

技術研究所クリーンルームの建設とケミカル汚染濃度の測定

田尻 哲司* 芦村 昌士** 岩本 吉隆***

Construction of Clean room and Measurement of Chemical Contamination Concentration

by Satoshi TAJIRI, Shoji ASHIMURA and Yoshitaka IWAMOTO

Abstract

A small scale clean room was built in the environmental research building at the ANDO Corporation Research Center. A vertical laminar air flow system was adopted between the fan filter units on the ceiling system and the perforated raised floor. Measurements of concentrations of chemical contamination were carried out twice; after the completion of construction and after the chemical filter installation respectively. The generation rate of outgas from the interior finish material was calculated, and the performance of the chemical filter measured. These trials should be helpful in improving our chemical contamination control technology in the semiconductor fabrication clean room.

要 旨

小規模なクリーンルームが安藤建設技術研究所の環境実験棟内に建設された。ここではシステム天井上の FFU と孔あきフリーアクセス床パネル間に垂直層流を形成する方式が採用されている。クリーンルーム建設後、及びケミカルフィルター設置後の 2 度に渡ってクリーンルーム内のケミカル汚染濃度の測定を実行した。この中で、内装材からのアウトガス発生量を計算しケミカルフィルターの性能を測定した。これらの試みは当社の半導体製造クリーンルームのケミカル汚染制御技術の向上に役立つものとなる。

キーワード：クリーンルーム／フリーアクセス床／垂直層流／ケミカル汚染／ケミカルフィルター

1. はじめに

半導体製造にクリーンルームが要求されはじめてから長い年月が経過し、当社のクリーンルーム設計・建設技術もこれに伴って発展してきた。半導体の集積度が高くなるに従って、クリーンルームの性能もより高い清浄度が要求されて来た。

さらに近年、製造加工技術の微細化が進行して、半導体の性能に大きく影響を及ぼすのは、パーティクル汚染のみではなく、クリーンルームに使用される内装材や設備部材から発生するガス状汚染や、外気取り入れと同時にクリーンルームに侵入する大気汚染物質等すなわちケミカル汚染とされてきている。

今回技術研究所の環境実験棟内にクリーンルームを建設し、その気流性状や温湿度制御特性を検証すると同時に、竣工当初の低濃度の室内ケミカル汚染の程度と、ケミカルフィルターを装着して汚染制御後の汚染程度を測定した。当社では初めてケミカル汚染の精密測定を行い、その発生源と発生量、ケミカルフィルターの性能を数値的に捕らえることによって、今後の定量下限値に近いケミカル汚染制御技術の向上に役立てることを目標とした。

2. クリーンルームの概要

床面積 全体 23.97m²
層流エリア 4.068m x 3.73m=15.17m²

* 建築本部技術部門

*** 建築本部3C技術推進プロジェクト

** 技術研究所環境グループ

前室・A/S 4.195m x 1.062m=4.46m²
 レターンチェイス 4.195m x 0.642m=2.69m²
 クリーンロッカー1.5m x 1.1m=1.65m²
 高さ 屋根高さ 4.6m
 システム天井裏高さ 1m
 クリーンルーム有効天井高さ 3m
 フリーアクセスフロア高さ 0.6m
 構造 鉄骨造, 外フレーム
 外装 断熱サンドイッチパネル
 床パネル アルミダイキャスト, 穴あき
 設備 熱源 空冷ウオーターチラー19kw
 ダイキン UWAXP190A
 外調機ファン 720m³/h x 422Pa x 1.5kw
 冷水コイル, 電気ヒーター2.9+3.9kw
 電極式蒸気発生器 5.7kw/h
 冷水循環ポンプ, ブリードインポンプ
 ドライクーリングコイル 2台
 FFU 1200 x 600 15台

システム天井 アドマイヤーシステム
 VESDA (超高感度煙感知システム)
 クリーンルーム性能
 温度 25°C±1°C
 湿度 50%±5%
 清浄度 クラス1 @0.3μm

3. 竣工後のケミカル汚染測定

ケミカル汚染物質を半導体製造工程に影響を及ぼす現象の種類で分類し、無機イオン成分、金属成分と有機成分の三種類とした。サンプリング方法と測定方法はつぎの通りである。

表1 サンプリング方法と測定方法

成分	サンプリング方法	測定方法
無機イオン	2段連結インピンジャーで20時間	イオンクロマトグラフ質量分析法
金属	同上	誘導結合質量分析法
有機	吸着管 (TENAX GR) に吸着	イオンクロマトグラフ質量分析法

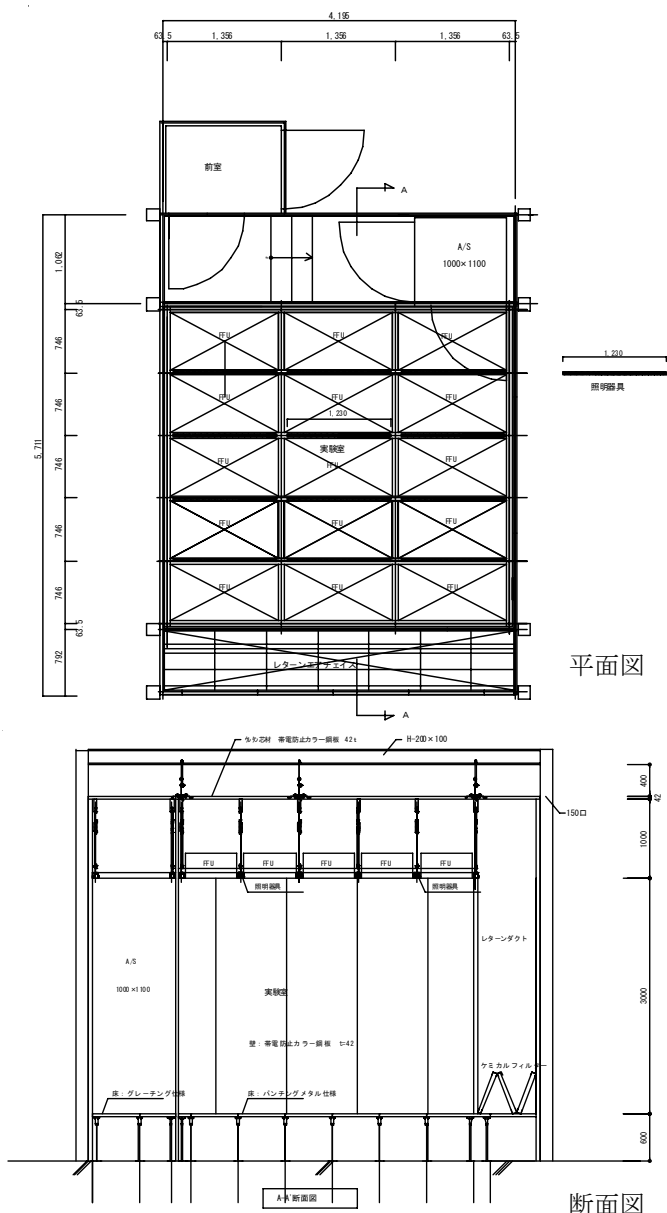


図1 クリーンルーム平面図・断面図



写真1 FFU下部のサンプリング



写真2 FFU上部のサンプリング

3.1 測定位置と測定結果

図2に測定位置と各成分の分析結果を示す。また、参考としてA工場のデータをそれぞれ右側に示す。

3.2 測定結果の考察

a. 各地点の濃度

①外気取り入れ口（外気）：

無機イオン成分と有機成分はA工場より低く、工場地帯より良好な環境にある。

金属成分はやや高いが通常の $10\sim 20\text{ng/m}^3$ の範囲にある。このことよりこの地域は平常な環境であると言える。

②外調機出口・FFU 上部・FFU 下部：

金属成分濃度はそれぞれ 3ng/m^3 、 150ng/m^3 、 160ng/m^3 と検出され、外気の 12ng/m^3 と比べて、外調機内のプレフィルター、中性能フィルターからの金属成分の発生はマイナスとなる。これは測定誤差によるものと推測される。FFU から発生する量は $160-150=10\text{ng/m}^3$ で、クリーンルーム内を循環することによって拡散、充満し、クリーンルーム中央で 150ng/m^3 の気中濃度となっている。A工場はこの値が 2ng/m^3 となっているのはフィルターロ材にポロンレス樹脂フィルターを使用しているためと予想される。

③クリーンルーム中央：

上記の金属成分以外の成分で、無機イオン成分の濃度は通常のクリーンルームの値を示しており外調機にケミカルエアワッシャーを装置したA工場とくらべても大差はない。外気の清浄さが結果に出ていると思われる。

有機成分についてはほぼ通常の濃度であるが、環状シロキサン6量体が高めに出ており、シーラントからの発生が予想される。

b. 内装材からのアウトガス量

クリーンルームの完成（外調機・FFU/排気ファン稼動開始）から4ヶ月間、半密閉状態で保存されていた内装材の試験ピースの測定結果であり、アウトガス量は NH_4^+ を除いて少ない（洩れている）。 NH_4^+ の発生量については後述の濃度予測計算で検証する。

3.3 濃度予測計算

a. 計算式

分子状汚染が内装材表面に付着し、再放出を含むそれぞれの放出量が等しくなる時、すなわち定常状態になった時は次の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} & \text{外気導入で持ち込まれる汚染量} \\ & + \text{内部発生汚染量} = \text{排気による汚染除去量} \end{aligned}$$

また、クリーンルーム内は換気量が大きいので、持ち込まれる汚染も発生する汚染も瞬時一様に室内に拡散すると仮定し、上の式を数式に置き換える。

$$C_{oa} \cdot Q_{oa} + M = C_{cr} \cdot Q_{ea}$$

C_{oa} ：外気の汚染濃度

Q_{oa} ：外気量

M ：内部発生量

C_{cr} ：クリーンルーム内の汚染濃度

Q_{ea} ：排気量

Q_{ea} はバロメトリックダンパーとクリーンルームの隙間から排出される空気量を含めると Q_{oa} と等しくなる。すなわち $Q_{ea} = Q_{oa}$ とすると、

$$\begin{aligned} \therefore C_{cr} &= (C_{oa} \cdot Q_{oa} + M) / Q_{oa} \\ &= C_{oa} + M / Q_{oa} \end{aligned}$$

この式によりクリーンルーム内の濃度を求め、測定結果と比較する。

b. 内部発生量の計算式（表2参照）

計算式1：

$$\begin{aligned} & 140\text{ng/g 日} \times 4.068 \times 4.464 \times 0.0001386 \\ & \quad \times 0.25 \times 1/24 \times 1/60 \times 1000 \times 1000 \\ & \quad = 61.2\text{ng/min} \end{aligned}$$

計算式2：

$$\begin{aligned} & (160-150)\text{ng/m}^3 \times 14.04\text{m}^3/\text{min} \times 15 \text{台} \\ & = 2,106\text{ng/min} \end{aligned}$$

計算式3：

$$\begin{aligned} & 8.9\text{ng/g} \cdot \text{h} \times 0.008 \times 0.008/\text{m} \times 8.3\text{m} \\ & \quad \times 1.05 \times 1/60 \times 1000 \times 1000 \\ & = 82.8\text{ng/min} \end{aligned}$$

c. 濃度計算と測定値の食違いの考察（表2参照）

判定欄の注1：窒素酸化物の内部発生は考えられないので、測定誤差と推定する。

判定欄の注2：シーラ材試験材料の保存状態（容器に半密閉）とクリーンルーム完成後のからの運転にさらされた状態との差が値に現れたものと思われる。

その他については一致していると言える範囲にある。

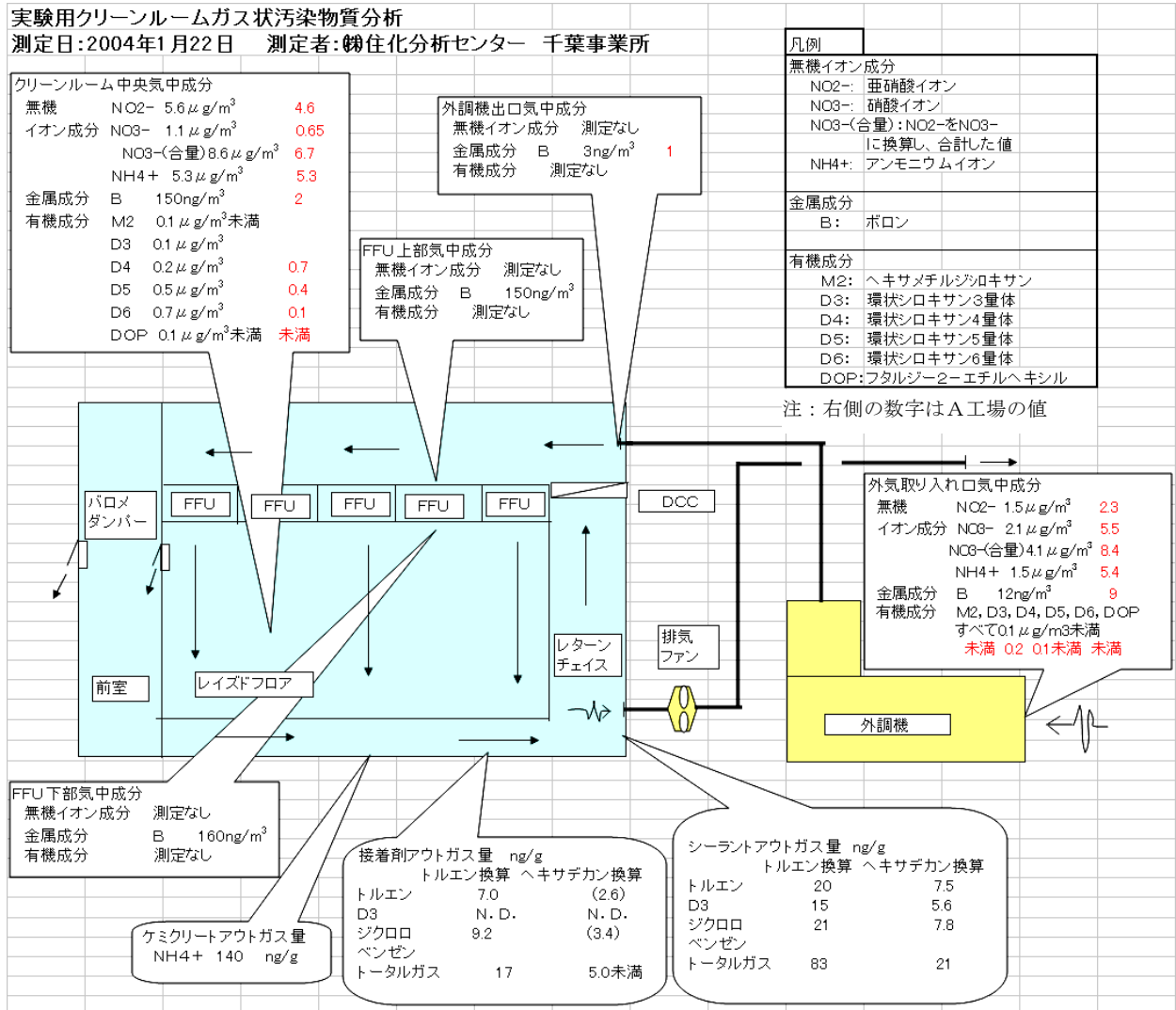


図2 測定位置と各成分の分析結果

表2 CR内成分濃度計算

成分	外気濃度 Cao	内部発生量 M	外気量 Qoa	CR内濃度計算値 Ccr	CR内濃度測定値 Ccr-m	判定
無機イオン	(μg/m ³)	(ng/min)	(m ³ /min)	(μg/m ³)	(μg/m ³)	
NO ₂ -	1.5	0	12	1.5	5.6	*注1
NO ₃ -	2.1	0	12	2.1	1.1	妥当
NO ₃ -(合量)	4.1	0	12	4.1	8.6	*注1
NH ₄ +	1.5	61.2 (計算式1)より	12	6.6	5.3	妥当
金属	(ng/m ³)			(ng/m ³)	(ng/m ³)	
B	12	2,106 (計算式2)より	12	187.5	150	妥当
有機	(μg/m ³)			(μg/m ³)	(μg/m ³)	
D ₃	0	82.8 (計算式3)より	12	6.9	0.1	*注2

4. ケミカルフィルター装着による性能検証

塩基性ガス用ケミカルフィルター枠をクリーンルームレターンチェイスと外調機に設置し、ケミカルフィルターをそれぞれ装着する場合としない場合の4つのケースについて、クリーンルーム中央のアンモニア濃度がどのように変化するかを測定した。

4.1 測定結果

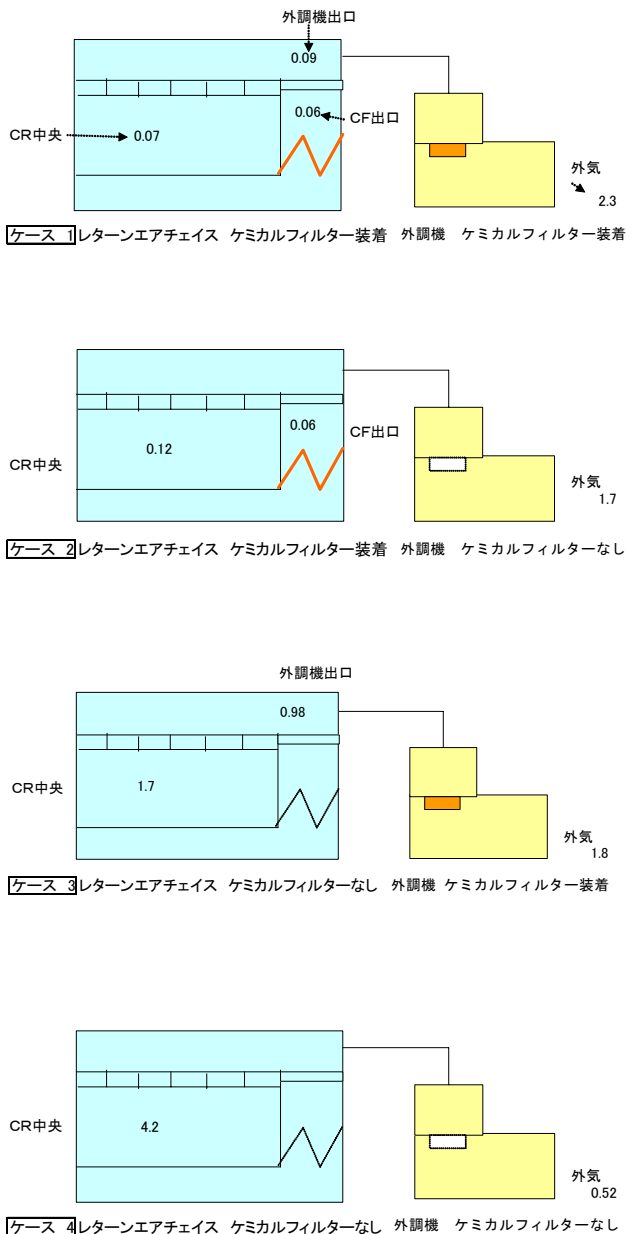


図3 フィルター装着状態（ケース1から4）



写真3 レターンエアチェイスのケミカルフィルター



写真4 サンプルング風景

4.2 測定結果の考察

ケース1の両方装着とケース4の両方未装着を比較するとクリーンルーム中央部のアンモニア濃度に大きな相違がある。外気のアンモニア濃度が日変化でケース1が高いにもかかわらず、ケース1の濃度がケース4の濃度の1.6%となっている。ケミカルフィルターの効果が顕著に現れている。

ケース2とケース3を比較してみると、外気のアンモニア濃度は差がないにもかかわらず、クリーンルームのアンモニア濃度にやはり大きな差がある。クリーンルーム循環空気にケミカルフィルターを装着した方が大きな効果が得られる。クリーンルーム室内でアンモニアの発生はまだ持続していることもわかる。ケース2の濃度はケース3の濃度の7%にしかない。

5. まとめ

本研究により以下に示す知見がえられた。

- 1) クリーンルーム内外のケミカル汚染収支は方程式がほぼ成り立つことが確認された。材料の単位量からのアウトガス発生量を精度よく求める方法を改善する必要がある。
- 2) 竣工後2年経過したクリーンルーム内でアンモニアの発生が、ケミカルフィルターの効果の確認ができ

る程に継続している。

- 3)クリーンルームのケミカル汚染濃度を低減するには循環系にフィルターを装着した方がはるかに効果的である。