

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05628

研究課題名(和文) 大気圧N₂-CF₃Iガス放電における負イオン挙動の解明と有機材料用除電器への応用研究課題名(英文) Study on the negative-ion generation in atmospheric N₂-CF₃I gas discharge and its application to the static eliminator for organic materials

研究代表者

池畑 隆 (Ikehata, Takashi)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：00159641

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：電子デバイスの製造現場では、静電気を抑止するため空気イオナイザが用いられているが、有機系デバイスの製造では、酸素が有機材料を劣化させるため空気が使えない問題があった。酸素に代わる負性ガスが求められていた。筆者らは酸素より電子親和力が高く無毒・不活性で、地球環境に優しいトリフルオロヨードメタン(CF₃I)に注目し、CF₃Iをイオナイザ除電の雰囲気ガスとして用いる研究を初めて実施した。その結果、CF₃Iは低エネルギー電子との解離性電子付着反応で効率よくI⁻イオンを生成し、酸素の1/100以下の低濃度でも除電が可能であった。イオナイザ用負性ガスとして実用性が高いことが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静電気制御に用いられる大気圧イオナイザは空気をイオン化して正負イオンを生成する。しかし負イオン源としての酸素が材料を劣化させる問題があった。本研究で調査したトリフルオロヨードメタン(CF₃I)は、無毒・不活性で、地球環境に優しく、酸素の1/100以下の低濃度でも十分な量の負イオンを生成できるため、実用性の高い負性ガスであることが判明した。

研究成果の概要(英文)：In manufacturing environment of electronic devices, an air ionizer has commonly been used to prevent electrostatic charging of materials and products. In manufacturing of organic devices, on the other hand, the air ionizer cannot be used because oxygen in the air degrades organic materials. Therefore, negative gas replacing oxygen is demanded. The authors focused on trifluoroiodomethane (CF₃I) that has characteristic properties such as electronic affinity higher than oxygen, non toxicity and low reactivity, low impact to global environment and conducted the first experiment to explore the possibility of CF₃I for ionizer gas. As a result, we found that CF₃I produced I⁻ ions efficiently through dissociative electron capture reaction. It was clarified that CF₃I was practical negative gas for ionizers.

研究分野：プラズマ工学、イオン工学、静電気学、質量分析学

キーワード：静電気除電 コロナ放電 イオナイザ CF₃I イオン輸送 質量分析 有機材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体工場や高分子フィルムの印刷・加工ラインなどでは、絶縁性基材の接触・剥離で静電気が発生するため、障害を抑止する目的でイオナイザ式除電が利用されている。イオナイザは空气中でコロナ放電を発生させ、正負イオンを輸送することで基材の電荷を中和する方法である。負イオンは酸素分子への電子付着で形成される。一方、発展目覚ましい有機エレクトロニクスでは、酸素が有機材料と反応し劣化させるため空気が使えない。窒素など酸素を含まない雰囲気ガスでは正イオンのみで負イオンが形成されないため、正負のバランスが崩れ除電が困難になる。有機材料を劣化させない酸素に代わる負性ガスが求められていた。

2. 研究の目的

酸素に代わる負性ガスとしてトリフルオロヨードメタン(CF_3I)に注目した。 CF_3I は酸素より電子親和力(負イオンを作る能力)が高く無毒・不活性で、地球温暖化係数は二酸化炭素程度、オゾン層破壊係数は無視できるほど小さく地球環境に優しい。このガスは、 SF_6 に代わる電力機器用絶縁ガス、プラズマエッチングガスとして期待され、現在も電力工学、高電圧工学、プラズマプロセスの分野で基礎研究[1-3]が進められているが、イオナイザ除電の雰囲気ガスとして用いる研究は報告例がない。そこで、 N_2 - CF_3I 混合ガスをベースとする有機エレクトロニクス向けイオナイザ除電の開発に向けて、以下の基礎研究を行うことを目的とした。

- (1) N_2 - CF_3I 混合ガス中のACイオナイザ除電特性の調査とキャリア輸送モデルとの比較
- (2) コロナ放電で生成される正負イオン種の質量分析による調査
- (3) CF_3I 由来のイオン種、分子種の付着・蓄積による有機材料表面物性への影響の初期調査

3. 研究の方法

(1) 図1の実験装置により、 N_2 - CF_3I 混合ガス中のACイオナイザ除電の基礎特性を調査した。200 mm×200 mm×200 mmの亚克力製容器(内壁に接地された金属メッシュを貼付)内にエミッタ(先端曲率半径50 μm , タングステン製)を設置した。容器内に組成比の異なる大気圧の N_2 - CF_3I 混合ガスを満たすときには、まずロータリーポンプを用いて残留空気を6 Paまで排気し、高純度のガス(CF_3I , N_2)を所望の分圧比になるように注入し、全圧を 10^5 Paに調整した。圧力測定には半導体圧力センサを用いた。次に被除電物に見立てた金属プレート(100 mm×100 mm×1 mm, アルミニウム)を容器内に設置し、導線でチャージドプレートモニター(CPM)に接続した。

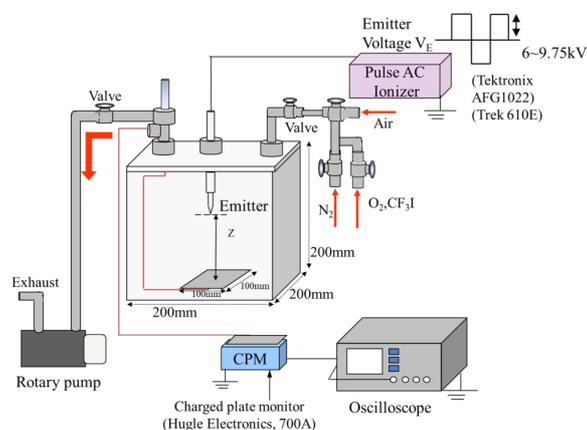


図1 実験装置

このCPMは最大5 kVまで充電可能であり金属プレートからCPMまでの全体の容量は90 pFになる。また、容器内壁をポリイミドフィルムで覆うことで絶縁している。AC電源にはファンクションジェネレータのAC信号を高電圧アンプで増幅する形式を用いた。出力は最大振幅9.75 kV、周波数10-200 Hzの方形波であった。 CF_3I 濃度は0.5%から50%まで変化させ、比較のために純 N_2 ガス、 N_2 - O_2 混合ガスでも実験を行った。

(2) CF_3I 由来の正負イオン種については、まずは文献による調査を行い、実験では既存のレーザーイオン化質量分析装置に大気圧イオン化部を組み込む構想であった。

(3) CF_3I 由来分子種の付着による有機材料への影響については、ガラス基板にアントラセンを真空蒸着で成膜し、ACイオナイザにより長時間暴露して、表面物性の変化をXPSで観察することを計画した。

4. 研究成果

(1) N_2 - CF_3I 混合ガス中のACイオナイザ除電特性の調査とキャリア輸送モデルとの比較

① エミッターのDC電流電圧特性

容器内の側面・底面を覆うように金属メッシュを接地し、その金属メッシュとエミッタから100 mmの距離に設置した金属プレートを短絡、直流電流計を介して接地した。エミッタに0-10 kVの正負の直流電圧を印加してコロナ放電を発生させ、電流電圧特性を取得した。測定結果の例を図2(a)-(c)に示す。純 N_2 中では正負ともに5 kVでコロナ放電が発生し、電流は電圧の2乗に比例して増加する(図2(a))。これはキャリアと中性分子との衝突が顕著でかつ空間電荷効果が働く場合のキャリア輸送モデルの結果と一致する。負電流が正電流に比べて圧倒的に大きく正負のバランスが大きく崩れている。純 N_2 では負イオンが生成されず、負電流が移動度の大きな電子によって運ばれているためである。次に O_2 を1%含む N_2 - O_2 混合ガスでは、 N_2 由来の正イオンによる正電流は変化しないものの負電流が減少した(図2(b))。これは一部の電子が O_2 分

子に付着して負イオン化したためである。しかし正負バランスの崩れは解消されていないので負イオンの割合はかなり小さいと言える。一方、 CF_3I を 0.5% 含む $\text{N}_2\text{-CF}_3\text{I}$ 混合ガスでは、正負のバランスが顕著に改善した (図 2(c))。電子のほぼ全てが CF_3I との電子付着衝突で負イオン (主として I^- と考えられる) に変化したものと考えられる。調査の結果、 CF_3I は O_2 に比べて大きな電子親和力、電子付着衝突断面積を有することが分かっている [4]。これらの結果から、 CF_3I は O_2 に比べてごく少量の添加であっても十分な量の負イオンが形成され、正負バランスに優れた除電が可能であることが示唆された。なお CF_3I 濃度を 10% 以上に高めると正コロナ放電が停止した。これも電子親和力が大きいことが原因と考えられる。

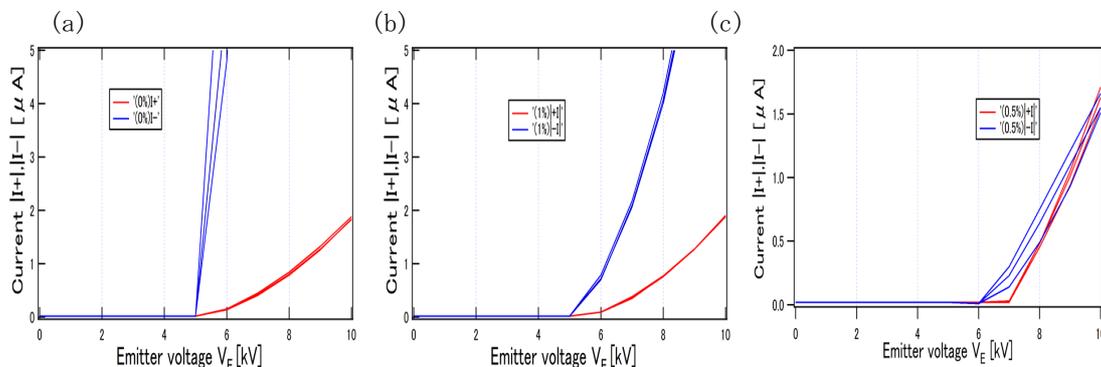


図 2 電流電圧特性：(a) 純 N_2 ガス、(b) $\text{N}_2\text{-O}_2$ ガス (O_2 1%)、(c) $\text{N}_2\text{-CF}_3\text{I}$ ガス (CF_3I 0.5%)

② AC イオナイザの除電特性- CF_3I 濃度依存性

エミッタに振幅 8 kV、周波数 10 Hz の方形波交流電圧を加え交流コロナ放電を発生させて、±1 kV に充電した金属プレート (距離 100 mm) の除電実験を行った。 CF_3I 濃度 0.5% における除電カーブを図 3 に示す。初期電位の正負にかかわらず、放電開始から 2 秒程度でプレート電位が +50 V 程度まで低下している。除電カーブから 4 つの除電性能評価パラメータ (オフセット電圧、電圧リップル、除電時間、除電電流) が求められる。オフセット電圧、電圧リップルともにゼロが理想である。除電時間は短い方が実用的に有利であるが、除電時間は除電電流 (ほぼコロナイオン電流) に反比例し、除電電流が大きすぎるとオフセット電圧、電圧リップルとも増大する傾向がある。適用対象ごとに最適条件を探ることが重要である。

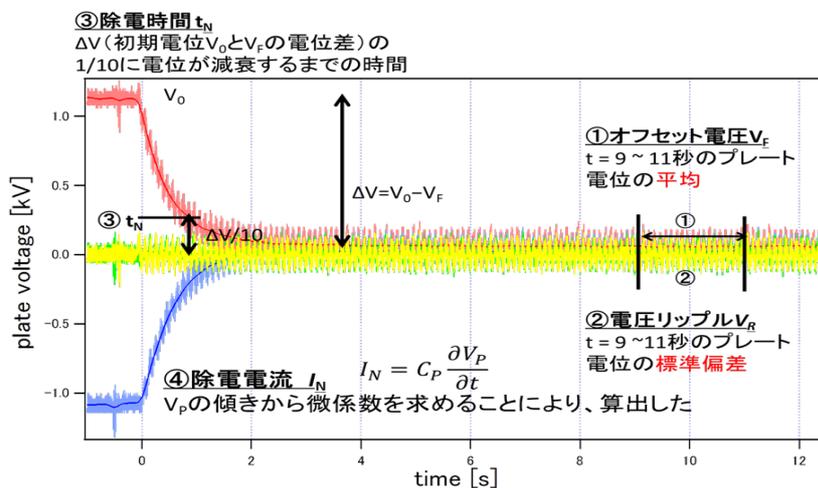


図 3 典型的な除電カーブ： $\text{N}_2\text{-CF}_3\text{I}$ (0.5%) 混合ガス、方形波交流 8 kV、10 Hz

次に、オフセット電圧、電圧リップルと CF_3I 、 O_2 濃度の関係を調査した。結果を図 4、図 5 に示す。 O_2 では、濃度が 10% 以上でオフセット電圧が -50 V 程度に落ち着いた。-50 V 程度のアンバランスが残った原因としては、負キャリアの平均質量が正キャリアのそれより小さく、キャリア電流が大きいことが考えられる。このことは、負キャリアがほぼ 0 である (O_2^- は不安定で短時間に 0 解離することが知られている [5]) のに対し、正キャリアでは、 N_2^+ より N_2^+ が多いことを示唆していると考えられる。大気は 20% の O_2 を含むので、大気中のイオナイザが良好な除電特性を示す理由がこのデータから理解できる。一方 CF_3I では 0.5% の低濃度で同程度のオフセット電圧が得られている。本研究では 0.5% までしか調査できなかったが、さらに低濃度でも良好な特性が得られる可能性は高い。電圧リップルは濃度 10% 以上で約 110 V であり、0.5% まで下げると 140 V 程度まで上昇する。 CF_3I 、 O_2 ともに同様の傾向を示す。解釈については検討中である。

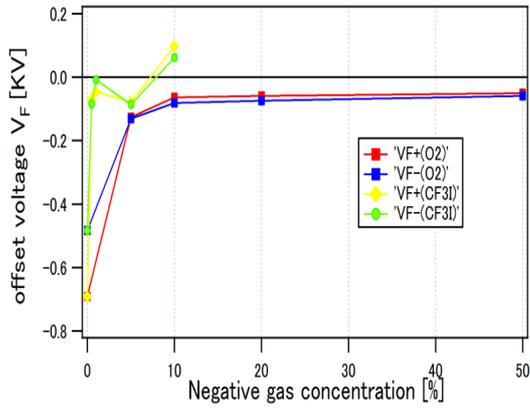


図4 オフセット電圧の負性ガス濃度依存性

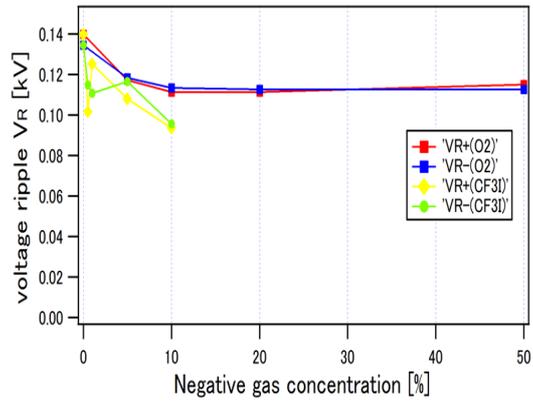


図5 電圧リップルの負性ガス濃度依存性

③ AC イオナイザの除電特性-電源周波数依存性

オフセット電圧、電圧リップルと電源周波数の関係を調査した。N₂-CF₃I 混合ガスでは、CF₃I 濃度 0.5%、エミッタ電圧 8 kV、エミッタープレート間距離 100 mm、N₂-O₂ 混合ガスでは、O₂ 濃度 20%、エミッタ電圧 7 kV、エミッタープレート間距離 100 mm とした。図 6 に 10 および 200 Hz における N₂-CF₃I 混合ガス中の除電カーブを示す。10Hz では 2 秒で除電がほぼ完了し、正負バランスも良好であるが、200 Hz では除電に 15 秒以上を要する。これは除電電流が小さいためである。周波数が高いとエミッタのコロナ放電領域から交互に放出される正負キャリア間の距離は小さくなる。そうすると正負キャリアの混合と再結合が起こりやすくなる。その結果、キャリア密度および除電電流の減少につながる。除電カーブには規則的な電圧リップルに加えて間欠的に大振幅スパイクが見られる。これは O₂ 混合ガスには見られず CF₃I に特徴的な現象であり、低濃度になると小さくなる。現在までのところ原因は不明である。除電においてこうした電圧スパイクが発生すると半導体素子を破壊するので、CF₃I はごく低濃度での利用が重要と考えられる。オフセット電圧および除電時間の周波数依存性を図 7 および図 8 に示す。オフセット電圧は 50 Hz 以下では約 -50 V で一定であるが、周波数が増加すると上昇ししかもばらつきが大きくなる。おそらく除電電流の減少に起因すると思われる (図 7)。除電時間は周波数にほぼ比例して増加しており、これも除電電流の変化で説明可能である (図 8)。

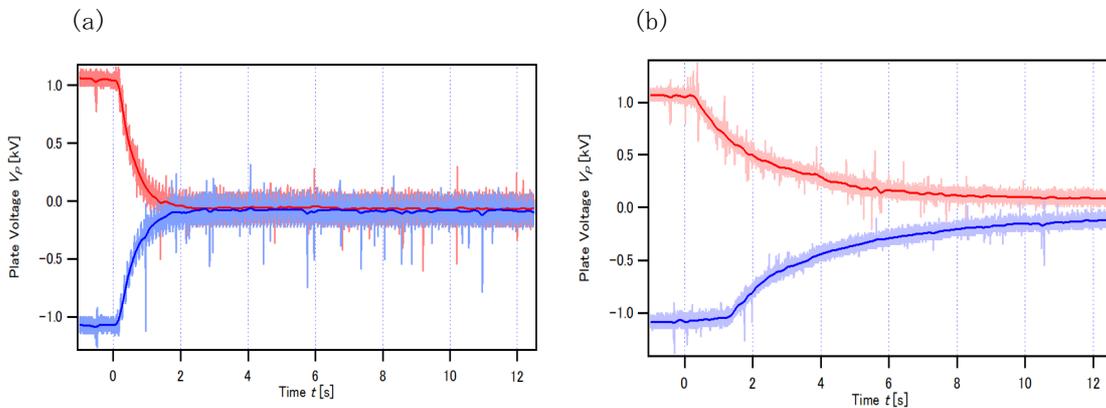


図6 N₂-CF₃I (0.5%) 混合ガス中の除電カーブ：(a) 電源周波数 10 Hz、(b) 200 Hz

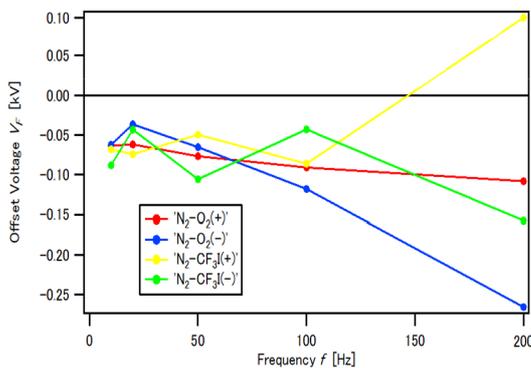


図7 オフセット電圧の電源周波数依存性

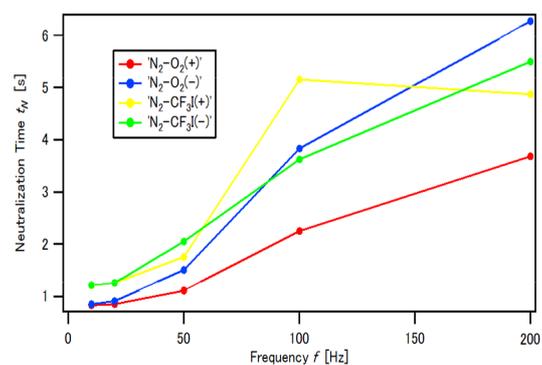


図8 除電時間の電源周波数依存性

(2) コロナ放電で生成される正負イオン種の質量分析による調査
 窒素由来の正イオンの生成反応は、(a) $N_2 + e^- \rightarrow N_2^+ + 2e^-$ および (b) $N_2 + e^- \rightarrow N^+ + N + 2e^-$ (解離イオン化) の2種類である。(a)の断面積は電子エネルギー100 eVで最大値 $2.5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ を持ち[6]、(b)の解離イオン化断面積は(a)の1/4程度である[7]。よって、正イオンは N_2^+ イオンが支配的で正キャリアの平均質量は 24.5u となる。一方、 CF_3I 由来の負イオンについては、実験[3]から解離性電子付着 (c) $CF_3I + e^- \rightarrow CF_3 + I^-$ で生成される I^- イオンが支配的で、その断面積は電子エネルギー10 meVにて $5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ に達する[8]。よって正キャリアの平均質量は 127u となる。よって、 N_2 - CF_3I 混合ガスでは、正キャリアの移動度が負キャリアより大きいので除電後のオフセット電圧が正に傾き易い(図4)。ちなみに N_2 - O_2 混合ガスの支配的な負イオンは O^- (14u) なのでオフセット電圧は負になる。

(3) CF_3I 由来のイオン種、分子種の付着・蓄積による有機材料表面物性への影響の初期調査
 有機EL材料としてアントラセン結晶を基板に真空蒸着しACイオナイザのイオン流に長期暴露する試験を計画したが、良質なアントラセン薄膜の形成に至らず暴露試験が実施できていない。

(4) プラズマジェットによる真空中の静電気除電(追補)[9]
 空気中の酸素は有機材料を劣化させるため、空気以外の非反応性の除電ガスを開発することが本科研費研究の課題であった。一方で、有機エレクトロニクスや高機能バリアフィルムの製造は真空中でも行われる。真空中の静電気除電が製造現場の課題になっている。そこで、当初計画には含まれないが、プラズマジェットによる真空除電を考案し原理検証実験を実施した。接地された真空容器内の電位 V_0 に帯電した基材にプラズマジェットを照射すると、プラズマは短時間で拡がり(粒子が無衝突のため)容器壁と基材間を一様に満たす。基材上の電荷はプラズマを介して真空容器に流出する、すなわち真空除電である。プラズマが導体の役割を持つ。電流 $I(t)$ と基材の電位 $V(t)$ との関係は容器の内面積 S_w と基材の表面積 S_T を2つの電極とする非対称ダブルプローブでモデル化できることに注目した。その微分方程式は以下の通り：

$$C \frac{dV}{dt} + S_w S_T J_{is} \frac{e^{eV/kT} - 1}{S_w + S_T e^{eV/kT}}$$

上式の厳密解を得ることは可能であるが、より見通しの良い近似解は、

$$\hat{t} = \hat{S}_T + \hat{S}_w \hat{V} - (1/\hat{a}) \ln(e^{\hat{a}\hat{V}} - 1).$$

$\hat{t} \equiv t(S_w S_T J_{is}) / ((S_w + S_T) C V_0)$, $\hat{S}_w \equiv S_w / (S_w + S_T)$, $\hat{S}_T \equiv S_T / (S_w + S_T)$, $\hat{V} \equiv V / V_0$, $\hat{a} \equiv eV_0 / (kT_e)$ である。この近似解を図9に示す。基材の電位は時間とともに直線的に減少し、短時間の内に0 Vまで除電される。除電時間は理論的には $1 \mu\text{s}$ 以下になる。除電時間が圧倒的に短い理由は、大気圧と異なり真空中ではキャリアの散乱がほとんど無いので、キャリア移動度、除電電流が圧倒的に大きいためである。正帯電と負帯電で除電時間に大きな違いがあるのは、キャリアが正イオンと軽い電子から成るためである。大気圧下でのイオナイザ除電とは異なり、真空中のプラズマ除電では、イオンバランスとオフセット電圧が無関係である。なお原理検証実験を行ったところ、モデルと一致する結果が得られた。

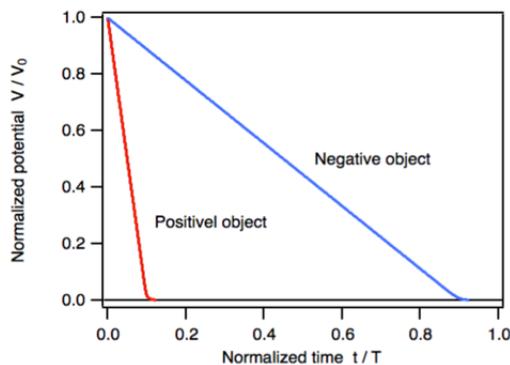


図9 真空中プラズマ除電の除電カーブ (モデル計算より)

<引用文献>

- [1] M. K. M. Jamil, S. Ohtsuka, M. Hikita, H. Saitoh, J. Electrostat. 69, 611-617 (2011)
- [2] 熊田亜希子、今井克樹、松岡成居、日高邦彦、IEEJ Trans. FM, 134, 635-641 (2014)
- [3] T. Hayashi, Y. Morikawa, K. Suu, M. Ishikawa, J. Vac. Sci. Technol. B 26, 1775-1781 (2008)
- [4] L. G. Cristophorou, J. K. Olthoff, J. Phys. Chem. Ref. Data, 29, 553-569 (2000)
- [5] T. D. Märk, K. Leiter, W. Ritter, A. Stamatovic, Phys. Rev. Lett. 44, 2559-2562 (1985)
- [6] W. Hwang, Y-K. Kim, M. E. Rudd, J. Chem. Phys. 104, 2956-2966 (1996)
- [7] D. Rapp, Englander-Golden, J. Chem. Phys. 43, 1464 (1965)
- [8] M. W. Ruf, M. Braun, S. Marienfeld, J. Phys. Conf. Ser. 88, 012013 (2007)
- [9] T. Ikehata, Vacuum, 166, 184-190 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 池畑隆	4. 巻 43
2. 論文標題 真空中におけるプラズマによる除電	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 67-72
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11501/3215600	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Ikehata	4. 巻 166
2. 論文標題 Static Elimination in Vacuum by Plasma Jet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 184-190
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Okano, T. i Ikehata, T. i Terashige	4. 巻 12
2. 論文標題 Effects of Operating Frequency on Electric Field and Neutralizing Current Density of a Corona Discharge Air Ionizer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 120-124
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Ikehata, D. Nemoto, W. He, T. Matsuo, N.Y. Sato, K. Okano	4. 巻 53
2. 論文標題 Static Elimination in Vacuum	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transaction on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 3989-3994
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIA.2017.2691313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Nemoto, W. Hw, T. Matsuo, N.Y. Sato, T. Ikehata, K. Okano	4. 巻 52
2. 論文標題 Static Elimination Performance of a Corona Ionizer in Nitrogen-Based Electronegative Gases	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 4345-4350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2016.2582120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Nemoto, Y. Kristanto, W. He, T. Matsuo, N.Y. Sato, K. Okano, T. Ikehata	4. 巻 136
2. 論文標題 Electrostatic Neutralization Characteristics of an AC-Corona-Discharge-Type Ionizer in Mixed N ₂ -O ₂ , N ₂ -SF ₆ Atmosphere	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 33 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.136.33	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Sato, T. Ikehata, T. Terashige, K. Okano	4. 巻 11
2. 論文標題 Basic Characteristics of Self-Control Corona Discharge Air Ionizer	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 S19 ~ S23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松尾武、根本大輔、佐藤直幸、池畑隆	4. 巻 40
2. 論文標題 有機エレクトロニクスデバイス製造工程に向けた ACコロナ放電型イオナイザの減圧下での除電特性	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 289 ~ 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Okano, T. Ikehatai, S. Suzuki, T. Terashige	4. 巻 14
2. 論文標題 A Simulation on Neutralization Performance of a Corona Discharge Air Ionizer by Using an Equivalent Circuit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1732 ~ 1738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22998	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Okano, T. Ikehatai, T. Terashige	4. 巻 13
2. 論文標題 An Equivalent Circuit Simulation of an AC Corona Discharge Air Ionizer - Frequency Dependence of Neutralization Performance -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 14 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 池畑隆、包睿達、佐藤直幸
2. 発表標題 真空中のプラズマ除電のモデル
3. 学会等名 静電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峯村和樹、最上智史、野村信雄、池畑隆
2. 発表標題 高速バルブを用いたプラズマ放電式除電器の開発
3. 学会等名 静電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池畑隆、小崎匡史、岩田浩輔、佐藤直幸
2. 発表標題 スパッタ成膜におけるターゲット損耗リアルタイムモニタリング法の提案
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小崎匡史,池畑 隆,佐藤直幸,岩田浩輔
2. 発表標題 レーザーイオン化質量分析による環境中微量物質のリアルタイム分析
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 南 亮輔,梨岡岳斗,春山敦史,池畑 隆,佐藤直幸,鶴殿治彦
2. 発表標題 マグネシウム誘起結晶化(Mg-MIC)による多結晶シリコン薄膜の低温合成 #2
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 包睿達、佐藤直幸、池畑隆
2. 発表標題 真空中のプラズマ除電
3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池畑隆、包睿達、佐藤直幸
2. 発表標題 真空中の静電気除去に関する検討
3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 包睿達、木島智貴、佐藤直幸、池畑 隆
2. 発表標題 真空中のプラズマ除電に関する研究
3. 学会等名 2018年度静電気学会春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松尾武、須藤仁、佐藤直幸、池畑隆
2. 発表標題 真空中での除電
3. 学会等名 第24回 電気学会東京支部茨城支所研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 包 睿達、池畑隆、佐藤直幸
2. 発表標題 減圧されたN ₂ -O ₂ 混合ガス中のACイオナイザ静電気除電特性
3. 学会等名 第24回 電気学会東京支部茨城支所研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池畑隆、包睿達、最上智史、峯村和樹、野村信雄
2. 発表標題 自己放電式プラズマによる真空除電
3. 学会等名 静電気学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 帯電物体の位置決め方法と除電装置	発明者 池畑隆、野村信雄、 峯村和樹、最上智史	権利者 茨城大学、春日 電機株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-002302	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 除電装置	発明者 池畑隆、野村信雄	権利者 茨城大学、春日 電機株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-185417	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考