The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	大気圧下のマイクロ放電現象の研究
Author(s)	Park, Mingon
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/53974
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　PARK　MINGON　）	
論文題名	大気圧下のマイクロ放電現象の研究 （Research on micro-discharge phenomena at the atmospheric pressure）

本研究では，大気中でサブミリ以下の加工を可能にする微小放電によるプロセスを開発することを目的とした．そのためには，プラズマを細径化し，安定化させるとともに，材料局部を溶融・蒸発させることができるパワー密度を確保する必要がある．本論文は以下の６章から構成されている．

第１章では，本研究の背景として精密加工技術の現状を踏まえ，研究目的ならびに目的と方針について述べた．

第２章では，マイクロ放電の基礎として，直流放電現象における電流電圧特性や電子放出などこれまでに得られている知見を整理した．熱電界電子放出理論(T-F theory)に基づき，陰極の仕事関数，電界強度，温度と電子電流密度との関係を検討し，電極設計の基礎情報とした．また，マイクロ熱源として機能させるため，低電流領域においての大気圧放電を細径化･高パワー密度化する方法を示した．具体的には，ボロンナイトライド(BN)を電流経路拘束のノズルとして用いるプラズマ方式，グロー領域を利用する方法，プラズマガスの物性値を利用する方法を提案した．

第３章では，実験装置のトーチ及びノズルの設計や微細電極，フィラメント電極の作製，高圧定電流電源の仕様と試作について記述した．プラズマ拘束ノズルの温度計算を行い，電流経路を制限する BNノズルとトーチの設計方針を明らかにした．また，放電サイズを小さくするために，放電電流値を低くし，アーク領域からグロー領域まで電力を供給できる高電圧の定電流電源を試作した．さらに，放電を安定化し，母材陽極に集中させるため，電極先端を尖鋭化する電解研磨の手法を検討した．そして，電極を加熱させて熱電子放出を増加させるフィラメント電極の作製手法を述べた．

第４章では，マイクロ放電現象の支配因子について検討した．トーチノズルによる電流経路制限の効果，雰囲気ガスによるサーマルピンチ効果，溶融スポットとパワー密度の関係，電極損傷について明らかにした．TIG 方式の放電では，Ar雰囲気においては1 Aよりも低い電流領域で，不安定なプラズマになった．一方，プラズマ方式の放電では，ノズルの拘束効果によって，TIG方式の放電プラズマより安定なプラズマを形成した．さらに，ノズル径を小さくするほさくするほど，電流経路の制限効果が高くなり，プラズマが絞られ，パワー密度が高くなることが明らかになった．ノズル径0.3 mmの場合は電流値1 A，放電時間5 msで，直径200μm～300μmの溶融スポットが形成された．電界研磨により電極先端の曲率半径を小さくすると，放電プラズマが集中し，安定化することが分かった．さらに雰囲気ガスをN_2にすると，N_2放電プラズマは電極先端に集中することが分かった．Ar雰囲気の場合，純タングステン電極を電解研磨しても，TIG方式では溶融スポットが形成されなかったが，プラズマ方式では，パワー密度が高くなり，直径約100μmの溶融スポットが形成された．N_2ガスの場合，純タングステンの電解研磨した電極を用いるだけでも放電が安定し，溶融スポットが形成された．さらに，プラズマ方式で放電を行うと，パワー密度が増加し，円形の溶融スポットが形成された．純タングステンよりも仕事関数が低い2%ランタン入りタングステンの電極を用いると，放電プラズマが集中し，安定化することが分かった．さらに，プラズマ方式で放電を行うと，パワー密度が高くなり，約100μmの溶融スポットが形成された．しかし，放電を続けると電極先端が溶融するとともに，先端曲率半径が大きくなり，再現性が低下することが分かった．

第５章では，フィラメントを用いて陰極加熱を行った時のマイクロ放電現象を検討した．陰極加熱並びに電極先端形状が電流-電圧特性や放電モードに及ぼす影響， 母材陽極の溶融スポット，電極損傷について明らかにした．フィラメント電流8Aで電極を加熱したとき，電極先端から指向性の高い安定なプラズマが生成された．TIG方式において，グローモードの電流値17mAで，直径100μm程度の溶融スポットが形成された．フィラメント電極を加熱することで電極損傷を抑制することができ，放電の再現性が高くなることが分かった．

第６章では，本研究で得られた知見を取りまとめ、本論文の総括を行った．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　PARK MINGON　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教　授	平田　好則
	副 査	教　授	浅井　知
	副 査	教　授	田中　学

論文審査の結果の要旨

本研究では、大気中でサブミリ以下の加工を可能にする微小放電によるプロセスの開発を目指して、グロー放電領域からアーク放電領域におけるプラズマの細径化と安定化に向けた実験観察を行い、その現象を明らかにしている。

主な研究成果を要約すると、次のようになる。

(1) 熱電界電子放出理論(T-F theory)に基づき、陰極の仕事関数、電界強度、温度と電子電流密度との関係を検討し、マイクロ放電用の電極を設計している。また、マイクロ熱源として機能させるため、低電流領域においての大気圧放電を細径化· 高パワー密度化する方法を示している。具体的には、ボロンナイトライド(BN)を電流経路拘束のノズルとして用いるプラズマ方式、グロー領域を利用する方法、プラズマガスの物性値を利用する方法を提案している。

(2) プラズマ拘束ノズルの温度計算を行い、電流経路を制限する BNノズルとトーチの設計方針を明らかにしている。また、放電サイズを小さくするために、放電電流値を低くし、アーク領域からグロー領域まで電力を供給できる高電圧の定電流電源を試作している。放電を安定化し、母材陽極に集中させるため、電極先端を尖鋭化する電解研磨の手法を検討し、電極を加熱させて熱電子放出を増加させるフィラメント電極の作製手法を工夫している。

(3) プラズマ方式の放電においてノズルの拘束効果によって、TIG方式の放電プラズマより安定なプラズマを形成することを明らかにしている。さらに、ノズル径を小さくするほど、電流経路の制限効果が高くなり、プラズマが絞られ、パワー密度が高くなることを示している。また、雰囲気ガスをN_2にすることで、放電プラズマが電極先端に集中することを見出している。

(4) アルゴンガス雰囲気の場合、純タングステン電極を電解研磨しても、TIG方式では溶融スポットが形成されないが、プラズマ方式ではパワー密度が高くなり、直径約100μmの溶融スポットが形成されることを示している。N_2ガスの場合、純タングステンの電解研磨した電極を用いるだけでも放電が安定し、溶融スポットが形成されることを明らかにしている。また、純タングステンよりも仕事関数が低い2%ランタン入りタングステンの電極を用いると、放電プラズマが集中し、安定化することを確認している。

(5) フィラメントを用いて陰極を加熱することで、電極先端から指向性が高く、安定なプラズマが生成されることを示している。TIG方式において、グローモードの電流値17mAで、直径100μm程度の溶融スポットが形成されことを確認している。陰極を加熱することで電極損傷を抑制することができ、放電の再現性が高くなることを明らかにしている。

以上のように、本論文は直流放電の陽極材料をサブミリサイズの溶融･蒸発加工を可能にするマイクロ放電プロセスの開発を目的に、陰極の形状や材料の種類、加熱の有無、ノズルによる放電経路の拘束などに着目し、これらが電流・電圧特性やパワー密度に及ぼす影響を明らかにしており、学術的に重要な成果を上げている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。