

聚变反应装置激光诱导光谱壁诊断研究进展

李聪¹、孙立影¹、胡振华²、刘佳敏¹、武华策¹、海然¹、赵栋焯^{3,4}、丁芳²、
才来中³、S. Brezinsek⁴、C. P. Dhard⁵、R. König⁵、Ch. Linsmeier⁴、
罗广南²、胡建生²、王亮²、梁云峰^{2,4}、丁洪斌^{1,*}

¹大连理工大学 物理学院 三束材料改性教育部重点实验室, 中国大连 116024

²中国科学院 等离子体物理研究所, 中国合肥 230031

³核工业西南物理研究院, 中国成都 610225

⁴德国于利希研究中心, 德国 Jülich 52425

⁵德国马普等离子体物理研究所, 德国 Greifswald 17491

宣读作者 Email: cli@dlut.edu.cn (李聪) *通讯作者 Email: hdng@dlut.edu.cn (丁洪斌)

摘要：等离子体与壁材料相互作用 (Plasma-Wall Interaction, PWI) 的研究是磁约束核聚变能否实现的关键因素之一, 尤其对于长脉冲稳态运行的磁约束核聚变装置, 如 EAST、W7-X、ITER、CFETR 等, PWI 过程会导致燃料滞留、杂质产生、元素再沉积或共沉积等过程, 进而影响元素在面对等离子体部件 (Plasma-Facing Components, PFCs) 表面的分布, 这会直接影响粒子的再循环和 PFCs 的寿命, 需要被特别的重视。

针对大型磁约束聚变装置缺少原位在线壁元素诊断手段的情况, 课题组发展了激光诱导击穿光谱 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS) 关键壁诊断技术, 通过实验室原理实证研究、发展信号增强和定量分析方法, LIBS 已经成功应用于 EAST 托卡马克第一壁元素成分的原位在线诊断研究[1,2], 实现了国际上首次将 LIBS 技术用于具有偏滤器位形的大型托卡马克聚变装置, 结合 LIBS 系统和边界等离子体发射光谱, 定量开展 EAST 高场侧中平面 Mo 第一壁的燃料滞留及再循环原位研究。与此同时, 课题组还开展了对 HL-2A 托卡马克 PFCs 的 LIBS 离线诊断以及 HL-2M 在线 LIBS 系统的设计工作[3]; 开展了针对位于德国的世界上最大的仿星器 W7-X 限制器和偏滤器部件的 LIBS 定量诊断研究工作[4,5]。此外, 针对 EAST 全 W 偏滤器靶板区的在线 LIBS 系统也正在设计加工中。上述工作对深入理解磁约束聚变装置长脉冲稳态运行条件下的 PFCs 燃料滞留、杂质分布等提供了数据支撑, 并为 LIBS 技术用于未来 ITER 和 CFETR 的壁元素原位诊断测量奠定了实验基础。

关键词：激光诱导击穿光谱; 等离子体与壁材料相互作用; 壁诊断; 磁约束核聚变装置

参考文献

- [1] C. Li, *et al.*, *Frontiers of Physics*, 2016, 11, 114214.
- [2] D. Zhao, C. Li, *et al.*, *Review of Scientific Instruments*, 2018, 89, 073501.
- [3] L. Cai, Z. Wang, C. Li, *et al.*, *Review of Scientific Instruments*, 2019, 90, 053503.
- [4] C. Li, *et al.*, *Physica Scripta*, 2017, T170, 014004.
- [5] C. Li, *et al.*, *Spectrochimica Acta Part B*, 2019, 160, 105689.

基金项目：国家重点研发计划 (No. 2017YFE0301304)、国际热核聚变实验堆 (ITER) 计划专项 (No. 2013GB109005)、国家自然科学基金 (Nos. 11605023、11605238)