

03Aa04

高強度レーザー集光領域での高速電子の閉じ込めと高効率イオン加速 Fast electron confinement and efficient ion acceleration in large spot intense laser-foil interactions

岩田夏弥¹, A. J. Kemp², S. C. Wilks², 三間圀興¹, 千徳靖彦¹
N. Iwata¹, A. J. Kemp², S. C. Wilks², K. Mima¹, and Y. Sentoku¹

¹大阪大学レーザー科学研究所, ²Lawrence Livermore National Laboratory
¹Institute of Laser Engineering, Osaka University, ²Lawrence Livermore National Laboratory

集光強度が 10^{18}W/cm^2 を超える相対論的強度のレーザー光を固体などの物質に照射することにより、圧力がGbarに及ぶ高エネルギー密度プラズマを生成できる。このようなレーザー生成プラズマを利用した高エネルギーイオン加速や高輝度X線源、核融合プラズマ生成などの研究が展開されている。レーザー光と高密度プラズマとの相互作用では、レーザー照射表面で加速される高速電子が、プラズマ内部へのエネルギー輸送における支配的な役割を果たす。また、ターゲットが薄膜の場合、高速電子がターゲット裏面へとエネルギーを運ぶことで、裏面における高エネルギーイオン加速 (Target Normal Sheath Acceleration, TNSA) が起こる。そのため、レーザー照射面で発生する高速電子をレーザーとの相互作用領域に閉じ込めることが、高効率のプラズマ加熱やイオン加速を実現するために重要となる。

固体薄膜ターゲットでは、高速電子はレーザー光によって薄膜内部に相対論的エネルギーで打ち込まれた後、薄膜裏面でシース電場により引き戻され、薄膜プラズマ中を何度も往復 (recirculation) する。高速電子は有限の発散角を持つため、スポット径方向にも光速に近い速度で移動し、集光領域から逃走する。この高速電子の散逸を抑制するため、外部磁場を印加する研究[1]や、抵抗率の異なる物質を組み合わせる手法[2]、孤立したターゲット (mass limited target) を用いる手法[3]などの研究が行われている。

本研究では、大集光径レーザーと薄膜との相互作用において、集光領域での高速電子の運動がランダムウォークとなり、高速電子の実効的な閉じ込めが起こることを明らかにした。LFEX, NIF-ARCに代表されるkJクラスの大エネルギーレーザーは、およそ $50\ \mu\text{m}$ の大スポット

径に相対論的強度の光をピコ秒を超えて継続的に照射することができる。薄膜の表面にはWeibel不安定性に起因するレーザー波長 (約 $1\ \mu\text{m}$) 程度の周期構造を持つ磁場が成長する[4]。薄膜プラズマ中を往復運動する高速電子は、薄膜表面に到達する度に揺動電磁場に散乱され、結果として径方向の運動はランダムウォークとなる。本研究ではこの高速電子の径方向の運動を拡散方程式によりモデル化し、拡散速度が薄膜の厚さとレーザースポットサイズの比に比例して減少することを示す。この実効的な閉じ込め効果により、薄膜内部にはレーザーによって打ち込まれる高速電子密度の10倍近い密度まで高速電子が蓄積することが、プラズマ粒子 (particle-in-cell) シミュレーションにおいても観測された。また、TNSA加速されるイオンの最大エネルギーは、高速電子蓄積密度と高い相関をもつことがわかった。講演では、高速電子閉じ込めの理論・シミュレーション結果と、kJクラスレーザー実験で見られる高効率イオン加速[5-8]との関係を議論する。

- [1] S. Sakata *et al.*, Nat. Commun. **9**, 3937 (2018)
- [2] A. Robinson *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **57**, 064004 (2015)
- [3] H. Sawada *et al.*, Phys. Rev. Lett. **122**, 155002 (2019)
- [4] E. S. Weibel, Phys. Rev. Lett. **2**, 83 (1959); A. Macchi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 205004 (2001)
- [5] A. Yogo *et al.*, Sci. Rep. **7**, 42451 (2017)
- [6] D. Mariscal *et al.*, Phys. Plasmas **26**, 043110 (2019)
- [7] N. Iwata *et al.*, Phys. Plasmas **24**, 073111 (2017)
- [8] N. Iwata *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **62**, 014011 (2020)