



# 快速可调谐Lyot滤光器及其在一米新真空太阳望远镜上观测

报告人：王希群

中国科学院云南天文台 天文技术实验室

# 目录

- 1 背景介绍
- 2 快速调谐滤光器设计
- 3 液晶相位延迟器定标
- 4 液晶滤光器的波长定标
- 5 滤光器在望远镜上实测
- 6 总结

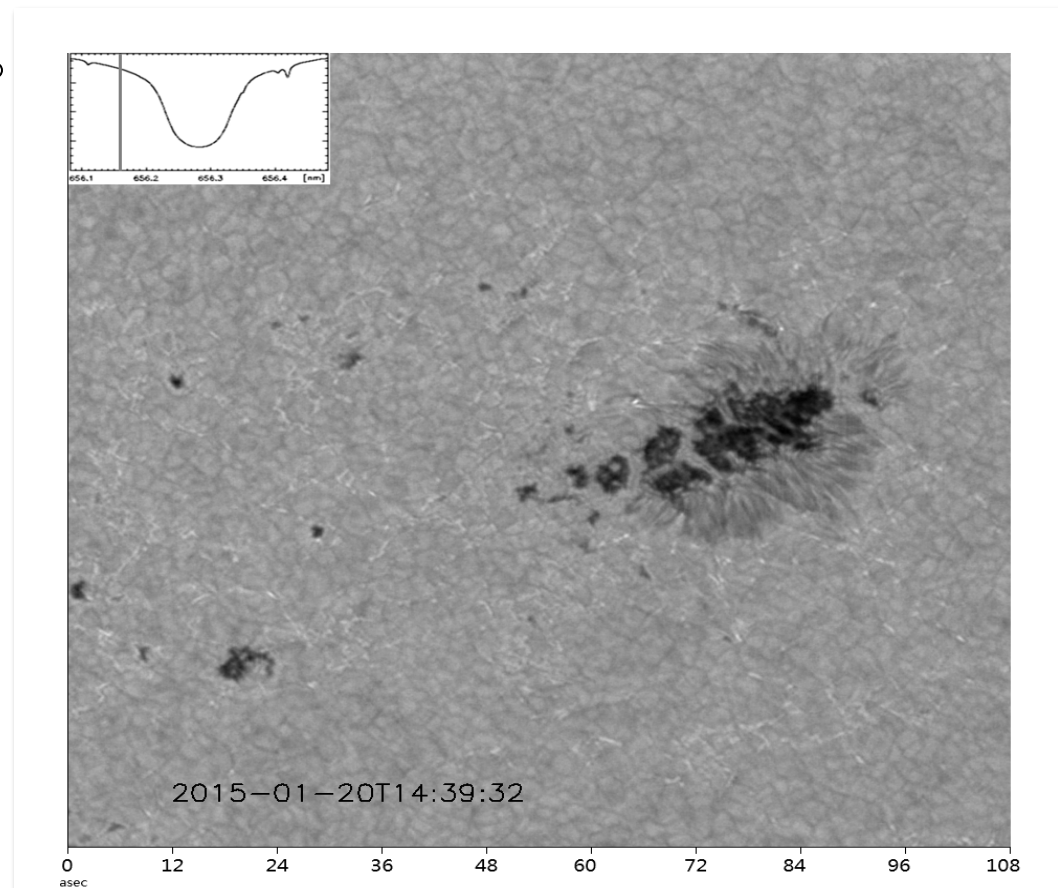
# 1 背景介绍

在地基大口径太阳望远镜上使用**成像成谱**的方式观测，便于图像高分辨重建及后续物理信息提取。

由于各波长图像需要扫描获得，为了尽可能减小大气湍流影响，滤光器调谐速度必须要**快**。

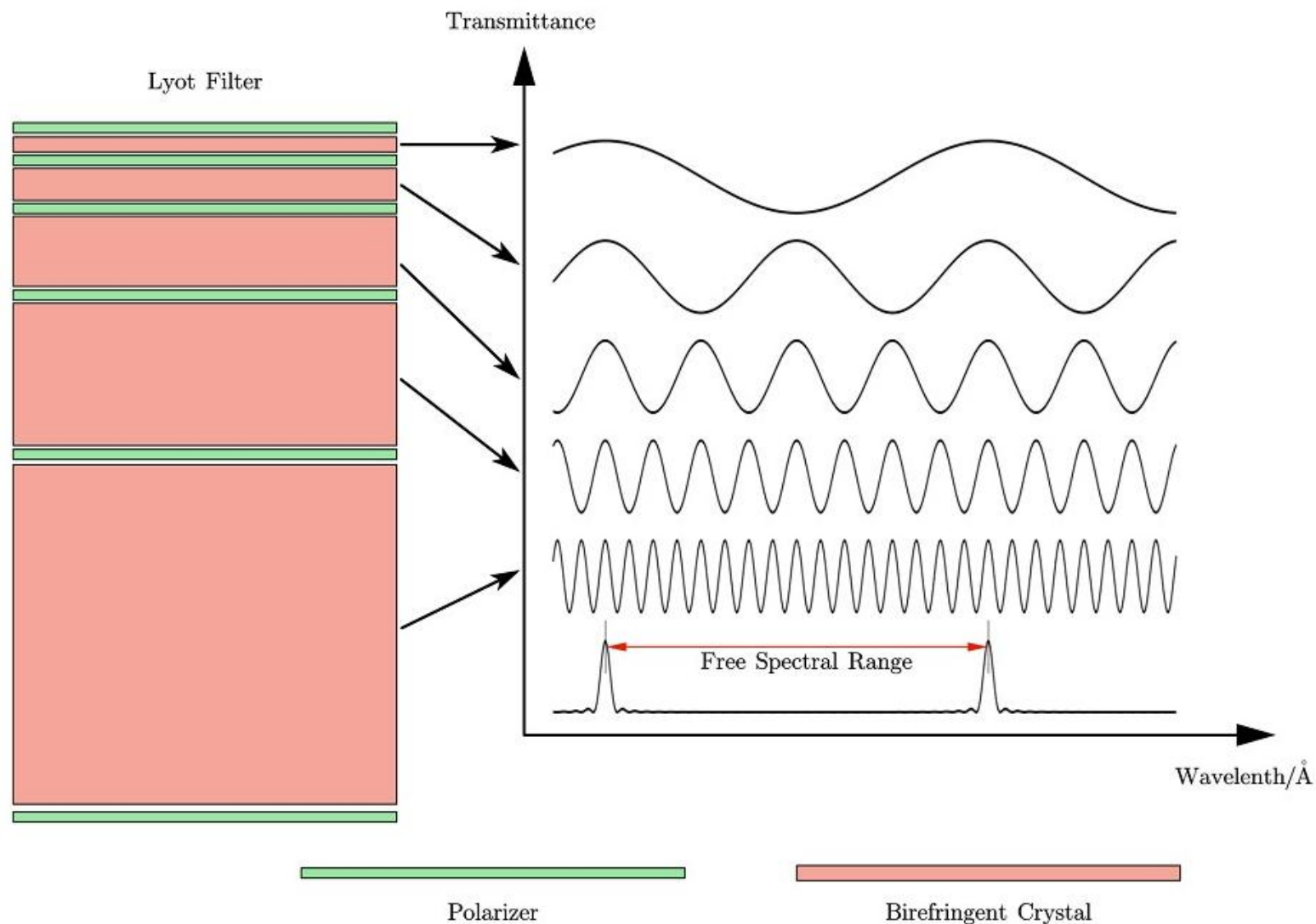
常用的窄带可调谐滤光器**波长切换时间3-5s**，太阳磁场等需要快速调谐滤光器。

如何提高可调谐滤光器波长调谐速度？



国内常用的可调谐滤光器通常由多级串联组成，通过控制各Lyot单元透过带波长，可控制整体透过率

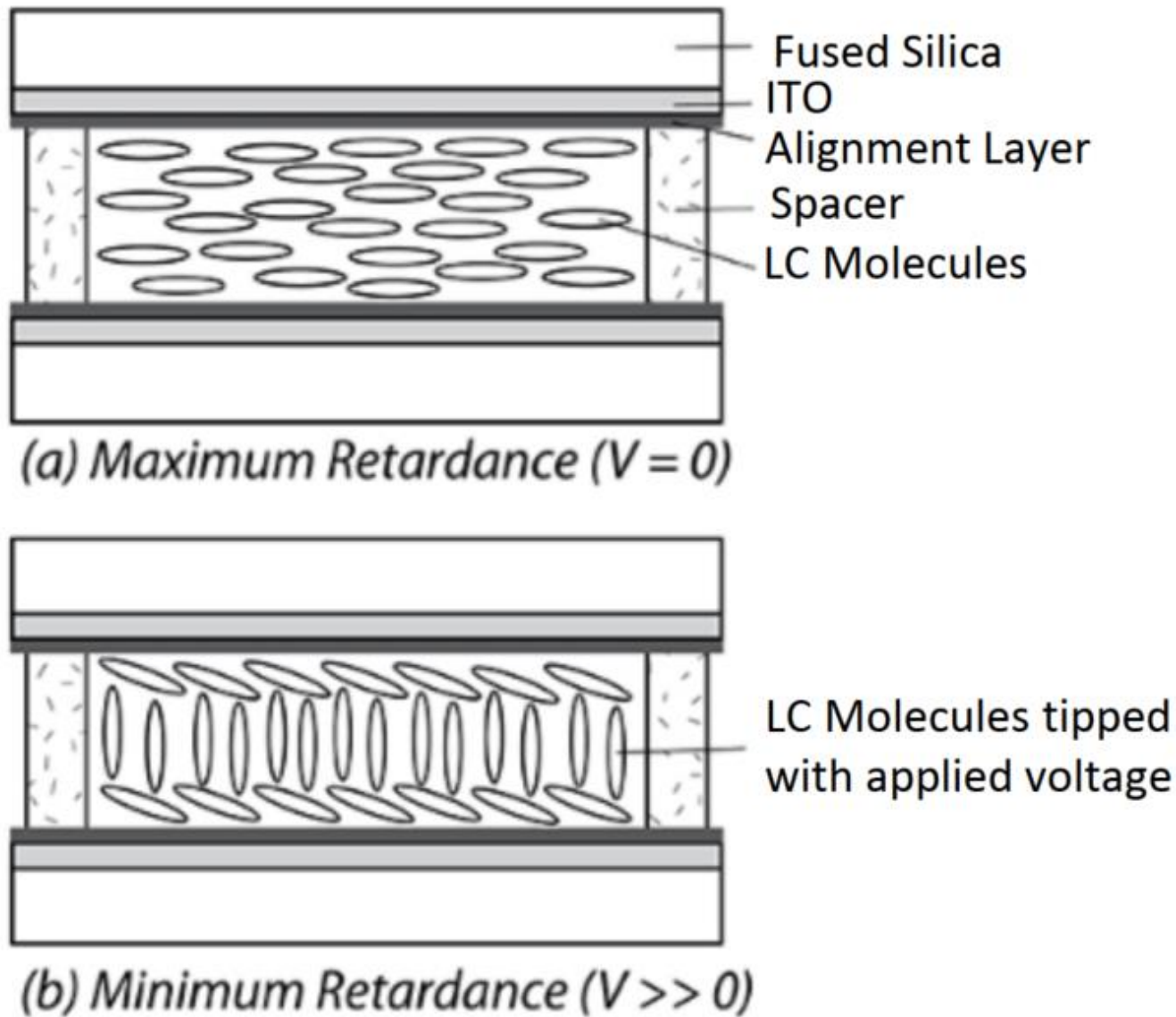
# 双折射滤光器原理



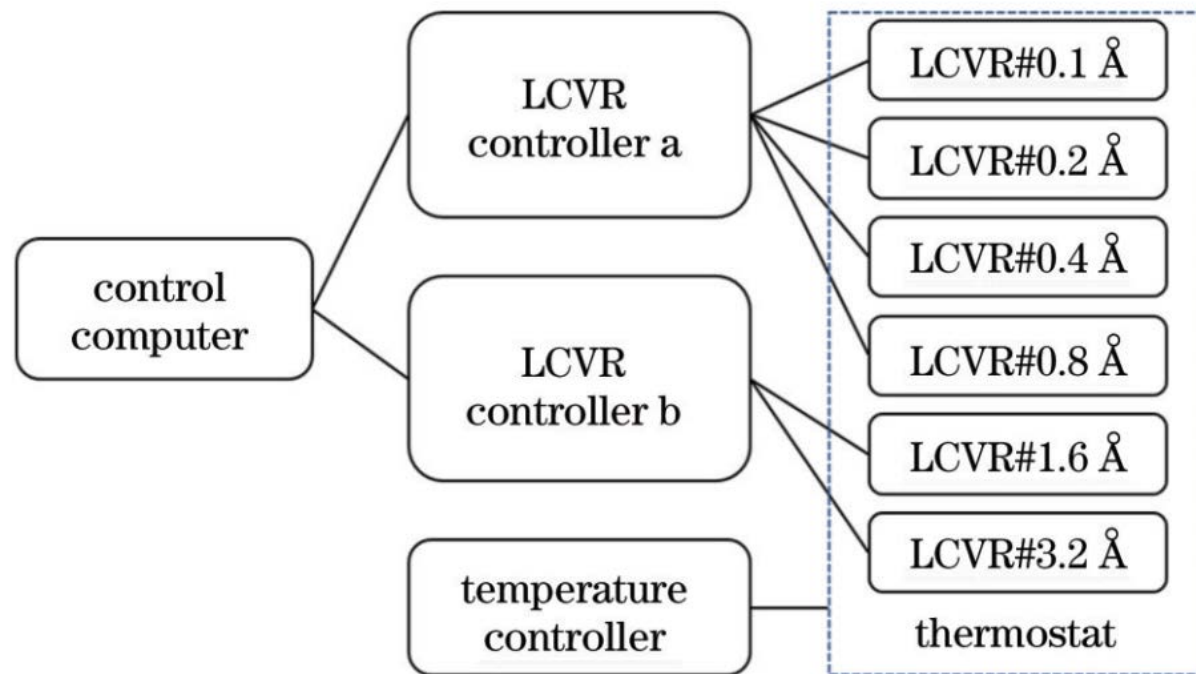
# 液晶相位可变延迟器

液晶相位可变延迟器（LCVR）是一种电光调制器件，具有调制速度快、无机械旋转、延迟量调节范围大且连续可调等优点。

利用液晶对 Lyot 滤光器透过带进行快速调谐是一种有效的方式，波长切换时间  $< 50\text{ms}$ 。



多级滤光器必须经过精准控制才可实现极窄透过带。0.1 Å的滤光器FWHM对其控制及标定提出了更高的要求。



多级液晶控制结构

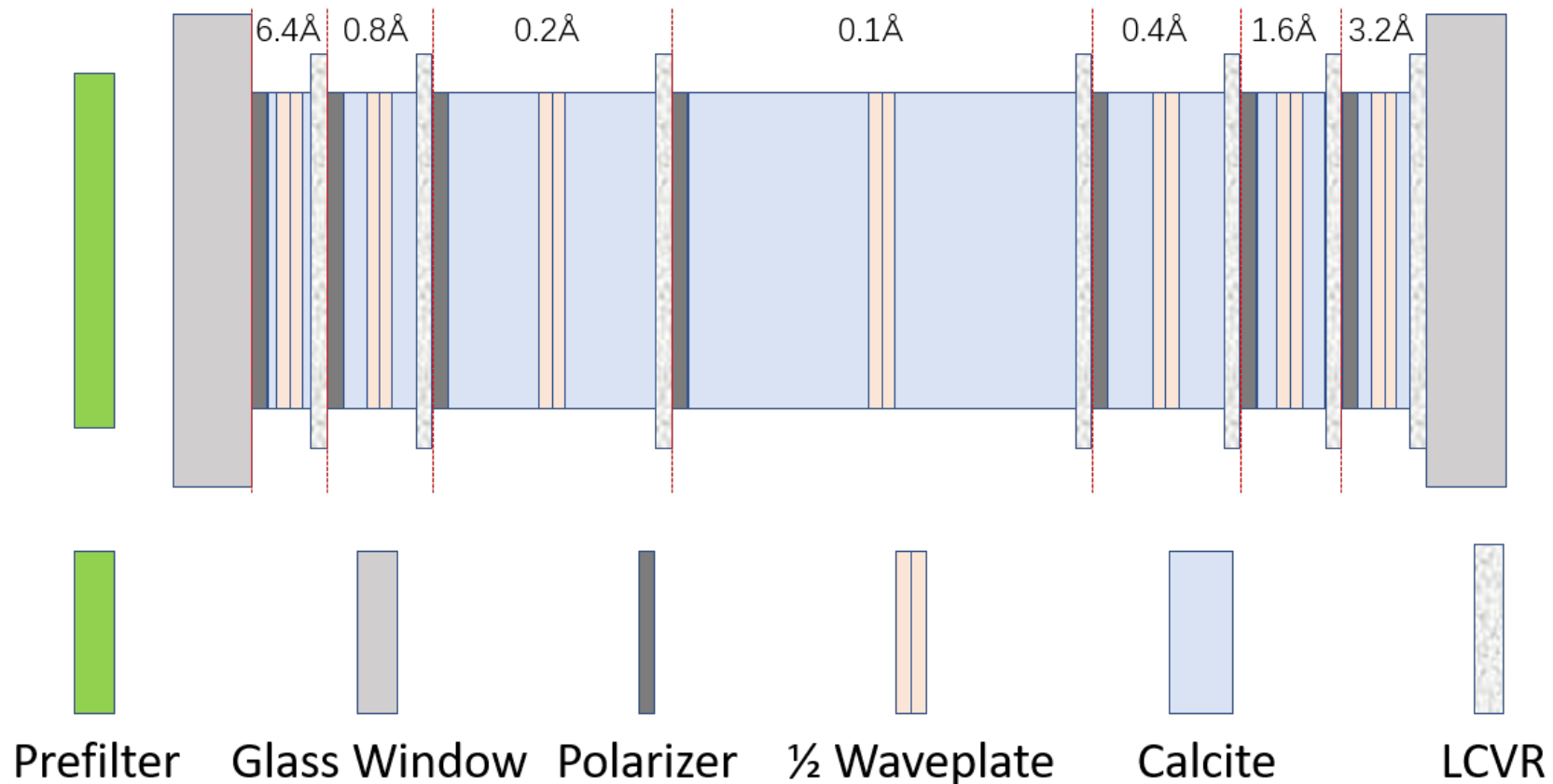


驱动电压与延迟量关系

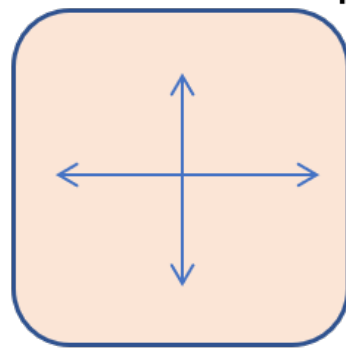
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{\pi d_0 (n_o - n_e)} \Delta\delta$$

## 2 快速调谐滤光器设计

# 液晶滤光器光学结构

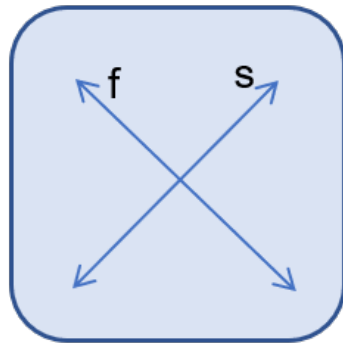


Polarizer / Waveplate



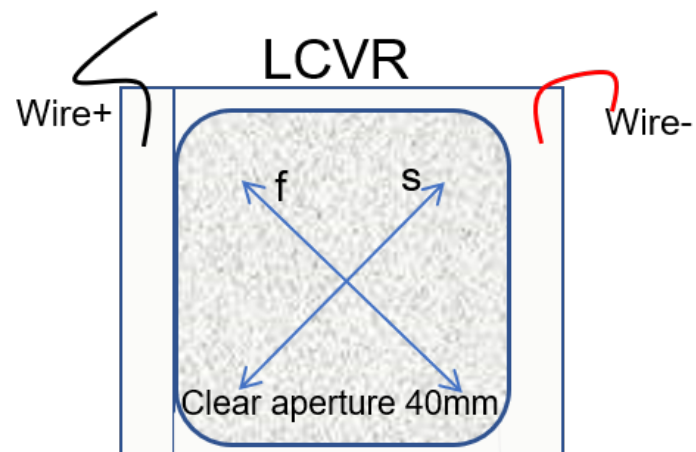
40mm

Calcite



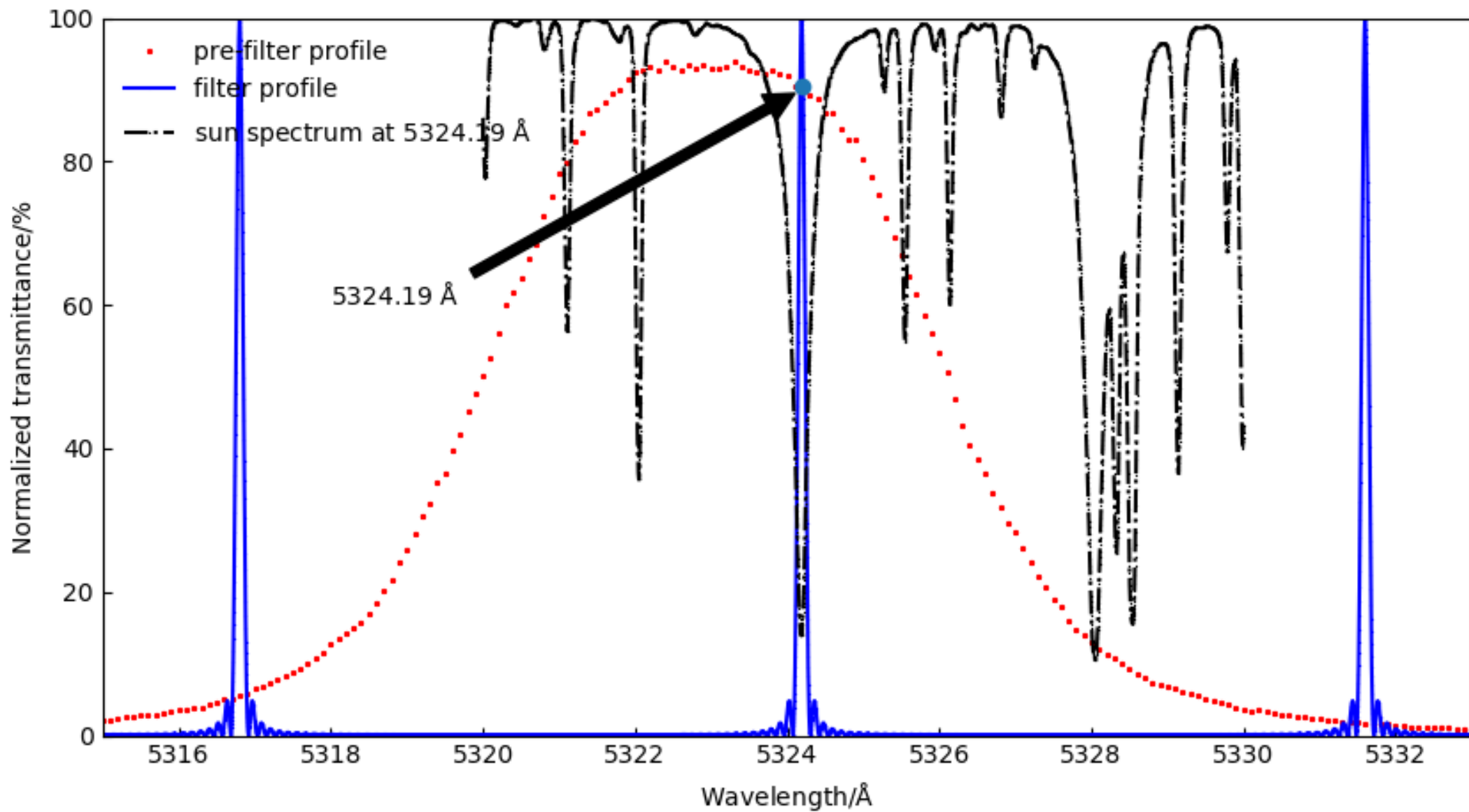
40mm

LCVR



50mm

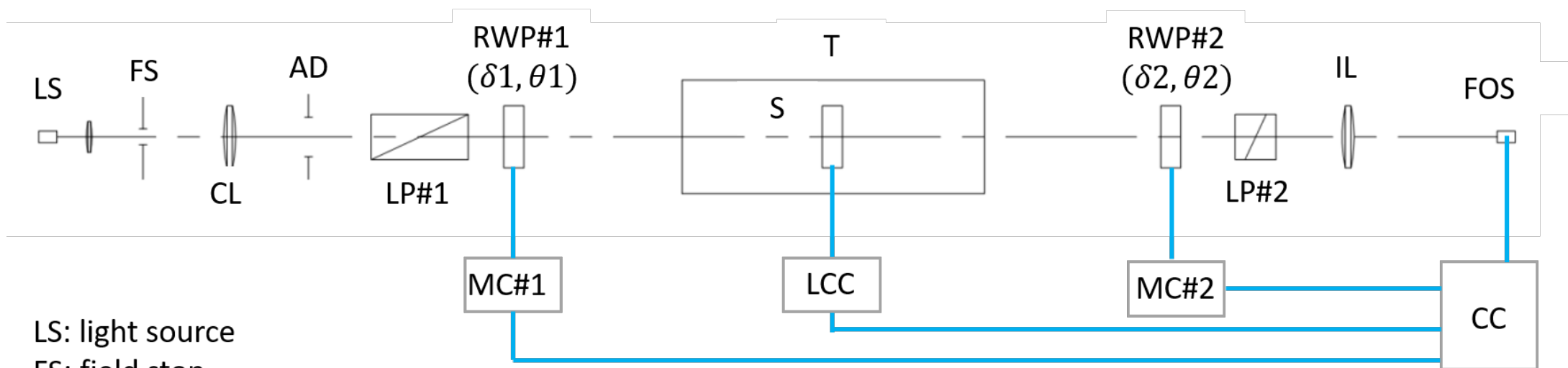
# 前置滤光片选型



前置滤光片选用超窄带硬膜滤光片，FWHM为6 Å

# 3 液晶相位延迟器定标

# 液晶波片测量系统



LS: light source

FS: field stop

CL: collimator lens

AD: aperture diaphragm

LP: linear polarizer

RWP: rotating wave plate

S: sample

T: thermostat

IL: imaging lens

FOS: fiber optic spectrometer

MC: motor controller

CC: control computer

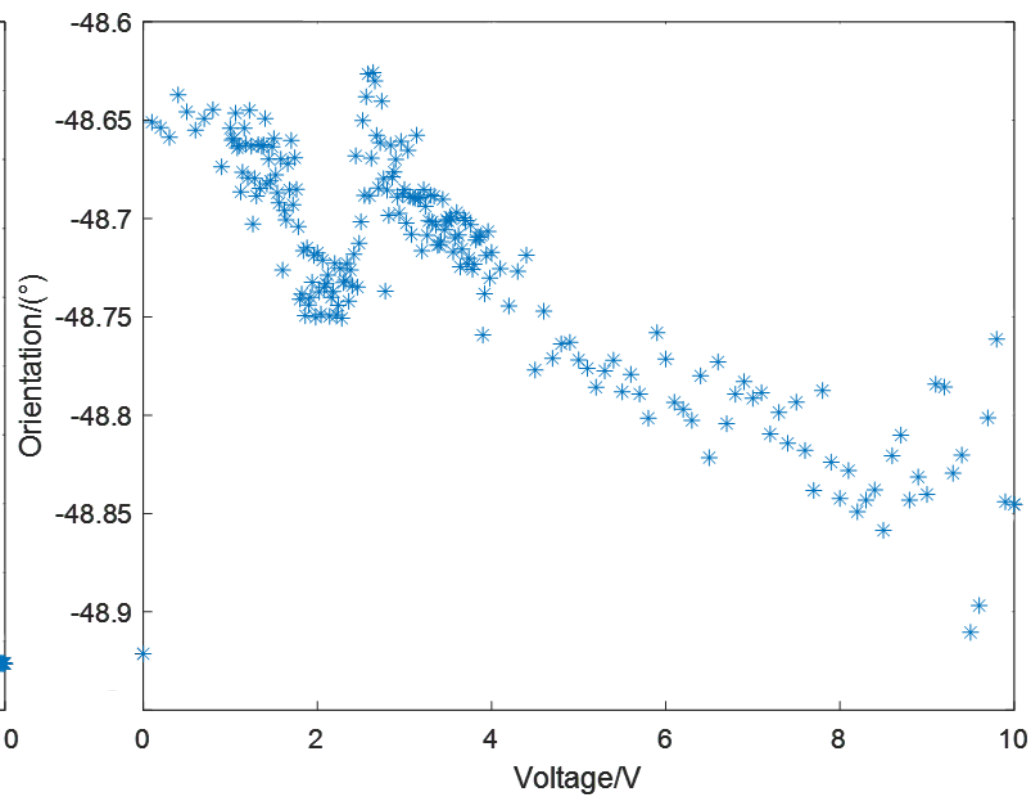
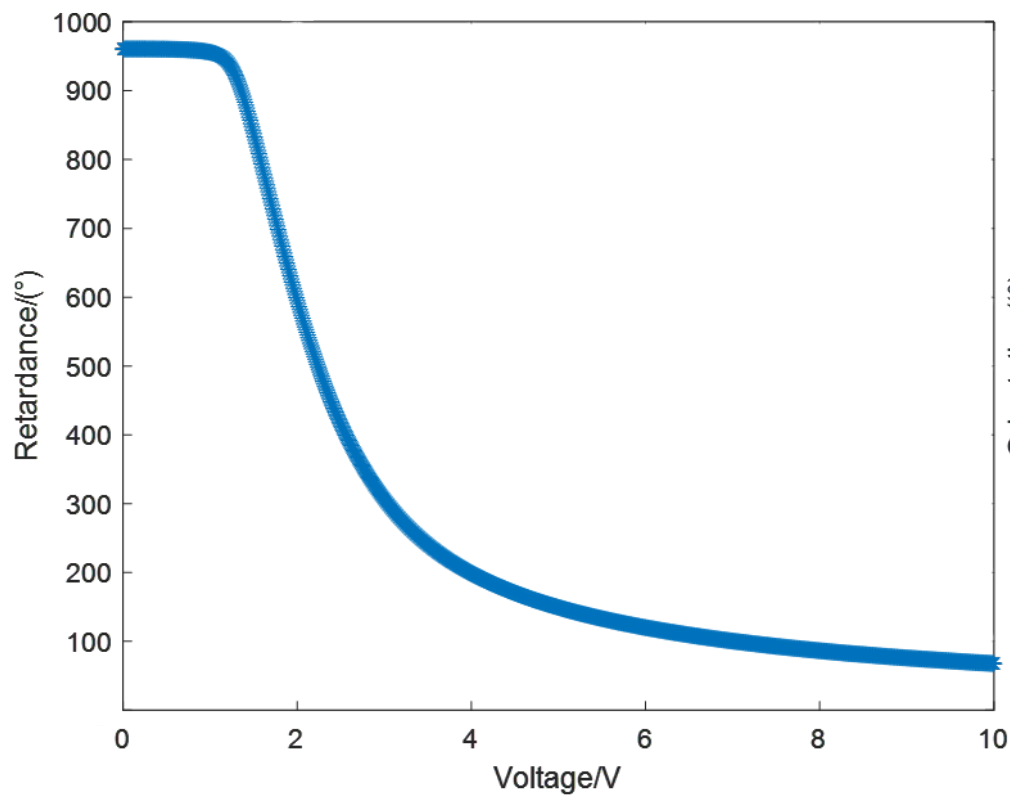
LCC: laser controller

基于双旋转波片的Mueller矩阵椭偏仪

$$I(\lambda, \theta_1, \delta_1, \theta_2, \delta_2) =$$

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0] \mathbf{M}_{LP1} \mathbf{M}_{RWP1}(\lambda, \theta_1, \delta_1) \mathbf{M}_S(\lambda) \mathbf{M}_{RWP2}(\lambda, \theta_2, \delta_2) \mathbf{M}_{LP2} [I_0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

# 液晶波片实测结果



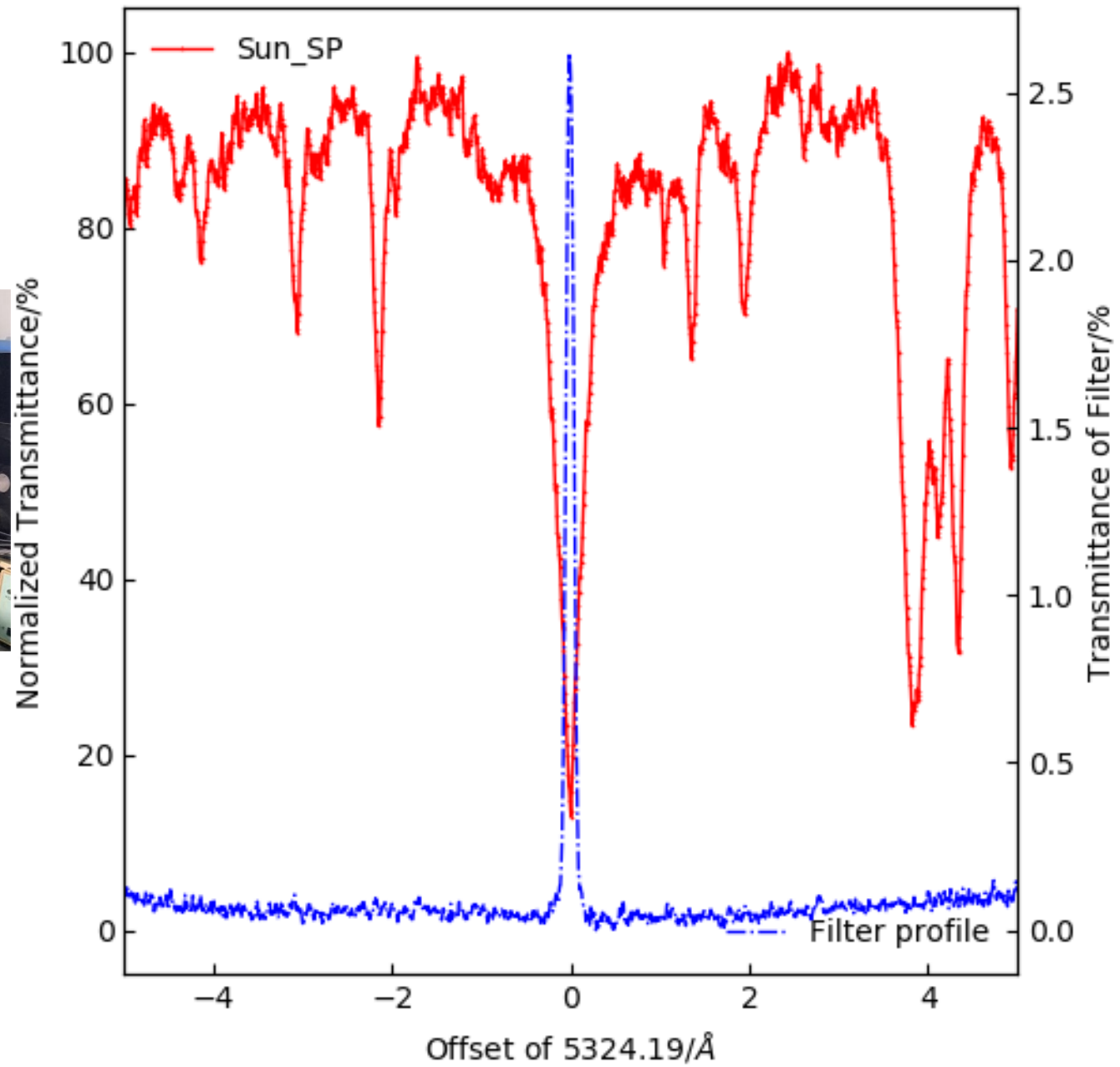
532.4nm波长处LCVR相位延迟量（左）及快轴方位角（右）

# 4 液晶滤光器波长定标

# 滤光器波长定标实验



波长定标实验



Offset of 5324.19/Å  
波长定标结果



存在仪器展宽的前提下估计滤光器实际FWHM？

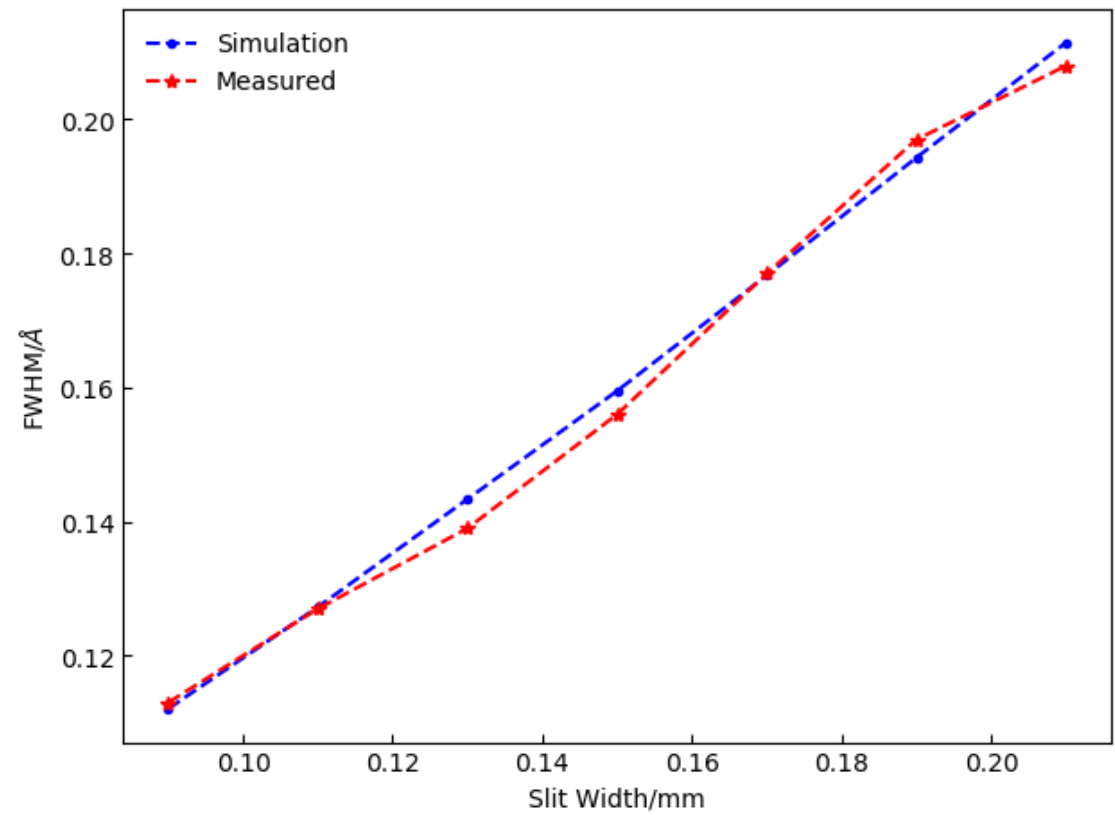
光栅光谱仪理论分辨率： $R_{SP} = \frac{wA}{sr}$

- $w$  为狭缝宽度
- $A$  为系统放大率
- $s$  为探测器像元尺寸
- $r$  为探测器光谱分辨率

仪器对滤光器FWHM展宽作用近似为几何平均关系：

$$FWHM_{SP} = \sqrt{R_{SP}^2 + FWHM^2}$$

滤光器FWHM确实为0.1Å



存在仪器展宽时实测及理论结果

滤光器半宽实测

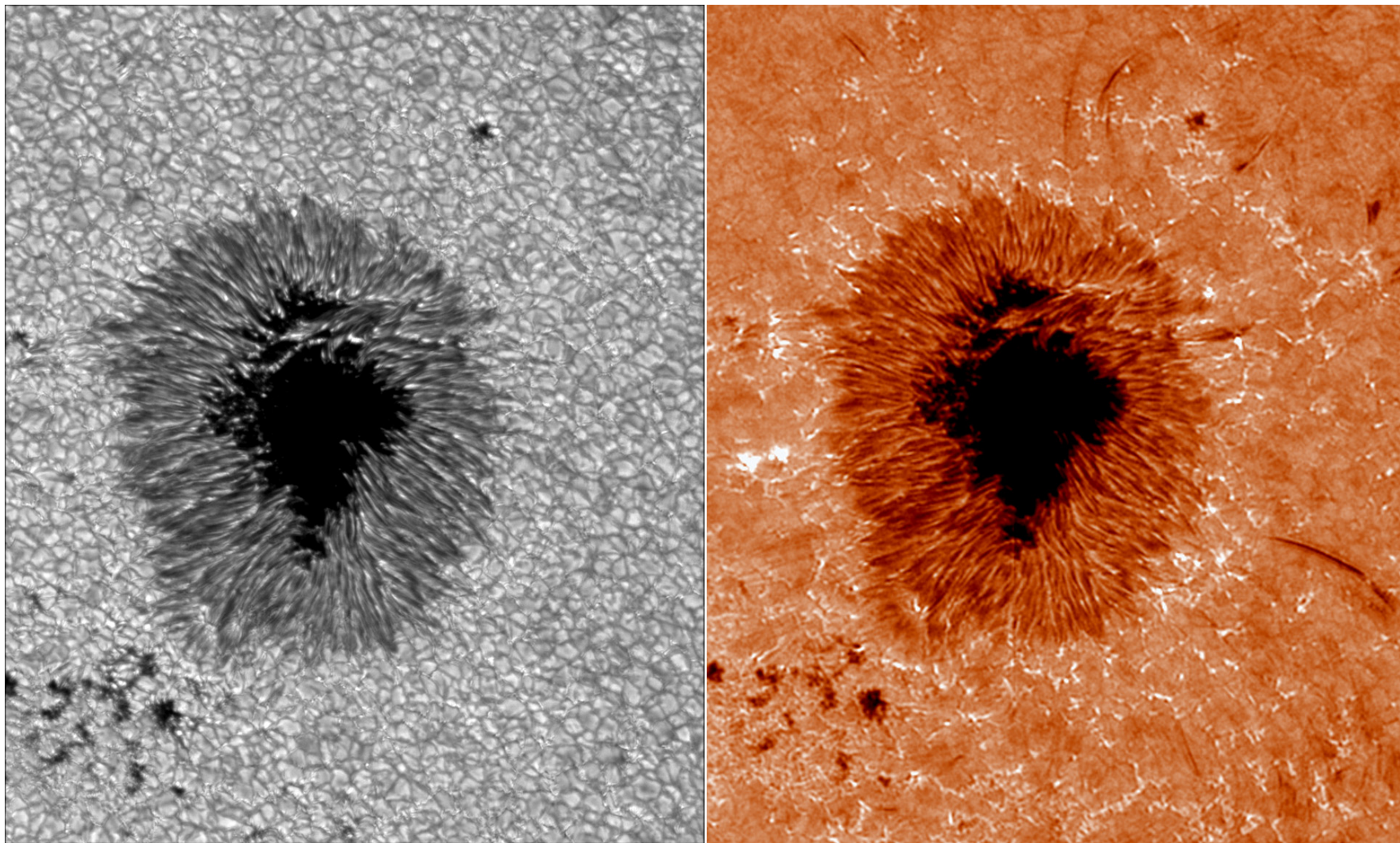
# 5 濾光器在望遠鏡上實測

# 一米新真空太阳望远镜

一米新真空太阳望远镜是云南天文台抚仙湖观测站主力观测设备，主要进行太阳高分辨率的太阳成像、光谱以及磁场观测。



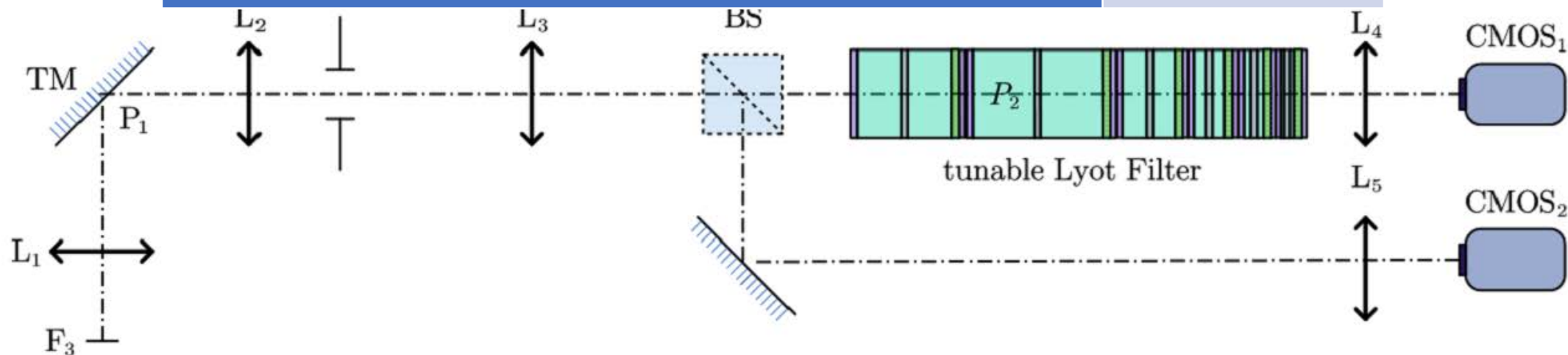
一米新真空太阳望远镜



The high resolution TiO & H-alpha(-0.07nm) images of AR11598

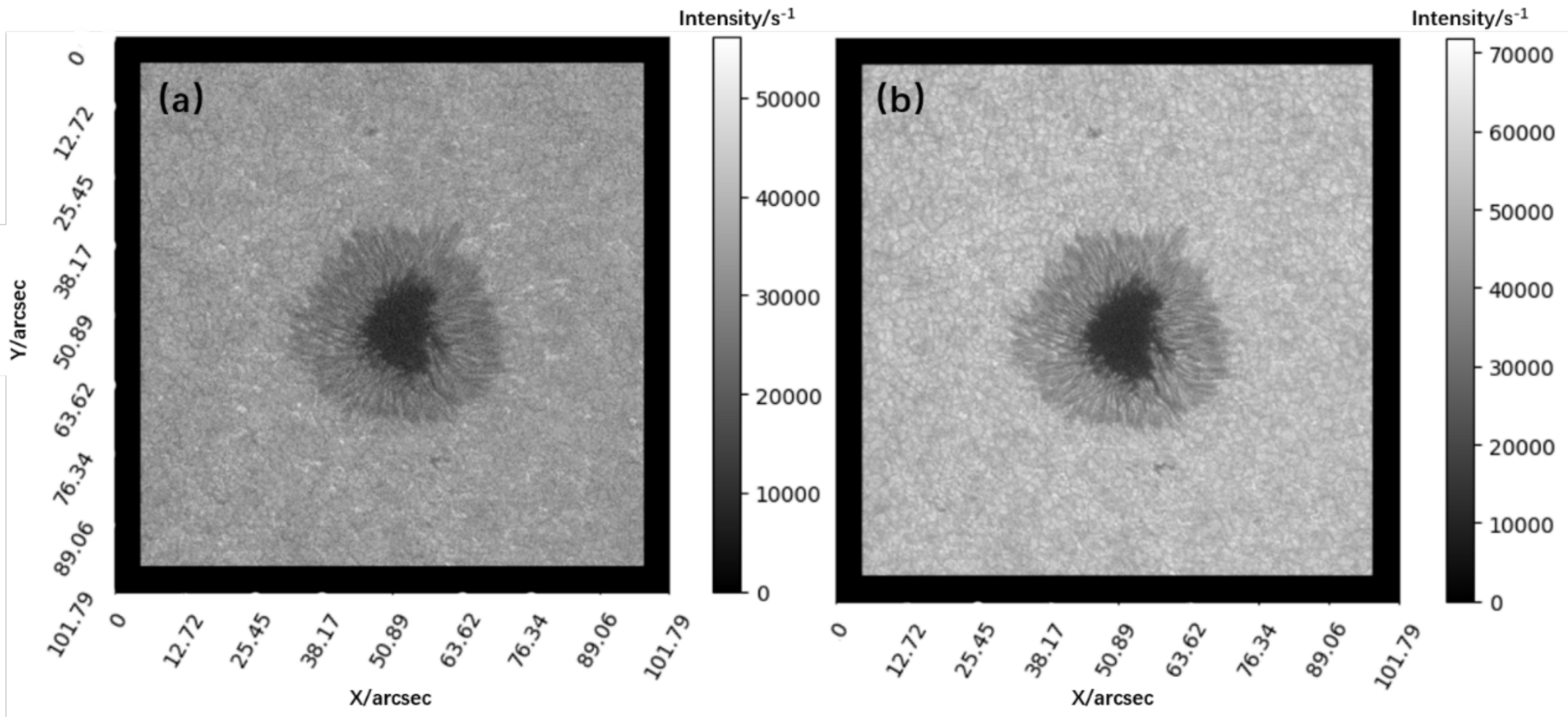
# 太阳大气谱线观测实验平台

Parameter	Value
Pixel resolution of narrow-band channel	0.0497"
Pixel resolution of broadband channel	0.0279"
FOV (field of view) of narrow-band channel	101.87"
FOV of broadband channel	57.12"
Exposure time	20–50 ms
Synchronization accuracy	1 $\mu$ s
Synchronous acquisition frame rate	30 frame/s



$F_3$ :coude focus of NVST,  $L_1$ :collimator 1,  $TM$ :tip – tilt mirror,  $P_1$ :pupil 1,  $L_2$ :converter lenses,  $FS$ :field stop,  $L_3$ :collimator 2,  $L_4$ : camera lenses,  $BS$ :beam splitter,  $P_2$ :pupil 2,  $L_4$ :image mirror 1,  $L_5$ :image mirror 2,  $CMOS_1$ :complementary metal oxide semiconductor 1,  $CMOS_2$ :complementary metal oxide semiconductor 2

# 谱线扫描观测

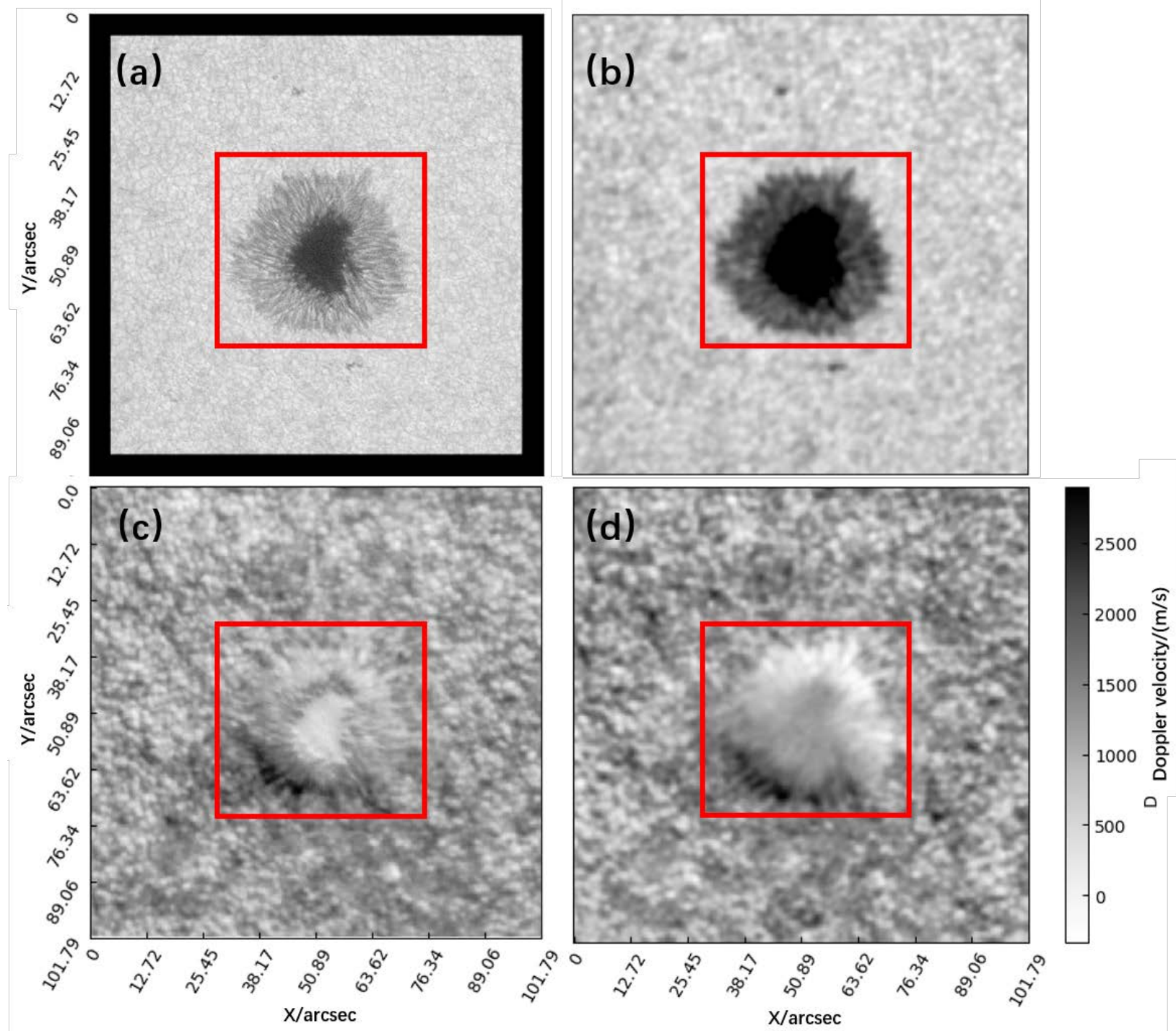


在 $5324.19 \text{ \AA}$ 处的太阳光球滤光图像。(a)线心；(b)线翼 $0.3 \text{ \AA}$ 单色像

# 太阳光球视向速度测量

利用快速调谐滤光器对太阳大气谱线进行扫描观测，由多波长观测数据计算得到视向速度结果。

实测视向速度与HMI结果对比。(a) NVST观测的太阳光球图像；(b) HMI观测的太阳光球图像；(c) NVST视向速度场；(d) HMI视向速度场



# 6 总结

成功研制了用于太阳光球磁场测量的6级液晶Lyot滤光器。经实测，滤光器的FWHM为 $0.1\text{\AA}$ ，中心波长为 $5324.19\text{\AA}$ ，波长切换速度小于 $50\text{ ms}$ 。

基于窄带滤光器，在NVST搭建了太阳光球窄带观测系统，在20220927UTC01:27，对NOAA编号为13110的活动区进行了观测验证。观测结果表明，该滤光器的谱线扫描速度和透过率半宽等参数满足NVST的太阳光球磁场和速度场高分辨率观测要求。

**谢谢！**