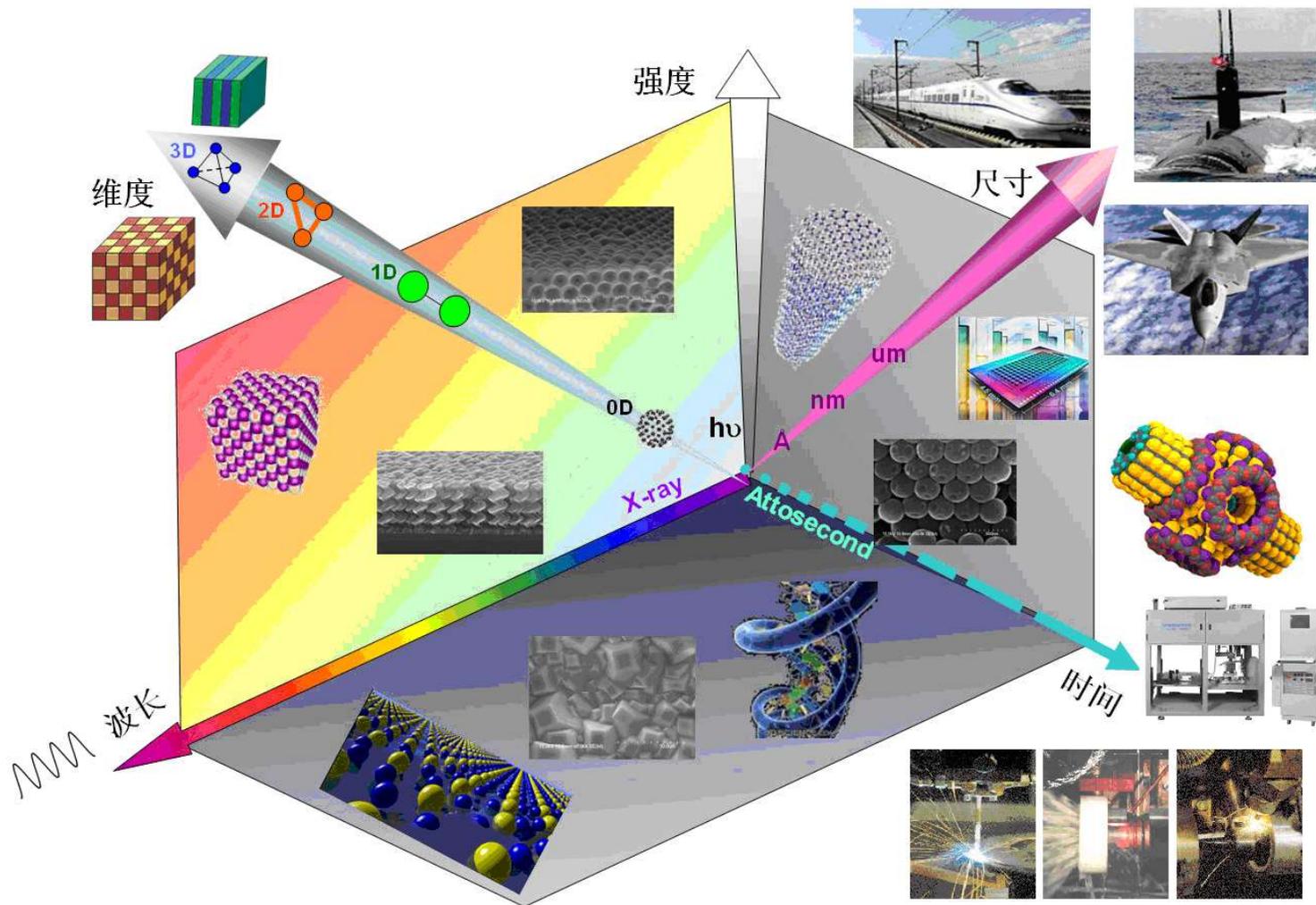
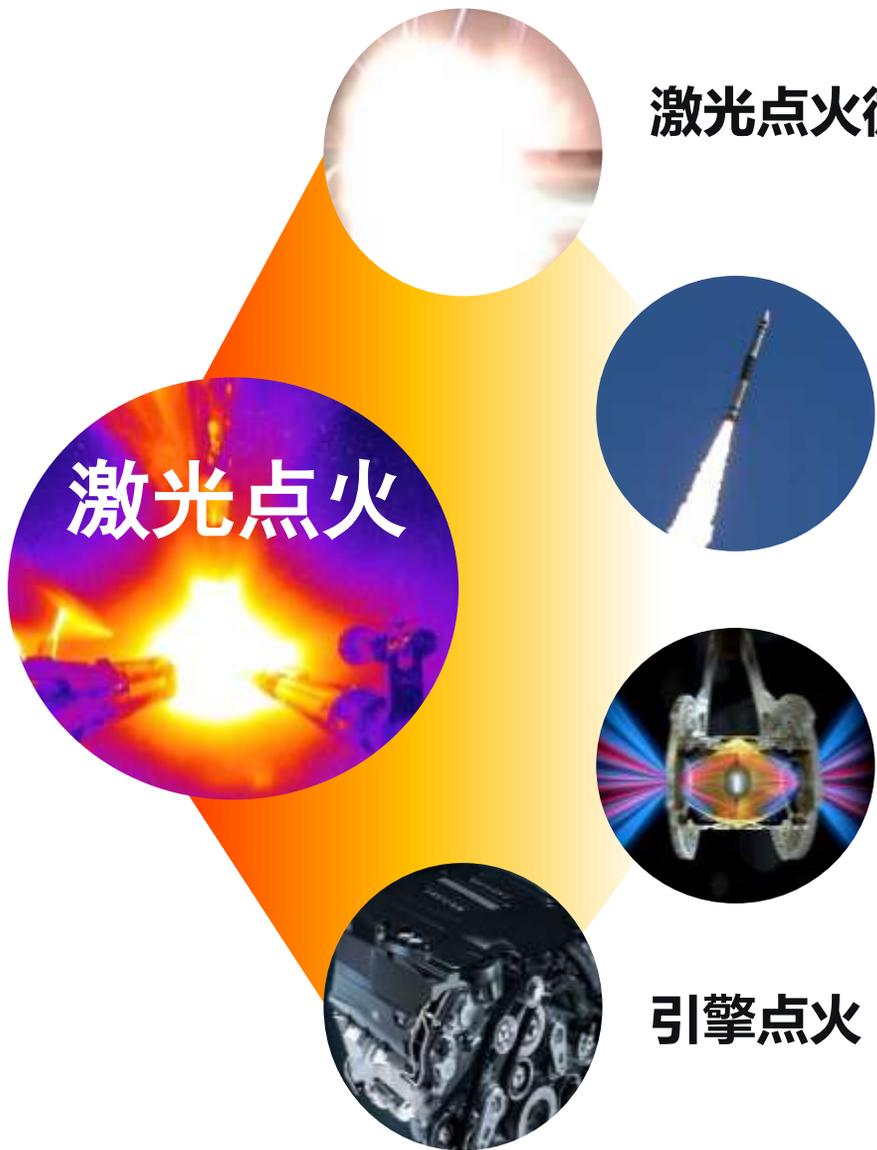


激光具有独特的“时-空-谱-能”特性

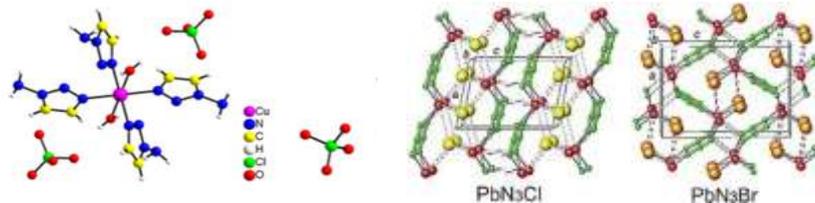
聚焦强度 $10^{26-28}W/cm^2$ ，脉冲宽度数十阿秒 ($10^{-18}s$)，波长有望推进到极紫外甚至X射线波





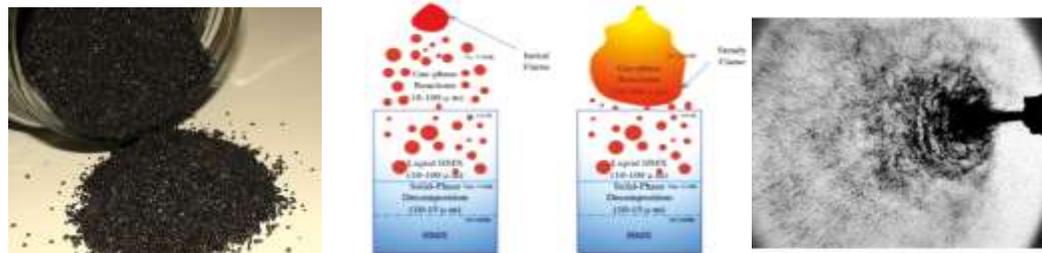
激光点火微爆

高能配位化合物(ECCs)、叠氮化铅(LA)混合物



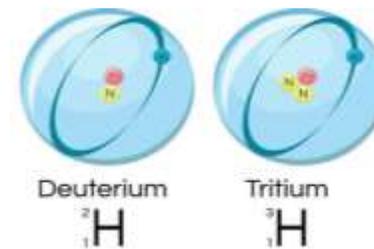
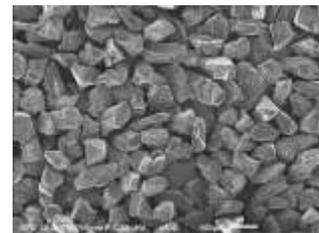
固体火箭推进

含铝复合固体推进剂、改性双基推进剂、光控凝胶推进剂等



惯性约束核聚变

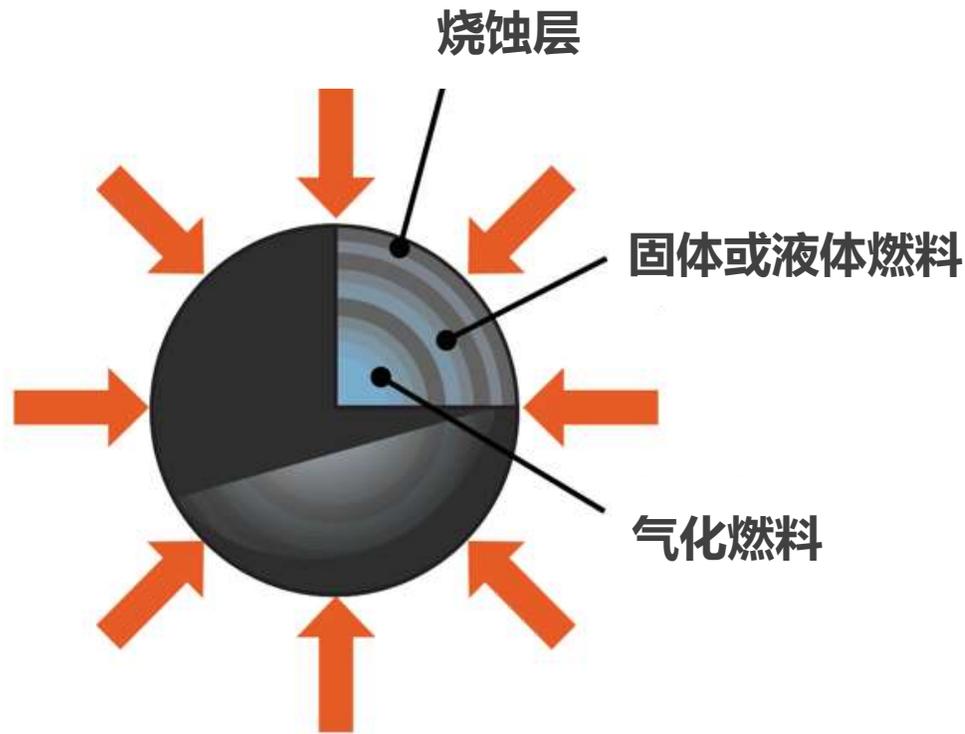
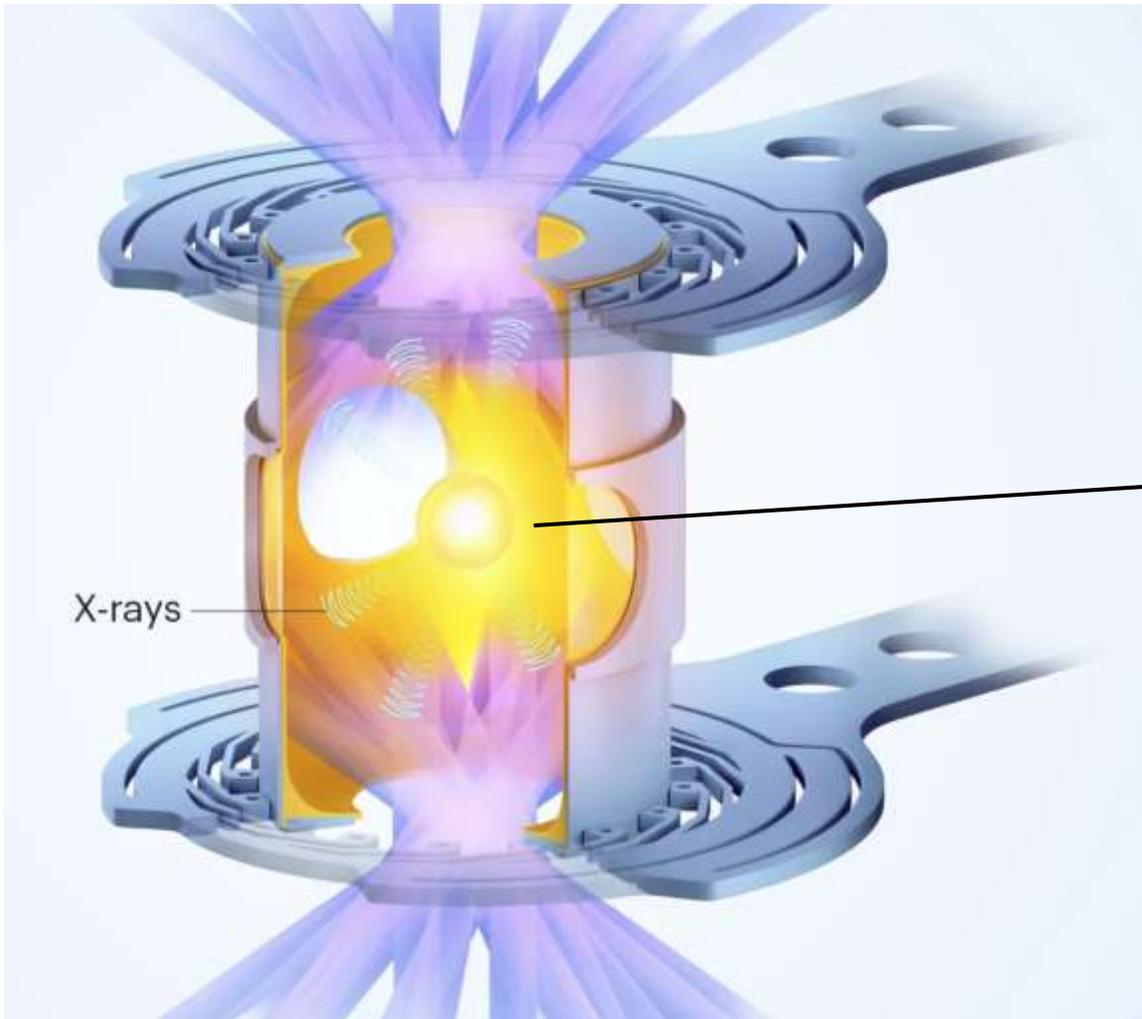
多晶金刚石 (烧蚀层材料)、氘气 (聚变燃料)



引擎点火

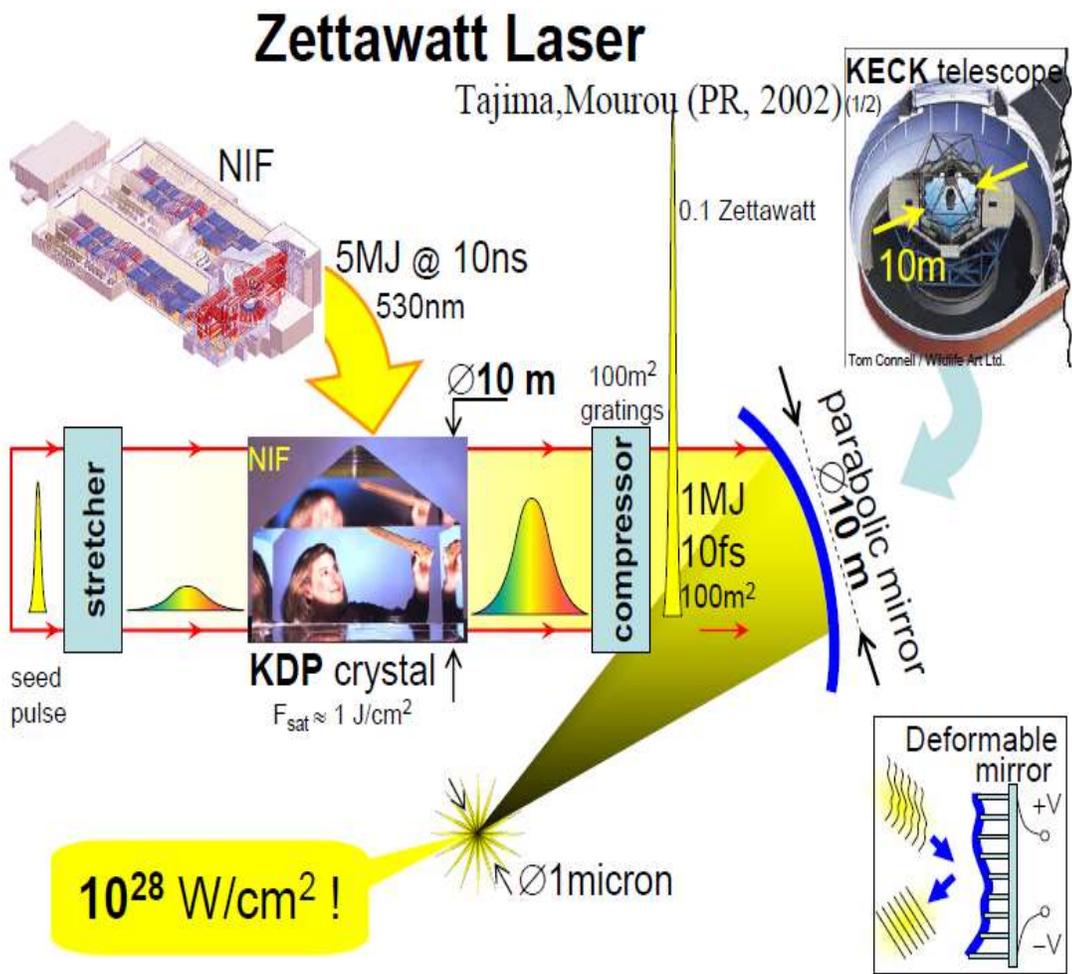
汽油、柴油、甲烷、乙醇等

激光聚变点火技术原理

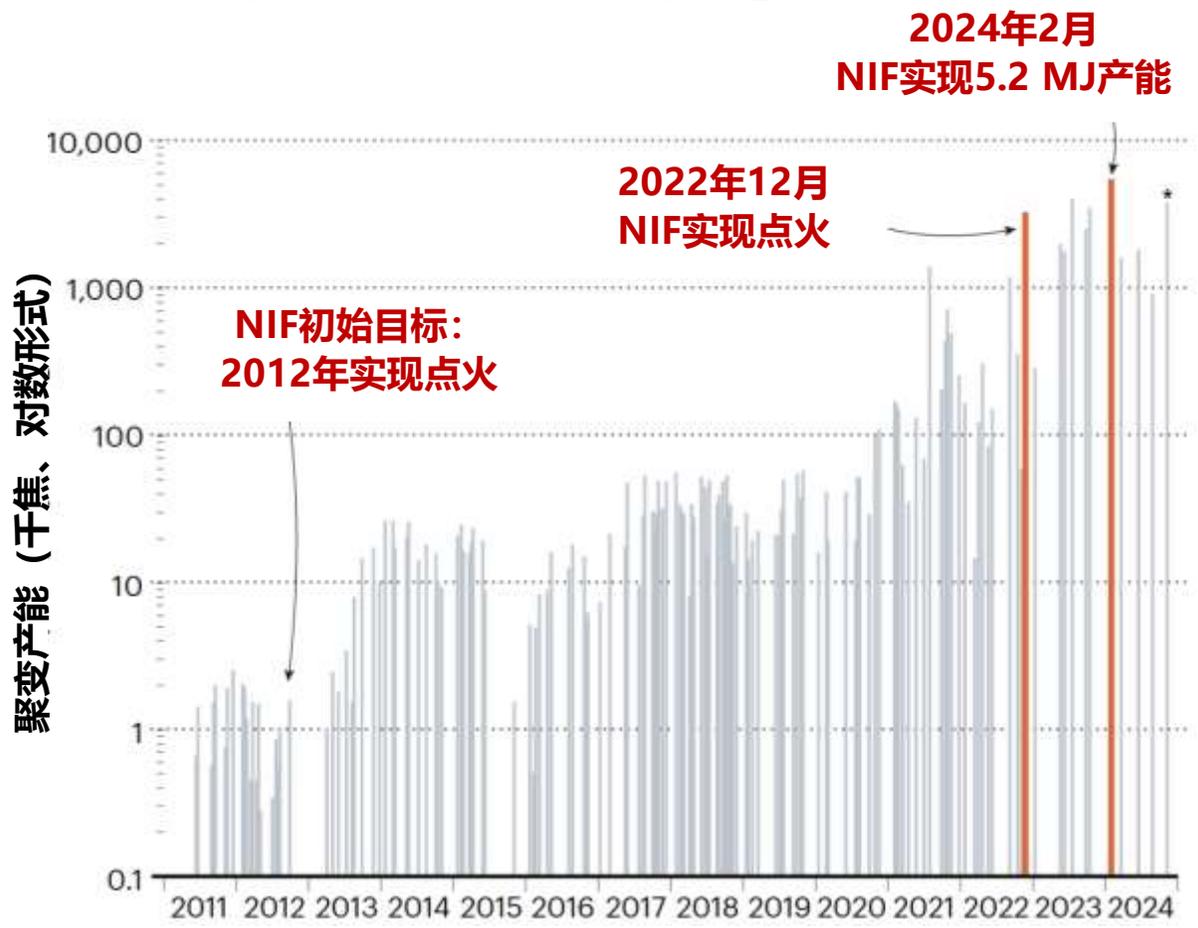


192束紫外线进入霍尔空间，猛烈撞击空心室的壁面，生成一个X射线“炉灶”，加热并压缩靶丸，引发向心烧蚀，驱动内爆压缩形成热斑，实现核聚变点火。

激光聚变点火技术备受国际关注

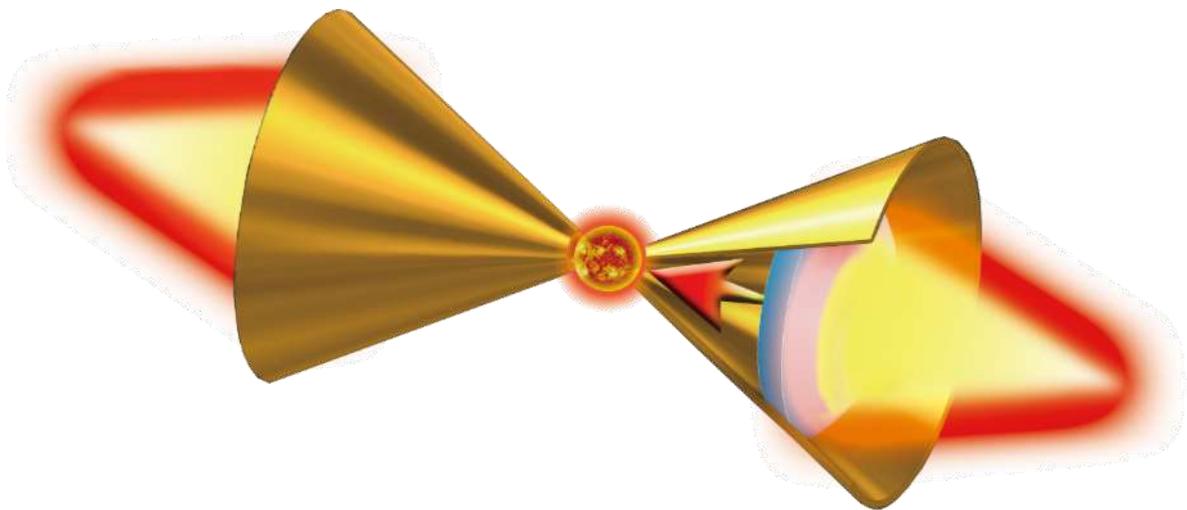


激光聚变所需功率密度为 10^{28} W/cm^2



O. A. Hurricane *et al.* (2024)/O. Hurricane/NIF

■ 双锥对撞点火方案 (DCI)



1. 激光对称地压缩放置于两侧金锥中的燃料;
2. 在激光驱动和金锥约束下燃料被加速到百公里每秒从锥口喷出;
3. 对向运动的两部分燃料在锥顶处发生对撞形成等容分布的高温高密等离子体;
4. 利用超强激光产生“快电子”对燃料进一步加热使其达到发生聚变所需要的条件。



张杰院士



神光II装置

自2018年以来，经过了11轮大型联合实验验证，有望以更小的激光能量实现更高效的聚变点火。

激光聚变点火技术关键问题

激光聚变点火技术，亟需对**内爆动力学**和**非平衡燃烧**进行进一步研究

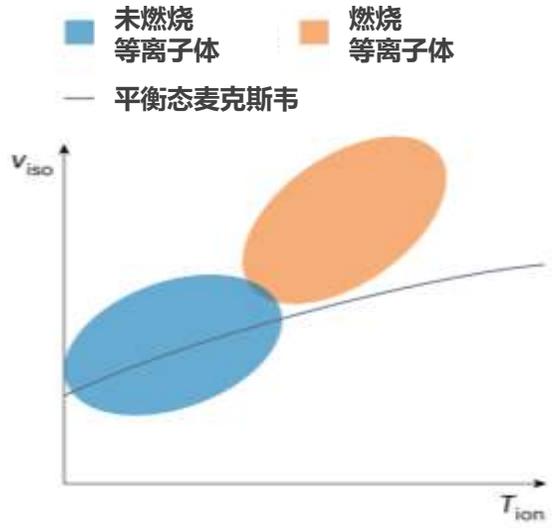
激光聚变点火

高性能内爆

内爆动力学的机理尚不清晰

直接观察较少
通常采用模拟方法
无法有效预测和优化

非平衡燃烧



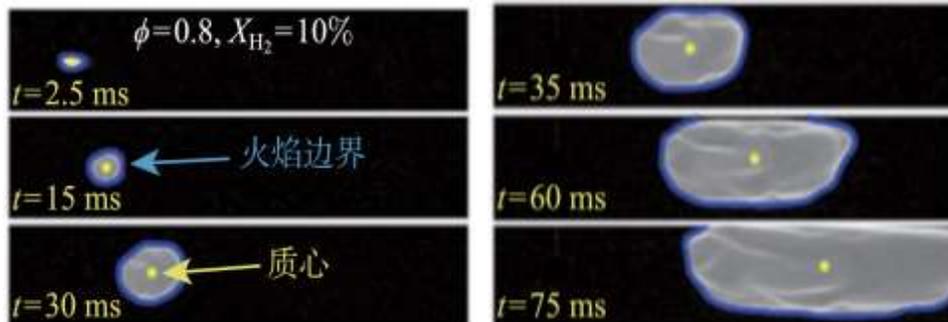
超热离子分布尚不明确

直接观察较少
通常采用模拟方法

NIF燃烧等离子体偏离麦克斯韦

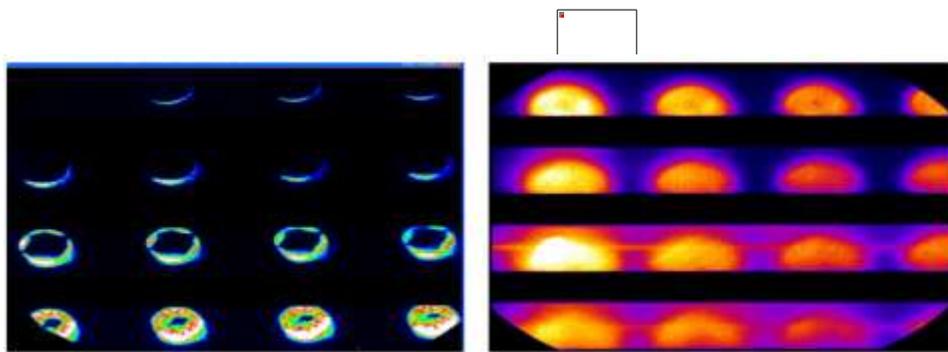
激光聚变点火技术表征设备

高速相机



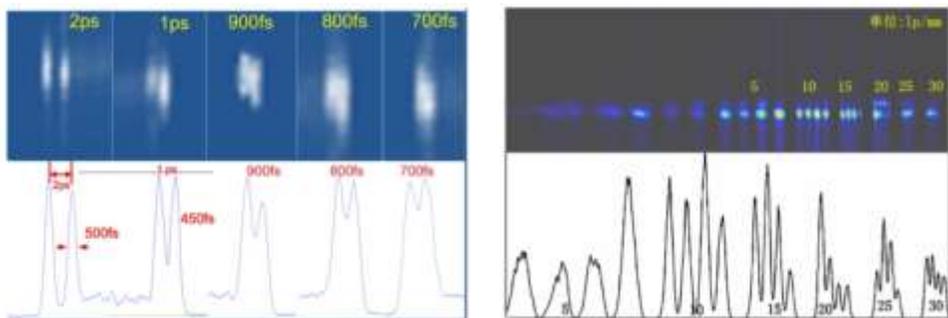
- 可直接获得二维影像
- **时间分辨能力弱（百纳秒）**，无法满足皮秒级时间尺度的测量需求。

分幅相机



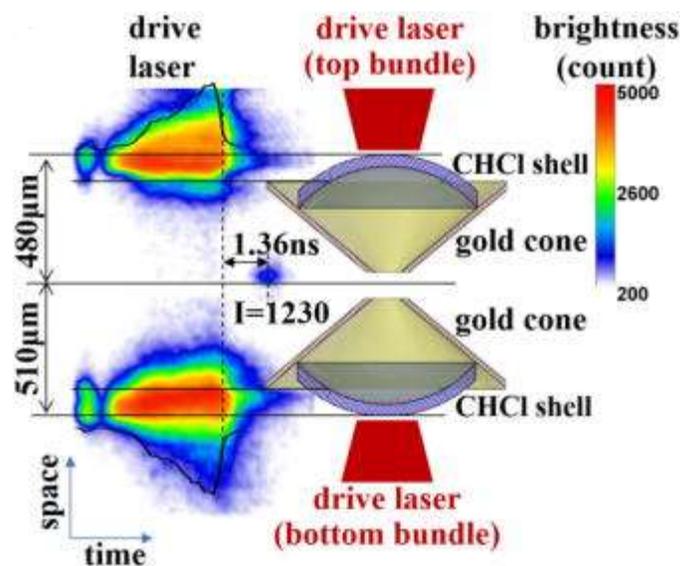
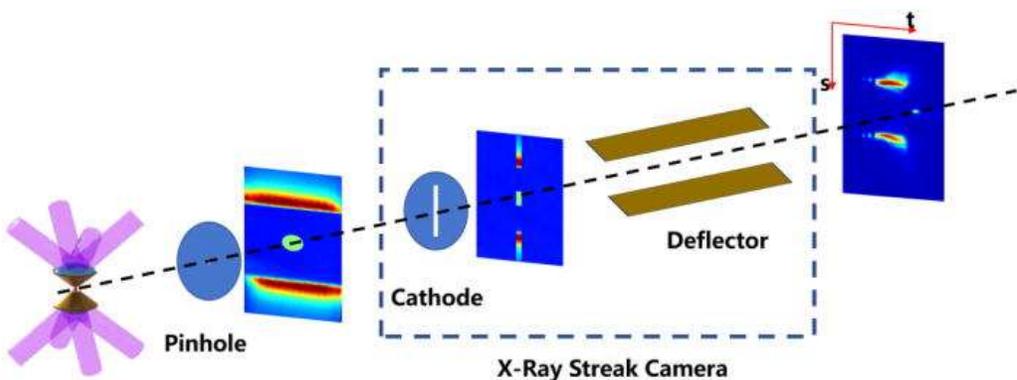
- 可获得多幅二维空间图像
- 时间分辨率较低（60 ps），且时间采样离散，可能错过关键物理时刻。

条纹相机

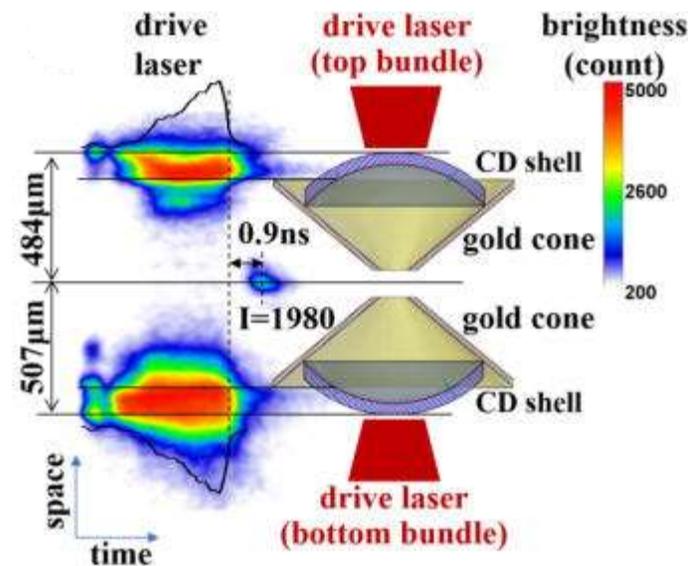


- **超高时间分辨率（可达450 fs）**，可**连续记录**全过程信息
- **可直接获取内爆动力参数与超热离子分布。**

■ 条纹相机记录内爆动力学 (张杰 院士团队)



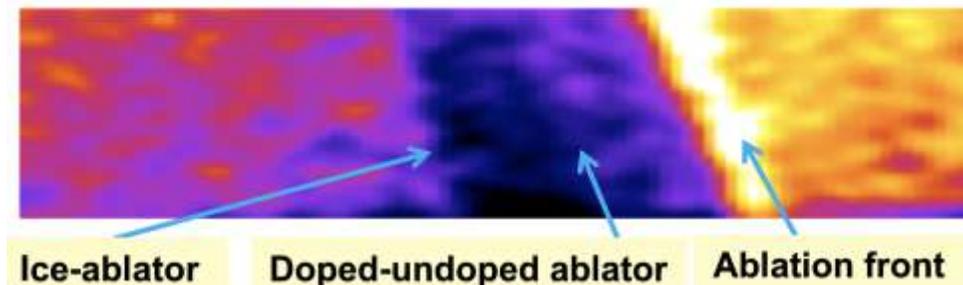
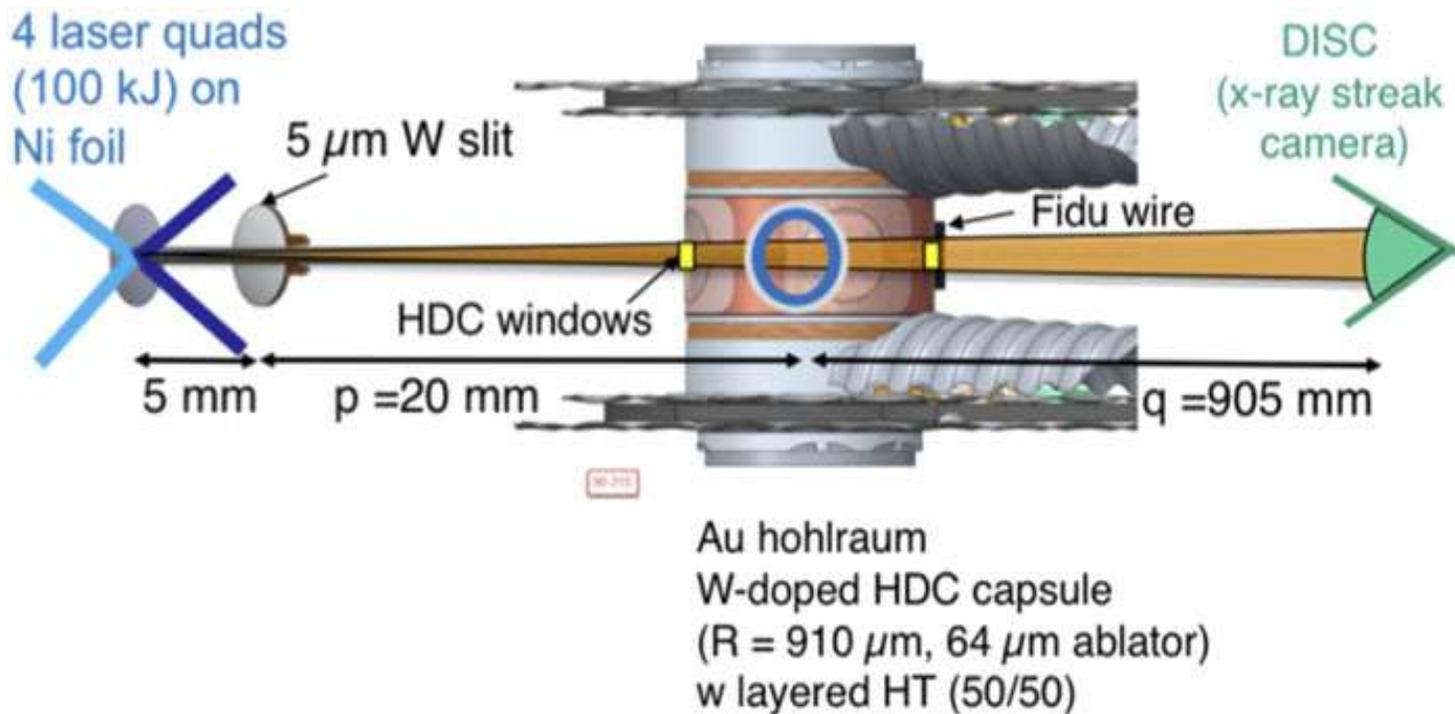
C16H14Cl2靶材



C8D8靶材

观察到速度为 $220 \pm 25 \text{ km/s}$ 的高密度等离子体喷流碰撞并停滞，形成带尖锐末端的等容等离子体

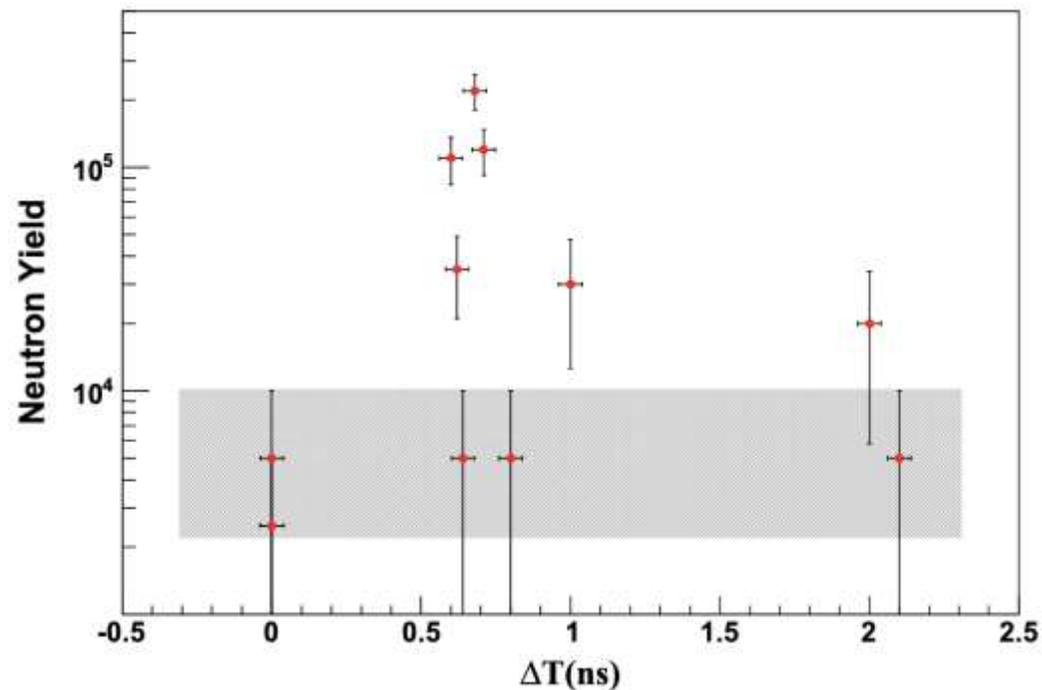
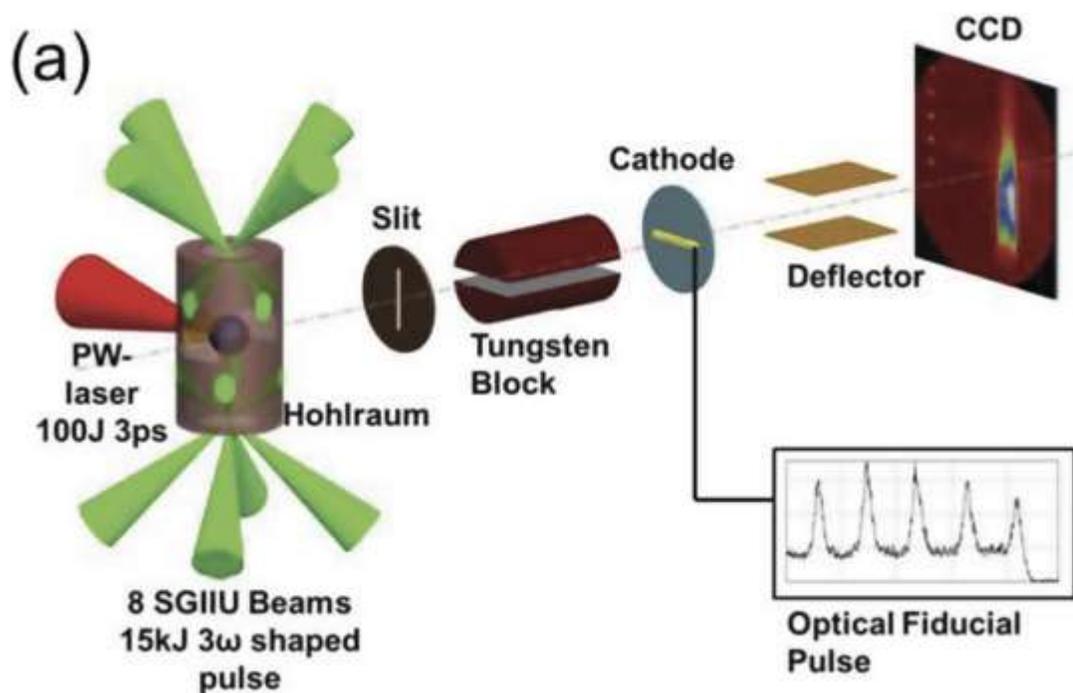
■ 条纹相机记录内爆动力学 (NIF)



- 空间分辨率: ~ 5.5 微米
- 时间分辨率: ~ 25 皮秒。

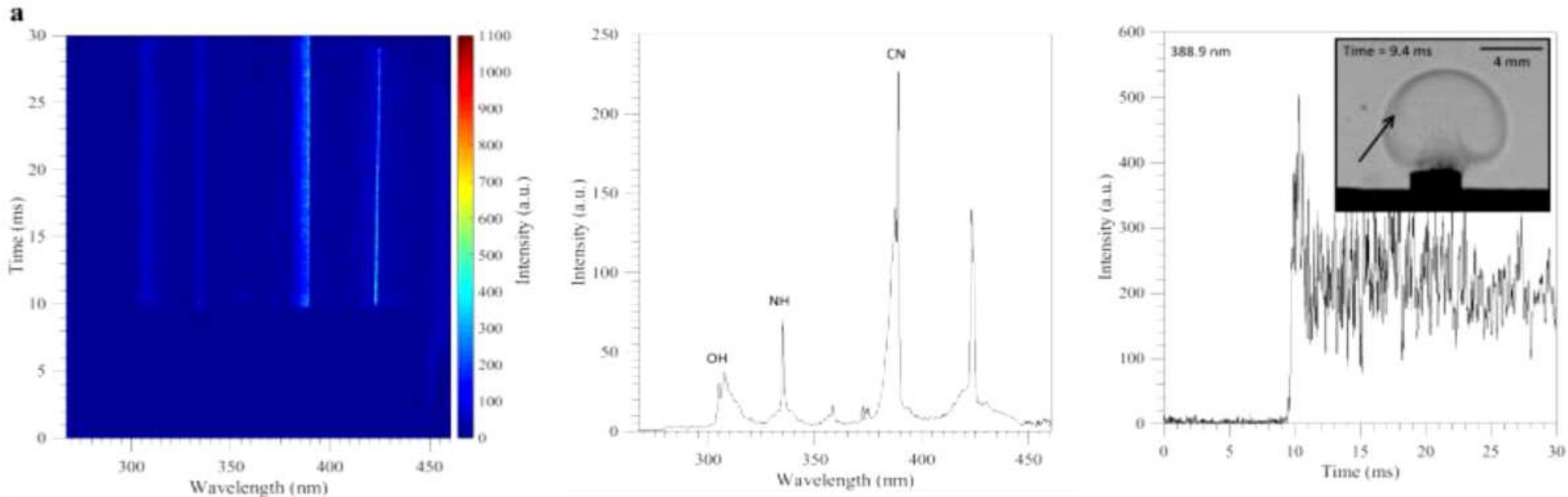
利用条纹相机记录了X射线穿过靶丸密度边界时发生的微小偏折。
首次清晰地看到烧蚀前沿、冰-烧蚀层界面的位置和形态。

■ 条纹相机记录激光间接驱动点火内爆过程



发现了中子产额增强与测得的注入时间呈现正相关。首次在间接驱动实验中，用实验数据证实了只有将皮秒激光精确注入到内爆滞止时刻，才能实现有效的加热和中子产额增强。

■ 条纹相机记录CL-20含能材料燃烧过程



采用相干激光 (GEM 100A CO₂) 点火。条纹相机耦合光谱确定了首次发光是由于CN自由基的出现, 随后出现NH、OH等自由基, 构成完整的点火过程。