

論文内容要旨 (和文)

平成 21 年度入学 博士後期課程

専攻名 システム情報工学専攻

氏 名 深田 佳成



論文題目 ブロータイプイオナイザのイオン搬送・除電特性に関する研究

静電気対策は半導体製造装置、ハードディスクドライブや液晶ディスプレイの製造工程などの電子産業において重要なことは良く知られている。製造工程で発生する静電気の除去に用いるイオナイザは、コロナ放電でイオンを発生し、空気流によって目的対象物まで搬送するタイプが一般的である。コロナ放電によるイオン発生は大きく直流方式と交流方式に大別できる。直流方式は電極が対で必要であるが、空間電荷を広い範囲に分布できる。交流方式は1つの電極で正・負イオンを交互に発生でき小型化が可能である。イオナイザは目的によってイオン発生方式を使い分けられており、高周波交流高電圧を用いたイオナイザは除電性能が良いため広く用いられている。イオナイザの主たる評価測定器であるチャージドプレートモニタ(CPM)では、交流方式のイオナイザの性能を正確に評価できない。それは電源電圧の誘導電流の影響を受けることや、時間応答性が交流方式の周波数に追従できないためである。また、コロナ放電によるイオンの生成特性やイオンの目的対象物までの搬送特性には未だ明らかにされていないところが多い。

本研究では圧縮空気を用いたブロータイプイオナイザを研究対象とし、(1)イオナイザにおけるイオン発生過程、(2)ノズル内のイオン搬送過程、(3)大気中に吹出されたイオンの搬送過程、(4)対象物体の除電過程の4過程に分け、それぞれの過程について詳細な研究を行った。

イオン発生過程の研究では、放電電流で直流・交流コロナ放電によるイオン発生特性を評価した。針-平板電極系と針-円筒ノズル電極系での放電の特性を評価し、正・負のコロナ放電の特性や電極系での放電特性などを比較するとともに、エア流れがある場合のイオン発生特性の変化を明らかにした。

ノズル内イオン搬送過程は、イオナイザのノズルにファラデーケージを直接接続し、搬送されるすべてのイオンがファラデーケージ内に流れ込む構造の装置を試作し、搬送イオン量を測定して評価した。また、ノズルとファラデーケージとの間の距離を長さの異なる金属パイプを介して変化させた。結果より、交流コロナ放電方式では閾電圧を超えるとイオンが発生し、イオン濃度分布はノズル内での搬送距離に対し、双曲線緩和法則に一致して減衰することを明らかにした。また、イオンがノズル内を搬送される際は拡散しながら搬送しており、それはイオン同士の反発力が要因であると特定した。イオン発生特性と比較すると、搬送されるイオン量は、生成イオン量の数%程度でしかない。また、交流コロナ放電では双曲線緩和法則の特性上、単位時間あたりのイオンの発生量はイオン搬送量にはあまり影響がないことが分かり、1周期中の印加電圧が放電開始・終了電圧以上でコロナ放電が起きている期間(イオン発生期間)の長さが重要であることが明らかになった。

大気に吹き出されたイオンの搬送特性は、エア風速分布とイオン搬送分布を測定し規格化することで評価した。ブロータイプイオナイザではイオン搬送はエア流れに大きく依存していた。エア流れは一般的な噴流流れと一致し、ノズル吹き出し部ではポテンシャルコアが形成され、ノズルから離れるに従って十分発達流れに至った。エア流れの特性やノズル内のデザインからノズル内を流れるエア流

れが乱流流れであることも確認した。また、イオンはエア流れよりも拡散していることが明らかになった。これはイオン同士や周囲に形成された電界の影響による力であると考えられた。

帯電対象物の除電特性は、金属や各種絶縁物の平板を帯電させ、その除電特性を求めることで評価した。基本構成はCPMと同様だが、金属平板では静電容量を可変できる構造にし、絶縁物平板では表面電位計を4つ用いて位置による電位の時間変化の違いを評価できるようにした。金属平板では平板の形成する静電容量が除電に大きく影響することを確認し、金属平板と絶縁物平板を比較すると、金属平板の方が除電しやすいことを明らかにした。絶縁物平板では平板上の位置によって電位変動が大きく異なる。ブロータイプイオナイザの場合は、エアの衝突部では急激な電位減衰が見られ、衝突部から離れるに連れて緩やかな電位減衰が見られた。ただし、最終的に0V付近に到達するまでの時間は等しいことが明らかになった。また、絶縁物平板の方が金属平板より電位変動が大きいことが確認できた。これは絶縁物平板を静電容量の並列接続等価回路で考えると、小さな静電容量が並列接続された分布定数回路を形成するためエアの衝突部から離れるに従い電位減衰の開始が遅れたと考えられる。ただし、最終的に0V付近に到達する時間が等しい原因の解明には至らなかった。また、同等価回路では静電容量が小さいので各所の電位変動が大きく現れると考えられる。

以上より、ブロータイプイオナイザでは除電速度を上げるためにはイオン発生期間の増加、エア流速の増加、電源周波数の増加が有効である事が分かった。ただし、イオナイザのノズルから吹き出されたイオン搬送量と除電速度の関係に電源周波数による影響がなかったことから、これはイオン発生期間、つまりイオン群の長さが変化していることによると考えられるが原因の解明には至らなかった。また、帯電対象物が絶縁物の場合は金属の場合と除電特性が明らかに異なり、実際のイオナイザの評価に用いられているCPMによる評価では実際のワークの除電特性は予測できないことを明らかにした。

- (注) ① タイプ、ワープロ等を用いてください。10pt 2,000字程度(2頁以内)とします。
② 論文題目が英文の場合は、題目の下に和訳を()を付して併記してください。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成24年8月10日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 八 塚 京 子

副査 東 山 禎 夫

副査 杉 本 俊 之

副査 鹿 野 一 郎



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学 専攻
氏 名 深 田 佳 成

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

..... プロタイプイオナイザのイオン搬送・除電特性に関する研究

3. 審査年月日

論文審査 平成 24年 7月 31日 ~ 平成 24年 8月 9日
論文公聴会 平成 24年 8月 9日
場所 工学部4号館1.1.3.....
最終試験 平成 24年 8月 9日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合 格

(2) 最終試験 合 格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

専攻名	システム情報工学 専攻	氏名	深田 佳成
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は静電気除去に用いるイオナイザのうち、圧縮空気を用いた交流方式のブロータイプイオナイザの基礎を、(1)イオナイザにおけるイオン発生過程、(2)ノズル内のイオン搬送過程、(3)大気中に吹出されたイオンの搬送過程、(4)対象物体の除電過程の4過程に分けて詳細に研究し、論文にまとめたものである。本論文の構成は以下の8章からなる。</p> <p>第1章では本研究の目的と、この研究を行うに至った静電気問題の背景と先行文献の紹介、イオナイザの主たる評価測定器のチャージドプレートモニタ(CPM)で交流方式のイオナイザを評価する際の問題点を述べている。第2章ではコロナ放電の基礎とイオナイザの原理、従来のイオナイザの評価方法について述べている。</p> <p>第3章でイオン発生特性を評価し、エア流によるコロナ放電特性の変化を明らかにし、交流コロナ放電では閾電圧を超えると一定量のイオンが発生し、1周期中のイオン発生期間の長さで搬送量を制御できる事を述べている。</p> <p>第4章では、試作ファラデーケージとイオナイザを繋ぐパイプ長を変えてノズル内イオン搬送過程を検討し、搬送イオン量は生成イオン量の数%程度でしかない事、イオン濃度分布はノズル内での搬送距離に対し双曲線緩和法則に従って減衰する事を示している。</p> <p>第5章では、大気中のイオンの搬送特性を検討し、規格化されたエア風速分布とイオン搬送分布、及びシミュレーション結果から、エア流れは一般的な噴流流れで、乱流流れである事を確認している。イオン搬送はエア流れに大きく依存し、イオンはエア流れよりも拡散した。</p> <p>第6章で、帯電させた金属や各種絶縁物平板の除電特性を評価している。金属平板では、CPMと同様の構造で静電容量を可変にし、静電容量が除電に大きく影響する事を確認した。絶縁物平板では4つの表面電位計で位置による電位の時間変化の違いから、金属平板より除電され難い結果を得、衝突部から遠いほど緩やかな電位減衰となるものの、最終的に除電されるまでの時間は場所によらない。帯電物体表面と接地面間での電荷減衰を等価回路により考察している。</p> <p>第7章では以上の実験結果から、イオン搬送効率、ノズル内搬送及び大気吹き出しイオン搬送効率、電源周波数と除電特性の3項目に関して詳細に考察している。</p> <p>第8章に本論文の結論をまとめ、ブロータイプイオナイザの除電速度を上げるにはイオン発生期間の増加、エア流速の増加、電源周波数の増加が有効である事を示している。また、絶縁体の除電は金属の場合と異なり、CPMによる評価では実際のワークの除電は予測できない事を明確にしている。</p>			
<p>本論文はイオナイザによる除電機構の全体像を4つの部分に分けて、基礎から詳細・着実に研究を進め、実用に役立つ多くの知見を得るとともに、新たな課題を発見している。</p>			
<p>この学位論文の内容に関して、以下の論文および国際会議予稿が印刷・公表されている。</p>			
<p>(1) 深田佳成, 小根澤和義, 小辻一雄, 八塚京子, 双曲線緩和法則によるイオナイザからのパイプ搬送イオン量の推定, 静電気学会誌 (掲載決定)</p> <p>(2) Yoshinari Fukada, Kazuyoshi Onezawa, Kazuo Kotsuji, Ichiro Kano, Kyoko Yatsuzuka, A Study on the Transferred Current Distribution onto the Object by a Blow-type Ionizer, ISNPEDADM2, 2011, Noumea, New Caledonia</p>			
<p>以上の研究成果は、工学的に優れた知見を多く含んでおり、よって本論文を合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>論文審査員により、論文の審査および質疑応答を行なった結果、博士(工学)にふさわしい、工学に対する見識、専門知識、研究問題発見能力、問題解決能力、発表能力ともに十分と判断されたので、最終試験に合格と判定した。</p>			