

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：12701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06222

研究課題名(和文) 電力機器の高耐圧化を目指した微小空間領域における絶縁破壊メカニズムの解明

研究課題名(英文) Research on breakdown process across micrometer-scale gap for improving withstand voltage of power apparatus

研究代表者

岩淵 大行 (Iwabuchi, Hiroyuki)

横浜国立大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：50757341

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、MEMSデバイスを模擬したSiO₂ウェハ上のマイクロ沿面ギャップにおける放電機構を検討した。以下に本研究で明らかにしたマイクロ沿面ギャップ放電機構を述べる。負極性電圧印加時は、陰極からの電子放出が放電の主要因となる。陰極から放出された電子は誘電体表面を帯電させ、表面帯電により誘電体表面から離れたアーチ状の放電経路が形成される。したがって、絶縁破壊電圧は陰極表面の電界に依存するため、ギャップ長によらず一定となり、ばらつきが大きい。正極性電圧印加時は誘電体表面から放出された電界電子放出電流が陽極表面を加熱させ、金属蒸気が発生することによりタウンゼント型放電に至る。

研究成果の概要(英文)：With the miniaturization of MEMS (micro electromechanical systems) devices, the insulation width and the separation between electrodes in such devices have been accordingly reduced. Consequently, electrical breakdown phenomenon across micrometer-scale gap is of great practical interest for insulation designing of miniaturized devices. In this paper, breakdown process across micrometer-scale surface gap demonstrating actual electronic devices was investigated considering the breakdown characteristics under impulse voltage application and the particle simulation.

The result shows that under negative voltage application, breakdown voltage as independent of electrode materials and gap width. It provides good agreement th simulated one, considering positive feedback of the field emission from the cathode. Under positive voltage application, field emission from insulator surface play an important role on breakdown across micron gaps.

研究分野：電力機器工学

キーワード：マイクロギャップ 沿面放電 シミュレーション 二次電子放出係数

1. 研究開始当初の背景

数 μm 以下の微小なギャップ (マイクロギャップ) における絶縁破壊 (放電) 現象の解明は、デバイスなどの信頼性を確保するうえで重要な課題である。マイクロギャップにおける放電現象は電気機器の信頼性に直結するのみならず、微小な表面加工技術など幅広い分野で応用されており、マイクロギャップ放電機構解明の要請は強い。

マイクロギャップ間における放電現象に関する研究例は数多く報告されているが、研究の現状としては、報告者ごとに異なった特性やモデルを提唱している段階にとどまっている。さらに、これまでの研究報告は放電研究上最も単純な電極構成で実施されたものであり、実際の機器、デバイスでは絶縁設計上不可欠となる固体絶縁物の影響を考慮した放電機構に関する検討はほとんどなされていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、これまでプラズマシミュレーションとして用いられてきた PIC 法を微小ギャップにおける絶縁破壊現象に適用することで、従来とは異なる全く新しい放電機構の構築を行い、機器絶縁設計上の許容範囲を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究方法として、簡単のため、誘電体を含む電極系を二次元 xy 系でモデリングし、以下のパラメータを変化させて、マイクロギャップ間の放電現象に与える影響を検証する。

(i) 陰極からの二次電子放出係数

正イオンによる陰極からの二次電子放出係数は、 $\text{mm} \sim \text{cm}$ オーダの放電現象を支配する重要なパラメータである。微小ギャップ間における を $10^{-3} \sim 1$ 程度で変化させ、陰極からの二次電子放出が放電の形成及び維持に与える影響を明らかにする。

(ii) 雰囲気気体の圧力

実際のデバイスは大気圧中で使用されるが、シミュレーションに当たっては気体の圧力を変化させることで疑似的に電子の平均自由行程を変化させ、絶縁破壊に対する電子-中性粒子間の衝突回数の影響を明らかにする研究を行う。

(iii) 印加電圧と極性

実際に使用される機器で印加電圧が反転されることは通常使用時では考えにくい、印加電圧の極性は初期電子の放出源に直接影響するため、放電機構の解明上重要な知見を供するものである。正負両極性において放電シミュレーションを行い、絶縁破壊に対する初期電子放出の影響を明らかにする。

4. 研究成果

本研究で明らかにしたマイクロ沿面ギャップ放電機構を述べる。

負極性電圧印加時は、陰極からの電子放出が放電の主要因となる。陰極から放出された電子は誘電体表面を帯電させ、表面帯電により誘電体表面から離れたアーチ状の放電経路が形成される。したがって、絶縁破壊電圧は陰極表面の電界に依存するため、ギャップ長によらず一定となり、ばらつきが大きい。

正極性電圧印加時の機構は二通りに分類される。 $3\mu\text{m}$ 以下のギャップの場合、陰極の表面電界は電界電子放出を発生させるのに十分な電界強度に達しており、負極性印加時と同様に電界電子放出によってアー

チ状の放電経路が形成される。3 μm を超えるギャップでは陰極からの電子放出の影響は小さく、相対的に陽極近傍の誘電体表面からの電子放出の影響が大きくなる。誘電体表面から放出された電界電子放出電流が陽極表面を加熱させ、金属蒸気が発生することによりタウンゼント型放電に至るものと考えられる。したがって、絶縁破壊電圧は陰極表面、陽極近傍の電界に依存するためギャップ長によらず一定となるが、3 μm 以下のギャップにおける絶縁破壊電圧ではばらつきが大きくなる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

岩淵大行: 国際会議報告 第 20 回気体放電とその応用国際会議, “「グロー放電・破壊」(Session C), U. Ebert による招待講演, K.D. Weltmann による招待講演”, 放電研究, Vol. 58, No. 1, pp. 35-36 (2015-6) (査読無)

岩淵大行: 国際会議報告 第 19 回高電圧工学国際会議, “9. Topic D: Advanced materials and insulation systems (Session OD4,OD5)”, 放電研究, Vol. 58, No. 3, p. 24 (2016-4) (査読無)

[学会発表](計 9件)

H. Iwabuchi, S.Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka: "Influence of pressure on V-t characteristics across micrometer-scale surface gap", 32th International Conference on Phenomena in Ionized Gases(ICPIG)2013, P2-13, Iasi, Romania, 2015年7月27日(ポスター)

H. Iwabuchi, S.Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka: "Breakdown process across micrometer-scale surface gap: Measurement and particle simulation", 19th ISH, PD2-111, Pilsen, Czech Republic, 2015年8月25日(ポスター)

H. Iwabuchi, S.Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka: "Breakdown phenomenon across micrometer-scale surface gap under positive impulse voltage",

ICRP-9/GEC-68/SPP-33, FT3.00003, Honolulu, USA, 2015年10月13日(口頭)
H. Iwabuchi, S. Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka: Breakdown Phenomena across Micrometer-Scale Surface Gap: Effect of Gas Pressure, Secondary Electron Emission, And Polarity of Applied Voltage, GD 2016, K2, pp.605-608, 2016年9月15日, Nagoya, Japan (2016) (口頭)

岩淵大行, 松岡成居, 熊田亜紀子, 日高邦彦, 「負極性マイクロギャップ放電に与える誘電体表面の二次電子放出の影響」, 平成28年電気学会全国大会, 1-118, p.137(第1分冊), 仙台(東北大), 2016年3月16日(口頭)

中森昌紀, 熊田亜紀子, 日高邦彦, 岩淵大行, 鈴木鼓太郎, 矢部謙治, 三宅弘晃, 田中康寛, 「電極材料の仕事関数計測」, 平成28年電気学会全国大会, 2-069, p.86(第2分冊), 仙台(東北大), 2016年3月16日(口頭)

小島大樹, 岩淵大行, 大山力, 「真空遮断器におけるサージ現象のシミュレーションモデルの構築」, 平成28年電気学会全国大会, 6-019, p.27(第6分冊), 仙台(東北大), 2016年3月17日(口頭)

岩淵大行, 大山力, 「平等電界下の電界電子放出電流に与える雰囲気気体圧力の影響」, 平成29年電気学会全国大会, 6-032, p.47(第6分冊), 富山(富山大), 2017年3月15日(口頭)

小島大樹, 岩淵大行, 大山力, 「真空遮断器における電流遮断時の金属粒子挙動特性」, 平成29年電気学会全国大会, 6-035, p.51(第6分冊), 富山(富山大), 2017年3月15日(口頭)

[その他]
ホームページ等

<http://www.es.ynu.ac.jp/academic/dep/la b/00160/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩淵 大行 (横浜国立大学・工学研究院・
助教)

研究者番号 : 50757341

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし