J. Inst. Electrostat. Jpn.

技術レポート

今 園 浩 之^{*}, 竹 内 学^{**}, 岡 野 一 雄^{*,1} (2006年7月7日受付; 2007年4月2日受理)

Contamination Control for Corona Discharge Ionizers

Hiroyuki IMAZONO^{*,1}, Manabu TAKEUCHI^{**} and Kazuo OKANO^{*} (Received July 7, 2006; Accepted April 2, 2007)

A corona discharge air ionizer is one of the most useful devices for controlling electrostatic charges in ULSI manufacturing processes. However, a corona discharge air ionizer generates particles that act as contamination. Particle generation tests were carried out for a silicon emitter and a tungsten emitter in air and nitrogen atmospheres. The number of particles generated from the silicon emitter was 5 times smaller than that generated from the tungsten emitter in each type of atmosphere. The number of particles generated in nitrogen atmospheres was about 10 times lower than that generated in air. The static control system utilizing the dual jet ionizer that creates ions in nitrogen gas were proposed, made and evaluated. The number of particles generated by the static control system was approximately 180 times smaller than that by the conventional air ionizer with a tungsten emitter.

1. はじめに

ディスプレイデバイス, ハードディスクデバイス, ULSI 等 の電子デバイスの製造工程において, 静電気障害は大きな問 題となっている¹⁻²⁾.この対策として,コロナ放電式イオナ イザが広く使用されている.しかし,このイオナイザはクリ ーンルーム内のコンタミネーション源となることがあるため, その低コンタミネーション化が要求されている³⁻⁴⁾.

そこで本報では、イオナイザの低コンタミネーション化を 実現するために、イオナイザ用エミッタ材料⁵⁷、イオナイ ザの構造、およびイオナイザの制御システム化の見地から検 討を行ったので、その結果を報告する.まず、イオナイザ用 エミッタ材料とコンタミネーションとの関係を明らかにした. 次に、デュアルジェットイオナイザを提案し、気体の種類と 噴射量を変化させ、コンタミネーション低減化を検討した ⁸¹¹⁾.さらに、このデュアルジェットイオナイザを使って静電 気制御システムを試作し、コンタミネーションを低減するこ

キーワード:半導体製造,イオナイザ,エミッタ,コンタミ ネーション,静電気制御システム とを検討した.

本報告で扱っているデュアルジェットイオナイザのコンタ ミネーション特性は、使用雰囲気の影響を受け難い構造とな っているが、特性を比較するために使用した従来型イオナイ ザのコンタミネーション特性は、使用環境の影響を受け易い. そこで、本報告では、イオナイザの初期特性だけを検討する ことにした.

2. イオナイザ用エミッタのコンタミネーション特性

エミッタは、棒状のタングステンおよびシリコンを使って 作製した.これらの棒状のタングステンとシリコンの一端を 曲率半径が 0.3 mm となるように研削し、針状のエミッタを 作製した.

図1に示す測定装置を用いて、エミッタからの発塵粒子数 を測定した.この測定において、エミッタへの印加電圧は、 エミッタ電流が0.5 µAとなるように調整した.また、発塵 粒子数は1分間毎に集計し、これらを累積しながら24時間 測定を行った.このような測定は空気雰囲気、窒素雰囲気、 アルゴン雰囲気で行った.なお、本測定で用いたパーティク ルカウンタ (TSI 社製 Model 3025A)の検出限界は、粒径が 0.03 µmの粒子である.また、本実験で使用した窒素ガスお よびアルゴンガスの純度は、99.99%である.

空気雰囲気における累積発塵粒子数と時間との関係を図 2 に示す.この図において,正イオン発生用エミッタと負イオ ン発生用エミッタが発生した粒子数の和,すなわち,24 時間

 ^{*} 職業能力開発総合大学校電気システム工学科(229-1196 神奈川県相模原市橋本台 4-1-1)
Department of Electrical System Engineering, The Polytechnic University, 4-1-1 Hashimotodai, Sagamihara, Kanagawa 229-1196, Japan
** 茨城大学工学部電気電子工学科(316-8511 茨城県日立市中

成沢町 4-12-1) Department of Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki

University, 4-12-1 Nakanarisawa-tyou, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

¹ okano@uitec.ac.jp

の総累積発塵粒子数はタングステンエミッタで 849 個,シリ コンエミッタで 165 個であった.この結果より,シリコンエ ミッタの総累積発塵粒子数はタングステンの約 1/5 である ことがわかる.なお,イオナイザを動作させない状態での24 時間の総累積発塵粒子数は 6 個程度であった.すなわち,発 塵粒子数の測定におけるバックグラウンドは,0.7×10⁴ s⁻¹,程 度であった.

シリコンエミッタを使用し、それぞれの雰囲気中で発塵粒 子数を測定した結果を図 3 に示す. この図において、24 時 間の総累積発塵粒子数は空気雰囲気が 165 個,窒素雰囲気が 15 個、アルゴン雰囲気が 4 個であった.

これらの結果から,エミッタ材料としてはシリコン,動作 雰囲気としては窒素またはアルゴンが望ましいことが明らか になった.



図1 発塵粒子数の測定装置

Fig.1 Schematic setup for measuring particle number.



図 2 空気雰囲気における累積発塵粒子数と時間との関係 Fig.2 Cumulative number of particles generated from emitters as a function of operating time.



図 3 シリコンエミッタの累積発塵粒子数と時間との関係 Fig.3 Cumulative number of particles generated from the silicon emitter as a function of operating time.



図4 デュアルジェットイオナイザのイオン生成部 Fig.4 Structure of ion creator with the dual jet ionizer.

デュアルジェットイオナイザの実用性評価 デュアルジェットイオナイザの試作

パイプ状のシリコンの一端を曲率半径が 0.3 mm となる ように研削し、エミッタから気体を噴射できる構造のジェッ トエミッタを作製した.このエミッタをノズル内に設置し、 エミッタの内部と外部とから窒素やアルゴンを噴射できる構 造のデュアルジェットイオナイザを試作した.このイオナイ ザの構造を図 4 に示す.

3.2 デュアルジェットイオナイザの除電特性

デュアルジェットイオナイザで使用する噴射気体の種類, 内部噴射量,外部噴射量を変化させて除電特性を検討した.

図 5 に示す測定装置を用いて,エミッタへの印加電圧と除 電電流との関係を測定した.エミッタへの印加電圧は 0 ~ ±10 kV の範囲とした.デュアルジェットイオナイザの内部噴 射量と外部噴射量を 1.0 ℓ/min 一定とし,窒素またはアル ゴンを噴射した.なお,測定は,22 ℃,相対湿度 45%,0.3 m/s のダウンフローのクリーンルーム内で行った.

エミッタへの印加電圧と除電電流との関係を図 6 に示す.

この図において,窒素を噴射した場合,除電電流は急激な立 ち上がりを示している.一方,アルゴンを噴射した場合,微 量の除電電流が流れ始めた直後にエミッタと対向電極との間 で火花放電が発生した.そこで,デュアルジェットイオナイ ザの噴射気体としては窒素を使用することにした.除電電流 は窒素噴射量に依存すると考えられるため,噴射量と除電電 流との関係を検討した.まず,内部噴射量および外部噴射量 が 1.0 ℓ/min のときの除電電流の絶対値が 10.0 nA となる ようにエミッタへの印加電圧を決めた.すなわち,エミッタ 電圧は +7.6 kV, -8.5 kV とした.

このエミッタ電圧でイオナイザを動作させた際の噴射量と 除電電流との関係を図 7 に示す.この図において,内部噴射 量または外部噴射量が大きくなるに従って,除電電流は大き くなっていることがわかる.

3.3 デュアルジェットイオナイザの最適噴射量の決定

前述の空気雰囲気中での測定結果で明らかになったように、 窒素雰囲気中に酸素が存在するとエミッタからの発塵粒子数 は著しく多くなる.したがって、デュアルジェットイオナイ ザを動作させる場合、ノズル内が完全に窒素に置換されてい ることが重要になる.ノズル内に酸素が混入していると、イ オンの生成と同時にオゾンも生成する.したがって、噴射し た気体中のオゾン濃度を測定することによって、ノズル内の 窒素置換率の推定が可能になると考えられる.また、ノズル 内の窒素置換率は噴射量に依存すると考えられる.そこで、 図 8 に示す装置を使い、内部噴射量と外部噴射量を変化させ てオゾン濃度を測定した.

これらの測定結果を図 9 に示す. この図において, 内部噴 射量または外部噴射量が大きくなるに従って, オゾン濃度は 低くなっている. デュアルジェットイオナイザを実用化する ためには, 除電電流が大きく, オゾン濃度が低いことが要求



図5 デュアルジェットイオナイザの除電特性の測定装置

Fig.5 Schematic setup for measuring discharge current.



図 6 エミッタへの印加電圧と除電電流との関係 Fig.6 I-V characteristics for the silicon emitter.



図7 噴射量と除電電流との関係

Fig.7 Discharge currents for positive ion creator as a function of inner jet flow rate and outer jet flow rate.



図8 オゾン濃度の測定装置

Fig.8 Schematic setup for measuring ozone density.



図9 噴射量とオゾン濃度との関係 Fig.9 Ozone densities for positive ion creator as a function of inner jet flow rate and outer jet flow rate.

される.本研究では、大気中のオゾン濃度が 0.005 ppm 程度 であることを考慮し、オゾン濃度が 0.005 ppm 以下であれば、 イオナイザにおけるオゾン生成は皆無であると考えた.した がって、オゾン濃度が 0.005 ppm 以下であり、内部噴射量と 外部噴射量との和が最小となる噴射量を最適噴射量とした. この結果、デュアルジェットイオナイザの内部噴射量と外部 噴射量の最適噴射量は、それぞれ 1.0 ℓ/min であることが 明らかになった.

3.4 デュアルジェットイオナイザと従来型イオナイザ との比較

デュアルジェットイオナイザの除電特性とコンタミネーション特性を測定した.ここで、エミッタはシリコンエミッタ とし、窒素は最適噴射量で噴射させた.また、シリコンエミ ッタを使用した従来型イオナイザについても同様測定を行い、 これらの結果を比較、検討した.

エミッタからの発塵粒子数の測定は、図 8 に示したオゾン 濃度の測定と同様の方法で行った. すなわち、図 8 に示した 装置のオゾンモニタをパーティクルカウンタに置き換えて、 イオナイザを設置した容器内の雰囲気をカウンタに吸引し、 発塵粒子数を測定した. このようにして、デュアルジェット イオナイザと従来型イオナイザのそれぞれに対して、正イオ ン発生用エミッタだけを動作させた場合、および負イオン発 生用エミッタだけを動作させた場合について測定を行った. なお、これらの測定においても、発塵粒子数のバックグラウ ンドは、0.7×10⁴ s⁻¹、程度であった.



図10 累積発塵粒子数と時間との関係

Fig.10 Cumulative number of particles generated from the conventional air ionizer and the dual jet ionizer.

これらの測定結果を図 10 に示す. この図から, 正負のエ ミッタからの総累積発塵粒子数は, デュアルジェットイオナ イザに対して 12 個, 従来型イオナイザに対して 83 個であ ることがわかる. ここで, デュアルジェットイオナイザの累 積発塵粒子数は, 正負それぞれのエミッタに対して 7 個 と 5 個であり, バックグラウンドと同程度であったあったこと を考慮すると, デュアルジェットイオナイザの発塵粒子数は, 従来型イオナイザに比べて約 1/7 以下に低減できたことが わかる.

4. 静電気制御システムの実用性評価

4.1 静電気制御システムの試作

一般に DC 型イオナイザは、常に正および負イオンを生成 している. このイオナイザを制御システム化して、正または 負イオンのどちらか一方、すなわち除電に必要な極性のイオ ンだけを生成することにより、エミッタからのコンタミネー ションを著しく低減できると考えられる. そこで、図 11 に 示すような静電気制御システムを試作し、発塵粒子数の低減 を試みた. なお、本実験は、22 ℃、相対湿度 45 %、0.3 m/s の ダウンフローのクリーンルーム内で行った.

4.2 静電気制御システムの除電特性

この静電気制御システムは単極性のイオンだけを生成して いるので、常に被除電物の電位をセンサで測定し、被除電物 の除電が完了した時点でイオンの生成を停止する必要がある. 本研究では、被除電物の電圧が ±30V 以下になった時を除 電完了と定義した.また、除電完了時にイオンの生成を停止 させた場合には、空間に蓄積したイオンによって被除電物の 電圧がオーバーシュートする.そこで、本研究では、被除電



図 11 静電気制御システムの除電特性の測定装置 Fig.11 Schematic setup for measuring static discharge characteristic.

物が一定の電圧に達した時点で、イオンの生成を停止させる 方法を採用した.この電圧を停止電圧 V_{PS} と定義し、この停 止電圧 V_{PS} と被除電物の最終到達電圧との関係を検討した. なお、この停止電圧 V_{PS} はイオナイザ使用環境の風速、エミ ッタから被除電物までの距離等に依存すると考えられる.し たがって、実際のクリーンルームで使用する際には、前述の 風速や距離を変化させる毎に停止電圧 V_{PS} を設定する必要 がある.

チャージプレートモニタの金属プレート (20 pF) を -1100 V で充電し、イオナイザの正イオン生成用エミッタだけを動 作させ、プレート電位と時間との関係を調べた.ここで、停 止電圧 V_{PS} は 0 V、-100 V、-200 V、-300 V、-400 V とした. それぞれの電圧 V_{PS} で停止させた場合の時間とプレート電 位との関係を図 12 に示す.この図において、正イオンだけ を生成し続けた場合、プレート電位は、除電された後の逆帯 電により+600 V 程度に達している.一方、制御した場合の最 終到達電位は ±100 V 付近に収束している.特に、停止電圧 を +200 V または +300 V にした場合、最終到達電位は 0 V 付近に収束していることがわかる.

本報では、プレート電位が ±1000 V から ±30 V 以内にな るまでの時間を応答時間と定義した.そこで、図 12 からプ レート電位が ±30 V 以内になるまでの時間を求め、この時間 と停止電圧との関係を求めた.この結果を図 13 に示す.こ の図において、応答時間が 60 s を超えた場合には、すべて 60 s の点にプロットした.正イオンによる除電の場合、停止 電圧が -130 V から -200 V の範囲で応答時間が短くなって いることがわかる.一方、負イオンによる除電の場合、停止 電圧が +50 V から +80 V の範囲で応答時間が短くなってい ることがわかる.この結果から、静電気制御システムの最適 停止電圧は、正イオンの生成に対して -140 V 付近、負イオ ンの生成に対して +60 V 付近であることがわかる.



図12 プレート電位と除電時間との関係

Fig.12 Plate voltage as a function of eliminating time.



図 13 応答時間と静電気制御システムの停止電圧との関係 Fig.13 Relation between response time and stop voltage.



図 14 静電気制御システムとデュアルジェットイオナイザ のプレート電位と除電時間との関係

Fig.14 Plate voltage as a function of eliminating time for the static control system and the dual jet ionizer.

このような条件で動作させた際の静電気制御システムとデ ュアルジェットイオナイザの除電特性を図 14 に示す.この 図において、制御システムの応答時間は、すなわちプレート 電位が -1000 V から -30 V になるまでの時間は、4.5 s、 +1000 V から +30 V になるまでの時間は、4.7 s である.

一方、デュアルジェットイオナイザを用いて、正負のイオンを同時に生成した場合の応答時間、すなわちプレート電位が -1000 V から -30 V になるまでの時間は、12.3 s、+1000 V から +30 V になるまでの時間は、12.1 s である.

4.3 静電気制御システムとデュアルジェットイオナイ ザとのコンタミネーション特性の比較

静電気制御システムとデュアルジェットイオナイザとのコ ンタミネーション特性の比較は、それぞれのイオナイザが単 位電気量を除電する際に発塵する粒子数で行った.

静電気制御システムとデュアルジェットイオナイザの発塵 粒子数の比較を試みたが、今回の測定結果では、両者の発塵 粒子数は、バックグラウンドと同程度(0.7×10⁴ s⁻¹)であり、 明確な有意差は認められなかった.そこで、静電気制御シス テムでは動作時に正負どちらか一方のエミッタが動作してい るが、デュアルジェットイオナイザでは常に両方のエミッタ が動作していることを考慮し、デュアルジェットイオナイザ の発塵粒子数は静電気制御システムの2倍であるとして検 討を進めた.すなわち、静電気制御システムの単位時間当り の発塵粒子数は 0.7×10⁴ s⁻¹、デュアルジェットイオナイザの 単位時間当りの発塵粒子数は 1.4×10⁴ s⁻¹ として検討を行っ た.

静電気制御システムの応答時間は正イオン生成用エミッタ では 4.5 s, 負イオン生成用エミッタでは 4.7 s であった.し たがって,実効的な除電電流は +4.3 nA, -4.1 nA となり,そ の絶対値の平均は 4.2 nA となる.この除電電流と単位時間 当りの発塵粒子数との比から単位電気量を除電する際に発塵 する粒子数をもとめると,1.7×10⁴ となる.また,デュアル ジェットイオナイザが単位電気量を除電する際に発生する発 塵粒子数を同様の方法で求めると,その値は 9.0×10⁴ となる. ここで,静電気制御システムとデュアルジェットイオナイザ とが単位電気量を除電する際に発生する発塵粒子数の比をと ると、1/5.3 となる.すなわち、単位電気量を除電する際に発 生する発塵粒子数は、静電気制御システムを使用することに より、デュアルジェットイオナイザの約 1/5 に低減できるこ とがわかる.

5. まとめ

コロナ放電式イオナイザの低コンタミネーション化につい て検討を行った.この結果,従来型イオナイザが発生するコ ンタミネーションは,エミッタ材料をシリコンにすることで 1/5,構造をデュアルジェットイオナイザにすることで 1/7, イオナイザを制御システム化することで 1/5 程度に低減で きることが明らかになった.すなわち,デュアルジェットイ オナイザを用いた静電気制御システムのコンタミネーション は,従来型イオナイザを空気雰囲気中で使用した場合の 1/180 になることが明らかになった.

参考文献

- 1) K. D. Murray, V. P. Gross and P. C. D. Hobbs: *Proceedings of the 1990 EOS/ESD Symposium*, p.36 (1990)
- 2) T.Murakami, H.Togari, and A.Steinman M.S.E.E.: Proceedings of the 1996 EOS/ESD Symposium, p.365 (1996)
- K. Okano and A. Posadas: Proceedings of the 1997 EOS/ESD Symposium, p.287 (1997)
- C. G. Noll and P. A. Lawless: Proceedings of the 1997 EOS/ESD Symposium, p.195 (1997)
- K.Okano and S.Kaminouchi: IEICE Trans. On Electronics, E76-C (1993) 1670
- S. Sakata, H. Inaba and T. Kushima: 1992 PROCEEDINGS -Institute of Environmental Sciences, p.112 (1992)
- 7) S. Sakata and T. Okada: J. Aerosol Sci., 25 (1994) 879
- H. Imazono, M. Takeuchi, T. Terashige, S. Kusakari, N. Tsuruta and K. Okano: 2003 IEEE Conference Proceedings of International Symposium on Semiconductor Manufacturing, p.483 (2003)
- H. Imazono, T. Terashige and K. Okano: IEEE Trans. Semiconduct. Manufact., 15 (2002) 189
- 10) 今園浩之, 岡野一雄:静電気学会誌, 26 (2002) 40
- H.Imazono, M. Takeuchi and K.Okano: J. Inst. Electrostat. Jpn., 29 (2005) 68