

クリーンルームにおける
イオナイザーを用いた静電気対策技術に関する研究

2014年6月

博士（工学）

佐藤 朋且

豊橋技術科学大学

要 旨

近年の半導体や液晶製造などの電子デバイス産業では、コンタミネーションコントロールが重要な基盤技術となっており、クリーンルームに代表されるクリーン化の技術が大きな役割を担っている。

これらのクリーンルームでは、微粒子やガスなどの清浄度レベルだけでなく、温湿度や気流性状、静電気や振動といったあらゆる要素を厳しく管理しなければならない。特に静電気は、電子デバイス製造環境の相対湿度が静電気の発生し易い40%~45%程度であること、デバイス自体を含め多種の絶縁物が接触・摩擦・剥離を繰り返して製造されることから、常に広範囲で発生している。さらに静電気は、静電気力による浮遊微粒子の付着（ESA）や静電気放電（ESD）によるデバイス破壊など、製品の歩留まりに大きく影響する生産障害を引き起こす。静電気力が微粒子沈着を助長する現象や、近年のデバイスの高集積度化に伴う静電気耐性の低下については多数の報告があり、デバイスへの静電気の影響は深刻化している。そのため、クリーンルームにおける静電気対策は、コンタミネーションコントロールの観点からもきわめて重要なファクターであり、電子デバイス産業にとって必要不可欠な技術であるといえる。

クリーンルームにおける静電気対策は、接地や加湿による静電荷の緩和と、除電装置（イオナイザー）による静電荷の中和（除電）の2つの方法に大別されるが、接地によるデバイス汚染や水分の影響などの懸念から、電子デバイス製造では後者が有効である。なかでも、取り扱いの容易さから電圧印加型のコロナ放電式イオナイザーが広く用いられており、クリーンルーム用のイオナイザーとして今日主流である。しかし、従来のコロナ放電式イオナイザーは、放電電極への微粒子の付着（析出）と、電極の摩耗による発塵が指摘されており、クリーンルーム環境中では重大な問題となっていた。一方で、より高清浄度を要求するプロセスなどで、無発塵の除電が可能な軟X線式イオナイザーも広まりつつあるが、人体被曝の防護対策が必須な点や、狭小部の除電が困難な点など、取り扱い上の難点があった。

本研究は、コンタミネーションコントロールの観点から、クリーンルームにおける静電気対策として、従来の問題点を解決したクリーンルーム用イオナイザーを開発することを目的としている。そして、イオナイザーのクリーンルームへの適用のために考案した手法について、原理の妥当性の検討や性能評価を行い、その結果、以下について実用化が可能であることが示唆された。

(1) クリーンルーム用低発塵イオナイザー（コロナ放電式）

電極を加熱することで電極先端に熱泳動力を発生させ、電極への微粒子の付着・析出を抑制するとともに、放電電極の構成材質に耐腐食性の金属を用いることで電極の摩耗を低減したコロナ放電式イオナイザー。

(2) クリーンルーム用無発塵イオナイザー（軟X線式）

無発塵でのイオン生成が可能な軟X線をイオン化源に使い、イオナイザー自身に組み込んだ軟X線遮蔽構造により設置場所の防護対策を不要とした、安全な軟X線式イオナイザー。また、狭小部の除電を目的とし、軟X線で生成したイオンを水蒸気の凝縮によって粗大化し、チューブ搬送して除電する軟X線式イオナイザー。

Abstract

In recent years, contamination control has become a key fundamental technology in the field of manufacturing electronic devices, such as semiconductors and liquid crystal displays. Cleanliness control technologies, as typified by clean rooms, play an important role in manufacturing of such devices.

Clean rooms require strict control of not only the cleanliness levels of particles and gases but also the temperature, humidity, air current properties, static electricity, vibration and many other elements. Among them, static electricity is always widely generated because electronic devices are manufactured in an environment where the relative humidity is 40 to 45% (a level of humidity in which static electricity is easily generated) and devices and various other kinds of insulators are manufactured through repeated contact, friction and stripping processes. What is worse, static electricity gives rise to various obstacles in production that significantly affect production yield—such as electrostatic attraction (ESA)—in which airborne particles are deposited by electrostatic force, and device breakdown caused by electrostatic discharge (ESD). There have been many reports: 1) describing phenomena in which static electricity accelerates the deposition of particles and a decrease in static electricity resistance of recent highly-integrated devices, and 2) indicating that static electricity has been producing more serious effects on devices. In view of this, how to prevent static electricity in clean rooms is a very important factor for contamination control and is an essential technology for the electronic device industry.

There are two common measures against static electricity in clean rooms: 1) static charge relaxation by grounding and humidification and 2) static charge neutralization (electrostatic elimination) using static eliminators (ionizers). The latter is more effective for use in producing electronic devices because the former raises concerns about contamination of devices due to grounding and the influence of moisture. Among others, corona discharge ionizers of voltage application type are widely used due to their ease of use, and they are the most commonly used ionizers for clean rooms. However, it's been pointed out that conventional corona discharge ionizers cause particles to be deposited onto a

discharging electrode and generate dust by abrasion of the electrode, thereby resulting in serious problems in clean room environments. Meanwhile, soft X-ray type ionizers that can eliminate static electricity without generating dust have also been increasingly used in processes that require a higher degree of cleanliness. However, there are some disadvantages in using ionizers of this type, such as the need to take measures to protect the human body from exposure to X-rays and the difficulty in eliminating static electricity in a narrow space.

The intent of this study is to develop clean-room ionizers that can solve conventional problems of static electricity for contamination control in clean rooms. The authors examined the validity of the principles of techniques developed for applying the ionizers to clean rooms and evaluated their performance. The results indicated the possibility of the practical application of the following types of ionizers:

(1) Low-particle-emission ionizer for clean rooms (corona discharge method)

A corona discharge ionizer that prevents the deposition of particles onto the electrode by using the thermophoretic force generated by heating the electrode and reduces abrasion of the electrode by using corrosion-resistant metal as a constituent material of the discharging electrode.

(2) Non-particle-emission ionizer for clean rooms (soft X-ray method)

A safe soft X-ray type ionizer that uses soft X-rays as an ionization source to generate ions without emitting particles and has a built-in soft X-ray shield structure to eliminate the need for taking protective measures in the installation location, and a soft X-ray type ionizer in which ions are generated by soft X-rays, coarsened by the condensation of water vapor and transported through a tube to eliminate electricity in a narrow area.