



Title	プラズマと相互作用する液体における溶媒和電子の検出と診断 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	稲垣, 慶修
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15365号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89425
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshinobu_Inagaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 稲垣 慶修

学位論文題名

プラズマと相互作用する液体における溶媒和電子の検出と診断
(Detection and diagnostics of solvated electrons in liquids interacting with plasmas)

本研究では以下の二つの実験手法の開発を目標とした。

1. プラズマと相互作用する液体中における溶媒和電子の反応性を調べるための新たな実験手法
2. プラズマと相互作用する水の気液界面近傍に生成される水和電子を検出するための新たな実験手法

また、開発した実験手法を用いて、プラズマ・液体相互作用における溶媒和電子について研究した。

第1章は序論であり、本研究の背景について述べるとともに、本研究の目的および意義を明らかにした。

第2章および第3章では、目標1を実現するために、プラズマを照射した液中に対して CTTS (Charge Transfer to Solvent) 遷移を用いたポンプ・プローブ法を適用した。パルス状のポンプ光で CTTS 遷移を誘起し、インパルス的に生成された溶媒和電子の密度減衰をプローブ光で計測した。過渡吸収波形から求めた溶媒和電子の反応周波数を用いて、プラズマを照射した液中における溶媒和電子の反応性を調べることに成功した。

第2章では、低ガス圧プラズマとイオン液体が相互作用する環境で CTTS 遷移を用いたポンプ・プローブ法を実施した。アルゴンプラズマ、窒素プラズマ、および、酸素プラズマをイオン液体に照射した時、溶媒和電子の反応周波数が増加し、照射を停止してから 40-60 分で元の反応周波数に戻ることが分かった。また、イオン液体の可視・紫外吸収分光計測を行い、低ガス圧プラズマ照射によってイオン液体に生じる変化を調べた。その結果から、溶媒和電子の反応周波数を増加させたのは、プラズマ照射によって生じたイオン液体由来の化学物質であることが分かった。

第3章では、ヘリウム大気圧プラズマジェットと水が相互作用する環境で、CTTS 遷移を用いたポンプ・プローブ法を実施した。大気圧プラズマと水の相互作用で溶媒和電子の反応周波数が増減する様子が観察された。大気圧プラズマと水を相互作用させた環境下で吸収分光計測を行った文献を参照することにより、水和電子の反応周波数を主に増減させるのは、過酸化水素および酸素であると結論した。また、ポンプ光およびプローブ光を穴径 400 μm のオリフィスに通し、光学系を数 100 μm オーダーで動かすことで、反応周波数の空間分布について調べることに成功した。

第4章および第5章では、目標2を実現するために、レーザー誘起脱溶媒和を用いて、プラズマと相互作用する水の気液界面近傍に生成された水和電子を検出することに成功した。

第4章では、大気圧直流グロー放電の陰極となっている水とプラズマとの界面にパルス状のレーザー光を照射し、パルスのな放電電流増加を観測した。レーザー光の強度、波長および H_2O_2 濃度などに対する依存性を調べたところ、放電電流のパルスの増加がレーザー誘起脱溶媒和によるものであることが分かった。また、色素レーザーを用いてパルス電流振幅の光子エネルギーに対する依存性を調べ、モンテカルロシミュレーションで求めたレーザー誘起脱溶媒和の量子効率と比較した。その結果、気液界面にイオンが照射される実験条件では、気液界面から 7 nm より浅い領域の

水和電子密度はそれより深い領域の水和電子密度より顕著に低いことが示唆された。水和電子の生成過程は、イオン衝突による水分子の電離および発生した自由電子の水和であることが推測された。

第5章では、第4章の実験装置では不可能な電子照射条件における水和電子の検出を可能にするため、低ガス圧プラズマに水ジェットを入射する装置を用いてレーザー誘起脱溶媒和の実験を行った。誘導結合プラズマに入射した水ジェットに対して Nd:YAG レーザーパルス照射したところ、水ジェットとプラズマの間に流れる電流にパルス的な変化が生じた。パルス電流の向きはレーザー誘起脱溶媒和によって生じた自由電子がプラズマに輸送される向きと一致しており、レーザー強度や印加電圧に対するパルス電流振幅の依存性などから、パルス電流が水和電子のレーザー誘起脱溶媒和によるものであると結論付けた。また、Nd:YAG レーザーの波長を変え、レーザー誘起脱溶媒和によって発生するパルス電流の振幅の光子エネルギーに対する依存性を調べたところ、4章で得られた結果とは大きく異なることが明らかになり、水和電子の大部分が部分的溶媒和の状態にあることが示唆された。

第6章では本研究の結論および今後の展望について述べた。