超快激光“画笔”绘制多彩世界

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/33438.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！

超快激光“画笔”绘制多彩世界。

爱科学
iikx.com


ISSN 2831-4093 (online)
ISSN 2689-9620 (print)
Light | Advanced Manufacturing
2025 • Volume 6 • Issue 1
光：先进制造
light-am.com
PAGE 52
Ultrafast laser writing structural colors on TiAlN-TiN hybrid films
LIGHT PUBLISHING GROUP

导读

结构色是一种与传统化学颜料不同的颜色表现形式，它源于光与纳米结构材料的相互作用，通过干涉、衍射和散射等现象产生。这种颜色不仅鲜艳持久，而且具有独特的光学性质，因此在工艺品、防伪编码、传感成像、光学器件等领域有着广泛的应用前景。然而，如何高效、精确地制造结构色一直是研究人员面临的挑战。

传统的制造方法如电子束曝光、聚焦离子束刻蚀等虽然空间精度高，但成本昂贵、效率与工作幅面受限，难以大规模生产。而纳米压印和胶体自组装等方法虽然成本较低，但在图案保真度和模具耐久性方面存在不足。近年来，直接激光写入技术以其非接触、一步成型、无需掩模等优势脱颖而出，成为制造结构色的有力工具。

近日，西安电子科技大学杭州研究院石理平教授团队，提出了一种创新的超快激光着色技术，通过优化超快激光脉宽在TiAlN-TiN薄膜上实现了宽色域的结构色调控，并揭示了两种氧化着色机制：光氧化和热氧化，分别对应短脉冲和长脉冲的氧化过程。该成果以Ultrafast laser writing structural colors on TiAlN-TiN hybrid films为题发表在Light: Advanced Manufacturing。这项研究不仅展示了激光着色技术的神奇魅力，为优化激光写入技术、实现结构色的精确控制提供了理论依据，还有望推动光学涂层材料和薄膜显示等领域的发展。

精心搭建画布与画笔

研究团队精心设计了一种TiAlN-TiN复合纳米薄膜，将60 nm厚的TiAlN薄膜作为主要吸收层，50 nm厚的TiN薄膜作为反射层，精确地沉积在硅片上作为产生结构色的画布。这种双层结构在超快激光照射下，表面会形成一层氧化层，通过光的干涉产生结构色。并且，超快激光作为可变画笔，脉冲宽度可从700 fs到10
ps不等进行调整，为精确控制氧化层的深度和结构色特性提供了更灵活的可能。

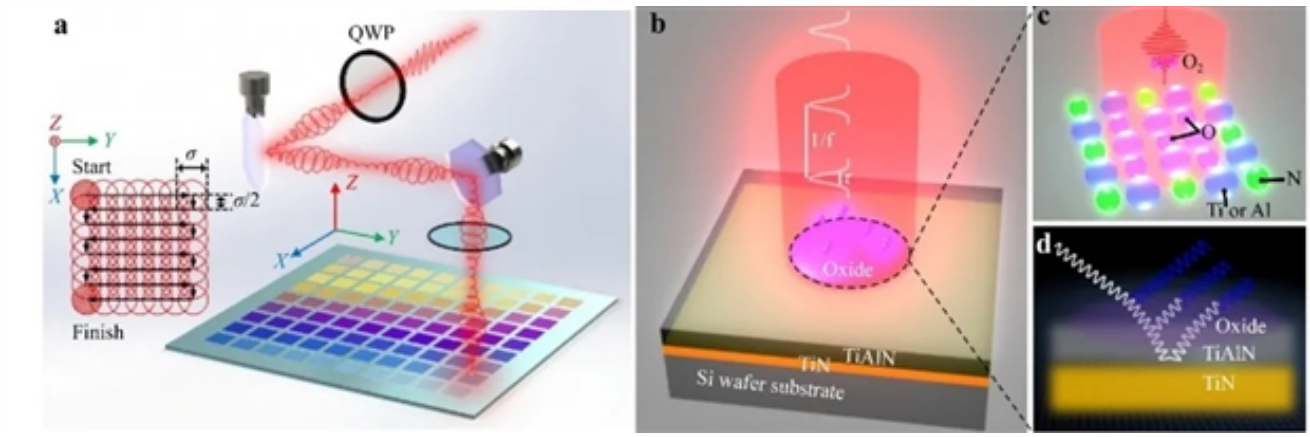


图1：超快激光作为画笔在TiAlN-TiN复合薄膜画板上诱导表面氧化结构色

激光参数精细调控：彩色的配方

研究团队通过调整激光功率、扫描速度和脉冲宽度等参数，深入研究了这些变量与结构色之间的

相互作用。他们发现，激光功率和扫描速度是决定照射剂量和后续着色效果的关键因素，而脉冲宽度则在低功率和慢扫描速度下对颜色变化产生显著影响。实验结果表明，较长的脉冲宽度虽然氧含量较低，但能产生更显著的颜色变化，这归因于表面粗糙度的增加和氧化层深度的加深。

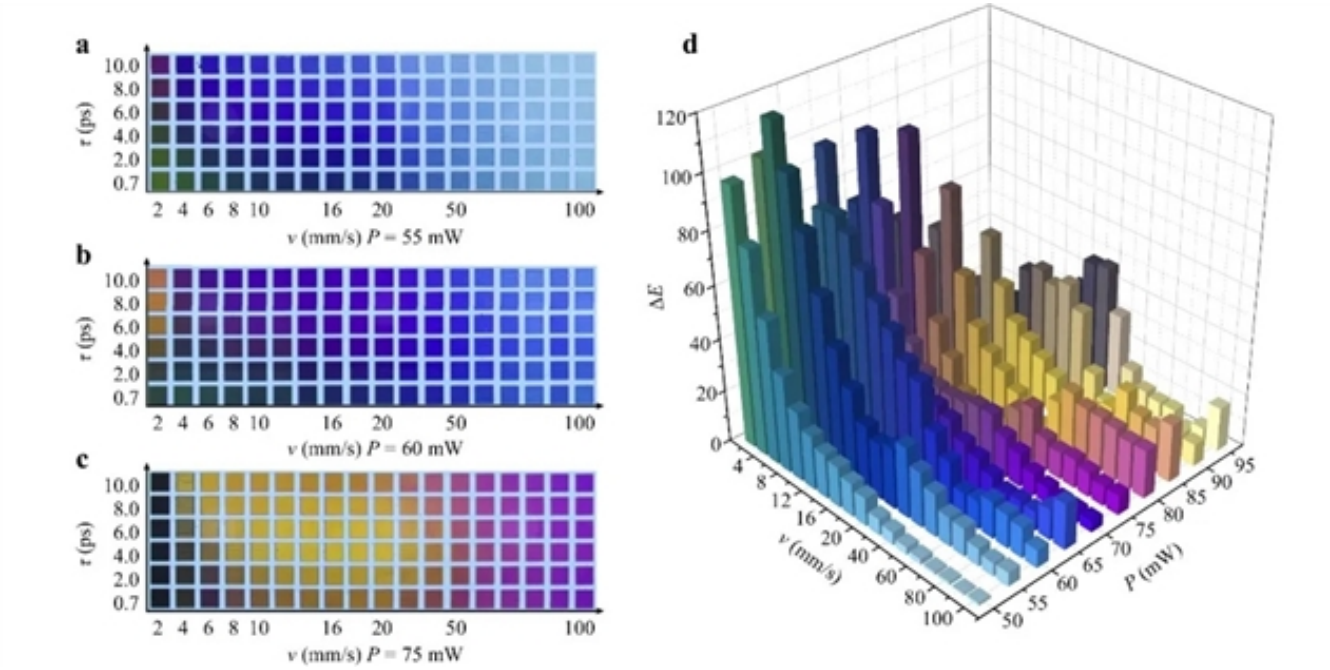


图2：通过激光功率、扫描速度和脉冲持续时间的可变组合生成的矩阵调色板，揭示了激光加工参数之间相互作用而赋予TiAlN-TiN表面的丰富颜色

氧化机制探索：揭示颜色变化的秘密

为了揭示脉冲宽度对激光着色效果的影响机制，研究团队提出了两种氧化机制——光氧化和热氧化。光氧化是在脉冲激光激发的非平衡态下发生的，通过产生高能电子和高活性物种，迅速形成氧化层。而热氧化则是在材料被加热到高温后，氧气分子逐渐扩散到材料中并与之反应形成氧化物。这两种机制共同作用，导致了不同脉冲宽度下氧化层的氧含量和深度的差异，从而影响了结构色的产生。

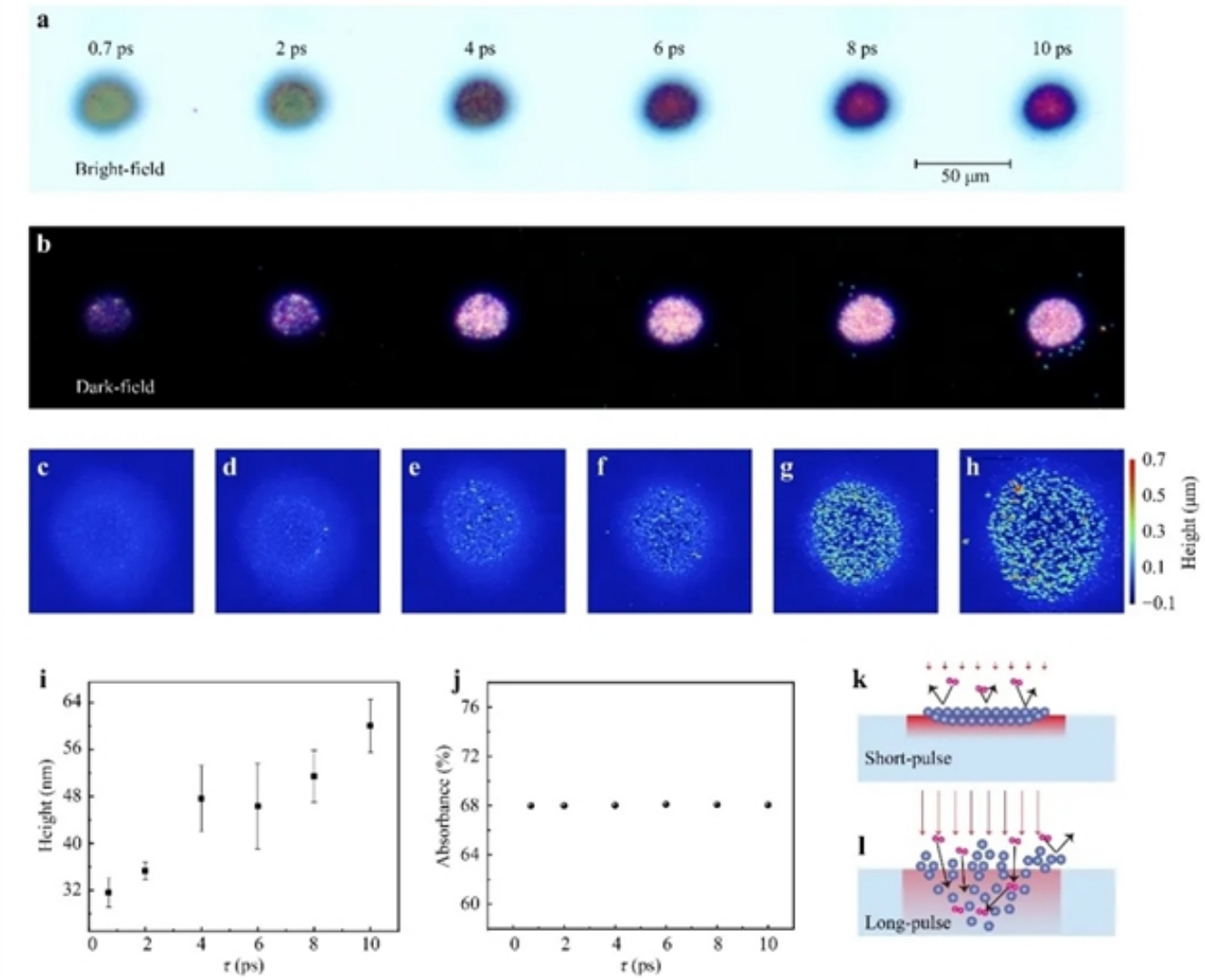


图3：短脉冲和长脉冲超快激光诱导氧化机制的探索

总结与展望：从实验室到未来的多彩世界

这项研究不仅深入探讨了超快激光在TiAlN-TiN薄膜上制造结构色的机制，还为优化激光写入技术、实现精确的结构色控制提供了宝贵的见解。通过精确调控激光参数，在复合薄膜画板上绘制出丰富多彩的图案，为未来的光学涂层、显示技术和传感器系统等领域的应用奠定了坚实的基础。

展望未来，这项技术有望在更多领域得到应用。例如，在光学防伪领域，利用激光制造的独特结构色可以制作出难以复制的防伪标识；在显示技术领域，这种激光写入的结构色可以用于制造高分辨率、高对比度的显示屏；在艺术创作领域，艺术家们可以利用激光画笔创作出更加绚丽多彩的艺术作品。随着技术的不断发展和完善，有理由相信，超快激光技术将在未来的多彩世界中发挥更加重要的作用，为我们带来更多的惊喜和可能性。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2025.006

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：石理平等 来源：《光：先进制造》

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