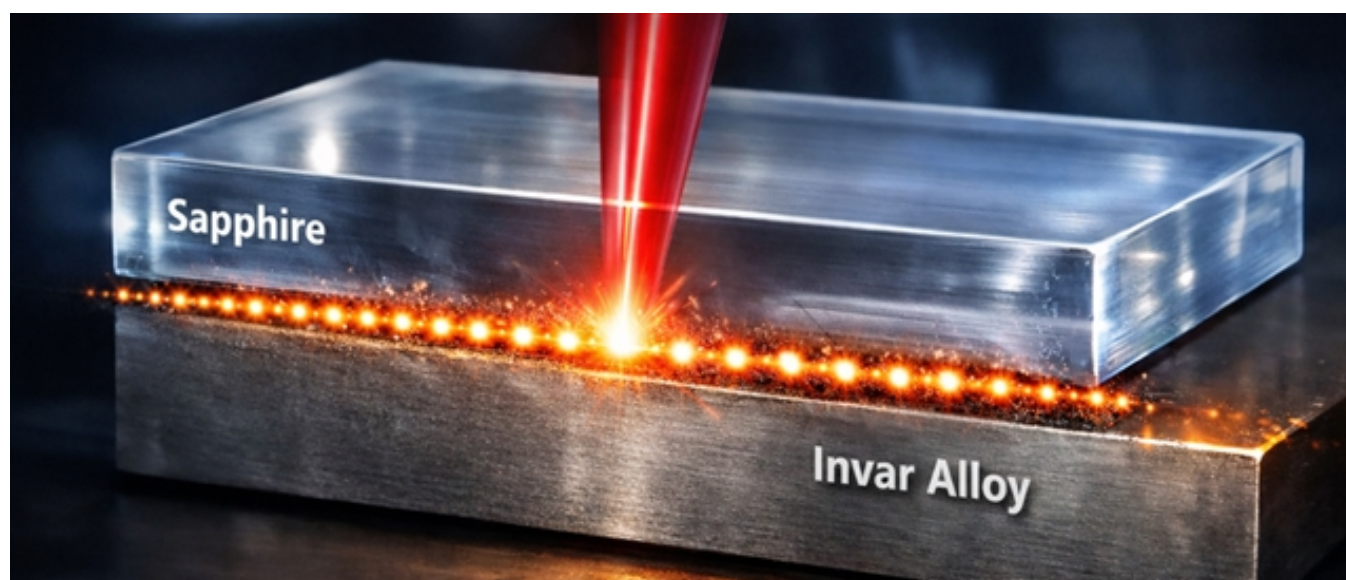

研究揭示非光学接触异质材料超快激光焊接机理

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39260.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！

研究揭示非光学接触异质材料超快激光焊接机理。



导读

近期，中南大学机电工程学院段吉安教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为Tailoring sapphire – invar welds using burst femtosecond laser的研究论文。

聚焦粗糙金属与玻璃材料难以实现稳定、高强度焊接的工程痛点，研究深入揭示非光学接触异质材料的飞秒激光焊接机理。通过连续高速原位成像，揭示了异质材料超快激光辐照过程中金属线性吸收行为与蓝宝石非线性吸收行为的动态耦合过程，发现了熔融金属界面主动填充对界面自由空间的主动调控，明确了焊接强度主要受蓝宝石热应力引发的裂纹限制，实现了粗糙因瓦合金与蓝宝石间大于10MPa的焊接性能，为高强度、高稳定性异质材料焊接提供理论指导与技术支持。

在高功率激光系统、航空航天传感器以及精密医疗器械等高端装备中，常需要把透明材料与金属

材料高可靠地集成在一起。然而，透明材料与金属材料在光学、热学和力学性质上差异巨大，胶黏、钎焊/扩散连接等传统方法要么受限于耐温与老化，要么工艺复杂、对材料体系和界面条件要求苛刻，难以兼顾强度与可靠性。在这一点上，飞秒激光可在透明材料内部产生非线性吸收，同时金属具有线性吸收，理论上能在两者接触界面上实现局部能量沉积与连接；但实际中如果两种材料不能形成理想的光学接触，激光能量耦合会变得不稳定，焊接强度与一致性显著下降。

近日，段吉安教授团队提出一种面向工程粗糙金属表面焊接的解决方案：利用脉冲串(Burst)飞秒激光，实现蓝宝石(sapphire)与因瓦合金(Invar)在非光学接触条件下的稳定焊接，并首次系统揭示了透明、金属异质界面上线性吸收与非线性吸收的耦合沉积规律，为高性能异质材料连接提供了新的机理框架与工艺指导。

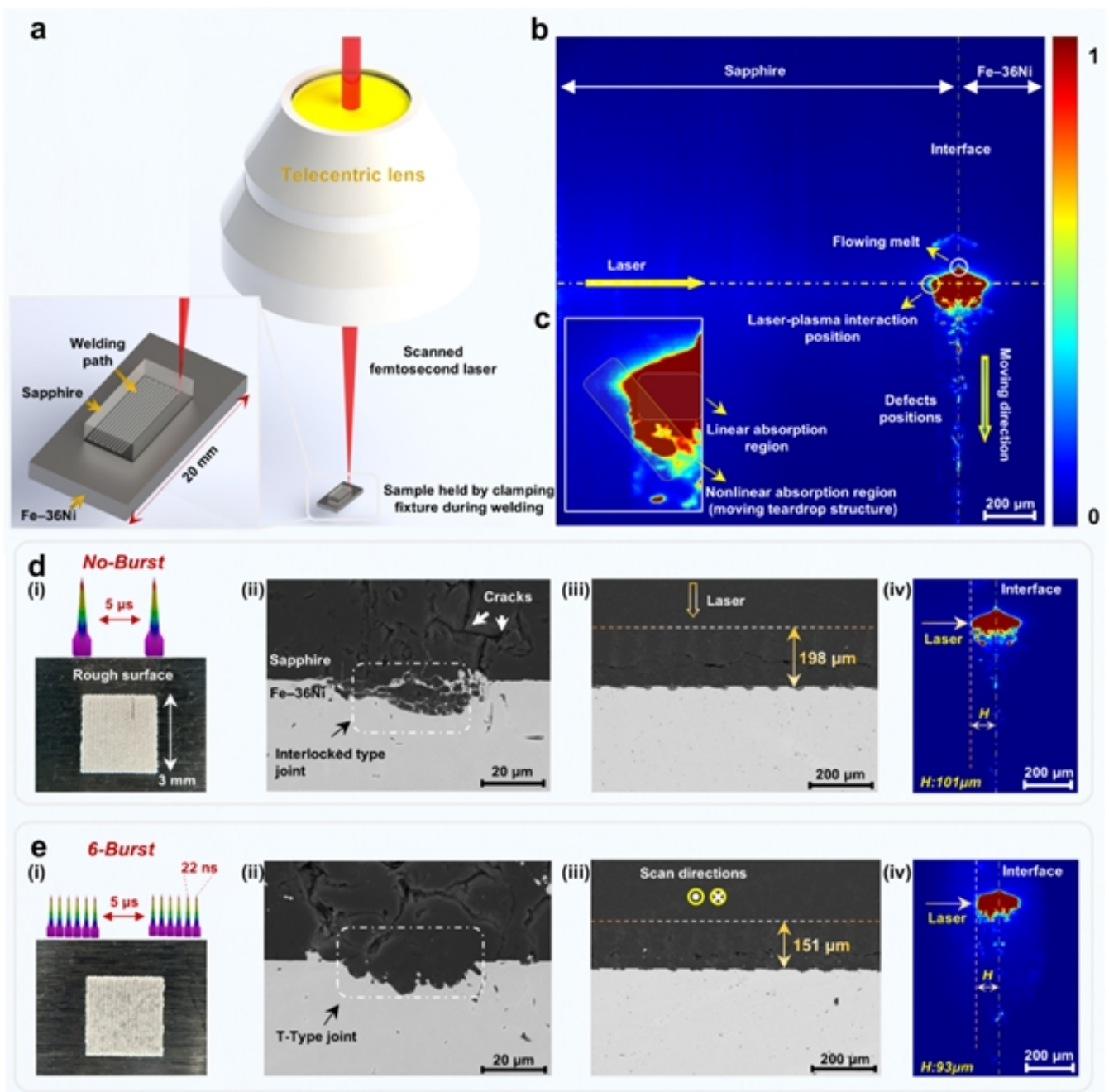


图1：异质材料飞秒焊接方法、工艺及结果

以往多数超快激光透明/金属焊接研究依赖高度抛光金属表面来获得光学接触。该研究直接聚焦于工程应用，在因瓦合金表面粗糙度达到 $Sa = 2.128\ \mu\text{m}$ 的情况下，仍成功获得最大剪切强度 11.73 MPa 的蓝宝石/因瓦合金接头。能够在这一粗糙度水平下实现稳定焊接，该研究与已报道的非光学接触超快激光透明/金属焊接相比具备显著的优势，展示了玻璃/金属异质材料连接的工程应用潜力。

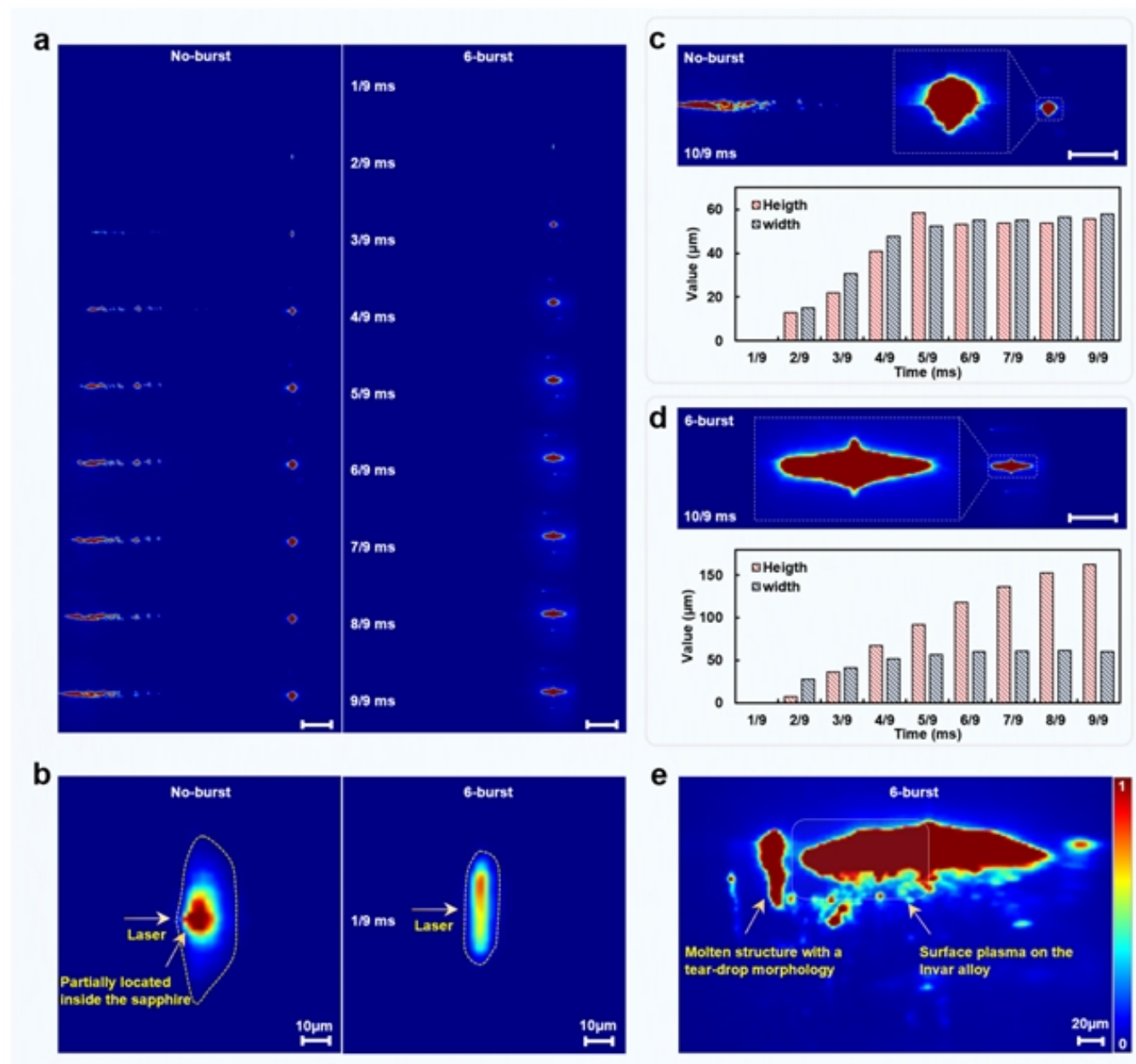


图2：不同Burst模式下的飞秒激光能量瞬态沉积过程

研究通过高速成像对焊接过程的等离子体辐射进行连续观测，给出了非光学接触界面下线性吸收与非线性吸收如何时序耦合、如何维持等离子体与能量沉积的过程证据，并观察到扫描焊接时界面由自由空间逐步转为受限空间的动态变化。此外，焊接接头分析表明，失效主要发生在蓝宝石

一侧的脆性断裂，源于焊接热应力诱发的裂纹，这是强度难以进一步提升的主要瓶颈，为后续接头性能提升提供了技术指导。

该研究工作得到武汉华日精密激光股份有限公司的大力支持，华日公司秉承用激光工具改变生活的愿景，致力于为全球用户提供稳定可靠的高端激光器产品和激光应用解决方案，服务高端制造业和生命科学，希望为异质材料超快激光焊接提供更全面的设备支持！

总结与展望

在工程粗糙表面条件下实现了蓝宝石/因瓦合金的稳定超快激光连接，并通过高速原位观测明确了非光学接触透明/金属焊接的关键机制，为异质材料高强度、高稳定性焊接提供了新的机理认知与方法指导。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2026.003>

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：段吉安等 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](https://www.iikx.com)转发