

国家技术发明奖提名书（院内遴选版）

一、项目基本情况

项目名称（公布名）		极高灵敏度超导探测器技术及应用		
拟提名等级		二等		
工作承诺		<p>本单位已按工作要求，组织学术委员会对该候选项目进行了学术评议，确认符合《国家科学技术奖励条例》及其实施细则的规定以及《关于2023年度国家科学技术奖提名工作的通知》的提名条件和相关要求，确认提名书及附件不涉密，并已同步开展对候选人员的政治、品行、作风和廉洁等事项的审核。</p> <p style="text-align: right;">中国科学院紫金山天文台</p>		
主要完成人 （工作完成单位）		李婧（中国科学院紫金山天文台），张文（中国科学院紫金山天文台），缪巍（中国科学院紫金山天文台），任远（中国科学院紫金山天文台），王争（中国科学院紫金山天文台），史生才（中国科学院紫金山天文台）。		
主要完成人曾获 国家科技奖情况		2006年，国家科技进步奖，二等奖，三毫米波段多谱线系统（史生才） 1999年，国家科技进步奖，二等奖，13.7米毫米波射电望远镜（史生才）		
学科分类 名称 ¹	1	天文学	代码	160
	2	射电天文学	代码	16035
	3	射电天文方法	代码	1603520
<p>具体计划、基金的名称和编号：</p> <p>1) 国家基金委重大科研仪器设备研制专项“太赫兹超导阵列成像系统”（2012.01-2016.12），编号：11127903；</p> <p>2) 国家基金委重大科研仪器设备研制专项“多波段多大气成分主被动综合探测系统”之课题“太赫兹辐射波谱仪”（2012.01-2016.12），编号：41127901；</p> <p>3) 国家重点研发计划项目“射电技术方法前沿研究”（2018.05-2023.04），编号：2018YFA0404700；</p> <p>4) 国家重点研发计划项目“高性能单光子探测技术”课题3“光子数可分辨超导相变边缘单光子探测器及其读出电路”（2017.07-2022.06），编号：2017YFA0304003；</p> <p>5) 国家基金委重大项目“THz(太赫兹)电磁波段的物理、器件及应用研究”课题4“用超导器件产生和检测 Terahertz 信号的技术研究”（2003.11-2007.10），编号：10390163。</p>				
授权发明专利（项）		10	授权的其他知识产权（项）	8
项目起止时间 ²		起始：2003年01月01日		完成2023年12月31日

二、项目简介

(限 1 页, 应包含项目主要技术内容、授权专利情况、技术经济指标、应用及效益情况等,)

太赫兹波段 (0.1-10THz) 是一个有待全面研究与开发应用的“新”电磁波段。为推动我国太赫兹技术研究与应用, 2003 年国家基金委启动了我国第一个太赫兹重大项目“太赫兹电磁波段的物理、器件及应用研究”, 2012 年第一批重大仪器设备研制专项部署了“太赫兹超导阵列成像系统”项目。太赫兹波段占宇宙近一半的光子能量, 有极丰富的分子、原子和离子“指纹”谱特征, 在当代宇宙学及天体物理前沿研究领域发挥着重要作用, 如: 黑洞成像、宇宙生命环境和早期冷暗宇宙探测。太赫兹天文学的兴起主要得益于四种国际主流的极高灵敏度超导探测器技术, 即: 超导隧道结 (SIS) 混频器、超导热电子 (HEB) 混频器、超导动态电感探测器 (KID) 和超导相变边缘探测器 (TES)。本项目在上述四种超导探测器的设计制备、特性表征、以及应用方面做出了系统性的工作, 实现了我国太赫兹天文探测器芯片的自主研制, 支撑并推动了我国太赫兹天文学的发展。具体成果如下:

1) 成功研制了亚毫米波超导混频器芯片和亚毫米波超导接收机, 并实现天文应用。自主设计、制备了亚毫米波 (0.5THz) 频段超导隧道结混频器芯片; 采用小型低功耗无液氮 4K 制冷、无隔离器前端集成、无超导磁体抑制约瑟夫森效应等技术, 成功研制了亚毫米波超导混频接收机, 该超导接收机实现了 0.46THz CO(J=4-3) 星际分子谱线观测, 为我国亚毫米波天文发展打下重要基础。

2) 高能隙氮化铌 (NbN) 超导隧道结混频器灵敏度及天文应用突破。自主设计、制备了高能隙氮化铌 (NbN) 超导隧道结混频器芯片; 结合提出的新型无调谐宽带波导混频腔, 研制了 0.5THz 频段 NbN 超导 SIS 混频器, 混频器灵敏度突破 5 倍量子极限, 并实现 NbN 超导 SIS 混频器的天文应用; 揭示了 NbN 超导隧道结在 10K 温区的高灵敏度特性, 使中国空间站巡天望远镜搭载太赫兹载荷成为现实, 并为未来深空探测应用奠定关键技术基础。

3) 太赫兹/中远红外波段高灵敏度超导热电子混频器与高集成度超导热电子混频接收机。实现了无液氮 4K 机械制冷环境下超导 HEB 混频实验, 提出了超导 HEB 频率相关热点模型, 进而研制了 1.4THz 频段超高灵敏度的超导 HEB 混频器; 研制了 5.3THz 频段天线耦合型超导 HEB 混频器, 将这一高光谱分辨率探测技术拓展至中红外波段; 实现了太赫兹量子级联激光器 (QCL) 辐射波束的高精度模拟与整形, 进而研制了高集成度太赫兹超导 HEB 与 QCL 外差混频接收机, 为太赫兹 QCL 实际天文应用打下重要基础。

4) 成功研制大规模阵列超导相机芯片、光子数可分辨超导探测器芯片及应用拓展。自主设计、制备了超千像素的太赫兹超导 KID 二维阵列芯片, 并研制了太赫兹超导阵列成像系统, 探测灵敏度达光子噪声及产生-复合噪声极限; 自主设计、制备了光学红外波段的超导 TES 探测器芯片, 量子效率高达 96%, 可分辨光子数超 20; 超导 KID 及 TES 探测器技术还拓展到宇宙再电离时代大尺度结构层析成像、原初引力波探测、以及光子精密测量等应用。

三、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权日期（标准发布日期）	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	基于超导热电子探测器相干和非相干探测系统和探测方法	中国	ZL201811105637.1	2022.03.01	4968368	中国科学院紫金山天文台	史生才、林镇辉、任远、缪巍	授权并有效
发明专利	一种 MKIDs 超导探测器阵列想元工作状态及位置的判别方法	中国	ZL202110242906.4	2022.08.05	5362298	中国科学院紫金山天文台	吕伟涛, 李婧, 史生才	授权并有效
发明专利	基于相位光栅的太赫兹多波段相干接收系统	中国	ZL202110259647.6	2022.08.02	5348460	中国科学院紫金山天文台	任远, 刘冬, 周康敏, 史生才	授权并有效
发明专利	一种超导相变边缘单光子探测器的性能表征方法	中国	ZL201910582771.9	2021.09.07	4660983	中国科学院紫金山天文台	张文、钟家强、耿悦、李佩展、史生才	授权并有效
发明专利	新型高集成超导热电子外差接收机	中国	ZL201911068638.8	2021.03.16	4302791	中国科学院紫金山天文台	周康敏、缪巍、任远、张文、史生才	授权并有效
发明专利	Grating- and Fiber-coupled Multi-Beam Coherent Receiving System in Mid- and Far-Infrared Band	美国	US11159246 B2	2021.10.26	US011159246B2	中国科学院紫金山天文台	任远, 史生才, 张岱溪	授权并有效
发明专利	太赫兹超导相变边缘探测器热弱连接制备方法	中国	ZL201610930479.8	2019.05.21	3381656	中国科学院紫金山天文台	刘冬、史生才、王争、李婧	授权并有效
发明专利	利用蒸镀法在光阻掩膜衬底上制备超导钛薄膜的方法	中国	ZL201710405813.2	2019.04.09	3325982	中国科学院紫金山天文台	王争、张文、缪巍、史生才	授权并有效
发明专利	太赫兹外差阵列接收机偏置复用装置	中国	ZL201610132090.9	2018.02.02	2803106	中国科学院紫金山天文台	张文、张坤、史生才、缪巍、姚骑均	授权并有效
发明专利	太赫兹外差阵列接收机本振参考信号功率分配装置及其分配方法	中国	ZL201410538159.9	2016.11.30	2300530	中国科学院紫金山天文台	史生才、张文、缪巍、林镇辉	授权并有效