真空静電集塵装置*

佐伯 宏**・池田 順治**・高津 勲**・石丸 肇***

(受付1988年11月29日, 掲載決定1989年2月4日)

Electrostatic Dust Collector for Use in Vacuum Systems

Hiroshi SAEKI**, Junji IKEDA**, Isao KOHZU**
and Hajime ISHIMARU***

**(Matsushita Electric Industrial Co. Ltd., Kadoma, Osaka)

*** (National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba, Ibaraki)

(Received November 4, 1988, Accepted February 4, 1989)

1. はじめに

クリーンな環境は半導体等の電子部品の製造上ますます重要になっている。その歩留まりは製造過程に混入するダストに大きく影響される。また、加速器や核融合装置の性能もダストにより影響される。通常、真空チャンバーのダストからの汚染防止対策は主として外界からのダスト侵入防止を目指すものであった。しかし前記の方法では真空チャンバー内で発生したダストに対しては有効ではない。

今回、真空チャンバー内で発生したダストを真空中で積極的に取り去る集塵方法を考えたので提案したい。ところで、浮遊物質にイオンビームや電子ビームを照射して電荷を与え捕獲する研究は以前から行われていた^{1,2)}。新たに開発した集塵装置は、真空中で発生したダストを対象に電子ビームと静電気力を用いて捕獲するものである。

2. 構成と作用

Fig. 1は新たに開発した真空静電集塵装置の構成を示したものである。

誘電体を集塵面とする集塵電極、集塵電極に直流電圧を加える高圧直流電源、ダストに電荷を与えるための電子銃から構成されている。

Fig. 1 Principle of operation for the newly developed electrostatic dust collector.

2.1 導電性ダスト

まず、高圧直流電源により集塵電極へ正負いずれかの電圧を印加する。もし、集塵面が導電性物質で構成されている場合は導電性物質のダストを集塵面に捕獲したとしても集塵電極と同一ポテンシャルになるため逆にはじかれ、捕獲維持ができない。そのため誘電体で集塵面を構成した。電圧を印加した集塵電極を導電性ダストへ接近させると静電誘導によりダストが集塵電極の電位と逆電位をもち、そのダストは集塵電極へ静電気力のみで捕獲される。ダストが半導体物質および絶縁物質の場合は静電誘導でのチャージアップは難しいと考え、その手段のひとつとして電子銃を使用した。

2.2 半導体および絶縁物質でできたダスト

この場合、まず、電子銃を用いて電子シャワーをダスト上にふりかける。その後、高圧直流電源により集塵電極に電圧を印加してダストに接近させダストを捕獲す

* 昭和63年11月9日 第29回真空に関する連合講演会で講演 (9Bp-6)

** 松下電器産業(株)生産技術研究所 (大阪府門真市松葉町2-7)

*** 高エネルギー物理学研究所 (茨城県つくば市大穂1-1)

る。以上が真空静電集塵装置の構成と作用である。

3. 実験装置

Fig. 2 は今回試作した実験装置の概略図である。真空チャンバーの材料は A1050-H24 のアルミニウム合金であり、内部機器はほとんどが A2219-T87 のアルミニウム合金である。集塵電極は集塵面をエポキシガラス、反対面に薄い Cu 板をはりあわせた構造であり、寸法は $15\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ である。集塵電極はチャンバーと薄いセラミックスシートにより電気的に絶縁されており、高圧直流電源 (Max. $\pm 3\text{ kV}$) に接続されている。また、上記電極はマニピュレータ 1 (ストローク X 軸 $\pm 10\text{ mm}$, Y 軸 $\pm 10\text{ mm}$, Z 軸 70 mm) の先端に固定されている。

評価用のダストをのせる基板 ($20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$) をセットする基板ホルダはマニピュレータ 2 (ストローク X 軸 $\pm 10\text{ mm}$, Y 軸 $\pm 10\text{ mm}$, Z 軸 170 mm , 回転角 θ 軸 ± 180 度) の先端に固定されている。基板ホルダはアース电位にある。

電子銃はユニポテンシャルフォーカスタイプで、電子ビームの軌道修正ができるよう約 10 mm 程度動くペーを介してチャンバーに取り付けられている。予備実験の結果、電子ビームの電流値は約 $14\text{ }\mu\text{A}$ で、その時の加速電圧は 1 kV であった。また、基板上でのビーム直径は蛍光塗料を用いた測定では約 10 mm であった。

チャンバーには 4 個の光学窓があり、1 個は集塵状態を観察記録するためのビデオカメラ付の光学顕微鏡用に用いた。他の 3 個は光を導入するために用いた。

排気系は磁気軸受タイプのターボ分子ポンプ (排気速度 250 l/s , TMP) とロータリーポンプ (RP) で構成されている。チャンバー内のダストの飛散を防ぐために排気時には L 型バルブ (LV) をゆっくり開けた。また、同様にチャンバーを大気解放する場合はバリアブルリークバルブ (VLV) を用いてゆっくりと乾燥窒素を導入した。

4. 実験と結果

4.1 実験方法

実験は次のように行った。評価用のダストを基板 (SUS, Al, Cu, Si ウエハ, 石英) 上にのせる。ダストの寸法は材料製作上 $60\text{ }\mu\text{m} \pm 10\text{ }\mu\text{m}$ である。基板を基板ホルダ上にのせ、ゆっくりと真空引を行い、真空度が 10^{-6} – 10^{-7} Torr 台に到達後、実験を開始した。

4.1.1 静電気力のみ

電子ビームの効果を確認するために、まず、静電気力のみを用いて各種ダストおよび基板について実験を行った。

高圧直流電源を使用して集塵電極に電圧を印加し、電極とダストの距離を変化させ集塵状態を観察記録した。もし、ダストを捕獲できれば、その条件下での実験は終了とし、もしダストが捕獲できなければ次のステップへと実験をすすめた。

4.1.2 電子ビームと静電気力の併用

まず、電子ビームでダストをチャージアップさせる。電子ビームを停止後、電圧を印加した集塵電極をダストに接近させその捕獲状態を観察記録する。

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus.

Table 1 Dust collection from stainless steel substrate, Al substrate, Cu substrate, silicon wafers, and quartz substrates

Materials	Collecting method (a)	Distance between the electrode and the substrate (mm)	Voltage applied (kV)	Evaluation (b)
Al	1	4-6	±3	G
Cu	1	3-6	±3	G
Fe	1	4-6	±3	G
Cr	1	3-6	±3	G
Ni	1	3-6	±3	G
Ti	1	4-6	±3	G
Stainless steel	1	3-6	±3	G
Al-alloy	1	4-6	±3	G
Si	2	4-6	+3	G
GaAs	2	2-4	+3	G
SiO ₂	2	2-3	+3	G
Teflon	2	2-4	+3	G
Polyimide	2	3-5	+3	G
Photo resist	2	2-6	+3	G
Viton	2	2-3	+3	I
Ceramic (Zr series)	2	2-3	+3	G

(a) Collecting method

1: Using the electrostatic force only.

2: Using both the electron beam and the electrostatic force.

(b) Evaluation

G: Good, I: Intermediate, B: Bad

4.2 結果

Table 1 は実験結果である。これには、ダスト材料、集塵方法、印加電圧、電極距離、そして評価を記した。評価については、どれだけの量のダストが捕獲できたか、視覚観察により判断した。Good は90%以上捕獲、Intermediate は10-90%、Bad は10%以下とした。

結果として、金属性ダストに関しては静電気力のみではほぼ90%以上捕獲できることが判明した。また、極性に上記の結果より実験した範囲内の物質が混合状態であるとき、下地の状態に関係なく電子ビームおよび高圧直流電源の電位を正とした静電気力の併用でダストを捕獲できることが確認できた。

5. 考 察

今回の静電集塵装置は基礎的なもので、またダストとしての材料や周囲条件も限定したものとなっているため今後さらに詳細な検討が必要である。ただし、一般的にいえることであるが、高い誘電率の薄いフィルム状のものを集塵電極面とした方がよいと考える。

また、実用的な問題として、ダストの回収方法、電極形状等についても検討したい。ダストの回収に関してはテープ状のものを順次巻きとるようなカセットテープタ

イプのものも考えられる。また、チャージアップの方法について、電子ビームにより集塵対象物が破壊する場合は、熱電子や光電効果を用いた方法も考えられる。

6. ま と め

(1) 電子ビームと静電気力を併用した新しい集塵装置を開発し基礎実験を行った。その結果、限定された条件下ではあるが、ほぼ捕獲できることが確認された。

(2) 今後、ダストを連続的に捕獲回収するような実用的な集塵装置の開発を行っていきたい。

謝辞

本研究に対し多くの助言をしていただいた高エネルギー物理学研究所百瀬助教授、金沢助手にお礼申し上げます。また、多大な御援助、御協力いただいた白銅(株)、ムサシノエンジニアリングの各社に感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) R. E. Sproull, Modern Physics (Wiley, 1952) p. 385.
- 2) A. D. Moore, Electrostatic and its application, (Wiley, 1973) p. 77.