

2025年春季学期组会

个人工作汇报

BY2405316 严五金

moxiyan@buaa.edu.cn

汇报时间：2025 年 4 月 26 日

本周主要工作内容

1. 论文修改

- 阅读了14篇高被引顶刊，制作了工作对比表，用于加入到文章的讨论部分
- 重写了文章的绪论部分，更多侧重描写消色差工作的发展、难点；以及大规模透镜逆向设计的难点

2. 学习机器学习相关课程

文献讲解

基于深度学习的高效率可见光 消色差超透镜设计

作者：Feilou Wang, Shiqiang Zhao, Yongzheng Wen, Jingbo Sun*, Ji Zhou*

单位：清华大学材料科学与工程学院，新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室

电子邮件：jingbosun@tsinghua.edu.cn; zhouji@tsinghua.edu.cn 

期刊：Advanced Optical Materials

发表时间：2023年8月11日

研究背景与意义

- 超透镜技术的挑战:

- 同时实现消色差性能和高聚焦效率非常困难，尤其在可见光范围
- 传统设计方法计算量大，效率低
- 传统设计方法主要依赖暴力优化，参数空间庞大
- 宽带光谱特性复杂，深度学习应用较少

- 研究目标:

- 构建综合考虑相位和振幅的深度学习模型
- 加速消色差超透镜设计过程
- 提高可见光波段的聚焦效率

研究方法

- 深度神经网络（DNN）模型：

- 用于预测纳米结构的光学响应
- 加速设计过程，避免耗时的电磁模拟

- 几何相位理论基础：

- 基于Pancharatnam-Berry相位调控
- 利用圆偏振光与纳米结构的相互作用

- 设计创新点：

- 同时考虑相位和振幅特性
- 构建>200万个纳米结构的光学响应库
- 优化粒子群算法选择最佳结构

基本纳米结构设计

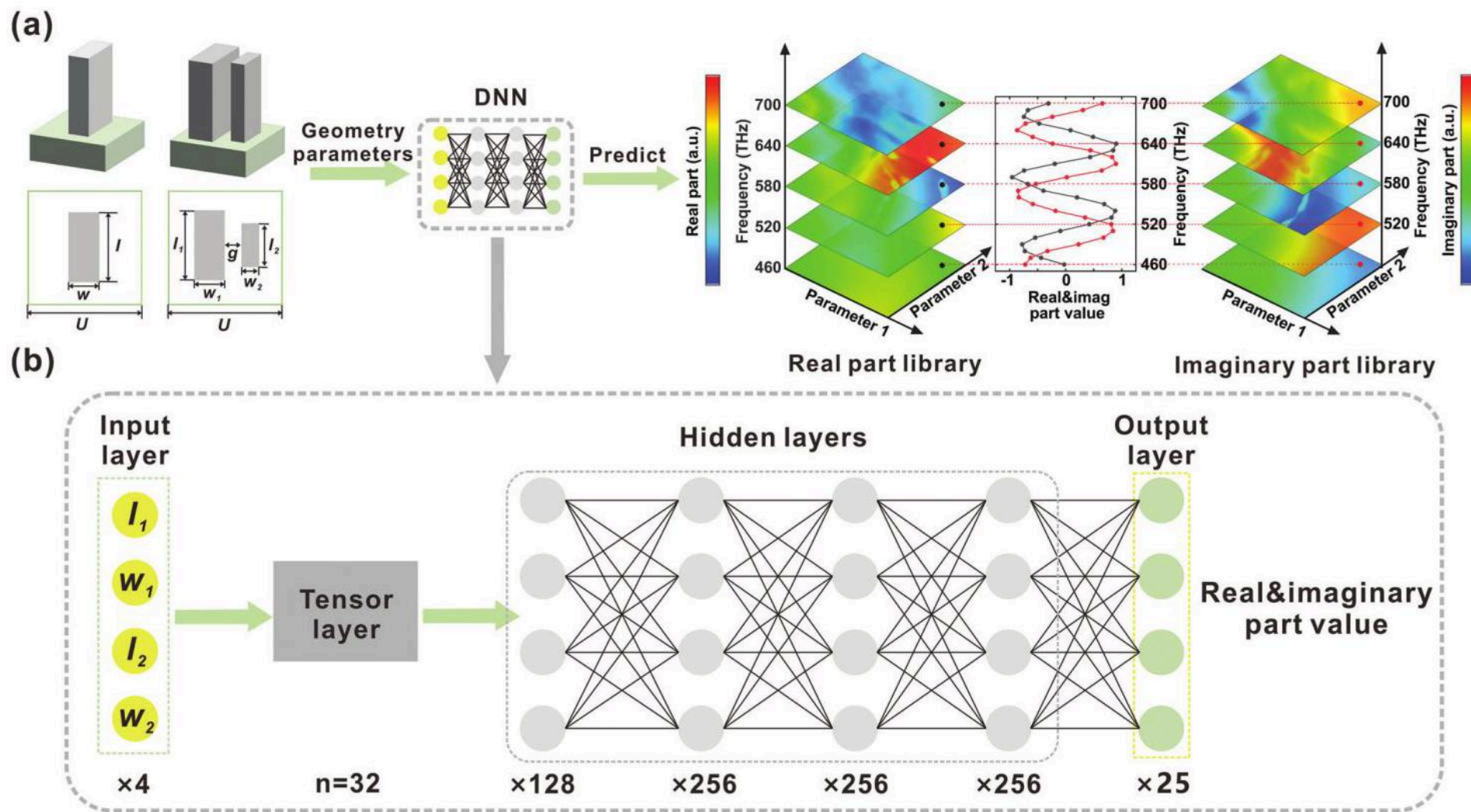
- 材料选择:

- 二氧化钛 (TiO_2) 纳米柱
- 石英基底
- 可见光范围内高折射率、低损耗

- 结构类型:

- 单翅片和双翅片结构
- 相同高度 (600nm) 和周期 (320nm)
- 通过调整几何参数实现相位控制

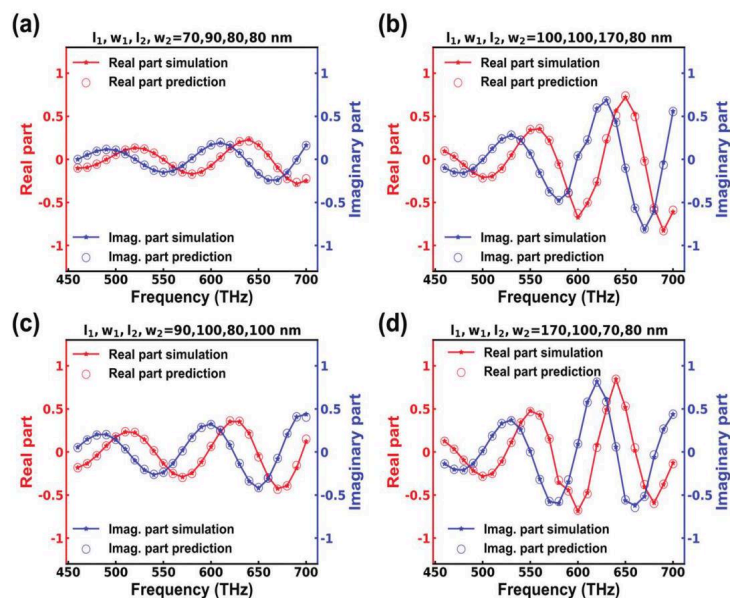
深度神经网络模型架构



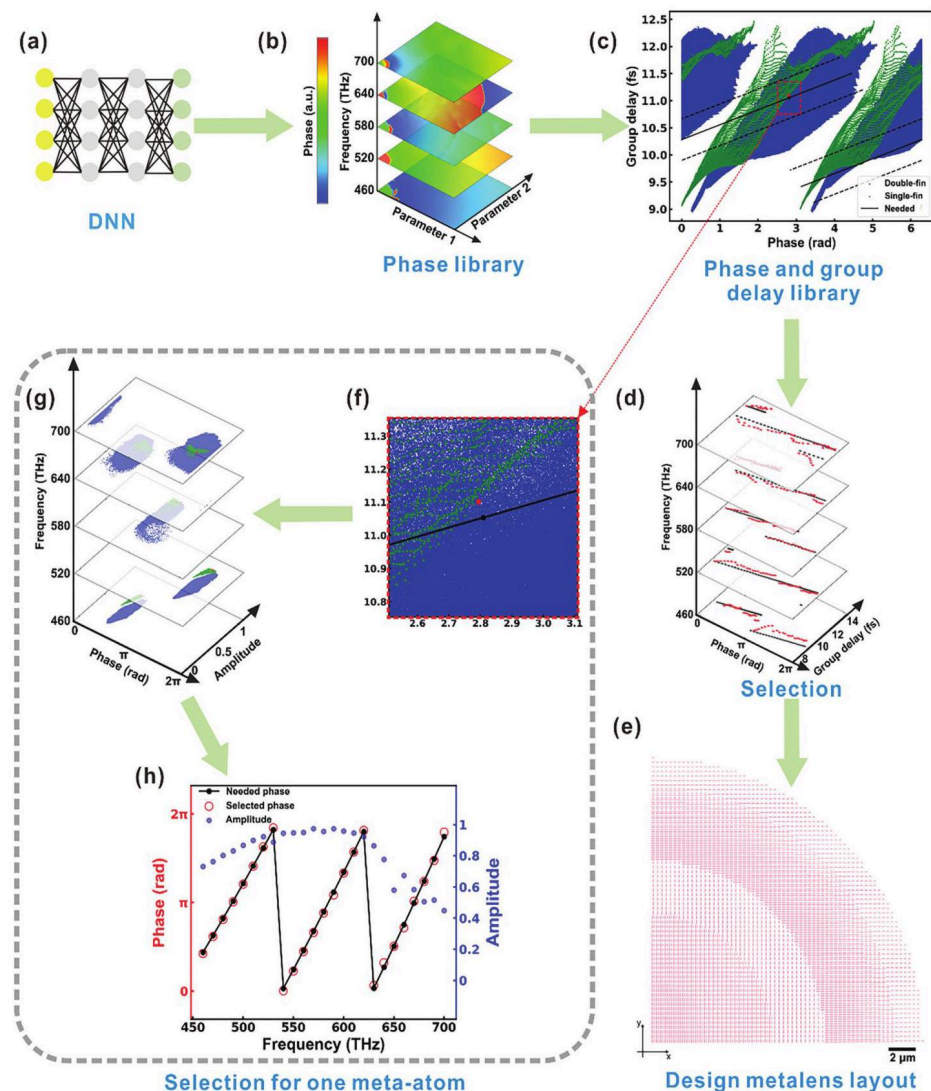
- **输入层**：纳米结构的几何参数（单翅片2个，双翅片4个）
- **张量层**：用于调整维度不匹配，加速训练过程
- **隐藏层**：4个全连接层，包含128、256、256、256个神经元
- **输出层**：25个神经元，对应25个频率点的透射系数实部或虚部
- **批归一化技术**：提高训练效率和稳定性

深度学习预测性能评估

- 红色和蓝色圆圈：DNN预测的透射系数实部和虚部
- 红色和蓝色星号：CST电磁模拟结果
- 模型在整个频率范围内表现出优异的预测准确性



超透镜设计过程



1. 利用DNN建立纳米结构的光学响应库
2. 根据中心频率(580THz)进行初步筛选
3. 考虑相位和振幅进行二次精细选择
4. 使用粒子群优化算法最小化相位误差
5. 构建直径40 μm 的超透镜，包含12061个纳米结构

关键创新：综合考虑相位与振幅

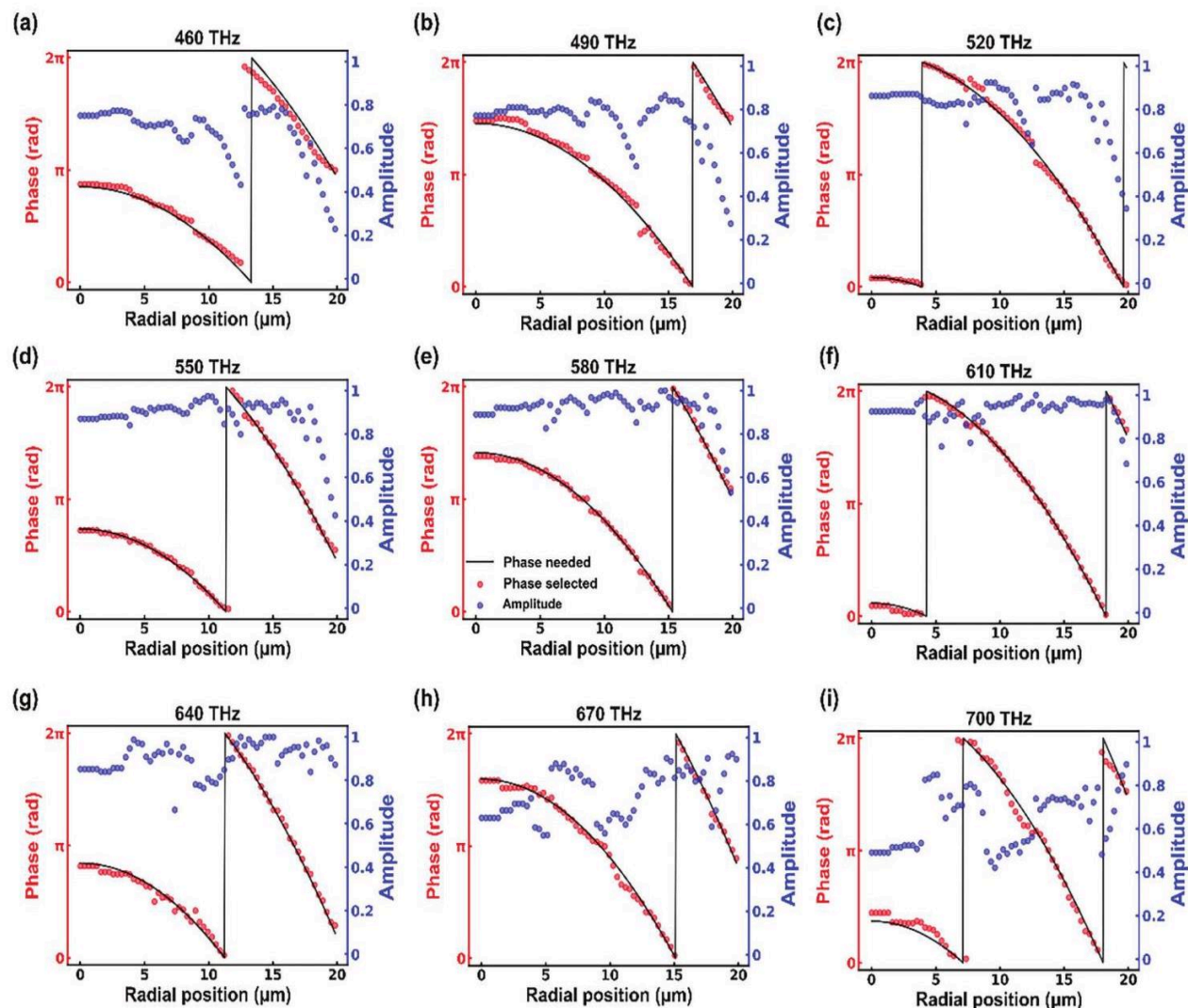
- 传统方法：主要关注相位调控，忽视振幅特性
- 本文方法：
 - 同时考虑相位和振幅特性
 - 引入相位器误差最小化指标：

$$\delta = \sum_r \sum_{\omega=\omega_1}^{\omega_k} |A_c(r, \omega) e^{i\varphi(r, \omega)} - e^{i\Phi(r, \omega)}|$$

- 优势：确保高透射率和准确的相位调控

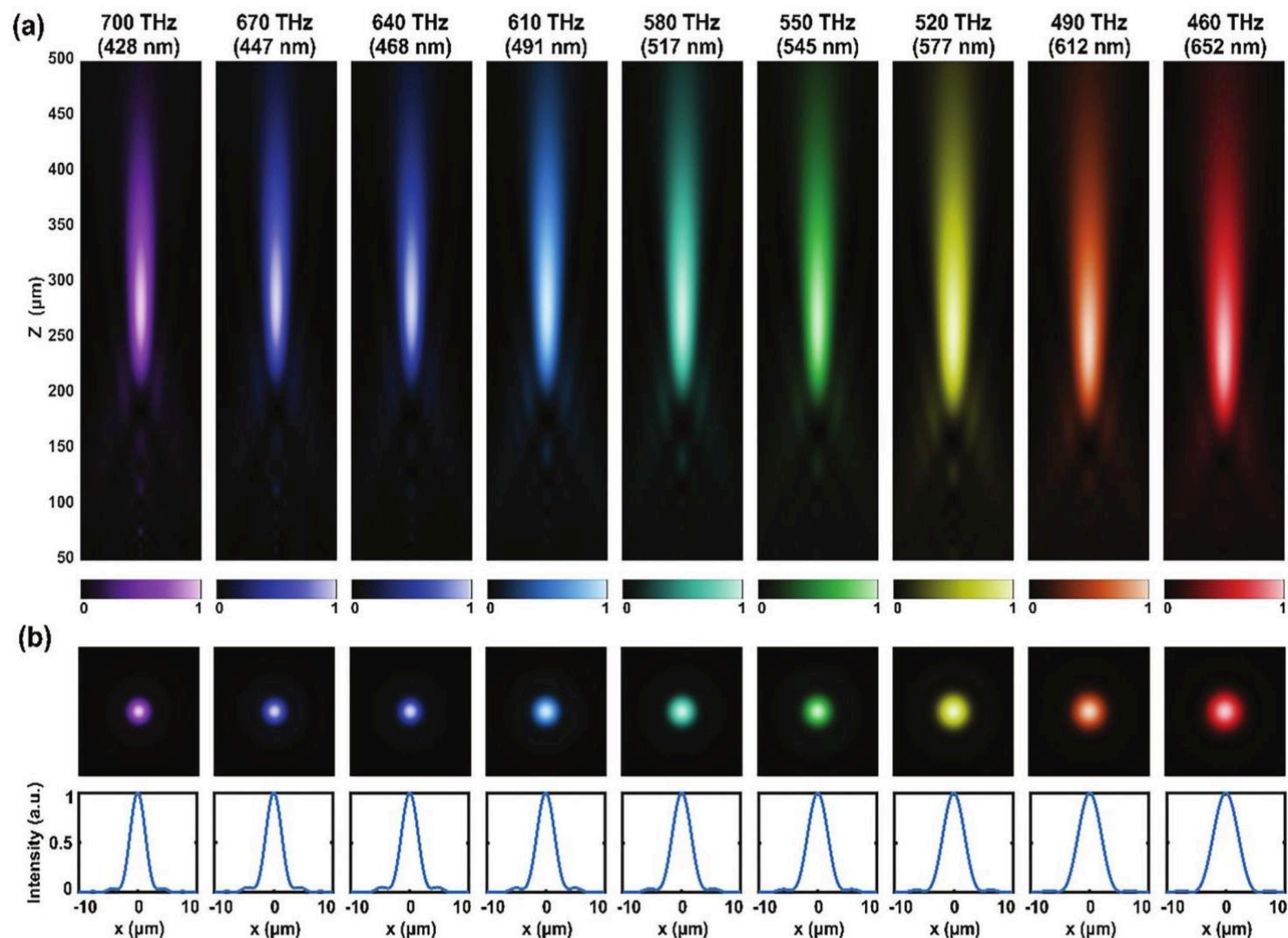
研究结果

超透镜相位与振幅分布



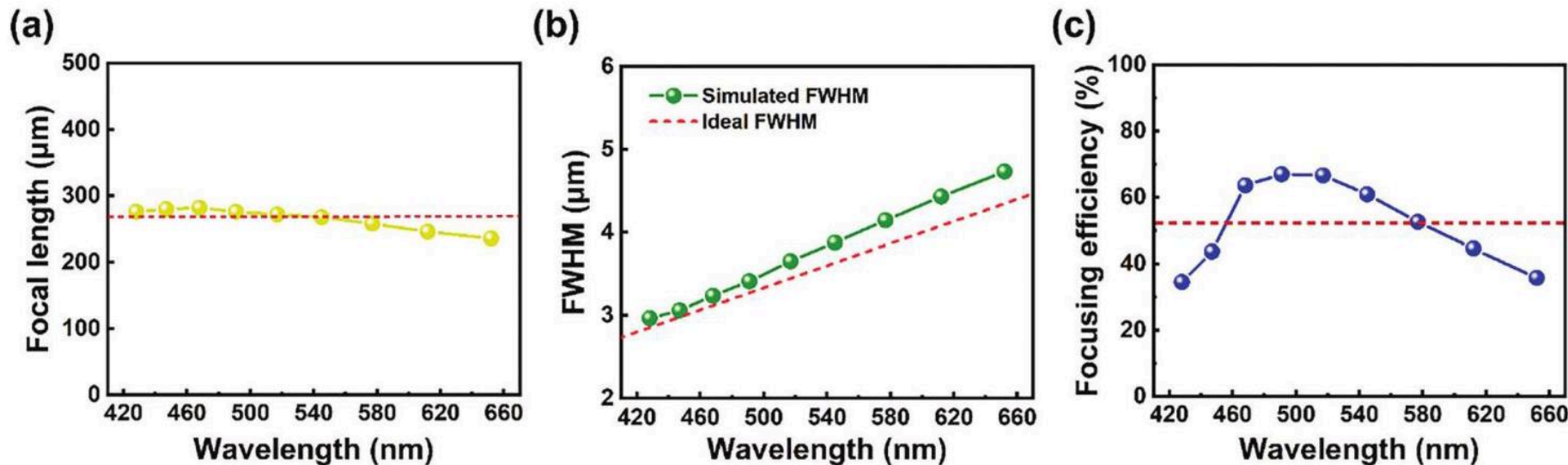
- 红色点：选定纳米结构的相位响应（沿半径方向63个点）
- 黑色线：理论所需相位分布
- 蓝色点：对应的振幅分布，主要 >0.6 ，确保高聚焦效率

可见光波段聚焦性能模拟结果



- 在 428-652nm 波长范围内实现稳定聚焦
- 消色差效果显著，焦点位置基本稳定
- 衍射极限聚焦，焦斑大小符合理论预期

焦距、焦斑大小与聚焦效率



- **焦距**：平均 $266\mu\text{m}$ ，在 $428\text{-}652\text{nm}$ 范围内偏差小于5%
- **焦斑大小**：接近衍射极限
- **聚焦效率**：最高达68%（491nm），平均52%
- **超越性能**：优于现有几何相位方法设计的可见光消色差超透镜

结论与展望

- 方法创新:

- 有效的DNN模型, 同时考虑相位和振幅
- 在可见光范围实现高效率消色差超透镜设计

- 性能突破:

- 在428-652nm范围内实现平均52%的聚焦效率
- 焦距偏差控制在5%以内, 接近衍射极限聚焦

- 未来展望:

- 探索其他几何构型和材料体系, 拓展到更多种类的超表面结构设计
- 进一步整合多种性能指标的深度学习设计方法

与我的工作关联

- 对我工作的启发：
 - 深度学习在复杂光学结构设计中的应用
 - 考虑多种性能指标的综合优化方法
 - 结合相位和振幅特性的设计思路
- 可能的改进方向：
 - 尝试结合物理模型和数据驱动的混合方法
 - 探索更广波段范围的消色差设计
 - 考虑制造可行性和容差分析

讨论与问题

1. 如何获取足够的训练数据？
2. 深度学习模型如何适应不同类型的超表面结构？
3. 该方法能否拓展到纳米光子学的其他应用场景？



感谢聆听！



moxiyan@buaa.edu.cn



dreamseeker_626



SH2-B216