

应用于能量分辨中子成像的探测器研制

杨文钦^{1,2}, 周健荣^{1,2,*}, 杨建清^{1,2}, 蒋兴奋^{1,2}, 孙志嘉^{1,2}

1.中国科学院高能物理研究所

2.散裂中子源科学中心

*通讯作者: zhoujr@ihep.ac.cn



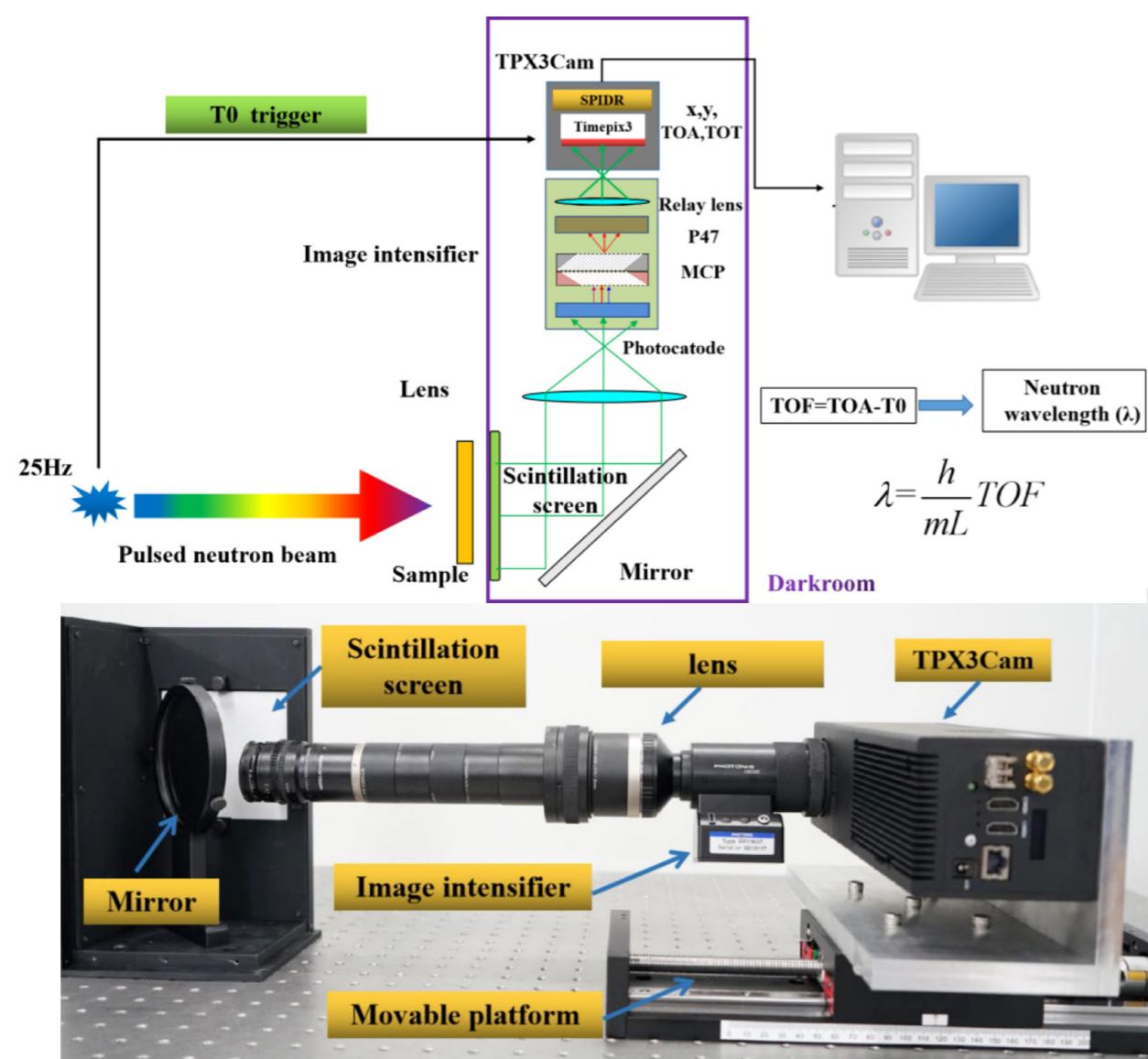
研究背景

中子成像技术是一种重要的无损检测技术,高空间分辨中子成像^[1,2]和能量分辨中子成像^[3]是中子成像技术发展的两个重要方向。随着中子源技术及成像方法学的快速发展,将高空间分辨和能量分辨中子成像,特别是与布拉格边中子成像结合起来,同时测量材料内部的形貌特征、残余应力和织构,已成为中子成像技术未来发展的趋势。该技术可以为航空航天装备、新能源与新材料开发等领域提供一种全新的研究手段。实现这一技术核心器件是具有能量分辨能力的中子成像探测器。基于此,依托中国散裂中子源,结合飞行时间方法,基于快时间分辨相机(TPX3Cam)^[4]和像增强器,研制了可应用于能量分辨中子成像的探测器。

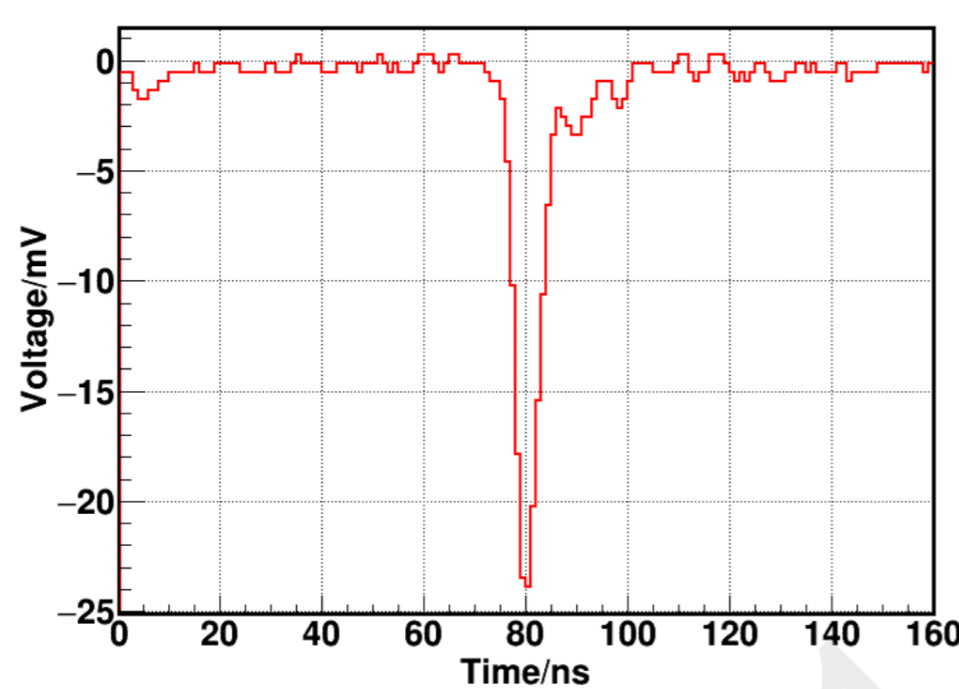
探测器原理

该探测器主要由闪烁屏(GOS和ZnS/LiF)、反射镜、高放大倍数镜头、像增强器和TPX3Cam相机组成。中子在闪烁屏上被吸收并发出荧光,发出的荧光经过反射镜、镜头并在像增强上进行信号的放大后最终被TPX3Cam相机记录信号的位置和到达时间,以实现中子的探测。而由于散裂中子源是加速器脉冲靶源,利用飞行时间技术(TOF)和TPX3Cam相机记录的中子信号时间信息,实现中子的能量分辨。

探测器工作原理与设备装置



GOS闪烁屏中子信号波形



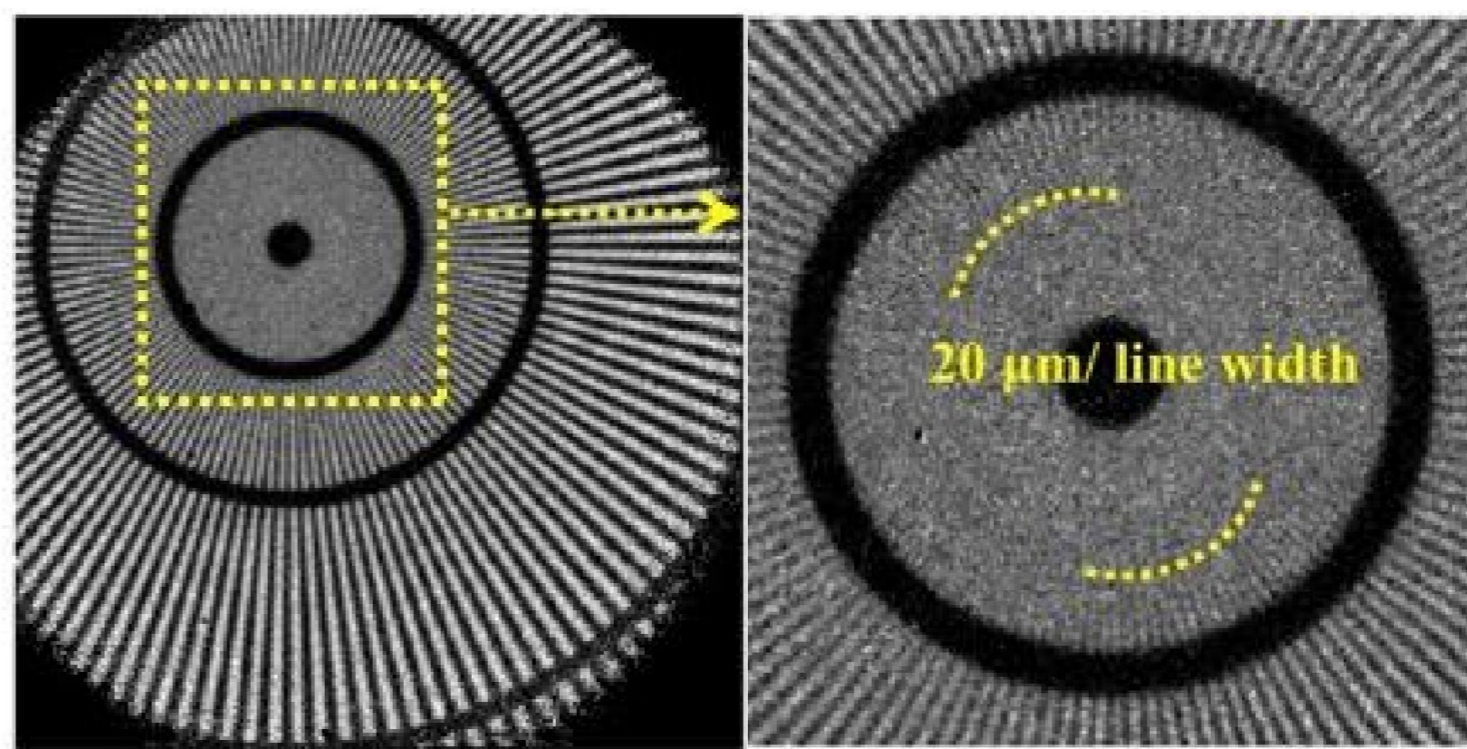
利用光电倍增管(PMT)在中子源上测试了GOS闪烁屏典型中子信号波形约为60ns,显示具有非常快的时间响应,而相机每像素读出的死时间约为1μs,因此探测器最终对中子测量的时间分辨也约为1μs。

实验结果

探测器系统搭建完成后,在散裂中子源测试束线(BL20)和小角谱仪(SANS)开展了探测器空间分辨测试、中子能谱测试、能量选择中子成像和不锈钢样品的布拉格成像。

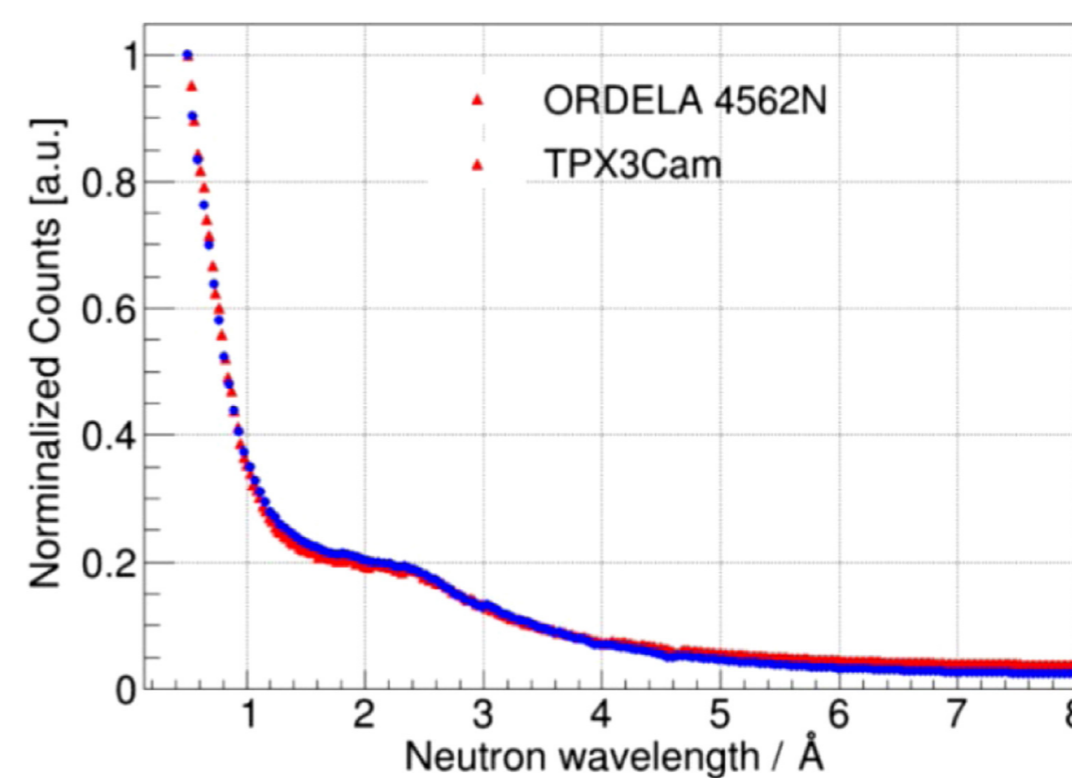
探测器空间分辨

事例模式下,探测器空间分辨达到约20μm。



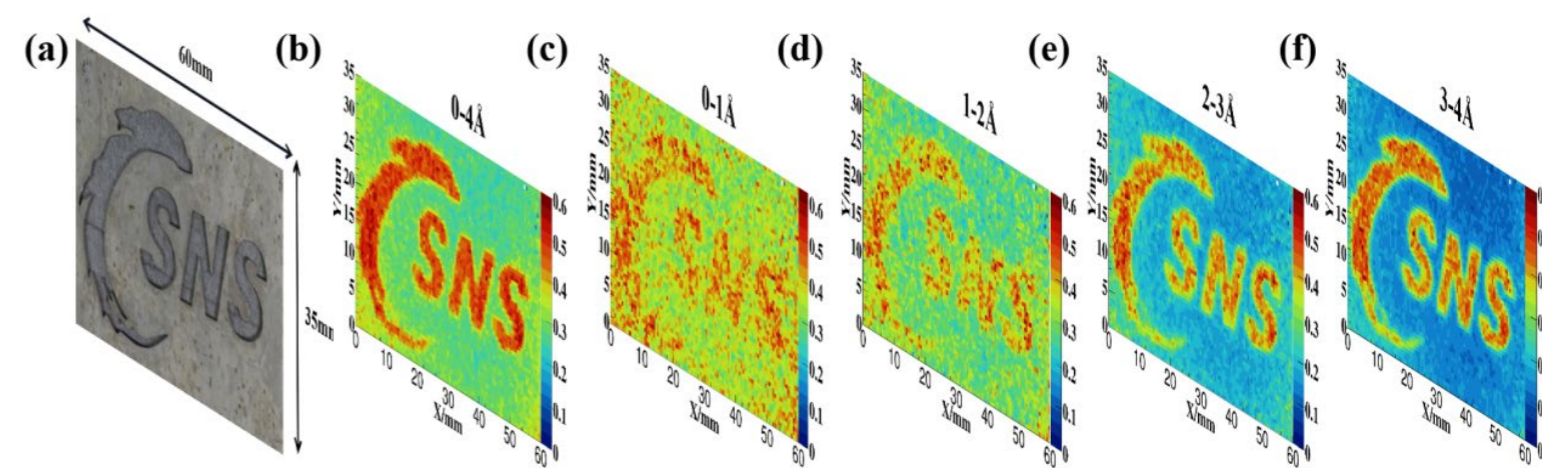
探测器中子能谱

TPX3Cam相机采用事例模式读出,时间分辨好于1us,结合飞行时间方法,可实现中子波长分辨 $\Delta\lambda/\lambda \sim 1\%$ 。该探测器中子能谱与中子监测器结果一致。



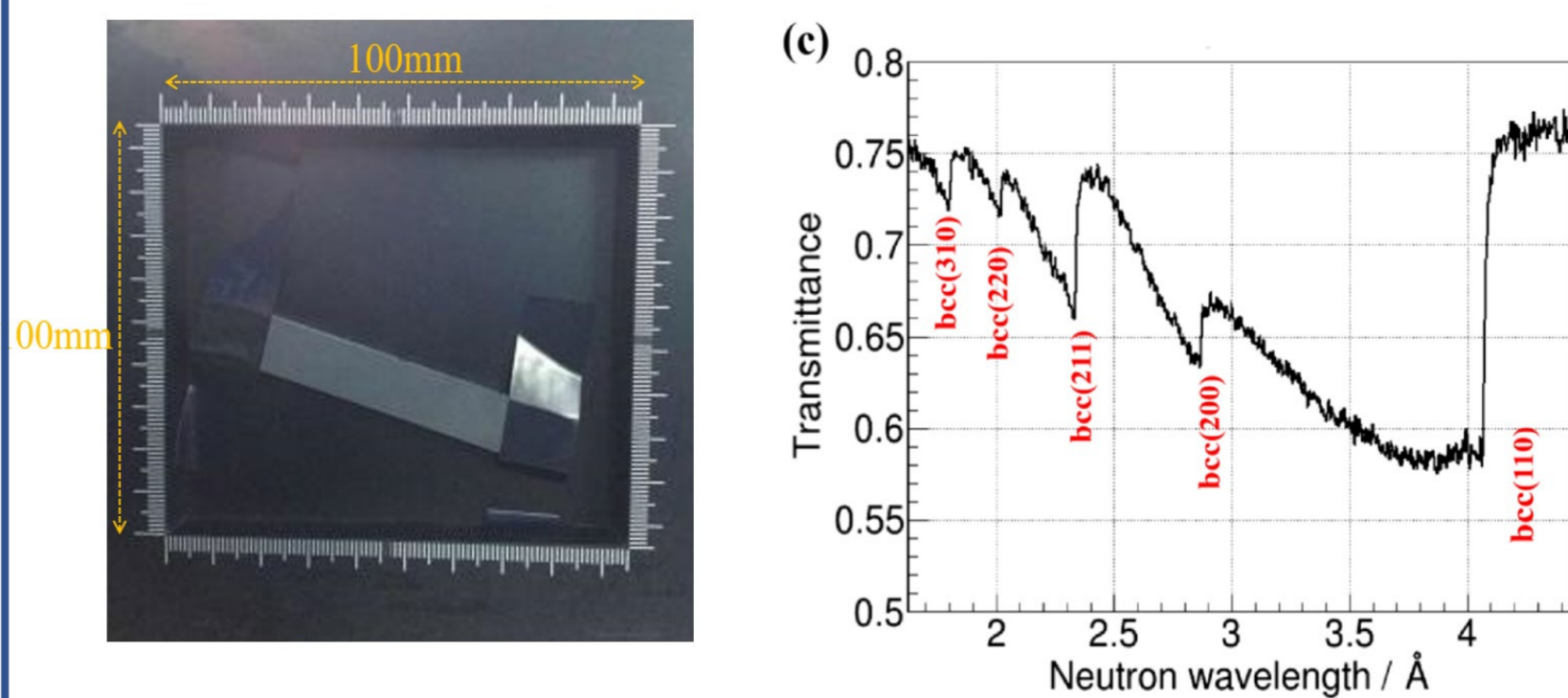
Cd 测试靶的能量选择中子成像

0-4Å不同波长范围对Cd测试靶透射成像



不锈钢样品的布拉格成像

不锈钢样品的布拉格边位置与理论符合。



总结与下一步计划

总结

■ 该探测器在实现时间分辨好于1μs,实现约1‰中子波长分辨,且探测器的空间分辨好于20μm。

计划

□ 探测器的空间分辨和时间分辨性能受闪烁屏、光路系统、像增强器、相机等各部分器件参数的综合影响,计划通过中子束流实验进一步优化,继续提升探测器性能,实现微米级甚至亚微米级空间分辨。

参考文献

- [1] JIANG X, XIU Q, ZHOU J, et al. Study on the neutron imaging detector with high spatial resolution at China spallation neutron source [J]. Nucl Eng Technol, 2020.
- [2] PAN H, LIU Q, CHEN X, et al. Fabrication and properties of Gd₂O₃:Tb scintillation ceramics for the high-resolution neutron imaging [J]. Opt Mater, 2020, 105(109909).
- [3] YANG J, ZHOU J, JIANG X, et al. A novel energy resolved neutron imaging detector based on a time stamping optical camera for the CSNS [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2021, 1000(165222).
- [4] NOMEROTSKI A, CHAKABERIA I, FISHER-LEVINE M, et al. Characterization of TimepixCam, a fast imager for the time-stamping of optical photons [J]. Journal of Instrumentation, 2017, 12(01): C01017-C.