

同行专家业内评价意见书编号: 20240854174

## 附件1

# 浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名: \_\_\_\_\_ 嵇承

学号: \_\_\_\_\_ 22160619

申报工程师职称专业类别（领域）: \_\_\_\_\_ 电子信息

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2024年03月25日

## 一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

### 1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况

攻读硕士学位期间，在光学工程方向的专业知识上，我主要学习了光学电磁理论、光学系统设计、光谱技术应用与实践等专业课程，对本方向的基础知识以及前沿的技术研究有了较为深刻的认识。同时，在实验室的科研学习中，我阅读了大量光学方面的文献专著，了解了国内外已有的光学技术的研究现状。同时，在宁波永新光学股份有限公司实习期间，我学习了显微光学系统调试的技术，对显微领域有了更加深刻的认识。

### 2. 工程实践的经历

在宁波永新光学股份有限公司的实习工作期间，我向研究员的同事和领导学习了显微光学的相关知识，包含几何光学、物理光学、显微镜的结构、共聚焦显微成像以及结构光显微成像的原理，以及显微镜照明光路的调试方法。在学习了以上理论技术的基础上，开始参与“十四五”国家重点研发项目《超高分辨活细胞成像显微镜研究及应用》，并负责其中的课题“实时宽场移频超分辨显微技术研究”中的硬件部分以及小部分软件相关的工作。主要完成了光学设计仿真、机械系统设计、测试软件编写、光学系统搭建以及结果测试等工作内容。课题成果为一套实时宽场移频超分辨显微镜系统，该系统与传统的结构光显微系统不同，采用电光调制器与扫描振镜系统来代替传统的机械物理光栅以及空间光调制器来实现相干光的照明方向以及相位的控制，从而能够更加精准快速地实现结构光照明和成像。本系统可以通过控制扫描振镜与舵机开关自由切换2D-SIM/3D-SIM/TIRF-

SIM三种成像模式；同时，本系统设计了一套完整成熟的超分辨重构算法流程，使用GPU加速来实现了更加高速的超分辨重构；另外，基于光学系统，搭建了一套兼具原始图像成像采集和图像超分辨重构为一体的软件系统，通过该系统结构与设计的人机交互界面可实现按设计的时序控制系统硬件，超分辨原始图像采集，超分辨图像重构以及实时 SIM

超分辨成像等功能，还能够控制显微镜架，便于使用者操作与选择合适的样品位置。目前，本系统能够支持四色激光的照明成像，实现了90nm的横向分辨率、270nm的纵向分辨率、120 fps的时间分辨率（相机512\*512像素）， $65\ \mu\text{m}\times 65\ \mu\text{m}$ 的照明视场、 $5\ \mu\text{m}$ 的成像深度等参数指标。本显微镜系统主要用于商业荧光样品以及活细胞样品等的精密观测，并且在参数指标上已经达到了国际主流商用结构光照明显微镜的先进水平。本系统已经通过了项目的中期验收检查，并投入永新公司产业化，实现了90%以上的国产化。

同时，根据上述课题的研究内容，确定了研究生学位论文的选题以及实验内容，题目为《大视场晶格照明超分辨显微成像技术研究》；借鉴了课题“实时宽场移频超分辨显微技术研究”中使用电光高速移相的经验，在本系统中也使用了电光调制器来进行结构光的相位控制，同时在原系统的基础上，进一步扩大了成像视场，优化了超分辨成像的性能。同时，在永新光学公司实习期间，我取得了较为丰富的成果，其中，以第一作者在Optics Express期刊发表了学术论文《Full field-of-view hexagonal lattice structured illumination microscopy based on the phase shift of electro-optic modulators》，撰写了专利2篇：《一种宽场移频超分辨显微成像系统》和《一种基于全光纤晶格干涉的超分辨成像系统及方法》，均已公开并进入实审状态。

### 3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例

在宁波永新光学股份有限公司的实习工作期间，我搭建了一套基于扫描振镜的宽场移频超分辨显微镜，截止目前，该显微镜系统的组成结构如下：激光器（Laser，新产业）发出的入射光束经过激光准直器（BC）扩束和准直，之后通过二分之一波片（HWP1，Thorlabs，SAHW

P05M-700) 调整偏振方向, 进入偏振分束器 (PBS1, Thorlabs, CCM5-PBS201\_M), 分为强度比为 0.7: 4 的 s 光和 p 光, 这种不相等的强度比可以略微增强 3D-SIM 模式中的高频信息分量。之后, p 光经过二分之一波片 (HWP3, Thorlabs, SAHWP05M-700) 旋转 45°, 进入到偏振分束器 (PBS2, Thorlabs, CCM5-PBS201\_M), 分成强度相等的两束光, 这两束光既可以作为 2D-SIM 结构光照明的干涉光, 也可以作为 3D-SIM 照明的两束边缘光束。然后这两束光束分别被一对银膜反射镜 (M1、M2、M3、M4, Thorlabs, PF05-03-P01) 反射来校准传播角度, 并分别通过扩束器 (BE1、BE2, SIGMA, LBED-3) 扩束。随后, 光束分别通过扫描振镜系统 (GM1、GM2, Cambridge Technology, 8310 K), 调整传播方向, 振镜系统可以快速且精准地改变干涉条纹的方向。对于经过振镜系统 GM2 的光束, 通过电光调制器 (EOM1, Thorlabs, EO-PM-NR-C4) 来调整光程差, 从而改变相位差; 与之对应的, 对于经过振镜系统 GM1 的光束, 通过光棒 (LS) 来补偿由于 EOM1 的存在而带来的光程差。之后, 两束光束通过透镜 (L1、L2, Thorlabs, AC254-075-A-ML), 这两个透镜用于配合扫描振镜系统, 将光束聚焦在物镜后焦平面的共轭面上的不同位置。随后, 光束通过分束器 (BS, Thorlabs, CCM1-BS013\_M) 合束, 然后通过 Pizza 型二分之一波片 (PWP) 来调整偏振方向, 以保证光束以 s 偏振的方式在样品表面产生干涉, 以提高干涉条纹的对比度, 减少重建 SIM 图像中的伪影现象。随后, 光束通过合束板 (BCP), 该合束板是一块中心附有直径 1.5mm 的银膜的玻璃板。另外, 从 PBS1 反射出来的光束作为三维结构光照明显微成像系统的中间光束。这束光通过二分之一波片 (HWP2, Thorlabs, SAHWP05M-700) 旋转 90° 后通过反射镜 (M5、M6, Thorlabs, PF05-03-P01) 调整光束传播角度, 然后进入电光调制器 (EOM2, Thorlabs, EO-PM-NR-C4)。随后, 这束光通过四分之一波片 (QWP, Edmund Optics, #39-030), 将线偏光转为圆偏光, 然后通过扩束器 (BE3, SIGMA, LBED-3) 扩束。在被反射镜 (M7, Thorlabs, PF05-03-P01) 反射后, 光束通过楔形板 (WP), 来精准补偿与边缘光束的光程差。使用透镜 (L3, Thorlabs, AC254-075-A-ML) 将光束聚焦在物镜后焦面的共轭面上。随后, 光束被合束板 (BCP) 中心处的银膜反射, 从而与另两束光在样品面形成干涉条纹。快门 (S) 的打开与关闭可将显微成像系统在 2D/3D-SIM 模式之间切换。最后, 所有光束被反射镜 (M8, Thorlabs, BB2-E02) 反射并进入显微镜镜架 (Nib 950)。经过物镜 (Nikon, Apo 100X/1.49) 重新准直之后, 在样品平面上形成干涉条纹。样品表面产生的荧光经过四色二向色镜 FC 反射, 然后通过管镜 (TL, Thorlabs, TTL200) 聚焦在相机 (Hamamatsu, C13440-20CU) 上。相机拍摄到的图像通过 Camera Link 传递给计算机 (PC)。本系统采用数据采集卡 (DAQ, NI, PXIe-6738) 来实现对激光器、GM1、GM2、EOM1、EOM2 和相机的同步控制。另外, 本项目已经完成了基于电光高速移相的超分辨显微成像系统的设计、搭建以及测试的工作, 设计了一套完善的相互配合的系统硬件控制策略, 系统性能已经能够达到项目指标的对应要求。为了进一步突破外国技术封锁, 本项目在保证系统性能的基础上, 在系统硬件的国产化改进上开展了研究。对于系统采用的 CMOS 相机, 使用国产品牌鑫图的 V3 相机对 Hamamatsu 公司的 C13440-20CU 相机进行了替代。该相机的有效面积为 13.312 × 13.312mm<sup>2</sup>, 像素尺寸为 6.5 × 6.5 μm<sup>2</sup>, 可以满足系统的视场大小需求。在使用 Camera Link 的情况下, 该相机帧率如表 1.3

所示，可见无论在自由运行模式还是外部触发模式（同步读出触发）下，对于大小为  $2048 \times 512$  pixels 及以下的图像，都可实现超过 300 帧/秒的帧率。而系统 2D 成像速度需求为 30 帧/秒，3D 成像速度需求为 18 帧/秒，即原始图像速度需求为 270 帧/秒，因此该相机的帧率满足系统成像速度需求。生物显微镜采用了永新公司最新的 NIB 1000 倒置显微镜架。此显微镜包含外部相差单元，因此可以通过高数值孔径物镜得到图像，有利于 SIM 成像分辨率的提升。此外，该显微镜的电动部件速度快，更快的 z 轴移动速度可以提升 3D-SIM 进行三维成像的速度，同时更好的电动平台的移动精度能够提升超分辨成像的稳定性。相比于上一代显微镜 NIB 950，本镜架具有多达 6 个的成像模块可扩展接口，能够实现多功能系统的集成。物镜采用永新光学 Apo 100 $\times$ /NA 1.49 物镜，代替了 Nikon CFI Apo TIRF 100 $\times$ /NA1.49 物镜。此物镜拥有 1.49 高数值孔径，采用双组补偿光学系统设计解决温度变化（23 $^{\circ}$ C 和 37 $^{\circ}$ C）导致的光学成像模糊，并能提供更好的景深和分辨率，有利于分辨率与成像质量的提高。数据采集卡正在研究代替 NI 公司 PXIe-6738 数据采集卡的国产替代。目前完成了国产品牌简仪（JYTEK）的多通道数据采集卡 JY-5710 的性能测试，包括基本模拟电压输出、多通道模拟电压输出、超分辨拍摄测试以及连续拍摄测试，均满足本系统的使用要求。由于设计的系统结构，采集卡需要具备输出 11 个通道信号（激光（405nm）、激光（488nm）、激光（561nm）、激光（637nm）、相机、扫描振镜系统 1（x 方向）、扫描振镜系统 1（y 方向）、扫描振镜系统 2（x 方向）、扫描振镜系统 2（y 方向）、EOM1、EOM2）的能力，此型号的数据采集卡具有 32 个输出通道，满足系统通道数量的要求。此外，数据采集卡具有 2MS/s（8 通道）以及 1MS/s（32 通道）采样率，优于 NI 品牌数据采集卡，能够满足系统成像速度的需求。对于扫描振镜系统，一组振镜中有 2 个振镜，分别用于控制光束方向在 x 方向和 y 方向的旋转，其中振镜采用大族思特公司的 ST210 振镜。根据系统设计与成像速度需求，振镜需要在 2.494 ms 内完成移动并保持稳定。该振镜在小角度到达阶跃响应时间为 100 微秒（阶跃值  $0.1^{\circ}$ ，稳定位置在最终位置的 99% 以内）。通过相机测试，该扫描振镜系统在  $2^{\circ}$  内移动到指定位置且大致保持稳定需约 500  $\mu$ s，满足系统需求。为保证系统整体结构的稳定性，成像模块同样要进行专门的设计。设计了管镜可调结构以及管镜整体结构 NSR1000.00-01，能够完美适配照明模块和成像模块的连接，同时能够灵活调节管镜的位置。自主设计了 CMOS 相机接口改造部件，能够适配鑫图 V3 相机以及高速荧光转轮；设计了可调四通道荧光模块，兼具反射照明光和透射激发荧光的作用。

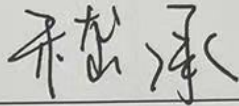
(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项, 须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实, 并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
Full field-of-view hexagonal lattice structured illumination microscopy based on the phase shift of electro-optic modulators	TOP期刊	2024年01月15日	Optics Express	1/12	
一种宽场移频超分辨显微成像系统	发明专利申请	2023年04月13日	申请号: 202310393060.3	2/5	
一种基于全光纤晶格干涉的超分辨成像系统及方法	发明专利申请	2022年08月25日	申请号: 202211027120.1	2/5	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况

课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 83 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.4 年 (要求1年及以上) 考核成绩： 96 分 (要求80分及以上)
<b>本人承诺</b>	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 	





# 浙江大學研究生院

## 攻讀碩士學位研究生成績表

學號: 22160619	姓名: 嵇承	性別: 男	學院: 光電科學與工程學院	專業: 電子信息	學制: 2.5年						
畢業時最低應獲: 24.0學分		已獲得: 25.0學分		入學年月: 2021-09	畢業年月: 2024-03						
學位證書號: 1033532024302017			畢業證書號: 103351202402300043								
學習時間	課程名稱	備注	學分	成績	課程性質	學習時間	課程名稱	備注	學分	成績	課程性質
2021-2022學年秋季學期	工程倫理		2.0	88	公共學位課	2021-2022學年秋季學期	光學電磁理論		3.0	90	專業學位課
2021-2022學年秋季學期	科技寫作		2.0	89	專業學位課	2021-2022學年春季學期	光電遙感技術與應用		2.0	87	專業選修課
2021-2022學年秋季學期	人工智能算法與系統		2.0	79	專業學位課	2021-2022學年春季學期	光學系統設計		2.0	82	專業學位課
2021-2022學年秋季學期	電子信息工程中數學模型與方法		2.0	79	專業學位課	2021-2022學年春季學期	自然辯證法概論		1.0	70	公共學位課
2021-2022學年冬季學期	光譜技術應用與實踐		2.0	82	專業學位課	2021-2022學年春季學期	中國特色社會主義理論與實踐研究		2.0	87	公共學位課
2021-2022學年秋季學期	工程前沿技術講座		2.0	82	專業學位課	2022-2023學年秋季學期	研究生英語基礎技能		1.0	90	公共學位課
2021-2022學年秋季學期	研究生英語		2.0	88	公共學位課						

說明: 1. 研究生課程按三種方法計分: 百分制、兩級制(通過、不通過)、五級制(優、良、中、及格、不及格)。

2. 備注中“\*”表示重修課程。



學院成績校核章:

成績校核人: 張夢依

打印日期: 2024-04-02



# Full field-of-view hexagonal lattice structured illumination microscopy based on the phase shift of electro-optic modulators

CHENG JI,<sup>1,2</sup> YUKUN ZHU,<sup>1,2</sup> ENXING HE,<sup>2</sup> QINGQING LIU,<sup>1,2</sup>  
DAKAI ZHOU,<sup>1</sup> SHUNYU XIE,<sup>2</sup> HANMENG WU,<sup>2</sup>  
JINFENG ZHANG,<sup>1,2</sup> KUANGWEI DU,<sup>1,2</sup> YOUHUA CHEN,<sup>1,2,\*</sup>   
WENJIE LIU,<sup>2,3,4</sup>  AND CUIFANG KUANG<sup>1,2,3,5</sup>

<sup>1</sup>Ningbo Innovation Center, Zhejiang University, Ningbo 315100, China

<sup>2</sup>College of Optical Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China

<sup>3</sup>Research Center for Intelligent Chips and Devices, Zhejiang Lab, Hangzhou 311121, China

<sup>4</sup>wenjieliu@zju.edu.cn

<sup>5</sup>cfkuang@zju.edu.cn

\*chenyh21012@zju.edu.cn

**Abstract:** High throughput has become an important research direction in the field of super-resolution (SR) microscopy, especially in improving the capability of dynamic observations. In this study, we present a hexagonal lattice structured illumination microscopy (hexSIM) system characterized by a large field of view (FOV), rapid imaging speed, and high power efficiency. Our approach employs spatial light interference to generate a two-dimensional hexagonal SIM pattern, and utilizes electro-optical modulators for high-speed phase shifting. This design enables the achievement of a 210- $\mu\text{m}$  diameter SIM illumination FOV when using a 100 $\times$ /1.49 objective lens, capturing 2048  $\times$  2048 pixel images at an impressive 98 frames per second (fps) single frame rate. Notably, this method attains a near 100% full field-of-view and power efficiency, with the speed limited only by the camera's capabilities. Our hexSIM demonstrates a substantial 1.73-fold improvement in spatial resolution and necessitates only seven phase-shift images, thus enhancing the imaging speed compared to conventional 2D-SIM.

© 2024 Optica Publishing Group under the terms of the [Optica Open Access Publishing Agreement](#)

## 1. Introduction

Super-resolution (SR) optical microscopy plays a pivotal role in enabling the observation of microstructures at spatial resolutions that surpass the diffraction limit [1]. Typically, high numerical aperture objective lenses are employed to achieve optimal spatial resolution, although this often involves compromises in the field of view. In the current landscape of super-resolution microscopy technology, there is a burgeoning interest in advancing high-throughput methodologies, emphasizing large FOVs, fast speeds, and high power efficiency. Particularly beneficial when examining samples with expansive microstructures such as tissues and actin, high-throughput techniques facilitate a more comprehensive revelation of sample information. Moreover, in dynamic observations, high-throughput methodologies can offer increased convenience for researchers. Recent advancements in super-resolution microscopy have successfully integrated high-throughput capabilities with high resolution. Examples include high-throughput stimulated emission depletion microscopy [2], single-molecule localization microscopy (SMLM) [3] and structured illumination microscopy (SIM). Among these, SIM stands out as a non-scanning imaging technique that does not necessitate high-intensity illumination lasers or specialized fluorescent dyes. Thus, it boasts large FOV, high imaging speed and minimal sample damage, particularly in live-cell imaging [4,5].



Free Full Text from Publisher

Export v

Add To Marked List

< 1 of 1 >

# Full field-of-view hexagonal lattice structured illumination microscopy based on the phase shift of electro-optic modulators.

**By** Ji, Cheng; Zhu, Yukun; He, Enxing; Liu, Qingqing; Zhou, Dakai; Xie, Shunyu; Wu, Hanmeng; Zhang, Jinfeng; Du, Kuangwei; Chen, Youhua; ...More

**Source** [Optics express](#)  
Volume: 32 Issue: 2 Page: 1635-1649  
DOI: 10.1364/OE.507762

**Published** 2024-Jan-15

**Indexed** 2024-02-02

**Document Type** Journal Article

**Abstract** High throughput has become an important research direction in the field of super-resolution (SR) microscopy, especially in improving the capability of dynamic observations. In this study, we present a hexagonal lattice structured illumination microscopy (hexSIM) system characterized by a large field of view (FOV), rapid imaging speed, and high power efficiency. Our approach employs spatial light interference to generate a two-dimensional hexagonal SIM pattern, and utilizes electro-optical modulators for high-speed phase shifting. This design enables the achievement of a 210- $\mu$ m diameter SIM illumination FOV when using a 100 $\times$ /1.49 objective lens, capturing 2048 $\times$ 2048 pixel images at an impressive 98 frames per second (fps) single frame rate. Notably, this method attains a near 100% full field-of-view and power efficiency, with the speed limited only by the camera's capabilities. Our hexSIM demonstrates a substantial 1.73-fold improvement in spatial resolution and necessitates only seven phase-shift images, thus enhancing the imaging speed compared to conventional 2D-SIM.

+ See more data fields

## Citation Network

In All Databases

0 Citations

Create citation alert

0 Cited References

View PubMed related articles  $\rightarrow$

## Use in Web of Science

1 Last 180 Days  
1 Since 2013  
Learn more  $\rightarrow$

## This record is from:

MEDLINE<sup>®</sup>

### Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)

## Journal information

<a href="#">Optics express</a>		<b>3.8</b>
eISSN	1094-4087	Journal Impact Factor <sup>™</sup> (2022)
Current Publisher	Optica Publishing Group, 2010 MASSACHUSETTS AVE NW, WASHINGTON, DC 20036	<b>1.19</b>

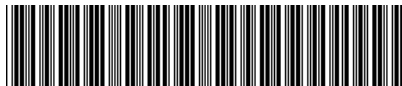


310013

浙江省杭州市西湖区竞舟路1号筑品金座501室 杭州天勤知识产权代理有限公司  
米志鹏(0571-87755912)

发文日:

2023年04月13日



申请号: 202310393060.3

发文序号: 2023041301021220

### 专利申请受理通知书

根据专利法第28条及其实施细则第38条、第39条的规定,申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下:

申请号: 2023103930603  
申请日: 2023年04月13日  
申请人: 浙江大学  
发明人: 匡翠方,嵇承,陈友华,周达凯,刘旭  
发明创造名称: 一种宽场移频超分辨显微成像系统  
经核实,国家知识产权局确认收到文件如下:  
权利要求书 1份3页,权利要求项数: 10项  
说明书 1份10页  
说明书附图 1份2页  
说明书摘要 1份1页  
专利代理委托书 1份2页  
发明专利请求书 1份5页  
实质审查请求书 文件份数: 1份  
申请方案卷号: 23134F0578

提示:

- 1.申请人收到专利申请受理通知书之后,认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时,可以向国家知识产权局请求更正。
- 2.申请人收到专利申请受理通知书之后,再向国家知识产权局办理各种手续时,均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 自动受理  
联系电话: 010-62356655

审查部门: 初审及流程管理部



200101  
2022.10

纸件申请,回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 国家知识产权局专利局受理处收  
电子申请,应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外,以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115615956 A

(43) 申请公布日 2023.01.17

(21) 申请号 202211027120.1

(22) 申请日 2022.08.25

(71) 申请人 浙大宁波理工学院

地址 315100 浙江省宁波市高教园区钱湖南路1号

(72) 发明人 陈友华 嵇承 匡翠方 张金凤 刘旭

(74) 专利代理机构 宁波市鄞州盛飞专利代理事务所(特殊普通合伙) 33243  
专利代理师 鲍英彬

(51) Int. Cl.

G01N 21/45 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于全光纤晶格干涉的超分辨成像系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于全光纤晶格干涉的超分辨成像系统及方法,成像系统包括:光源模块,用于发出不同波长的线偏振激光束;分束与移相模块,其包括用于接收线偏振激光束、并将其分为第一光束、第二光束以及第三光束的分束单元以及用于改变第一光束与第二光束相位的移相单元;显微镜模块,用于接收第一光束、第二光束以及第三光束并将其照射在样品上形成干涉图案,并用于收集样品激发的荧光信号;成像模块,用于接收显微镜模块收集的荧光信号、并成像;其中移相单元包括保偏光纤和压电陶瓷,保偏光纤的中部缠绕在压电陶瓷上,则通过对压电陶瓷施加电压,便能改变保偏光纤中第一光束和第二光束的相位,移相速度快,可以提高成像速度。

