

# 半導体工場における環境技術

## Environmental Technology of VLSI Fabrication

杉山 光一<sup>\*</sup> <sup>\*\*</sup>

Koichi SUGIYAMA

松田 和男<sup>\*</sup>

Kazuo MATSUDA

高橋 徹<sup>\*</sup>

Tohru TAKAHASHI

野沢 修次<sup>\*</sup>

Syuji NOZAWA

### 要　　旨

最近の環境問題に対する半導体工場の動きを、電子デバイス事業部の取組の事例として、省エネルギー、廃棄物の削減・再資源化、PFC等の温暖化係数の高い物質の削減・除害化の推進、半導体デバイス製品へのPbフリー半田の導入、容器包装材の回収・リユースについて報告する。エネルギー使用量の削減と同義語である二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)等の削減は、電気エネルギーを多量に消費している半導体工場にとっては、非常に厳しい要求である。一方、半導体製造プロセスでエッティングやクリーニングに不可欠なPFC,HFC,SF<sub>6</sub>等のガスは、CO<sub>2</sub>に比べ温暖化係数が極端に高く、第3回世界半導体会議(WSC)において、半導体製造工程から排出されるPFC等の絶対量を2010年迄に、10%以上削減することで合意されている。国際的な協力と競合のバランスを考慮し、企業戦略としての削減取り組みを長期的視野に立って環境マネジメントシステムを推進した。

### ABSTRACT

Recent movement regarding environmental pollution problems in VLSI fabrications is discussed. The technology to cope with these problems is introduced with the example of action program of Electronic Devices Division. Reduction of the amount of CO<sub>2</sub> has the same meaning as saving of energy, and it is a very difficult requirement for a Semiconductor Fabrication Plant. Gases such as PFC, HFC, SF<sub>6</sub> are used for etching and for cleaning in the semiconductor fabrication process, and their Global Warming Potentials show extremely higher points than that of CO<sub>2</sub>. It has been agreed upon at the World Semiconductor Council to reduce the absolute amount of PFCs emission, over 10% by the year of 2010. Accordingly, it becomes necessary and important as one of the company strategies to make action programs for that reduction, because the counter-measures of the environmental pollution may relate to the international cooperation and the global competitions. It is indispensable to preserve and improve the Environmental Management System as a long-range plan for these great achievements.

\* 電子デバイス事業部 事業企画室

Strategic Planning Office, Electronic Devices Division

\*\* 電子デバイス事業部 製造技術室

Process Engineering Department, Electronic Devices Division

## 1. 背景と目的

半導体工場のエネルギー使用量は、1億KWh/年・工場レベルとなっておりエネルギー多消費産業となっている。半導体の高集積化に伴い製造環境のクリーンルームの清浄度レベルもより高性能が要求されるようになってきた。この要求に技術的・経済的に応えていくために従来と異なったコンセプト、効率的で安全且フレキシビリティーな構造とその運用管理が要求されている。

半導体製造工程で使用される薬品・ガス類も多種・多量であるが、これらの使用量・排出量の削減と並行して廃棄物の再資源化を図る必要がある。また、デバイスそのものの環境への配慮も欠かせないので省エネルギー・省電力型の設計を図ると共に製造プロセスでの環境負荷物質の削減と製品に含有する環境負荷物質の削減・代替化を進めていかなければならぬ。

## 2. 技術

### 2-1 クリーンルームの省エネルギー

半導体の高集積化に伴い、製造空間であるクリーンルームは、製品の品質(歩留まり)及び信頼性向上の為に、より高性能(高清淨)空間が要求されるようになってきた。

しかし、半導体の高集積化と共に経済性も強く要求されるため、クリーンルームの方式もより省エネ化を求められ、大部屋型のセントラル方式から、個別分散循環方式へと変遷している。この個別循環方式は、ファンフィルタユニット(FFU)を用いたシステムを導入し、ランニングコスト・ス

ペース効率・フレキシビリティで効率化を狙っている。

個別空調方式の特徴は下記の通りである。

- (1) 送風ユニットは、小型でファン効率が良くランニングコストの低減が計れる。
- (2) 送風ユニットの段階的増設拡張が可能であり、生産規模、クリーン要求度に合わせて、拡張が容易でフレキシビリティに優れている。
- (3) 台数制御による風量コントロールが容易で、クリーンレベルに合わせて省エネルギーが可能である。

Fig.1にシステム図を記す。また、Table 1にシステムの比較を記す。今後省エネ化の観点からは、FFU本体の省エネから、ミニエンバironメント利用を考慮した、FFUシステムへに展開されると思われる。

Table 1 Specific Comparison of SCR System.

比較項目/方式	大部屋方式(セントラル方式)	個別循環方式(FFU方式)
清潔度の維持	◎・維持しやすい	◎・維持しやすい
温度制御性	○・床下ドライコイルによる一括制御	○・床下ドライコイルによる一括制御
騒音対策	△・吸込み、吐出側の大規模なサイレンサ要	○・低騒音型FFUにて対応
フレキシビリティ	△・ULPA交換時はクリーンルーム停止要	○・FFUの設置、移設が運転中に可能
メンテナンス性	◎・メンテしやすい	○・FFUが分散するのでややメンテし難い
イニシャルコスト	○・指 数 100	○・指 数 95
ランニングコスト	△・指 数 100 循環電力350~310W/m <sup>2</sup>	○・指 数 89 循環電力280~140W/m <sup>2</sup>
ファン故障時の影響	○・全体的に送風量が低下する	○・影響は殆どない(1~2台レベルの故障)
マシンルーム面積率	△・1.5%(外調機+循環ファンエリア)	○・7%(外調機エリア)
省エネ対策の適用	・全体的に風量を減少出来る (インバータ、可変ピッチ等)	・部分的に風量を減少出来る ○・1台単位での発停が可能

クリーンルームは半導体工場における省エネ活動が最も要求される分野であり、今後下記の展開が進むと思われる。

- ・製造空間の局所化(ミニエンバironメント含む)
- ・コージェネレーションシステムの活用
- ・深夜電力利用の蓄熱システムの活用
- ・効率的フリーカーリングシステムの導入

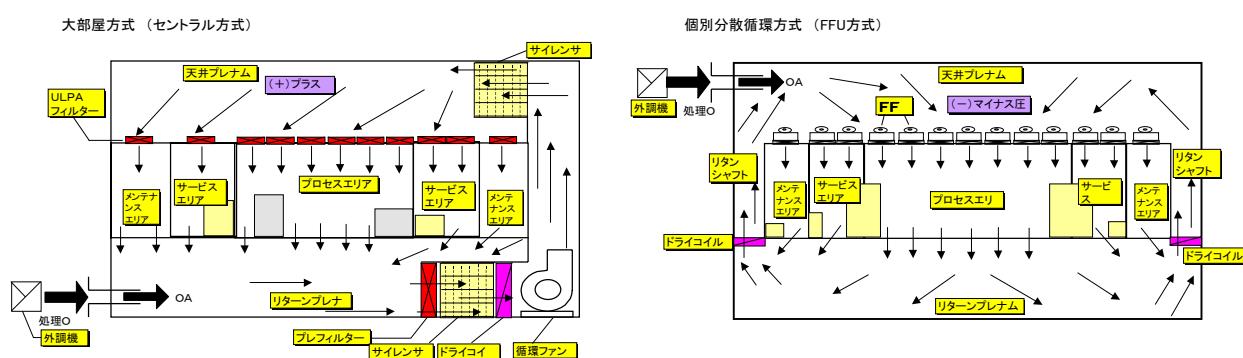
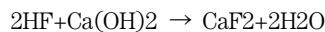
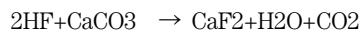


Fig.1 Super Clean Room System

## 2-2 廃棄物削減と資源化

### (1) 半導体の製造プロセスで発生する廃液の資源化

純水廃水システムとして、クローズドシステムを導入し、生産廃水の工場外放流ゼロ技術は確立し稼働している。また関連学会<sup>1)2)3)4)</sup>でも公表し注目を得た。このシステムでは、98%以上の製造廃水の再利用を行い、残りの廃液を1/10以下まで圧縮乾燥化し、スラッジとして場外搬出し、無害化処理後汚泥として埋め立て処分している。さらに「ゼロエミッション」を目指すため現在は改良を加えて低濃度フッ酸(HF)廃液を分別回収し、萤石(フッ化カルシウムCaF<sub>2</sub>)として再資源化する事を進めている。これによりスラッジ量を大きく削減出来る。フッ酸の反応式は下記の通りである。



回収したフッ化カルシウムは、薬品メーカーでフッ酸原料として、鉄鋼メーカーで製鉄の副原料として利用される。

### (2) 排ガスの処理方法

有機系・無機系薬液からの排ガス及びイオン注入、CVD、エッティング工程で発生するガスがある。これらのうち人体に毒性の無い物は、水スクラバー処理もしくは燃焼処理を行い、人体に毒性のあるガスは、吸着・燃焼処理し無害化し放し出している。

Table 2 Control of Chemical Exhaust Gases.

種別	処理方式	管理方法	廃棄物処理方法
酸系排気	水スクラバー吸着 NaOH液	循環水の定期更新	濃縮液の定期更新
アルカリ系排気	水スクラバー吸着 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 液	循環水の定期管理	濃縮液の定期更新
有機系排気	活性炭吸着	加熱燃焼し燃焼・加熱温度管理	再生による運転使用
有害ガス系排ガス	吸着剤による酸化還元	吸着による変色・排気抵抗増	吸着材の再生

従来水スクラバー処理が中心であったが、最終廃液の減量化から、乾式処理による吸着方式を積極的に進めている。

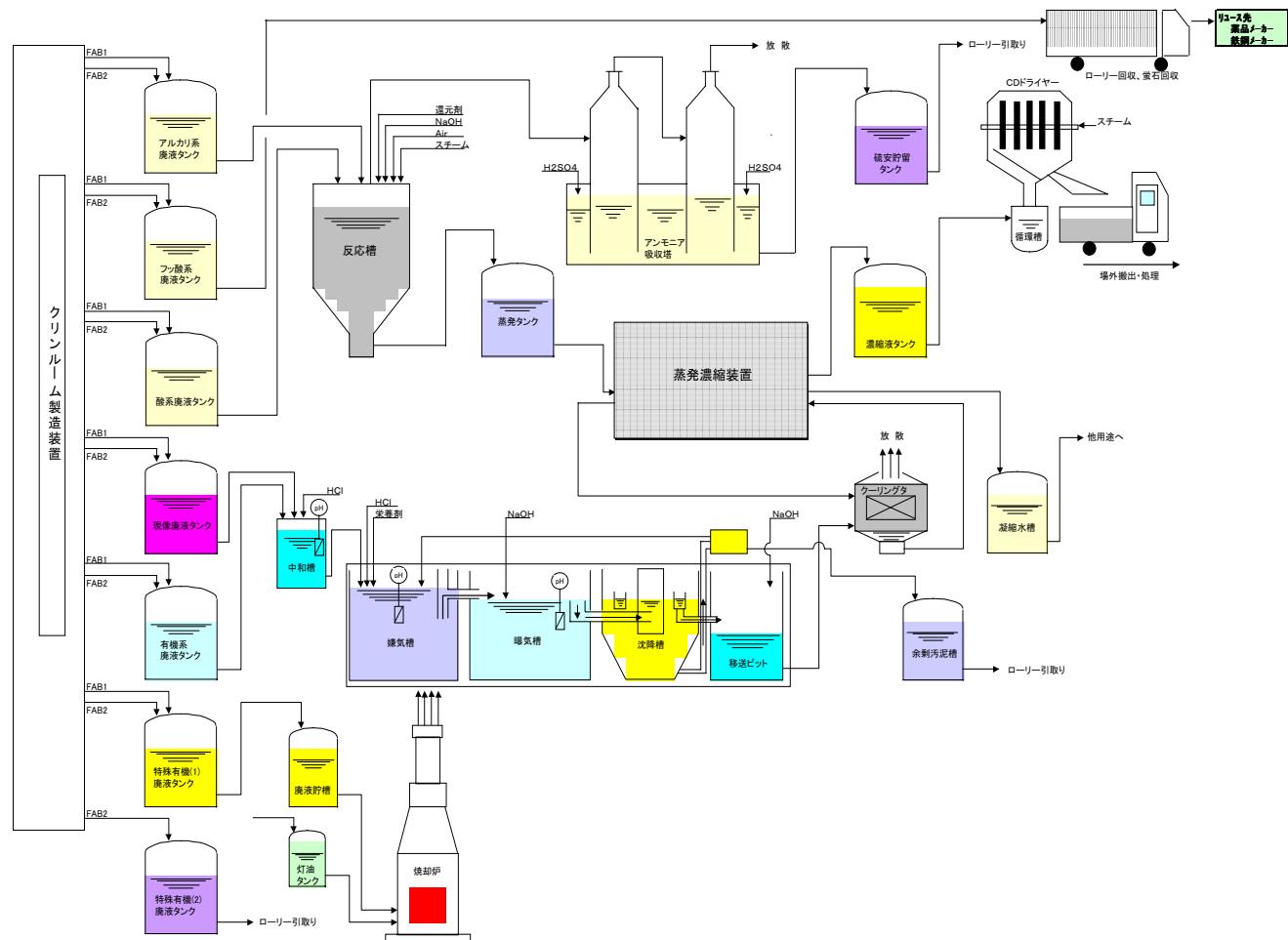


Fig.2 Flow Chart of Chemical Waste Water Recycle.

## 2-3 地球温暖化ガスの削減

半導体業界では、これまでにCFC等のオゾン層破壊物質の全廃に取組んできた。しかし、CFCの代替物として用いられているPFC(CF<sub>4</sub>等のパーフルオロカーボン)等が地球温暖化への影響の恐れがあるとして1995年米国環境保護庁からその全廃が提案されている。

また、PFC等については、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議(COP3)において削減対象ガスとして指定され、2010年迄に削減をすることが定められている。

PFC等は、半導体製造工程で使用する重要な化学物質であり、すぐに代替物質に変更することは困難であるため(社)日本電子機械工業会では、各社に自主行動基準を設定し、達成するための実行計画、排出抑制するための技術計画策定を要請している。

本年4月23日、イタリアで「第3回世界半導体会議」が開催され、日米欧韓台5地域の参加団体による共同声明を採択した。この中で半導体製造工程から排出される、PFC等の絶対量を2010年までに10%以上削減することで合意した。削減のベースとなる基準年については、日本は1995年となる。

電子デバイス事業部も、自主行動宣言を行うと共にPFC排出抑制実行計画を策定し、回収・再生利用、分解・除害、代替物質の調査、等の対応策に着手している。Fig.3にPFC削減計画を示す。

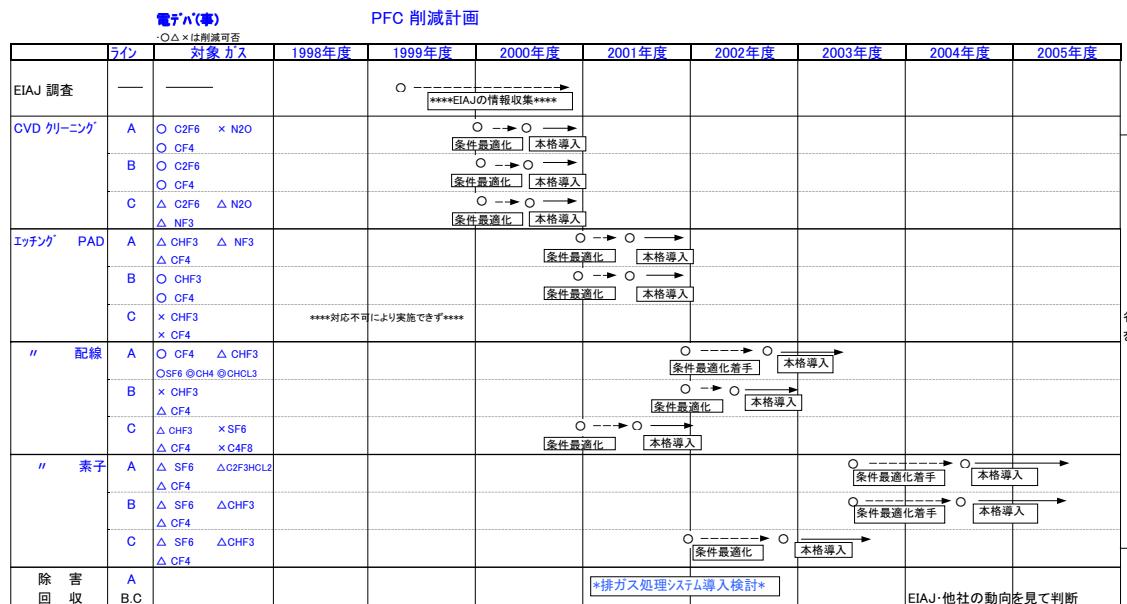
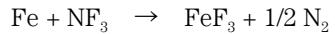


Fig.3 Reduce emissions of PFC's

半導体製造工程においてSiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>等の絶縁膜堆積手段としては、プラズマCVD(化学的気相堆積法)が使用されている。CVD法は真空チャンバー内にSiH<sub>4</sub>等の原料ガスを導入し高周波電界プラズマを立てることによって行われるプロセスであるが、目的のシリコンウエハー上に堆積するばかりでなく、チャンバー内壁にも堆積が起きる。

これをそのままにしては生産歩留りが低下するので定期的に除去する必要がある。除去すべき堆積物がSi系化合物であることから、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub>といったガスをチャンバー内に導入し、プラズマ化することによってフッ素ラジカル原子等の活性フッ素生成とSiF<sub>4</sub>生成反応によるクリーニングプロセスが使われている。C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>(GWP 9,200), SF<sub>6</sub>(GWP 23,900)ガスは地球温暖化係数が極めて高く、クリーニング後にCVDチャンバーから放出される未反応廃ガスの処理が困難であることが問題となっている。

NF<sub>3</sub>は、分解が比較的容易であるという利点を有し、化学分解方式および燃焼式装置での除害が可能である。NF<sub>3</sub>の除害原理は反応筒内に充填された鉄系特殊除害剤とNF<sub>3</sub>を反応させて除害する。除外の反応式は下記である。



また、ClF<sub>3</sub>は高い反応性を有し、環境中ですぐに分解するため、地球温暖化及びオゾン層破壊の問題がない。これらガスの選択と除害を、半導体製造装置メーカー、ガスマーカー、排ガス処理装置メーカーの協力や公的研究機関の支援を戴き

調査・評価・導入を進めていく。

## 2-4 半導体デバイス製品への対応

### Pbフリー半田の導入

半導体デバイスの基板への接合は、Sn-Pb系の半田合金が長年使用されてきたが、使用済みの電子機器製品の廃棄によって、半田中のPb(鉛)が酸性雨等によって溶出し、地下水汚染等を引き起こすことから重要な環境問題となっている。

このため、鉛を含まないPbフリー半田の研究が進められている。実装メーカーによるPbフリー半田の評価は急速なひろがりを見せており、具体的にPb含有半田の使用中止時期を発表しているメーカーも数社あり、99年度以降Pbフリー半田の需要が急速に増加すると予測される。

当社においても、顧客の要求と半導体実装接合に関する信頼性などの品質を確保しつつ、作業温度、濡れ性など多くの課題と取組み最適化を図っていかなければならない。

現行のSn-Pb共晶半田(融点 183°C)の特性を維持するものを求め、多くの製品が開発されているが、主なものとして3つの系に分類される。<sup>5)6)</sup>

①Sn-Ag(-Cu)系：融点が215 - 220°C前後と高いものの溶融温度域は狭い。耐熱疲労性はSn-Pb共晶半田以上であり、強度特性に優れる。

②Sn-Ag-Bi(-Cu)系：Biを添加し低融点化、濡れ性改善を図ったもので、Biを多く添加すれば現行作業温度に近い温度で半田付けできる。しかし、Biを多く添加するほど脆化傾向も強くなり、強度的信頼性に欠けてくる。

③Sn-Zn(-Bi)系：融点がSn-Pb共晶に近く(180-199°C)、コストも3つの系の中で最も有利である。ただし、濡れ性は著しく悪く、酸化し易い性質をもつ。

以上の様に、Pbフリー半田はなんらかのデメリットを抱えておりそれらをどう克服し実用化するかがポイントである。

一例としてSMTのリフロー温度に関して顧客より要求の条件をFig.4に示す。

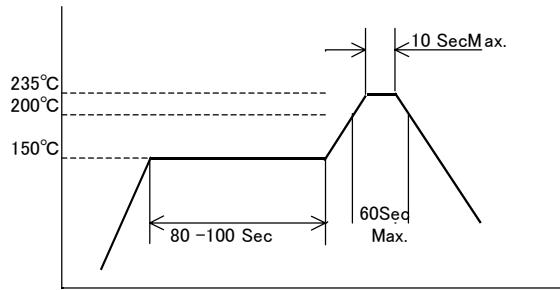


Fig.4 Reflow Condition of Pb Free Solder.

Pb共晶半田の融点は183°Cなので、リフローは230°C前後で行われる。これは、炉の温度が半田の融点より40-50°C高く設定されるためである。融点の高いPbフリー半田を用いた場合、リフロー温度は250°Cを超える場合がある。デバイスの耐熱性の保証、モールド樹脂の耐熱化対策など厳しい要求に応えていかなければならぬ。

## 2-5 容器包装材の回収とリユース

半導体デバイス製品の納入包装形態は、チューブ、トレイ、テーピング、防湿袋、内装箱、外装箱等より構成されている。

客先では使用後これら容器包装材は不要で処理に困っておられるので、トレイについては、自社回収及び回収業者の協力を得て98年上期の回収率は、44.5%，98年下期の回収率は76.5%となっている。回収率100%に至っていないのは、海外出荷分が未回収となっていることが主因である。又、回収したトレイは、外観、形状・寸法、異物付着などの検査を実施しリユースしている。

リユース率は、98年度通期で89.7%となっている。

形状不良等により使えないトレイは、プラスチック再生業者へ持ち込みマテリアルリサイクルを行っている。

テーピング品のリールについてはEIAJ規格品に統一するとともに、エンボステープで一部材質が塩化ビニール製のものが存在したのでこれをポリスチレン製に材質変更し環境対応型とした。

今後は、リール等のリユースをはじめとして企業間の枠を超えた協力の動きも必要になってくると思われる。

## 4. 今後の展開

以上、半導体製造工場における省エネルギーへの取組、廃棄物の削減・再資源化、PFC等の温暖化係数の高い物質の削減・除害化の推進、半導体デバイス製品へのPbフリー半田の導入、容器包装材の回収・リユースについて述べた。

今後、省エネルギー工場として、エネルギー調査を木目細かく実施し省エネルギーシステムの構築、埋立て廃棄物ゼロ化を目指し資源消費量及び廃棄物量の低減を図って行きます。

製品については、LCA評価を実施し企画・設計段階より、省エネ省資源を計る事が一層重要となる。

## 謝辞

クリーンルーム省エネルギー設計、クローズドシステム確立にご協力戴いたリコーベンジニアリング様・鹿島建設株式会社様、地球温暖化ガス削減に対して適切なご指導を戴いた(社)日本電子機械工業会様に深く感謝いたします。

また、製品アセスメントに協力戴いた社内の関連本部・事業部の皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 電子デバイス環境安全委員会編：第2回国際半導体環境安全会議報告書、(社)日本電子機械工業会発行、(1995-12)
- 2) SEMI Korea : SEMI/Korea96 ENVIRONMENTAL & SAFETY Seminar, Semiconductor Equipment & Materials International 発行、(1996-1)
- 3) 空気調和・衛生工学会近畿支部環境工学研究会：環境工学研究 No.194、(社)空気調和・衛生工学会発行、(1996-2)
- 4) セミコン関西：セミコン関西96ULSI技術セミナー講演予稿集、SEMIジャパン発行、(1996-5)
- 5) 鈴木：鉛フリー半田、電子技術、(1999-2), pp. 26-27.
- 6) 宇佐美：Pbフリーはなんだ、VLSI Report, No.162 (1998-1), pp.27-29.