

水素原子バルマー α 線の吸収スペクトル形状に基づく $H(n=2)$ の微細構造の占有密度分布の検討

A study of population density distribution of $H(n=2)$ fine structure based on the line shape of the absorption spectrum of atomic hydrogen Balmer-alpha line

北大院工

○西山 修輔, 成瀬 統伍, 佐々木 浩一

Hokkaido Univ.

○Shusuke Nishiyama, Togo Naruse, and Koichi Sasaki

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

はじめに 水素原子のバルマー α 線は、スピン軌道相互作用やラムシフトによって主量子数 $n=2$ および $n=3$ の準位の縮退が解けているため 7 本の微細構造スペクトルから構成される。レーザー吸収分光法で得られるスペクトルは、ドップラー広がりをした微細構造スペクトルの重ね合わせであり、 $n=2$ 状態の各準位 $2s^2S_{1/2}$, $2p^2P_{1/2}$, $2p^2P_{3/2}$ の占有密度分布によってスペクトル形状が変化する。 $2s^2S_{1/2}$ は基底状態 $1s^2S_{1/2}$ への E1 光学遷移ができない準安定状態であるため、 $2p^2P_{1/2}$, $2p^2P_{3/2}$ よりも占有密度が大きくなるはずであるが、実験室プラズマで観測される吸収スペクトルでは、 $n=2$ 状態の占有密度分布がほぼ統計重率に従ったスペクトル形状になっていることが多い。この理由としては、電子や水素分子との衝突におけるシュタルク混合による $2P$ 状態を経由した緩和が挙げられている。その一方で、 $n=2$ 状態の占有密度分布が統計重率に従っていないと思われるスペクトルが観測されることもあり、ドップラー幅やシュタルク効果の検討が難しくなる場合もある。本研究では、低温水素プラズマの生成条件を変えてレーザー吸収分光法で得られた水素原子バルマー α 線の吸収スペクトルから $2s^2S_{1/2}$, $2p^2P_{1/2}$, $2p^2P_{3/2}$ 各準位の占有密度分布を求め、微細構造準位間の遷移過程について検討する。

実験方法 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 プラズマ装置である。水素ガス圧力は 20~100 mTorr とし、500~1kW, 13.56MHz の RF 電源で水素プラズマを生成した。吸収分光の光源には波長可変半導体レーザーを用い、ドップラー広がりをした水素原子バルマー α 線 (656.285nm) 全体を含む範囲を掃引した。レーザー光はシングルモード光ファイバを介してファイバカプラで直径約 0.5mm のコリメート光としてプラズマ中に入射し、プラズマを透過したレーザー光をフォトダイオードで検出した。フォトダイオードの信号からロックインアンプでプラズマの変調と同期した成分を検出することで吸収スペクトルを得た。得られた吸収スペクトルは、ガス温度と $n=2$ 状態の占有密度分布をパラメータとして非線型最小自乗法でフィッティングを行った。

実験結果および考察 実験で得られた吸収スペクトルとフィッティングの一例を Fig. 1 に示す。水素ガス圧力 70mTorr、RF 電力 800W の場合に得られたスペクトルは、 $n=2$ 状態の占有密度分布が統計重率よりも $2s^2S_{1/2}$, $2p^2P_{1/2}$ において 15%程度大きいとした場合と良く一致した。ガス圧力および RF 電力を変えて得られたスペクトルでは、 $2p^2P_{3/2}$ に対する $2s^2S_{1/2}$ の占有密度の比は、水素ガス圧力が低い場合および RF 電力が低い場合に $2p^2P_{3/2}$ に対する $2s^2S_{1/2}$ の占有密度の比が顕著に大きくなり、電子衝突による $2s^2S_{1/2}$ 状態の緩和が示唆される結果となった。

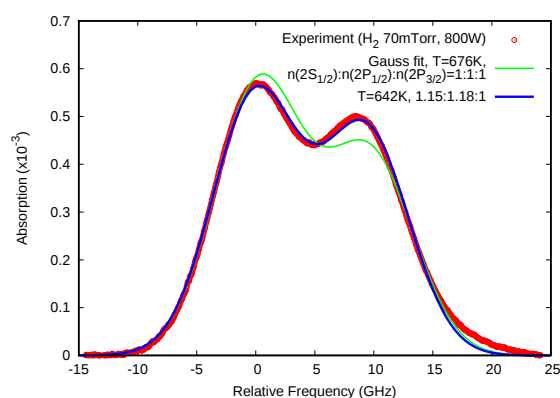


Fig.1: Absorption spectrum of atomic hydrogen Balmer-alpha line; observed at 70mTorr 800W, calculated spectrum (equal population density in $n=2$ states), and fitted spectrum