局所クリーン化ミニマル環境コントロールシステム-PLAD

Cleanroom-Free Environment-Control System PLAD for Minimal fab

産総研[1]、ミニマルファブ推進機構[2]
○谷島孝[1,2]、安井政治[1,2]、クンプアンソマワン[1,2]、前川仁[1,2]、原史朗[1,2]
AIST [1] and MINIMAL[2]
Takashi Yajima[1,2], Masaharu Yasui[1,2], Sommawan Khumpuang[1,2], Hitoshi Maekawa[1,2] and Shiro Hara[1,2]
Email: takashi-yajima@aist.go.jp

【これまでの報告】我々は、局所クリーン化技術を導入することで、クリーンルームが不要となる半導体製造システム、ミニマルファブを開発してきた[1]。既に、ウエハを装置にローディングする時の前室システムとして、外気中の微粒子とガス分子の内部への侵入をプロテクトするPLAD (Particle Lock Air-tight Docking system)を開発し、各商用装置に搭載している。さらなる高性能化を目指して、PLAD自体のクリーン化についても改良を行ってきた。具体的には、PLADにクリーンエアを供給し、内部の差圧を一定に保つとともに、循環ループを持つ、いわば装置内超小型クリーンルームについて、実験を行ってきた。その結果、このシステムを用いることで、問題になるレベルのパーティクルは、ウエハ上へ付着しないことを確認した[2]。

【実用化における課題】この自己クリーン化機能を備えたPLADクリーン化システムを実用化し実機搭載するためには、3つの点でよく考慮されたシステムにする必要がある。一つは、ミニマルファブ筐体のPLAD装着エリアに収まる超小型化であり、２つ目は、そのシステムの製造コストやオペレーションコストであり、３つ目は、外部からの微粒子侵入を防ぎ、かつ内部発生微粒子を速やかに排出するシステム構造とエアオペレーション手法である。超小型化に関しては、高コストで大型の既存のマスフローコントローラは使わず、代わりに小型比例制御弁を用いる。これにより１Pa分解能程度の制御が出来ることは既に確認している[3]。また、エア循環を行うポンプも小型・低価格であるダイヤフラムポンプを採用する。オペレーションコストについては、フィルタリングコストの掛かったエアを垂れ流してはフィルタリングコストが嵩むので、エアを循環させる方式が適している。微粒子の外部侵入を防ぐ最も有効な手段は、PLAD内圧を外部に対して正圧に保つように差圧制御することである。差圧制御で良好なクリーンレベルが実現できることは既に報告済みである[3]。しかしながら、クリーン化などにかかる時間などで示されるパージ性能～これはクリーン化コストとクリーン化性能を直接決定する～についての定量的な評価は行っていなかった。そこで、実機搭載予定のPLADクリーン化システムの換気性能の定量的評価を今回行った。特に、クリーンエアの使い捨て送出に対して、エアを循環して使い回す方式では換気性能と内部クリーン化性能はうなるか、が検討課題であった。

【換気性能係数による換気性能の評価[4]】パーティクルや残留気体の排出されやすさは、パージする気体の流れの形態が大きく関係している。パージされる気体の濃度変化をもとに算出される換気性能係数ηにより、気流の整流化度合が分かり、パージ性能が定量的に評価できることは、既に報告した[5]。図１は、パーティクルで満たされた空間をクリーンエアでクリーン化する時のパーティクル濃度変化と、換気性能係数ηの関係を示している。η=1のとき、気流の状態は完全混合と呼ばれる空間内の濃度が均一な状態である。ηが２に近づくに従い気流は乱流から層流になり、η=2の時最も換気性能が良い。ηが１未満では、滞留がある流れである。この換気性能係数ηは（１）式から求められる。ここで＜τ＞は平均空気齢と呼ばれる数値で、空気の取り入れ口から、空間内の任意の位置までの空気の移動に要する時間（局所空気齢）の空間全体の平均値である。

【実験及び結果】実験は、PLAD内をISOクラス9程度のパーティクル環境にした後、クリーンエアでパージし、内部がクリーン化される過程のパーティクル濃度をパーティクルカウンターで測定した。実験は、差圧制御だけを行った場合と、エア循環も同時に行った場合の２通りについて行った。結果を**図2に示す。**換気性能係数はポンプによるエア循環がある場合η=0.85、差圧制御だけの場合η=1.10であり、どちらもPLAD内のエアの流れは完全混合（図中破線で示す）に近い流れと考えられる。しかし、循環を行った場合、差圧制御だけの場合に対し、換気性能はやや劣る結果となった。

【結論および課題】実用化に向けた、PLAD内部のクリーン化システムの換気性能の評価を行った。ポンプによるエア循環を行ったときに、換気性能がやや劣化する原因は今後明らかにする必要があるが、換気性能の劣化は僅かであり、ポンプ循環は実用システムとして適用可能と考えている。

換気性能係数の式：

$$\eta = \frac{1}{\langle\tau\rangle}\frac{V}{Q} \quad \cdots (1)$$

＜τ＞: 平均空気齢(sec)

$$\langle\tau\rangle = \frac{V}{Q}\int_0^\infty t\frac{C(t)}{C(0)}dt$$

V：空間体積(m^3)
Q：パージエア流量(m^3/sec)
C(t): 出口でのパーティクル濃度(個/m^3)

図 1.パーティクル濃度変化と換気性能係数

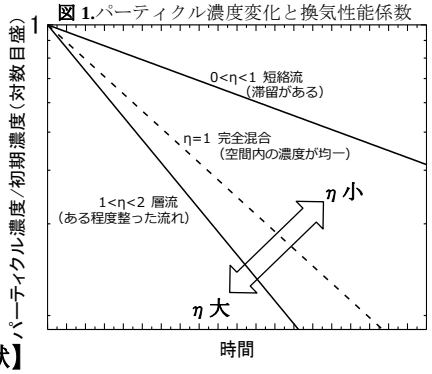
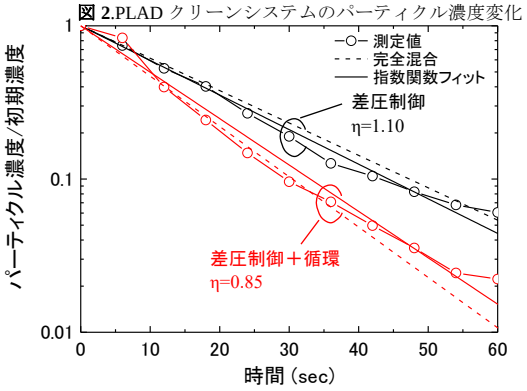


図 2.PLAD クリーンシステムのパーティクル濃度変化



【文献】
[1] 原、他、空気清浄**49**、2（2011）
[2] 谷島、他、 応用物理学会　秋季学術講演会 6p-C21-19（2017）
[3] 谷島、他、 応用物理学会　秋季学術講演会 16a-B10-11（2016）
[4] 「局所クリーン化の世界」原史朗　工業調査会 (2006)
[5] 谷島、他、 応用物理学会　秋季学術講演会 13p-1C-15（2015）

© 2018年 応用物理学会