

高压脉冲电化学发光实现果蝇幼虫行为光遗传操控

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41189.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！

高压脉冲电化学发光实现果蝇幼虫行为光遗传操控。 导读

德国科隆大学与圣安德鲁斯大学联合团队在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》上发表重要研究成果，通过高压脉冲驱动的电化学发光（Electrochemiluminescence, ECL）器件，首次实现对果蝇幼虫行为的高时空分辨率光遗传操控。该研究采用激基复合物反应路径与双相电压脉冲策略，使ECL器件在 ± 10 V脉冲下光功率密度超过 $100 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ ，并成功激发表达CsChrimson光敏感通道的幼虫产生逃逸行为。该成果突破了传统ECL器件亮度低、稳定性差的技术瓶颈，为神经光遗传学研究提供了半透明、可集成、高分辨率的全新生光工具。

研究背景

光遗传学作为神经科学研究的核心工具，对光源的亮度、稳定性和空间灵活性提出极高要求。传统LED与OLED器件虽广泛应用，但其不透明性与集成限制常阻碍实时成像与光刺激的同步进行。电化学发光器件因具备半透明、柔性、溶液加工等优势，被视为理想替代光源，然而其光输出功率低、工作寿命短的问题长期未解，尤其在脉冲高强度操作下性能衰减严重。

现有ECL器件多基于 $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ 等发光团，通过离子湮灭机制发光，但难以在高压下稳定工作。此外，多数ECL系统在超过 ± 4 V电压下易发生不可逆副反应，限制其在高强度光遗传实验中的应用。尽管已有研究尝试通过波形调制、插入休息期等方式提升稳定性，但其光功率密度仍远低于光遗传学所需的 $10 - 100 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ 阈值。

研究亮点

1. 高压脉冲操作与激基复合物路径

采用TAPC(1,1-bis[(di-4-tolylamino)phenyl]cyclohexane)与TPBi(2,2',2''-(1,3,5-benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1-H-benzimidazole))形成激基复合物，并通过能量转移至TBRb(2,8-di-tert-butyl-5,11-bis(4-tert-butylphenyl)-6,12-diphenyltetracen)荧光染料实现高效发光。通过施加双相电压脉冲（每相0.2 ms），在 ± 10 V条件下实现平均光功率密度 $101 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ ，最高峰值达 $192 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ 。该机制显著提升反应可逆性与操作电压窗口，克服传统ECL器件的电解副反应问题。

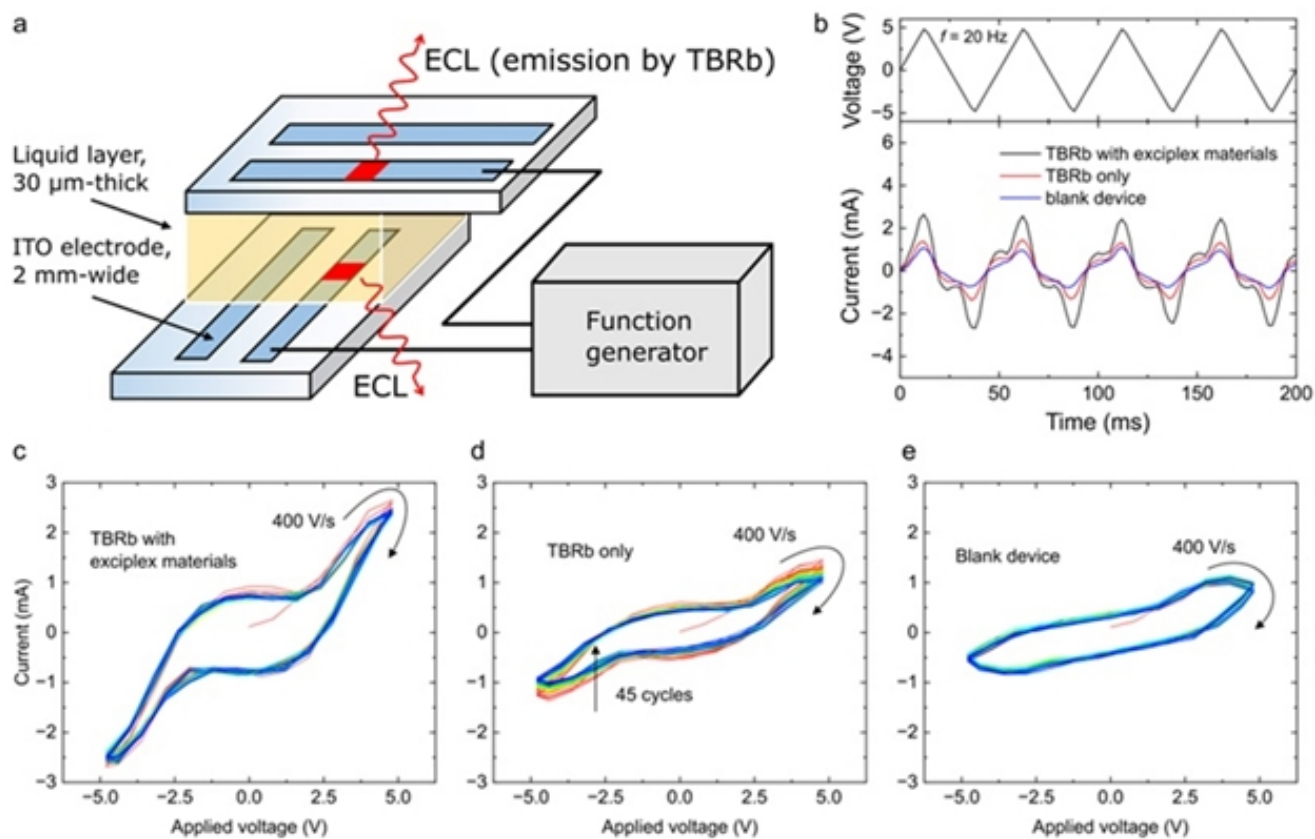


图1：ECLD器件结构示意图与 Triangular 波形电压下的电流响应。

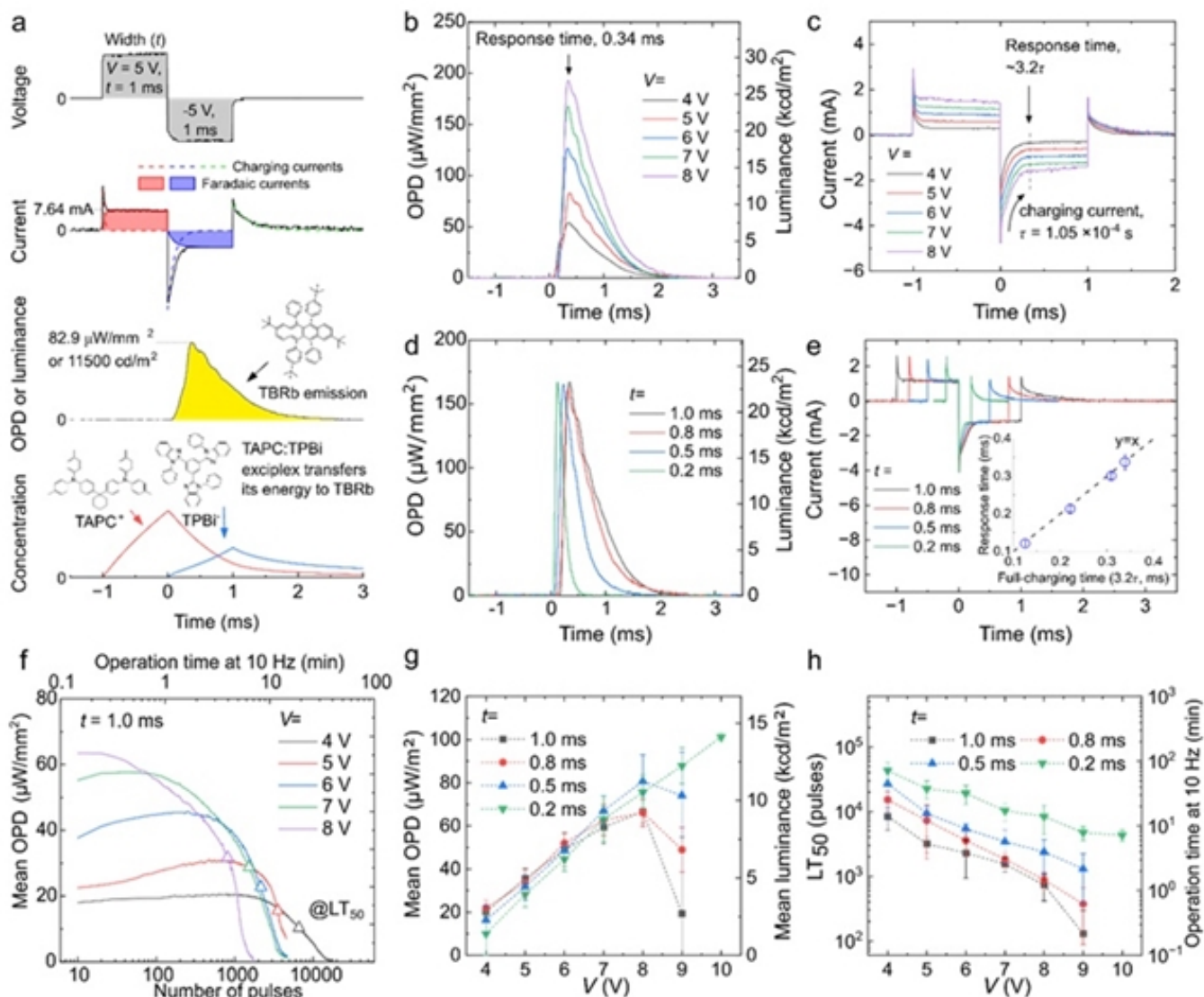


图2：脉冲ECL模式下，不同电压与脉冲宽度对应的光功率密度与电流响应。

2. 脉冲波形优化与器件稳定性

通过调节双相脉冲的宽度与电压比例，研究团队实现离子浓度的动态平衡，显著延长器件寿命。在 $\pm 4\text{ V}$ 、 0.2 ms 脉冲条件下，器件LT??寿命达42,880次脉冲（约71分钟），满足多数光遗传实验的时长需求。插入 0.45 ms 休息期的脉冲序列进一步扩展了高强度发光的持续时间。

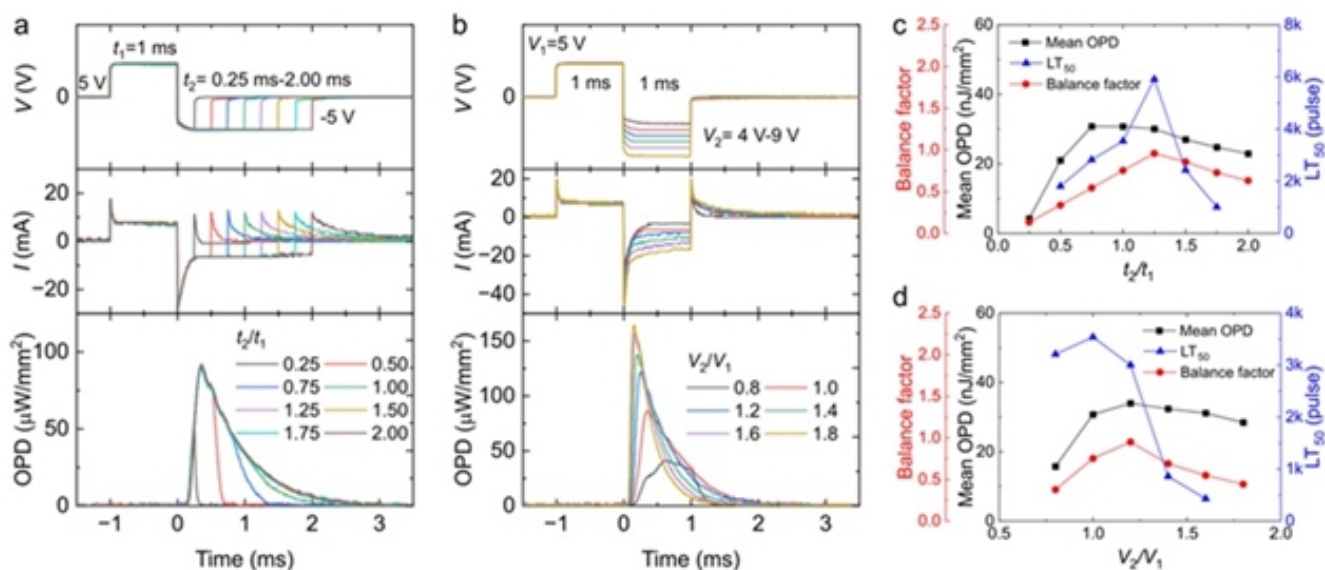


图3：ECL脉冲波形调制：不同脉宽与电压比例对平衡因子、平均OPD及LT₅₀的影响。

3. 果蝇幼虫行为光遗传操控

利用ECL器件的半透明特性，团队在倒置显微镜下同步进行光刺激与行为成像。在4秒光脉冲（平均OPD $15.6 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ ）刺激下，表达CsChrimson的果蝇幼虫体角显著减小，出现典型的弯曲逃逸行为，响应概率高达90%，而对照组仅为19%。此外，幼虫在非照射区域无行为变化，证实ECL刺激具备高空间特异性。

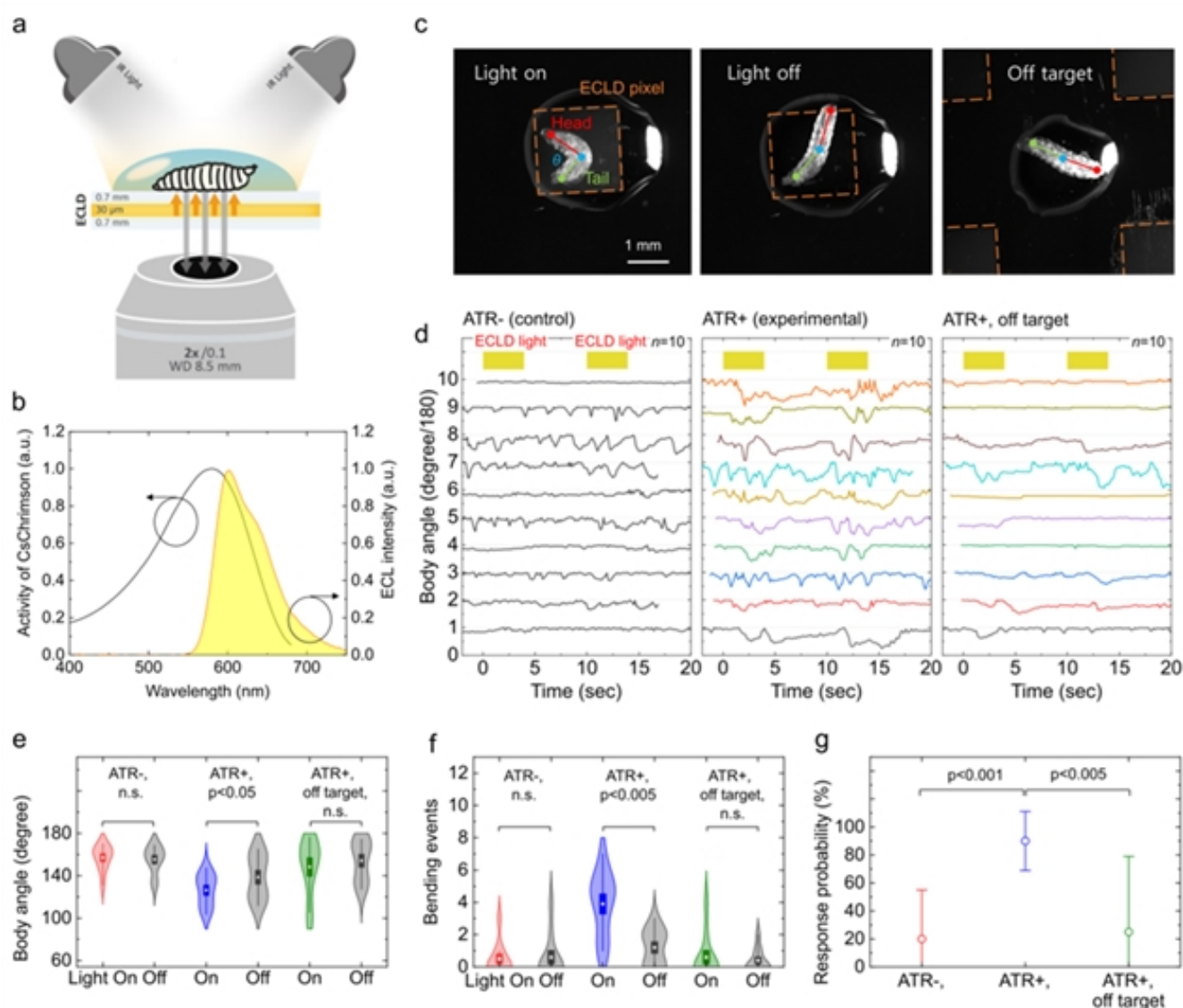


图4：果蝇幼虫光遗传行为操控实验示意图、体角追踪与行为响应统计。

总结与展望

首次将高压脉冲ECL器件成功应用于活体光遗传行为调控，验证了其作为神经光遗传学光源的可行性与优势。未来，通过优化激基复合物能级结构与终端发光染料，可实现多色ECL发射，匹配不同光敏感蛋白的激发谱。该技术有望推动在体神经环路研究、高通量行为筛选及植入式光遗传器件的发展，为生物医学光学工具提供全新平台。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02143-y>

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：Malte C. Gather 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