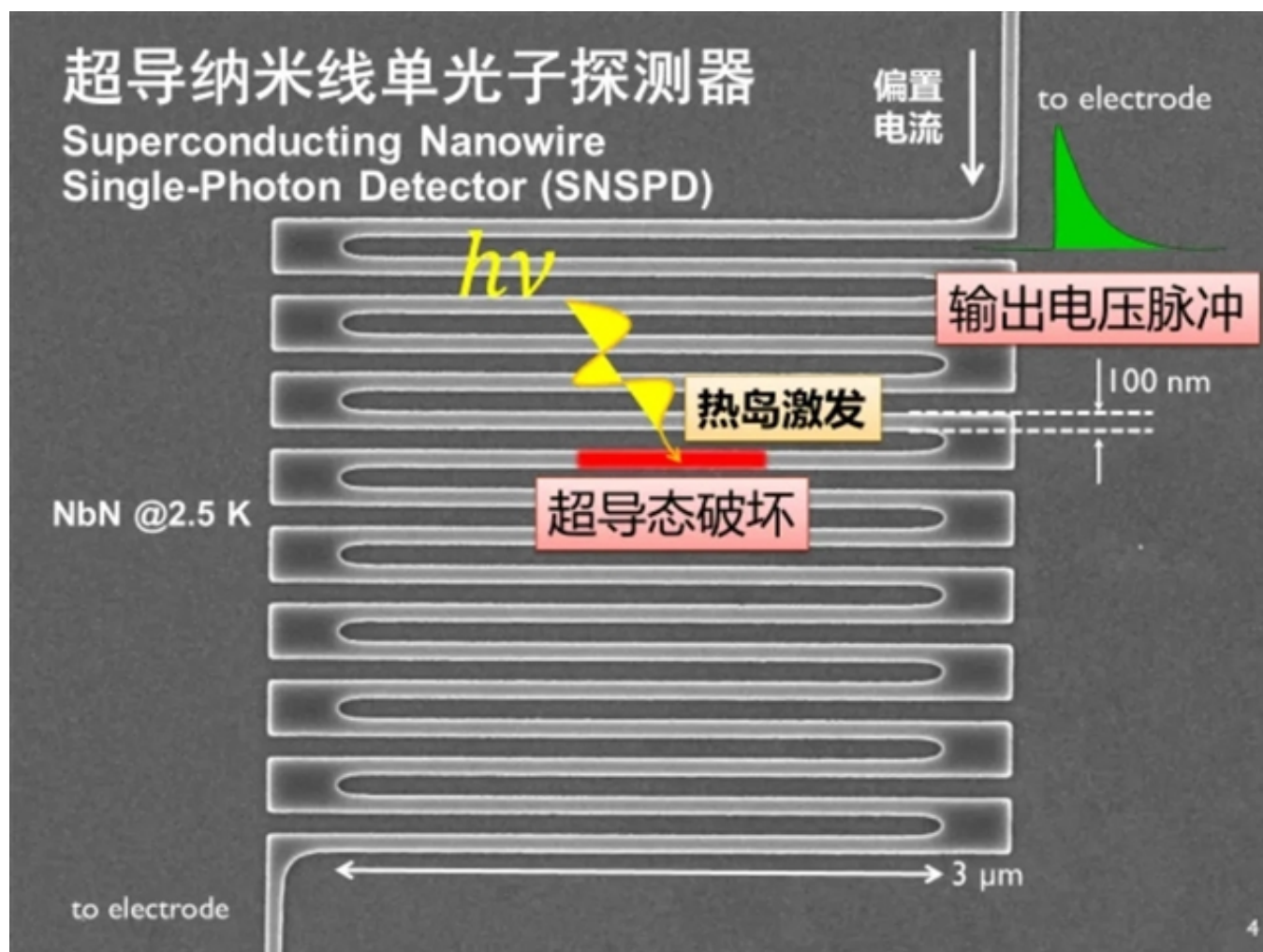


图2：典型的超导纳米线单光子探测器扫描电子显微镜图（图源：作者）

研究亮点

近日，紫金山实验室和南京大学超导电子学研究所所属‘单光子探测与通信实验室’成功研制高性能超导纳米线四象限单光子探测器。在该团队的设计中，对于基本的敏感器件不断加以改进和优化，以求在接收到少光子乃至单光子的情况下，尽可能多地获取信息。例如，在基本的敏感器件上并接以电阻，提高其响应速率，并获得光子数分辨能力；制备为四象限结构，使其具备光斑位置定位功能；等等。这些努力的结果，同步优化了SNSPD多个与通信相关的重要参数，使该探测器具有91.6%的探测效率，每秒钟探测16.1亿个光子的高探测速率，1~24个光子的分辨能力，以及光子计数模式下的光斑位置定位功能。

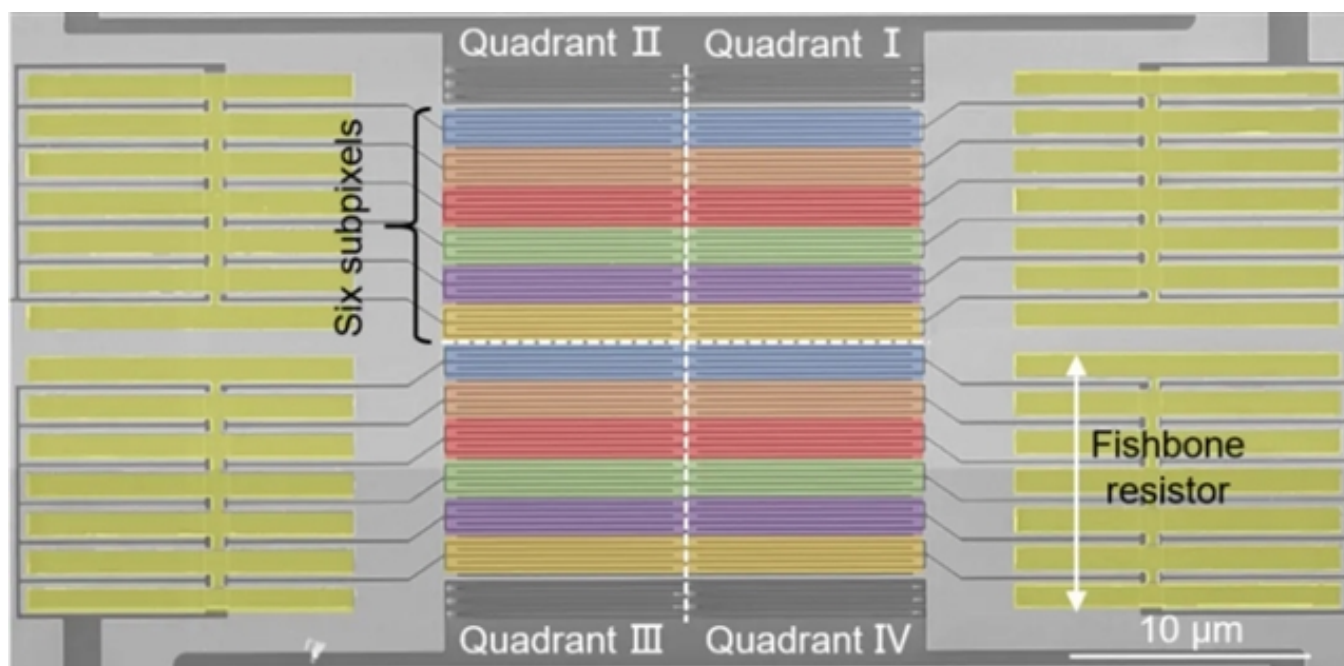


图3：四象限串联型光子数分辨超导纳米线单光子探测器结构图（图源：作者）

这些综合性能的优化保证了单光子通信性能的显著提升。最大通信速度可达1.5 Gbps。相比美国地月通信接收机性能（3.18 光子/比特 @ 622 Mbps），在相当的灵敏度下，优化的四象限SNSPD可实现1.2 Gbps（3.40 光子/比特）通信速率，速度提升约两倍。同时，在基于该探测器所搭建的单光子通信接收机原型上，该团队还演示了高背景噪声下的单光子通信以及单光子光斑定位功能。

展望

除上述SNSPD设计方案的创新，为了更适用于单光子通信的应用需求，本工作在低温系统、信号读出、数字信号处理等方面也都做了相应的优化，并正在积极推进上述实验系统的工程化（如图4所示），将超导单光子探测技术应用至我国的深空探测任务，解决其中的通信难题。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

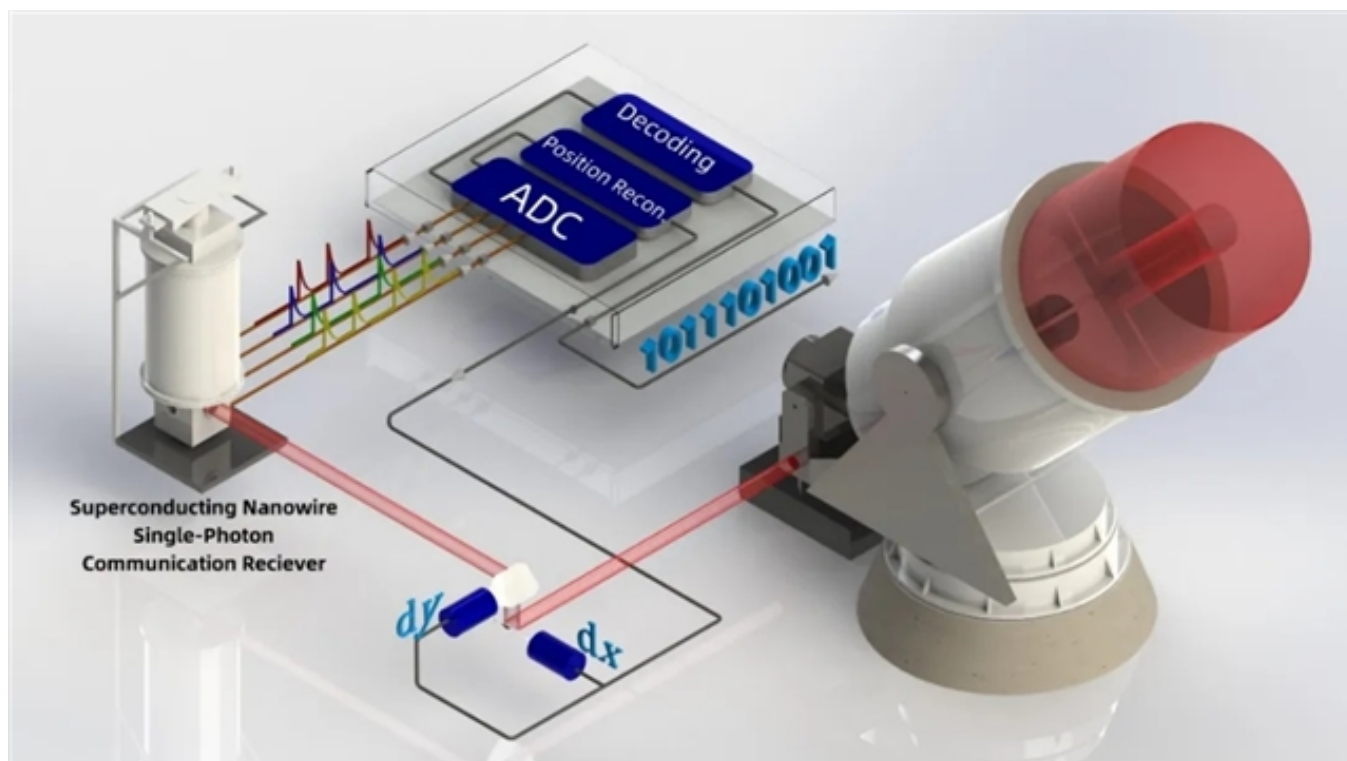


图4：高速超导单光子通信接收机概念图（图源：作者）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01374-1>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：赵清源等 来源：《光：科学与应用》

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](https://www.iikx.com)转发