

京都大学	博士 (工 学)	氏名	占部 継一郎
論文題目	Spectroscopic Study of Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure (大気圧誘電体バリア放電の分光学的研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、大気圧誘電体バリア放電の放電機構を明らかにするために、種々の分光診断手法を用いてプラズマ内部の電子密度や励起粒子密度を計測し、大気圧プラズマの生成機構や制御方法について議論した結果をまとめたものであって、6章から成っている。</p> <p>第1章は序論 (General Introduction) であり、大気圧下で生成された熱非平衡プラズマの工学的応用や大気圧プラズマの生成に関する現状と課題をまとめており、本論文の研究背景や目的について述べている。また、本論文の研究対象である誘電体バリア放電の特徴やこれまでの基礎的研究成果をまとめると共に、大気圧プラズマの各種分光診断法の基本原理や特徴について述べている。</p> <p>第2章では、基本的な電極構造の平行平板型誘電体バリア放電 (Parallel-Plate Dielectric Barrier Discharge) について、大気圧プラズマ内部の電子密度の時間・空間分布を測定できる分光計測法を開発し、ヘリウムガス放電の電離・励起過程に対する微量窒素の影響を明らかにしている。従来は流体モデルによる電子密度分布の数値計算やプラズマ発光現象の観測から、大気圧プラズマ内部の電子密度分布を予測していたが、本研究ではCO₂レーザーヘテロダイン干渉計とミリ波透過計測を組み合わせた手法を用いて、放電媒質ガスの種類に関係なく電子密度の時間・空間分布を実験的に解析している。さらに、レーザー吸収分光法による測定結果や電離周波数の数値計算結果等と比較することにより、ヘリウムと窒素ガスの混合比が電子密度の時間・空間分布に対して大きく影響すること、特に低電界領域での電離・励起過程において電子エネルギー分布や電離周波数に違いが生じることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、同軸誘電体バリア放電型ジェット (Coaxial Dielectric Barrier Discharge Jet) と呼ばれ、近年プラズマ応用分野で注目を集めている大気中への吹き出し型プラズマジェットに関して、吹き出すヘリウムガス流中の放電機構やガラス管内部の励起粒子密度の制御について論じている。具体的には、ガラス管から大気中に吹き出したヘリウムガス流中に観測されるプラズマに対して、レーザー誘起蛍光法によって窒素イオンのドリフト速度や回転温度を測定し、プラズマジェットの放電機構はガラス管内壁での局所的絶縁破壊による電離フロントの進展現象であることを実験的に明らかにしている。さらに、ガラス管に巻き付ける電極の形状を変化させ、ガラス管内の誘電体バリア放電と管外への電離フロント進展現象の関係について調べ、プラズマ吹き出し部の長さやガラス管内部の励起粒子密度をそれぞれ制御できることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、ガラス管に同軸構造の電極とジェット吹き出し部に接地電極をそれぞれ設けたジェット型誘電体バリア放電 (Jet-Type Dielectric Barreir Discharge) に</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	占部 継一郎
<p>ついて、主にレーザー吸収分光法とレーザー誘起蛍光法によってヘリウム準安定原子と窒素イオンの時間・空間密度分布を測定し、このジェット型誘電体バリア放電の放電機構や接地された金属電極の近傍における電離機構を明らかにしている。放電機構については、ガラス管から接地電極方向への正・負のコロナ放電の発生と、この前駆現象に続く過渡グロー放電によって接地電極が無い場合よりも1桁以上多くの励起粒子が生成されていることを明らかにしている。また、電離機構については、レーザー分光法に加えて行った発光分光法の測定結果より、接地電極近傍のプラズマ内部の電子生成が負の印加電圧では窒素の電子衝突電離によることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、安定かつ均一なプラズマが生成できるヘリウムガスをアルゴンガスに変更した場合の誘電体バリア放電について述べており、特にアルゴンガス流中に有機・無機分子を添加した場合に観測される均一なグロー状誘電体バリア放電 (Glow-Like Dielectric Barrier Discharge in Ar Gas Flow) の生成機構やその応用について論じている。その中で、アルゴンガス流中にアセトンを追加した場合の誘電体バリア放電について、0.3%程度の添加率で放電が不安定なフィラメント状から安定かつ均一なグロー状放電に移行することを明らかにすると共に、発光分光測定によって移行前後のアセトン分子分解の違いを明らかにしている。また、接地電極として用いた銅板上の堆積物について、その微細構造の電子顕微鏡観察の結果から、アルゴン／アセトン混合ガス流中の放電がポーラス構造のポリマー状薄膜形成に有用であることが分かった。また、アンモニアをアルゴンガス流中に添加した場合の誘電体バリア放電の観測結果から、0.5%程度の添加によってグロー状放電のプラズマが生成できることを明らかにしている。さらに、アルゴン／アンモニア混合ガス流中の放電に対し、添加アンモニア分子の分解率や生成粒子密度を測定し、基板表面の窒化・還元処理が可能であることを明らかにしている。</p> <p>第6章は結論 (Concluding Remarks) であり、本論文で得られた成果や今後の将来展望について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、大気圧下における誘電体バリア放電中の電子密度や励起粒子密度の時間・空間分布を種々の分光診断法を用いて計測し、大気圧プラズマの放電機構や電離・励起過程をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. プラズマ内部の電子密度分布が高速に変化する誘電体バリア放電にも適用できるように、CO₂ レーザヘテロダイン干渉計とミリ波透過法を組み合わせたプラズマ分光診断法を開発した。この診断法は測定対象の屈折率を計測するものであり、プラズマ生成用ガス媒質の励起・発光・散乱過程に依存しないという特長を有している。本論文では、この新規な測定法の密度測定精度や空間分解能についても正しく評価しており、誘電体バリア放電に限らず様々な大気圧プラズマの電子密度測定にも有効であることを明らかにした。
2. レーザ誘起蛍光法を用いて、同軸誘電体バリア放電型プラズマジェット内部の窒素イオンの密度分布やドリフト速度の測定を行い、吹き出し型ヘリウムプラズマジェットの放電機構を明らかにした。また、電極構造の面積や形状によるジェット吹き出し部の特性変化を解析し、ジェット吹き出し部の新たな制御方法を提案した。
3. ヘリウムプラズマジェットを金属基板に吹き付けたジェット型誘電体バリア放電に対してレーザ吸収分光法やレーザ誘起蛍光法などによる分光診断を行い、その放電機構がガラス管内からの正・負のコロナ放電現象とそれに続く過渡グロー放電によること、また金属基板近傍でのプラズマ内部の電子生成が負の印加電圧では窒素の電子衝突電離によることを明らかにした。
4. ヘリウムガスをアルゴンガスに代えて、通常は不安定なフィラメント状放電となるアルゴンガス中での誘電体バリア放電について、分子性ガスの微量添加によって安定かつ均一なグロー状放電を維持させることに成功した。また、アルゴン/有機分子混合ガス中の放電がポーラス構造のポリマー状薄膜形成や基板の表面窒化・還元処理に有用であることを明らかにした。

以上、本論文は誘電体バリア放電が大気圧プラズマを安定に生成するために極めて有効であることを示し、今後の大気圧プラズマ応用分野の発展に対し、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。