



力学所在强激光驱动微弹道冲击研究中取得进展

作者: 吴先前 2022-10-15 09:47

【放大 缩小】

发展先进的加载与测量手段, 展现材料独特的动态力学行为, 一直是冲击动力学研究的主题。近年来, 高性能纤维、薄膜等基础材料在冲击防护领域得到大量应用。但是传统的爆炸与冲击加载方法由于尺度较大、测量精度有限, 难以表征纳米或微米尺度纤维及薄膜材料的冲击动力学行为, 需要发展新的微纳尺度冲击动力学实验手段。前期, 我们利用强激光驱动爆炸与冲击效应, 建立了强激光驱动微弹道冲击实验平台(子弹直径~10 μm , 速度~700m/s), 并获得了nm~ μm 厚度碳纳米管薄膜、非晶合金薄膜等材料的冲击防护性能与耗能机制(*Extreme Mech Lett* 2021; *Carbon* 2021; *Nano Mater Sci* 2021)。但是, 由于强激光驱动微弹道冲击涉及强激光吸收-等离子体演化-薄膜介质动态变形-微子弹冲击, 物理过程较复杂, 目前对于强激光驱动微弹道冲击的作用机理与相似规律尚不清楚。需要发展耦合物理模型, 分析驱动过程的主控参数, 来建立强激光驱动微弹道冲击的相似律, 并进一步提升微子弹的侵彻速度, 拓展其应用范围。

为此, 中科院力学所流固耦合系统力学重点实验室吴先前副研究员考虑强激光的反射与非线性吸收、等离子体逆韧致吸收、薄膜材料中应力波传播与衰减等效应, 建立了强激光吸收-等离子体演化-薄膜介质动态变形-微子弹变形与运动的耦合物理模型, 并发展了相应计算方法, 能够对不同参数条件下的微子弹驱动过程进行较准确描述; 与此同时, 针对不同的时间尺度, 将强激光驱动微弹道冲击过程解耦为强激光诱导等离子体冲击波(时间尺度ns量级)及冲击波诱导薄膜变形、微子弹运动(时间尺度 μs 量级)两个物理过程, 采用分步量纲分析方法, 得到了影响微弹道侵彻速度的主控无量纲参数, 提出并验证了强激光驱动微弹道冲击相似律; 结合耦合数值模拟和实验验证, 拟合得到了强激光驱动微弹道侵彻速度的经验计算公式, 并给出了更高侵彻速度的实验参数条件。为强激光驱动微弹道侵彻速度预测和实验方法改进提供了分析方法。

该研究工作得到国家自然科学基金(51875401)和北京市自然科学基金(2182010)的支持。

论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107289>

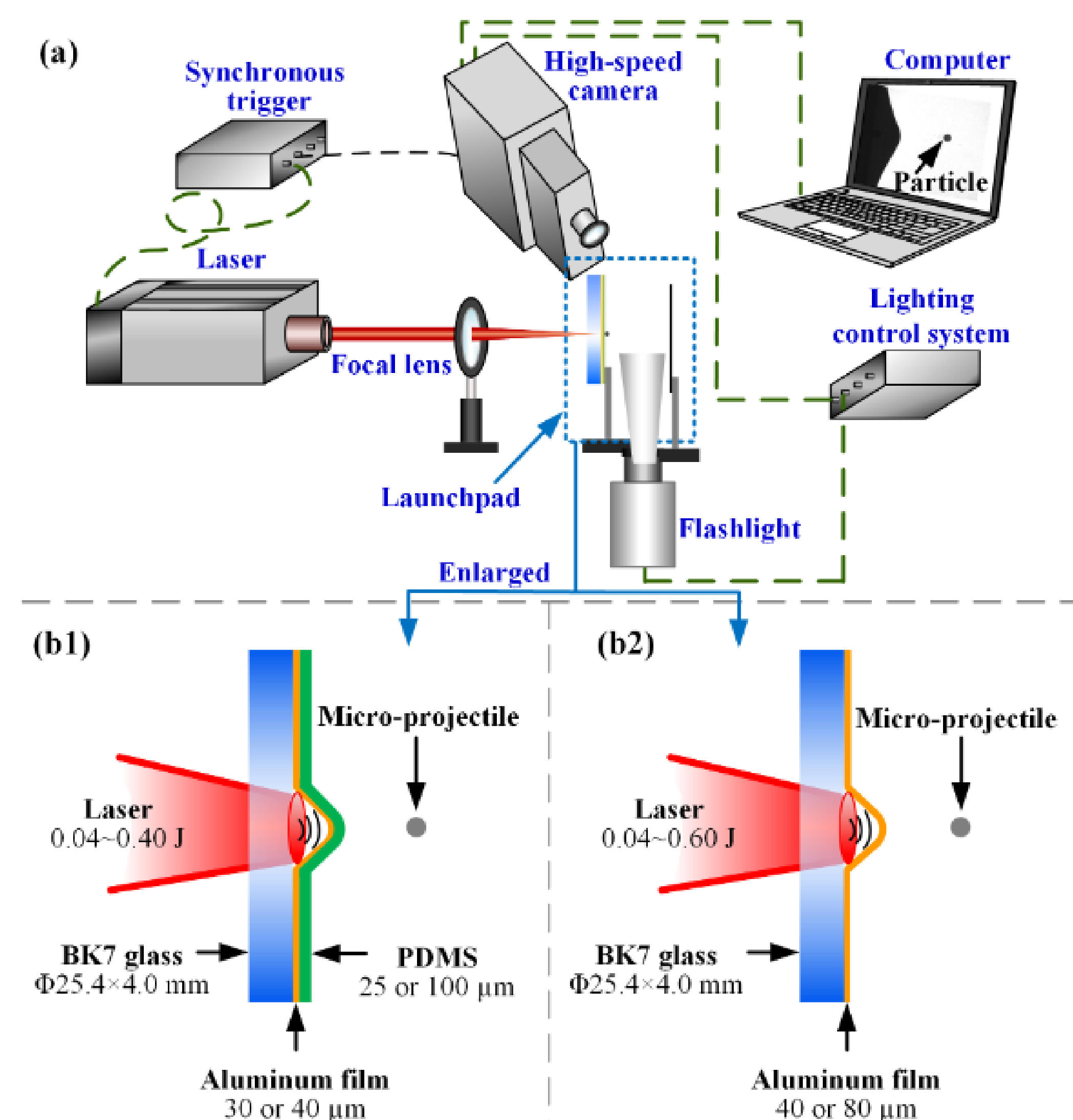


图1 (a) 强激光驱动微弹道冲击原理; (b1)有PDMS薄膜和(b2)没有PDMS薄膜的微子弹驱动机制

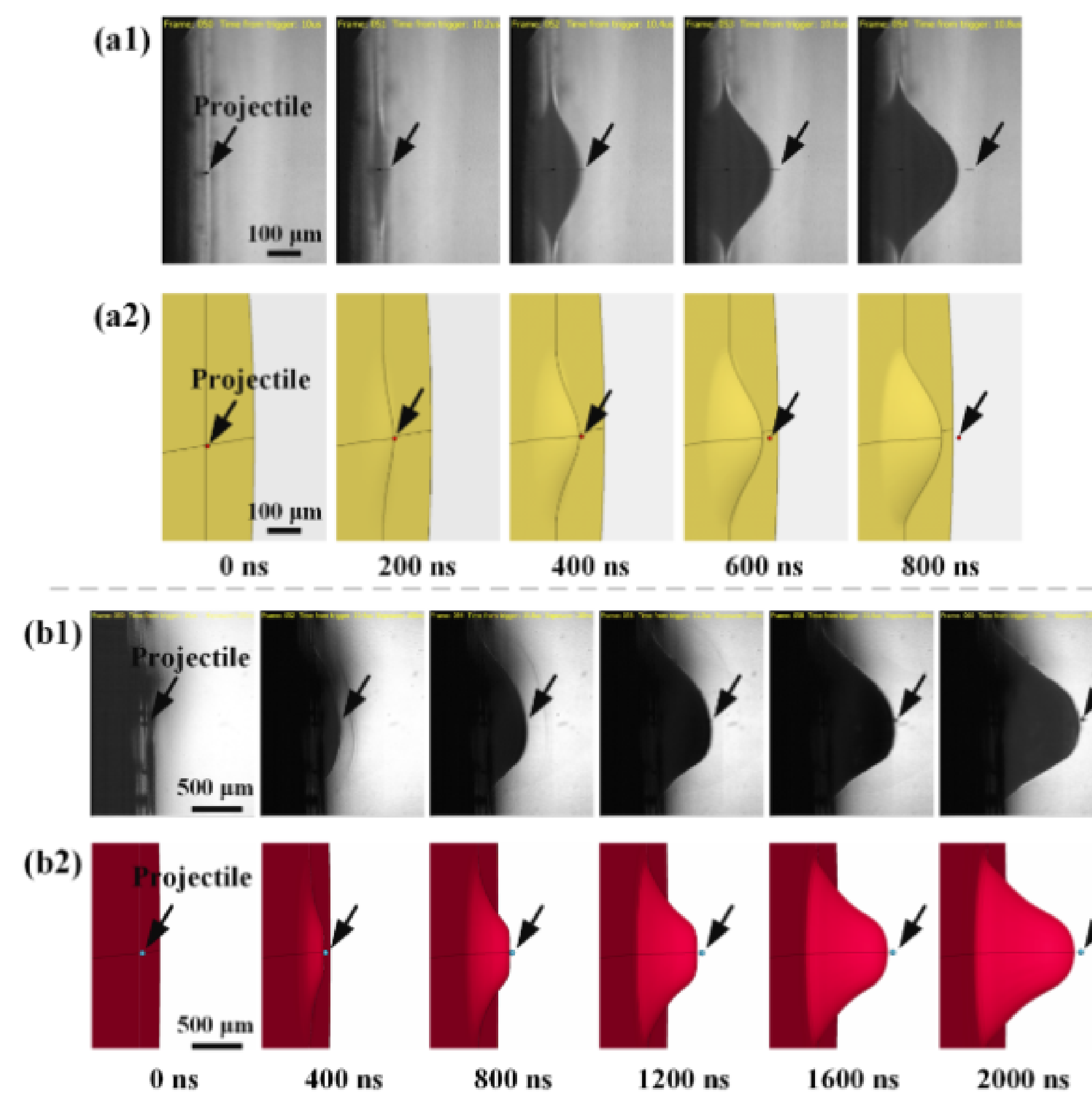


图2 无PDMS薄膜条件下的(a1)实验和(a2)模拟的驱动过程(铝子弹, 半径10 μm , 速度473 \pm 9m/s); 有PDMS薄膜条件下的(b1)实验和(b2)模拟的驱动过程(二氧化硅子弹, 半径25 μm , 速度511 \pm 10m/s)

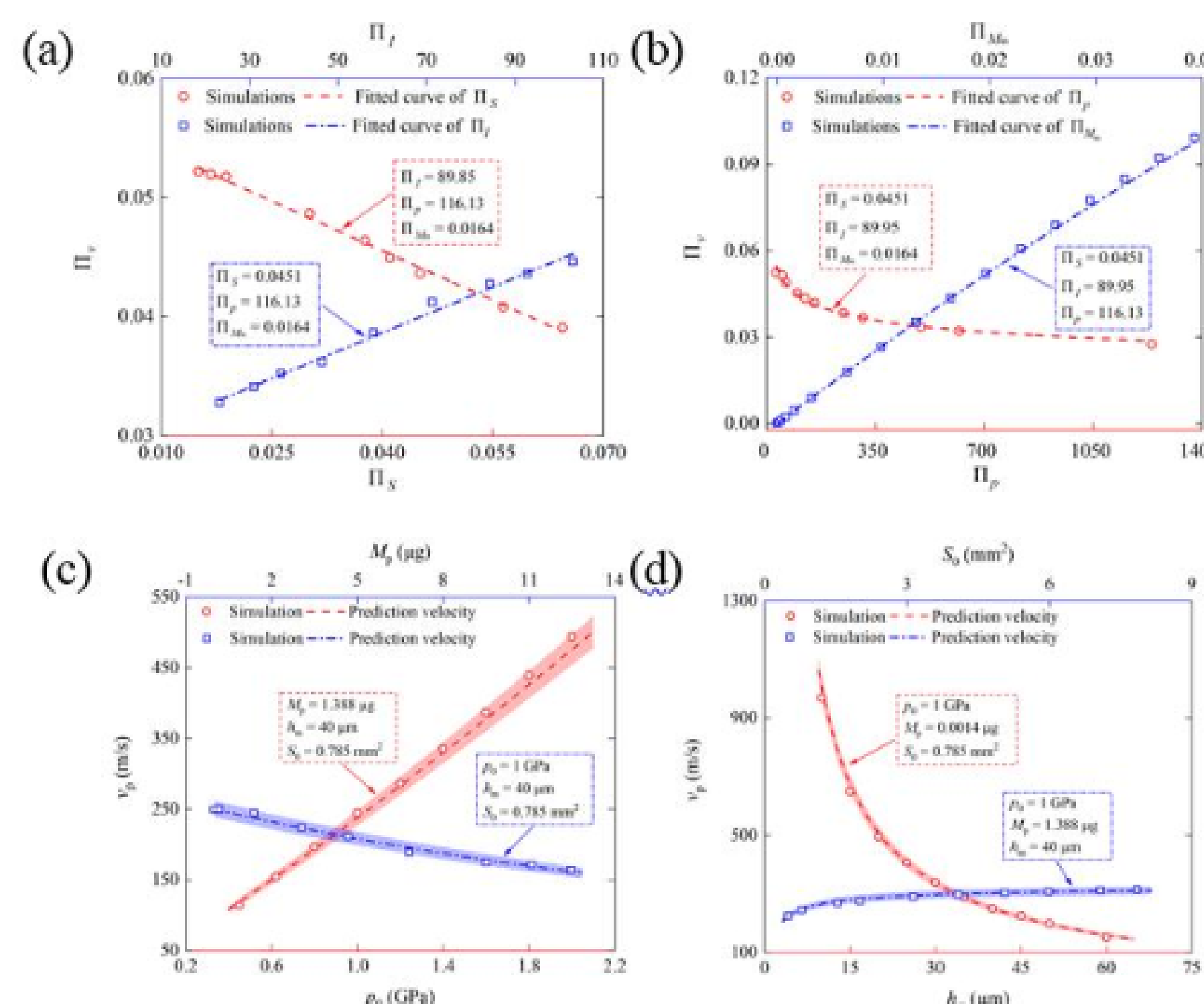


图3 无量纲参数(a) Π_1 和 Π_2 及(b) Π_1 和 Π_{S_0} 对微子弹无量纲速度 v_p 的影响规律; (c)参数 ρ_0 和 M_0 及(d) h_0 和 S_0 对微子弹速度 v_p 的影响