

水和電子の光励起脱溶媒和によるヘリウム大気圧グロー放電の放電電流増加における光子エネルギー依存性

Dependence of the increase in discharge current of He atmospheric-pressure glow discharge on photon energy of photo-excited desolvation of hydrated electrons

北大工¹ ○(D1) 稲垣 慶修¹, 佐々木 浩一¹

Hokkaido Univ.¹, Yoshinobu Inagaki¹ and Koichi Sasaki¹

E-mail: inagaki@eis.hokudai.ac.jp

【はじめに】

プラズマ・液体相互作用において、水和電子は基本的な活性種だと考えられているものの、プラズマで誘起される水和電子の反応過程に関する研究はほとんど手付かずである。その原因の一つは、プラズマによって誘起される水和電子の存在領域が気液界面直下の数 nm の領域に限定され^[1]、この領域の計測が非常に難しいことにある。そこで、我々は気液界面に選択性を持つ光励起脱溶媒和を利用した水和電子の検出手法を開発した。水和電子は、脱溶媒和エネルギーを超える光子エネルギーをもつレーザー光を照射すると、光励起脱溶媒和をおこし、水和電子は自由電子となって気相に飛び出すことが知られている^[2]。脱溶媒和により生成した自由電子のうち、液体分子との衝突による運動エネルギーの損失が小さいもののみが気相に輸送されるため、光励起脱溶媒和を利用すれば気液界面直下 10nm 以下の領域に存在する水和電子を選択的に検出することができる^[2]。加えて、光励起脱溶媒和直後の自由電子の運動エネルギーは吸収した光子のエネルギーに依存するため、入射するレーザーの波長で水和電子の探索深度を変えることができる。本講演では、液体電極ヘリウム大気圧グロー放電の液体電極にレーザー光照射した際の放電電流の光子エネルギー依存性について報告し、脱溶媒和電子の気相輸送過程をモンテカルロ法で再現することで、水和電子密度の深さ方向分布を概算する。

【実験・計算方法】

ガラス製のチャンバー内で、金属ノズル陽極と液体陰極の間に直流電圧を印加し、ヘリウム大気圧直流グロー放電を発生させた。ノズルからは流量 150mL/min でヘリウムを流し、加えて放電部の周囲も十分なヘリウム雰囲気にするために、チャンバー内に流量 7L/min でヘリウムを吹き込んでいる。このようにして生成したグロー放電に対して、全反射するような光学配置で、色素レーザー光(パルス幅 8ns、波長 280-367nm、10mJ/pulse)を入射し、レーザーパルスに起因する放電電流の増加(オプトガルバノ信号)をオシロスコープで計測した。

脱溶媒和電子が気相に輸送される確率は、粒子・重イオン輸送計算コード(PHITS)^[3]の飛程構造解析モードを用いて求めた。等方的に電子を発生させる点線源を液面から 5nm および 10nm の深さに置き、液面直上 0.5nm の位置を通過する割合を輸送確率とした。

【実験結果及び考察】

入射した色素レーザー光の光子エネルギーに対する、大気圧直流グロー放電における放電電流増加を図 1 に示す。図 1 の縦軸は、量子効率に比例する値として評価するために、放電電流の増加量 ΔI に光子エネルギー E をかけている。図から放電電流増加のスペクトルは少なくとも 1eV 以上の帯域幅を持つ現象であることが分かる。これは、水和電子の脱溶媒和現象の特性と矛盾しない。また、黒の実線は水和電子の結合エネルギーの分布関数^[4]から求めた脱溶媒和効率であり、脱溶媒和後の輸送確率をかけたものも同時にプロットしている。10nm から脱溶媒和電子が輸送されていると仮定すると実験値とよく一致することから、水和電子が界面から 10nm の位置に局在している可能性が示唆された。

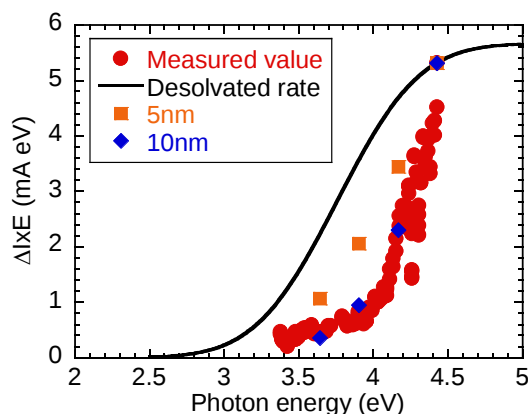


図 1 レーザー光が入射した際の放電電流変化の光子エネルギー依存性

参考文献

- [1] P. Rumbach, et al., Nat. Commun. 8248, 10.1038 (2015)
- [2] D. Luckhaus, et al., Sci. Adv. 3, e1603224 (2017)
- [3] T. Sato, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 55, 680 (2018)
- [4] J. Nishitani, et al., Sci. Adv. 5, eaaw6896 (2019)