

衝突輻射モデルを用いた水素プラズマの再結合過程に関するモデル計算 Modeling of Recombination Process of Hydrogen Plasma using CR-model

遠藤隆太¹, 瀧本壽来生¹, 利根川昭¹, 佐藤浩之助^{2,3}, 河村和孝¹
Ryuta Endo¹, Toshikio Takimoto¹, Akira Tonegawa¹, Kohnosuke Sato^{2,3}, Kazutaka Kawamura¹

¹東海大, ²中部電力, ³東京理科大
¹Tokai University, ²Chubu Electric Co Inc, ³Tokyo University of Science

水素プラズマの再結合過程は、ダイバータにおける非接触プラズマの生成において重要な役割を果たしている。また、体積生成型の負イオン源では再結合過程において負イオンを生成するため、再結合過程への理解が効率の良い負イオンの生成に必要である。低温水素プラズマにおける再結合過程では、電子性再結合 (EIR) だけでなく分子性再結合 (MAR) が寄与すると考えられている。直線型プラズマ生成装置TPD-Sheet IVにおけるダイバータ模擬実験では、低ガス圧力における定常的な非接触プラズマの生成や、プラズマ周辺部における負イオンの生成が確認されている。これらの現象におけるプラズマ中の各粒子の分布、プラズマからの発光についての理解には、プラズマ中に存在する各種イオンの数密度、原子の励起準位ごとのポピュレーションを明らかにする必要がある。よって、原子分子過程を考慮したモデルが必要である。また、分子性再結合の過程では水素分子の振動準位によって反応速度係数が異なるため、水素分子の振動温度を考慮する必要がある。本研究は、水素分子の振動温度、原子・イオンの衝突過程、原子の衝突輻射モデルを考慮したプラズマのモデル計算を行い、再結合過程における各粒子の分布、発光過程について明らかにすることを目的とする。

水素プラズマの再結合を計測するため直線型プラズマ生成装置TPD-Sheet IVにおいて水素プラズマを生成した。再結合過程の計測として、生成されたプラズマに対し2次的にガスを導入し、Langmuirプローブ計測および可視分光計測を行った。また、水素分子の振動温度計測として真空紫外分光計測を行った。

水素プラズマ中の各粒子密度を明らかにするため、粒子の輸送を考慮しない0次元のモデルを構築した。プラズマ中の原子・イオンについて衝突反応過程、原子について衝突輻射過程を考慮しレート方程式を立てた。電子密度、電子密度はプローブ計測から得られる値、水素分

子密度は計測されたガス圧力の計測値から得た。プラズマの準平衡状態を仮定し、連立方程式を解くことで各粒子密度を計算した。また、得られた励起原子ポピュレーションから、水素原子の理論発光スペクトルを求めた。

水素分子の振動温度の決定は、水素プラズマの真空紫外分光計測による実験スペクトルとコロナモデルによる理論スペクトルのフィッティングの手法を用いた[2]。Fig.1に計測された真空紫外分光スペクトルの例を示す。電子基底状態の水素分子の発光はコロナモデルから、

$$I_{Xv}^{Bvi,Cvi,Dvi} = \frac{A_{Xv}^{Bvi,Cvi,Dvi}}{\sum_{v'} A_{Xv'}^{Bvi,Cvi,Dvi}} \frac{hc}{\lambda_{Xv}^{Bvi,Cvi,Dvi}} n_e \sum_v \left\{ c_{Xv}^{Bvi,Cvi,Dvi} n_{Xv} \exp \left[-\frac{G_X(v)}{kT_{vib}^X} \right] \right\}$$

と表される。理論スペクトルには輻射捕獲、電子高励起準位からのカスケードの影響を考慮した。これらの二つのスペクトルの比較により振動温度を決定した。

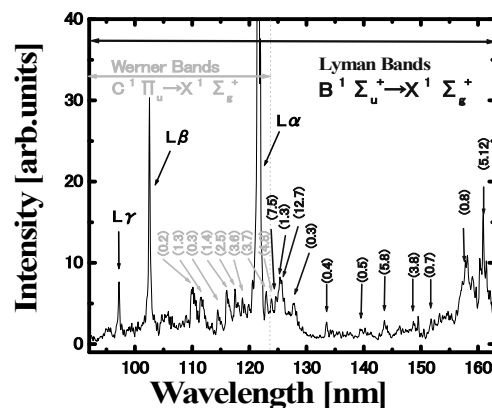


Fig.1 Example of measured VUV spectra of hydrogen molecules.

Reference

1. A. Nakanowatari, et.al. J. Nucl Mater. **390–391** (2009) 311–314