

中国科学院深圳先进技术研究院

研究生联合培养项目需求表

联 培 项 目 编 号: FSNEU-2026-SZXJY-22

联 培 项 目 名 称: 钙钛矿 X 射线探测器

联 培 单 位: 中国科学院深圳先进技术研究院

项 目 负 责 人: 巫皓迪

联 系 电 话: hd.wu2@siat.ac.cn

单 位 负 责 人: 梁 栋

联 系 电 话: 0755-86392250

东北大学佛山研究生创新学院

填表说明

- 1、 本表由联合培养基地填写，务必保证信息全面准确。
- 2、 联合培养基地每年 3 月前将本表交于东北大学佛山研究生创新学院，用于本年度接收联合培养研究生。
- 3、 一份需求表只能填写一个项目，且需求表上交后原则上不允许取消或更改。
- 4、 联培项目编号为：东北大学佛山研究生创新学院简称佛山研究生创新学院，简称代码-FSNEU、年份-202X、基地名称简称代码-XXX(美的集团中央研究院简称美的中研院，简称代码 MDZYY)、本基地本年度项目序号 X X，例如：
FSNEU-2026-MDZYY-1。
- 5、 各栏目内容可续页。

东北大学佛山研究生创新学院联培基地项目需求表

项目编号	FSNEU-2026-SZXJY-22	项目名称	钙钛矿 X 射线探测器
联培课题方向	辐射探测器制备与优化		
所需研究生专业方向	化学工程、材料工程		
需求人数	2		
岗位要求	<div>1. 进行钙钛矿多晶膜或单晶制备与优化、辐射探测器件性能表征与优化、半导体材料与面阵读出电路集成等相关工作。</div> <div>2. 光学工程、材料科学、电子科学与技术等相关专业领域。</div> <div>3. 热爱科研、勤奋努力，有良好的团队协作精神和沟通协调能力。</div> <div>4. 良好的英文阅读及写作能力。</div>		
项目简介			
<div>一、项目背景：</div> <p>医学影像装备对现代医疗至关重要，其性能直接影响诊断准确性与治疗规划。其中，CT 扫描因其速度快、应用广，已成为全身疾病筛查的主要手段之一。然而，CT 所使用的 X 射线具有电离辐射，可能带来健康风险，尤其对儿童与孕妇。因此，发展高灵敏度探测器以实现低剂量、高质量成像是行业重要方向。</p> <p>当前 CT 探测器主要分为间接式与直接式。间接式转换效率低、易串扰；直接式则转换效率高、分辨率好，代表未来方向。然而，现有直接式材料如非晶硒吸收能力弱、电荷收集效率低；碲化镉成本高、难大面积制备，均难以满足临床需求。</p> <p>近年来，钙钛矿材料因其高 X 射线吸收系数、高载流子迁移寿命积及溶液法制备优势，被视为理想的新型直接式探测材料。但其在大面积厚膜制备中仍面临均匀性差、缺陷多、与读出电路集成困难及应力匹配等问题，制约了其在能谱 CT 等高阶成像中的应用突破。</p>			
<div>二、研究现状：</div> <p>制备均匀致密的大面积钙钛矿厚膜是实现高性能探测器的前提。当前主流技术均</p>			

面临瓶颈：例如，加州大学圣地亚哥分校通过外延法生长出 $5.5 \times 5.5 \text{ cm}^2$ 单晶膜，但厚度仅 $20 \text{ }\mu\text{m}$ 且难以放大；埃尔朗根-纽伦堡大学采用等静压法制得毫米厚晶圆，展示出大面积潜力，但后期与电路贴合的百平方厘米级对准仍是难题。最具前景的刮涂法虽可直接在电路上成膜，但韩国三星研究院的研究表明，其制备的 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 膜层因溶剂挥发产生孔隙，导致像素串扰，空间分辨率仅 3.1 lp/mm ，远低于理论值。团队前期发展的“刮涂+等静压”工艺提升了致密性，但像素均匀性仍不足。其根本原因在于过饱和浆料流变性差、颗粒易沉降，目前缺乏对此的系统调控研究。

钙钛矿厚膜中的缺陷严重制约器件性能。多晶膜与单晶器件的性能鸿沟即是明证：如多晶 MAPbI_3 面阵探测器的最高灵敏度 ($3.8 \times 10^3 \text{ }\mu\text{C Gy}_{\text{air}}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) 比单晶器件 ($3.5 \times 10^6 \text{ }\mu\text{C Gy}_{\text{air}}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) 低三个数量级，且其明显滞后 ($\sim 10\% @ 330 \text{ ms}$) 易引发成像伪影，与商用探测器差距显著。美国内布拉斯加大学的研究为缺陷分析提供了借鉴，指出在太阳能电池中，深度达 0.36 eV 的卤素填隙是关键有害缺陷。然而，在 X 射线激发的高能态弛豫下，严重影响探测器性能的深能级缺陷类型、浓度及分布尚未明确。因此，精确指认并开发针对晶内、晶界及界面缺陷的特异性钝化策略，是提升性能的核心。

能谱成像是 X 射线成像的前沿，能实现基于能量信息的彩色成像，显著提升物质区分度。目前该技术多采用双层闪烁体探测器分别捕获高低能射线，尚无基于直接式平板探测器的集成系统，各层参数优化与层间精密集成方法均属空白。通过本项目研究，有望在国际上率先构建基于钙钛矿直接式平板探测器的能谱成像系统，推动其在医学等领域的应用，实现技术领先。

三、关键性问题或技术：

(1) 大面积、高均匀性集成工艺及浆料流变性质控制机理。面向探测器所需的大面积厚膜，关键在于揭示刮涂所用过饱和浆料的流变与稳定机制。需阐明浆料中晶粒、中间体与溶剂的相互作用，以及溶解-析出平衡如何影响成膜均匀性与晶粒尺寸。同时，揭示退火过程中晶粒生长、融合规律及其与缺陷形成的关系，为高质量厚膜制备提供理论依据。

(2) X 射线敏感缺陷精准分析及特异性钝化机制。缺陷是限制探测器电荷收集效率与响应速度的核心。需探究在高压 X 射线激发下，钙钛矿晶格的扰动如何影响缺陷形成及载流子捕获过程。在此基础上，研究路易斯酸碱等钝化分子与特定缺陷的配位机制，阐明其如何抑制离子迁移与非辐射复合，以提升器件灵敏度与稳定性。

<p>(3) 钙钛矿双层能谱探测器与成像系统构建。为实现能谱 CT 成像，需解决基于直接式半导体的双层探测器构建难题。核心在于协同优化上下两层的材料厚度、电场强度及能谱响应，明确不同能量 X 射线的吸收与电荷收集规律。同时，需开发配套的双通道高速读出电路与能谱图像重建算法，最终集成验证其多能谱成像性能。</p>			
<p>四、预期目标：</p> <p>1. 调控印刷钙钛矿溶液的化学与流变特性，开发“刮涂+等静压”协同工艺，制备高性能、大面积平板探测器。</p> <p>2.构筑多层能谱探测器，实现空间分辨率>7 lp mm⁻¹的高清成像，并完成多能谱 X 射线医学影像的系统验证。</p>			
<p>项 目 负 责 人 项 目 经 历</p>			
起止时间	项目名称	主要内容	
202501-202812	面向光子计数 CT 的侧入射钙钛矿 X 射线探测器	设计并制备新型结构的侧入射钙钛矿光子计数探测器。	
202501-202912	融合“时空-能量”标定模型的能谱 CT 关键问题研究	设计并制备双层 X 射线平板探测器，实现能谱 CT 成像。	
<p>工 作 计 划 安 排（2026. 7-2028. 4，共 22 个月）</p>			
序号	起止时间	阶段内容	工作量估计（天）
1	2026. 7-2027. 2	钙钛矿大面积厚膜制备工艺研究	150
2	2027. 3-2027. 10	钙钛矿缺陷分析与钝化机制，提升材料性能	160
3	2027. 11-2028. 4	钙钛矿双层能谱探测器构建及成像系统验证	150