综述：上转换纳米颗粒低能耗超分辨应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30947.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

综述：上转换纳米颗粒低能耗超分辨应用。 导读

当今时代，大数据中心、人工照明、微纳加工等领域对具有优良特性的新型发光纳米材料的需求日益增长。数据中心、照明、运输和制造等能源密集型行业需要采用节能技术和可持续材料工艺，从而减少环境污染和能量消耗，减少碳排放。同时，纳米发光材料在生物学研究中也具有重要的价值，特别是具有高发光效率的纳米材料可以提高生物光学成像的分辨率，这一技术对脑成像、神经动态成像等智能研究具有重要价值。

虽然基于高数值孔径物镜的光学显微镜有利于低能耗应用，但由于光学衍射极限的存在，相关技术面临着阿贝衍射极限的限制。基于受激辐射和损耗的远场光学超分辨技术克服了这一挑战，为超分辨光学显微镜提供了分子尺度的三维光学成像的途径，并为低能耗和高效率的超分辨生物学研究提供了方法。镧系元素离子掺杂的上转换纳米颗粒 (upconversion nanoparticles, UCNPs)具有超强的上转换发光(upconversion luminescence, UCL)发射以及光稳定性和低毒性，被誉为新兴低能耗光学超分辨技术的理想材料，在光学显微成像领域、光学信息存储领域、生命科学领域、发光材料领域已经展示出其超强的应用价值。

最近发表在Light: Science Applications上的一篇题为Lanthanide ion-doped upconversion nanoparticles for low-energy super-resolution applications的综述文章中，由中国上海理工大学智能科技学院和光子芯片研究院顾敏院士领导的团队概述了具有低能耗的镧系元素离子掺杂的UCNPs在光学超分辨技术中的动力学原理和潜在的应用方向。他们强调了镧系元素离子掺杂的UCNPs具有特殊的量子能级体系，能够在低强度激光辐射下，实现超越光学衍射极限的光场分布。论文针对UCNPs不同的能级特点，讨论了相关可能得研究方向和挑战。该综述旨在揭示镧系元素离子掺杂的UCNPs光学跃迁的基本机制及其对低能耗光学超分辨应用的影响。

介绍

镧系元素离子掺杂的上转换纳米颗粒(UCNPs)为低能耗光学超分辨技术开辟了新途径。这些纳米颗粒利用激发光和抑制光精确控制镧系离子的光学跃迁，实现超越衍射极限的3D成像，最小横向分辨率可达20 nm以下（图2A、B）。与传统技术相比，UCNPs可使用低成本连续波激光器，大幅降低系统能耗和复杂度（图2C）。这种技术在生物成像、光学编码、显示和数据存储等领域展现出巨大潜力，有望实现高亮度、高稳定性、低毒性的超分辨应用。然而，UCNPs的大规模应用仍面临合成可扩展性和可重复性等挑战。未来研究将致力于开发更小、更亮的UCNPs，优化其光学特性，并探索多模态超分辨技术，以进一步提高性能和应用范围。

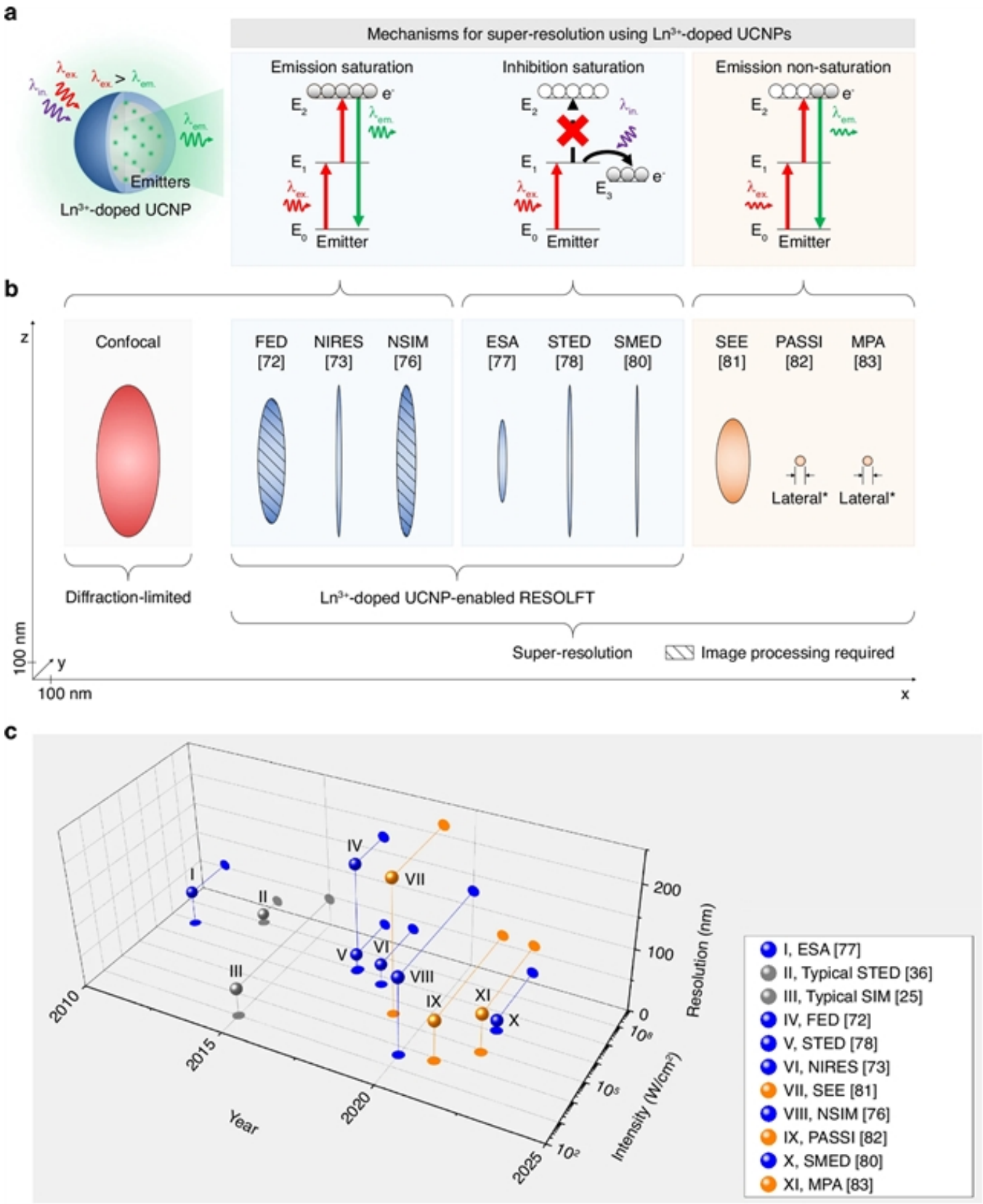


图2：使用镧系元素离子掺杂的UCNPs进行低能耗靶向光学超分辨技术的工作原理。A) 使用激发光和抑制光控制UCNPs内镧系离子的光学跃迁，以调整低能耗靶向光学超分辨技术的UCL发射。B) 与使用其他纳米材料的技术相比，这些技术实现了 3D 光学超分辨，最小横向分辨率低于 20 nm，光强度更低，满足了新兴的低能耗光学超分辨应用需求。C)

掺杂镧系元素离子的UCNPs对于低功耗光学超分辨光应用具有潜在的应用价值。

超分辨成像的动力学原理

镧系元素离子掺杂的上转换纳米颗粒(UCNPs)具有复杂的物理和化学动力学特性，包括掺杂离子与基质的相互作用、不同镧系离子间的能量转移、上转换过程以及多声子弛豫等。这些特性使UCNPs能够在低强度近红外光激发下实现高效的上转换发光。UCNPs的上转换过程涉及激发态吸收(ESA)、能量转移上转换(ETU)和光子雪崩(PA)等机制。理解和利用这些动力学过程对于实现低能耗超分辨成像至关重要。

基于UCNPs的靶向超分辨技术

研究者们基于UCNPs开发了多种靶向超分辨技术，主要依据三种机制：上转换发光（UCL）发射饱和、上转换抑制饱和和UCL发射非饱和。这些技术包括：

1. 超分辨荧光发射差异（FED）显微镜

2. 近红外发射饱和（NIRES）纳米成像

3. 超分辨非线性结构光照明（NSIM）显微镜

4. 超分辨受激发射损耗（STED）显微镜

5. 超分辨表面迁移发射损耗（SMED）显微镜

6. 超分辨超线性激发发射（SEE）显微镜

7. 光子雪崩单光束超分辨（PASSI）成像

通过精确控制UCNPs的光学跃迁，这些技术实现了远超衍射极限的空间分辨率。SMED和STED显微镜分别达到了16.8 nm和28 nm的横向分辨率。基于UCL发射非饱和的技术（如SEE和PASSI）显著降低了所需光强，分别在2.3 mW μm-2和7 kW cm-2的低光强下实现了216 nm和65-81 nm的分辨率。这些光强比传统超分辨技术低2-3个数量级，展示了UCNPs在低能耗超分辨成像领域的巨大潜力。

UCNPs在低能耗超分辨应用中的前景

UCNPs在多个低能耗超分辨应用领域展现出巨大潜力。在生物成像和跟踪方面，UCNPs可实现高分辨率、深层次的活体成像，且具有优异的光稳定性和低毒性。在光学编码领域，UCNPs可用于开发高容量、高通量的安全防伪技术。在显示技术方面，UCNPs作为RGB发光像素可用于节能的3D显示器。在光学数据存储领域，基于UCNPs的超分辨光学写入技术有望实现每光盘近700 TB的存储容量，且能耗低至10
μJ/bit。这些应用充分体现了UCNPs在低能耗超分辨领域的广阔前景。

总结与展望

本综述全面阐述了基于镧系元素离子掺杂UCNPs的低能耗靶向超分辨技术的发展现状。这些技术在生物成像、光学编码、显示和数据存储等领域展现出巨大潜力。然而，UCNPs的大规模应用仍面临挑战，如量子产率低、可用波长有限等。未来研究将聚焦于提高UCNPs的发光效率、扩展可用波长范围，并探索与其他纳米材料的复合应用。人工智能等新兴技术有望加速UCNPs的优化设计，进一步推动其在低能耗超分辨应用中的创新发展。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01547-6

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“ 来源 ”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：顾敏等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发