

## 抗弯柔性导电铜电极飞秒激光直写研究

邢羚榕, 崔梦雅, 黄婷\*, 肖荣诗

北京工业大学材料与制造学部高功率与超快激光先进制造实验室, 北京, 100124

\*Email: [huangting@bjut.edu.cn](mailto:huangting@bjut.edu.cn)

柔性电极在柔性电子器件、能源储存、光电子器件等领域具有显著优势。激光直写技术具有柔性高、效率高、适应性强等特点, 可在柔性基底表面制备导电结构, 引起人们的关注。基于光热效应的连续或短脉冲激光直写速率快, 直写金属结构尺寸通常为微米及以上。但是激光热输入量难以控制, 激光作用区域温度极易超过热敏基底热损伤温度导致基底损伤。与连续或短脉冲激光相比, 飞秒激光脉宽极短, 可以精确控制热输入, 从而可以实现直写区域温度的精确控制。本研究利用高脉冲频率飞秒激光器在聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 表面高效、可靠地直写柔性导电 Cu 电极。首先, 在不同的激光峰值功率密度和扫描速度下制备微电极, 对其结构形貌、成分及其方阻的进行了分析。然后, 对柔性导电 Cu 电极的弯曲疲劳性能进行测试。最后, 利用有限元温度场模型模拟了不同激光参数下激光作用区域的温度变化。结果表明: 当激光峰值功率密度为  $4.26 \times 10^9 \sim 1.70 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 扫描速度为  $100 \sim 600 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 飞秒激光直写的电极包含 Cu 和  $\text{Cu}_2\text{O}$ , 微电极的线宽、均匀性及导电性随着峰值功率密度的增加或扫描速度的降低而提高。当峰值功率密度在  $4.26 \times 10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 扫描速度为  $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  时, Cu 电极的方阻低至  $0.56 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$ 。Cu 电极经过 6000 次弯曲后方阻相对变化趋近于 0, 具有良好的抗弯曲稳定性。模拟结果表明, 随着激光峰值功率密度的增加或扫描速度的降低, 激光作用区域的温度逐渐升高并超过 PET 熔点, 可以使还原的金属 Cu 嵌入 PET 表面, 增加金属 Cu 电极与基底的附着力。

**关键词:** 飞秒激光直写技术; 铜电极; 方阻; 导电性

\*第一作者 (报告人) 联系方式: 邢羚榕、18335309899、[xinglingrong@emails.bjut.edu.cn](mailto:xinglingrong@emails.bjut.edu.cn)