

水素原子バルマー α 線のシュタルク分光計測による シース領域における電界計測法

Sheath electric field measurement by Stark spectroscopy at Balmer-alpha line of atomic hydrogen

北大院工¹, 核融合研²

○西山 修輔¹, 中野 治久², 後藤 基志², 佐々木 浩一¹

Hokkaido Univ.¹, NIFS²

○Shusuke Nishiyama¹, Haruhisa Nakano², Motoshi Goto², and Koichi Sasaki¹

E-mail: shu@eng.hokudai.ac.jp

プラズマと固体表面の界面に形成されるシースおよびプレシース領域における電界構造は、プラズマ物理学の基礎的な課題として議論が続けられており、プラズマからのイオン入射による表面加工などの応用面からも関心が持たれている。プラズマ中の電界をプローブ等で高精度に測定することは困難であり、プラズマに擾乱を与えない光学的な測定が望ましい。光学的な電界測定法には原子の発光または吸収スペクトルが電界により影響を受けるシュタルク効果を利用する方法があるが、100V/cm 程度のシース領域の電界で熱運動によるドップラー広がり以上のシュタルク効果が得られる Rydberg 状態への励起には高出力の波長可変レーザーが必要となるうえに Rydberg 状態の検出が難しく、電界計測法としての困難さにつながっている。しかしながら、1 次のシュタルク効果が得られる水素原子でドップラーフリー分光法を用いれば、シース領域の電界程度でも計測可能な程度のシュタルク効果が得られ、取扱いが容易な半導体レーザーで電界計測が可能となる可能性がある。本研究では、水素プラズマのシース領域に飽和吸収分光法を用いてバルマー α 線の微細構造スペクトルを測定し、得られたドップラーフリースペクトルと理論計算で求めたシュタルクスpectルを比較することでプラズマ中の電界強度を求めた。

実験に用いたプラズマ源は直径 260mm の円筒形チャンバーからなる内部アンテナ型 ICP プラズマ装置であり、中央部にチャンバーと同電位の 50mm×150mm の矩形電極を設置した。水素ガス圧力を 70mTorr として、20kHz の ON-OFF 変調をかけた 1kW, 13.56MHz の RF 電源で水素プラズマを生成した。光源は波長可変の半導体レーザーで、ドップラー広がりをした水素原子バルマー α 線全体を含む範囲を掃引した。レーザー光は、ポンプ光 (18.6mW)、プローブ光 (0.34mW) 共に直径約 0.5mm のコリメート光として電極の表面に対して平行となる光軸上を互いに対向する方向で入射させ、プラズマを透過したプローブ光をフォトダイオードで検出した。フォトダイオードからの信号はプラズマの変調と同期した成分をロックインアンプで増幅し、ポンプ光の有無による吸収スペクトルの差から飽和吸収スペクトルを得た。

電極表面とレーザー光の距離を近づけていくと、Fig. 1 に示すように得られた飽和吸収スペクトルのピーク位置やプロファイルが僅かに変化した。図中のピーク A と B はそれぞれ $2p^2P_{3/2} - 3d^2D_{3/2}$ と $2p^2P_{3/2} - 3d^2D_{5/2}$ の遷移によるピークであり、理論計算で求めたシュタルクスpectルではピーク A と B の間隔は 200V/cm 程度までは電界とともに単調に増加する。これを指標に電極近傍での電界強度を求めることが可能で、電極からの距離が 0.2mm の位置では 90V/cm、0.5mm では 25V/cm となった。微細構造スペクトルの幅およびレーザー光の空間プロファイルから、検出下限 10V/cm、空間分解能 0.15mm と評価された。

[1]S. Nishiyama et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **50**(2017) 234003.

[2]S. Nishiyama et al., Appl. Phys. Express **10**(2017) 036101.

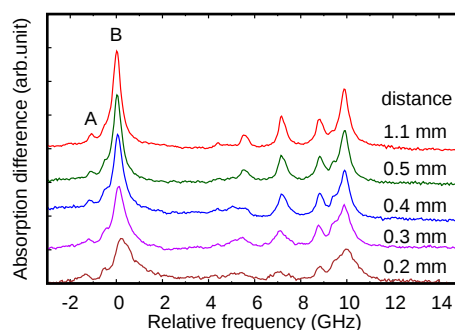


Fig.1: Observed saturation spectra of atomic hydrogen Balmer-alpha line at various distance from electrode surface.