# ■10 群(集積回路)-2編(集積回路製造技術)

# 5章 クリーン化技術

(執筆者: 寺本章伸) [2010年4月 受領]

### ■概要■

デバイスの微細化によって集積回路の高集積化・高性能化が達成されてきた。これらの製造技術を根底から支えているのがクリーン化技術である。テクノロジーノードといわれる微細化世代ごとにクリーンルームの清浄度管理が厳しくなり、クリーンルームの構造も変化してきている。清浄度の基準も塵埃だけでなく、化学物質成分等の低減も重要な課題となっている。ウェーハ表面のクリーン度を確保するためには、クリーンルームの高清浄化のみで対応するのではなく、ウェーハが接する雰囲気のみを局所的に清浄にする技術が進められている。また、局所的な清浄化を含めて省電力・低ランニングコスト化の技術が進められている。

集積回路製造で常に用いられる超純水、各種ガス、薬液についてのクリーン化技術は、どの分野にも先駆けて行われてきている。それらの開発は製造のみでなく、供給、貯蔵にも配慮し、ユースポイントで十分な清浄度が確保できるように進められている。

プロセスの要素技術、プロセス装置とともにクリーンルームをはじめとするガス、超純水、 薬液などのユーティリティを目的・用途に応じてクリーン化を進めていく必要がある.

### 【本章の構成】

本章では、まずクリーンルームについて、構造を含めた概要を述べ、要素技術であるフィルタ技術について述べる。さらに、クリーンルームすべてのエリアの清浄化からウェーハ周辺のみを清浄化する局所クリーン化技術も含めた省電力・低ランニングコスト技術について述べる。更に、超純水、ガス薬液の製造技術及び供給技術について述べる。

また、本章では特殊空間であるクリーンルームの安全管理とその環境を作り出すためのエネルギー消費に関しても述べる。

# 5-1 クリーンルーム

(執筆者:若山恵英) [2009年12月受領]

クリーンルームとは、日本工業規格<sup>1)</sup>では次のように定義づけられている.

『コンタミネーションコントロールが行われている限られた空間であって,空気中における浮遊微粒子,浮遊微生物が限定された清浄度レベル以下に管理され,また,その空間に供給される材料,薬品,水などについても要求される清浄度が保持され,必要に応じて温度,湿度,圧力などの環境条件についても管理が行われている空間.』

したがって、半導体プロセスにおけるクリーンルームとは、プロセスを行うにあたり、障害となる塵埃や化学成分などの汚染物質(コンタミネーション)を排除し、プロセスに供給される材料、薬液なども清浄度が保たれ、更に温湿度、振動などがコントロールされた空間ということができる。

クリーンルームの塵埃の制御レベルは ISO で規格化  $^{2)}$  されており、ISO の清浄度クラスを**表 5・1** に示す.

		- , ,						
粒径(μm)	上限濃度(個/m³)							
クラス	0.1	0.2	0.3	0.5	1	5		
ISOクラス 1	10	2						
ISOクラス 2	100	24	10	4				
ISOクラス 3	1,000	237	102	35	8			
ISOクラス 4	10,000	2,370	1,020	352	83			
ISOクラス 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29		
ISOクラス 6		237,000	102,000	35,200	8,320	293		
ISOクラス 7				352,000	83,200	2,930		
ISOクラス 8				3,520,000	832,000	29,300		
ISOクラス 9				35,200,000	8,320,000	293,000		

表5・1 クリーンルームの清浄度規格

# 5-1-1 クリーンルームの構造

次にクリーンルームの構造に関して述べる.クリーンルームの清浄度を確保するためには、まず、クリーンルーム内に導入する空気を外調機によって、外気中に含まれる塵埃や化学物質などの汚染成分を除去し、更に温湿度調整した空気がクリーンルームに送られる.クリーンルームの循環空調系にはエアーフィルタが組み込まれており、クリーンルーム内の空気を循環させることによって汚染物質を除去する.半導体用クリーンルームの空気圧は、外調機から導入される給気量とクリーンルームから排出される排気量のバランスをとり、常にクリーンルーム外よりも高い空気圧を保つことによって、外部からの汚染物質の流入を防いでいる.

クリーンルームの空気の流れは一方向流方式と非一方向流方式に大きく区分される(**図5・**1). 一方向流方式はエアーフィルタを通過した清浄空気が一定方向に流れる方式であり、多くの場合、天井全面から吹き出した空気が床下全面に吸い込まれる方式が採られている. 非

一方向流のクリーンルームでは、天井面に分散して配置された吹き出し口から清浄空気が吹き出し、床下または壁に分散配置された吸い込み口に吸い込まれる。一方向流方式のクリーンルームは高い清浄度(クラス 1~5)を確保することが可能であり、非一方向流方式ではクラス 6~8 程度のクリーンルームに採用されている。

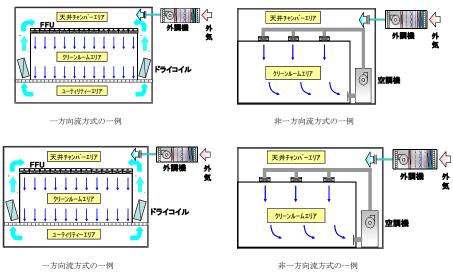


図 5・1 クリーンルームの気流方式

次にクリーンルームの方式に関して述べる。半導体プロセス用の初期のクリーンルームは 非一方向流のクリーンルームが主体だったが、年代と共により清浄度が確保できる一方向流 のクリーンルームが発展し、1980年頃にはルーム全体を一方向流方式にしたクリーンルーム も見られるようになった。

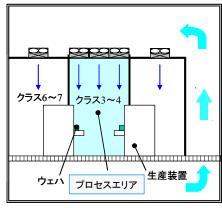


図5・2 ベイ方式のクリーンルーム

1990 年頃からは、非一方向流方式と一方向流方式を混在したベイ方式(図 5・2)と呼ばれるクリーンルームが主流となる。壁で仕切られたプロセスエリアは一方向流方式の高度清浄空間が構築され、ウェーハ表面への塵埃の付着を回避していた。2000 年頃からは、FOUP (Front Opening Unified Pod) 方式が採用されるようになり、クリーンルーム内に間仕切壁をほとんど設置しないボールクリーンルームが主流となってきた。ボールクリーンルームでは、クリーンルーム内の塵埃の管理が 1990 年代に比べて緩和される傾向となったが、生産装置内部やストッカー、移載装置などウェーハが直接暴露される部位では高度なクリーン度が確保されている。

## 5-1-2 フィルタ技術

クリーンルームの清浄度を確保するためには多くのエアーフィルタが使用されている. エアーフィルタは,外調機に用いられるものとクリーンルーム及び循環空調系で用いられるものに大別できる. また,除去対象に関しては塵埃と化学物質に分けられる (表 5・2).

外調機用のエアーフィルタの構成としては、上流側から粗塵除去を対象としたプレフィルタ、大気中の塵埃を除去する中性能フィルタ、 $0.3~\mu m$  を除去対象粒径とした HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタが使用されている。また、大気中に含まれる  $NO_x$ 、 $SO_x$ やアンモニアなどの化学成分除去のためにケミカルフィルタを外調機の中に設置することもある。同様に、アンモニアなど水溶性化学物質の除去のために、導入外気と純水を気液接触させ、水溶性の化学物質の除去するエアワッシャを設置することが化学汚染物質の制御の必要なクリーンルームでは一般的になってきている  $^{3)-5}$ .

クリーンルーム及び循環空調系に使用されるエアーフィルタは、塵埃の管理レベルによって、除去対象粒径が  $0.3~\mu m$  の HEPA フィルタと対象粒径が  $0.1~\mu m$  の ULPA (Ultra Low Penetration Air) フィルタが用いられている。また、半導体の高性能化とともにクリーンルーム内の化学物質制御の目的でケミカルフィルタを循環系に使用することが微細化の進んだプロセスでは多くなってきている。

表 5・2 エアフィルタの用途と種類						
J	用途	フィルタ名称				
		ブレフィルタ				
	除塵用	中性能フィルタ				
		HEPA フィルタ				
外調機	海塩粒子除去用	海塩粒子除去フィルタ				
		ケミカルフィルタ(酸用)				
	化学汚染除去用	ケミカルフィルタ(アルカリ用)				
		エアーワッシャー				
	除塵用	HEPA フィルタ				
クリーンルーム (循環空調系)	<b>陈座</b> 州	ULPA フィルタ				
	化学汚染除去用	ケミカルフィルタ(酸用)				
	пот узжекалі	ケミカルフィルタ(アルカリ用)				

表 5 \* 2 エアフィルタの用途と種類

ULPA フィルタ、HEPA フィルタなどの高性能フィルタは、ケミカルフィルタより下流側に設置される最終段のフィルタとなる. 1990 年頃までの高性能フィルタは、塵埃に関しては十分な捕集効率を達成していたが、エアーフィルタそのものから発生する化学物質に対してはほとんど未対策であり、むしろ化学汚染の発生源であった. 1995 年以降になると化学汚染対策を行った高性能エアーフィルタが開発されり、現在でも幅広く使用されている.

## 5-1-3 ウェーハ搬送技術

1980 年代頃までの半導体製造のウェーハ搬送は、ウェーハをカセットに入れたまま、工場内を搬送する、いわゆるオープンカセット方式が主流であった。そのため、ウェーハ表面の清浄度はクリーンルームの清浄度に依存されていた。1980 年代中頃には ASIST 社から、ウェーハを保管・搬送可能な樹脂製の SMIF(Standard of Mechanical Interface)が発表され、ウェーハが直接クリーンルームの空気に接しないような技術が登場した。更に 2000 年以降になると、300 mm ウェーハ対応の量産工場においては、樹脂製の FOUP(図 5・3)が採用されるようになり、FOUP の搬送も OHT(Overhead Hoist Transfer)などの自動搬送システムで搬送されるようになった。

FOUP などボックスを用いたシステムは、パーティクル汚染の制御を中心に考えられており、ボックスを構成する樹脂からのアウトガスやプロセスガスなどによるクロスコタミネーションによるボックス内汚染対策に関しては、完全には対策がとられておらず、今後の課題としてあげられる。ボックス内のクリーン化に関してはクリーンドライエアーなどを用いた技術が注目されている 7.



**図5・3** FOUP 出典:信越ポリマー株式会社 HP(http://www.shinpoly.co.jp)

### 5-1-4 省電力・低ランニングコスト技術

半導体製造用のクリーンルームのエネルギー消費量は、クリーンルームの方式によって異なる 8. 1980 年代に主流だったベイ方式のクリーンルームは、大型の軸流ファンによる送風方式をとっていたため、風速が高速になると発生騒音が大きくなり、消音のための消音器の設置が必要となっていた。そのため、軸流ファンを用いたベイ方式のクリーンルームは、搬送動力が大きく、消費電力量も大きかった。この搬送動力の低減策として考案されたのが FFU (Fan Filter Unit) 方式であり、この方法は小型のファンとエアーフィルタを一体化したユ

ニットを天井面に多数配置することによって清浄度を確保する方式である.

更に 2000 年以降になると、FOUP の採用によって、ウェーハはクリーンルームの空気と隔離されるようになり、ボールクリーンルームの塵埃のレベルはベイ方式のクリーンルームの ISO クラス 3~4(プロセスエリア)から、クリーンルーム全体が ISO クラス 6 程度のクリーン度に緩和することが可能となった。その結果、クリーン度が緩和されることによって、循環風量も削減することが可能となった。FOUP を用いたボールクリーンルームでは、従来型のクリーンルームと比較して約 40 %程度のランニングコスト低減が達成できている報告 9 もある.

しかしながら、クリーン度の確保の点からは循環風量を低減できても、装置発熱などの熱 負荷除去のために循環風量を低減できないこともある。クリーンルーム全体のエネルギー消 費量を削減するためには、クリーンルーム設備と製造装置を一体化した省エネルギー対策を 行うことが必要である。例えば、生産装置排気量が削減できれば、外気導入量も削減可能で あり、装置発熱に関してもクリーンルーム空気で空冷するのではなく冷却水による水冷方式 をとることによって、クリーンルームの熱排気量の削減が可能となる。つまり、製造装置側 の条件を十分把握して適切なクリーンルームの計画を行うことが今後のクリーンルームのエ ネルギー削減の課題といえる。

また、クリーンルーム自体のエネンルギー削減の方法としては、フリークリーングを用いた冷凍機負荷の低減や DC ブラシレスモータを用いた FFU の搬送動力の低減、膜式滴下浸透型のエアワッシャーによる加湿などの技術 8 に加え、リターンシャフトや天井のない省エネルギータイプの空調方式 10 の提案もなされるようになってきている.

- 1) JIS Z8122 コンタミネーションコントロール用語.
- 2) ISO 14644-1 Cleanrooms and associated controlled environments-Part1: Classification on air cleanliness.
- 3) 吉崎誠司郎 他, "エアワッシャによる大気中のケミカル物質の除去 (その4)," 第 18 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.47-49, 2000.
- 4) 稲葉 仁 他, "エアワッシャーにおける親水性エリミネータの有効性,"第 18 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.50-53, 2000.
- 5) 社団法人日本空気清浄協会省エネルギー部会編, "委員会報告書 半導体工場の省エネルギー技術の動向と消費エネルギー計算方法," pp.28-29, 2001.
- Y. Wakayama et al, Proceedings 15th ICCCS International Symposium, 14-18May, Copenhagen, pp.290-301, 2000
- 7) 大見忠弘 他, "小規模生産ラインとクリーン化技術," クリーンテクノロジー, vol.39, no.5, pp.4-15, 2002.
- 8) 大成建設(㈱クリーンルーム技術研究会,"クリーンルームがわかる本,"日本実業出版,2008.
- 9) 光井 章 他, Matsushita Technical Journal, vol.52, no.1, pp.17-20, Feb. 2006.
- 10) 長谷部弥 他,"「タスク&アンビエント」クリーン空調に関する研究(その1.アンビエントクリーン空調システム),"第25回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集,pp.155-158,2007.

# 5-2 超純水技術

(執筆者:今岡孝之) [2009年12月受領]

超純水は、集積回路製造における洗浄工程で用いられる.洗浄の最終工程で半導体表面と接触するため、超純水の不純物を徹底的に低減することが求められる.また、プロセス数の増大や基板の大型化に伴い、製品当たりの超純水使用量が増大する傾向があり、使用済みの水回収、排液からの有価物回収、省エネルギーといった環境対応が強く求められている.

### 5-2-1 超純水製造システム

超純水は、河川水、地下水、工業用水などを原水として、複数の水処理技術を組み合わせて製造される. 表 5・3 に超純水製造における不純物の種類と除去方法を示す. 集積回路の性能を劣化させる微粒子、有機物、無機イオン類を、イオン交換樹脂、逆浸透 (RO) 膜を用いて除去する. 酸素や窒素といった溶存ガスも脱気膜を用いて除去または適切な濃度に制御する.

		除去方法							
		ろ過器	活性炭	イオン 交換樹脂	RO膜	脱気 装置	UV 殺菌	UV 酸化	UF膜
	微粒子			0	0				0
丕	生菌				0		0	0	0
純物	有機物	0	0	0	0			0	
の種	無機イオン			0	0				
類	シリカ	0		0	0				
	溶存酸素					0			

表5・3 不純物の種類のその除去方法

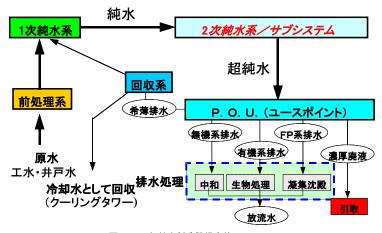


図5・4 超純水製造設備全体フロー

図5・4 に超純水製造システム全体フローを示す. 超純水製造工程を大別すると, 前処理系, 1 次純水系, 2 次純水系 (サブシステム) と順次処理が行われユースポイントへ供給される. ユースポイントで使用された超純水は工程排水として排出され, 希薄排水を回収処理する排水回収系が設けられる.

前処理系では原水中に含まれている懸濁物質や微粒子などの比較的大きい不純物を低減し、その処理水を 1 次純水系に送っている. 前処理系は原水の水質変動を吸収し、1 次系に送る水質を安定化する目的ももつ.

1 次純水系では、水中に存在している微粒子、金属、イオン類や有機物などの不純物を除去することで1次純水を製造し、2次純水系(サブシステム)に純水を供給する。1次純水系の構成例を**図5・5**に示す。図5・5の例では、2 床 3 塔式イオン交換装置でほとんどのイオン成分を除去し、続いて逆浸透(RO)装置で有機物とイオン交換装置で除去しきれなかったイオン成分の除去を行う。更に、真空脱気塔を経て溶存酸素などのガス成分が除去される。最後に、2 床 3 塔式イオン交換装置よりもイオンの捕集効率が優れている混床式イオン交換装置のモノベットポリッシャを用いて1次純水を得る。

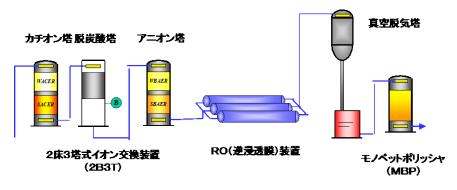


図5 5 1 次純水系の構成例

図5・5の1次純水系の例では、イオン成分除去に2床3塔式イオン交換装置とモノベットポリッシャといった薬品再生型のイオン交換装置を用いている。近年、イオン成分除去に、電気再生式イオン交換装置(EDI)を用いることで、再生薬品を使用することなく連続的にイオン交換機能維持することが可能となっている。図5・6に電気再生式イオン交換装置(EDI)の概観を示す。また図5・7に、逆浸透膜(RO)装置と電気再生式イオン交換装置(EDI)を用いた1次純水装置例を示す。

2 次純水系 (サブシステム) は、1 次純水の供給を受け、1 次純水中の不純物を更に低減することと、超純水水質を高水質で維持するための役割がある. 図 5・8 にサブシステムの構成例を示す. 熱交換器で水温を一定化し、紫外線酸化装置では 185 nm の紫外線照射により水中で OH ラジカルを生成し、その酸化力によって有機物を最終的には二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) にまで分解する. 続いて、カートリッジポリッシャ (非再生型のイオン交換装置) により、極微量のイオン成分不純物を除去する. 超純水装置の末端には限外ろ過膜 (Ultra Filtration: UF) 設けられていて、微粒子や生菌類を除去する. すべてのユースポイントで常時一定圧力で超

純水供給を行うために、供給配管系はリバースリターン方式を用い、超純水は約30%リターン配管を通じ超純水タンクへ循環する.また、2次純水系に用いられる装置や配管といった構成材料は低溶出物材料を用い、かつ汚染のない組立技術が求められる.







図5・6 電気再生式脱塩装置 (EDI)



図5 7 超純水製造装置例

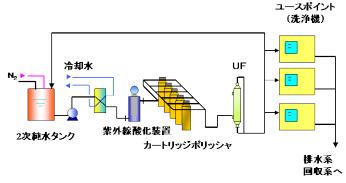


図5・8 2次純水系の構成例

## 5-2-2 排水回収システム

排水回収システムでは、集積回路製造時の洗浄やウェットエッチング、現像といったウェットプロセスから排出される排水中には、使用された超純水に薬液及び溶解した汚染や基板材料成分が溶解しており、それらを効率よく分離することで、水と有価物を回収する.水や有価物を効率よく行うためには、排水の種類(無機系排水、有機系排水、フッ素含有排水など)と排水濃度(希薄排水、濃厚排水)によって工程排水を分別することが重要になる.実稼働している超純水製造装置の水回収率は通常80%以上と高い割合になっており、ほぼ100%水回収を行うクローズドシステムも実用化されている.

図5・9に水回収率とランニングコストの削減効果の関係について示す.図5・9の条件では、工業用水を原水とし排水の放流先が下水になるようなケースを想定している.水の回収率を高めていくとランニングコストは低下して、回収率70~80%の間で最もコストが低くなる.更に回収率を高めようとするとコストは急激に大きくなる.回収率を100%近くまで高めようとすると、濃厚排水の回収が必要になるために、回収再利用のためのコストが大きくなる.環境保全、資源有効利用の観点から濃厚排水の低コスト、省エネルギー型の回収システムの開発が行われている.

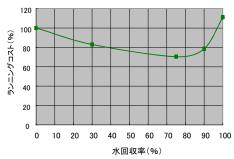


図5・9 水回収率とランニングコストの関係

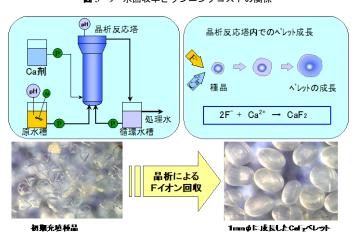


図5・10 晶析法によるフッ素回収

図 5·10 に晶析法によるフッ酸回収システムの概念図を示す。エッチングなどで使用された濃厚のフッ酸廃液から晶析反応を利用して、高純度のフッ化カルシウムペレットの形態でフッ素の回収を行う。

# 5-2-3 超純水評価技術

超純水の管理項目と評価方法及び要求値、保証値、実力値を表5・4に示す評価方法については、モニタ計器によるオンライン測定と通水サンプリングやボトルサンプリングによるオフライン測定がある。図5・11には、サンプリング方法とそれに対応する測定計器を示す。オフライン測定の場合、採取容器や外気から不純物を混入させない技術が必要となる。通水サンプリング法では、微粒子や生菌の計測のように超純水から微粒子や生菌を捕捉するためのフィルタを設置して、フィルタ上に対象物を捕らえる。その後、フィルタ上に捕集された微粒子や生菌を計数する。ボトルサンプリングでは、超純水をボトルにサンプリングして、サンプルボトルを分析機器のある場所に持ち込んで測定する。オフライン測定では、コンタミネーション要因を排除するために環境(サンプリング場所)、サンプリング容器とハンドリング(サンプリング操作)について細心の注意が必要となる。

	要求值		超額水水質 保証値 実力値		測定法	
抵抗值(MΩ·cm)	≥18.2		≧18.1	≧18.2	抵抗率計	
粒子個数(>0.05 μ 個/ml)	< 0.9		<5	<b>&lt;1</b>	SEM法	
パクテリア(cfu/l)	<b>&lt;</b> 1		<b>&lt;</b> 1	<0.1	培養法	
TOC(μg/I)	<1		<2	<0.6	TOC計	
SiO <sub>2</sub> (µgSiO <sub>2</sub> /l)	<0.5		<0.5	<0.1	イオンクロマト法	
主なイオン(ng/l)	<50		<100	<1	イオンクロマト法	
主な金属(ng/l)	<1.0		<b>(1</b>	<0.1	ICP-MS	
溶存酸素(μg/I)	<10	ı	<50	<3	溶存酸素計	
溶存窒素(mg/l)	8-18		12-18	14-15	溶存窒素計	
過酸化水素(μg/l)	_		_	20	吸光度法	

表 5・4 測定項目と測定方法

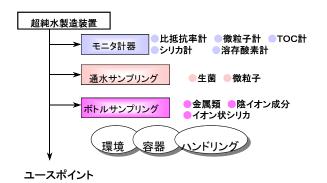


図 5・11 超純水水質評価技術

ボトルサンプリングによる金属類の測定を例にして、オフラインサンプリングから測定までの留意点を**図 5・12** に示す. 超純水分析を行う場合、サンプリング容器からの汚染を防ぐための容器洗浄、輸送手段や測定までの保管期間、更に高感度分析のための分析前濃縮操作における汚染防止に注意を払う必要がある. また、陰イオン分析においては、大気中からアンモニア、NO、SO、といったガス成分の混入防止が重要となる.

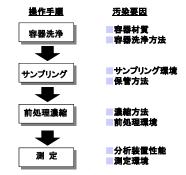


図 5・12 超純水中の極微量金属類測定の手順

図 5・13 に分析環境の不純物ガス濃度を示す. 一般実験室では外気由来の  $NO_x$ ,  $SO_x$ が存在し超純水分析を行う際にサンプルが汚染を受ける. クリーンベンチ (B) は,クリーンルーム内でケミカルフィルタを用い,不純物ガスが低減されたクリーンベンチであり,超純水分析を行う際にアンモニア, $NO_x$ ,  $SO_x$ といったガス類の影響を受けにくい.

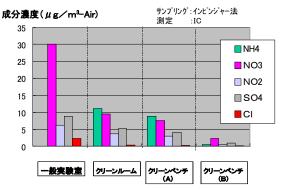


図5・13 分析環境中の不純物ガス成分

集積回路製造において、超純水の用途は、主に洗浄、エッチング、現像などのウェットプロセスであり、その高純度化は基板表面のクリーン化に直結した重要技術である。また、超純水と薬液の低コスト、省エネルギー型の回収技術は、集積回路製造コストや地球環境保全に不可欠な技術であるといえる。

- 1) 川田和彦, "超純水製造設備と省エネルギー," クリーンテクノロジー, vol.19, no.5, pp.3-7, 2009.
- 2) 清水和彦, "省資源・省エネルギー型排水処理設備," クリーンテクノロジー, vol.19, no.5, pp.8-11, 2009.

# 5-3 ガスクリーン化技術

(執筆者:石原良夫) [2009年12月受領]

ガスは、集積回路製造におけるキーマテリアルであり、150種類を超えるようになった<sup>1)</sup>. 一般的な量産化学プロセスがバルクな化学反応に依存するのに対し、集積回路製造プロセスは多彩な物理化学反応を駆使する。例えば、化学気相成長(CVD)やエッチングなどでは、様々な反応様式を用いてガスの化学機能を発現させる.

最もその製造プロセスに大きな影響を与えるガス中の不純物は水分( $H_2O$ )である。 $H_2O$  は他のガスと比較して固体表面に吸着しやすく除去しにくい。 $H_2O$  の存在下で塩化水素(HCI)などのハロゲン系ガスは容易に解離し、金属汚染を引き起こす一因となる  $^{2,3}$ )。一方、モノシラン( $SiH_4$ )などの水素化物系ガスは、配管などの金属表面の触媒作用により、本来そのガスがもつ分解温度よりも低い温度で容易に自己分解する  $^{4,5}$ )。更に、表面に吸着した水分の触媒作用によっても影響を受ける  $^{6,7}$ )ウェーハ上に必要な成膜・エッチングを目的通りに操作し、所望のデバイス構造を作り上げるためにはプロセスチャンバ内に各種ガスを所望の組成比と流量、所望の圧力で、かつクリーンな状態で供給する必要がある。

本節では、ガス製造技術について概観した後、クリーンガスを実現するための供給・配管システムについて説明する. また、ガスの無害化処理と地球温暖化対策について説明する.

# 5-3-1 クリーンガス製造技術

集積回路製造プロセスに用いられるガスは、バルクガスと特殊ガスに大別される。バルクガスは主に雰囲気制御として用いられるもので、空気中より深冷分離法  $^8$ ) などにより分離・精製されるガスであり、窒素( $N_2$ )、アルゴン(Ar)、酸素 ( $O_2$ )やクリプトン(Kr)、キセノン(Xe)など希ガスである。地中から採掘・精製されるヘリウム(He)も、バルクガスの一種として区分されている。また、水素( $H_2$ )もバルクガスの一種であるが、各種化学品製造における副生成物として採取される場合と、オンサイトで製造される場合がある。一方、特殊ガスは各プロセスにおいて成膜材料やエッチング種として用いられるもので、各種化学合成プロセス  $^9$ ,  $^{10}$  を経て製造される。

 $N_2$ や  $O_2$ は、空気を圧縮後、空気中の  $H_2$ などを触媒によって  $H_2O$  に転換し、 $H_2O$  を吸着除去したドライ空気( $H_2O$  濃度;数 ppb)を原料とする。ドライ空気は、断熱膨張により冷却・液化された後、精留によって分離されて  $N_2$ 及び  $O_2$ となる。Ar など希ガスは、 $O_2$ に濃縮されるため  $O_2$  を再蒸留して得られるが、大気中の存在比が小さいため数万  $m^3$ /時レベルの製造能力を有する大型プラントからのみ生産される。更にクリーンなガスを得るために、精製装置が用いられる。精製装置は、不純物ガスの固体表面との反応あるいは物理吸着をその原理としており、Ni あるいは  $Z_r$  との反応、触媒を用いた易吸着物( $H_2O$  や  $CO_2$ )への転換と物理吸着との組合せがある  $^{11}$ )。更に、 $H_2$ の精製方法として Pd 合金膜を H が選択的に透過することを利用した Pd 拡散透過式がある  $^{11}$  。空気中の存在比が極端に少ない Kr や Xe は、チャンバからの排出ガスから Kr 、Xe のみを濃縮・分離・精製する装置が開発されている  $^{12}$ 1.  $^{13}$ 1.

各種化学合成プロセスによって製造された特殊ガスは、精製後 <sup>14</sup>、所望の濃度に希釈混合されてクリーン容器 <sup>11</sup>) に充填される、アンモニア (NH<sub>2</sub>) など大量に使用される特殊ガスは、

物理吸着式を用いた精製装置 15) によって不純物が除去され、プロセスチャンバへ導入される.

## 5-3-2 ガス供給・配管システム

図 5・14 は,集積回路製造ラインへの各種ガス供給の一例を示す.バルクガスは,液化ガスあるいは圧縮ガス状態でガス供給ヤードへ運搬され,気化・減圧されて集積回路製造ラインへ配管により一括供給される. $N_2$  は,その使用量に応じてヤード内に専用の深冷分離型  $N_2$  製造装置を設置する場合もある.ガス供給ヤード出口では,ガス分析装置によってその不純物挙動が常時分析される.精製装置上流では,ガスクロマトグラフ(GC)が一般に用いられるが,精製後のクリーンガスを分析する場合は大気圧質量分析装置(APIMS) $^{16,17}$  あるいは GC と AIPMS との組合せ $^{18)}$  を用い,1 ppt の検出感度で 100 ppt レベルの不純物を監視することもあり,精製装置を通したウルトラクリーン  $N_2$  (UC- $N_2$ ) 中の不純物は 0.1 ppb 以下である.

一方,特殊ガスは、安全対策のため容器を収納するシリンダーキャビネット (C/C) に容器を収納し、製造ライン内から供給を行うのが一般的である. なお、ガスの安定供給を目的として、精製装置や C/C の設計では FMEA (Failure Mode & Effect Analysis) 19) を導入している.

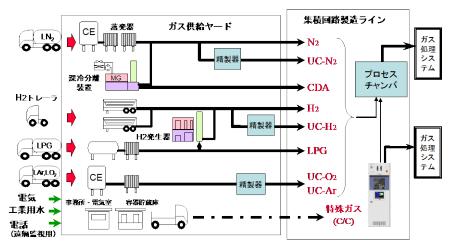


図5・14 集積回路製造ラインへの各種ガス供給の一例

300 mm ウェーハを 30000 枚/月処理する製造ラインでは、 $N_2$ を流量約 10000  $m^3$ /時で使用し、製造ライン内の配管総長は 20~km にも及ぶ。前述したように、 $H_2O$  に起因するプロセスの擾乱を低減し安定したプロセスを行うためには、外部リークがなく  $H_2O$  の脱離が容易で、パーティクルの発生や表面触媒性がなく、耐腐食性を有する表面が必要である。また、ガスとの接触面積が極小でガス滞留部がない配管系が必須となる。クロム酸化物( $Cr_2O_3$ )  $^{20}$ )やアルミナ( $Al_2O_3$ )  $^{21}$ )を表面に形成する表面処理技術や配管施工技術、容器処理技術  $^{11}$ などが開発され、量産現場において使用されている。

配管と同様にガス供給系を構成する重要な部品に弁,マスフローコントローラ,フィルタがあり,いずれも配管と同レベルの処理がされたものが使用されている<sup>11</sup>). 弁内部構造の工

夫により現在市販されている弁の内容積は、同じ面間をもつ 1/4 インチ配管と同じであり、 その内表面積も配管の 20%増加に留まっている。

以上の技術開発により、ITRS におけるガス純度要求値<sup>22)</sup> に対し、その値を充分満足できるガスの供給が可能である。

## 5-3-3 ガス処理システム

高圧ガス保安法では、特殊高圧ガスに代表される危険なガスに対し消費設備(集積回路製造プロセス)から排出されたガスや容器置場でのガス漏洩時の保安対策として排ガス処理システムの設置を定めている<sup>23</sup>. 製造プロセスにおける排ガス処理システム設置の目的は、**図**5・15に示すとおりであり、それぞれのプロセスに応じて様々な方式がある.

研究開発などの少量用途やイオン注入プロセスでは、金属ハロゲン化物を主成分とした薬剤上で特殊ガスを反応分解する薬剤固定式が用いられている. 一方、量産プロセスでは特殊ガスに様々なエネルギーを加えて強制分解させる燃焼式やプラズマ分解式が用いられている. 燃焼式などは別途水処理システムが必要である.

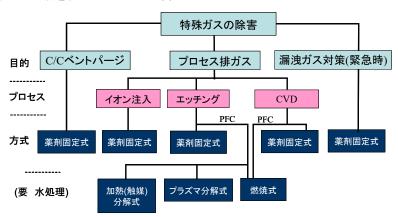


図5・15 ガス処理システムの目的と方式

国連気候変動枠組み条約締約国京都会議(COP3)以降,排ガス処理装置には従来の目的だけでなく「地球環境保護」の役割も求められている。集積回路製造プロセスより排出されるパーフルオロコンパウンズ(PFC)の  $CO_2$ 換算量は総  $CO_2$ 排出量の数%にすぎないが、世界半導体会議において削減目標が定められた  $^{24}$ )。これに対応すべく,除去効率の向上と処理エネルギーの更なる削減のため,プラズマ分解と薬剤固定の組合せ式  $^{25}$ や回収式  $^{2627}$ も提案されている。

- 1) 石原良夫, "半導体ガスの危険性と安全対策," 応用物理, 68(11), pp.1275-1276, 1999.
- T. Ohmi, M. Nakamura, A. Ohki, K. Kawada, and K. Hirao, "Trace Moisture Analysis in Specialty Gases," J. Electrochem. Soc., 139(9), pp.2654-2658, 1992.
- 3) Y. Ishihara, T. Ohmi, H. Hasegawa, T. Ikeda, T. Takasaki, S. Yamane, and R. Fukushima, "Electrical

- Conductivity Measurement in Liquefied Hydrogen Chloride," J. Electrochem. Soc., 141(1), pp.246-250, 1994.
- 4) 渡邊剛,三好伸二,大木厚志,川田幸司,高橋慎治、マイケル・チェン,大見忠弘,"シランガス熱分解特性の各種シリコン表面依存性,"信学技報,92(187), SDM92-50, pp.39-46, 1992.
- Y. Shirai, S-K. Lee, S. Moyoshi, and T. Ohmi, "The Evaluation of Thermal Decomposition Characteristics of Active Specialty Gases on Various Metal Surfaces Using FT-IR Method," Proc. Institute of Environmental Science, pp.17-21, Apr./May 1995.
- T. Makita, K. Nakamura, A. Tachibana, H. Masusaki, K. Matsumoto and Y. Ishihara, "Quantum Chemical Mechanisum of Heterogeneous Reaction between Trichlorosilane and Adsorbed Water," Jpn. J. Appl. Phys. 1, 42(7A), pp.4540-4541, 2003.
- N. Ibuta, F. Sagara, K. Doi, K. Nakamura, A. Tachibana, Y. Ishihara, and K. Suzuki, "Reaction Processes of Germane Molecules with Catalytic Water," Jpn. J. Appl. Phys. 1, 44(6A), pp.4133-4141, 2005.
- 8) 川上 浩, "空気の深冷分離-蒸留による酸素の製造-," 日本酸素技報, 20, pp.2-11, 2001.
- 9) C. Yaws, "MATHSON GAS DETA BOOK," McGraw-Hill NY, 2001
- 10) 東レリサーチセンター, "危険性ガス状物質," (株)東レリサーチセンター, 1992.
- 11) UCS 半導体基盤技術研究会編, "超高純度ガスの科学第2分冊,"(株)リアライズ, 1994.
- Y. Ishihara, T. Urakami, A. Nakamura, H. Hasegawa, and T. Ohmi, "Recycling and Supply System with High Recovery Ratio for Krypton Plasma Processes," Proc. ISSM 2002, pp.77-80, Oct. 2002.
- M. Yamawaki, T. Urakami, Y. Ishihara, Y. Shirai, A. Teramoto, and T. Ohmi, "Development of a Xenon Recycling and Supply System for Plasma Processed." Proc. ISSM 2007, pp.175-178, Oct. 2007.
- 14) T. Ikeda, H. Noda, and K. Mstsumoto, "The elimination of H<sub>2</sub>O and SiH<sub>4</sub> in AsH<sub>3</sub>," J. Crystal Growth, 124, pp.272-277, 1992.
- 15) 小林芳彦, 万行大貴, 小野宏之, 池田拓也, 池永和正, 松本功, 杉原健一, 渋谷和信, "有機金属気相成 長法による GaN 系化合物半導体成長に対する NH<sub>3</sub> ガス中水分の影響," 大陽日酸技報, 26, pp.1-6, 2006.
- 16) Y. Mitsui, T. Irie, K. Mizokami, K. Kiriyama, K. Nakano, and Y. Nakamura, "Quantitative Analysis of Trace Water in Highly Purified Nitrogen Gas by Atmospheric Pressure Ionization Mass Spectrometer," Jpn. J. Appl. Phys. 34, pp.4991-4996, 1995.
- 17) Y. Mitsui, F. Yano, Y. Nakamura, K. Kimoto, T. Hasegawa, S. Kimura, and K. Asayama, "Physical and chemical analytical instruments for failure analyses in Gbit devices," 1998 IEDM Technical Digest, pp.329-332, Sun Francisco, Dec. 1998.
- 18) 菊池 勉, 西名 明, 佐藤哲也, 君島哲也, "GC/APIMS を用いたバルクガスの新自動分析システムの 開発," 日本酸素技報, 19, pp.9-14, 2000.
- 塩見 弘、島岡 淳、石山敬幸、"FMEA,FTA の活用、"日科技連出版、1983.
- Y. Shirai , M. Narazaki, and T. Ohmi, "Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Passivated Gas Tubing System for Specialty Gases," IEICE Trans. Electron, E79-C(3), pp.385-391, 1996.
- Y. Yoshida, A. Seki, Y. Shirai, and T. Ohmi, "Passivation of stainless steel by δ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films resistant to ozonized water," J. Vac. Sci. Technol. A, 17(3), pp.1059-1065, 1999.
- 22) http://www.itrs.net/Links/2007ITRS/2007 chapters/2007 Yield.pdf
- 23) 高圧ガス保安協会編, "高圧ガス保安法令関係例示基準資料集," 高圧ガス保安協会, 2003.
- 24) http://www.semiconductorcouncil.org/news/agreement\_white\_papers.php
- 25) K. Suzuki, Y. Ishihara, K. Sakoda, Y. Shirai, M. Hirayama, A. Teramoto, T. Ohmi, T. Watanabe, and T. Itoh, "High-Efficiency PFC Abatement System Utilizing Plasma Decomposition and Ca(OH)<sub>2</sub>/ CaO Immobilization," IEEE Trans. SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, 21(4), pp.668-675, 2008.
- T. Horio, T. Sawayama, and K. Anraku, "Evaluation of PFC Collection System for PFC Emission Reduction," Proc. 15th Annual Conf. ISESH, CD-ROM, Sapporo, Jun. 2008.
- 27) 寺門純一, "六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) の回収技術," J. Vac. Soc. Jpn., pp.397-399, 2009.

# 5-4 薬品クリーン化技術

(執筆者: 二井啓一) [2018年9月 受領]

半導体デバイスの高集積化・高機能化が益々進んでいる。スマートフォン、携帯型タブレットの需要増だけでなく、クラウド化の進展によるサーバ市場の拡大、インターネットの高度化や IoT (Internet of Things) の普及、AI (人工知能)の活用などから特にメモリの需要がますます高まっているなかで、DRAMも微細化により限界と言われる 1x nmの世代に突入し、3D-NAND型フラッシュメモリでは微細化から多層化へと技術開発がシフトしている。

半導体デバイスの高集積化・高機能化により、半導体製造プロセスが複雑になっており、製造プロセスも増加している。また、半導体製造プロセスの複雑化から、エッチングプロセスなどウェットプロセスから機能性ガスを利用したドライプロセスへと移行したプロセスもあるが、シリコンウエハの洗浄をはじめとする洗浄プロセスは、現在もウェットプロセスが主流である。3D-NAND型フラッシュメモリの多層化などによる半導体製造プロセスの増加、また枚葉プロセルが増加しているため、高純度薬液の需要も堅調に増加することが予想される。高純度薬品に求められる性能、品質の向上はますます厳しくなるだけでなく、需要拡大への対応も必要となっている。

半導体製造プロセスには、過酸化水素水・アンモニア水・塩酸・硫酸・フッ化水素酸に代表される無機薬品、シリコンウエハの乾燥に使用されるイソプロピルアルコール (IPA) などの有機薬品、これに現像液(水酸化テトラメチルアンモニウム:TMAH)、レジスト材料、ポリマー洗浄液、CMP後洗浄液などを加えた数多くの高純度薬品が使用されている.

ここでは、まず高純度薬品の製造技術について述べたのち、高純度薬品をウエハ上へ供給するための薬品供給・配管システムについて説明する。また、環境への化学物質の排出量を削減するための薬品処理システムについても述べる。

# 5-4-1 高清浄薬品製造技術

半導体製造プロセスにおいて半導体薬品への要求事項を一言で述べると、「不純物が少ないこと」、いわゆる高純度化である。半導体デバイスの高性能化を実現するには、理想に近い界面を形成することが必須であるが、半導体製造プロセスにおいて理想の界面を形成するためには高純度薬品は不可欠といえる。

半導体薬品の不純物として、カチオン、アニオン、液中粒子が挙げられる. 1980~1990 年代、半導体薬品中の金属不純物は 10 ppb、液中粒子径は 0.5  $\mu$ m 程度であった。その後も、精製工程などの薬品の高純度化技術、不純物の溶出を極限したクリーン容器技術、フィルタ性能、不純物の評価技術、クリーンルームに代表される超高清浄度環境技術、超純水製造技術の向上により、7 nm プロセスのロジック、1x nm プロセスの DRAM の技術開発が進む現在においては、高純度薬品の用途/プロセスによっても異なるが、金属不純物は一桁 ppt、液中粒子径は 0.05  $\mu$ m 以下で品質管理されているものもある。

半導体製造プロセスにおいて,ウエハ上の金属不純物は、半導体デバイスの電気的特性を 致命的に劣化させることが知られている. PN 接合電流リーク,酸化膜耐圧不良,キャリア ライフタイム低下などである.これらの不良を防止するため、半導体薬品の金属不純物の低 減は不可欠であり、近年の評価技術の向上、分析装置の高性能化により、高純度薬液中の金属不純物は ppt レベルで管理されるようになった。また、パーティクルは構造欠陥を生じさせ、デバイスの信頼性や歩留まりの低下を引き起こす要因となり、高純度薬液中の液中粒子数とウエハ上のパーティクル数・デバイスの欠陥/歩留まりには相関関係がある。しかし、歩留まりに影響する粒子サイズは一般的に最小パターン寸法の 1/5~1/10 と言われており、評価技術などの問題により、最新の半導体のテクニカルノードと、高純度薬液の品質管理を行っている液中粒子径には乖離がある。そのため、今後も薬液メーカーはもとより、周辺技術の進展が必要不可欠である。

## 5-4-2 薬品供給・配管システム

前述したように、半導体薬品の高純度化は大きな進歩を遂げている.しかし、高純度薬品は薬品メーカーで精製されたのち、デバイスメーカーのユースポイントにてウエハ上に供給されるまでその品質を維持する必要があり、その品質を維持できなければクリーンプロセスとして完結しえない.

薬品メーカーで精製された高純度薬品がウエハ上に供給されるまでには、容器、薬液供給システム、配管、半導体製造装置などを経由する. 高純度薬品に用いられる容器・部材は、耐薬品性・清浄度(不純物の溶出)・寿命・強度の観点から、主にポリエチレン樹脂及びフッ素樹脂が広く用いられている.

高純度薬品の小型容器は高密度ポリエチレン樹脂を用いた容器(図5・16)が主流となっており、使用原料の厳選、成形環境のクリーン化等が進められ、かなりの高清浄化が達成されており、不純物の溶出レベルとしては数 ppt レベルに到達している。また、高純度薬品の大型容器(コンテナ)(図5・17)、薬液供給システム、配管、半導体製造装置にはフッ素樹脂が使用されている。フッ素樹脂に関しては、先駆者により、不純物の溶出だけでなく、液中粒子の増加、配管の内表面を電子顕微鏡(SEM)及び原子間力顕微鏡(AFM)での観察によって評価され、フッ素イオンの溶出が抑制されたフッ素樹脂の開発だけでなく、成型方法の見直しによるフッ素樹脂の平滑化も進められた。



図5・16 高密度ポリエチレン樹脂を用いた高純度薬品の小型容器



図5・17 フッ素樹脂を用いた高純度薬品の大型容器 (コンテナ)

しかしながら、半導体のテクニカルノードと、高純度薬液の品質管理を行っている液中粒子径には乖離がある現在では、高純度薬品がウエハ上に供給される直前(半導体製造装置)にフィルタを設けることも少なくなく、フィルタ技術に期待するところも大きくなっている.

高純度薬液の供給システムの構成するものとして、大型容器にはホース・コネクタ、半導体製造装置にはバルブ・ポンプ・フィルタ・各種センサなど様々な部品がある。これらの部品に使用される部材についても半導体デバイスの性能に与える影響は大きく、これらの材質についても、耐薬品性だけでなく上記の材質と同様の評価・選定が必要である。また、半導体製造プロセスの安定化のためには、薬品供給システム、フィルタを含む各半導体製造装置を、現地施工前に十分洗浄しておくことも重要である。

### 5-4-3 薬品処理システム

半導体製造プロセスで発生する廃液としては、シリコンウエハの洗浄工程だけでも、過酸化水素水と硫酸の混合液、アンモニア水、フッ酸、イソプロピルアルコール (IPA) などがあり、これに現像廃液、メッキ廃液、エッチング廃液を含めると多数にのぼる。

半導体デバイスの製造において、製造プロセスからの廃液量を削減するためには、以下方 法が考えられ、それぞれの取組みについて一例をあげて説明する.

### ① 薬品使用量の削減

シリコンウエハの洗浄には、多量の高純度薬品が使用されてきた.洗浄工程の一部をオゾン水など環境負荷の小さい機能性を有する代替することで、薬品使用量の削減が進められている.

### ② 廃液量の減量

シリコンウエハに付着している薬品は、超純水によりリンスされる. リンス排水は、薬品の種類、一次・二次排水などによって細かく振り分けられ、それぞれに応じた回収処理が施され、半導体工場全体からの廃液量の削減が試みられている.

#### ③ 再生再利用

現像液として使用された水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を主成分とする現像

廃液は生物処理をされてきた.しかし,近年は電気透析を利用したTMAH回収・再利用技術も開発されている.

④ 廃液を他産業での利用(再資源化)フッ酸廃液は晶析反応を利用した回収システムにより、フッ化カルシウムとして回収され、薬品原料として再利用されている。

上記の取組みは一例に過ぎないが、半導体デバイスを製造プロセスにおいて、高純度薬品を使用するウェットプロセスは、多量の超純水と薬品を使用するため、またそれに伴う排水・廃液が発生するため、非常に環境負荷の大きいプロセスであることが指摘されている。そのため、ESH (Environment, Safety, Health) の観点から見て、今後も取り組むべき課題は多い。

- 板野充司,他:「2.6 薬品技術」, UCS12 年 半導体産業の発展と UCS12 年の成果, pp.539-567, 半導体 基板技術研究会編。2000 年
- 2) 三木正博: 「3.1 極限のクリーン表面を創る」, ウルトラクリーン ULSI 技術, pp.155-233, 培風館
- 3) 宮下雅之, 久次米孝信: 「フッ化水素酸の高純度化・高機能化」, クリーンテクノロジー, vol.11, No.9, pp.12-16, 2001 年 9 月
- 4) 菅原博,田嶋義宣:「現像廃液の回収・再利用=TMAH回収・精製システム=」,クリーンテクノロジー,vol.10, No.6, pp.60-62, 2000 年 6 月
- 5) 大見忠弘:「フッ素回収の化学・フッ化物薬品からのフッ素回収技術」,フッ素化学が拓くプロセスイノベーション,大見忠弘 編著・新田雄久・三木正博 共著,pp.217-224,リアライズ社,1995年
- 6) ESH 技術委員会ウェットプロセスワーキンググループ:ウェットプロセスの動向-環境適合ウェットプロセス-,pp.124-134

# 5-5 安全管理と環境保全

(執筆者:木場裕介) [2009年12月受領]

生産・研究などを進めていく過程で、何の問題もなくスムーズにすべてのトラブルを回避することはできない。実際には問題が発生していても、それが認識されていないケースが多い。問題が発生してからの対応では、時間・労力・費用を要するため事前に予測・検討がなされていることが望ましい。そのためには、建築・設備・生産装置で構成されるハード面の基本計画と使用勝手・運営・人員教育などのソフト面の両面をふまえた総合的な検討が必要となる。

安全管理・環境保全は、事故の抑制と現状の機能をそのまま保ち続け、生産・研究を継続的に行える環境をつくるために行われる。管理対象を定め、各々の管理担当者、管理内容、頻度、不具合時の報告者・連絡先と対処・是正内容ならびに是正確認者を点検記録として管理する。点検の実施に際しては、日常使用している研究者・作業従事者などが日々実施すべき項目と施設管理を行っている工務課・施設課などが主として行う定期点検項目とに大別される。ここで大切なことは研究者等もハード面を理解し、不具合発生の予兆となる異変を察知できる能力を身につけることであり、具体的には温湿度・室圧・発生音の変化などがあげられるが、これらを察知することにより安全面の向上が図られるうえ、不具合を拡大させずに最小限度に抑えられる。反対に工務課などがソフト面を理解することによって、使用勝手に最適なシステムと運転方法の構築、施設中の重要度を理解したうえでの優先順位の設定などが行える。

また、地球温暖化対策の一環として、省エネルギー・ $CO_2$  抑制などの要求が拡大しつつあり、それに対応した設備やシステムの構築、 $CO_2$  排出量・ライフサイクルコストの算出なども必須となる.

### 5-5-1 建築・設備・生産装置配置計画

#### (1) 建築計画

室内面積・付帯室(前室など)・機械室・屋外設置機器の必要設置・メンテナンス面積. 室内・天井裏・床下の必要高さ・スペース.生産装置に基づく床耐荷重・防振などを考慮した計画.

### (2) 設備計画

空調設備:室内温湿度・清浄度条件の確認. 熱源機器の燃料, 生産装置の排気量・排気 処理の方法の確認, 省エネを念頭においた最適システムの検討.

衛生設備:空調・純水装置・冷却水の水量と水質の確認. 排水量・処理方法の検討.

電気設備:生産装置電気容量・同時稼働率・アース種の確認.空調・衛生・プロセス機器の電気容量と稼働率.室内照度・照明器具形状の確認.コンセント必要数・容量・配置計画.LAN・電話の設置数・場所.非常用電源を要する装置の有無と容量.無停電電源装置の必要性と容量の確認(瞬間停電などで支障が生

じる装置の有無).

プロセス:使用ガスの純度・圧力・流量・種類と安全対策の検討. 純水装置の純度・圧力・流量. 純水の純度・圧力・流量. 圧縮空気の圧力・流量・露点温度・清浄度. 冷却水の温度・圧力・流量の確認.

その他 : 消防設備(自火報・放送・屋内消火栓・スプリンクラーなど)の計画. 監視 装置の監視・計測・警報項目の確認. 生産装置を含めた各機器の故障を前提したバックアップ対策の検討.

## (3) 生産装置配置計画

生産装置の大きさ・プロセス接続・メンテナンスを考慮した面積の確保. 搬入順序・作業 動線に配慮した配置計画. 将来設置予定・可能性のある装置を想定した配置計画.

# 5-5-2 運営・人員教育計画

生産・研究計画は、各装置・設備機器の能力、プロセスの供給能力、人員数に見合った計画とするべきであり、無理をすれば必ず何らかの支障が生じ、安全性の確保も困難となる. 各装置・設備機器・プロセスの能力を数値化し、常に限界を見極めておく必要がある.

クリーンルーム使用にあたっての教育はもちろん,各装置の機能・特性,設備機器の主な機能,各プロセスの特性及び各々故障・異常発生時の状況と確認方法,連絡先などの伝達と掲示が必要である.

# 5-5-3 点検管理項目

### (1) 日常の管理 「主に研究者・作業従事者が実施」

生産装置・空調・プロセス機器の異常・警報などの確認。室内温湿度・室圧異常の確認。 その他各機器の音・振動などの異常が発生していないかを確認。また、各機器の電流値や交換部品(ファンベルトなど)の点検を日々行うことにより、突然の装置停止などを未然に防止することも可能となる。

### (2) 定期的な管理 「主に施設管理者が実施」

空調系プレ・中性能・HEPA フィルタの目詰まり確認と交換. プロセスガス・冷却水系フィルタの目詰まり確認と交換. 電灯交換. ヒューズなどの電気部品の交換. メーカー・メンテナンス会社に依頼する各機器の点検・部品交換.

### 5-5-4 早急な対応が必要とされている課題

近年,省エネルギー・CO<sub>2</sub> 抑制に関して,運営にあたり大量のエネルギーを消費するクリーンルーム関連施設も例外なく対応を迫られつつある.清浄度・清浄エリアの再検討による循環回数の低減,排気量の低減,排気の運転・停止に呼応した給気量の増減,排気の熱交換などによる再利用など,具体的な見直しとエネルギー使用量の少ない空調熱源・システムへの変更などが必要となる.この問題への対応に関しても,施設管理側のソフトへの理解と使用者側のハードへの理解による相互協力が必須となる.

- 1) Y. Koba, S. Morita, K. Kogure, T. Okubo, and A. Kitabayashi, "The physical containment facilities for Experimental Animal of The Equine Research Institute," The Japan Racing Association, The scientific meeting, The Japanese Biological Safety Association, Nov. 2004.
- 2) 木場裕介, "医療・実験動物施設などにおける湿度制御と空気清浄," 日本空気清浄協会学会誌第43巻,第3号,2005.