

石英玻璃与 304 不锈钢的纳秒脉冲激光焊接技术研究

霍靖宇, 谭君陶, 张博元, 李嘉铭*, 马琼雄, 郭亮, 张庆茂

华南师范大学, 信息光电子科技学院, 广东省微纳光子功能材料与器件重点实验室, 广州, 510006

华南师范大学, 省部共建光信息物理与技术国家重点实验室, 广州, 510006

*Email: jmli@m.scnu.edu.cn

金属具有优良的塑性韧性、导电和导热能力。玻璃有着光学性能好、化学稳定性高等优点, 但其脆性限制了应用领域。结合二者优良特性, 玻璃与金属的连接可以拓展到许多工业领域, 已被广泛应用于半导体、微电子机械系统等行业。激光焊接是一种以激光作为热源的先进连接技术。已有大量研究表明, 在金属与金属焊接中, 激光焊接有着能量密度高、加工精度高等优势, 获得了广泛的应用。但随着器件的小型化和应用领域的拓展, 对连接强度、精度和使用温度等性能要求逐渐提高, 连接难度大幅提升, 制约了精密微型器件的应用。因此, 深入研究热膨胀系数相差较大的玻璃与金属的激光焊接技术对拓宽精密微型器件的应用有着重大的工程价值, 成为研究的热点和难点。

在本研究中, 我们采用红外纳秒光纤激光器对石英玻璃和 304 不锈钢进行焊接, 探究了激光功率、重复频率、扫描速度、焊线间距等工艺参数对焊接质量的影响规律, 探索了激光焊接的机理, 且在焊接成功后做进一步深入研究。

在保持光学接触的条件下 ($d < \lambda/4$), 实现了剪切强度最高可达 29.66 MPa 的玻璃-金属选区焊接。研究了异种材料之间的焊接机理。结果表明, 在激光作用下, 石英玻璃和 304 不锈钢焊缝界面中存在元素扩散, 其中 Fe、Cr 和 Si 是形成焊缝的关键因素。且在元素扩散过程中, Cr 比 Fe 更容易扩散到玻璃中。

在此基础上, 为进一步提高焊缝强度, 在石英玻璃与 304 不锈钢之间添加 5 nm 的 Cr 薄膜与中间液, 使用红外纳秒激光器成功将不锈钢与玻璃进行焊接。获得了 41.4 MPa 的最大剪切强度, 与直接焊接相比增长了 40%。扩大了焊接工艺窗口, 提高了焊接质量。本研究工作对推进金属与玻璃材料激光焊接技术的发展和應用有着重要意义。

关键词: 激光焊接; 异种材料; 焊接强度; 焊接机理; 焊缝元素扩散

*第一作者 (报告人) 联系方式: 霍靖宇、15028310521、2021022540@m.scnu.edu.cn