

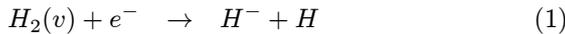
レーザー光脱離法を用いた境界プラズマシミュレータ MAP-II における負イオン計測

梶田 信, 門 信一郎*

東京大学大学院工, * 東京大学高温プラズマ研究センター

1 はじめに

ダイバータ領域における非接触プラズマ生成には, プラズマの体積再結合が重要な過程と認識されており, その素過程は電子イオン再結合 (EIR: Electron Ion Recombination), 分子活性化再結合 (MAR: Molecular Activated Recombination) と考えられている. MAR には水素の振動励起状態から始まる二つの過程が存在し, その一つに負イオンを介して相互中性化反応に至る過程 (negative ion (NI) recombination mechanism) がある.



MAR に関しては, 未解明なところが多く, その素過程の実験的な検証には負イオン密度は重要なパラメータとなると考えられる. 本研究では境界プラズマ模擬実験装置 MAP-II において, 負イオン計測を行い, ダイバータ領域における負イオンの役割に関する情報を得ることを目的としている.

2 レーザー光脱離法と負イオン計測

負イオン計測の手法としてはプラズマにレーザーを照射し, 光脱離反応 ($H^- + h\nu \rightarrow H + e$) によって生じた脱離電子を, レーザーと同期して正にバイアスされた静電プローブによって検出する手法 (Fig.1 参照), レーザー光脱離法 (Laser Photodetachment: LPD) を用いる. レー

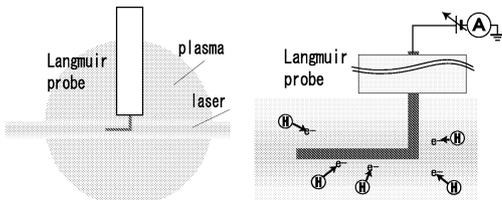


Fig. 1: 負イオン計測 (レーザー光脱離法) の原理.

ザー照射時の負イオンからの脱離率は次式で表わされ, 光脱離信号の検証に際しては重要となる.

$$\frac{\delta n_-}{n_-} = 1 - \exp\left(-\frac{W \sigma_{pd}}{S_l h\nu}\right) \quad (3)$$

(W : レーザー強度, σ : 光脱離断面積, S_l : レーザー断面積, $h\nu$: レーザー光子エネルギー, δn_- : 光脱離した負イオン密度). レーザー強度が光脱離以外の要因を生じさせない程度に十分強い場合は, レーザー照射領域のすべての負イオンから電子が脱離し, 負イオンは電子飽和電流の DC 成分 (I_{dc}) と光脱離信号のピーク値 (ΔI) から $n_-/n_e = \Delta n_-/n_e = \Delta I/I_{dc}$ と求められる.

計測を行なう実験装置, 境界プラズマシミュレータ MAP-II (Material And Plasma) はドリフト管で接続された二つのチャンパーからなり, プラズマは LaB_6 カソード

とアノード管の間で直流放電によって生成され, 軸方向磁場により径方向の拡散が抑制され長さ約 2m の円柱状のプラズマが形成される. 典型的な電子密度は $1 \times 10^{11} \sim 5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, 電子温度は $2 \sim 10 \text{ eV}$ である.

負イオンの主要な生成と消滅と輸送の効果を含めたレート方程式から算出される MAP-II のパラメータにおける負イオン密度は電子密度の 1% 程度以下であり, 一方, 静電プローブ計測から得られる電子飽和電流の揺動 \tilde{I}_{es}/I_{es} は数十% である. この結果から予想される SN 比は小さく, 計測手法に何らかの工夫が求められる. FFT を用いた揺動のスペクトル解析から, 揺動の主要な成分は光脱離信号に比べて低周波帯域に存在するため, ノイズフィルタ (ハイパスフィルタ) によって揺動と光脱離信号が分離可能である. 本研究で用いるダイバータシミュレータは定常放電であるため, データの積算平均化によっても SN 比を上げることができる.

3 実験結果:(光脱離信号の検証)

負イオンからの光脱離率は式 (3) で表されるため, 得られた信号が光脱離信号であることを検証するためには信号強度のレーザーパワー依存性が重要となる. Fig.2 は電子飽和電流で規格化された信号強度のレーザー強度依存性であり, 実験値が理論曲線にあてはまることから, 得られた信号が光脱離信号とみなせる. また, ヘリウムプラズマにおいては, 信号が検出されなかったことより, この信号が光脱離によるものであることが確認される. (He プラズマでは安定した負イオンがほとんど存在せず, 用いた波長 $\lambda = 580 \text{ nm}$ には光学的遷移も存在しないことが知られている.)

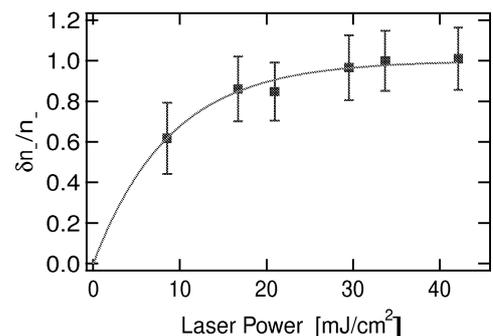


Fig. 2: 光脱離率のレーザー強度依存性. は実験値, 実線は光脱離率を表す理論式でのフィッティング結果である.

4 今後の予定

現在は, 水素分圧などのパラメータを変化させながら負イオン密度を計測している. 今後は, 負イオン計測と共に分光計測を行い, 体積再結合が起こっている時の負イオン密度を計測する予定である.