
让磷光“听懂”超声波指令

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37384.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！

让磷光“听懂”超声波指令。导读

具有刺激响应特性的固态磷光材料已被广泛开发用于多种应用。然而，由于三重态激子的超快失活特性以及水环境中刺激位点难以调节等问题，在水溶液中产生具有刺激响应特性的磷光碳点仍具有挑战性。在这里，郑州轻工业大学梁亚川团队联合郑州大学刘凯凯团队提出了一种微尺度刚性框架工程策略，该策略利用环糊精在水溶液中自组装的特性，通过超声促进环糊精自组装从而增强碳点周围的刚性来激活三重态激子，构建了在水溶液中寿命1.25秒的超声响应型磷光碳点。该碳点对周围超声环境表现出高度敏感性，而且在特定条件对超声刺激表现出线性反应。这种超声响应型磷光碳点展现出作为超声雷达检测和体内余辉成像的巨大潜在应用。相关研究成果以 *Ultrasound-responsive phosphorescence in aqueous solution enabled by microscale rigid framework engineering of carbon nanodots* 为题发表于《*Light: Science Applications*》。

研究背景

具有长寿命激发态的三重态激子能在较长时间内发出光子，从而提高信噪比和组织穿透力，这对于无创和深度组织成像至关重要。传统的刺激响应荧光材料在光学传感中发挥着重要作用，用于检测化学和环境变化、无创诊断、实时跟踪以及通过动态发射特性进行数据加密。近年来，刺激响应的室温磷光（RTP）材料因其独特的激发态特性在这些领域受到极大关注，由于其长寿命的发光特性，可以有效消除背景荧光的干扰，为实际应用提供了一种新的解决方案。

背景荧光通常表现出纳秒级的发射寿命，而RTP材料的长寿命激发态特性使其能够以时间门控模式记录，从而避免背景荧光的干扰。这一特性在光学检测和生物成像技术中尤为重要，因为它允许在复杂环境中进行高对比度信号检测。然而，刺激响应型RTP材料的开发仍处于起步阶段，其中面临的问题亟待解决：首先，长寿命的三重态激子通过非辐射弛豫途径迅速耗散并被氧气猝灭。其次，同时调控三重态激子和刺激响应位点极其困难。因此，实现可调控的刺激响应型RTP材料仍然是一项艰巨的挑战。

研究亮点

在这里，作者团队报道了一种新颖的调控磷光碳点方法：通过超声手段在水溶液中调控环糊精自组装来构建微尺度刚性框架，这种方法可以实现具有超声响应特性的 RTP CNDs。一开始，由于水溶液中三重态激子的非辐射跃迁，在不存在超声环境的情况下，CNDs的磷光无法被检测到。但经过一段时间的超声处理，环糊精的组装逐渐完成，CNDs也通过氢键的相互作用被限制在环糊精的框架内，从而增强了水溶液中的 RTP 性能，同时，RTP

寿命增加到 1.25 秒。研究发现：CNDs 的超声响应能力与环糊精框架的结晶度正向相关。此外，利用 Förster 共振能量转移理论，在水溶液中也可以实现超声响应的多色余辉。基于此特性，作者团队展示了超声响应型 RTP CNDs 在超声雷达检测和体内余辉成像中的一些初步应用。

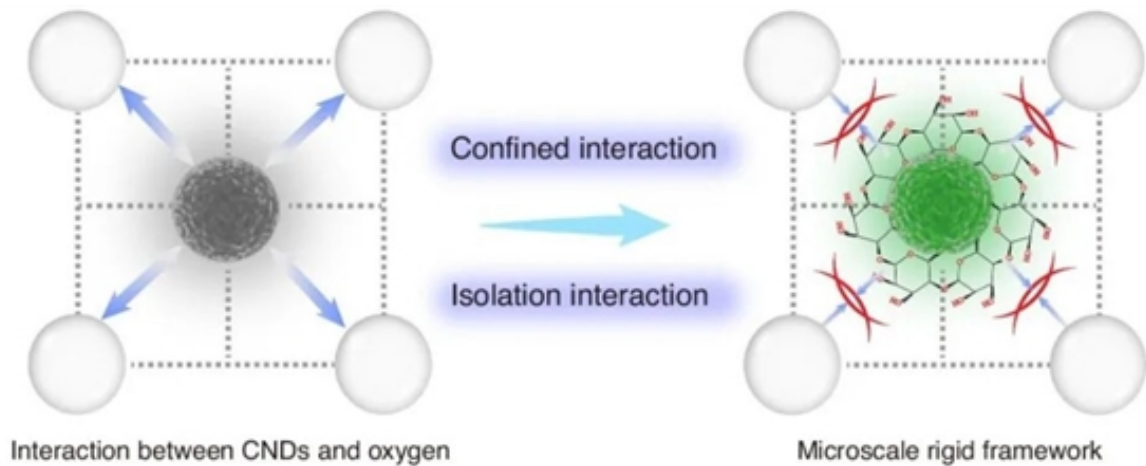


图1：微尺度刚性框架工程示意图。

由于自旋轨道耦合（SOC）较弱，以及周围环境中的分子运动和氧气、水等抑制剂，三重态激子及易被耗散（图1左）。在这之前，研究人员采用了多种手段来保护三重态激子，包括氢键、共价键等在内的多种相互作用都可以被用来限制分子运动，减少非辐射跃迁。基于此，作者团队提出了刚性框架策略，通过受限相互作用来抑制CNDs从激发三重态到基态的非辐射跃迁，从而实现高效率的磷光发射（图1右）。

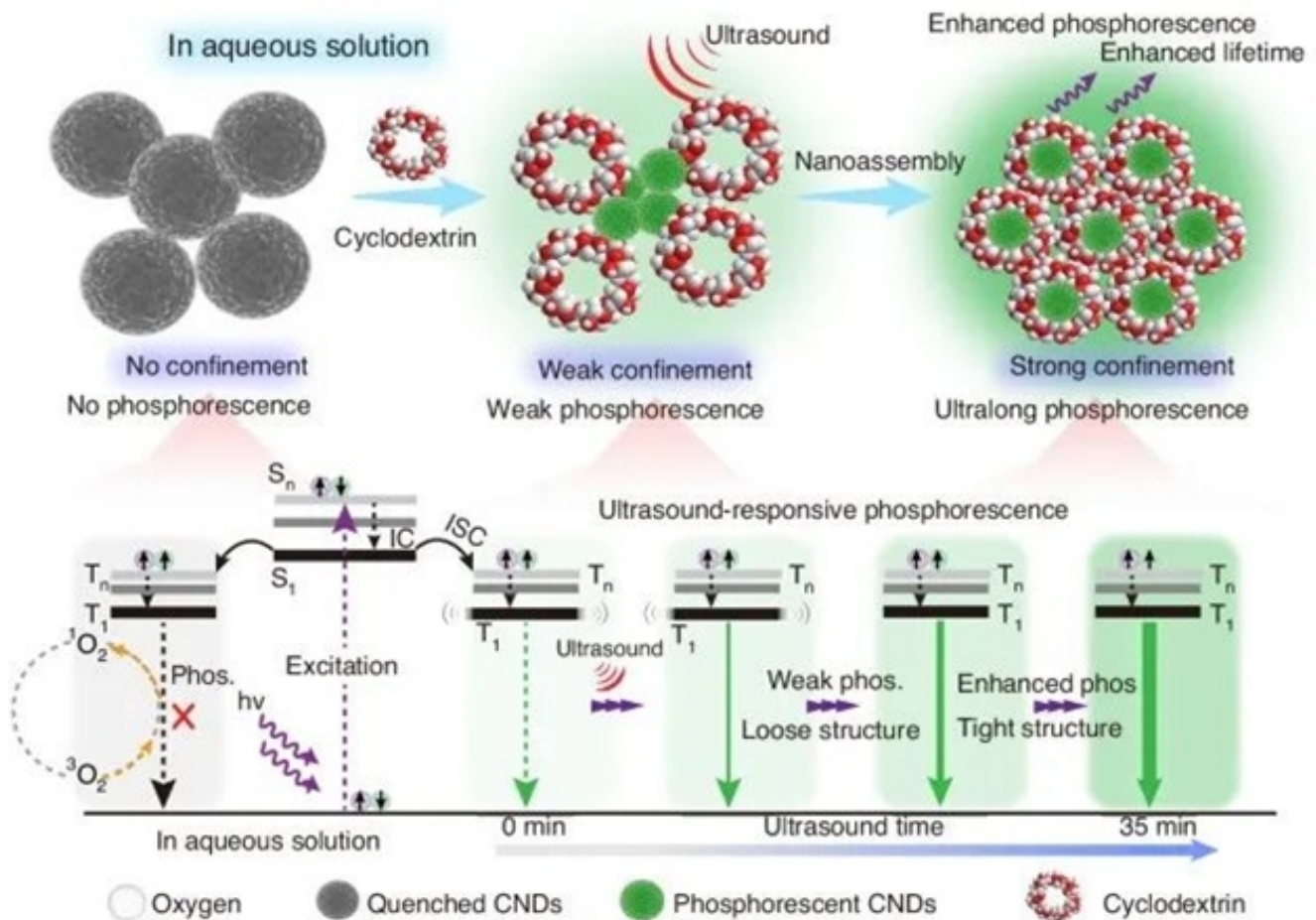


图2：超声响应CNDs的机理图和相关的能级跃迁。

在这项研究中，作者团队考虑到环糊精具有疏水腔和丰富的亲水性羟基，通过自组装，发光材料可以被限制在刚性疏水腔内，从而避免了溶液中淬灭剂的影响，抑制自由分子运动，实现了RTP。同时，外部亲水基团又可以保证水溶性（图2）。此外，随着超声环境下环糊精晶体结构逐渐形成，CNDs周围的刚性程度增加，可以实现超声响应磷光。另外，作者团队选择了磷光CNDs作为发射器，在超声环境刺激下研究了它们与环糊精在水溶液中的组装过程。结果表明：制备的超声响应CNDs不仅表现出良好的水溶性与超声响应特性，而且拥有高稳定性，使其适用于实际应用。据我们所知，这也是第一次报道在此类环境下同时表现出长寿命和超声响应特性的复合材料。

总结与展望

综上，作者团队设计了这种微尺度刚性框架工程，并展示了具有1.25秒超长寿命的超声响应型RTP CNDs。在该系统中，超声促进环糊精自组装成刚性框架，有效抑制非辐射跃迁，隔绝猝灭剂，实现了CNDs在水溶液中的超长磷光。为刺激响应磷光领域提供了理论：刺激响应磷光材料的实现取决于外部刺激是否能够诱导在发光成分周围形成刚性环境，并切断发光成分与外部猝灭剂之间的相互作用。而且，由于该材料在水环境中对超声波具有很高的灵敏度，所以在余辉成像和超声检测领域中展示了广阔的应用前景。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01965-0>

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事宜，请与我们联系。

作者：梁亚川等 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](http://www.iikx.com)转发