
超宽光谱高亮暖白光二极管

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28325.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！

超宽光谱高亮暖白光二极管。研究背景

健康照明和显示技术正受到当前社会越来越多的关注与重视。传统固态照明技术利用蓝光LED芯片激发黄色荧光粉，或利用紫外LED芯片激发三原色荧光粉，从而实现白光照明。这一技术不可避免地含有强烈的蓝紫光成分；且商用的荧光粉或含有稀土元素（如Y, Ce），或含有重金属元素（如Cd, Pb），不利于环境保护和可持续发展。此外，由于LED芯片及多种荧光粉的衰减速率不一致，其光谱会随使用时长增加发生偏移，造成显示色域不稳定。另一种解决方案是采用单一材料体系的宽谱高亮白光LED，通过像素化滤光实现红绿蓝三基色，避免红绿蓝衰减不一致导致的色域不稳定问题，发展潜力巨大。因此，开发基于单一的环境友好材料体系实现宽光谱电致发光，则可一举解决以上问题，有望用于下一代健康照明和显示技术。

现状与挑战

利用环境友好型材料实现宽光谱发射，此前已有许多报道，具有代表性的便是基于自限域激子的金属卤化物材料体系。然而，由于其低载流子迁移率和较宽带隙，其电致发光性能远远达不到照明需求。近年来，金属-有机配位纳米团簇受到了越来越多的关注和研究。这类材料可以结合无机物的稳定性和有机材料的多样性，赋予其广阔的光电性质调控空间，有望实现高性能宽光谱电致发光。

基于碘化铜纳米团簇的超宽光谱（半高宽180 nm）白光发光二极管（LED）已被报道，但其量子效率非常低；而此前所报道的高效率团簇LED光谱半峰宽一般小于100 nm。如何同时实现宽光谱和高效率，是将团簇LED应用于健康照明需要解决的首要问题。此外，可加工性能也是制备LED需要考虑的重要问题。一般团簇LED制备过程需要通过真空热蒸发或溶液工艺沉积团簇薄膜。然而大部分碘化铜团簇高温（400 °C以上）易分解，不适合真空蒸镀；且难以分散在溶液相中，传统的制备方法还需复杂的合成和提纯步骤。

近日，来自浙江大学材料科学与工程学院、硅及先进半导体材料全国重点实验室、温州市光电及纳米新材料重点实验室、温州锌芯钛晶科技有限公司叶志镇院士和戴兴良研究员团队及其合作者，创新原位溶液合成制膜一体化技术，克服碘化铜纳米团簇难溶解、易高温分解难题，阐明多能级高效电荷转移发光物理机制，实现单一材料高效率、宽光谱、高亮度暖白光LED。

论文以Efficient and bright broadband electroluminescence based on environment-friendly metal halide nanoclusters为题目，发表在Light: Science Applications，浙江大学博士研究生张丁铄为论文第一作者，戴兴良研究员与叶志镇院士为通讯作者。

一步法原位溶液合成-沉积碘化铜纳米团簇

研究团队注意到，含有吡啶官能团的有机配体分子极易与碘化铜配合，并且这二者都可溶于某些有机溶剂。因此，有可能利用溶液工艺薄膜沉积的过程直接实现纳米团簇的原位合成，从而省去复杂的合成和提纯步骤。

通过细致的配体设计和溶剂选择，研究团队选定了3,5-双(3-(9H-咔唑-9-基)苯基)吡啶（35DCzPPy）作为配体，分别以氯苯和乙腈溶解配体和碘化铜，直接旋涂配体溶液和碘化铜溶液的混合液，成功制备出纳米团簇薄膜。该团簇薄膜具备超过120 nm的发光半高宽和60%的高量子效率。

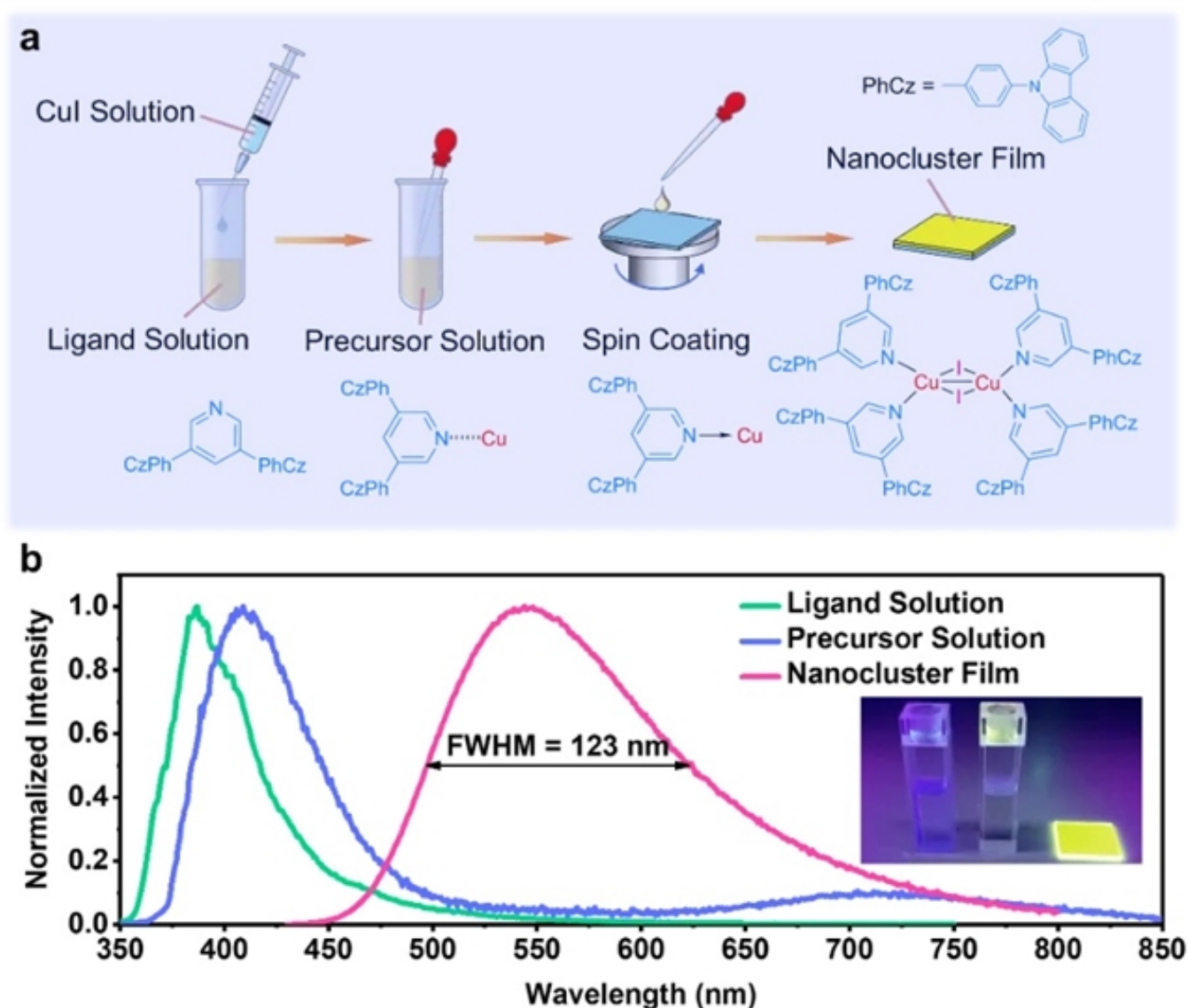


图1 一步法团簇薄膜制备过程示意图(a)及发光光谱(b)

研究团队对该方法制备得到的薄膜进行了细致的表征。通过显微技术和元素分析技术，确认该薄膜具备光滑平整的形貌以及均匀的元素分布，十分适合用于高性能LED器件的发光层。

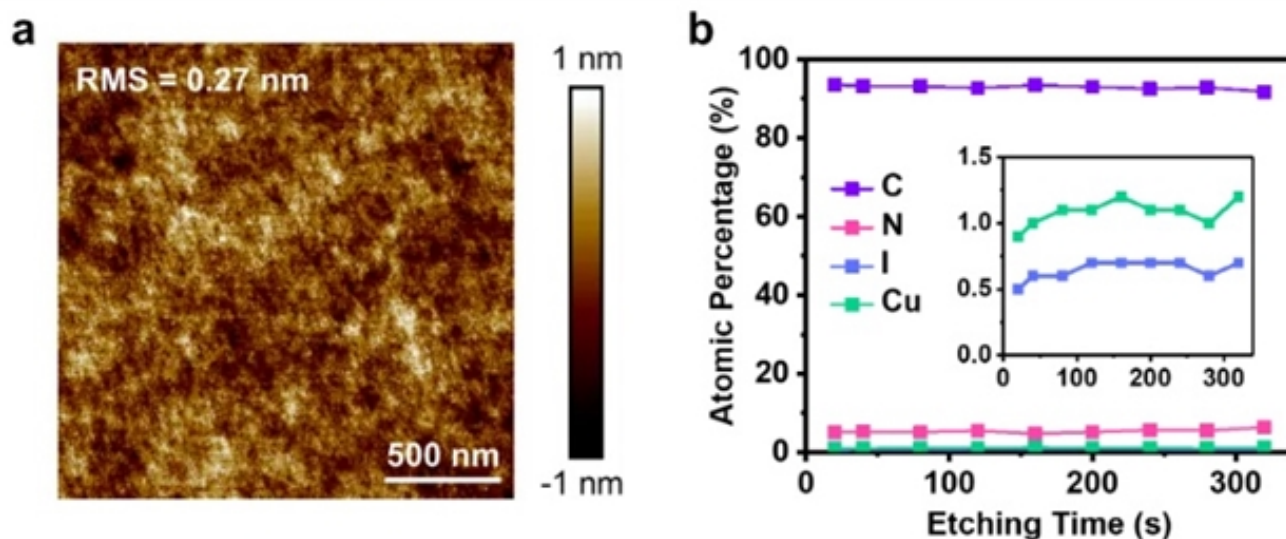


图2 团簇薄膜的原子力显微照片(a)及元素深度分布均匀性(b)

激发态和光物理性质

研究团队通过理论计算确定了该纳米团簇的分子结构，并对其进行了一系列光学表征。吸收光谱显示团簇在350-500 nm范围具备明显的长拖尾，符合金属-配体间电荷转移激发态的特征。随着温度上升，其荧光寿命呈明显下降趋势，表明其具备热激活延迟荧光性质。根据不同温度下的荧光寿命，计算出磷光和热激活延迟荧光的占比，发现室温下该团簇为双通道发射材料，在高激发密度下更有利于抑制激子累积淬灭。

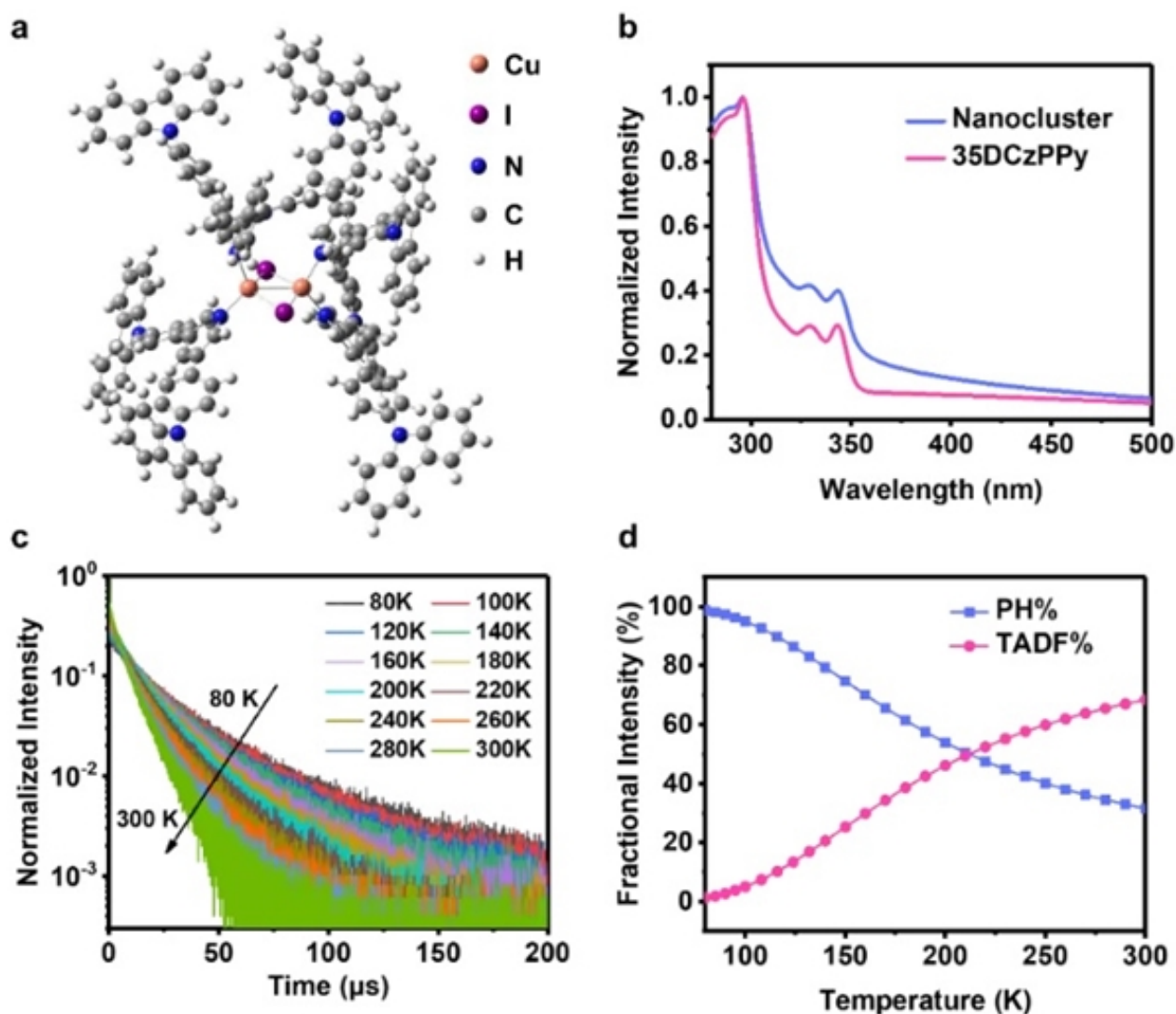


图3 团簇分子结构(a)，吸收光谱(b)，变温荧光寿命(c)和磷光及延迟荧光占比(d)

研究团队对该团簇的空气稳定性和热稳定性进行了表征。一般认为，一价铜化学上不稳定，易被氧化为二价铜。然而，该团簇在空气中存放了三个月后，荧光强度保持初始值的90%，发光光谱不变，展现了优异的空气稳定性。将其加热至150 K，仍能保持75%的发光强度，并可在降温后完全回复。

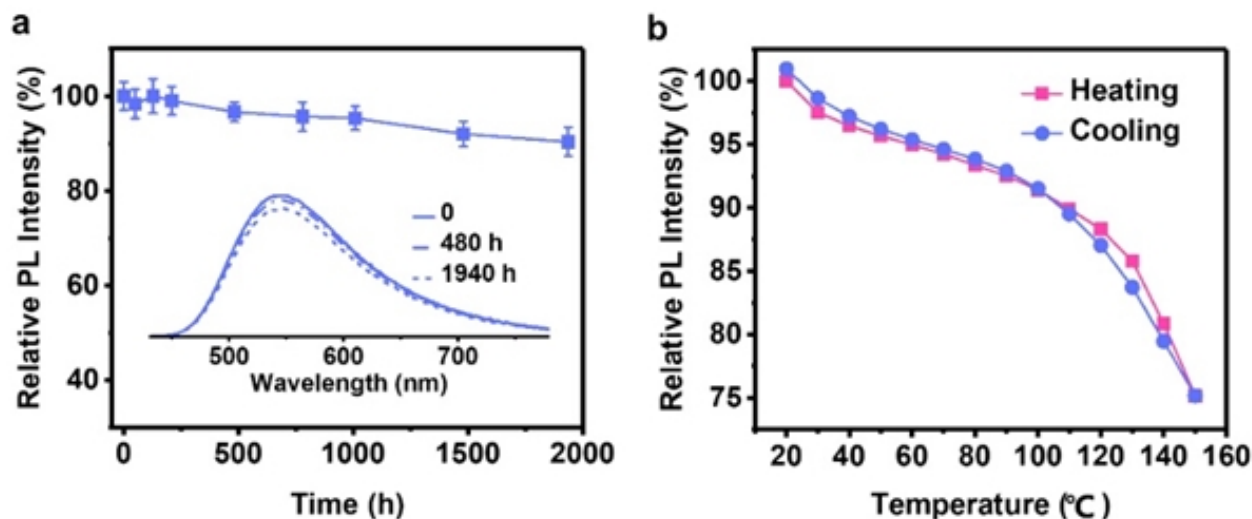


图4团簇的空气稳定性(a)及热稳定性(b)

高效稳定的宽光谱团簇LED器件

研究团队基于该团簇制备了LED器件，实现了中心波长位于557 nm、发光半高宽120 nm的宽光谱团簇LED。其具备稳定的发光光谱，量子效率达13%，最大亮度达50,000尼特，为团簇LED纪录值。得益于简便的溶液工艺，9 cm²的大面积LED器件也被成功制备出来。

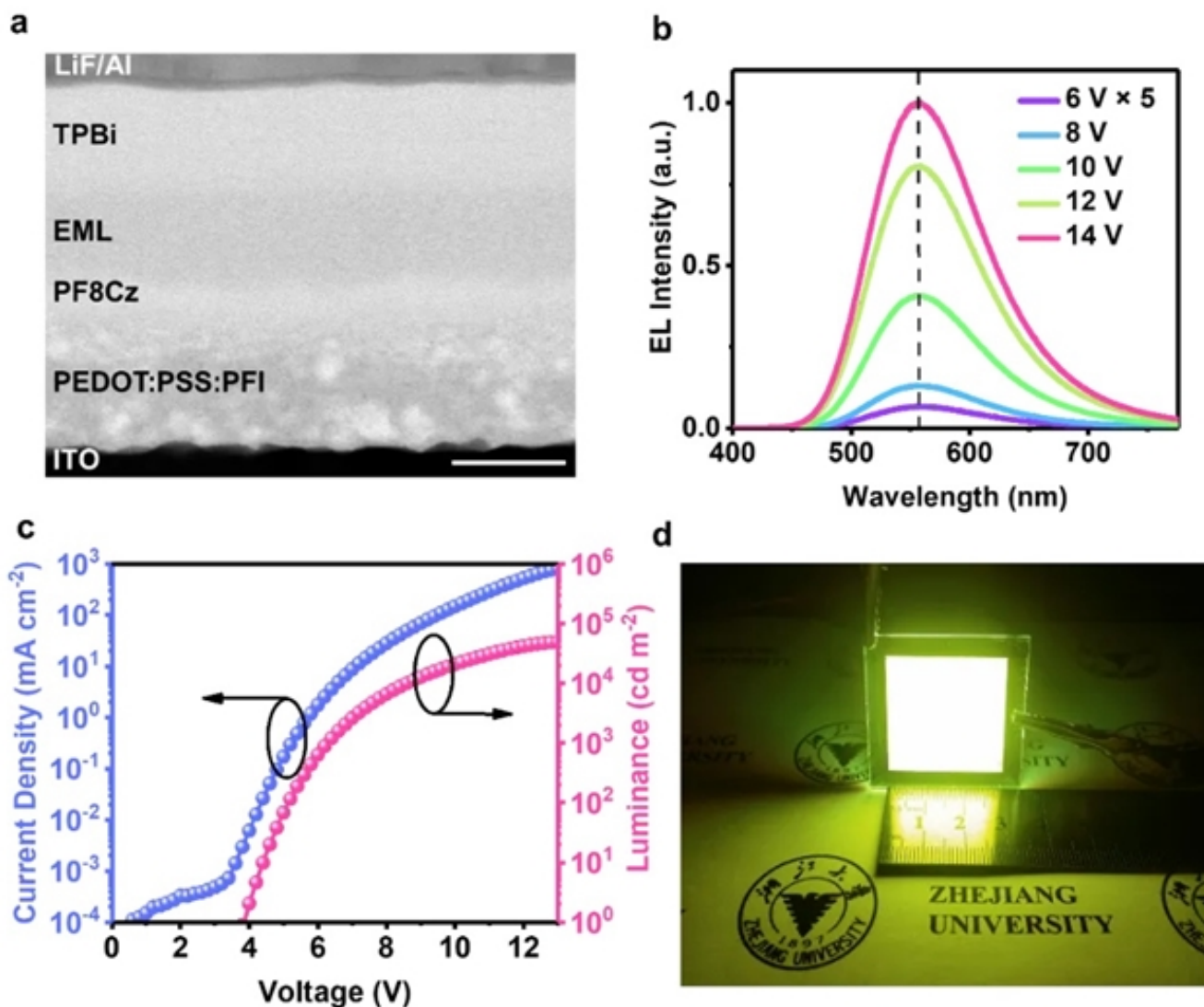


图5 团簇LED器件结构(a)，发光光谱(b)，电流密度-电压-亮度曲线(c)和大面积器件照片(d)

得益于碘化铜团簇本身优异的空气稳定性和热稳定性，LED器件可实现100
加热后效率的完全可逆回复，以及在空气和惰性气体中相似的工作稳定性。

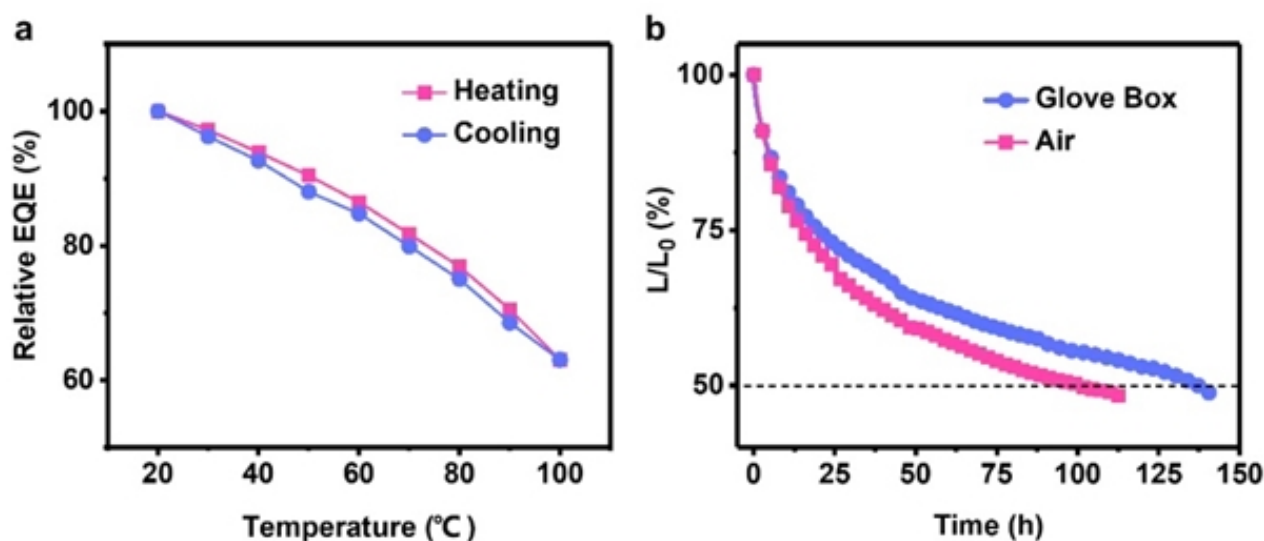


图6 团簇LED器件效率-温度关系曲线(a)及在手套箱和空气中的工作稳定性(b)

总结与展望

本研究工作开发了一种新颖的一步溶液合成-沉积纳米团簇薄膜技术，制备出基于单一碘化铜团簇的宽光谱LED器件。该纳米团簇薄膜具有高发光效率、均匀的形貌、优异的空气稳定性和热稳定性，从而使高效宽光谱LED具备出色的空气和高温工作性能。纳米团簇在刚性上的优势与卤化铜含量丰富、环境友好的特点相结合，体现了碘化铜纳米团簇实现健康照明和显示的光明前景。研究团队期望通过合理的配体设计，进一步优化碘化铜纳米团簇LED的器件效率和工作稳定性。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01427-z>

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：叶志镇等 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](https://www.iikx.com)转发