**第一部分 国内外现状及趋势分析**

包括本项目相关国内外总体研究情况和水平、最新进展和发展前景。限2000字以内，并分别简要列出国内、外各代表性的5家从事相关研究的主要机构及典型成果、代表性文献及相关专利、标准，并列出项目在相关方面的5项代表性成果、专利及标准。

**第二部分 研究目标及内容**

一、项目目标及考核指标

（一）申报项目与所属指南方向的关联关系

包括项目与所属指南方向的匹配性，对指南方向目标的支撑作用。限1500字以内。

课题二包括研制空间分辨率优于 25 微米的径迹探测器模块，完成组装成径迹探测器系统集成并参与运行；研究具有好于100ps时间分辨率的抗辐照传感器和前端电子学关键技术。这两部分研究内容与指南1.3 ATLAS 探测器升级(共性关键技术)内容相匹配，有利于提高ATLAS实验的物理潜力。

（二）项目目标及考核指标、考核方式/方法

限2000字以内（不包括表格），并填写下表。

硅微条探测器：

目标：硅径迹探测器模块建造，包括验证硅微条传感器和读出电子学的抗辐照性能等关键指标，掌握硅微条探测器模块高精度组装、高低温环境可靠性测试等关键技术，保障探测器模块空间分辨率达到25微米的要求。径迹探测器系统集成，包含硅微条探测器模块集成到桶板、桶板组合成径迹探测器系统的安装、调试等关键技术研究。

考核指标：硅微条探测器模块达到空间分辨率优于 25 微米

考核方式：合作组安排束流测试

新一代有时间信息的硅像素探测器：

目标：研发时间分辨率在100皮秒以下的抗辐照传感器及前端电子学。

考核指标：传感器和电子学时间分辨率均好于100 ps

考核方式：传感器将设计并制备出像素型的低增益雪崩二极管器件，用放射源对其辐照前后的时间分辨特性进行标定。电子学将设计读出电子学电路模块和小型的数据获取系统，对电子学进行性能测试和技术验证，时间精度可以通过测试信号相对于时钟的间隔或两通道之间的时间差的晃动进行评估。

**项目目标、预期成果与考核指标表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目目标** | **预期成果名称** | **预期成果**  **类型** | **对应的**  **课题** | **考核指标** | | | | | **考核方式（方法）及评价手段** |
| **指标**  **名称** | **立项时已有指标值/状态** | **中期指标值/状态** | **完成时指标值/状态** | |
| 2. 研制硅微条径迹探测器空间分辨率达到 25 微米；研发时间分辨率在 100 皮秒以下的抗辐照传感器及前端电子学。 | 1： | □新理论 □新原理 □新产品 □新技术 □新方法 □关键部件 □数据库 □软件 □应用解决方案 □实验装置/系统 □临床指南/规范 □工程工艺 □标准 □论文 □发明专利 □其他 |  | 指标1.1 |  |  |  | |  |
| …… |  |  |  | |  |
| 硅径迹探测器模块；有时间信息的硅像素探测器 | □新理论 □新原理 □新产品 □新技术 □新方法 □关键部件 □数据库 □软件 □应用解决方案 ¢实验装置/系统 □临床指南/规范 □工程工艺 □标准 □论文 □发明专利 □其他 |  | 硅微条径迹探测器空间分辨率 | 原型模块25 微米 | 预生产模块 25 微米 | 25微米 | | ATLAS 合作组安排束流测试 |
| 硅像素探测器时间分辨率 | 好于 10ns | 好于 1ns | 好于 100ps | | 放射源测试 |
| … | 同上 |  | 指标 |  |  |  | |  |
| …… |  |  |  | |  |
| **科技报告考核指标** | **序号** | **报告类型** | | **数量** | **提交时间** | | | **公开类别及时限** | |
|  |  | |  |  | | |  | |
| 其他目标与考核指标完成情况 | | | | | | | | | |

备注：

**1.“项目目标”**，应从以下方面明确描述：（1）项目研发主要针对什么问题和需求；（2）将要解决哪些科学问题、突破哪些核心/共性/关键技术；（3）预期成果；（4）成果将以何种方式应用在哪些领域/行业/重大工程等，并拟在科技、经济、社会、环境或国防安全等方面发挥何种的作用和影响。

**2.“对应的课题”**，指将由项目内哪些课题支撑取得某项成果。

**3.“考核指标”**，指相应成果的数量指标、技术指标、质量指标、应用指标和产业化指标等，其中，数量指标可以为专利、产品等的数量；论文代表作应注重质量，不以数量作为评价标准；技术指标可以为关键技术、产品的性能参数等；质量指标可以为产品的耐震动、高低温、无故障运行时间等；应用指标可以为成果应用的对象、范围和效果等；产业化指标可以为成果产业化的数量、经济效益等。同时，对各项考核指标需填写立项时已有的指标值/状态以及项目完成时要到达的指标值/状态。同时，考核指标也应包括支撑和服务其他重大科研、经济、社会发展、生态环境、科学普及需求等方面的直接和间接效益。如对国家重大工程、社会民生发展等提供了关键技术支撑，成果转让并带动了环境改善、实现了销售收入等。若某项成果属于开创性的成果，立项时已有指标值/状态可填写“无”,若某项成果在立项时已有指标值/状态难以界定，则可填写“/”。

**4.“中期指标”，**各专项根据管理特点，确定是否填写，阶段目标明确的专项项目应填写中期指标。

**5.“考核方式方法”**，应提出符合相关研究成果与指标的具体考核技术方法、测算方法等。

**6.“科技报告类型”，**包括项目综合绩效评价（验收）前撰写的全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告、项目年度或中期检查时撰写的描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告以及在项目实施过程中撰写的包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告（如实验报告、试验报告、调研报告、技术考察报告、设计报告、测试报告等）。其中，每个项目在综合绩效评价（验收）前应撰写一份最终科技报告；研究期限超过2年（含2年）的项目，应根据管理要求，每年撰写一份年度技术进展报告；每个项目可根据研究内容、期限和经费强度，撰写数量不等的专题科技报告。科技报告应按国家标准规定的格式撰写。

**7.“公开类别及时限”，**公开项目科技报告分为公开或延期公开，内容需要发表论文、申请专利、出版专著或涉及技术诀窍的，可标注为“延期公开”。需要发表论文的，延期公开时限原则上在2年（含2年）以内；需要申请专利、出版专著的，延期公开时限原则上在3年（含3年）以内；涉及技术诀窍的，延期公开时限原则上在5年（含5年）以内。涉密项目科技报告按照有关规定管理。

（三）项目预期成果的呈现形式及描述

限1000字以内。

硅微条径迹探测器：

研制出高精度硅微条探测器模块，并参与径迹探测器系统的安装和联调。提供硅微条探测器模块空间位置分辨率的测试报告。

新一代有时间信息的硅像素探测器：

完成原型传感器，提供时间分辨性能的测试报告；实现前端电子学关键技术突破，提供电子学时间精度测试报告。

二、项目研究内容、研究方法及技术路线

（一）项目的主要研究内容

拟解决的关键科学问题、关键技术问题，针对这些问题拟开展的主要研究内容，限3000字以内。

硅径迹探测器模块建造，包括验证硅微条传感器和读出电子学的抗辐照性能等关键指标，掌握硅微条探测器模块高精度组装、高低温环境可靠性测试等关键技术，保障探测器模块空间分辨率达到25微米的要求。径迹探测器系统集成，包含硅微条探测器模块集成到桶板、桶板组合成径迹探测器系统的安装、调试等关键技术研究。

针对新一代有时间信息硅像素探测器的研发，本课题将展开抗辐照传感器及前端电子学的设计。在传感器方面，团队将致力于研发像素型的低增益雪崩传感器，并开展辐照前后器件的时间分辨性能研究。在前端读出电子学方面，团队将通过国际合作研究具有时间测量功能硅像素探测器的前端读出电路关键技术，并着重针对含有时间信息的击中数据的高效缓存和快速读出展开研究，且还将完成数据汇总、配置命令解析等功能。

（二）项目拟采取的研究方法

1、针对项目研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等

限2000字以内。

硅微条径迹探测器：

拟采用高能质子束方法进行验证微条传感器和读出电子学的抗辐照性能，通过合作组联合研制高精度工装夹具、自动化高低温冷却环境测试箱等确保硅微条探测器模块高精度和高低温环境可靠性。最终径迹探测器系统集成则由高精度的龙门吊和精密机械等方式进行品质监控。

新一代有时间信息的硅像素探测器：

传感器部分：

传感器的研究包括仿真设计、工艺制备、时间性能研究及辐照性能测试。通过TCAD仿真研究器件结构及关键参数，优化工艺流程，在有效电荷收集效率的前提下实现器件内部像素化。在此基础上通过改变衬底材料、优化结构参数等方法提高器件的抗辐照性能，特别是辐照后器件的电荷收集与时间分辨性能。

电子学部分：像素探测器的前端读出电路主要包括模拟处理单元电路和数据缓存读出电路，为了获取传感器输出信号的时间信息，模拟处理单元电路将采用放大甄别结合高精度时间数字变换的技术设计实现；数据缓存读出电路将基于数字电路设计流程实现，通过建模仿真确定电路基本架构，进而配合时序分析、流水线处理等高速数字电路设计方法实现高效的数据缓存和快速的数据读出。

2、项目研究方法（技术路线）的可行性、先进性分析

限2000字以内。

硅微条探测器：1. 利用东莞的伴生质子束开展了硅微条传感器、专用集成电路芯片的辐照测试并在高能所搭建了相应的器件测试平台。2. 在高能所实验室已研制出预生产阶段的硅微条模块，搭建了冷热箱测试系统。参与了合作组硅微条探测器模束流测试的实验与数据分析研究。3. 在卢瑟福实验室参与了硅微条探测器模块集成到桶板碳纤维基底的高精度组装与低温稳定测试。

新一代有时间信息的硅像素探测器：

传感器部分：团队通过与外单位合作，完成了初步原型器件的制备，具备研发快时间分辨的传感器的设计仿真、工艺制备、器件测试等条件。

电子学部分：团队在100ps水平读出技术层面，曾研制出系列电子学系统并成功应用于粒子物理实验中，上述的技术积累可以保证此方向研究工作的顺利展开。

三、课题分解方案

（一）课题分解情况

围绕项目目标，根据需要可对项目目标进行任务分解，并简要说明各课题在项目中的具体作用，相互之间的逻辑关系，建议用图表描述。限2000字以内。

（二）各课题内容

逐项分段说明各课题的研究目标、主要研究内容、拟解决的重大科学问题或关键技术、考核指标及评测手段/方法等。每个课题限3000字以内。

1、课题1：xxxxx

研究目标：

主要研究内容：

拟解决的重大科学问题或关键技术问题：

考核指标及评测手段/方法：

参加单位任务分工

......

2、课题2：ATLAS 实验内径迹探测器升级

**子课题 2.1**： 硅径迹探测器模块建造，径迹探测器系统集成和运行

**研究目标**：研发满足高亮度 LHC 要求的高精度硅微条径迹探测器。采用先进技术组装 探测器模块，实现 25 微米的空间分辨率，并通过束流测试验证。参与径迹探测器 系统集成和早期运行。

**主要研究内容**：1. 研究硅微条传感器辐照后的电荷收集效率、专用集成电路芯片辐照后的单粒子效应；2. 掌握硅微条传感器的高精度组装技术，开展硅探测器模块高低温稳定测试及空间位置分辨率的研究；3. 开展硅微条探测器模块集成到桶板、桶板组合成径迹探测器系统的安装和联调。

**拟解决的关键技术问题**：硅径迹探测器模块建造，包括验证硅微条传感器和读出电子学的抗辐照性能等关键指标，掌握硅微条探测器模块高精度组装、高低温环境可靠性测试等关键技术，保障探测器模块空间分辨率达到25微米的要求。径迹探测器系统集成，包含硅微条探测器模块集成到桶板、桶板组合成径迹探测器系统的安装、调试等关键技术研究。

**考核指标及评测手段**：硅微条探测器模块达到空间分辨率优于25微米。合作组安排束流测试。

**参加单位任务分工**：

高能所：负责建设高能所硅微条模块研制实验室平台、传感器和读出芯片测试平台、东莞散列中子源伴质子束流辐照平台搭建，协调与英国卢瑟福实验室以及 CERN 的安装调试工作。

清华：负责派送学生和博士后参加硅微条探测器模块研制、传感器和读出芯片辐照测试，以及协助参加英国和 CERN 的工作。

**子课题 2.2**：新一代有时间 信息的硅像素探测器的研发

**研究目标**：研发时间分辨率在 100 皮秒以下的抗辐照传感器及前端电子学

**主要研究内容**：

研发像素型 LGAD 传感器，实现100皮秒以下的时间分辨率。通过国际合作研究具有时间测量功能硅像素探测器的前端读出电路关键技术，并着重针对含有时间信息的击中数据的高效缓存和快速读出展开研究，完成数据汇总、配置命令解析等功能。

**拟解决的关键技术问题**：

研究具有好于100ps时间分辨率的抗辐照传感器和前端电子学关键技术，在保证时间分辨的前提下，攻克像素化方面的技术难点。

**考核指标及评测手段/方法**：时间分辨优于100ps的硅像素探测器。前端电子学将设计读出电子学电路模块和小型的数据获取系统，对电子学进行性能测试和技术验证，达到好于100 ps精度的时间测量指标。时间精度可以通过测试信号相对于时钟的间隔或两通道之间的时间差的晃动进行评估，最终以测试报告的形式呈现。

**参加单位任务分工**：

中国科学院高能物理研究所负责新一代有时间信息的像素探测器的传感器研究

中国科学技术大学负责新一代有时间信息的硅像素探测器的前端电子学研究

......

（多项课题时，可参考上述提纲自行添加相应内容）

四、主要创新点

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述项目的主要创新点。每项创新点的描述限500字以内。

1、创新点1：ATLAS硅径迹探测器将是运行在高能量、高亮度前沿的大型带电粒子径迹探测系统，在保持极低的物质量的条件下，具有高效的模式识别能力与优异的径迹重建效率。其抗辐照性能、模块组装的数量和系统整合的复杂程度代表此类大科学装置技术的最前沿。

2、创新点2：本项目将开发具有高精度位置分辨率和优于100 皮秒时间分辨率的基于低增益层的新型探测器，可用于新一代 ATLAS 像素探测器，进一步发掘物理潜力。

五、预期经济社会效益

项目的科学、技术、产业预期指标及科学价值、社会、经济、生态效益。限1500字以内。

**第三部分 申报单位及参与单位研究基础**

一、申报单位的已有工作基础、研究成果、研究队伍等

（一）项目、课题牵头单位在该研究方向的前期任务承担及综合绩效评价（验收）情况、相关研究成果

限1000字以内。

（二）项目及课题负责人的科研水平及主要成果

限2000字以内。

（三）项目、课题牵头单位相关科研条件支撑状况

包括国家（重点）实验室、国家工程（技术）中心、国家重大科研基础设施（含大型仪器设备）等情况，限1000字以内。

（四）项目牵头企业运行状况（项目牵头单位不是企业的，不需填写）

填写下表，并在附件中提供该单位须提供近2年经会计师事务所审计的财务报告（包括资产负债表、损益表、现金流量表）。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项  目  牵 头 企 业 概 况 | 企业名称 |  | | | | | | | | | |
| 行业/领域 |  | | | | | | | | | |
| 经济性质 | □国有企业 □集体企业  □私营企业 □有限责任公司  □股份有限公司 □其它企业 | | | | | 企业特性 | | □经认定的高新技术企业 □国家创新型企业 □其他： | | |
| 上市情况 | □深交所 □上交所 □新加坡  □香港 □创业板 □新三板  □纳斯达克□纽约交易所  □其它： | | | | | 上级主管单位 | | □大专院校 □中科院科研院所 □其他部委科研院所 □地方科研院所 □军队系统 □政府职能部门 □企业 □无主管  □其他： | | |
| 公司注册地址 |  | | | | | 注册资本  （万元） | |  | | |
| 成立时间（年、月） | | |  | | 人员规模 | |  | | | |
| 主营方向 |  | | | | | | | | | |
| 经 营 概 况 | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | 主要产品（列前3种产品） | | 近三年年均销售额（万元） | | | | 1 |  | |  | | | | 2 |  | |  | | | | 3 |  | |  | | | | 上年度工业生产总值（万元） | |  | | | |  | | 年 | | 年 | | 近2年主营业务收入（万元） | |  | |  | | 近2年利润（万元） | |  | |  | | 近2年资产负债率（%） | |  | |  | | 近2年实收资本收益率（%） | |  | |  | | 近2年现金流量（万元） | |  | |  | | | | | | | | | | | |
| 研  发 概 况 | 研发人员数量 | |  | | 上年度研究开发经费投入（万元） | | | | |  | |
| 上年度研究开发经费投入与主营业务收入的比（投入强度，%） | | | | | | | | |  | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 获得发明专 利数量（项） |  | 获得国际发明 专利数量（项） |  | 软件著作权（项） |  | | | | | | | | | | | |
| 制定国内标准（项） | | | |  | | 制定国际标准（项） | | | |  |

二、参与单位、团队的选择原因及其优势

限1000字以内

申请者团队依托核探测与核电子学国家重点实验室平台，在粒子物理实验ASIC芯片和读出电子学系统研究方面有丰富的经验积累。曾参加北京谱仪（BESIII）、高海拔宇宙线观测站（LHAASO）、低温高密核物质测量谱仪（CEE）等大科学装置项目建设，负责其中关键探测器电子学研制，并作出重要贡献。

三、相关的国际合作与交流

说明申报团队现有的国际科技合作交流基础和渠道、主要合作对象、合作领域、合作方式和合作成果等内容，限1000字以内。

申请者团队曾参与ATLAS国际合作，在其中与密歇根大学合作，在读出电子学芯片研制领域，完成了MDT TDC ASIC的研制。在本项目研究中，针对好于100ps像素探测器读出电路设计，已与伯克利建立了合作关系。

**第四部分 进度安排**

包括项目主要研究任务的研发进度、年度及重点节点（“里程碑”）安排、中期目标等。鼓励重大共性关键技术和应用示范研究类项目，采用甘特图等图表细化描述，限2000字以内。

2024年度：

硅微条：完成传感器与读出芯片的关键性能测试。通过模块站点考核，开始制备长硅微条模块。系统联调准备阶段; 与英国卢瑟福实验室合作完成多桶板小系统联调测试，积累测试经验。在CERN开展系统集成点准备工作，包括搭建桶板接收测试系统等重要工作。

时间像素：完成文献调研，分析并明确设计需求，确定具体技术路线，完成像素探测器传感器与前端电子学整体架构设计和功能模块划分；

2025年度：  
硅微条： 测试传感器、芯片在不同辐照条件下的性能表现，参与批量生产阶段可靠性测试; 制备长硅微条模块。开始接收、测试运往 CERN 的首批桶板，完善工作流程。  
时间像素：传感器完成第一版设计。电子学进行第一版原型验证电路设计；

2026年度：

硅微条：完成制作长硅微条模块，开始制作短硅微条模块。中国组生产的硅探测器模块将在英国卢瑟福实验室加载到桶板上，完成测试后运往CERN安装点。通过接收测试后，加载桶板集成到桶部探测器。  
时间像素：传感器完成第一版测试。电子学完成第一版原型验证电路性能的仿真验证；

2027年度：

硅微条：完成制作短硅微条模块。分阶段封闭桶部探测器，参与联调测试。

时间像素：传感器进行第二版设计。电子学完成第一版原型电路的性能评估测试；根据第一版电路的评估结果，优化电路结构和参数，完成第二版电路的设计和仿真；

2028年度：

硅微条：完成联调测试，参与系统早期运行。

时间像素：完成像素探测器传感器与前端电子学的性能评估测试，完成技术设计文档的撰写，总结经验。

**第五部分 项目组织实施、保障措施及风险分析**

一、项目组织实施机制

包括项目及课题的内部组织管理方式、协调机制等，限1000字以内。

二、保障措施

项目实施的政策、组织和资源支撑条件，限1000字以内。

三、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

限1000字以内。

四、风险分析及对策

从技术风险、市场风险、政策风险等几个方面分析项目实施可能面临的风险并提出对策。