

薬液槽エアシール方式クリーンドラフトと省エネルギー効果

Clean Wet Station Having Air-Curtain System for Chemical Baths and Its Economizing Effect on Clean Room Operation Costs

クリーンルームの膨大な運転経費の削減は大きなニーズであり、種々省エネルギー対策がなされてきた。まだ残された有力手段として、運転費に大きな比率を占める外気空調負荷を低減できる化学処理用クリーンドラフトの少排気量が考えられる。薬液槽をプッシュプルエアカーテンでシールするクリーンドラフトを開発し、従来形と比べ排気風量を $\frac{1}{3}$ 以下にすることに成功した。

コンパクト化を図ったエアカーテン装置の気流特性、薬品蒸気のシール性、ドラフト内清浄度などの評価結果を示した。

エアシール方式を採用した量産用ウェーハ自動洗浄装置としても製品化した。これによって $20 \text{ m}^3/\text{min}$ の排気量低減が期待でき、約140万円/年の経費節約が可能と推定される。

大見忠弘* *Tadahiro Oomi*
平塚 豊** *Yutaka Hiratsuka*
藤崎芳男** *Yoshio Fujisaki*
野田正人** *Masato Noda*

1 緒 言

超LSIの製造では、微細加工での歩留まり確保のためクリーンルームは不可欠であり、昼夜にわたり高度の環境条件を実現するため膨大なエネルギーを消費している。それによる多額な運転経費を軽減する省エネルギー対策は重要課題となっている。

運転費で大きな比率を占めるのが外気空調負荷で、その大半が化学処理での局所排気である。したがって、排気ドラフトの排気量削減が残された最大の対策と考えられる。

東北大学電気通信研究所超微細電子回路実験施設用クリーンルームを建設するに当たり、運転費の大幅低減が主目標となっていた。その実現策の一つとして少排気量形クリーンドラフトの開発を行った。その結果、プッシュプルエアカーテンによる薬液槽シール方式を開発し、従来形の $\frac{1}{3}$ 以下の排気量で済むクリーンドラフトと自動洗浄装置を実用化した。

2 装置の構成

プッシュプルエアカーテン方式クリーンドラフトの基本構成を、通常形と比較して図1に示す。小形送風機、高性能フィルタとダクトでつないだ吹出フード、及び排気ダクトとつながる吸込フードによって流しを覆うエアカーテンを形成している。

薬液を加熱して使用すると、槽から有害蒸気を含む流速 0.3 m/s 程度の上昇気流を生ずる。これをできるだけ拡散させないで排気するため、クリーンドラフトでは風速 0.5 m/s 程度のダウンフロー気流を吹き出させる。すなわち、 $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{min}$ の

吹出風量が排気される。エアカーテン(水平層流)で薬液槽からの上昇気流を拡散しないうちにすぐ吹き払うと、その上部空間は清浄度を維持するだけでよく、 0.1 m/s 程度のダウンフロー気流で十分となる。エアカーテンの風量は毎分数立方メートルにすぎず、したがって総排気量は $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ になる。

3 エアカーテン構造と気流特性

予備実験の結果、煮沸水の水蒸気をシールするには厚さ 50 mm 程度で 1 m/s 以上の風速を持つ水平層流が必要であった。

エアシールする流しの広さは用途によって変わる。東北大学クリーンルームへ設置するドラフトの流しの仕様寸法は幅 780 mm 、奥行き 350 mm である。予備実験からの要求諸元をこの流しに実現するエアカーテン構造を試作した。その概要を図2に示す。

吹出ダクトは流しの下部の限られたスペースに通す関係で $140 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ とし、流しの前面で立上げて幅 780 mm 、奥行き 120 mm 、高さ 60 mm の吹出フードにつないだ。吸込フードは $780 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ とし、 $780 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ のダクトで吸引した。両フードの下面のレベルを合わせ、 350 mm の距離で対向させる。この間で均一な水平層流を形成するには、次のことが必要であった。

- (1) 吹出口には整流用の 60 mm のハニカム格子板と通気抵抗を増す戸布を設ける。
- (2) 吹出風速の均等化を図るため、フード内にガイド板を設ける。

* 東北大学工学部 工学博士 ** 日立プラント建設株式会社

項目	一般のクリーンドラフト	少排気量形クリーンドラフト
構成模式図		
ダウンフローの目的	<ul style="list-style-type: none"> ●クリーン度の保持 ●薬液ペーパの上昇, 拡散抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ●クリーン度の保持
エアカーテンの目的	—	薬液ペーパの上昇, 拡散抑制

注：略語説明 HEPA(Hig Efficiency Particulate Air)

図1 プッシュプルエアカーテン方式クリーンドラフトの基本構成と機能説明 一般のクリーンドラフトの構成を、比較のため示してある。

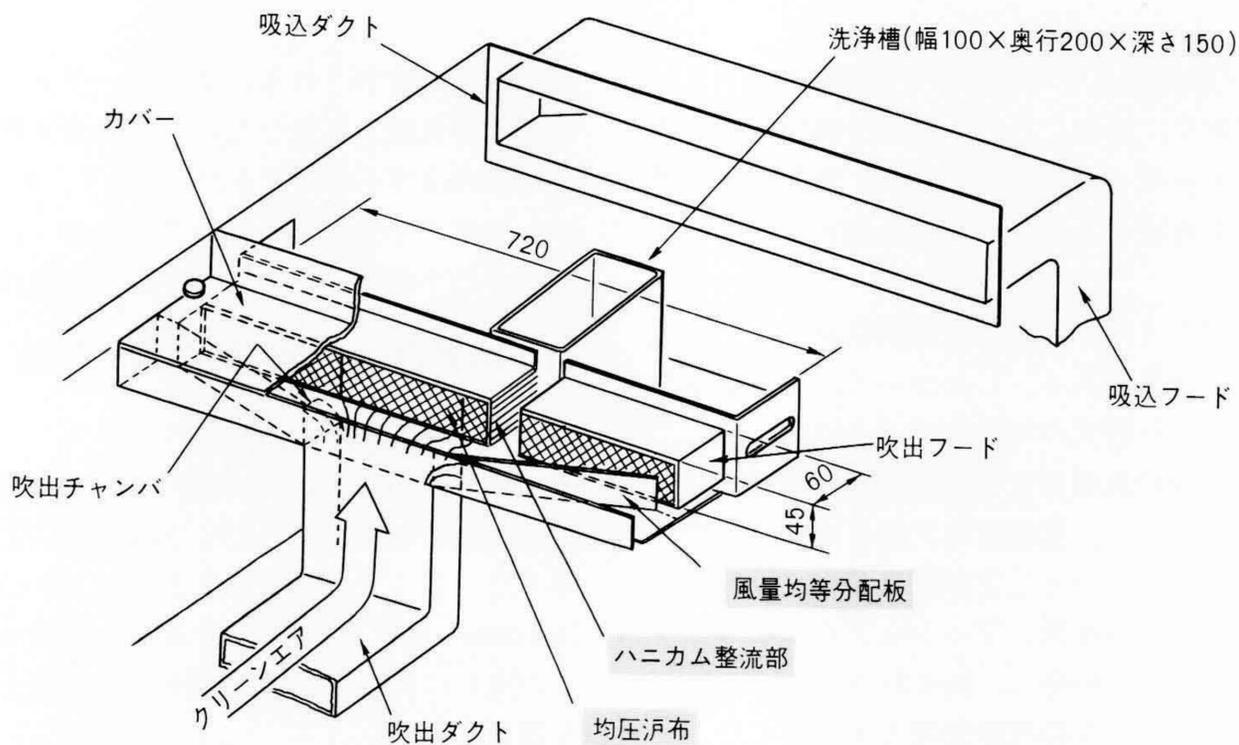


図2 実験検討のため試作したプッシュプルエアカーテン装置の構造 720mm幅のエアカーテンを形成するのに吹出フードの奥行を120mmとコンパクトに納める構造上の工夫がしてある。すなわち、気流を整流するためにハニカム格子板を、また均一な吹出風速を得るため汙布と風量均等分配板を用いている。

- (3) 吸込風速の均等化を図るため、吸込ダクトに整流板を設ける。
- (4) 流し中央での風速低下をなくすため、吹出口高さは45mm以上にする。

以上の対策を行った結果、図3のような気流特性を持ったエアカーテンが得られた。測定点は吹出口面から10mm離れた、吹出口高さの $\frac{1}{2}$ のレベル上を50mm間隔でとった13点である。風速レベルを変えても横方向の変動はそれぞれ $\pm 10\%$ 以内に収まっている。

エアシールの距離を540mmまで伸ばした場合の気流特性を図4に示す。エアカーテンの吹出口、中央、吸込口について、250mm間隔で5点ずつ風速測定した結果である。特に中央部での風速の減衰は認められなかった。

エアカーテンの縦の風速分布を流しの中心線上吹出口、中央、吸込口で調べた結果を図5に示す。吹出口は一様であるが、中央ではやや下方、吸込口ではやや上方に最大風速点が移動している。なお、これら吹出系の圧力損失はたかだか40Paであった。

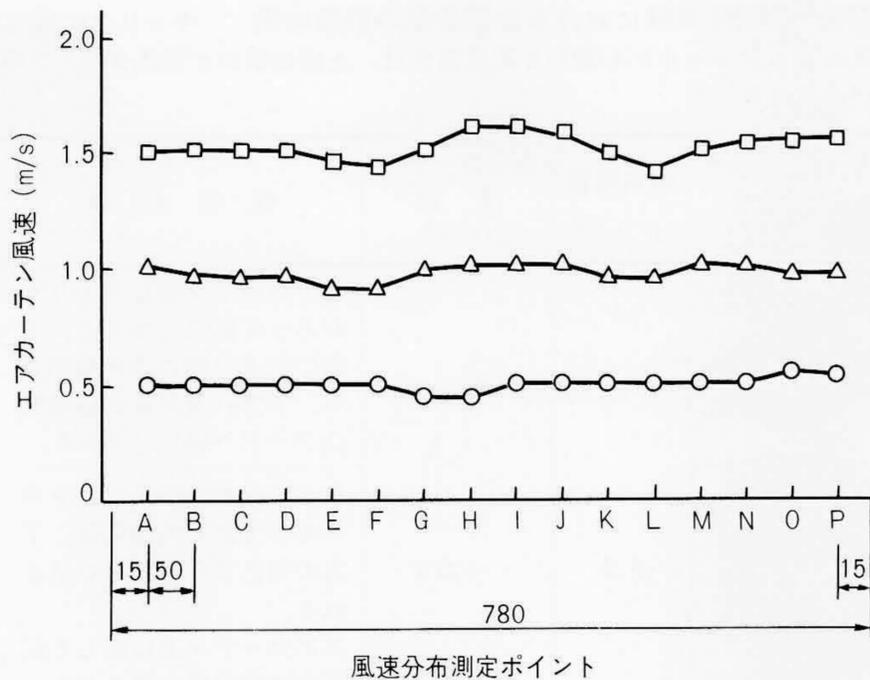


図3 吹出開口高さ45 mmのエアカーテン風速の横方向の分布 吹出口の中央1点でリオンAM-03形風速計で測定しながら風速調節した後、横方向に移動して各点を測定した。

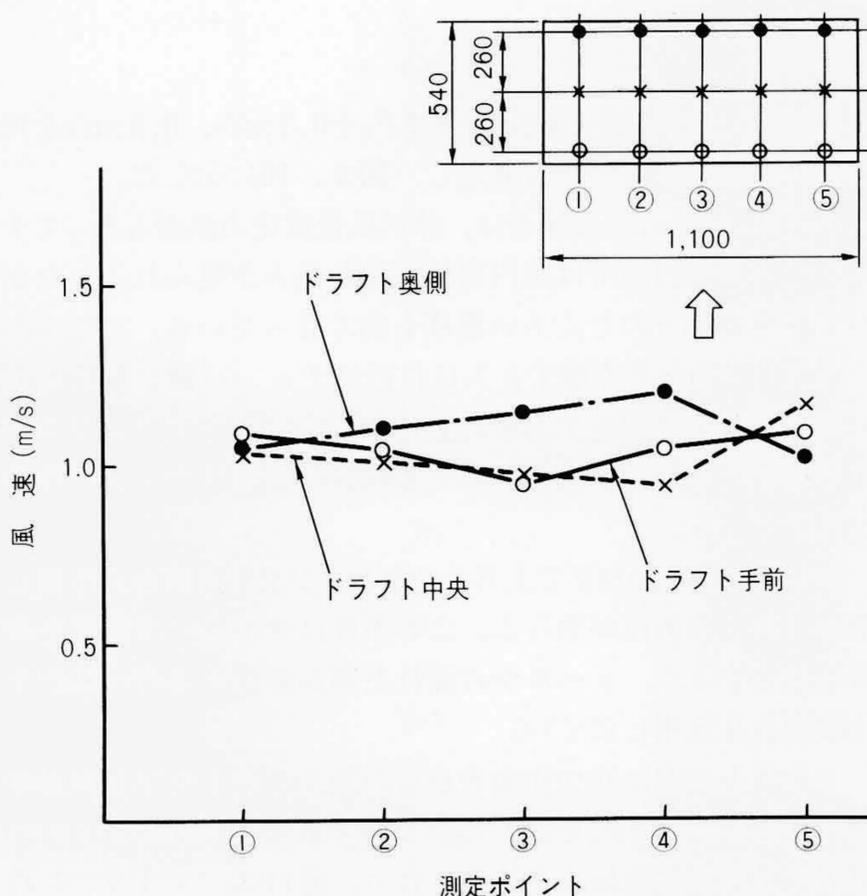


図4 エアカーテン距離540 mmの場合の風速分布 設定風速1.0 m/s, 基準点はドラフト手前の③点, 測定点は流し平面図に表示した。

4 薬液蒸気のシール効果

エアシールした流しで煮沸した塩酸(2 N)からの蒸気に対するリーク度をシール風速を振って調べた。検知管法でHClを測定した結果、1 m/s以上にすれば1 ppm以下になった。吹出口高さは45 mmよりも60 mmのほうがシール効果は良い。

次に、エアカーテンを組み込んだクリーンドラフトで表1に示す半導体プロセスで使われる代表的薬品に対するシール効果を測定した。同表に実験条件を、図6に結果を示した。

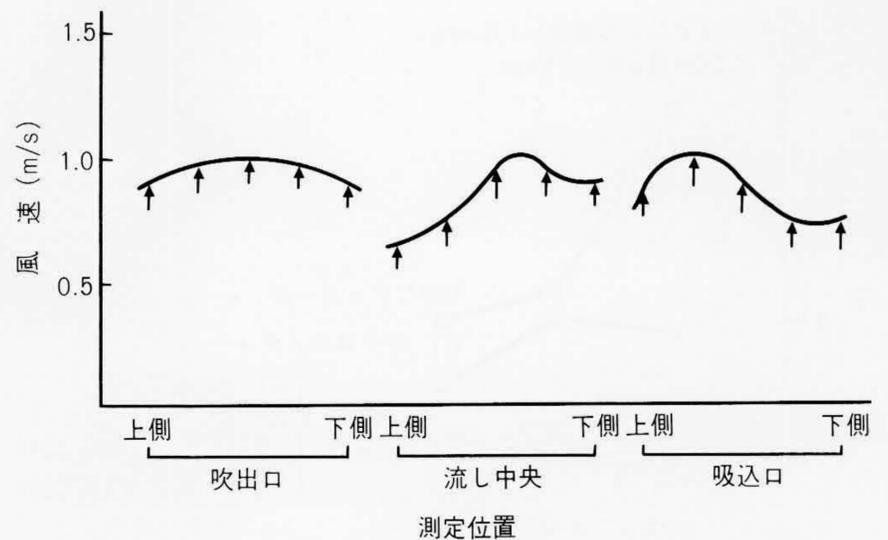


図5 エアカーテンの高さ方向風速分布 吹出口では一様な風速分布であるが、流し中央では上側に、吸入口では下側に風速低下が生ずる。測定点間隔は10 mmである。

表1 エアシール効果測定条件 PTFEサンプリング管の先端を薬液槽の中央の100 mm上方の×点で吸引する。

薬液 測定成分	液温 (°C)	採取点	分析条件		
			分析方法	サンプリング 法	サンプル 数
メタクレン CCl ₂ H ₂	RT		ガスクロマト グラフィー	テトラパック に10 l採取	6
J100 C ₆ H ₅ OH	RT 120		比色分析	インピンジャ (H ₂ O 20 ml) に1 l/minで 15 min採取	6 6
HCl 1:5 HCl	RT		イオンクロマト グラフィー	同上	9
HF 1:9 HF	RT		同上	同上	6
NH ₄ OH+H ₂ O ₂ 1:1:5 NH ₃	80		同上	同上	6
エアシール 風速1 m/s 排気量 8.2 m ³ /min			同上	同上	6

ここではダウンフロー風速(以下、 F_D と言う。)の影響に注目した。HCl, HF, NH₄OHのような酸やアルカリ水溶液の場合には十分なシール効果が確認できた。一方、有機溶媒蒸気の場合はエアカーテン外への拡散がみられ、1 ppm程度検出された。 F_D の大きいほうが上方拡散を抑制する傾向があり、0.3 m/s以上にするのが望ましい。

エアカーテン上部にわずかの蒸気が漏れることがあるが、上部排気口へ吸引されるので、部屋側では全く検出されない。

エアカーテンを横切って品物を出し入れした場合の薬品蒸気の漏れを、図7に示す実験で可視化し観察した。すなわち、流し内の槽でアンモニア水を煮沸しておき、吹出フードの上には塩酸を入れたシャーレを置く。ウェーハを収納したキャリヤを槽へ出し入れする際、シールを破って出てくるアンモニアはすぐNH₄Clとなって白煙化する。この白煙の生じる様子をまとめて表2に示す。

取り出したキャリヤの保持位置が上部排気口と同じ高さであれば、生じた白煙は完全に吸込フードや排気口に吸い込ま

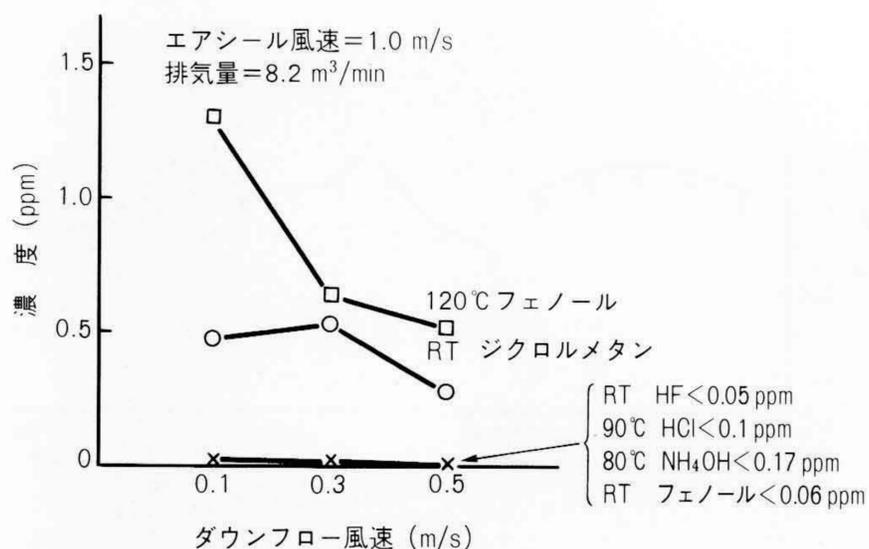


図6 種々の薬品蒸気に対するエアシール効果とダウンフロー風速の影響 HF, HCl, NH₄OHなどの水溶液に対してはシール効果はほぼ完全である。有機溶媒の場合は大量に蒸気が発生すると、わずかながらエアカーテンの上方へ拡散してくる。しかし、上部排気口へ吸い込まれる弱い気流で排出されるので、チャンバ外へ漏れる心配はない。

れる。このことは、上部排気口の位置や大きさの設計が重要であることを意味する。

エアカーテンが薬液槽上縁に接する状態では、塩酸槽とアンモニア槽が同じ流し内にあっても少し離れていれば白煙は生じない。しかし、エアシールとの間隔をおいた状態では流し内が白煙で充満する。

5 ドラフト内の清浄度

1 m/sのエアカーテンの風量と、ドラフトの天井HEPAフィルタの F_D を0.1 m/sにしたときの風量との和に総排気量を設定する。この状態でチャンバ内の気流分布をデブスタフト法で観察し、同時にじんあい濃度も測定した。その結果を図8に

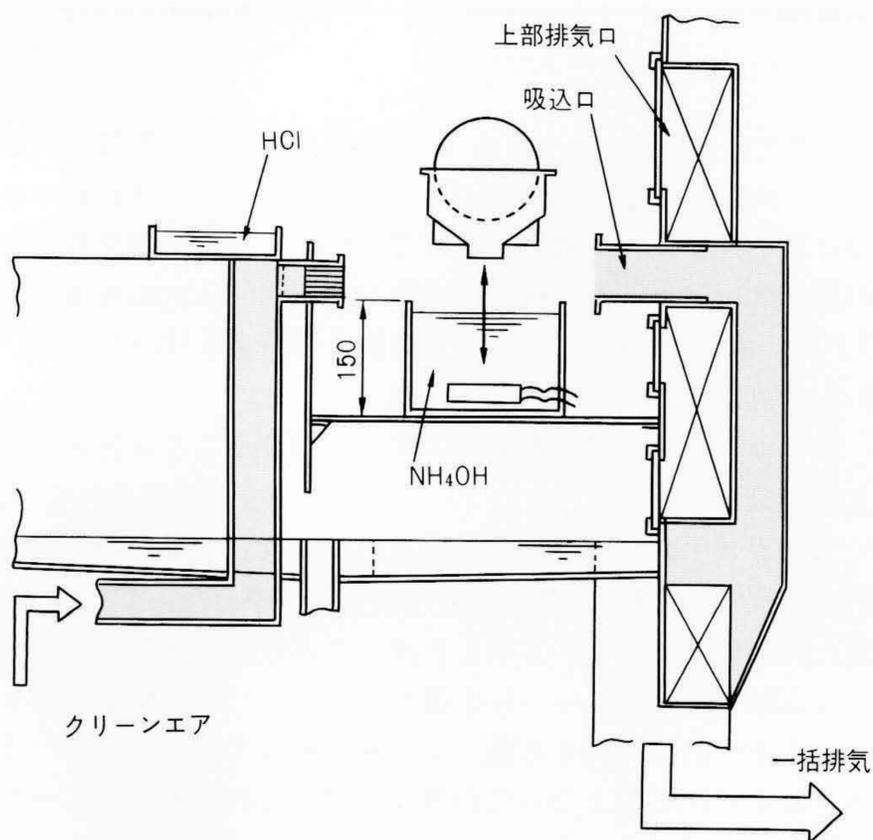


図7 エアカーテンを横切る際に漏れるNH₄OH蒸気の可視化実験要領図 NH₄OHがエアカーテン上方に漏れるとHClと反応して白煙化するので、漏れたNH₄OHの流れぐあい分かる。

表2 可視化実験における白煙挙動の観察結果 キャリヤの出し入れでエアシールから漏れる薬品蒸気は、上部排気口か吸込ダクトへ吸い込まれる。

ダウンフロー吹出風速 (m/s)	排気風量 (m³/min)	エアカーテン風速 (m/s)	観察結果
0.1	8.2	1.0	エアカーテン中にキャリヤがあって乱流化すると、上方に上る白煙は上部排気口へ、下方へ流れる白煙は吸込フードへ吸い込まれる。
0.3			キャリヤがエアカーテン中であって生ずる白煙は、下方の吸込フードに吸い込まれる。エアカーテン上に出しても、下方流の白煙が見られる。
0.5			キャリヤをエアカーテン中に持ち上げたとき、白煙の巻上げが生ずるが、上部排気口に吸い込まれる。

示す。

次いで、排気量を固定したまま F_D を0.3 m/s, 0.5 m/sと増加させた場合についても測定し、図9, 10に示した。

F_D を0.1 m/sにした場合は、排気風量設定の誤差もあってチャンバ入口側付近では室内空気の流れ込みが見られ、したがって、その部分のじんあい濃度も高くなっている。

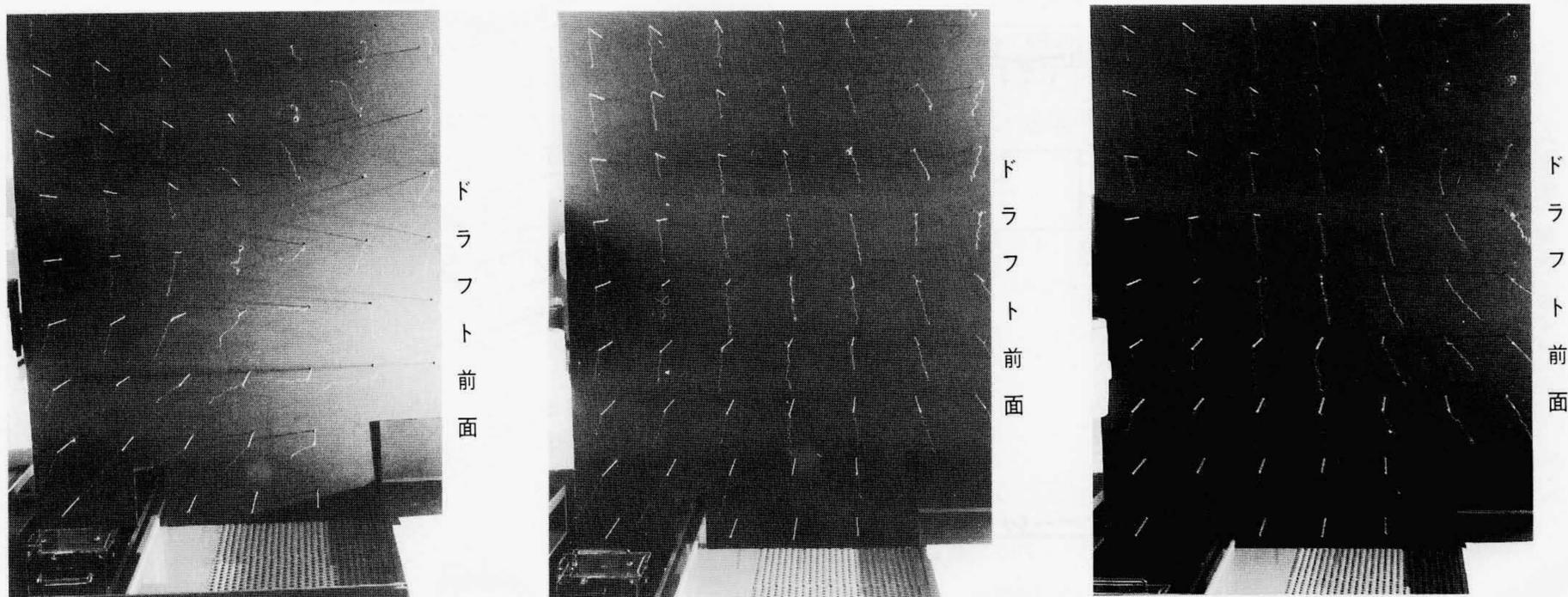
F_D を0.3 m/sまで増すと入口付近はチャンバ側から部屋側へのあふれ気流が生ずるが、全体として良好なダウンフローが形成される。その場合には、じんあい濃度はチャンバ外の $\frac{1}{10}$ 以下となる。

更に F_D を0.5 m/sまで上昇させると、かなり奥側から外側に向かうあふれ気流が生じる。この条件はチャンバ清浄度を非常に良くするが、シールから漏れた薬品蒸気を室内へ逃がす危険があり採用しにくい。

ドラフトの前に立つ作業員からの発じんがドラフト内清浄度へ及ぼす影響を F_D を変えて調べた。ドラフト前面500 mmの位置で足踏みや腕振りを故意に行い、図11に示す3点での粒子数を測定した。得られた結果を同図に示す。ドラフト前面から500 mm以上奥側になると F_D の大小にかかわらず清浄度が高い。 F_D が小さくなる300 mm付近ではじんあい量が多くなる。高清浄領域を大きくとりたいときは、天井の清浄空気吹出部を前面側へ広げることが有効である。

6 ウェーハ自動洗浄装置への適用

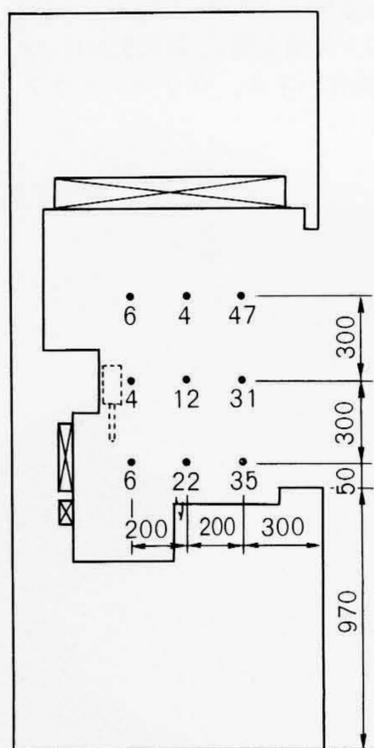
アンモニア性過酸化水素水とフッ酸の浸せき洗浄を一貫してできるように、エアシール槽を二組み持つ自動洗浄装置を製品化した。装置の外観図を図12に示す。標準排気量は10.5 m³/minで、従来形の28%である。エアシール効果によって中間仕切りがなくてもアンモニアとフッ酸の干渉は起こらないので、1台の搬送機で一貫処理ができる。エアシール効果をドライアイスで可視化した写真を図13に示す。本図は、故意



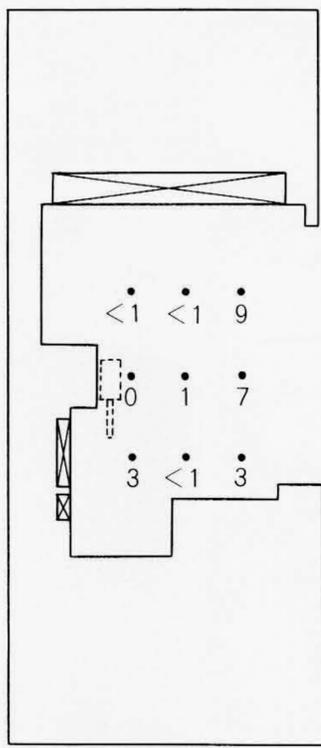
(a) 可視化写真

(a) 可視化写真

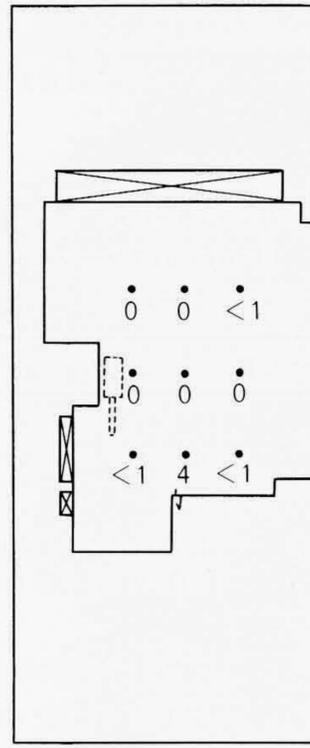
(a) 可視化写真



(b) じんあい濃度分布



(b) じんあい濃度分布



(b) じんあい濃度分布

図8 ダウンフロー0.1 m/s時のドラフト内気流とじんあい濃度分布 (a) デブスタフト法で気流方向を可視化(エアカーテン1 m/s, 排気量8.2 m³/min), (b) ダクト内の数値は、ドラフト外雰囲気中のじんあい濃度を100としたときのドラフト内じんあい濃度の相対比である。0.17 μm以上の粒子を測定した。

図9 ダウンフロー0.3 m/s時のドラフト内気流とじんあい濃度分布 (a) タフト法で可視化した気流状態を示す。0.1 m/sのときに比べドラフト前面で部屋方向への気流のあふれがみられるが、きれいなダウンフローを形成している。(b) ドラフト外雰囲気中のじんあい濃度を100としたときのドラフト内じんあい濃度の相対比を示す。0.1 m/sのときに比べ室内からの流れ込みがなくなり清浄度が向上している。

図10 ダウンフロー0.5 m/s時のドラフト内気流とじんあい濃度分布 (a) タフト法で可視化した気流状態を示す。部屋方向への気流のあふれがかなり顕著になっている。(b) ドラフト外雰囲気中のじんあい濃度を100にしたときのドラフト内じんあい濃度の相対比を示す。0.3 m/sの場合より清浄度は向上する。

にエアカーテンの位置でキャリヤを止めて、層流の乱れの影響を見ているものである。

なお、洗浄槽数、槽の材質や構造は洗浄プロセスに応じて変更可能である。また、乾燥部は設けてないが、要求により組み込んだ装置にすることができる。

7 経済効果

半導体工場のクリーンドラフトを少排気量形に置き替えた場合の経済効果を推算し表3に示す。設備内容、運転条件などは各社の企業秘密で不明であるため、公表されている断片的情報を使用した。そのため信頼性に乏しいきらいがあるが、

経済効果の目安として示した。すなわち、1,000 m²程度のクリーンルームで年間の運転費の節約額は2千700万～3千400万円となる。総運転費を8千万円¹⁾とすると34～42%の削減となる。

1台の導入で20 m³/minの排気量低減ができるとすると1年で136万円の節約となり、従来形より300万円の装置価格アップがあっても2年2箇月で回収できる。

もしクリーンルームの新設計画で、すべてのドラフトに採用するとすれば、空調送風機、局所排気用排風機、排ガス処理設備などの計画能力を削減でき、建設費とスペースの節減が期待できる。

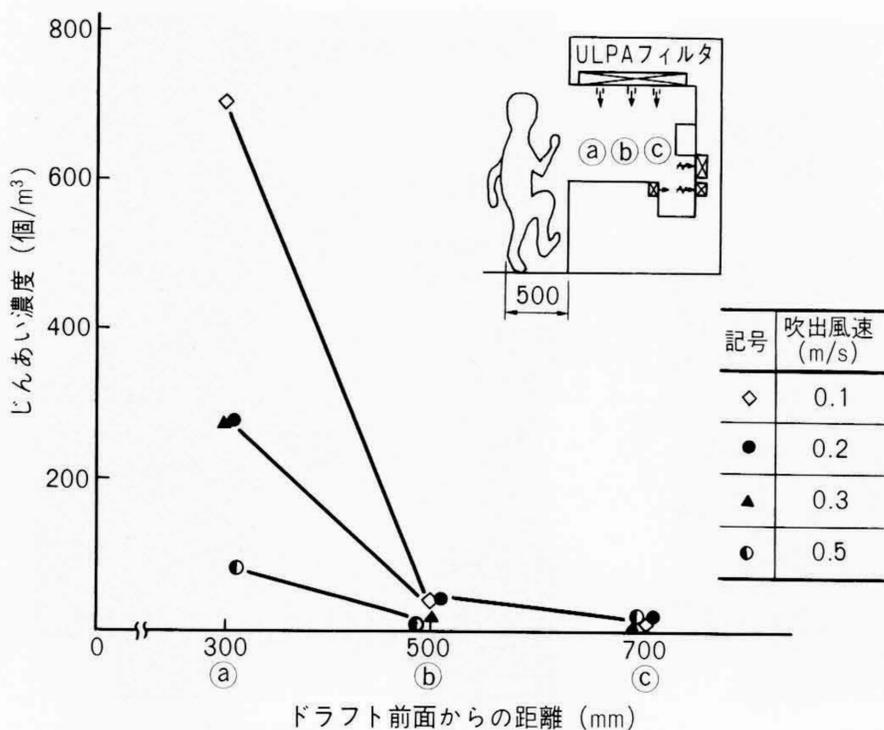


図11 ドラフト前の作業者の発じんがドラフト内部清浄度に及ぼす影響 無じん衣着用者が足踏みと腕振り(110~120回/min)して発じんさせた。エアカーテン1 m/s, 排気風量8.2 m³/min, 0.17 μm以上の粒子を測定する。

表3 少排気量クリーンドラフトを採用した場合のクリーンルーム運転費削減額 1,000 m²のクリーンルームをモデルに3通りの推定から求めた年間の節減額で, 表中に計算の根拠を示した。

1台当たりの排気低減量	空調負荷	総排気量
20 m³/min・台	700 W/m² { 6 × 10² kcal/m²・h } *	1,500 m³/min (1,000 m²クリーンルーム)
↓	↓	↓
1,200 m³/h・台	1,000 m²クリーンルーム 700 kW { 6 × 10⁵ kcal/h }	ドラフト排気比率50%
↓	↓	↓
20台/1,000 m²	ドラフト排気比率50%	750 m³/min
24 × 10³ m³/h	350 kW { 3 × 10⁵ kcal/h }	2/3を節減
↓	↓	500 m³/min
60 m³/h : 8円	10³ kcal/h : 12円	3,000 m³/h
3,200円/h	3,600円/h	↓
355日/年 × 24 h/日	355日/年 × 24 h/日	60 m³/h : 8円
		4,000円/h
		355日/年 × 24 h/日
2,720万円/年	3,060万円/年	3,410万円/年

注：* 参考文献2)

8 結 言

クリーンドラフトの排気量低減を目的に, 流しをエアカーテンでシールする方式を開発した。

1 m/s前後の風速の水平層流を実現するコンパクトなエアカーテン装置に関する設計技術を確立した。本方式による薬品蒸気のシール効果, ドラフト内の清浄度維持は十分であり, 排気量も従来形の1/3~1/4に低減できることを確認した。エアシール方式のクリーンドラフトばかりでなく, 量産設備用洗浄装置としても実用化した。本方式を採用した場合の経済効果についても推算した。

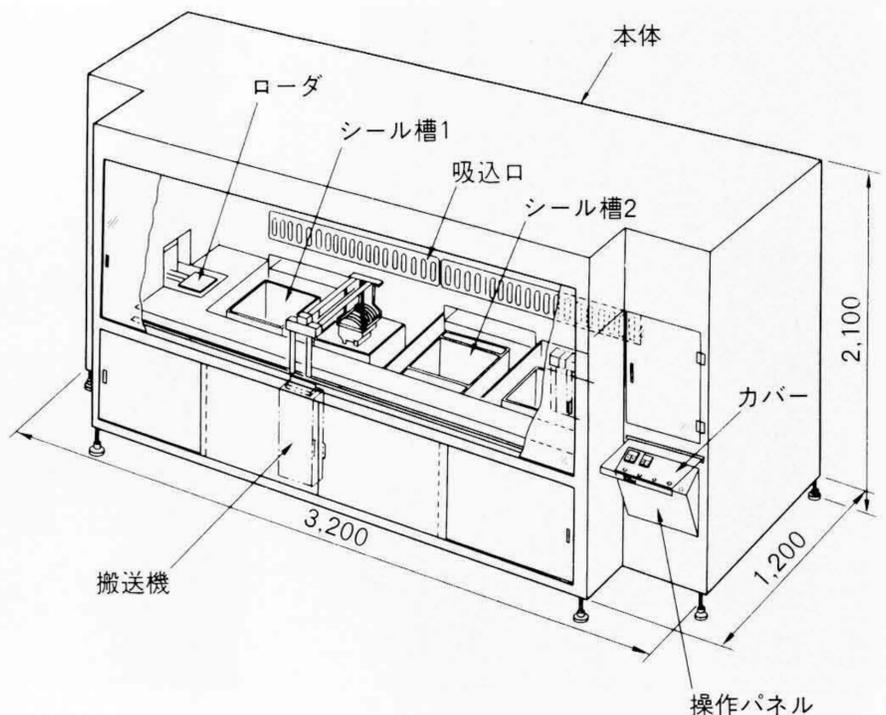


図12 少排気量形ウェーハ自動洗浄装置の外観 乾式ローダ, 洗浄槽(エアシール付き薬液槽2槽, 純水リンス槽2槽), 湿式アンローダ, 自動搬送機, シーケンスコントローラ, 操作パネル, クリーンドラフトから構成されている。

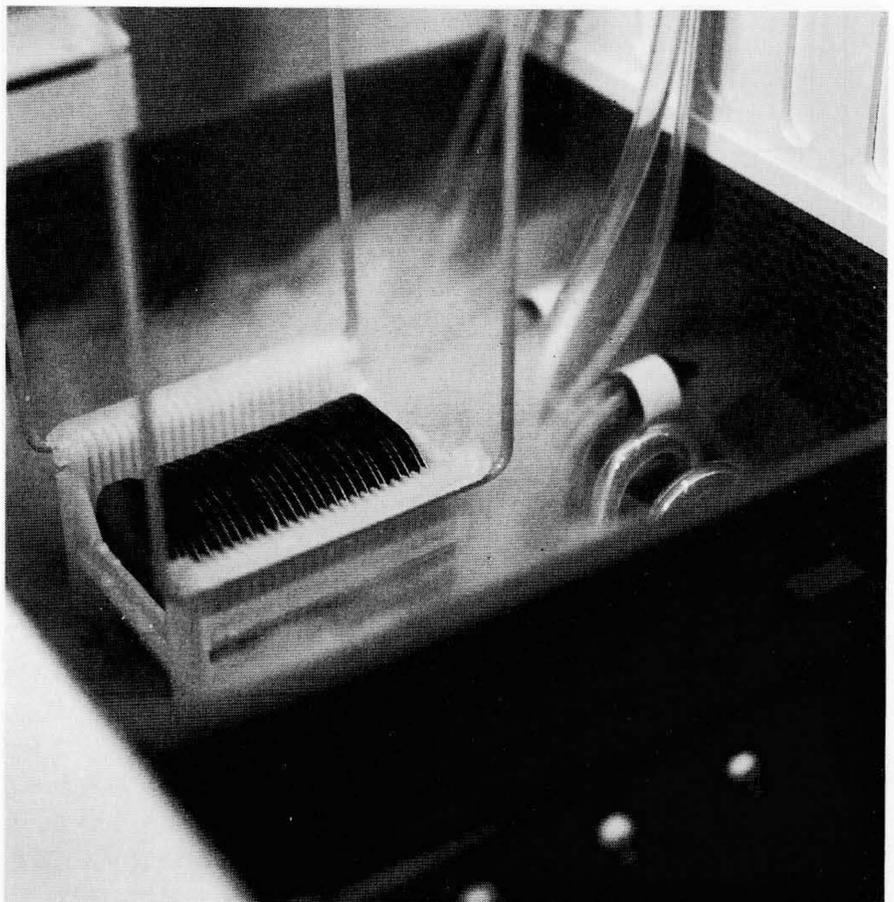


図13 ドライアイスでエアシール効果を可視化した写真 キャリヤをエアカーテン中に故意に止めて, 気流の乱れ状態を調べている。流しの大きさは360 mm角で, その中に270 mm角の石英槽が設置されている。洗浄しているのは4インチウェーハである。

参考文献

- 1) Integrated Air System Inc. 技術資料(May, 1985)
- 2) 内田: スーパークリーンルームの設計と省エネルギー, '83クリーンテクノロジーシンポジウム, 日本能率協会, Sec. 1, 9~15(昭58-9)