

2024年招生计划

四、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： X射线聚焦镜的超精密制造关键技术研究

选题类别： ☐基础性研究 ☐应用性研究 ☒工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向 ☐已有研究方向的继续 ☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

X射线聚焦镜是宇宙空间观测、脉冲星导航、X射线通信、同步辐射光源等国家重大科学与工程中的核心光学元件。其设计采用掠入射Wolter-I型，即由回转对称抛物面和双曲面镜组成的筒状内非球面结构。X射线聚焦镜制造，属于典型的高性能制造范畴，其制造难度极高，具体表现在如下几个方面：1) 由于所探测光源的波长在纳米甚至亚纳米量级，要求表面具备超光滑条件，粗糙度达到亚纳米，非球面形精度在近米级范围内要求达到亚微米；2) 为满足探测轻量化要求，镜片厚度达到亚毫米量级，并对镜片膜层结合力、电铸应力控制提出了极高的要求；3) 为了提高有效探测面积，X射线聚焦镜采用多层(数十层)嵌套结构形式，对制造效率提出了很大的挑战。

电铸复制法技术被看作是一种大规模制造X射线聚焦镜的理想工艺方法，能够满足新一代X射线聚焦镜高角分辨率和大有效面积的要求。该方法优势在于高精度的聚焦镜模具可以循环复用，大量复制聚焦镜片，制造效率高。电铸复制方法可以直接制造全口径回转的聚焦镜片，避免了其他方法需要拼接装配而引入的误差。美国国家航空航天局NASA和欧洲空间局ESA发射和规划的多颗大型X射线卫星，均采用电铸复制工艺方法大批量制造高精度聚焦镜。电铸复制工艺有众多优点，但是其制造工艺技术难度高，工艺链长，其中最核心的部分是芯轴模具的制造，芯轴模具的表面质量和形状精度直接决定了所能复制出的镜片质量，芯轴模具为典型的大尺寸自由曲面光学元件，例如预计2027年发射的eXTP天文台芯轴模具的尺寸为600mm，面型精度要求为小于0.5um，表面粗糙度要求小于0.5nm，传统的抛光工艺难以同时实现表面粗糙度和面形精度的要求，国外相关单位制造过程中涉及的关键性技术问题都是核心机密，目前被少数国外企业和研究机构垄断。

针对X射线聚焦镜的高性能制造需求，本项目开展X射线聚焦镜芯轴模具的高效超精密可控制制造的基础理论研究，综合运用超精密制造、X射线光学、表面物理化学等多学科理论，突破X射线聚焦镜超精密加工、超光滑与检测等关键技术难题，揭示亚纳米级超光滑表面创成机制，掌握超薄金属聚焦镜制造工艺链中全频段误差的演化规律，打破国外技术封锁和产品垄断，为我国极端精度X射线光学元件的高性能制造提供关键技术支撑。

本项目围绕金属聚焦镜芯轴模具加工精度精度保持性、亚纳米级超光滑表面创成、及聚焦镜镜片全频段误差检测及主动控制技术研究三个科学问题开展研究，主要研究内容为聚焦镜芯轴的超光滑抛光工艺基础理论研究、工艺装备研制。具体内容包括：

1) 芯轴模具超精密加工的精度保持性研究
2) 聚焦镜芯轴模具超光滑保型抛光技术研究
3) 聚焦镜镜片全频段误差检测及主动控制技术研究

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

项目依托中科院高能物理研究所，先导专项子课题三“eXTP天文台X射线聚焦望远镜制造技术研究”，子课题编号“XDA15020501-03”及中国科学院高能物理研究所, HT-IHEP-LT-0424/2020, “爱因斯坦探针（EP）卫星X射线聚焦望远镜镜片研制”。经费来源于2022年青年引进人才科研启动费，编号AUGA2160100922 及北京空间飞行器总体设计部，“*****”项目，60万，2023年立项。国家重点研发计划（非国合），纵向，2022YFB3403303，微细阵列结构超精密加工-检测一体化机床，2022-12 至 2025-12，390万元。