

大规模制造钙钛矿量子点

日本的研究人员已开发出钙钛矿量子点的大规模生产技术，为其在 LED 显示技术，农业技术等多个领域的广泛应用做好准备。



伊势化学工业股份有限公司（日本，东京）生产的发光钙钛矿量子点。

可以将紫外线转换为可促进作物生长波长的塑胶薄膜，是由钙钛矿量子点 (PeQDs) 制成的一种突破性材料的潜在应用之一。钙钛矿是一种可印刷或涂布成薄膜的晶体材料，应用范围广泛，包括太阳能电池、催化剂和传感器。奈米级的 PeQDs 具有优异的光学与电学特性，为钙钛矿材料的另一种应用方式。这些量子点的光学特性，包括高光致发光效率与优异的色纯度，使其非常适合用于电子与光电子应用，例如 LED 显示器、光转换薄膜和荧光油墨。为了推动这些材料的更广泛应用，日本山形大学的增原阳人 (Akito Masuhara) 教授所领导的团队正在研究 PeQDs，涵盖从材料设计与合成到元件制造的各个方面。拥有利用有机奈米晶体制造有机元件经验的奈米技术专家增原教授表示，该团队的目标是开发可扩展的 PeQDs 生产制程。目前，他的研究团队正与总部位于东京的伊势化学工业股份有限公司和瑞翁股份有限公司合作。

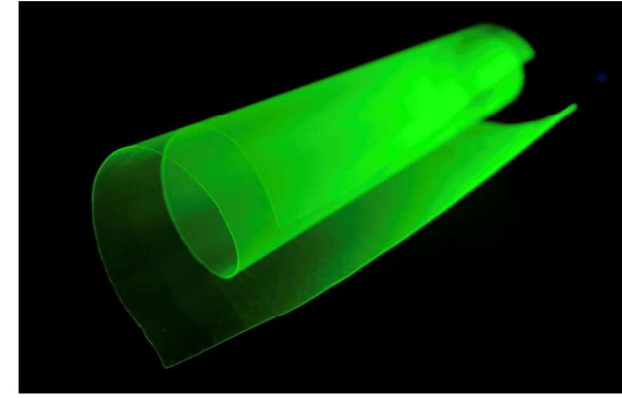
大规模生产

一种常见的 PeQDs 合成方法是配体辅助再沉淀法 (LARP)，这是一种简单的单釜合成技术，增原表示。由于 LARP 不需要精确的温度或气氛控制，因此比现有方法更适合 PeQDs 的大规模生产。然而，使用 LARP 进行 PeQDs 的量产并非没有挑战，他指出：「将 LARP 与传统

的规模化方法结合时，颗粒会发生聚集，导致 PeQDs 的品质下降。」维持无颗粒聚集的均匀反应环境至关重要。」在伊势化学工业股份有限公司的专业技术支持下，增原团队成功地透过一种称为「强制薄膜微反应器」(FTFR) 的制备方法实现了量产。FTFR 是一种设备，能够使薄膜强制通过微尺度流道。与传统的批次合成不同，FTFR 方法透过快速混合与均匀的生长环境，使奈米材料的合成更加均匀。根据增原团队开发的方法，钙钛矿前驱液与适当的溶剂持续供应至反应器。在反应器内，液体展开形成薄膜，促进高效的热与质传输。薄膜的形成确保了均匀的反应时间与温度，从而产生尺寸分布窄的量子点。透过调整流速来控制反应时间，研究团队能够精确地调控奈米晶体的尺寸。「我们的薄膜反应器为 LARP 方法的规模化提供了理想环境，使得高品质、低成本的 PeQDs 合成成为可能，」伊势化学工业股份有限公司的研究员，浅仓聪 (Satoshi Asakura) 表示。

提升耐久性

PeQDs 在实际应用中面临的挑战之一是其耐久性，因为其暴露于湿气、高温及空气时，其发光特性会下降。为此，增原向以树脂产品闻名的瑞翁股份有限公司寻求技术支持。双方合作发现，将 PeQDs 嵌入聚合物树脂中，可以有效保护材料，提高其耐久性与稳定性。「为了保护 PeQD 的表面，我们合成了一种特殊的配体，然后在下一阶段将其与聚合物结合，」瑞翁股份有限公司的柏木干文 (Motofumi Kashiwagi) 表示。透过混合 PeQDs 与透明树脂，研究团队成功开发出光转换薄膜的原型。柏木指出：「树脂能够保护 PeQD 表面，显著降低其在外部环境下的劣化速度。」增原表示，这种高性能树脂具有低吸水性、高透明度和良好的柔韧性，是 PeQD 光转换元件的理想材料。「透过修饰核心奈米晶体的表面配体，并将其嵌入树脂中，可以显著提升钙钛矿量子点的耐久性，」他补充道。「一般来说，当我们将 PeQDs 与聚碳酸酯 (polycarbonate)



将钙钛矿量子点嵌入聚合物树脂并制造成薄膜 (如图所示)，有助于提升材料的耐久性与稳定性。

或聚甲基丙烯酸甲酯 (poly(methyl methacrylate)) 等聚合物混合时，容易产生颗粒聚集，但在本研究中，我们成功制备了均匀的薄膜。」

更优质的显示技术

PeQDs 具有广泛的潜在应用，包括显示技术、闪烁体、波长转换薄膜及电晶体等。「我们正在研究各种应用，但主要关注的是显示技术，」增原表示。研究人员指出，PeQDs 优异的光学特性使其成为电脑与电视萤幕等彩色显示器的理想材料。与传统的发光材料相比，PeQDs 能够呈现更鲜艳的色彩。增原表示，高色彩转换效率、高色纯度、可调节的可见光范围，以及低生产成本，使 PeQDs 成为超广色域次世代显示技术的理想材料。「我们现在可以在不影响光学性能的前提下实现大规模生产，」他补充道。利用瑞翁



含有钙钛矿量子点的光转换薄膜下培养的微生物。

产品咨询联络方式

PeQDs 技术开发：增原阳人 (国立大学法人山形大学) masuhara@yz.yamagata-u.ac.jp
 荧光油墨与 FTFR：浅仓聪 (伊势化学工业股份有限公司) asakura@isechem.co.jp
 显示器用光转换薄膜：柏木干文 (瑞翁股份有限公司) kashiwa@zeon.co.jp

本内容系由本研究团队翻译并转载自 2025 年 3 月 19 日刊登于 Nature.com* 的报道式广告「Making perovskite quantum dots at scale」的正文。中文翻译及内容皆由上述三个机构负责发布。

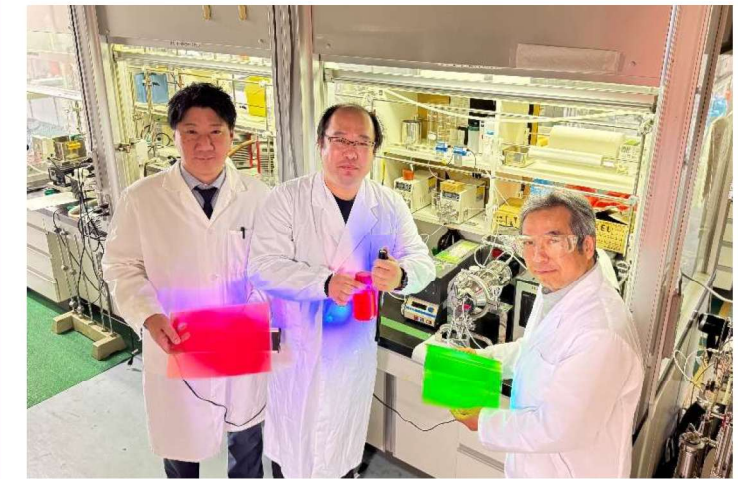
*Nature.com 为国际综合科学期刊《Nature》的在线版本，致力于传播最前沿的科学研究。

原文链接：<https://www.nature.com/articles/d42473-025-00002-3>

股份有限公司的高性能树脂与 PeQDs，研究团队能够开发出具有高发光特性且易于加工的发光元件薄膜。「我们的目标是制造不影响 PeQDs 发光特性的薄膜，以满足次世代显示器的色彩标准，」增原表示。此外，研究团队还在开发光转换薄膜，用于在人工光照条件下培养水耕作物 (如叶菜类蔬菜) 或微生物。「这些应用充分利用了薄膜的宽色域分布与高色纯度，」增原指出。目前，增原团队的目标是开发最优化阳光利用的农业薄膜。他们的下一步计划是提升其耐久性，以适应长期的户外环境使用。

荧光油墨

PeQDs 还可以分散于有机溶剂中，制备具有卓越特性的荧光油墨，例如高亮度效率，锐利的发光光谱，以及可在整个可见光范围内调节颜色。这类油墨可应用于喷墨列印或印刷涂层技术等领域。「我们已经开发出多种发光颜色的钙钛矿量子点合成技术，并成功制备出具有优异光学特性的荧光油墨。我们的量子点分散液可覆盖约 95% 的色域范围，」增原表示。研究团队将持续改良这些油墨，并努力解决薄膜的稳定性与耐久性问题，同时与业界伙伴合作，推动 PeQDs 在各种应用领域的实用化。「克服这些技术挑战，将是推动这项前瞻技术广泛商业应用的关键，」增原强调。



增原阳人、浅仓聪和柏木干文 (从左至右) 在实验室规模的试验中，使用强制薄膜微反应器制备出钙钛矿量子点样品。