

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 仁田工美

本論文は、ギャップ長が $100\mu\text{m}$ 以下のマイクロギャップの放電現象について実験的検討を行い、火花放電形成過程に重要な影響を与える陰極からの二次電子放出機構を三つの主要因に分離し、マイクロギャップ放電現象のモデル化を行ったもので、「マイクロギャップの放電現象」と題し、7章から構成されている。

第1章「序論」では、研究の背景について述べ、マイクロギャップの存在する高電圧機器の界面とマイクロ・ナノテクノロジー及びその応用について述べ、マイクロギャップの放電現象を体系的に検討することが工学的に肝要であることを示した。また、本論文の目的が、タウンゼント理論における陰極からの二次電子放出作用を考慮しつつマイクロギャップの放電現象のモデル化を行うこと、二次電子放出機構を3つの主要因に分離し、火花電圧実験式を導出し、形成時間遅れの推定を行うこと、電子回路やマイクロマシン・アクチュエータなどのマイクロギャップの絶縁破壊特性評価にも適用できるように放電モデルの一般化を図ること、であることを示した。

第2章「実験方法」では、本研究で構築したマイクロギャップの放電現象を観測する実験構成について述べると共に、放電形成過程を検討する上で基礎となる破壊遅れ時間と宇宙線の影響を検討するために使用した装置について述べられている。

第3章「平等電界での破壊遅れ時間」では、平等電界でのマイクロギャップの破壊遅れ時間の測定結果から、初期電子の供給のために紫外線照射を行っても、電極表面における光電効果（金属からの電子放出）が小さく、また空間に存在するイオンの数が少ないために電子離脱が容易に起きないことから、マイクロギャップでは統計時間遅れを小さくすることは難しいことを示唆した。形成時間遅れが $1\sim 10\mu\text{s}$ と長いことから、ギャップをイオン及び電子が何度も往復して、衝突電離が進むタウンゼント型の放電現象であることを明らかにしている。

第4章「不平等電界での破壊遅れ時間」では、不平等電界でのマイクロギャップの破壊遅れ時間を測定し、同じ電極構造、同じギャップ長では、電界と気体圧力の比(E/p)が大きくなると形成時間遅れが短くなるが、ギャップ長が $d=30\mu\text{m}$ 程度になると、 E/p が大きくなっても、形成時間遅れの値が変化しない傾向があることを示した。

第5章「シリコン電極を用いた場合の破壊遅れ時間」では、マイクロマシン用のシリコン電極を用いて、その電極間の破壊遅れ時間を測定した結果、その大きさは数 μs であることを明らかにできたが、火花放電によって作られるシリコン表面の損傷が大きく統計時間遅れと形成時間遅れを分離して測定することは極めて難しいことを述べている。

第6章「マイクロギャップ中の分子のふるまい」では、大気圧空気中における、電子の平均自由行程、励起分子が陽極近傍から陰極近傍に到達するまでの拡散時間、ギャップ間に存在するイオン数を、それぞれ定量的に評価することにより、マイクロギャップでは統計時間遅れを小さくすることは難しいことを明らかにしている。

第7章「二次電子放出機構を考慮したマイクロギャップの放電形成過程」では、まず、マイクロギャップにおける火花放電形成過程が、タウンゼント理論で説明できることを明

らかにしている。同理論において重要なパラメータである陰極からの二次電子放出係数 (γ 係数) に関して考察を行い、 γ 係数が 3 つの主要因に分けられることを示し、更に、 γ 係数の定量化を実現できる評価式を導き出している。この評価式を用いることにより、金属電極間のマイクロギャップにおける火花破壊電圧および火花放電形成時間遅れを推定できることを明らかにしている。

以上これを要するに、本論文は、電気・電子デバイスに含まれるマイクロギャップの放電破壊現象を対象とし、特に火花放電までの遅れ時間に着目して測定を行い、それに基づき火花放電形成に重要な影響を与える陰極からの二次電子放出機構を三つの主要因に分離し、それぞれを電界、気体の圧力、ギャップ長の関数として定量化することにより、マイクロギャップの火花放電形成過程のモデル化が可能であることを明らかにした点で、電気工学、特に高電圧、放電工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。