



HOKKAIDO UNIVERSITY

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_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 稲垣 慶修

審査担当者 主 査 教 授 佐々木 浩一
副 査 教 授 富岡 智
副 査 准教授 白井 直機
副 査 准教授 富田 健太郎

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)

従来のプラズマの応用は、プラズマと固体表面との相互作用の応用技術であり、大規模集積回路の製造などの先端的工業分野において広く活用される技術に発展している。これに対し、最近、プラズマと液体との相互作用が、環境技術やバイオ技術への応用を背景に高い注目を集めるようになった。

プラズマ・液体相互作用には、従来のプラズマ・固体相互作用にはない特徴的な基礎過程がいくつか存在する。その中でも、溶媒和電子が関わる過程は、プラズマ・液体相互作用において最も重要な過程であると考えられているにもかかわらず、それについて実験的に調べた研究は過去にわずか一例しかない。これは、溶媒和電子が気液界面直下の数 nm の領域にしか存在せず、それを検出し実験的に研究することが極めて困難なためである。

このような中であって、本論文は、これまでプラズマ科学の分野では用いられたことのない実験技術を巧みにカスタマイズし、プラズマと相互作用する液体における溶媒和電子の反応性を調べると共に、プラズマと接する水界面近傍領域に存在する水和電子を検出し、その存在領域を明らかにしている。また、実験結果に基づき、水和が不完全な準安定状態として存在が予測されている部分水和電子が実在する可能性を示唆する実験結果を提示している。

第 1 章は序論であり、本研究の背景について述べ、本研究の目的および意義を明らかにしている。

第 2 章では、CTTS (Charge Transfer to Solvent) 遷移を用いてイオン液体中に溶媒和電子を生成し、その反応周波数を測定した実験結果を報告している。イオン液体が低い蒸気圧を持つことを利用し、プラズマ応用技術で広く用いられる低ガス圧誘導結合プラズマ源を実験に用い、プラズマとイオン液体の相互作用により、イオン液体を起源とする別の化学種が生成され、それが溶媒和電子に対する主な反応種となることを示している。また、反応種の特定には至らなかったものの、その紫外吸収スペクトルを明らかにしている。

第 3 章では、第 2 章で開発した CTTS 遷移を用いた実験技術を大気圧プラズマと水の相互作用に適用した結果を報告している。まず、脱気しない通常の水では溶存酸素が水和電子の反応性を支配していることを示している。また、プラズマと水を相互作用させることにより水中に生成される化学種の中では、過酸化水素が水和電子に対して最も高い反応性を持つことを示している。さらに、水界面直下の 0.1-0.3 mm 程度の領域には過酸化水素密度の高い層が存在することを明らかにしている。

第 4 章では、プラズマとの相互作用によって水中に生成された水和電子を検出する方法として、

レーザー誘起脱溶媒和と呼ばれる方法を開発している。この方法は、光子によって水和電子を自由電子に変換し、プラズマ気相に輸送する方法で、輸送した自由電子は大気圧直流放電の放電電流の増加分として検出している。光源に色素レーザーを用いてレーザーの波長を掃引した実験を行い、プラズマ気相への電子輸送の量子効率が光子エネルギーにどのように依存するかを実験的に調べている。また、実験条件において期待される量子効率を理論およびモンテカルロシミュレーションにより計算し、実験結果と比較することによって、水界面にイオンが照射される場合には、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を初めて明らかにしている。

第 5 章では、水界面に照射される電子フラックスがイオンフラックスよりも大きい場合の水和電子をレーザー誘起脱溶媒和を用いて調べている。電子フラックスがイオンフラックスより大きい条件で実験を行うため、低ガス圧誘導結合プラズマに直径 75 μm のジェット状の水を入射できる装置を用いている。レーザー誘起脱溶媒和によってプラズマに輸送される電子は水ジェットに流れるパルス電流として検出している。Nd:YAG レーザーの 2-4 倍高調波 (波長 266-532 nm) を用いて得られた実験結果は、第 4 章の実験結果とは大きく異なり、レーザー誘起脱溶媒和の量子効率を既知の水和エネルギーによって説明できないことを明らかにしている。また、それに基づいて、水和が不完全な準安定状態として存在が予測されている部分水和電子が実在するとの示唆を提示している。

第 6 章では、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べている。

以上述べたように、本論文において著者は、プラズマ・液体相互作用において最も重要な活性種と考えられながらも実験研究にほとんど手がつけられていない溶媒和電子 (水和電子) に焦点を当て、極めて新規性の高い成果を得ている。得られた成果は学術的な重要性を有するだけでなく、プラズマ・液体相互作用の応用にも有用な知見である。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。