



自差分交流偏置超导纳米线单光子探测器

马璐瑶 张兴雨 舒志运 肖游 张天柱 李浩 尤立星

Superconducting nanowire single photon detector under AC-bias with self-differential readout

Ma Lu-Yao Zhang Xing-Yu Shu Zhi-Yun Xiao You Zhang Tian-Zhu Li Hao You Li-Xing

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 71, 158501 (2022) DOI: 10.7498/aps.71.20220373

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220373>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高效、偏振不敏感超导纳米线单光子探测器

High-efficiency polarization-insensitive superconducting nanowire single photon detector

物理学报. 2021, 70(18): 188501 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210486>

超导纳米线单光子探测器光子响应机制研究进展

Research progress of photon response mechanism of superconducting nanowire single photon detector

物理学报. 2021, 70(19): 198501 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210652>

超导动态电感单光子探测器的噪声处理

Noise processing of superconducting kinetic inductance single photon detector

物理学报. 2021, 70(14): 140703 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210185>

高时间稳定性的雪崩光电二极管单光子探测器

Avalanche photodiode single-photon detector with high time stability

物理学报. 2020, 69(7): 074204 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191875>

采用多晶硅场板降低单光子雪崩二极管探测器暗计数

Reducing dark count of single-photon avalanche diode detector with polysilicon field plate

物理学报. 2020, 69(14): 148501 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200523>

门控下InGaAs/InP单光子探测器用于符合测量的时域滤波特性研究

Temporal filtering characteristics of gated InGaAs/InP single-photon detectors for coincidence measurement

物理学报. 2021, 70(7): 074202 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20201648>

自差分交流偏置超导纳米线单光子探测器*

马璐瑶¹⁾²⁾ 张兴雨¹⁾²⁾ 舒志运¹⁾²⁾ 肖游¹⁾²⁾张天柱¹⁾²⁾ 李浩^{1)2)†} 尤立星¹⁾²⁾

1) (中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 信息功能材料国家重点实验室, 上海 200050)

2) (中国科学院大学, 北京 100039)

(2022年3月2日收到; 2022年3月25日收到修改稿)

超导纳米线单光子探测器 (SNSPD) 因其优异的综合性能, 在量子信息、激光雷达等方面有广泛的应用. 通常, SNSPD 工作在直流偏置下, 在时域上具有自由运行探测的优点. 而在卫星激光测距、单光子激光雷达等光信号到达时间有规律的应用场景中, 使用交流偏置有望提升器件运行速率、有效抑制背景暗计数, 却存在信号读出困难的棘手问题. 本文报道了自差分读出的交流偏置 SNSPD 系统, 该系统包含两根并行排布纳米线构成的 2-pixel SNSPD 器件. 给两根纳米线加载相同的 100 MHz 交流偏置信号, 并对两路输出信号差分使噪声信号相抵消, 实现光子响应信号的读出. 基于该方法测得, 响应信号的信噪比相比差分之前提升 10 倍, 在交流偏置下器件的暗计数降低至直流偏置下的约 1/4, 计数率达到直流偏置下的约 1.5 倍. 本文为交流偏置 SNSPD 测试提供了一种思路, 为其应用提供参考数据.

关键词: 超导纳米线单光子探测器, 交流偏置, 自差分读出

PACS: 85.25.-j, 85.60.Gz

DOI: 10.7498/aps.71.20220373

1 引言

超导纳米线单光子探测器 (superconducting nanowire single-photon detector, SNSPD) 具备高探测效率^[1]、低暗计数^[2]、低时间抖动^[3-5]等优异性能, 是目前主流的单光子探测器之一, 被广泛应用于量子密钥分发^[6,7]、单光子成像^[8,9]、高精度激光测距^[10,11]等前沿领域.

一般地, SNSPD 在直流偏置下工作^[12], 当光子入射并被纳米线吸收时, 纳米线失超产生有阻区, 从而在其两端产生一个可测量的输出电压脉冲, 一段时间后, 凭借自身动态电感的作用, 器件

恢复至超导状态^[13]. 恢复时间 τ 主要由动态电感 L_K 决定, 这种运行模式被称为自由运行模式. 在该模式下, 当两个光子到达的时间间隔小于 τ 时, 后一光子只能以较低的概率被探测到^[14].

门控模式是 SNSPD 的另一种运行模式, 具有提升器件运行速率、降低暗计数等潜在优势. 其中, 交流偏置是实现门控模式的一种方案. 但在交流偏置下, 由于信噪比较低, 响应信号往往需要经过后处理方可读出. 国内外众多研究小组曾对此展开相关研究, 探索交流偏置下的信号读出方案. 南京大学的张腊宝等^[15]使用重复频率为 100 Hz 的方波作为交流偏置电流, 使器件周期性地交替处于关闭和运行状态, 实现自复位、防门锁的功能, 其重复

* 国家自然科学基金 (批准号: 61971408, 61827823)、国家重点研发计划 (批准号: 2017YFA0304000)、上海市市级科技重大专项 (批准号: 2019SHZDZX01)、上海市青年科技启明星项目 (批准号: 20QA1410900)、中国科学院青年创新促进会项目 (批准号: 2020241) 和浙江省级重点研发计划 (批准号: 2021C01188) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: lihao@mail.sim.ac.cn

频率低, 无需对信号进行后处理; 信息工程大学的刘帆等^[16] 使用一个 T 形三通接头, 在直流偏置中加入方波, 为器件提供交流偏置, 然后在输出端使用低通滤波和整形的方法, 获得高信噪比的输出信号, 该方法有效抑制了暗计数, 但偏置信号的重复频率仍处于较低水平, 最高为 8 MHz; 马萨诸塞大学阿默斯特分校的 Ravindran 等^[17] 使用负反馈淬灭的方法为器件提供交流偏置, 并在 2.8 K 的低温下直接将脉冲振荡信号放大并输出, 实现器件在百兆赫兹水平下的交流偏置和读出, 该方法优化了器件的计数率、暗计数和时间抖动, 但涉及低温下的信号处理, 实现难度高; 卡尔斯鲁厄理工学院的 Knehr 等^[18–21] 为器件提供吉赫兹级别的正弦偏置电流, 使用频分复用的方式读出, 成功使 16 像素 RF-SNSPD 阵列在交流偏置下正常运行, 为大型 SNSPD 阵列的偏置和读出提供一种解决方案。

本文设计了一种交流偏置下较为简单的偏置-读出方案, 移除偏置树 (Bias-Tee) 中的电感, 使交流偏置电流顺利加载至器件, 使用了专门设计并制备的 2-pixel SNSPD 器件进行测试, 然后用自差分法提升输出信号信噪比, 探究并比较了直流偏置与交流偏置下, 其性能的变化。

2 器件设计与制备

使用的自差分降噪方法旨在给两条纳米线加载相同的交流偏置信号, 通过相同的放大电路后, 在输出端获得可以相互抵消的噪声, 调相并合路后得到响应信号. 针对这一方案, 本文设计并制备了 2-pixel SNSPD 器件, 该器件包含两根参数一致的

并行纳米线, 具有相似的物理和电学特性, 以获得更好的降噪效果。

图 1(a) 为 2-pixel SNSPD 的横截面示意图, 从下到上依次为 268 nm 厚的 SiO_2 、400 μm 厚的 Si、268 nm 厚的 SiO_2 和 6.5 nm 厚的 NbN 纳米线. 器件设计时的目标波长为 1550 nm, 纳米线的宽度和周期为 90 nm 和 180 nm. 图 1(b) 为 2-pixel SNSPD 结构示意图, 两根相同宽度的纳米线并行蜿蜒曲折排列, 组成直径约 16 μm 的光敏面. 依据上述设计, 本文在双抛衬底上采用室温直流磁控溅射法沉积 6.5 nm 厚的 NbN 薄膜, 并采用电子束曝光和反应离子刻蚀法制备纳米线, 之后通过紫外曝光和反应离子刻蚀法制备电极微桥, 完成器件制备. 器件的扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 照片如图 1(c) 所示。

3 直流偏置测量

首先, 对器件进行直流偏置下的读出表征. 将制备好的 2-pixel SNSPD 固定在一个铜质封装盒中, 另将光纤固定在一铜块上, 利用显微镜、位移台及垫片使光纤焦平面与器件平面在同一高度, 并使中心对齐, 随后将光纤与铜块的位置固定^[22]. 然后将封装盒用螺丝固定在 GM 制冷机的二级冷头上, 二级冷头的工作温度为 2.2 K. 2-pixel SNSPD 器件的一端经打线与铜座地端相连, 另一端经低温同轴电缆连接至外部偏置盒. 偏置盒由一个三端的偏置树 (Bias-Tee) 和一个常温低噪声放大器 (LNA-650, RF Bay, Inc.) 组成, 放大器的增益为 50 dB, 带宽 30 kHz—600 MHz. 直流偏置源串联 100 k Ω

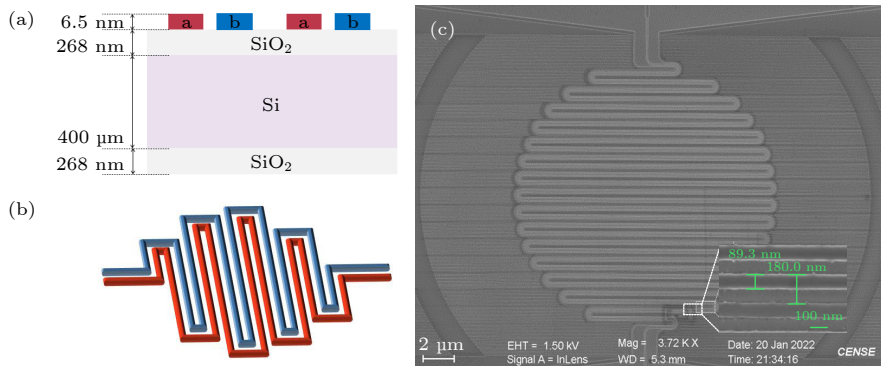


图 1 (a) 2-pixel SNSPD 横截面示意图, a 和 b 分别代表 nanowire-1 和 nanowire-2; (b) 2-pixel SNSPD 结构示意图; (c) 2-pixel SNSPD SEM 照片

Fig. 1. (a) Cross section of 2-pixel SNSPD, where a and b represent nanowire-1 and nanowire-2; (b) schematic of 2-pixel SNSPD; (c) SEM image of 2-pixel SNSPD.

电阻与 Bias-Tee 的 DC 端相连, 偏置电流经 RF & DC 端流入器件; 器件上产生的响应信号从 RF & DC 端流入偏置树, 再经 RF 端流出到放大器中. 信号经放大可直接输入示波器进行观察, 或输入计数器计数.

然后, 对 2-pixel SNSPD 进行光学性能表征. 本文使用可由外部触发信号控制光脉冲频率的脉冲激光光源 (科大国盾量子技术股份有限公司, 1550 nm-ps 脉冲激光器). 在光源的触发信号输入端接入频率为 100 MHz、幅度为 0—1.1 V、相位连续可调的正弦触发信号, 将产生的脉冲激光通过两台光功率衰减器 (Keysight: 81570A), 再接到高精度光功率计 (Keysight: 81624B) 上, 调节衰减器的衰减值, 使输出激光强度为 -98.92 dBm, 此时光子强度为 1 MHz, 随后断开与光功率计的连接, 与器件光纤相熔接, 拨动三桨偏振控制器 (Thorlabs, FPC561) 的三枚桨叶对入射光的偏振态进行调节, 使计数器上显示的计数最大后, 即可进行测试.

经测试得, 器件两条纳米线的常温电阻均为 5.2 M Ω , 临界电流 I_{SW} 均为 8.1 μ A. 在相同条件下, 两纳米线的 I - V 曲线及效率曲线如图 2(a) 和图 2(b) 所示. 可见, 两条超导纳米线在常温电阻、超导临界电流和光探测效率等方面具有较好的一致性. 值得一提的是, 观察图 2(b) 可知, 在光子强度为 1 MHz 的情况下, 器件两条纳米线的效率为 9% 左右. 这是由于未优化器件且未在其上加光学结构, 未来针对实际应用需要, 可制备高效率器件应用于自差分读出的交流偏置系统^[23–25].

4 交流偏置及自差分读出

开展交流偏置情况下的自差分读出表征, 自差分系统示意图如图 3 所示. 本文使用一台信号发生器 (Tektronics: AFG3252C) 产生两路幅度、频率和相位均相同的 100 MHz 正弦信号, 固定其最低值为 0, 最高值由 $0.3I_{SW}$ 逐渐增大至 I_{SW} , 将两路正弦信号分别在常温下通过 50 Ω 同轴电缆连接到触发光源和分路器 (Mini-Circuits: ZFSC-2-372-S+) 上, 经分路器得到两路相同的交流偏置信号, 两路信号经过两根 50 Ω 同轴电缆通过打线方式连接到 2-pixel SNSPD 中 nanowire-1 和 nanowire-2 的输入端. SNSPD 被封装在一个铜制封装盒中, 并用一根 1550 nm 波段的单模光纤 (corning: SMF-28e) 对准 SNSPD 中心. Nanowire-1 和 nanowire-2 的另一端打线连接到铜制封装盒上接地. 在交流偏置下, 两根纳米线分别探测光子并输出脉冲信号. 将 nanowire-1 的输出端接放大器-1 的输入端, nanowire-2 的输出端接放大器-2 的输入端. 然后在放大器-2 的输出端, 连接可调长度的同轴电缆, 通过调整同轴电缆的长度来改变输出噪声相位, 使得放大器-1 输出信号与放大器-2 输出信号相位相反, 然后将两路信号经合路器合并, 噪声相互抵消, 实现自差分降噪.

考虑弱光照射条件并且忽略脉冲中的多光子事件, 单个光子仅能被 nanowire-或者 nanowire-2 探测到. 图 4(a) 和图 4(b) 给出了 100 MHz 交流偏置下, 探测到光子和未探测到光子的两根纳米线经

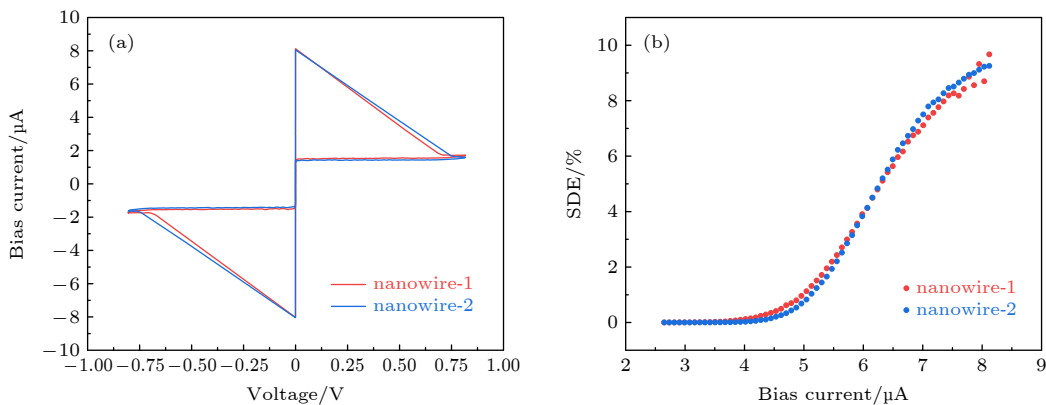


图 2 (a) 2.2 K 温度下, nanowire-1 与 nanowire-2 的 I - V 曲线; (b) 光子强度为 1 MHz 情况下, 直流偏置下 nanowire-1 与 nanowire-2 的效率曲线

Fig. 2. (a) I - V curves of nanowire-1 and nanowire-2 at 2.2 K; (b) system detection efficiency (SDE) curves of nanowire-1 and nanowire-2 in DC-Bias mode under photon intensity of 1 MHz.

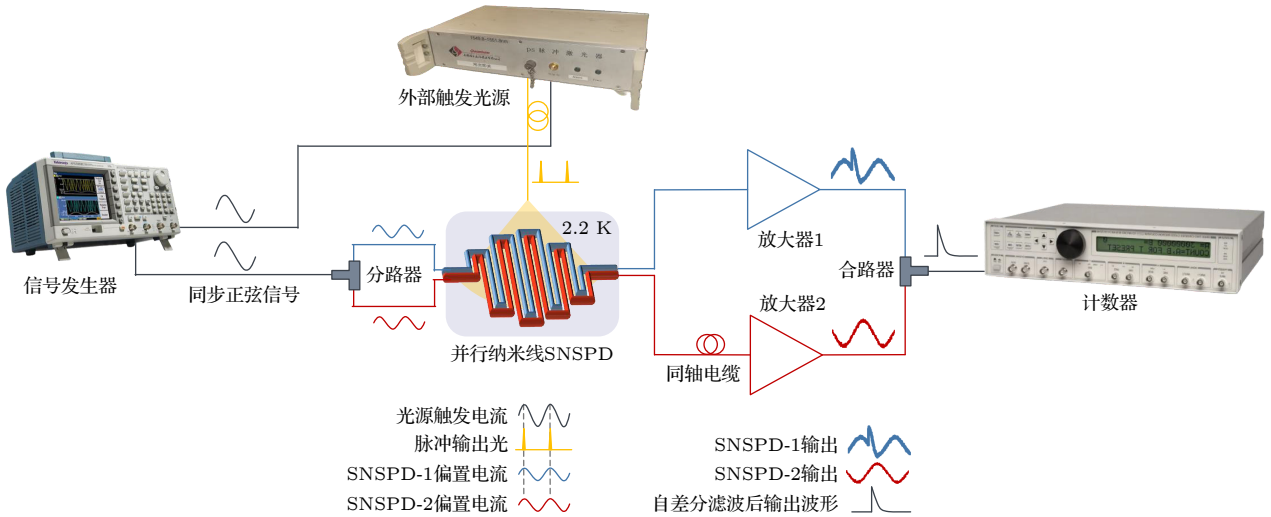


图 3 光电同步自差分测试系统

Fig. 3. Self-differential testing system with synchronized laser and bias current pulses.

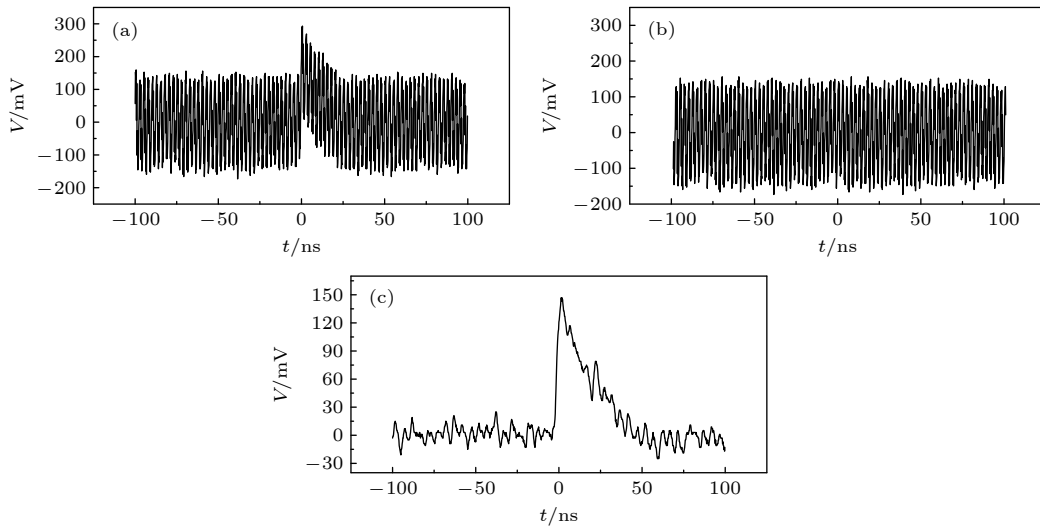


图 4 (a) 自差分降噪前的响应波形; (b) 与 (a) 信号相差分的噪声波形; (c) 两信号合路、噪声相互抵消后的响应信号

Fig. 4. (a) Waveform of output signal before self-differential noise reduction; (b) waveform of the reference signal; (c) waveform of output signal after self-differential noise reduction.

放大器后的输出信号. 该两路信号差分提取后得到的响应信号如图 4(c) 所示. 可以看出, 差分前的信号信噪比约为 1:1, 差分后的信噪比提升至约 10:1, 因而可以通过自差分方式有效实现信号的高效读取.

在强光照射条件下, 可以产生多光子事件: nanowire-1 和 nanowire-2 同时响应光子并产生脉冲, 经移相合路后, 噪声相消, 光子响应信号相叠加, 所得信号幅度接近单个光子信号的两倍. 因而基于本文器件结构还可进行光子数分辨的探测.

为进一步验证交流偏置的有效性, 本文测量了

器件光子计数随交流偏置和光脉冲之间的相位差变化关系. 具体方法上, 固定输入光强、光偏振角度和偏置电流, 调节光脉冲与正弦偏置电流之间的相位差, 然后测试 SNSPD 光响应数目随相位差变化的情况. 由图 5 可得, 在相位差逐渐由 $-\pi$ 增大至 π 的过程中, 光子计数率由小变大再变小. 当相位差为 $-\pi$ 和 π 时光子计数率约为 500, 与此时暗计数相当, 当相位差为 0 时, 光子计数率最大. 说明通过调节光脉冲与偏置信号之间的相位差, 光子计数率随之呈现周期性变化, 且在相位差一定的情况下, 光子计数率保持恒定.

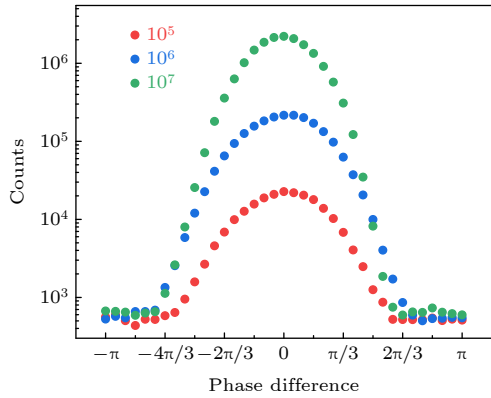


图 5 100 MHz 正弦电流偏置下, 不同输入光子强度时光子计数随光脉冲与偏置电流之间的相位差变化的情况
Fig. 5. Variation of the photon counts with the change of phase difference under different photon intensity and 100 MHz sinusoidal bias current.

然后, 基于差分读出开展交流偏置下的器件光学性能表征. 本文使用与直流偏置下相同的可外部触发的脉冲光源, 其触发信号的频率与器件的偏置电流频率相同、幅度为 0—1.1 V、相位连续可调. 使用与直流偏置下相同的方式对光脉冲进行处理后, 再调节光脉冲的相位, 使光脉冲与偏置信号峰值同步, 使计数再次达到最大, 即可开始测试.

本文在光子强度为 1—200 MHz 的范围内, 对器件在直流和交流偏置下的效率和暗计数分别进行了测试, 整理数据并绘制曲线如图 6(a) 和图 6(b) 所示. 从图 6(a) 可以看出, 在交流和直流偏置两种情况下, 探测器系统效率都随着入射光强的增强而明显降低, 这是由于探测器的速度无法满足强光下的快速探测, 损失了部分光子导致的. 值得注意的是, 这里交流偏置下的探测效率较直流偏置情况下有一定的提升. 在光子强度为 200 MHz 时, 直流偏置下最高探测效率为 5%, 交流偏置下最高探测效率为 7.5%, 可以推算出, 交流偏置下器件计数率可达到直流偏置下的约 1.5 倍. 这说明交流偏置方式对器件的恢复过程产生了改善效果, 与利用负反馈实现快速探测的结果具有一定的一致性^[17].

由于器件工作在交流模式下, 并非自由运行工作在所有时刻, 对于系统的暗计数会起到明显的抑制效果. 从图 6(b) 可以看出, 当偏置电流低于 $0.9I_{SW}$ 时, 交流偏置下的暗计数明显低于直流偏置下的暗计数, 约为其 1/4; 当偏置电流大于 $0.9I_{SW}$ 时, 出现大量本征暗计数, 交流偏置下的本征暗计数仍得到明显的抑制. 需要注意的是, 图 6(b) 中在 $0.45I_{SW}$ 处, 暗计数曲线有一拐点. 这是由于设备的局限,

本文离散地调节两路信号之间的相位差, 导致相位无法精确对齐, 对噪声的抑制存在一极限. 这使得在低偏置下, 部分响应淹没在噪声中, 没有被识别, 存在漏计数, 导致低偏置下暗计数值较正常偏低, 曲线出现拐点.

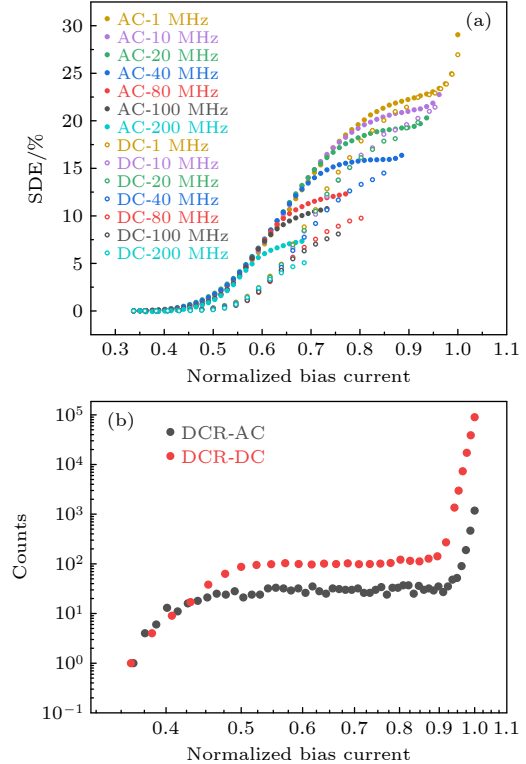


图 6 (a) 直流偏置以及 100 MHz 正弦偏置下, 不同入射光强下的系统探测效率随归一化偏置电流变化曲线, 图例为偏置方式-入射光子强度; (b) 直流偏置和 100 MHz 正弦偏置下的暗计数曲线

Fig. 6. (a) SDE curves as a function of normalized bias function in AC-bias mode and DC-bias mode under different photon intensity. In the legend is bias mode-photon intensity; (b) dark count rate (DCR) curves in AC-Bias mode and DC-Bias mode.

5 结 论

本文设计了在交流偏置下利用信号差分实现降噪的自差分读出系统, 使用专门设计并制备的 2-pixel SNSPD 器件进行测试, 对其在直流偏置和交流偏置下的性能分别进行表征. 测试结果显示, 在交流偏置下, 2-pixel SNSPD 器件具有更高的计数率, 可达到直流偏置下约 1.5 倍; 同时具有更低的暗计数, 仅为直流偏置下的约 1/4. 本文以较低的系统复杂度, 有效地为器件提供交流偏置, 并实现高信噪比的响应脉冲输出. 这为交流偏置 SNSPD 提供了一种思路, 并对其应用具有参考价值.

参考文献

- [1] Chang J, Los J, Tenorio-Pearl J O, Noordzij N, Zadeh I E 2021 *APL Photonics* **6** 036114
- [2] Zhang C, Zhang W, You L, Huang J, Li H, Sun X, Wang H, Lv C, Zhou H, Liu X 2019 *IEEE Photon. J.* **11** 7103008
- [3] Zadeh I E, Los J W, Gourgues R, Bulgarini G, Dobrovolskiy S M, Zwiller V, Dorenbos S N 2018 arXiv: 1801.06574 [physics. ins-det]
- [4] Zadeh I E, Los J W, Gourgues R, Jin C, Dorenbos S N 2020 *ACS Photonics* **7** 1780
- [5] Korzh B, Zhao Q Y, Allmaras J P, Frasca S, Autry T M, Bersin E A, Beyer A D, Briggs R M, Bumble B, Colangelo M 2020 *Nat. Photonics* **14** 250
- [6] Chen J P, Zhang C, Liu Y, Jiang C, Zhang W J, Han Z Y, Ma S Z, Hu X L, Li Y H, Liu H 2021 *Nat. Photonics* **15** 570
- [7] Hadfield R H, Habib J L, Schlafer J, Schwall R E, Nam S W 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 241129
- [8] Zhou H, He Y, You L, Chen S, Zhang W, Wu J, Wang Z, Xie X 2015 *Opt. Express* **23** 14603
- [9] Gerrits T, Allman S, Lum D J, Verma V, Howell J, Mirin R, Nam S W 2015 *CLEO: Science and Innovations San Jose, California, United States, May 10–15, 2015* pSTh30.6
- [10] Li H, Chen S, You L, Meng W, Wu Z, Zhang Z, Tang K, Zhang L, Zhang W, Yang X, Liu X, Wang Z, Xie X 2016 *Opt. Express* **24** 3535
- [11] Xue L, Li Z, Zhang L, Zhai D, Li Y, Zhang S, Li M, Kang L, Chen J, Wu P, Xiong Y 2016 *Opt. Lett.* **41** 3848
- [12] You L X, Chen S J, Wang Y L, Liu D K, Xie X M, Jiang M H 2013 *China Patent* CN 103245424A (in Chinese) [尤立星, 陈思井, 王永良, 刘登宽, 谢晓明, 江绵恒 2013 中国专利 CN 103245424A]
- [13] Yin H Y, Cheng R S, Xu Z, Cai H, Jiang Z N, Li T F, Liu J S, Chen W 2013 *Micronanoelectron. Technol.* **50** 683 (in Chinese) [尹合钰, 成日盛, 徐正, 蔡涵, 蒋振南, 李铁夫, 刘建设, 陈炜 2013 微纳电子技术 **50** 683]
- [14] Zhao Q Y 2014 *Ph. D. Dissertation* (Nanjing: Nanjing University) (in Chinese) [赵清源 2014 博士学位论文 (南京: 南京大学)]
- [15] Zhang L B, Zhang S, Tao X, Zhu G H, Kang L, Chen J, Wu P H 2017 *IEEE Trans. Appl. Supercon.* **27** 2201206
- [16] Liu F, Jiang M S, Lu Y F, Wang Y, Bao W S 2021 *Chin. Phys. B* **30** 040302
- [17] Ravindran P, Cheng R, Tang H, Bardin J C 2020 *Opt. Express* **28** 4099
- [18] Knehr E, Kuzmin A, Doerner S, Wuensch S, Ilin K, Schmidt H, Siegel M 2020 *Appl. Phys. Lett.* **117** 132602
- [19] Doerner S, Kuzmin A, Wuensch S, Charaev I, Siegel M 2016 *IEEE T. Appl. Supercon.* **27** 2200205
- [20] Doerner S, Kuzmin A, Wuensch S, Charaev I, Boes F, Zwick T, Siegel M 2017 *Appl. Phys. Lett.* **111** 032603
- [21] Doerner S, Kuzmin A, Wuensch S, Siegel M 2019 *IEEE Trans. Appl. Supercon.* **29** 2200404
- [22] Dauler E A, Grein M E, Kerman A J, Marsili F, Miki S, Nam S W, Shaw M D, Terai H, Verma V B, Yamashita T 2014 *Opt. Eng.* **53** 081907
- [23] Hu P, Li H, You L Y, Wang H Q, Xiao Y, Huang J, Yang X Y, Zhang W J, Wang Z, Xie X M 2020 *Opt. Express* **28** 36884
- [24] You L X, Li H, Zhang W J, Yang X Y, Zhang L, Chen S J, Zhou H, Wang Z, Xie X M 2017 *Supercond. Sci. Tech.* **30** 084008
- [25] Zhang W J, Yang X Y, Li H, You L X, Lv C L, Zhang L, Zhang C J, Liu X Y, Wang Z, Xie X M 2018 *Supercond. Sci. Tech.* **31** 035012

Superconducting nanowire single photon detector under AC-bias with self-differential readout*

Ma Lu-Yao¹⁾²⁾ Zhang Xing-Yu¹⁾²⁾ Shu Zhi-Yun¹⁾²⁾ Xiao You¹⁾²⁾
 Zhang Tian-Zhu¹⁾²⁾ Li Hao^{1)2)†} You Li-Xing¹⁾²⁾

¹⁾ (*State Key Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China*)

²⁾ (*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

(Received 2 March 2022; revised manuscript received 25 March 2022)

Abstract

Superconducting nanowire single photon detector (SNSPD) has been widely used in many fields such as quantum computing, quantum key distribution and laser radar, due to its high detection efficiency, low dark count rate, high counting rate, and low timing jitter. In most cases, the SNSPD works under the DC-bias mode that can detect single photons arrived at any time. In some cases such as satellite laser ranging and single-photon laser radar where the light pulses arrive regularly, the AC-bias mode enables the SNSPD to work with higher counting rates and lower background dark counts, which however requires complicated readout due to the low signal-to-noise ratio of the photon response. In this work, we report on an AC-biased SNSPD system with a self-differential readout circuit. The system includes a 2-pixel SNSPD consisting of two parallel nanowires, which are biased with 100 MHz sinusoidal current. The output signals of these two nanowires are amplified and combined for the differential readout of the photon response. The resulting response pulse possesses a signal-to-noise ratio ten times higher than that extracted before self-differential readout. In addition, the dark counts are reduced by a factor of 4, and the count rates are increased by a factor of 1.5, in comparison with those under the DC-bias mode. This work provides a specific method to read out the AC-biased SNSPD.

Keywords: superconducting nanowire single photon detector, AC-bias, self-differential readout

PACS: 85.25.-j, 85.60.Gz

DOI: [10.7498/aps.71.20220373](https://doi.org/10.7498/aps.71.20220373)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61971408, 61827823), the National Key R&D Program of China (Grant No. 2017YFA0304000), the Science and Technology Major Project of Shanghai, China (Grant No. 2019SHZDZX01), the Shanghai Rising-Star Program, China (Grant No. 20QA1410900), the Youth Innovation Promotion Association, Chinese Academy of Sciences (Grant No. 2020241), and the Zhejiang Key R&D Program, China (Grant No. 2021C01188).

† Corresponding author. E-mail: lihao@mail.sim.ac.cn