

(要旨)

(1) 背景( 背景、ロードマップの意義、期待する効果 )

半導体産業は従来から環境、安全、健康( ESH ) の問題について、先進的な取り組みを行い、この分野でも世界のリーディング産業としての地位を築いている。しかし、半導体産業において数多くの化学物質が使用され、環境中に排出されていることも事実であり、産業規模の急速な拡大や微細化技術の進展、また、ウェーハの大口径化にともなって、新たな化学物質が使用され、エネルギー消費量が増大していく傾向は、解決されなければならない課題である。

本ロードマップの意義は、設計、ウェーハプロセス、実装などの技術の発展にともない、ESH に関してどのような問題が新たに発生するのかを分析し、その解決のために必要な技術やマネジメントシステムを提案することにより、半導体産業に関わる技術者、研究者の共通認識を構築することである。

本ロードマップによって、半導体産業に関わるすべての人々が、現在と将来の ESH 問題に対する認識を深め、それぞれの分野でその解決に努力して、半導体産業の長期にわたるバランスのとれた発展が実現されることが期待される。

( ) 範囲( 検討範囲、検討項目 )

半導体技術に関わるすべての ESH 問題を横断的に検討し、主要なテーマをピックアップして、各分野の専門家の協力を得て解決案を提案する。

環境の側面からは、省エネルギー、省資源、化学物質管理などについて検討する。安全・健康面からは、製造装置と工場設備の安全性評価、および有害物質が作業者におよぼす影響についての安全性評価やリスクアセスメントの方法について検討する。また環境ツールとモデリングについては、危険性モデルやコストモデルの作成と適用について検討する。

(3) 要求( 技術ニーズ、到達すべきレベル )

ウェーハの大口径化や微細化技術の進展がエネルギー使用量や純水・薬品・ガス等の資源の使用量を増大させる傾向にあり、省エネ、省資源技術の検討が必要である。また新技術の発展に伴い、新規化学物質が採用される可能性が高く、それらの管理手法を確立する必要がある。また設備や有害物質が、環境から作業者に至るまで、及ぼす影響や危険性を評価し、設計時からそれらを回避できるよう、モデリングやリスク評価手法を確立するべきである。

(4) 課題( 技術課題 )

これまで、半導体工場の省エネルギーについては、ファシリティ中心に対策が行なわれて来たが、製造設備についても対策する必要がある。超純水の使用量増加はコストアップと環境負荷増大の要因であり、その使用量削減と製造コストの削減を実現すべきである。

既存および新規の化学物質のデータベースを充実し、半導体プロセスに適応したリスクアセスメント手法の開発が急がれる。また、半導体工場から排出される環境負荷物質を削減する必要があり、PRTR( pollutant release and transfer register: 環境汚染物質排出移動登録 ) に対応した環境マネ

ジメントシステムを構築しなければならない。

ウェーハの大型化にともない設備も大型化しているため、設備稼働部分の人体への干渉防止対策が必要である。また有害物質への曝露対策を確立しなければならない。

半導体産業の急速な技術革新に対応した環境施策を実施するため、その評価体系の構築が必須であり、モデリング技術を応用した環境対策評価ツールの確立が求められる。

#### ( 5 ) 解決策候補( 解決策の候補技術 )

##### 1 ) 省エネルギー・省資源

半導体製造装置の省エネルギーには、プラズマ、イオンビーム等の高効率化とともに、低発熱化や排気回収等クリンルーム熱負荷の低減対策が必要である。省資源については、高効率洗浄技術の開発による純水使用量の削減や薬品使用量の削減が必要である。また、半導体産業のゼロエミッションを実現するためのシステム作りが求められる。

##### 2 ) 化学物質管理

半導体産業で資料される物質のデータベースを充実することが必要である。新規材料・化学物質の安全性・環境負荷性評価については、そのデータを取得するシステムを構築する。また、半導体産業に対応したリスクアセスメント手法を確立する。

環境負荷物質の削減については、PRTR と連携した管理を行なうとともに、設計段階から環境を意識した設計アルゴリズムの確立が必要である。

##### 3 ) 安全・健康

新規化学物質の影響や従業員のメンタルヘルス、また X 線被爆などの問題については、専門の研究機関との共同研究が必要である。また地震や火災に対する安全対策を構築するとともに、エルゴノミクスを適用した設備設計手順を確立する。

##### 4 ) 環境ツールとモデリング

環境施策の評価手法を確立するため、危険性モデル・費用モデルについて研究する必要がある。

##### 5 ) 他分野依存性( 他の WG 分野への依存性 )

半導体に関係するすべての技術は、それぞれ固有の ESH 問題を含んでおり、特にフロントエンドプロセス、配線、リソグラフィ、実装、ファクトリインテグレーションの分野において関連が深く、省資源、省エネルギー、化学物質管理等の面ではこれらの技術に関連する事項が多い。

また、設計、テスト、シミュレーション等の技術についても、今後 ESH を念頭においた課題の解決を計っていくことが肝要になる。

##### 6 ) 提言( 現状における着手レベル、目標に到達するための提言 )

半導体産業の ESH 問題の解決には製造装置メーカーや材料メーカーとの協力が不可欠であり、また、国家の支援による税制優遇制度などのインセンティブの付与、学界との協力による技術開発などが期待される。安全・健康の分野では医学界との協力も必要と考えられる。更に、半導体産業がグローバルな産業であり、環境問題もまた全地球的な問題であることから、国際協調による問題解決が望ま

望まれる。

温室効果ガスである P F C の排出削減についてはすでに国家研究がスタートしており、また国際的にも協力の枠組みが確立しているが、今後、ESH の他の分野でも同様の体制を展開していくことが必要である。

## 2 - 9 - 1 背景( 背景、ロードマップの意義、期待する効果 )

半導体産業は従来から環境、安全、健康( ESH ) の問題について、先進的な取り組みを行い、この分野でも世界のリーディング産業としての地位を築いている。主要な半導体産業各社は ESH を企業経営の中心課題として捕らえ、その改善に当たっており、国際的にもすでに各国の半導体産業界は、世界半導体会議の場などを通じてこの分野での協力を開始し、地球温暖化問題への取り組みなどで成果を上げている。また半導体産業は、市民生活や他の産業の省エネルギーに貢献する産業でもある。

しかし、半導体産業において数多くの有害もしくはその可能性のある化学物質が使用され、自然界に排出されていることも事実であり、産業規模の急速な拡大や微細化技術の進展、また、ウェーハの大口径化にともなって、新たな化学物質がその安全性を充分確認されないまま使用され、エネルギー消費量が増大していく傾向は、解決されなければならない課題である。

本ロードマップの意義は、設計、ウェーハプロセス、実装などの技術の発展にともない、ESH に関してどのような問題が新たに発生するのかを分析し、その解決のために必要な技術やマネジメントシステムを提案することにより、半導体産業に関わる技術者、研究者の共通認識を構築することである。

半導体産業の ESH 問題の解決にあたっては、半導体メーカーのみの力では達成できない目標もあり、半導体製造装置メーカー、化学メーカーならびに大学や研究機関などの協力が不可欠である。本ロードマップによって、半導体産業に関わるすべての人々が、現在と将来の ESH 問題に対する認識を深め、それぞれの分野でその解決に努力することにより、半導体産業の長期にわたるバランスのとれた発展が実現されることが期待される。

## 2 - 9 - 2 範囲( 検討範囲と検討項目 )

半導体技術に関わるすべての ESH 問題に対し、各技術分野を横断的に検討することによって、主要なテーマをピックアップし、各分野の専門家の協力を得て解決案を提案する。

特に今回は、日本においてこのようなロードマップを策定する最初の機会であるので、できるだけ広い視野で半導体技術全体を概観し、解決されなければならない問題点の抽出を行い、その解決に必要な技術課題を検討し、さらに現時点で考える解決策について提案する。

検討に当たっては ESH 問題全体を、まず環境、安全、健康、環境ツールとモデリングの4項目に大別し、個別の問題へブレイクダウンしていく手法をとった。

環境の面からは、省エネルギー、省資源、化学物質管理などについて検討する。

省エネルギーについては地球温暖化防止の観点を中心に、半導体工場で使用される個別装置の使用エネルギーの削減、及び空調用エネルギーの削減などを採り上げる。特にこれまで、空調用エネルギーに関する対策は行なわれて来たが、半導体製造装置についてはほとんど考慮されて来ていないため、この分野についての提言を行ないたい。

省資源については水・薬品・ガスおよびウェーハ等その他の材料の削減について検討する。水資源については、純水使用量の削減と純水製造コスト削減の観点から考察する。また廃棄物の再資源化が使用材料の削減と環境負荷の低減に有効であることから、再資源化率の向上を取り上げる。

る。

化学物質管理に関して検討する内容は、第一に新規化学物質の評価、第二に環境負荷物質の削減、第三に環境管理手法についての考察である。新規化学物質の評価については、新技術の開発に伴って各種の新化学物質が使用されることが予想されるが、それらの物質の安全性を、実際に使用される以前に確認する手法の確立が求められる。環境負荷物質削減では、半導体で使用される数多い化学物質の中から、特に負荷の大きいと考えられる物質に絞って、使用量削減、代替材料の検討、回収除害技術の検討の3点から考察する。環境管理手法については、国内外の法規制の動向や、ISO(international organization for standardization: 国際標準化機構)・PRTR等のマネジメントシステムに着目し、半導体産業としてそれらを有効に利用するために必要なデータベースの構築や、将来の発展方向について提言する。

安全と健康の面からは、製造装置と工場設備の安全について、地震、火災、ガス・薬液の漏洩などの危険性を評価する方法論の構築について提言する。また、それらが作業者や周辺住民の健康に及ぼす影響についての安全性評価方法や、リスクアセスメントの方法について検討を行なう。

環境ツールとモデリングについては危険性モデルやコストモデルの作成と適用について検討し、環境会計、安全会計といった概念の確立を通して、産業界がコストエフェクティブな安全対策・環境対策の必要性を認識できるシステムを構築するための提案を行なう。

ESHの分野は前にも述べたように、すべての半導体技術に関連しているため、具体的な提言に当たっては各技術分野の専門家と協力して、ニーズ・課題・解決策を検討する。また、各技術分野固有のESH問題については特に、他のWG分野への依存性の項において特徴的な問題をピックアップしてまとめることとする。

## 2 - 9 - 3 要求(技術ニーズ、到達すべきレベル)

### (1) 環境

#### 1) 省エネルギー、省資源

近年、オゾン層保護に始まり地球温暖化防止問題、ダイオキシン問題、ISO14001、PRTR法制化等、産業に対する地球環境保護の要求が加速的に高まっている。その中でも、半導体産業は大量の電力と水、多種多様な薬品・ガスを使用する環境負荷の高い産業として注目されている。

他の産業と同様、半導体産業もコスト削減の目的から省エネルギー、省資源には鋭意取り組んできた。しかし、地球温暖化防止のための省エネルギーやPFC排出規制の強化、資源枯渇防止と廃棄物処分場不足によるゼロエミッション活動への社会的な動き等、コスト削減以上の対応が半導体産業に要求されている。

特に、2000年以降に予想される、8インチウェーハから12インチウェーハへの移行は、クリーンルーム環境、生産設備、生産システムが大きく変わる可能性があり、この変化を睨んでの省エネルギー、省資源の施策をあらゆる面から、検討していく必要がある。

省エネルギーに関して言えば、半導体産業はエネルギー多消費型産業であり、半導体製造コストにおけるエネルギーコストが占める割合は大きく、半導体集積度の向上とウェーハ口径の増大に従いその割合はさらに大きくなることが予想される。

半導体産業では、これまで空調用エネルギーの削減に目を向けて取り組んできたが、特にウェーハ

の大口径化に伴う生産装置のエネルギー消費比率は、今後ますます増大する傾向にあり、個別装置の省エネルギー対策が重要になってくる。

省資源に関して言えば、半導体産業は大量の水と多種多様な薬品・ガスを使用し、地域レベルの環境負荷が高い産業であるため、水資源の枯渇防止と地域環境の汚染防止は地域住民に対する企業としての重大な責任である。

特に超純水使用量の削減は、水資源枯渇防止だけでなく超純水製造用薬品の削減になり、地域環境の汚染を軽減する面でも有効である。

また、半導体産業は、大量に発生する廃棄物を処分するための費用を削減する目的から、廃棄物の再資源化に鋭意取り組んでおり、資源保護の面では今後より一層の努力が必要である。

## ２） 化学物質管理

半導体産業ではそのプロセスにおいて種々の化学物質（材料・化学薬品等）が用いられている。既に用いられている化学物質に関する安全性に関しては比較的知識の蓄積があるが、長期的な毒性、あるいは環境負荷性に関してはデータが完備されておらず経験的に使用を可としているものも多い。このような化学物質を不用意に使用すると種々の安全・健康・環境上の問題を引き起こしかねない。更に新しい構造の採用・プロセス技術の改良のために新規に採用されようとしている化学物質がある。これらの化学物質に関しては安全性・健康有害性・環境負荷性に関してデータが完備されていない場合が多い。このような新規化学物質の使用に関してはその化学物質の性状、使用量、使用方法等に応じてリスクアセスメントを行い必要な管理を十分に行う必要がある。このリスクアセスメントを迅速・正確に行うためには化学物質の安全性、健康有害性、環境負荷性のデータをその化学薬品の使用法（除害法）法律等による当該化学物質の規制の状況とともにデータベースに保存し、必要に応じて参照できることが重要である。

また最近の環境問題に関する理解の深まり、あるいは社会の関心の高まりにより環境負荷物質の使用の削減あるいは環境への排出の抑制が半導体産業としても求められている。このために環境負荷物質に関する環境マネジメントを確実に行う必要がある。半導体工場で使用する化学薬品のマテリアルバランスを正確に管理することにより化学物質の使用量・排出量あるいは廃棄物の量を排出工程とともに正確に把握し、削減を行って行くことが望まれている。また法制化の途上にある PRTR はこのマテリアルバランス管理のうえに達成される。

半導体工業によって生産される IC(integrated circuit: 集積回路)等の製品もやがては廃棄されることを考えると半導体製品中に含有される環境負荷物質に注目した半導体製品の LCA(life cycle assessment: ライフサイクルアセスメント)が必要となる。製品の廃棄まで考えて環境を汚染しないような環境を意識した製品設計方針がその結果提示される。更に半導体産業が社会の一員として十分な責務を果たすために、地域社会あるいは半導体製品購買者に対する環境負荷物質の情報公開が求められる。特に地域社会に対しては工場よりの化学物質の排出を含む環境安全性データの開示が求められる。このとき地域住民に対するリスクコミュニケーションのあり方が半導体工場の立地に重要な影響を持つ。また半導体製品の購買者に対しては購買者の側における環境負荷評価を支援するために半導体製品に含有される環境負荷物質量の伝達が求められている。

## （２） 安全、健康

安全と健康は空気のように特に意識しなくともただで享受できるのが理想である。しかしながら人間

が経済活動を行なう場においてはそれぞれ程度の差はあるものの理想とは遠い状態でありそれに対する何らかのリスクとコストを負担している。半導体産業にあって、特にウェーハプロセスにおいては、超一流の病院にも無いような清浄空間内で作業が行なわれている。従って作業空間内ではフィジカルな健康問題に対するリスクは十分に低いと言えよう。しかし恒温、恒湿、恒照度の環境であり、体内時計の変調などによる、メンタルな健康問題は解決の必要がある。また一部運動エネルギーの大きなAGV(auto guided vehicle)が作業域内に人間と共存する事があり安全面での取り組みが必要である。安全の面に着目すると、製造装置には、工場配管等を通じて有毒ガスや、可燃性ガス、液体では強酸、強アルカリの薬品等が供給されており、配管部品の劣化や、メンテナンス不良、操作ミスなどによりそれらが漏洩し、過去には事故に結びついた事があった。

一方、通常作業ではない異常時における装置と人間の関わり合いにおいて、例えば故障時にカバーをあけてワーク（ウェーハまたはウェーハカセット）に近づくときには、ワークを加工する為の種々の化学薬品が充満した空間に身をさらす可能性があり、またワークをハンドリングする機構が人体に直接危険をもたらす可能性が高くなる。これらは突発的な異常時のみならず、予防保守など定期的に行なう保全作業にも関係する事である。

災害発生時、特に地震大国である日本においては装置の転倒が作業者の重大な危険に結びつくことがある。さらに工場配管の破断によるガス、薬液の漏洩にも留意する必要がある。

また火災発生時は、ハロンによる消火がオゾン層破壊の問題で使用出来なくなったため注水消火が行われる。装置の部材、特に塩化ビニルの燃焼時、そのまま燃えれば塩素ガス、燃えかすにダイオキシン、消火のために水をかければ塩酸が発生する。それぞれ有毒、有害物質である。

現在露光には紫外線領域の波長の光が使われているが、将来 EUV(extreme ultra violet)と称するX線領域の波長を使用するようになると、X線被曝による健康への影響が無視出来なくなる。組立て工程ではモールド樹脂に内分泌攪乱物質が含まれており、モールドフラッシュ、カル等の除去した屑の管理を厳密に行なう必要がある。また従来装置全般について言えば性能追求が第一であり、操作性の向上や誤操作防止などは二の次であった感が強いが、今後は人間工学的な配慮に基づいた設計を手がけて行く必要がある。

### （３）環境ツールとモデリング

事業経営者は、事業推進、利益追求を旨とするものであり、その為に半導体で言えば、歩留り、生産性、費用を第一優先とすることとなる。また生き残る為には先端製品開発が必須であり、その競争に打ち勝つ為に、先端技術開発に鎬を削る事となる。一方事業経営に新たな境界条件が覆い被さっている、環境安全問題である。経営者は総論として理解を示しているが、立地、技術開発、製造、製品使用、製品廃棄等の業務活動が環境や安全へどのような影響を与えるか、各段階に於る責任者や担当者がよく承知して進めないと思わぬ環境汚染を引き起こしたりして、経営上の問題となることがある。

即ち環境安全に関する問題点に予め配慮していなかった為、技術や装置を導入後変更したり、経費の増大という結果を招くこととなる。このような事態を回避する為に、設計・開発技術者は、業務推進をする際、環境影響事前評価をし、環境・安全に配慮した設計、開発をしなければならない。

また環境会計や安全会計の考え方を導入し、その投資効果が適切であるかを算定し技術的、経済的に妥当であるかを確認できる評価体系が必要である。

このような評価を的確に円滑に進める為には、適切な環境施策の評価手段が必要となる。現時点

での環境安全評価手段として、安全点検表、リスク評価、環境影響分析、物質収支・エネルギー収支、費用算定が挙げられるが、リスク評価や環境影響分析に見られるように、これらはまだまだ不十分であり、その構築から始めなければならない。また有害性情報など、各種の基礎諸元、調査結果も十分ではないので、その収集、蓄積も必要である。

ESH の要求を図表 2 - 9 - 1 にまとめた。



分類	要求		問題点
環境	省エネルギー	個別装置のエネルギー使用量削減	ウエハの大口径化に伴う生産装置の大型化が、装置発熱量や排気量を増加させ、また、クリーンルーム面積をも拡大させている。装置発熱量や排気量の増加は、冷凍機負荷を押し上げ、クリーンルーム面積の拡大は空調機負荷を押し上げている。 大口径化と高品位化に伴って、生産装置のエネルギー消費比率は増大の一途をたどっており、個別装置の設計時点からの省エネ仕様が重要である。
		空調用エネルギーの削減	クリーンルーム品質の高度化により空調エネルギーの占める割合が大きい。
		エネルギーコストの削減	製品の高品位化に伴いエネルギーコストがますます増加傾向にある。
		省資源	超純水削減
	省資源	薬品・材料・ガスの使用量削減	高品位による工程数の増大に伴って薬品・材料・ガス使用量が増加し、天然資源の枯渇と地域環境負荷の増大を促す。 プロセス設計時点で、材料(薬品・材料ガス)の使用から排出までを抑制するプロセス開発が重要である。
		廃棄物の再資源化	薬品・材料・ガス使用量の増加により、廃棄物排出量が増加し、天然資源の枯渇と最終処分場の不足を促す。
		化学物質管理	化学物質に関するデータの集積
	新規材料・化学物質の安全性・環境負荷性の評価		新規デバイス構造・プロセスの採用にともない、新規材料・化学物質を半導体プロセスで採用する可能性が高い。このような新規材料を不用意に使用すると安全性、健康上の問題を生じ、また排出に伴い環境に負荷を与える可能性がある。
	環境負荷物質削減		現在既に使用している材料・化学物質は安全上の取り扱いが経験的に確立しているが、環境負荷性に関しては知見の高度化につれ、その問題点が明らかになる物質がある。このような物質の使用・排出を継続すると環境に負荷を与える。
	環境マネジメント		半導体工場における化学物質のマテリアルバランスを正確に把握しないと、その工場における化学物質の使用法に関する問題点を正確に指摘し、環境への負担を少なくする方策を見出すことが難しい。
安全	設備安全	ワークハンドリングデバイスと人体の干渉防止。	ウエハの大型化に伴いハンドリングに使用するロボットや搬送車が大型化し、運動エネルギーが大きくなっているため人体に対するダメージも大きい。
		危険性評価	部品劣化やメンテナンス不良により発生する。
	危険性評価	地域的に地震多発地帯であるので耐震設計が必要。	ウエハの大型化により装置も大きくなっており、転倒防止のガイドラインは見直す必要はないか。
		火災発生時の作業員保護	注水に伴う化学変化で有害物質が発生する。
		エルゴノミクス応用による改善	誤操作の可能性が作業員のストレスに結びつく。 操作性の改善
健康	作業環境 有害物質への曝露	24時間稼働による作業員の健康維持	恒温、恒湿、恒照度等の作業環境がメンタルな面を含めて健康に影響する。
		新規化学物質の長期安全性確保。	業界内にこれを分析・確認できる技術が無いので最適な共同研究あるいは委託先の選定が必要。
		X線被曝の対策	露光描画に使用される波長領域の人体への影響は未知な部分が多い。
		モールド可塑性材の内分泌攪乱作用	危険性の認知
環境ツールとモデリング	危険性モデル	危険性評価	基本的考え方と危険性評価体系構築
	費用モデル	安全会計	環境・安全対策の投資効果定量化
	モデル	環境会計	事故率、影響度の定量化
	モデリング	物質エネルギー収支	装置から工場、地球までの系構築
		地球規模モデル	地球温暖化、環境汚染の拡大モデル構築
		予測計算	動脈、静脈工程の反応過程及び生成物予測

図表 2 - 9 - 1 E S Hにおける要求

## 2 - 9 - 4 課題(技術課題)

### (1) 環境

#### 1) 省エネルギー、省資源

半導体の生産に使われるエネルギーは、そのほとんどが電力で、生産装置が 40%、空調が 40%を占めている。半導体産業ではこれまで空調用エネルギーをターゲットに省エネルギー活動を行ってきたが、半導体の高品位化とウェーハの大口径化による生産装置のエネルギー消費の増大と、クリーンルームの高度化による空調のエネルギー消費の増大のため、必然的に消費エネルギーは上昇の一途をたどっている。

この事は、半導体の生産コストにも重大な影響を与えおり、コストの面からも、生産設備を含めたクリーンルームの総合的なエネルギー設計やウェーハ搬送・保管方法等の大きな変革が必要となっている。

なお半導体産業における省エネルギーの目標レベルは、地球温暖化対策として 1997 年 12 月の COP(conference of party: 締約国会議)<sup>3</sup>で決定した、日本の CO<sub>2</sub> 排出量削減目標は「1990 年に対して 2010 年度で 6%削減する」であり、この結果を受けた経団連が 1998 年 12 月に報告した自主行動計画によれば、半導体産業の省エネルギー目標を CO<sub>2</sub> 原単位指数で、1997 年の 0.96 から 2010 年を 0.76 とした。これをシリコン面積あたりの消費電力で見ると 1997 年度実績の 0.9kwh/cm<sup>2</sup>(Si)から比例計算して 2011 年度で 0.6kwh/cm<sup>2</sup>(Si)台の達成が半導体産業の目標値となる。

次に、半導体生産で使用する水は、その殆どを超純水に使用している。半導体が高品位化するに従って、超純水の使用量は増加し、その品質も向上してきた。超純水の製造には大量の薬品を使用する為、超純水の使用量の増加と品質の向上は薬品使用量と超純水製造コストの加速的な増加を呼び、半導体の生産コストを圧迫しつつある。よって、薬品による地域環境汚染を低減し、かつ半導体製造コストを削減する目的から、超純水使用量の削減と超純水製造コストの削減を課題として取り上げた。

なお、水使用量の削減には排水のリサイクルも有効ではあるが、日本国内でも地域による水事情の差は大きく、水が豊富な地域においてはその地域の水環境とコスト面を検討した上で実施すべきである。

その他の課題としては、ダイオキシン汚染等の問題から、企業活動による環境汚染への地域住民の関心が高まり、PRTR の法制化もあって「使用化学物質の削減」が企業活動の中で、今迄に無い重要性を帯びている。

また、他産業ではゴミゼロ工場が次々と実現化し、廃棄物ゼロが企業に対する社会的な要求になりつつある。半導体産業でも「ゼロエミッション」を目指す企業が増えている。

#### 2) 化学物質管理

##### (a) リスクアセスメント

化学物質を採用するに当たってはその安全性、健康有害性・環境負荷性の評価を事前に正確かつ迅速に行うことが必要で、これらのデータを十分に把握したうえでその使用量・使用方法を勘案しリスクアセスメントを行い採否を決定する必要がある。化学物質の使用に当たっては安全性・健康性の観点からは作業員への暴露を少なくしてゆくこと、環境負荷の観点からは工場外への排出の抑制

が必要とされる。

現在半導体産業に対応したリスクアセスメントの一般論はまだ展開されていない。半導体素子の製造に特有な材料、プロセスに適応したリスクアセスメント手法の開発が急務である。

#### (b) 新規材料・化学物質の安全性・環境負荷性評価

半導体プロセスにおいて新規材料・化学物質を使用する場合に、その材料の安全性・健康有害性・環境負荷性を評価する必要がある。現在このような物質の性質を系統的に評価する仕組みは作られておらず、一般的な化学・医学分野でのデータの完成を待っているのが現状である。

#### (c) データベース構築

半導体産業において使用する材料・化学物質を使用する場合のリスクアセスメントを正確に行うための情報をプールしておくためのデータベースを構築する必要がある。収納データとしては安全性データ、環境負荷性データ、プロセスデータ、使用に当たっての排出分配係数・除害法、法律等による規制状況等が望まれる。現状は化学物質一般のデータベースは化学物質業界において作成されているが半導体産業で用いている物質に関するデータは貧弱である。特に半導体産業で用いられているプロセスあるいはそのプロセスを用いた場合の化学物質の排出系への分配係数等のデータは非常に少ない。

#### (d) 環境負荷物質削減

半導体工場より排出される環境負荷物質を削減する必要がある。廃棄物の管理を含めて、どのような経路で排出されているかを明確にし、対策を考える必要がある。環境負荷物質に対する代替物質を探索する、或いは環境負荷物質を環境に排出しないための回収・除害技術の開発を行う必要がある。

現状では個別の環境負荷物質に関しては代替物質探索の努力が重ねられている。特に地球温暖化物質、オゾン層破壊物質に関しては現在国際的な取決めによる対策が進行中である。パッケージ等に用いられるプラスチックの難燃性材料として用いられる Br、Sb、あるいは半田に用いられている鉛に関しては代替材料の開発が精力的に進められている。

#### (e) 環境マネジメント

環境負荷物質の使用量・排出量を削減するために各半導体工場における化学物質管理を徹底する必要がある。現在多くの半導体工場が ISO14001 の認証を取得しているが、今後我が国における PRTR の法制化に対応したマテリアルバランス管理システムを早急に立ち上げる必要がある。また対象とする化学物質の範囲が拡大するにつれ、この作業を自動的に行うシステムが必要とされる。物質 LCA 現状では手作業による集計、報告に頼る面が多い。自動化データ集計システムは構築中である。

#### (f) データ公開

環境負荷物質の排出データの公開による影響を最小にするためのデータの公開方法を含めた地域住民に対するリスクコミュニケーションの手法の確立が必要である。また半導体製品を使用する購買者のグリーン調達による環境マネジメントを支援するための製品に含有する環境負荷物質データ

の公開も今後の企業責任として行う必要がある。

## (2) 安全、健康

1) 新規化学物質の長期的な健康への影響評価が必要であるが、主に医療分野、化学分野での対策が待たれている。

2) メンタル面での健康管理に関しては、温度、湿度、照度などを既存の基準に適合させる事や、労働法規に関わる規制を厳密に管理する事は可能であるが、健康に変調が起きた時の対策や治療法などは医療分野に依存する。

3) ワークをハンドリングする機構はウェーハの大型化にともなって質量が増大し、さらにスループットを上げる為に高速化した事により運動エネルギーが大きくなっている。

これと人体の干渉が起きると、深刻なダメージを受ける可能性がある。特に作業者と共存するような搬送用 AGV は危険度が高い。またハンドリングロボットなどのアクチュエータはメンテナンス時以外には人体と干渉する可能性は低いが、考えられる限りの危険防止対策をとっても、思いもつかなかった原因で事故は起こるものである。

4) ウェーハの大型化に伴って装置も大型化し、高さ方向の寸法も大きくなっている。またフットプリントを減少させるために高さ方向に加工部分を積み重ねることも行われており、転倒しやすさが増加してきた。

5) 塩化ビニルは通常状態では安定な物質であり対薬品性が高く安価でありこれに変わる材質の開発が急務である。

6) 電磁波は波長によってさまざまな性質があり一概に健康への影響を云々できないが、露光描画に使用する光線の波長が更に短くなり、X 線領域になるとその波長の性質を解明し人体への影響を評価する必要がある。

7) デバイスに使用している部材が廃棄後の環境に対する影響以外に健康に影響があるケースは、モールド樹脂に含まれている内分泌攪乱物質(環境ホルモン)によるものが考えられる。モールド工程では金型の具合でフラッシュが発生する。またランナー部分のカルも余分なものとして集積され廃棄される。特にフラッシュは金型に付着しているので、次のモールドの間に清掃を行うが、粉末に近いそれらを扱う作業者の長期的な健康に影響することが考えられる。

## (3) 環境ツールとモデリング

環境施策の評価手法はまた技術者にも、環境安全担当にとっても使い易く信頼置けるもので無いといけない。更に進展の早い、半導体技術や世の中の技術革新に対応して、時宜を得た内容の更新をしないと意義が薄れてしまうことになる。

この環境ツールの共通尺度を何にするかは基本的な問題の一つである。コスト、環境安全に対する有害性、あるいは気候変動に対する指標としての炭酸ガス等の内、どれを最も重要な要素として考え

考えるか、或いはこれらを係数表示することにより重み付けして指標とするべきであろうか。例えば、ある新規材料を採用すると性能、歩留りの大幅改善が見込めるが、一方健康に対する影響が懸念されるような場合、その有害性・環境破壊度の尺度として  $1/10E7$  の発癌能を採用したとき、前者の評価規準はコスト、後者は疾病発生率である。このような異なる評価規準をどのように比較して判断の指標とするかが課題である。

この環境施策の評価手法を構成する重要な要素の一つは危険性(リスク)評価である。これまで環境担当者は、ある化学物質にある有害性があるとき、短絡的に使用禁止を訴える事があったが、これからはどの程度の有害性までは受容できるのか、世の趨勢は使用可否判断基準から許容度合いを測る時代に移ろうとしている。更にこの危険性評価の主体を人間とするのか生態系とするのかでも話は変わってくる。このように危険性評価の基本思想の理解の深化とその体系の確立が求められる。

他の要素としてプロセスの解析がある。現実の課題としてプラズマ工程の副生成物が話題になっているが、もっと基本的には各工程での反応の素過程の明確化、把握であろう。

そして環境に影響の大きい工程を抽出できる環境施策の評価手法の確立であろう。物質収支に就いては、現在試行されている化学物質移動登録制(PRTR)の成果を応用するのが得策であり、その後構築、実用化となるであろう。

ESH における課題を図表 2 - 9 - 2 にまとめた。

[環境]  
[省エネルギー]

課題		到達レベル				
		1999	2002	2005	2008	2011
		180nm	130nm	100nm	70nm	50nm
装置発熱量の増加		装置発熱設計の見直し	低発熱タイプの開発	低発熱タイプの実用化		
装置排気量の増加		密閉型ウェット装置の開発	装置廃熱の完全水冷化	装置排気の無害化による回収		
クリーンルーム面積の拡大		フットプリントの削減	装置機能の統合化			
冷凍機負荷の削減			省エネ型クリーンルームの設計	クリーンルームの排気廃熱の回収		
空調機負荷の削減		局所クリーン	ミニボット化 乾空トンネル方			
電力コストの削減		夜間電力の活用・氷蓄熱システム導入	高効率コージェネレーションシステムの導入			
エネルギー使用量	個別装置	0.45	0.45	0.4	0.4	0.3
(kwh/cm2)	ファシリティ	0.45	0.45	0.4	0.4	0.3
300mm	エネルギー使用量(kwh/cm2)		0.6	0.6	0.6	0.5

[省資源]

超純水使用量の削減 (l/cm2)		高効率洗浄技術の開発			
	11	10	9	8	8
超純水製造コストの削減 (1997年実績比)	90%	80%	70%	60%	50%
使用薬品の削減	薬品使用効率の向上(槽の形状)	薬品使用効率の向上(洗浄・エッチング方式変更)			
ゼロエミッション (再資源化率 :%)	徹底したリユース・リサイクルの仕組み作り	法律の整備(再資源化業者の保護・育成)	再資源化技術の向上		
	60%	65%	70%	80%	90%

【注1】  解決策有り  解決策検討中  解決策未知

【注2】 超純水製造コスト削減の到達レベルは、1997年度の実績を100%とした時の比率を示す。

図表2-9-2 ESHにおける課題

[環境] 続き  
[化学物質管理]

リスクアセスメント		アルゴリズム検討		適用検討		
データの集積	既存化学物質	データベースの	50%	100%		
	新規化学物質			開発後2年	開発後1年	
新規化学物質 評価	安全データ	評価法・項目の 検討	評価体制の 検討	データ蓄積		
	環境負荷データ	評価法・項目の 検討	評価体制の 検討	データ蓄積		
環境負荷物質 低減	現使用物質	Pb代替プロセス・ 処理法検討				
		Br,Sb代替プロ セス・処理法検				
		その他物質選 定	代替プロセ ス・処理法検			
	非意図的発生物質評価		プロセス評価	代替プロセス・ 処理法検討		
製品のLCA	製品の物質LCA		アルゴリズム 検討	実施	設計変更	
環境マネジメント	マテリアルバランス	アルゴリズム 検討	PRTR実施	自動データ取 得・解析システ		
	廃棄物管理	方式検討		実施		
データ公開	リスクコミュニケーション	手法検討	情報公開			
	構成成分情報開示	自社付加物質	購入部品 (1次)	購入部品 (2次)	全部	

【注1】  解決策有り  解決策検討中  解決策未知

図表2 - 9 - 2 ESHにおける課題(続き)

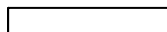
【安全、健康】

課題		到達レベル				
		1999	2002	2005	2008	2011
		180nm	130nm	100nm	70nm	50nm
設備安全	装置可動部分の人体への干渉防止	S E M I S 2 , S 8 の適用 ( S2 Safety Guidelines and S8 Ergonomic/Human Factor Guidelines. )			対策実施	
	ガス・薬品漏洩防止					
	装置転倒防止					
危険性評価	消火活動に伴う有毒物質の発生防止	材質の開発		新材料の使用		
	エルゴノミクス応用による改善	生理学的ストレスの理解		設計基準に適用 ( SEMI S8 Ergonomi c/ Human Factor Guidelines. )		
作業環境	作業者のメンタルヘルス管理	メンタルカウンセリングの実施				
有害物質への曝露	新規化学物質の長期安全性確保	産、官、学による共同研究体制の確立		安全規格の制定実施		
	X線被曝の対策	実態調査		産、官、学による共同研究体制の確立		対策実施
	モールド可塑材の内分泌攪乱作用	新材質の開発		材質変更		

【環境ツールとモデリング】

モデリング	物質収支 エネルギー収支	PRTR調査 基礎整備	構築 実績で検証	実用化 装置から地球規模まで		
	設計ツールの効率を評価する方法論				実効性、予見性検証	
	循環モデル	基本思想	モデル構築	検証改善		
	プロセスシミュレーションのモデル		シミュレーション方法の確立	シミュレーションによるプロセスの改良		
	主要プロセスの評価		シミュレーションモデルの適用	改良プロセスの実用化		
	情報の整備		ソフト開発			
	法規制情報整備		法律外規制の調査			
危険性モデル	リスク評価	基本思想評価手法				
	関連危険事例・費用の研究	事例解析				
費用モデル	関連危険モデルと費用の増大		モデル構築	検証改善		
	危険費用モデルのデフォルト値		暫定版	精度向上		
統合設計ツール			異なる価値空間の統合	統合化研究	実用化	

【注1】



解決策有り



解決策検討中



解決策未知

図表2 - 9 - 2 E S Hにおける課題(続き)



## 2 - 9 - 5 解決策候補( 解決策の候補技術 )

### (1) 環境

#### 1)省エネルギー、省資源

これまで省エネルギーに対する技術開発の取り組みは、半導体メーカーと空調設備メーカーとの協力による空調の省エネルギーが主体であり、その技術開発もほぼ限界に近づいている。しかし、半導体の更なる高品位化に伴うクリーンルーム品質の高度化は避けられず、半導体におけるエネルギーコストは今後も増大する一方である。そこで、半導体メーカーは、生産装置メーカーに対して、装置本体の省エネルギー化に加え、装置の発熱や排気等のクリーンルームに熱負荷を与える要素を低減する装置設計を要求する必要がある。また、装置の小型化によるクリーンルーム面積の縮小にも省エネルギー効果が有り、これも生産装置メーカーへ要求する課題の一つである。

その他にも、ミニエンバイロメント(mini-environment)等、搬送方法の技術開発と標準化等によりクリーンルームレスラインが実現すれば、半導体のエネルギー消費の大幅な削減が期待できる。

今後、より大きな省エネルギー効果を生む為には、半導体メーカー・生産装置メーカー・空調設備メーカーが協力した、省エネルギーラインの設計が必要である。

省資源について、半導体産業では廃棄物の再資源化に取り組んできた。しかし、一方で将来的な廃棄物排出量の増大と、超純水使用量の増加は避けられない状況にある。そこで、今後はプロセスでの薬品・ガスの使用量・排出量をいかにして減らすかが重要な課題になってくる。

プロセスではウェーハの大口径化やCMP(chemical mechanical polishing: 化学機械研磨)技術の導入により、洗浄用純水の増大が予想され、節水型洗浄技術の開発が必要になっている。また、超純水品質の高度化による製造コストの増大も見込まれており、水処理設備メーカーでのランニングコスト削減に繋がる技術開発が必要不可欠になっている。現実的な方策としては、高効率洗浄技術の開発や高感度分別センサー開発による徹底した分別回収技術等が考えられる。

半導体産業全体の活動により、排出される主な廃棄物の再資源化のシステムはほぼ出来上がっている。しかし、他の産業でゼロエミッションが次々と実現している昨今、社会からの半導体産業に対するゼロエミッションの要求は避けられない。今の半導体産業でのゼロエミッションは、半導体産業の努力と共に国による法整備や再資源化産業への支援、また他産業の協力が必要不可欠である。

### 2) 化学物質管理

#### (a) データベースの構築

データベースの設計に技術的な障壁はない。問題はそのデータベースに収めるデータの取得である。ある程度の量のデータが集まって始めてデータベースとしての機能を発揮することになり、早急にこの障壁を越えることが必要である。

#### (b) 新規材料・化学物質の安全性・環境負荷性評価

米国のHPV(high production volume chemicals)プログラムに対応するプログラムの半導体産業対応版が必要。半導体産業で合意の得られた化学物質(既存あるいは新規)に関して必要とする安全・環境負荷データを専門機関に委託して取得するシステムを構築する。

### (c) リスクアセスメント

半導体工場・製品におけるリスクアセスメントの一般論はまだ展開されていないので、化学薬品業界において確立しつつあるリスクアセスメント手法を半導体業界に対応させる等の努力が必要とされる。

### (d) 環境負荷物質削減

オゾン層破壊物質・地球温暖化物質については既存の国際的取決めで削減計画が進行しているので本項目としては取り上げない。それ以外の物質については PRTR の実行に伴うマテリアルバランスの管理を利用した削減計画を取りまとめる。

個々の環境負荷物質の削減計画はプロセス、素子構造との取り合いとなる。このため、デバイス設計・プロセス設計の段階から環境を意識した設計を行うような設計アルゴリズムの確立が必要である。

### (e) 環境マネジメント

マテリアルバランスの管理を工場における資材購入システム・廃棄物マニフェストシステムと連携させたシステムとして構築し、その結果を PRTR 用の出力とするシステムとして構築する。

### (f) データ公開

PRTR によるデータ公開に先立って半導体産業より自主的にデータを十分にリスクコミュニケーションの手法をもって公開するシステムを構築する。また、製品に含有される環境負荷物質の情報開示に関しては半導体産業におけるグリーン調達を実行することにより部品を含めた情報開示を部品調達チェーンを遡って行う。

## (2) 安全、健康

1) 新規化学物質の影響や、メンタルヘルスの問題は、それぞれに高い知見を持つ公的研究機関、大学等と共同研究を行うか、研究を委託する仕組みを整備する。物理的、化学的な危険に対する安全性は、各法規による規制、規格があり半導体業界では SEMI による規格が一般的である。まずはこれらを厳密に守ることと、それらを常に改善してより安全なものにリバイズするシステムを構築する。

2) 火災による有毒物発生については関連業界と共同して安全な材質の開発を推進する。  
X 線に関しても健康との関連は専門の研究機関との共同研究が必要になる。性質が明らかになった後は機器設計時に十分な対策を施すとともに、装置が完成した後、X 線漏洩など不要輻射を厳密にチェックする基準の整備、更に作業者には防護服の着用を義務づけるなどが考えられる。

3) 樹脂内の有害物質はこれを使わない樹脂に変更することが考えられるが、耐湿性など信頼性の低下に留意する必要がある。

4) 設備の操作性や誤操作の防止にはエルゴノミクスを応用した設計手順を確立する。

### ( 3 ) 環境ツールとモデリング

危険性(リスク)評価は、日本化学工業協会の検討結果をまず利用し、半導体版への変換を図る。物質収支に就いては前述の通りである。

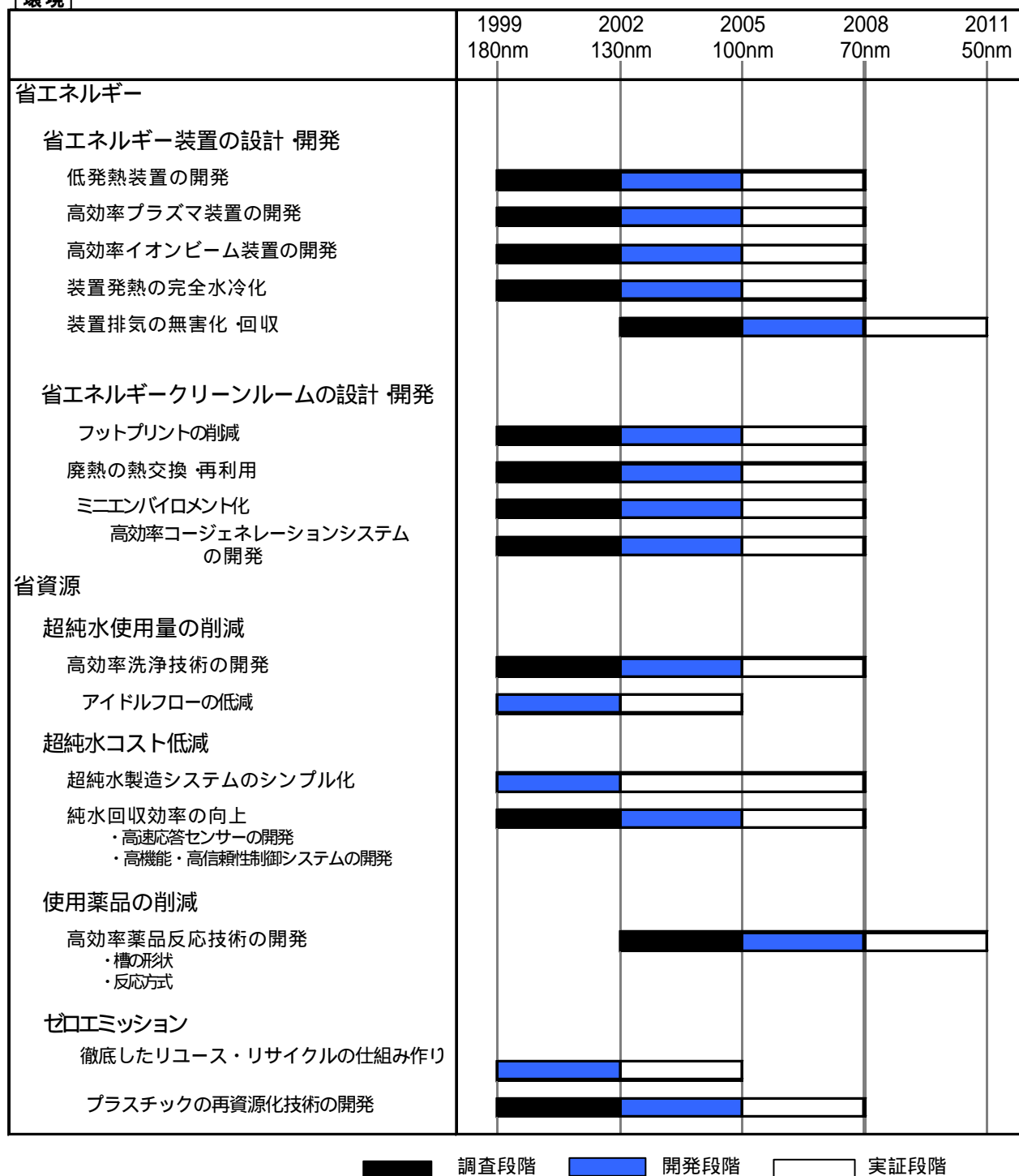
危険モデル・費用モデルは、半導体業界が研究する事になるが、まず事例研究から入って道を探る事になるであろう。

環境施策の評価手法の実効性評価は過去の実績値を用い検証する事になるであろう。プロセスシミュレーションは、技術 WG に研究を要請し、その成果を導入して環境施策の評価手法に取り込む。

法規制情報整備に就いては、規制外規制の概念を導入し、例えば内外の業界の自主指針や研究機関の問題提起、環境団体の動き、現場の事象、事件等を材料として整備を進める。

ESH における解決策候補を図表 2 - 9 - 3 にまとめた。

[環境]



図表 2 - 9 - 3 E S Hにおける候補技術

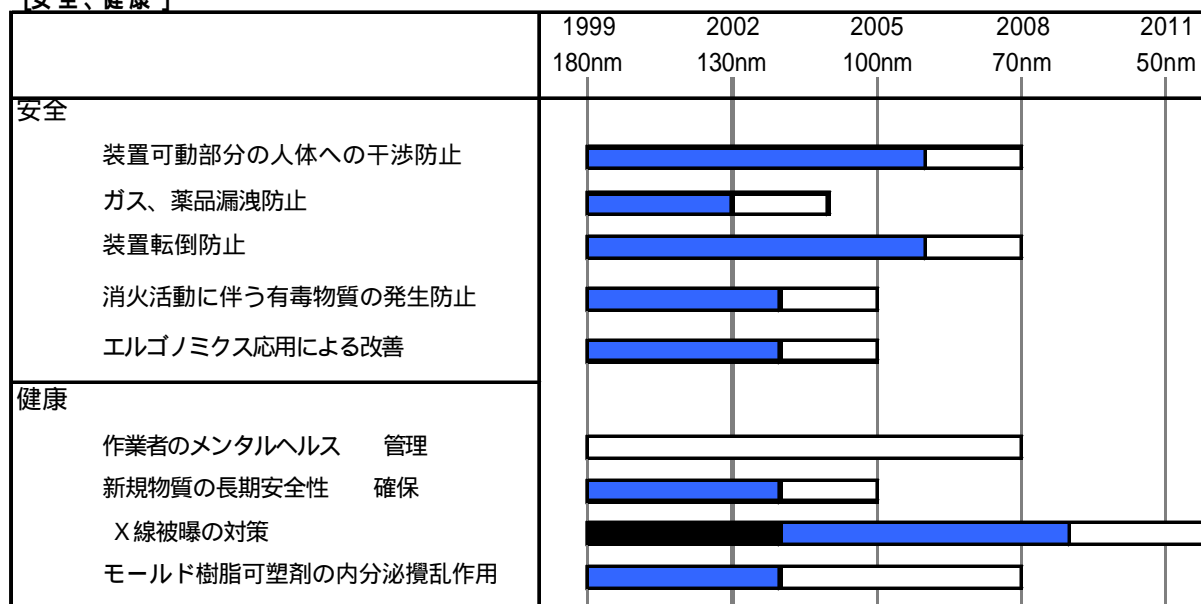
「環境続き」

	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm
新規化学物質評価					
リスクアセスメントの半導体工場への適用	調査段階	開発段階	実証段階		
データベースの作成					
化学物質のデータベース作成・データ集積	開発段階	実証段階			
新規化学物質の安全性データ取得	調査段階	開発段階	実証段階		
新規化学物質の環境負荷データ取得	調査段階	開発段階	実証段階		
各論					
低誘電率有機膜の導入	開発段階	実証段階			
有機金属 (Cu)の導入	調査段階	開発段階	実証段階		
CoSi2の導入	開発段階	実証段階			
BSTの導入	開発段階	実証段階			
Ruの導入	開発段階	実証段階			
環境負荷物質低減					
既存環境負荷物質の低減方法					
薬品のリサイクル	調査段階	開発段階	実証段階		
洗浄方法・薬品の変更	開発段階	実証段階			
装置クリーニング物質	開発段階	実証段階			
非意図的発生環境負荷	調査段階	開発段階	実証段階		
物質の同定・低減・排出物の無害化	調査段階	開発段階	実証段階		
各論					
現使用物質の環境負荷性の検討	開発段階	実証段階			
酸化膜エッチング用PFC削減	開発段階	実証段階			
CVD装置クリーニング用PFC削減	開発段階	実証段階			
Pb代替プロセス・構造(鉛フリー半田)	調査段階	開発段階	実証段階		
Sb,Brフリー・難燃性プラスチック	開発段階	実証段階			
メッキ関連材料	開発段階	実証段階			
パンププロセス材料	開発段階	実証段階			
dry resist, aqueous resist	調査段階	開発段階	実証段階		
製品の物質LCA					
廃棄半導体の環境影響評価	調査段階	開発段階	実証段階		
環境マネジメント					
マテリアルバランス	開発段階	実証段階			
PRTR	開発段階	実証段階			
データ公開					
リスクコミュニケーション	調査段階	開発段階	実証段階		
MSDS	開発段階	実証段階			
構成成分情報開示	開発段階	実証段階			
部品構成成分情報取得(1次)	開発段階	実証段階			
部品構成成分情報取得(2次)		開発段階	実証段階		

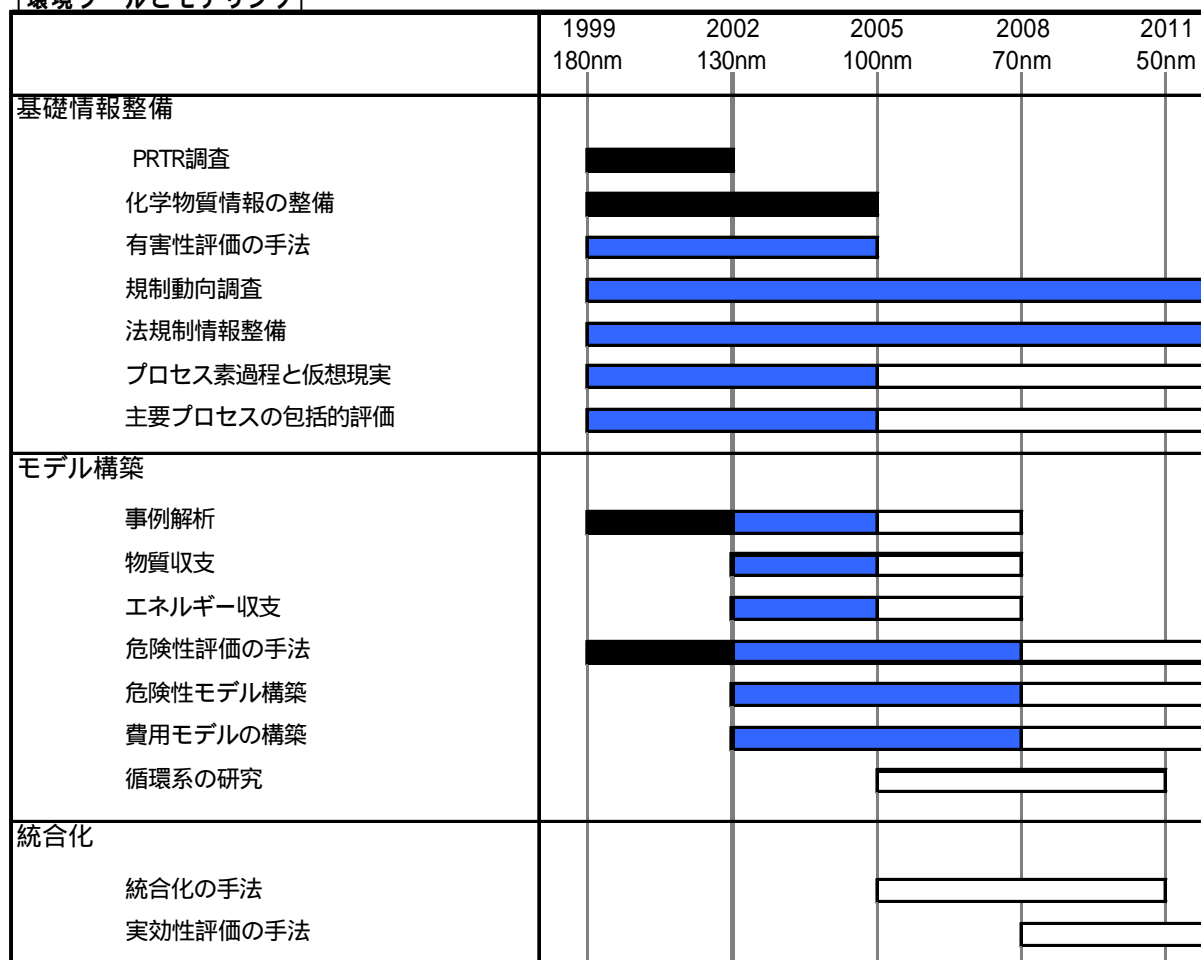
調査段階 開発段階 実証段階

図表 2 - 9 - 3 E S Hにおける候補技術(続き)

[安全、健康]



[環境ツールとモデリング]



■ 調査段階 ■ 開発段階 □ 実証段階

図表 2 - 9 - 3 E S Hにおける候補技術(続き)

## 2 - 9 - 6 他分野依存性(他の WG 分野への依存性)

ESH は横断的テーマであり、他のすべての WG が抱えている課題と関連しているが、特に、フロントエンド・プロセス、配線、リソグラフィ、アセンブリと実装、ファクトリインテグレーションの課題は、必ずと言って良いくらい ESH に関連している部分がある。省資源、省エネルギーはもとより、化学物質管理及び装置管理や地球温暖化防止の面では、使用する新材料や工程の違いがあっても、5 つの WG に共通している事項が数多くあることが図表 2 - 9 - 4 ESH 各項目の他の WG 分野への依存性から分かる。

また設計、テスト、シミュレーションの WG についても今後 ESH を念頭に置いた課題の解決を計っていくことが肝要になると考えられるので、ESH に対する具体的な要望事項を調査していくことが不可欠となる。

各 WG からの ESH に対する要望事項を項目毎に整理してその共通点並びにその特徴を以下に述べる。

省エネルギーに関しては、関連装置、設備の省エネルギー化をウェーハの大口径化に合わせて、一層推進していくことが必要で、温暖化ガスの 60%以上を占めている炭酸ガス放出の間接的な削減につながるので地球温暖化防止にも役立つ。省資源の方は第一に水が削減及びリサイクルの対象になり、化学物質(洗浄液、レジスト、現像液、メッキ液)がこれに続く。

次に化学物質管理及び装置管理に関しては、配線とフロントエンド・プロセスの場合、新規材料として有害なものが見込まれていて、これらの管理が重要になるのに対して、リソグラフィとアセンブリ&実装では、既存の有害物質の削減、又は全廃が中心に据えられている。またファクトリインテグレーションでは、全体排気ばかりでなく、装置の間近で使用する局所排気が含まれ、排水も含めてその高効率化が課題となっている。

更に排出削減については、地球温暖化防止の面から特に注目されていて、エッチングやクリーニングを中心に温暖化係数が極めて高い PFC が多用されている配線とフロントエンド・プロセスにおいて、その排出削減が重要課題となっている。今後 WSC(world semiconductor council:世界半導体会議)の場で決議される国際目標に向けて具体的な解決策の実施並びに更に効果的な技術の開発が促進されるであろう。

これまでは技術自体への影響が問題となり、その影響を抑えた上で行うことがポイントとなる項目であったが、これからは COO(cost-of-ownership)が重要視され、望ましい解がその上に成り立つ項目となる。その第一が作業員保護であり、使用している薬品の潜在的なリスクの回避、装置クリーニング時の有害物質への暴露の防止、放射線への暴露や電磁波障害の防止等があるが、いずれも管理方法の改善、作業方法の改善、装置・設備のエルゴノミックス設計の内、コスト面で有利で、且つ効率的で素早く解決できる手法が取られることになる。

第二は、環境ツールとモデリングであるが、これまでに述べた多くの課題について様々な要因をトレードオフしながら解決に導く手法として確立する必要がある、特に新規化学物質のリスクアセスメント手法の確立が求められている。

項目	WG	問題点	解決策	180nm	130nm	100nm	70nm	50nm
環境	省エネルギー	配線	関連装置の省エネルギー化	プラズマ装置の省エネルギー化				
		リソグラフィ	関連装置の省エネルギー化	EB露光装置の省エネルギー化 DUV光源の効率化(ガス純度、交換効率)				
		フロントエンド・プロセス	関連装置の省エネルギー化	プラズマ装置及びイオンビーム装置の省エネルギー化 電気炉等の高効率化				
		実装	関連装置の省エネルギー化	モールド・プレス機、電気炉等の高効率化				
		ファクトリー・インテグレーション	関連装置の省エネルギー化	HAVCの高効率化、ミニ・エンの促進				
		設計	排気・メークアップの削減	清浄領域の削減、装置の熱排気等の改善				
		テスト	ワークステーションの省エネルギー化	CPU等のLSIの低消費電力化				
			テストの省エネルギー化	省エネテストの開発 テストの水冷化				
	省資源 -水・廃棄物のリサイクル・再利用・削減 -薬品/ガス/材料の削減	配線	CMP及びその後のクリーニングにおける水の大量使用	スピン洗浄等を効果的に使用して水の使用量を削減する				
		リソグラフィ	レジスト、現像液等の使用量削減、再利用	条件の最適化 廃液の再生、再利用				
		フロントエンド・プロセス	洗浄及びウェットエッチにおける水の大量使用	洗浄方法及び薬品の変更(例 スピン洗浄とオゾン水)				
		実装	メッキ工程における水の使用量と薬品使用量の削減	水のリサイクル・再利用の割合を段階的に向上 薬品のリサイクルにより使用量を段階的に削減				
		ファクトリー・インテグレーション	水の使用量削減	工場全体で目的に応じた水の再利用・リサイクルをする				
	a)化学物質管理および装置管理 - 有害物質の使用削減 - 金属類 - 排出削減  - 化学物質データの収集 - 廃棄物の削減・再利用 - 廃棄設備の無害化・再利用 - 排水の汚染防止	配線	層間絶縁膜の低誘電率化	有機膜(例 ポリ・アニール・エーテル)の導入				
			配線材料の低抵抗率化	銅膜(Ta等の拡散防止膜を含む)の導入				
			銅メッキ、Cu MOCVDのいずれが主流となるか	環境負荷の低い方法や材料の選択を開発段階から考慮する				
			地球温暖化防止のため、配線プロセスで多用しているPFCの排出を削減する必要がある	代替ガス(例 C5F8)+除害装置による酸化膜のエッチング 代替ガス(例 NF3)+除害装置によるCVDのクリーニング				
		リソグラフィ	レジスト、現像液、リンス、剥離液等の安全性	環境負荷、有害性の少ない物質の開発 dry resist ,aqueous resist 技術 MSDSの充実				
			排出物の無害化、削減	回収・再利用技術 装置開発 クローズドシステム拡充 有害物質・金属類の抽出 無害化				
			狭い拡散スペースの高抵抗化抑制	CoSi2の使用				
			キャパシタ膜の代替材料の必要性	BST((Ba,Sr)TiO3)等の導入				
			キャパシタ電極の代替材料の必要性	Ru等の導入				
			有害物質の使用削減と排出削減	洗浄方法及び薬品の変更(例 スピン洗浄とオゾン水)				
			配線と同様に酸化膜等のエッチング膜形成後のクリーニングに多用しているPFCの排出を削減する必要がある	配線の場合と全く同様である				
		実装	ハンダ及びパンプに使用する鉛の削減	鉛を含まないハンダの開発と使用				
			モールド樹脂中の有害な難燃材の除去	Sb,Brを含まない難燃性エポキシの使用				
		ファクトリー・インテグレーション	工場排気・排水の削減	局所・集中除害装置の高効率化 化学物質及び副産物の再利用率の向上と代替物質の調査				

図表 2 - 9 - 4 E S H各項目の他のWGへの依存性



項目	WG	問題点	解決策	180nm	130nm	100nm	70nm	50nm
安全 健康	作業者保護 - エルゴノミクス - 安全 - 衛生	配線	銅メッキで使用している薬品が潜在的なリスクとなっている	管理方法の改善が不可欠である				
		リソグラフィ	装置クリーニング時の有害物質への曝露	無害なクリーニング方法改善				
			放射線への曝露	クリーニング方法改善				
			装置のエルゴノミクス設計	露光装置の安全規準設定				
			装置クリーニング時の有害物質への曝露	電磁波障害の安全規準設定				
		フロントエンド・プロセス	装置クリーニング時の有害物質への曝露	無害なクリーニング方法改善				
			装置のエルゴノミクス設計	クリーニング方法改善				
		実装	プロセスで使用している2、3の薬品が潜在的なリスクとなっている	電磁波障害の安全規準設定				
				メッキ浴、メッキに使用する薬品の管理方法の改善				
		ファクトリー インテグレーション	作業領域の汚染 化学物質の被爆	フリップチップ、バンブで使用する有害薬品にESH設計ツールを用いた評価をする				
				化学物質を作業領域から切り離す				
				モニタ及びセンサの改善				
				メンテナンス作業方法の改善				
環境ツールと モデリング	- ライフサイクル アナリシス (LCA) - ESH設計ツール - 新化学物質管理 アセスメント	配線	ESHに関する事項の数値化が困難	作業者及び作業領域と装置の間を仕切る				
		リソグラフィ	DUV/EBX線イオンビーム対応レジスト 現像液、リンス、剥離液等の安全性	ミニ・エンの活用				
				装置やその周辺の気流による騒音の低減				
		フロントエンド・プロセス	新規化学物質の潜在的危険性を明確にする必要がある	新規化学物質やプロセスを容易に評価できるリスクモデルの開発				
		実装	新規化学物質の潜在的危険性を明確にする必要がある	新規化学物質・リスクアセスメント手法の確立				

図表 2 - 9 - 4 E S H 各項目の他のWGへの依存性(続き)

## 2 - 9 - 7 提言( 現状における着手レベル、目標に到達するための提言 )

半導体産業において環境・安全・健康の問題は事業戦略を決定する上での重要な要因の一つになっている。主要な半導体メーカ各社は、それぞれ環境問題に積極的に取り組み、他社との差別化に活用しようとする姿勢を強めている。

半導体産業における環境問題は、前節でも述べたように重点技術と密接な関係があり、微細化の進展や新プロセスの出現によって新たな環境問題の発生が予想される。このような将来の環境問題を未然に防止するためには、新しいプロセス技術の設計段階から、環境問題に対する視点を含めて検討しておく必要があり、環境分野と重点技術の専門家間の協力が欠かせない。

また、半導体メーカだけでは解決できない問題も多く、製造装置メーカや材料メーカとの協力が不可欠であり、更に、国家の支援による税制優遇制度などのインセンティブの付与、学界との協力による技術開発などが必要である。それに加えて、半導体産業がグローバルな産業であり、環境問題もまた全地球的な問題であることから、問題の解決にあたっては国際的な協力関係が不可欠である。

一例として、温室効果ガスである PFC の排出削減についてはすでに国家研究がスタートしており、世界半導体会議における ESH タスクフォースのような国際協力の枠組みが確立している。省エネルギーや環境負荷物質の削減、環境マネジメントシステムの改善等についても、産官学一体となった取り組みが必要である。

出典：

図表 2 - 9 - 1 : ITRS'99 Table68 に基づき一部 STRJ で改訂

図表 2 - 9 - 2 : ITRS'99 Table69a,69b,70a,70b,71a,71b,72a,72b,73a,73b に基づき一部 STRJ で改訂

図表 2 - 9 - 3 : ITRS'99 Figure49,50,51,52,53 に基づき一部 STRJ で改訂