

環境 安全と健康

検討範囲

背景

半導体業界は、ESH (Environment, safety and health, 環境、安全、健康) において責任ある役割を果たすことが成功の鍵と見ている。ESH を継続的に改善してゆくことが半導体業界にとっての重要な問題であり、業界がその事業方針において採用している ESH 戦略は製造技術、製品、およびサービスに組み込まれている。この方針は、優れた事業精神とは環境、安全、健康に関する責任ある行動の実践についての積極的な認識と決意に基づいている。当業界が技術面のみならず ESH においてもリーダー的地位にあるのは、これらの問題に積極的に対応してきた成果の現れである。今日、国際的な協力活動の成果として、本ロードマップが策定された。このロードマップは、新たな技術的条件として ESH に影響を及ぼす R&D 上の課題を特定している。

期待

このロードマップは、設計、ウェーハ加工および組み立てに係る新技術の確立に際して発生する ESH R&D の要求を技術者と研究者の双方に対して特定している。これらの技術課題は、表 101～106 に示した通りである。さらに、このロードマップは図 73～75 に示すように、これらの問題を解決するための技術上および管理上の解決策についても提示している。

このロードマップは、研究センター、(装置・材料) メーカー、および半導体メーカーに対して方向を示すことにより、解決策を見いだすことに焦点を当てている。製造活動や事業活動に ESH を統合することは、明白な優先事項である。将来の成功や改善を強く望むのであれば、プロセス、生産設備、付帯施設に携わる技術者や大学における研究者の思考や行動に ESH を反映させることが必要となる。これらの改善は、地域、国、および国際的な条件を満たすと同時にコスト、技術的パフォーマンス、製品開発のタイミングに好ましい効果をもたらし、リスクを最小限に抑え、一般市民や従業員の健康を守り、環境保護に資するものでなければならない。解決策は時宜を得たものでなければならないが、それと同時に将来にわたって効果をもたらし、長期的な成功を保証するものでなければならない。このロードマップが国際的なものとして策定された成果は、国際的な推進機関、および半導体業界、大学、政府が支援する ESH の関連機関の協力と努力の賜物である。[新しい化学物質の選別ツール \(化学物質制限表\) へのリンクを参照してください。](#)

困難な技術課題(Difficult Challenges)

ESH 戦略で相乗効果を得るために不可欠で、しかも半導体技術の発展に際して組み込まれる必要があるグローバルな 5 つの要求として、「化学物質、材料、および設備の管理」、「地球温暖化の防止」、「作業環境の安全」、「資源の節約」、「ESH 設計および測定手段」がある。

2 環境、安全と健康

「**化学物質、材料、および設備の管理**」の分野では、設備の設計技術者や設備のユーザのために、新しい処理物質や素材の環境、安全、健康の観点から見た特性に関する ESH 情報をタイムリーに提供することが必要になる。これらの情報は、反応生成物質の排出、健康および安全性の面から見た特性、設備や他の化学物質との適合性、可燃性、反応性といった面から最適な化学物質や素材を選択し、かつプロセスの開発後あるいは生産開始後のビジネスへの悪影響を最小限に抑えるために必要となる。

「**資源の節約(水、エネルギー、化学物質、原料)**」は、有効利用、コストの削減、製造場所、持続可能性、および廃棄物処理の面でますます重要な問題となることが予想される。現在、関係者が知見を収集しているところなので、水やエネルギーに関する派生値や基本的データは流動的であり、これらのデータは2004年に更に見直しされる予定である。

「**作業環境の安全性**」は、われわれの業界においては常に最優先されるべき課題である。作業環境が健康や安全性に及ぼす影響についての理解が進めば進むほど、施設、設備、作業員の保護具、訓練に関する技術的改善が必要となる。

「**地球温暖化の防止**」が大きな問題となる理由は、温暖化を防止するためには製造プロセスに不可欠なエネルギーや化学物質の使用が制限される可能性があるためである。これらの問題をコストイフェクティブで且つタイムリーな方法で解決するためには、ESH に対するデザイン (DFESH) を用いて設計段階からこれらの項目を管理及び意志決定に不可欠な部分として系統的に考慮することによって環境に与える影響 (付加) を最小限にする必要がある。

表 101a ESH の困難な技術課題—短期

5つの困難な技術課題 ≥50nm/2009 年以前	問題点と必要性のまとめ
化学薬品 材料 そして 設備の管理	新しい化学物質のアセスメント 新規化学物質 (あるいは以前の技術からの継承であるが、新しい規制に直面している化学物質) を製造工程の実施を遅らせることなく製造工程で利用される一方で、健康 安全 環境を保護するための良質で、迅速な評価方法の必要性 化学物質データ収集 化学物質の安全 健康 環境に関する指標について文書化し、利用できるようにする必要性 化学物質の削減 技術要求を満足する製造工程を開発する一方で、有害性物質を環境に優しい物質で置き換えること並びにより効率的でコストイフェクティブな工程管理をすることによって化学物質の使用量を削減することによって健康 安全 環境に与える影響を減らす必要性 環境管理 装置の処分や製造工程から出る有害性 非有害性残留物に関する問題を解決するために、実効的な管理システムを開発する必要性

資源の節約	天然資源の節約(エネルギー、水) (装置、材料)メーカーの最適化設計、ベンチマーク調査や最適な設計方法から分かっているエネルギーや水の削減対策を実施する必要性 革新的なエネルギーや水を効率的に利用できる製造装置の設計を継続して行うこと 化学薬品や材料の使用 化学薬品や材料のより効率的な利用の必要性 資源のリサイクル 資源の再使用とリサイクルの増加 維持可能な成長 天然資源に与える影響を低減しながら半導体の製造を拡大し続けること
作業員保護	装置の安全 人間工学的に適切で、安全な装置の設計を継続するメンテナンス作業において人間工学の面から見てストレスを与える要素並びに健康や安全面におけるリスクを最小化すること 化学物質の暴露に対する保護 化学薬品、材料、製造工程そしてメンテナンス作業時に発生する副生成物の健康や安全面における指標に基づいた知見の増加、化学物質暴露の可能性を排除する設計そして保護具(PPE)の必要性
気候変動の緩和(地球温暖化防止を含む)	製造装置のエネルギー使用量の削減 エネルギー効率の良い製造装置を設計する必要性 製造設備(ファシリティ)のエネルギー使用量の削減 エネルギー効率の良い製造設備システムを開発する必要性 地球温暖化係数GWP 値の高い化学物質の排出削減 地球温暖化物質を使用する工程からの排出を削減する方法に関する改善の更なる継続
ESH に対するデザイン (DFESH)	ESH に対する影響を評価し、定量化すること 工程、化学物質そして製造装置の ESH に与える影響を評価し、定量化するための、また新しい装置や工程を開発する際の ESH デザインパラメータを作るための組み合わせ方法の必要性

表 101b ESH の困難な技術課題—長期

5つの困難な技術課題 <50nm/2009 より先	問題点と必要性のまとめ
化学薬品、材料、そして設備の管理	化学薬品の使用に関する情報 化学物質を規制する法的な要求事項を理解する必要性 半導体製品の物質に重点を置いた理解しやすい LCA (ライフサイクルアセスメント) の必要性
資源の節約	水、エネルギー、化学薬品、材料の使用量の削減 資源効率とグリーン製造ラインを指向した資源効率の優れた製造工程や設備支援装置の必要性
作業員保護	装置の安全 工場の自動化システム、ロボット工学、装置のメンテナンスのためのサブシステムの分離(例えばクラスタツールの LOTO コンポーネント)に対する重要度の更なる強調
気候変動の緩和(地球温暖化防止を含む)	エネルギー使用量の削減 気候変動を最小に抑え、遅らせるためにエネルギーの使用量を削減することの重要性が高まること 地球温暖化係数GWP 値の高い化学物質の排出削減 地球温暖化物質の排出を削減する世界的な自主規制の継続すること
ESH に対するデザイン (DFESH)	ESH に対する影響を評価し、定量化すること 新しい装置や製造工程の設計や開発する際に ESH が取り込まれるようにすること

ESHに関する技術要求および解決策候補(Potential Solutions)

ESH 内因的要求事項

ESH 関連の技術決定をするために、新技術の開発責任を担っている科学者や技術者は、分析方法、データセット、実行方法からなる一揃いの明確なものを要求している。表 102 にこれらの必要事項を明示している。これらの ESH 内因的要求事項は、主流の技術目標と一緒に満足されなければならないが、主流の技術目標の内容がもし変わったとしても、影響を受けることがないようにすることを目的としている。水やエネルギーに対する導出値、基礎データについては、ESH 活動チームが現在も知識を蓄積しつつあるので、絶えず変化している。これらの値は、更に 2004 年に見直される。上記の表の水やエネルギーに関する値は十分に練られておらず、これらに関して 2004 年の ESH 活動チーム (ITWG) によって対処されるだろう。

測定や評価の一つの重要な要素は、リスクアセスメントである。その例として化学産業調査の結果は半導体産業に適切な変更を加えることによっておそらく適用できるだろう。この際リスクを同定し、評価し、受け入れるための標準化された方法が必要となる。

ESH への影響を最小限とする物質やプロセスを確認するための方法を発展する必要がある。また測定や評価の方法は容易に利用でき、且つ信頼性がなければならない。それらの内容が新しい半導体技術に対応してアップToDateされていなければ、その意味が薄れてしまう。デバイスやプロセスの開発段階において環境に配慮した設計を行うための何らかの設計アルゴリズムが必要とされる。

プロセス分析は、もう一つの評価要素と言える。その例としてプラズマプロセスの副生産物は重要な関心事である。各プロセスにおける基本的な化学反応が理解されなければならない、新しい測定や評価方法が ESH への影響を最小限とするプロセスを開発するために実施されなければならない。

データベースの確立—データベースは使用する材料や化学薬品のリスクアセスメントを正確に行うための情報を蓄積する上で必要となる。このデータベースは以下のような情報を含んでいなければならない。安全データ、環境負荷や影響に関するデータ、プロセスデータ、排出分配率 (分散モデル)、材料を既存の法律や規制にしたがって使用するための排出処理方法。現在ある化学薬品や材料に関する一般的なデータベースは化学・素材産業から出されているが、そのデータは十分とは言えず、特に使用するプロセスや化学薬品・材料の環境への分配率 (分散モデル) の点に関してそう言える。

水— プロセスシミュレーションやコスト最適化ツールが以下の3種類の水の最適なバランスを決定する上で必要となる。すなわち高効率リンスプロセス、高品質プロセス用途のリサイクリング、別の工場や場所におけるプロセス以外の低品質水としての再利用の3種類に関するバランスである。

化学物質、材料、および設備の管理

リスクアセスメント — 新たな化学薬品又は、材料を導入する際には、あらかじめ安全、健康、および環境に対する負荷および影響を正確かつ迅速に査定することが必要である。その上で、使用する数量、方法、およびリスクアセスメント結果をもとにその物質を採用するかどうかを決定する。安全および健康的な理由を考慮し、オペレータや保守作業員が化学薬品又は、材料にさらされる機会を少なくし、環境への負荷および影響を最小限に抑えるため放出量を制限する。これに加えてリスクアセスメントには、対象とする化学薬品が使用禁止又は、何かしらの規制の下にないことを確認するため、[リンクしている化学物質の選別ツール](#)をチェックすることが含まれている。

新材料および新化学薬品の安全および環境に対する負荷の評価 — 新しい原料および新しい化学物質の安全、健康被害、環境への負荷が評価されなければならない。環境に負荷を与える物質の放出経路の特定(廃棄物の管理を含む)、代替物質の調査、回復および処理技術の開発が必要となる。

環境に負荷を与える材料や化学物質の削減 — とくに、温室効果ガスやオゾン層破壊物質に関しては、これまでにも代替物質を模索する努力がなされてきた。現在、プラスチック・パッケージで臭素やアンチモンの代用として使用される難燃剤、およびハンダ付けやメッキに使用される鉛の代替物質の開発が進められている。

環境管理 — 使用量や放出量を減らすためには、個々のプラントごとに化学薬品や材料を管理する必要がある。したがって、マテリアルバランスを管理するシステムが必要となる。管理の対象となる化学薬品や材料の数が増えれば、自動的にデータを収集するためのシステムが必要となろう。

気候変動の緩和 (地球温暖化防止を含む)

半導体の複雑化やウェーハの大型化にともなう生産設備のエネルギー消費の増大、およびクリーンルームの清浄度の高度化による空調設備のエネルギー消費の増加により、エネルギーの消費量が拡大してきている。クリーンルームの設計、設備の設計、あるいはウェーハの搬送、保管手段といった分野の改革が必要である。よりエネルギー効率の良い装置の必要性に加え、クリーンルームに設置されている装置の熱的な負荷及び影響を減らすことや待機状態でウェーハを処理していない時に、いわゆるスリープモードにする機能を装置に持たせることも必要である。また装置からの排気要求仕様やクリーンルームのHEPAフィルターの吹き出し速度の最適化は半導体製造ライン全体のエネルギー消費量を低減するために必須となる。エネルギーに関する候補解は、図 75 に示されている。

地球温暖化の問題は、半導体の製造に用いられる PFC などの温室効果ガスの放出を削減しようという国際的活動を押し進める要因となっている。

作業環境の安全

業界は、設備、プロセス、メンテナンス、工場の設計、工場の統合に関し、次に挙げる解決策を活用して危険を防止するためのあらゆる標準計画を承認し、全面的に採用しなければならない。1)危険の排除、2)技術面の管理、3)事務的管理、4)PPE (personal protective equipment、作業員の保護具)

ウェーハのサイズやスループット(throughput:単位処理能力)の拡大にともなって必要となるウェーハ処理システムでは、システムの運転およびメンテナンス時の作業員に対する危険が増大する可能性がある。自動化されたウェーハ搬送システム、および搬送システムと製造システムのインタフェース部の動作は、近くにいる作業員にとっては潜在的な危険をもたらす。設備の操作性を向上させ、操作ミスを防ぐためには、人間工学やロボット工学に基づいた設計の管理手段や手順を確立することが必要となる。

業界には、安全でコスト効率に優れた建築資材に対するニーズが存在する。製造条件や保険業界の条件を満たす、火に強くプロセスに適合した素材が装置にもウェーハのキャリアのいずれにも必要とされている。

電磁波は、波長によってさまざまな特性を示す。パターン露光に使用される波長がX線領域に含まれるほど短い場合は、健康への影響をチェックする必要がある。

資源の節約

高純度の水や化学薬品に対する要求だけでなく、ウェーハサイズ及びプロセスステップ数の増大が、ウェーハ当たりの資源(水、エネルギー、化学薬品等)利用率の潜在的な増大要因となっている。この傾向は効率の良いプロセスと装置の開発によって、そして使用済み化学薬品と水、廃棄物のプロセス用途のリサイクリングとプロセス外用途の再利用を含む方策を組み合わせることによって逆転させる(すなわち低減する方向に)ことができる。半導体製造装置における資源利用効率は改善できる余地が十分にある。その例としてフォトリソグラフィ工程において、ウェーハに滴下される著しい量のフォトレジストが、回転塗布時にウェーハ外に飛ばされて廃棄物となる。

水 — 半導体製造で使用される水は、殆どが超純水(UPW)である。UPWの製造は大量の化学薬品を使用するので、UPWの消費増大と水質の向上が化学薬品の消費量(これに加えて超純水の製造コストも)の増大をもたらすことになる。したがってUPWの消費を削減できれば、製造コストだけでなく、化学薬品による環境への影響も低減できることになる。プロセス用途の高品質水のリサイクリングとプロセス外用途の低品質水の再利用が重要である。水が豊富な地域では、廃棄水のリサイクリングをするかどうかは局所的な再利用(がどの程度利用できるか)とリサイクリングに必要なコストにかかってくる。表102の水に関する値は、十分に練られておらず、これらに関して2004年のESH活動チーム(ITWG)によって対処されるだろう。

エネルギー — 限られたエネルギー源は、既存工場の拡張や新工場の建設を制限する潜在的な要因となりうる。半導体製造業者は過去10年間に渡ってエネルギーの効率を改善してきたと主張してきているが、潜在的な資源制限から今後もこの努力を継続することが半導体産業に求められている。

化学薬品 — 新しい化学薬品や材料が使用され、その使用量が技術要求事項を満足するために新技術の導入とその発展により急速に増大していくであろう。過去には同じ物質が4から5つの技術世代を支えてきたのに対し、現在では世代毎に1又はそれ以上の新しい物質を必要としていると言っても過言ではない。半導体産業における化学薬品や材料の全使用量は他の産業に比較して極めて少量であるものの、資源効率の優れた製造工程や生産装置が必要とされている。

廃棄ゼロ — 上記の項目を考慮して半導体製造者は他の産業と同様に廃棄ゼロの工場の実現を目標とすべきである。この目標を達成するために廃棄リサイクル率が改善されなければならずリサイクル産業や政府との共同作業が必須となる。

ESH に対するデザイン(DFESH)

DFESH は、製造技術デザインの中に ESH 面における改善の組み込みとその拡散に適用される用語である。DFESH は重要な技術の発展に関連した ESH 問題の早期評価を考慮に入れることを可能とし、ESH に関連した中断原因を作るもの(ショーストッパー)が無いことを保証する(開発途中で ESH に配慮して使用禁止にするとか使用を厳しく制限するような事態が起きないように未然防止すると言う意味)。また DFESH は、装置や材料の開発、施設の設計、廃棄と資源管理、そしてこれらが ESH の結果に影響を及ぼす方法に関する包括的な理解を必要とする。DFESH は、望ましい製品コストや性能及び品質特性を損なうことなく、製品が製造される方法の中に ESH 面における改善を我々が盛り込むことを可能としてくれる。

表 102a ESH 内因的要求事項—短期

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	DRIVER	
Technology/Node		hp80			hp65				
Dram 1/2 Pitch(nm)	100	90	80	70	65	57	50		
Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements									
Assessment of Chemical and By-product Properties									
Data accumulation	Data Matrix		Agreed upon data matrix					New restrictions	
New chemicals (include by-product materials)			50% of data per chemical two years after market introduction	100% of data per chemical two years after market introduction				New processes	
Resource Conservation Technology Requirements									
Energy Consumption								Sustainable growth and cost	
Total Fab tools (KWh/cm ²)	05-07			04-05		03-04			
Total Fab support systems (kWh/cm ²)	05-07			04-05		03-04			
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm); baseline 1999	15		1						
Water Consumption								Sustainable growth and cost	
Net feed water use (liters/cm ²)	8-10		8-10						
Fab UPW use (liters/cm ²)	5-7		4-6						
CMP UPW use (liters/300mm-wafer pass)	53		42						
Chemical Consumption and Waste Reduction								Environmental stewardship and cost	
Chemical use (liters/cm ² /mask layer)	Reduced 5% per year			Reduced 5% per year					
Recycle/reuse systems	Expanded Implementation				Innovative recycling technologies				
Waste recycle/reuse rate (%)	65%		70%						
Climate Change Mitigation Technology Requirements									
Reduce PFC emission	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the World Semiconductor Council (WSC)							Voluntary agreement	

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

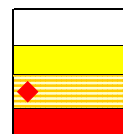


表102a ESH 内因的要求事項—短期(続き)

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	DRIVER
Technology/Node		hp90			hp65			
Dram 1/2 Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50	
Workplace Protection Technology Requirement								
Equipment safety, gases and chemical leaks, and equipment stability during an earthquake	Conformance to International ESH standards and guidelines such as SEMI S2 ¹ and European CE Mark requirements ²							Workers safety and job protection
Safe interface of automated material handling systems (AMHS) and manufacturing equipment	SEMI S2 guidelines and CE Mark directives							Workers safety
Safe robotics	SEMI S2 guidelines and CE Mark directives							Workers safety
Comprehensive exposure data	Collaboration among government, industry, academia, and companies regarding new exposure data							
Personal protection equipment (PPE)	Reduced dependence on PPE							
Material Safety Data Sheets (MSDS)	Standardized format				Comprehensive data			
Equipment risk assessment (health and safety)	Common algorithm				Common application			
Potential chemical exposure	Design out potential for any chemical exposure and reduce dependence on PPE							
Ergonomic improvement	Minimized physiological stressors			Minimized/eliminated physiological stressors				
Design for ESH (DFESH)								
Environmental load impact assessment (LCA)	Common algorithm to identify and access risk						Green Fab	
Chemical risk assessment (health and safety)	Common algorithm to identify and access risk							
Material balance	Pollutant release and transfer disclosure (PRTR)	PRTR data acquisition system					New materials and restrictions	
		Common test methods, protocol, and application						
Regulatory requirements	Collection of requirements, guidelines and policy trends						Compliance	

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

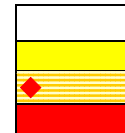
¹ SEMI S2-93A—Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment² European CE Mark Safety Requirements

表 102b ESH 内因的要求事項—長期

Year of Production	2010	2012	2013	2015	2016	2018	Driver
Technology/Node	hp45		hp32		hp22		
DRAM1/2Pitch(nm)	45	35	32	25	22	18	
Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements							
Assessment of Chemical and By-product Properties							
Data accumulation							
New chemicals (including by-product materials)	100% of data per chemical two years after market introduction						
Resource Conservation Technology Requirements							
Energy Consumption							
Total Fab tools (KWh/cm ²)	03-04						
Total Fab support systems (kWh/cm ²)	03-04						
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm); baseline 1999	08						
Water Consumption							Cost and sustainable growth
Net feed water use (liters/cm ²)	35						
Fab UPW use (liters/cm ²)	46						
Wet bench UPW use (liters/300mm wafer pass)	42						
Chemical Consumption and Waste Reduction							Environmental stewardship
Chemical use (liters/cm ² /mask layer)	Reduced 5% per year						
Recycle/reuse systems	Innovative recycling technologies						
Waste recycle/reuse rate (%)	80%		90%				
Climate Change Mitigation Technology Requirements							
Reduce PFC emission	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the WSC						Voluntary agreement

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

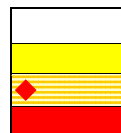


表 102b ESH 内因的要求事項—長期 (続き)

Year of Production	2010	2012	2013	2015	2016	2018	Driver
Technology/Node	hp45		hp32		hp22		
DRAM½Pitch(nm)	45	35	32	25	22	18	
Workplace Protection Technology Requirement							
Equipment safety, gases and chemical leaks, and equipment stability during an earthquake	Conformance to international ESH standards and guidelines such as SEMI and CE Mark requirements						
Safe interface of automated material handling systems (AMHS) and manufacturing equipment	SEMI guidelines and CE directives						
Safe robotics	SEMI guidelines and CE directives						
Comprehensive exposure data	Collaboration among government, industry, academia, and companies regarding new exposure data						
Personal protection equipment (PPE)	Eliminated need for PPE						
Material Safety Data Sheets (MSDS)	Comprehensive data						
Equipment risk assessment (health and safety)	Common application for new equipment						
Potential chemical exposure	Eliminated potential for any chemical exposure and eliminated need for PPE						
Ergonomic improvement	Eliminated physiological stresses for new equipment						
Design for ESH (DFESH)							
Environmental load impact assessment (LCA)	Lowest environmental load impact materials in production						
Chemical risk assessment (health and safety)	Lowest chemical risk (health and safety) materials in production						
Material Balance							New materials/restrictions
Regulatory requirements	Collection of requirements, guidelines, policy trends, and others						

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

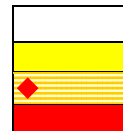


表 103a 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術課題—短期

*Link to the Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table)

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Driver
Technology/Node		hp90			hp65			
DRAM1/2Pitch(nm)	100	90	80	70	65	57	50	
Interconnect								
Low-k materials—spin-on and CVD	Lowest ESH impact solvent/CVD precursors		Minimum emission/waste processes		75% raw material (chemical) utilization			Speed, signal loss
Copper processes	50% copper reclaimed/recycled		75% copper reclaimed/recycled		100% copper reclaimed/recycled		Speed, reliability	
Advanced metallization	Lowest ESH impact precursors		Minimum emission/waste processes					
Planarization	5% reduction in consumables per year			5% reduction in consumables per year				Planarity
Plasma processes	Alternative etch chemistries			Lowest ESH impact etch chemistries				Etch/clean
	Characterization of plasma by-products		Lowest ESH impact etch chemistries					
Frontend Processes								
High-k materials	Minimum emission/waste processes		Lowest ESH impact high-k materials			ESH benign processes		Transistor performance and device development
	ESH characterization of deposition, etch, and cleans processes		Low-hazard deposition, etch, and cleans processes		ESH benign processes			
			High-k materials without potentially toxic/bioaccumulative metals (Pb, Ni)		Lowest hazard metal compounds			
Doping	Reduced usage of high pressure dopant delivery systems		Safe delivery of dopants (zero ESH impact)					
	ESH characterization of new doping materials and processes		Lowest hazard dopant materials and processes					
Surface preparation	Ongoing research and integration of solutions		Optimized surface preparation processes					
	ESH-friendly wafer clean and rinse processes and tools evaluated			ESH-friendly wafer clean and rinse processes and tools incorporated into manufacturing				
Front-end etch	ESH characterization of etch processes		ESH-friendly etch processes			Etch process hazards eliminated (zero ESH impact)		

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

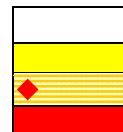


表 103a 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術課題—短期 (続き)

*Link to the Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table)

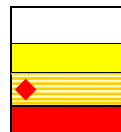
Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Driver
Technology/Node		hp90			hp65			
DRAM 1/2 Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50	
Lithography								
New Equipment								Reduced feature size
Optical	Characterization of ESH impacts			Minimal ESH impact from radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal				Next generation lithography
e-Beam	Characterization of ESH impacts				Minimal ESH impact from radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal			
EUV	Characterization of ESH impacts				Minimal impact from ionizing radiation, ergonomics, energy, chemical consumption, and disposal			
			Non-PFOS PAG for EUV resist					
	Requirements for PPE and ore equipment defined							
New materials	Characterization of ESH impacts		Minimal ESH impact for new chemicals, purification requirements, wastes, and emissions					
	PFOS alternatives for non-critical uses*		PFOS alternatives for critical uses**					

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known



Notes for Table 103a:

**Critical uses of PFOS includes use in a photo-microlithography process to produce semiconductor or similar components of electronic or other miniaturized devices as a:

- Component of a photoresist (including PAGs and surfactants)
- Component of an anti-reflective coating

表 103b 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術課題—長期

*Link to the Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table)

Year of Production	2010	2012	2013	2015	2016	2018	Driver
Technology/Node	hp45		hp32		hp22		
DRAM 1/2 Pitch (nm)	45	35	32	25	22	18	
Interconnect							
Low-κ materials—spin-on and CVD	90% raw material (chemicals) utilization						Speed, signal loss
Copper processes	100% copper reclaimed/recycled						Speed, reliability
Advanced metallization	Minimum emission/waste processes						
Planarization	5% reduction in consumables per year						Planarity
Plasma processes	Lowest ESH impact etch chemistries						Etch/clean
Frontend Processes							
High-κ materials	Lowest hazard metal compounds						Transistor performance
							Transistor performance and device development
Doping	Safe delivery of lowest hazard dopants (zero ESH impact) Self-cleaning dopant tools (in situ clean)						
Surface preparation	ESH-friendly rinse processes and tools incorporated into manufacturing						
Front end etch	Etch process hazards eliminated (zero ESH impact)						
Lithography							
New Equipment							Reduced feature size
Optical	Minimal ESH impact for ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal						Next generation lithography
e-Beam	Minimal ESH impact for ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal						
EUV	Minimal impact from ionizing radiation, ergonomics, energy/chemical consumption, and disposal						
New materials	Minimal ESH impact for new chemicals, purification requirements, wastes, and emissions						Reduced feature size

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

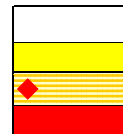


表 104a 気候変動の緩和 (地球温暖化防止を含む) —短期

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Technology/Node		hp90			hp65		
DRAM1/2Pitch(nm)	100	90	80	70	65	57	50
Interconnect							
ReducePFCemissionsfor CVDequipment	Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement	Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies					
Chamberdeangasutilization*	95%		98%				
Front End Processes							
ReducePFCemissions(etch)	Develop optimized etch processes and cost-effective abatement	Optimized etch processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies					
		New alternative etch chemistries identified					

*Utilization = (PFCin - PFCout) / PFCin * 100

表 104b 気候変動の緩和 (地球温暖化防止を含む) —長期

Year of Production	2010	2012	2013	2015	2016	2018
Technology/Node	hp45		hp32		hp22	
DRAM 1/2 Pitch (nm)	45	35	32	25	22	18
Interconnect						
Reduce PFC emissions for CVD equipment	Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies 98%					
Chamber deaer gas utilization*						
Front End Processes						
Reduce PFC emissions (etch)	Optimized etch processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies					

*Utilization = (PFCin - PFCout) / PFCin * 100

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

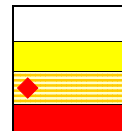


表 105a 資源の節約に関する技術課題—短期

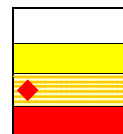
Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Driver
DRAM½Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50	
Interconnect								
Copper processes	Minimum rinse water, consumables and chemical consumption		Copper processes optimized for ESH					Increasing number of interlayers
Planarization	Reduced water consumption	Water recycle/reclaim						
Plasma processing	Reduced tool idle energy use							
Front End Processes								
High-κ	Energy efficient deposition processes							
Doping	More efficient heat removal (PCW) from implanters		Minimum energy use for future doping technologies					
Surface preparation	Energy efficient clean processes (reduced exhaust flow rates)							
	Incorporation of novel rinse methods in wet tools	Novel water reduction techniques derived from surface/interface science						
Front-end etch	Reduced tool idle energy							
Starting materials	Quantified energy/water reduction from SOI-based process flows							
Lithography								
Equipment resource consumption: optical, e-beam, and EUV	Optimized energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials, and water consumption						Reduced feature size	
Factory Integration								
Net feed water use (liters/cm ²)	35		35					
Fab UPW use (liters/cm ²)	5-7		4-6					
Wet bench UPW use (liters/300 mm wafer pass)	53	42						
Assembly and Packaging								
Eliminate waste from molding process	Zero waste from molding technologies							
Reduce water use	0.8X (X=1999 baseline)							
Reduce chemical use and consumption	0.8X (X=1999 baseline)							

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

**Definitions:**

Net feed water use—Source water consumed in support of the operation of the wafer fabrication facility, including sanitary, irrigation, and facilities infrastructure. Net feed water may be obtained from a city supply, surface or groundwater body.

UPW use—Water used in wafer contact processes, including water recovered from any source.

Tool UPW use reduction—A percentage reduction versus 200 mm UPW usage. The baseline value is set at (0.83 gal per in² per mask layer).

表 105 b 資源の節約に関する技術課題—長期

Year of Production	2010	2012	2013	2015	2016	2018	Driver
Technology/Node	hp45		hp32		hp22		
DRAM 1/2 Pitch (nm)	45	35	32	25	22	18	
Interconnect							
Copper processes	Copper processes optimized for ESH						Increasing number of interlayers
Planarization	Water recycle/reclaim						
Plasma processing	Reduced tool idle energy usage						
Front End Processes							
High k	Energy efficient deposition processes						
Doping	Minimum doping energy for future technologies						
Surface preparation	Energy efficient clean processes (optimized exhaust flow rates)						
Front end etch	Reduced tool idle energy usage						
Starting materials	Quantified energy/water reduction from SOI-based process flows						
Lithography							
Equipment resource consumption: optical, e-beam, and EUV	Optimized energy consumption, equipment related chemicals/ gases/materials, and water consumption						Reduced feature size
Factory Integration							
Net feed water use (liters/cm ²)	35						
Fab UPW use (liters/cm ²)	3-5						
Wet bench UPW use (liters/300 mm wafer pass)	35						
Assembly and Packaging							
Eliminate waste from molding process	Zero waste from molding technologies						
Reduce water use	0.5X (X=1999 baseline)						
Reduce chemical use and consumption	0.5X (X=1999 baseline)						

表 106 ESH 設計および測定手段に関する技術課題—短期

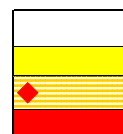
Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Technology/Node		hp90			hp65		
DRAM 1/2 Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50
Factory Integration							
Improved factory design and equipment integration for ESH	Incorporate ESH design guidelines, methodology, and criteria into tool and factory design				Safe, "green" Fab		

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known



ESH の内的要求事項

ESH 要求事項は、ESH の困難な技術課題に対して挿入すべき技術的な必要性を位置づけることを基にして確立されている。個別の技術的影響については以下で議論される。

配線

配線の分野では、ESH に関する独自の課題が指摘される。技術的条件を満たすために新たなプロセスの開発が進められているため、業界では先端的な配線技術、低誘電率、CMP(chemical mechanical polishing:化学機械研磨)、超臨界流体によるウェーハの洗浄および銅/低誘電率後の配線の計画において新しい材料の評価を行っている。ESH 情報をユーザにすばやく提供するためには、これらの新しい原料やプロセス、およびそれにもなる反応生成物による影響をなるべく早く(できれば大学あるいはサプライヤによる研究の段階で)明らかにする必要がある。そうすれば、原料の持つ特性、および ESH に対する影響(反応生成物の放出、健康や安全に関する影響、設備および他の化学物質との適合性、可燃性、反応性)を検討した上で最適なプロセス材料を選択することが可能になる。さらに、それによってプロセスの開発後や大量生産開始後のビジネスへの悪影響を最小限に抑えることが可能となる。短期的に見た化学物質、材料、および設備管理に関する技術課題(表 103a)の 1 つとして、配線工程のすべての分野において最も影響の小さい材料やプロセスを開発することが挙げられる。これには、スピン・オン・プロセスのための溶剤やポリマー、CVD(chemical vapor deposition:化学的気相成膜)の原料物質、低誘電率膜中の微細な穴の封止剤と拡散防止物質、平坦化用化学物質(スラリー等)とパッド、そしてエッチング用化学物質が含まれる。また、これらの分野において必要な化学物質を少なくすることや廃棄物を減らすことも含まれるが、これらの問題は CVD プロセスにおける化学物質の使用効率の改善、銅メッキのメッキ液の寿命の延長やリサイクル、CMP のスラリー量の削減あるいはスラリーのリサイクルといった方法を通じて解決することができる。長期的に見た場合の技術課題(表 103b)としては、誘電体と金属の両方を対象とした廃棄物を生じないデポジションプロセス、および化学物質を使用しない平坦化プロセスの開発が挙げられる。

低誘電率物質からエッチング残渣を除去する際に超臨界二酸化炭素のような超臨界流体を使用することは、化学薬品や水の廃棄分を劇的に低減できる新生技術として期待される。現在、低誘電率絶縁膜の適切な洗浄方法が無いので、超臨界流体プロセスは、ビアベイルとエッチ後の低誘電率物質の洗浄に対する実現技術となる見込みがある。これは、より環境に優しいプロセスが同時に重要なプロセスメリットを持ちうるかということを示す良い例といえる。

気候変化の可能な原因の一つとして、温室効果ガスの排出によって生じる地球の温暖化が確認されている。地球温暖化物質の 1 つである PFC(perfluorocompounds)は、配線工程におけるドライエッチ及び反応室のドライ洗浄用途としてほぼ独占的に使用されている。短期的および長期的に見た場合の地球温暖化に関する技術課題(表 104)は、PFC の排出量を 1995 年の基本レベルから 10%削減することであり、それが半導体業界の国際的に設定した目標となっている。この厳しい目標を達成し、これらの物質を引き続き産業目的で使用できるようにしてゆくためには、業界がプロセスの最適化、代替物質の使用、リサイクル、除害といった方法を通じて PFC の放出量の削減に努める必要がある。新しい材料を開発することは、新しいエッチ技術の導入につながる。温暖化係数の高い副生成物を発生せず、ESH に対する影響を最小限に抑えられるようなエッチ・プロセスを開発しなければならない。このことは、CVD チャンバのクリーニングにもあてはまる。

CMP に対する必要性が高まることは、配線が化学物質と水の両方を最も多く使用する分野となることを意味する。短期的に見た場合の資源の節約に関する技術課題(表 105a)で示したように、全体的な水の使用量を削減すると同時に、ESH に対する影響を最小限に抑えられるような CMP 技術および CMP 後の洗浄技術を開発する必要がある。銅の電気メッキ、および CMP の後の洗浄において、洗浄水の使用量を最小限に抑えなければならない。CMP および CMP の後の洗浄用に水をリサイクルしたり、再生することも、水の使用量を減らすための 1 つの解決策候補である。エネルギーの節約という観点からは、プラズマ処理や CMP 装置、およびそれに付随するインフラ設備で使用する電力を最小限に抑えることが必要となる。RF(radio frequency)ジェネレータは、エネルギーを大量に消費する。プラズマ処理はエネルギー効率が高くないばかりでなく、投入した化学物質を利用する方法としても効果的とは言えない(10–70%の分解)。プラズマ・システムから放出される熱は、回収して再利用できる可能性もある。将来の世代の装置では、エネルギー消費量の少ないプラズマ・システムの研究開発が必要になることも考えられる。エッチャーや CVD 装置は、真空時にウェーハやチャンバの温度を維持するために POU (point-of-use、ポイント・オブ・ユーズ) チラーや熱交換機を使用する。より効率的な加熱/冷却システムを使用すれば、エネルギーの消費量を減らせる可能性もある。真空系における熱転送を改善するための新たな研究が必要である。冷却水を最大限有効に利用して装置からの発熱を取り去ることは、クリーンルームに熱放散することに比べて、製造ラインの省エネに繋がる。

短期的に見た場合の作業環境の安全性に関する技術課題(表 102a)としては、従業員が接する時間が少なくて済む装置の開発がある。このことは、銅メッキのための新しいツールや長期的な視点で開発すべき光配線のための装置にもあてはまる。

フロントエンド・プロセス

フロントエンド・プロセスで ESH 関連の重要な関心事は、ゲート誘電体や電極のための新素材開発、天然資源(とくに水)の使用、作業員保護のための物理的或いは化学的危険性の削減、および化学物質の使用量と除害装置を必要とする廃棄物の生成を抑制するためのプロセス最適化である。100 nm およびそれ以降の技術のために使用される新材料(および関連した原料物質、洗浄技術、エッチ・ガス)は、ESH の観点からの十分なチェックが必要である。

グローバルな ESH の課題は、フロントエンド・プロセスのあらゆる面に関係している。化学物質を管理するための最も重要な戦略は、プロセスを最適化して化学物質の使用効率を最大限に上げることであり、これには化学物質使用量、廃棄物の生成、危険物の回収、装置の利用率といった要素について検討することも含まれる。必要に応じた現場での化学物質の生成は、効率の改善につながる。新しい技術(処理装置や処理施設における)のエネルギー使用量の評価をする必要がある。作業員の安全を確保するために、化学事故の防止のみならず、とくに機器のメンテナンスに際しての物理的な事故(熱、非イオン化放射、レーザ、およびロボットによる危険)に関しても対応しなければならない。工場計画やそのレイアウトを行う時は、ウェーハの取扱い(とくに 300–450mm のウェーハ)、装置、工場のレイアウトの面で人間工学に基づいた設計条件を設定する必要がある。ESH の立場から CoO (cost-of-ownership、所有コスト)、リスクアセスメントツールを使用してプロセス改善度を評価し、新材料の危険性を確認しなければならない。

また、この ESH の主要な問題は、フロントエンド・プロセスの個々の分野にもあてはまる。

表面処理 — 表面処理における ESH の問題は、新洗浄技術、化学物質の使用効率、水およびエネルギーの消費量である。表面処理技術は、2005 年以降に導入が予定されている新ゲート誘電体やゲート電極の新材料に対応するために根本的な変更がなされる。化学物質や水の使用量大幅削減のために表面および界面科学に関する理解が必要である。

従来の洗浄プロセスおよび代替洗浄プロセスでの化学物質の使用量を最適化する必要がある。代替洗浄プロセスの中には、化学物質の使用を大幅に削減できる可能性のあるものもある（低温液体、超臨界液体、希薄溶液化学、超音波式溶剤洗浄、単純化された化学操作、オゾン洗浄、代替 BEOL 洗浄、銅および新しい低誘電率素材の洗浄剤）薬液流量の最適化、およびセンサを使用したプロセス制御の評価を行わなければならない。プロセスの危険性について無水ガス（HF/HCl、およびその代替物質）の使用量の増加についても検討しなければならない。

超純水の生成効率の改善、消耗品の削減、効率的なリンスによる持続可能で最適化された水の使用に関する戦略が進められている。しかし、代替洗浄法（低温ウェーハ/部品洗浄、および高温超純水によるウェーハ洗浄など）や代替超純水製造技術（連続電解イオン交換法など）によるエネルギー消費量の低減効果について検討する必要がある。溶剤洗浄法の代替洗浄法を開発する必要がある。超純水のリサイクルによるプロセスリスクを緩和するためには、低レベルの有機物を検出できる高信頼性且つオンライン用途の応答性に優れたセンサの開発が必要となる。テスト・ウェーハの使用の低減により、化学物質、水、およびエネルギー消費量を削減することができる。湿式処理装置の設計では、引き続き非開放処理、人間工学、およびロボット工学に基づいた安全設計が必要となる。

シリコン基板 — プロセスに投入する材料は現在主に Czochralski (CZ) 結晶を研磨したシリコン・ウェーハにシリコンをエピタクシー (Epi) 膜を成長させたものである。130nm ノードでの使用が予想される SOI (silicon-on-insulator、シリコン・オン・インシュレータ) 結晶は、プロセスの数が少なく済む、すなわち、他の結晶よりも使用する化学物質やエネルギーが少ないので ESH の観点からは好ましい可能性がある。300～450mm の大きなウェーハではより多くの化学物質、エネルギー、水が必要になることも考えられるが、業界の努力によって使用量が横這いに抑えられるようになった。

熱処理/薄膜プロセス — 高誘電率の代替物質の評価に際しては、材料およびそれに付随する堆積プロセスの両方に関してのプロセスの危険性を含めて十分に調査する必要がある。代替シリサイド (Co、Ni、その他) の危険性を低減するために、技術的管理および適切な作業員保護具を使用することが必要となる。化学物質の使用効率は、供給システムや装置のデザインを改良する（バッチ炉の小型化、枚葉式装置の使用など）ことで最適化することができる。拡散/注入装置、およびその関連処理システム（排気処理）のエネルギー使用量を調査し、最適化する必要がある。

様々な有機化合物（ハロゲンを含む）が高誘電率の合成原料として提案されている。その結果生じる金属有機化合物は、毒性あるいは燃焼による事故を生じさせ得る。N₂、FNO₂、O₂、NH₃、H₂（フォーミングガスとして使用）を利用したアニールがおそらく必要となる。ゲート電極としては、さまざまな金属やそれを合成する原材料（気体、液体、固体）が検討されている。ゲート金属としてはドーパドポリシリコンから金属（Ta、Ti、Nb、Al、Mo、Zr、V、Co、W、Ru、Rh、Ni、Re、Ir、Pt）さらに様々なシリサイドや窒化物が考えられている。ほとんどの CVD 用原料は有機金属で、安定剤、搬送液体とともに母材に溶かし、液体として装置に注入される。

ドーピング — 代替技術 (さまざまな新技術が検討されている) の物理的、化学的な危険性を検討し、危険性を緩和することが必要である。プロセス有害性物質の分析装置は、水素化物 (SiH_4 、 B_2H_6 、 PH_3 、 SbH_3 、 AsH_3 など)、金属アルキル、レーザガスの管理に有効である。さまざまなドーピング物質に関して減圧ガス供給システムを開発する必要がある。

フロントエンドのプラズマ・エッチ — 引き続き PFC を使用するためには、短期的にはプロセスの最適化およびガス使用効率の向上 (プロセス中での変換効率) が必要になる。長期的には、PFC を副生成物として排出しない代替 PFC 技術の開発が必要となる。ゲート誘電体に異なる物質を使用することになれば、エッチングに用いる化学物質も必然的に変わり、ESH に対する影響についても再検討することが必要となる。高誘電率素材では、ドーパド Si に対して選択的な異方エッチが必要となる。これらのエッチングにどのような薬品を使用するかはまだ決定されていないが、Cl ベースの化学物質を含んでいる可能性が高いであろう。

リソグラフィ

リソグラフィに関する ESH について考える場合、4 つの分野が対象となる。すなわち、リソグラフィおよびマスク製造用の化学物質 (フォトレジスト、反射防止膜、密着力増強剤、エッジビーズ除去剤、シンナー、現像液、洗浄液、ストリッパー)、プロセス装置 (スピコーター、蒸着システム、シリレーション・オープン)、露光装置 (EUV、電子ビーム、X 線、イオン・ビーム)、および装置洗浄である。これらの分野、および新しいリソグラフィ技術の導入に関する重要な問題の 1 つに、ショーストッパー (この場合、開発を中断させるものの意味) の回避という問題がある。特に、新しいプロセスで使用する化学物質の環境に与える影響、環境に関する規制の遵守、装置の安全性、作業員の安全確保の問題について、変更を行う前にかならず検討する必要がある。

フォトリソグラフィおよびマスク製造のための化学物質 — この分野でまず必要とされるのは、フォトリソグラフィおよびマスク製造で使用する新しい化学物質の特性および使用可能性に関する情報である。これには、化学物質の毒性、健康リスクアセスメントのデータ、TSCA の下での状況、作業員に対する曝露可能性のモニタリング手段、エッチ、ストリップ等のプロセスでの有害物質の排出 (HAPs および VOCs) に関するデータが含まれる。次に必要とされるのは、材料の適正管理である。これには、新しい材料のパターニングへの適合、メンテナンスのパフォーマンスおよびコスト、リサイクルや使用量削減の促進といった問題が含まれる。もう一つの重要な必要事項は、現像液、表面活性剤、PAG (Photo Acid Generator) やフォトレジスト中に含有されている微量の PFOS の代替物質の検証である。(ステッパーレンズの) 含浸技術に関しても、ESH に与えるどのような影響に対しても注意深く見守る必要がある。

これらの重要な問題の解決策候補としては、TSCA との適合性に基づいて決定したリソグラフィに使用できる化学物質のリストの作成、新しい物質を監視するための分析プロトコルの開発、化学物質の選択基準、リスクの査定、汚染防止規準の採用などが挙げられる。また、代替物質や代替技術、新しい物質や技術のライフ・サイクル分析、添加物技術の使用、有害性の少ない物質の使用といったことも、解決策候補として考えられる。

プロセス装置 — プロセス装置に関して必要となるのは、毒性のある物質の潜在的曝露可能性、HAPs や VOCs の排出、有害廃棄物の処理、CO₂ およびエネルギー消費について理解することである。また、人間工学に基づいた装置の設計、PFC の排出やプラズマ副生成物の管理も問題となる。さらに、スピン・オン・プロセスや「湿式」プロセス全般で発生する廃棄物の量を減らすことも必要となる。

解決策候補技術としては、使用ポイント (point-of-use) の効率的削減、設備排気の最適化、汚染防止規準や環境設計規準の採用、設備メーカーの S2 および S8 規格³の使用が挙げられる。そのほか、ゼロ・インパクト (及ぼす影響がゼロ) のプロセスの導入、大きな地球温暖化効果を有する物質の必要性の排除、新しく製造する設備の設計に際しての環境設計規準ツールの活用といったことも解決策候補となる。

露光装置 — 新しい露光装置に関して必要となるのは、使用する化学物質の毒性、放射線の危険の防止、リスクアセスメント、COO、危険なエネルギーやビームの遮蔽について理解することである。

解決策候補技術としては、リスクアセスメントの実施、COO の分析、必要に応じた放射線防止プログラムの使用が挙げられる。

設備クリーニング — 溶剤の使用に際しては、HAPs や VOCs の放出、有害廃棄物の処理、および保護具に関する知識が必要となる。また、洗浄剤や洗浄方法に関する知識も必要となる。

解決策候補技術としては、低温洗浄、溶剤を使用しない洗浄、ドライ・レジスト技術、使用場所での除害、汚染の防止、設備設計の最適化が挙げられる。また、環境への影響を最小限に抑えるためには、プロセスや設備の設計を見直すことも必要である。

ファクトリーインテグレーション

安全、健康、環境の保全に関する半導体業界の活動は、工場の基本設計 (事前準備および計画立案)、工場の設計および建設の段階からスタートする。安全や環境のためのシステム、機器、手順、手法を必要に応じて標準化することが、有効かつコスト効率の高い方法である。これらの作業を分担することで、スタート時のスケジュールを短縮することができ、設備のサプライヤ (納入業者) と密接な協力関係を築くことで、工場での設備の統合 (インタフェース) をスムーズに行うことが可能となる。工場の設計、製造設備、各要素間のインタフェース、そこで働く人間と機器との相互関係が、業界の ESH におおきな影響を及ぼす。

ESH のニーズを満たし、スタート時のスケジュールを短縮し、コストのかかる修正や変更を回避するためには、早期の段階で安全や環境に配慮した包括的な設計プランを作成し、各種の規制が定める条件等について理解することが設計者にとって不可欠である。

リスク管理に関して取るべき手法および選択の順序は、危険の排除、技術的管理 (隔離あるいはエンジニアリング・デザイン)、事務的管理 (手続きに関する管理)、作業員の保護具である。

標準化を推進するためのチャンスは、製造ラインとアセンブリ・テスト設備にある。設備の設計、設計の検証、ESH の認証、完了手続きにおいて ESH の関連事項を標準化することは、ESH のパフォーマンス、スタート時の効率、およびコストの大幅な改善につながる。また、設備のメンテナンス、変更、移行、撤去、廃棄において ESH を実践することも、機器や工場の使用期間全体から見た ESH やコストのパフォーマンスの大幅な改善に役立つ。

³ SEMI S2-98A—Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment

SEMI S8—Safety Guidelines for Ergonomics/Human Factors Engineering of Semiconductor Equipment

建物の安全システム、および装置とのインタフェースの標準化は、安全性のみならず設置効率を向上させ、スタート時の作業時間の短縮につながる。このような標準化の対象としては、火災検知システムや防火システム、これらのシステムをモニタするインタフェース、ガス検出システム、電気や化学物質の隔離手段、非常遮断システム、危険通報アラームが考えられるが、これらに限られるわけではない。これら製造ラインやアセンブリ・テスト設備に不可欠なシステムの他に、ビル管理システムも標準化の対象になる。

さらに、このロードマップの他のセクションで問題視したプロセスやメンテナンスで使用する化学物質の厳正な選択についても、設計段階で設備やシステムの運転時およびメンテナンス時に作業員を設備や製品から隔離できるように工夫することでそれを補わなければならない。

将来の工場においては、工場のプロセス・サポート・システムの安全性も改善されなければならない。作業環境が作業員の健康や安全に及ぼす影響が明らかになるにつれ、工場のシステムにおける作業員の安全確保をさらに改善することが必要となっている。それには、リスクの評価方法を改善し、設計段階で一貫してその評価方法を使用したリスク評価をすることが有効である。

オートメーション機器の危険性について十分に理解することは、人間にとっても製品にとっても安全な作業環境を実現する規格の開発につながる。このような規格やガイドラインは、オートメーション・システム、オートメーション・システムがそれらを結びつけている装置そして両者の間を取り持つインタフェースの中に組み込まれなければならない。

業界は、許認可事項、規則、放出規制の強化に直面している。将来の工場の設計プラン、あるいは既存工場の変更プランの作成に際しては、規制の制定機関や政府機関と協力して装置や工場の先進技術を新しい規制のもとで使用できるように努めなければならない。また、このような活動を国際的に推進してゆくことが必要である。半導体業界は、世界に通用する装置や工場の基本的な ESH 標準を確立するために行動しなければならない。

工場の設計に際しては、ツールへのプロセス材料の搬送、副生成物の管理、作業環境を管理するためのシステムが定義される。将来の工場の設計に際しては、資源の保護、節約、管理をバランスさせなければならない。このように資源を保護、節約するためのプログラムを推進する要因となっているのは、限りある水資源やエネルギー資源に対する競争の激化、環境汚染の問題、これらのかぎられた資源の大量消費である。

ESH の標準化、および工場や設備の設計の改善は、業界が自らのために自主計画を作成することで大きく推進される。今日の技術をもってすれば、このセクションで指摘した設計や手順の問題の解決を目的とした CBT (computer-based training、コンピュータを使用したトレーニング) プログラムを開発することは不可能ではない。

限りある資源の使用量を節約し、廃棄物の量を最小限に抑えるという点に関しては、その責任の多くは装置の(装置・材料)メーカーやプロセスを設計する技術者にあるが、工場のシステムに資源管理プログラムを取り入れることも大きな効果をもたらす。このような将来のプログラムの目的は、資源の消費が最小限に抑えられるような工場を建設すること、および廃棄物をほとんど出さない工場を建設するために資源の再利用、リサイクル、副生成物の再生を最大化することである。工場に関する主要な ESH プログラムでは、プロセスおよびプロセス以

外の用途への水の再利用、エネルギー効率の高い設備機器、施設のシステム・デザインの改善、新しい施設運用戦略が必要となる。

アセンブリとパッケージング

フリップ・チップやチップ・スケール・パッケージングへの移行は、アセンブリやパッケージングにおける ESH の問題を最終的には完全に変貌させることが予想される。それは、これらの技術ではリードフレーム、従来のモールドディング、代替材料を使用する必要がなくなるためである。一方、環境に害を及ぼす鉛、クロム、ベリリウム、アンチモン、臭素化難燃剤などの物質の使用に対しては、国際的な規制の圧力がますます高まっている。ヨーロッパ市場におけるこれらの物質の使用については、まもなく規制が適用されることが予想される。例として鉛の使用禁止が 2005 年 7 月 1 日から実施される。鉛 (Pb) がとりわけ重要なのは、現行のプロセスが幅広く使われていて、機器の組み立てに多用されている電子機器業界において、はんだ付けの代替技術が様々な問題を引き起こすことが予想されるためである。代替技術では半導体のはんだ付け温度を上げる必要があり、チップの寿命や品質の低下につながるため、技術的な問題を生じる可能性がある。パワーデバイスでは、チップをリードフレームに取り付けるための鉛合金の使用が問題を更に複雑にしている。

資源の保護という観点からだけでなく、地球温暖化ガスの面からもエネルギー消費の削減が重要と言える。アセンブリやパッケージングに関する問題は、半導体業界の顧客側の条件や技術に関するもので、ウェーハ製造のノードには関係はない。しかし、ロードマップの表記形式を遵守するために同じ表を使用した。

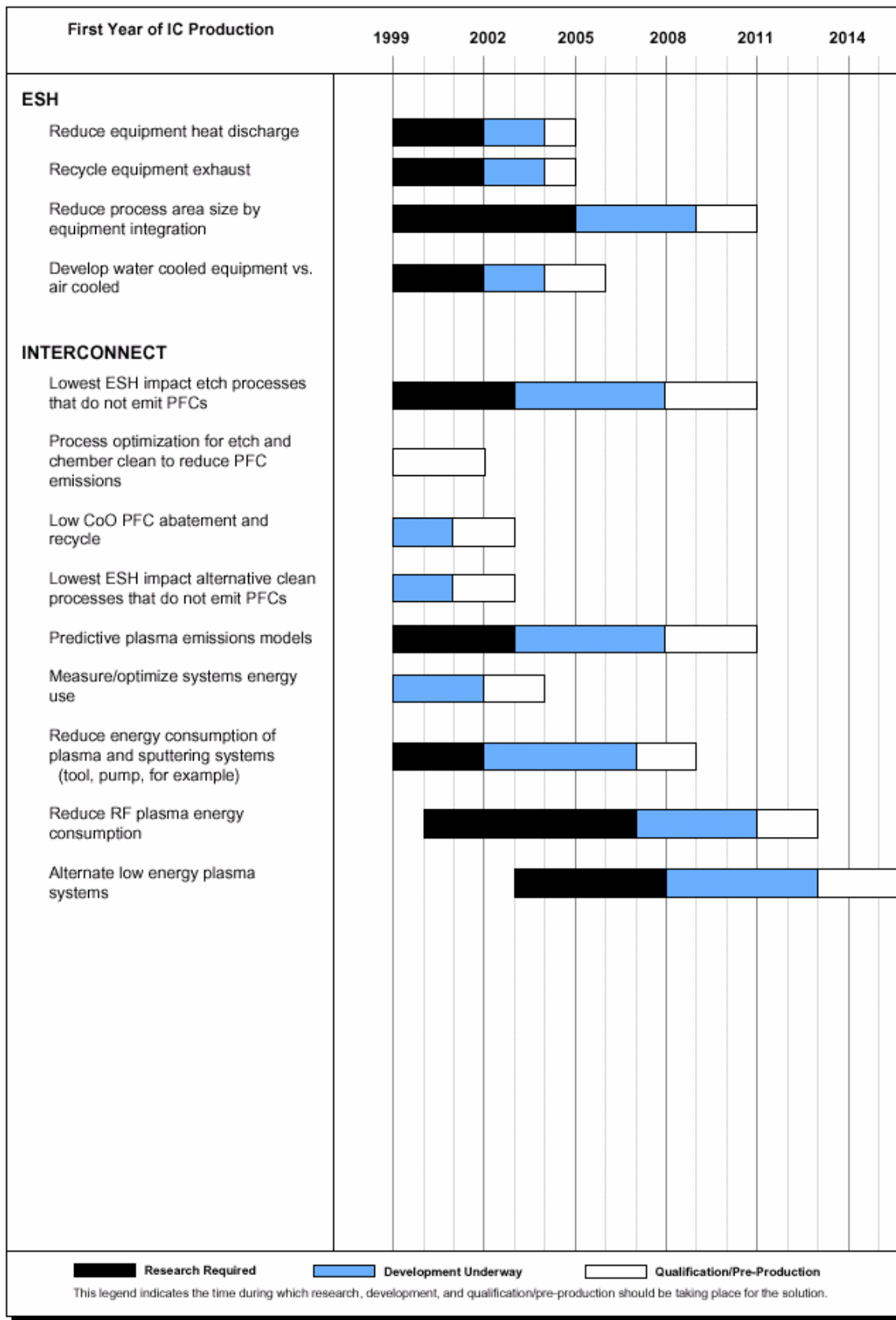


図73 ESH、化学薬品、材料、機器、作業保護に対する解決策候補

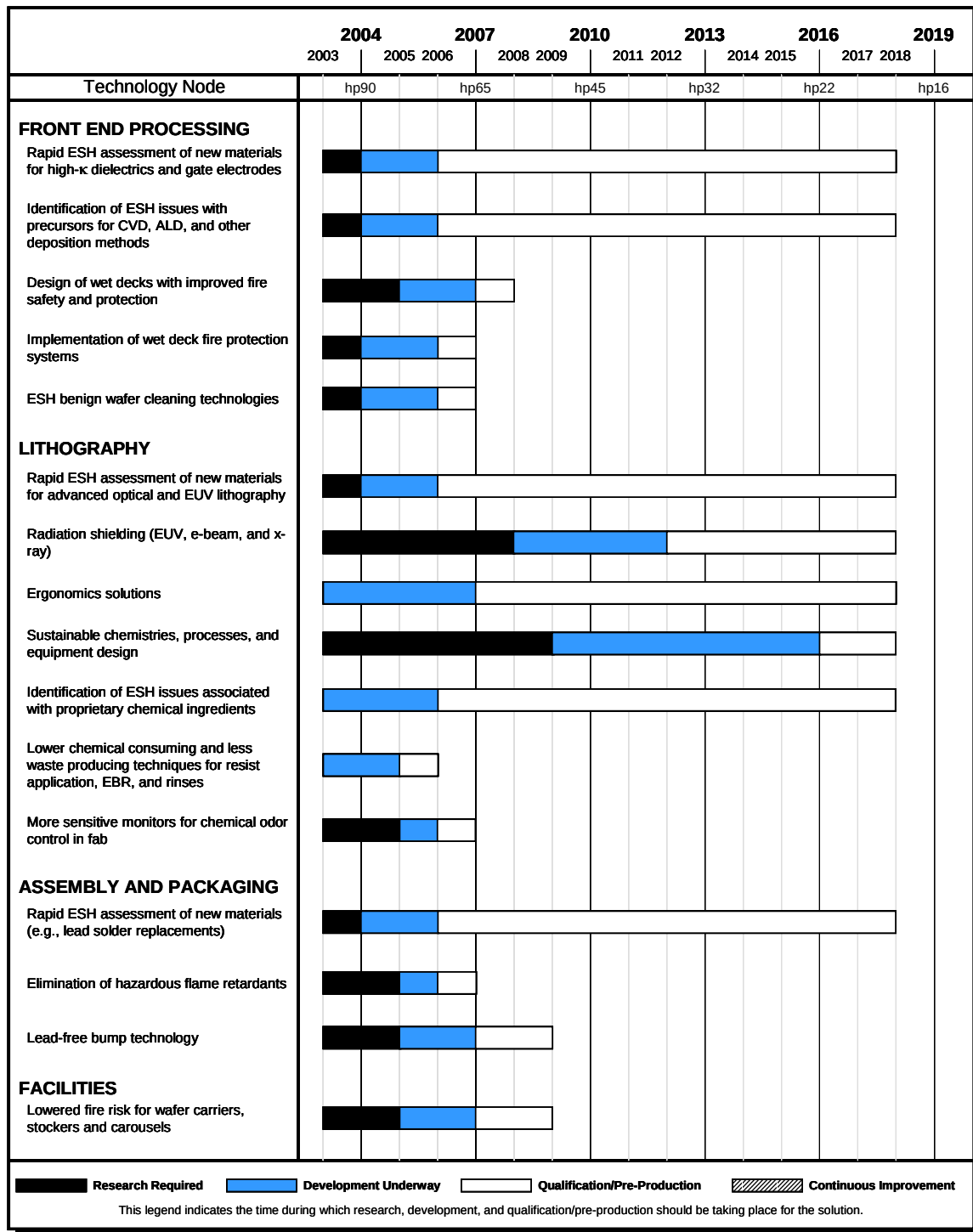


図73 ESH、化学薬品、材料、機器、作業者保護に対する解決策候補 (続き)

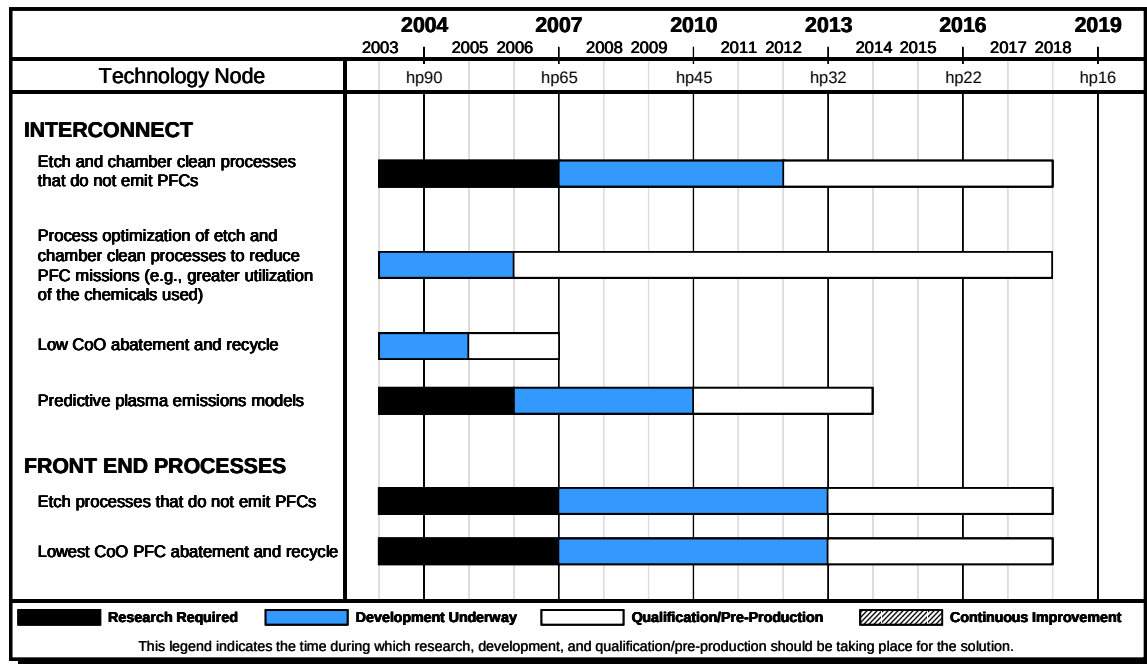


図74 気候変動緩和に対する解決策候補

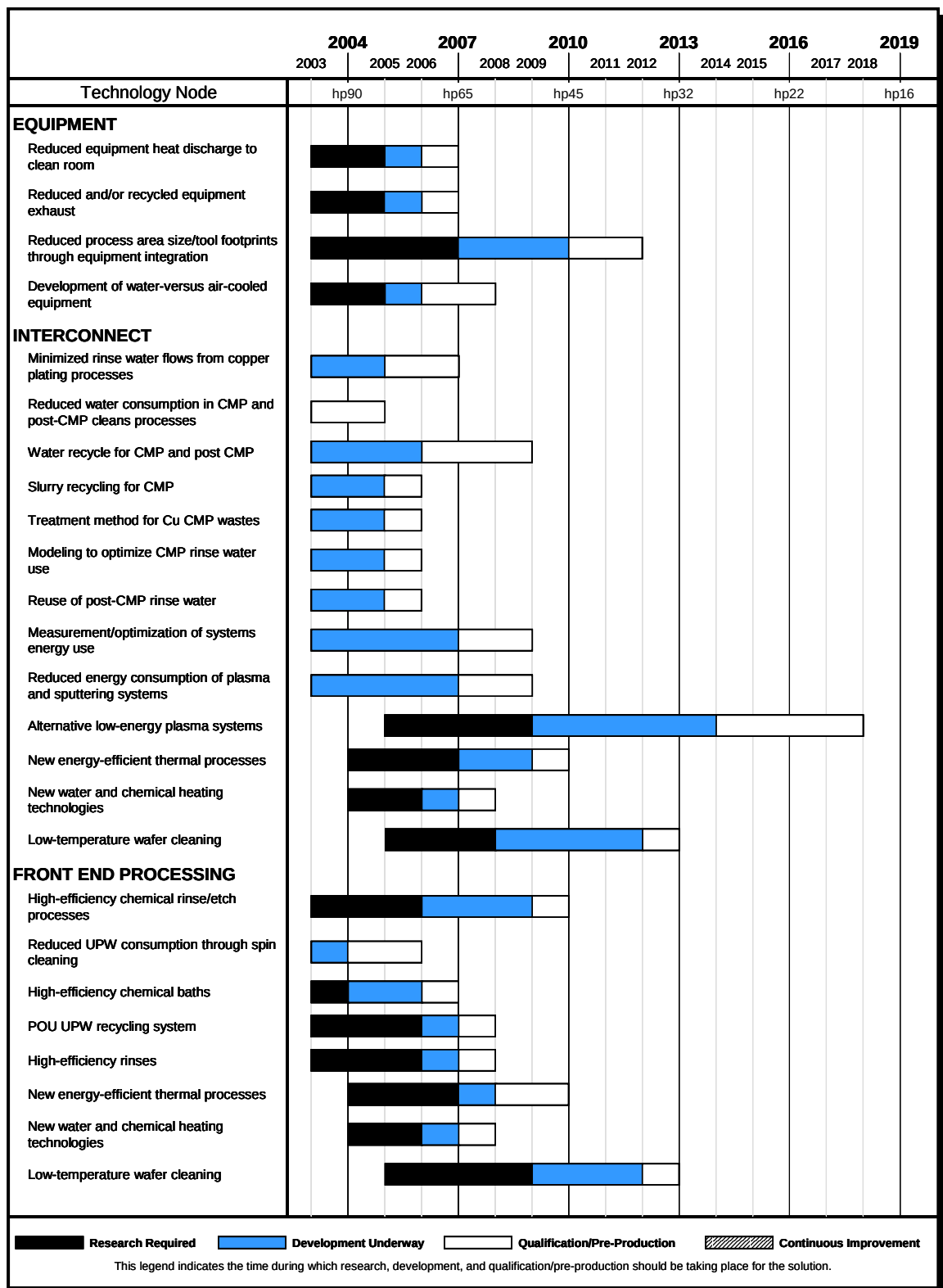


図75 資源の節約に関する解決策候補

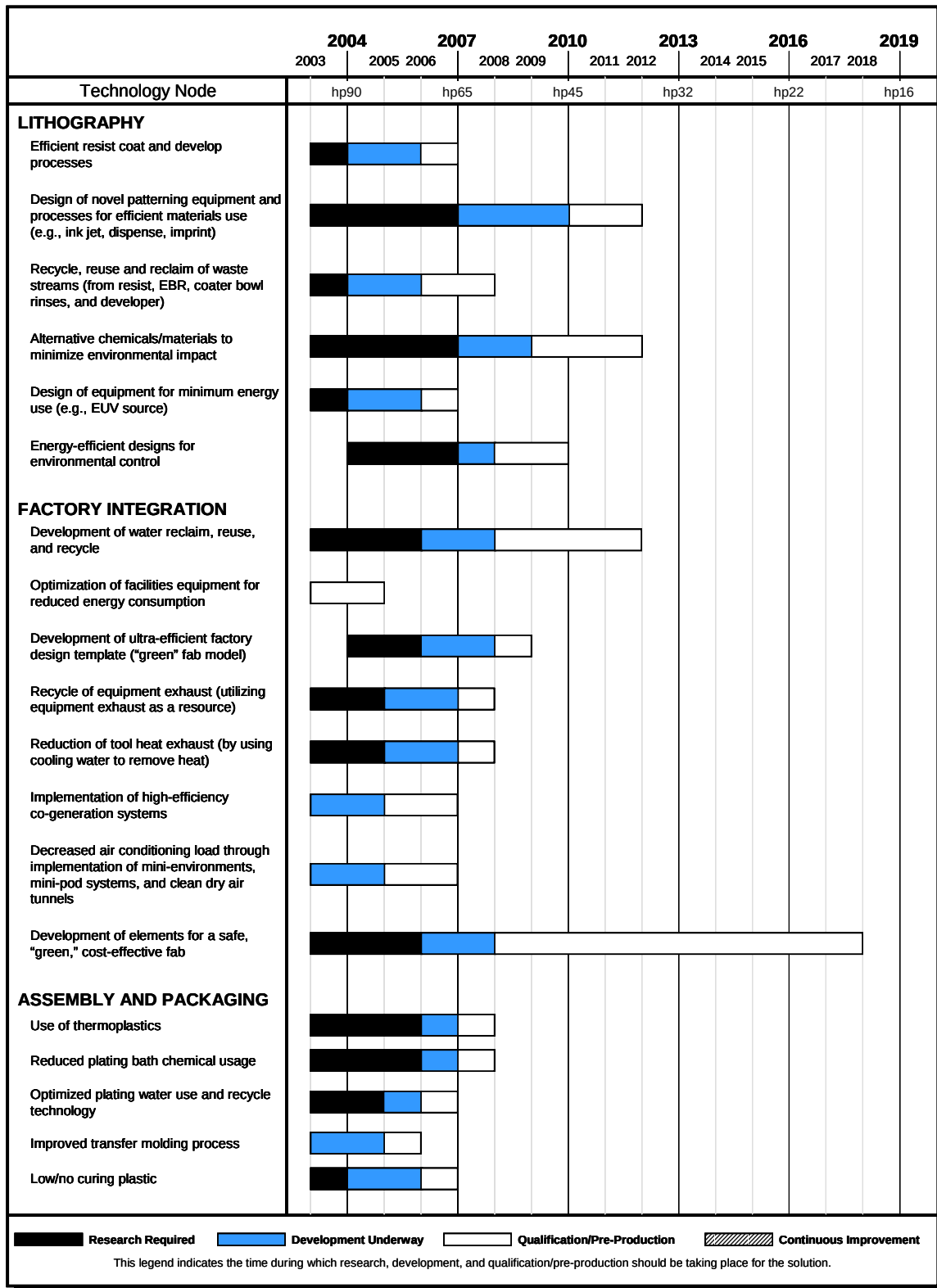


図75 資源の節約に関する解決策候補 (続き)

将来起こり得る、化学物質の使用禁止又は制限に対する審査表

1. 目的

この表は、特定物質の使用に関する既存または将来の法律や製造者に課せられる制限を確認するための補助として使用できるように作成されたものです。

2. 適用範囲

このツールは、一つの選別の手段を与えるもので、完全なリスク評価のツールではない。選別する際の焦点は、ある物質の使用に関する法的規制の可能性について置かれていて、生産で使用する材料の認定に使用される、より広範囲なリスク評価のための代替物質を示すものではない。

3. 制限区分の定義

問題点と特徴	製造中止の原因となりうる物質	高リスクの物質	中リスクの物質
化学薬品の製造、輸入と使用、又はそのいずれかに関する政府の既存又は今後の規制	1. 関連政府当局が以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の製造、輸入と使用、又はそのいずれかを禁止している。 2. 主要な製造業者が以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の段階的な生産中止を自主的に着手しているか、表明している。	1. 関連政府当局が以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の使用禁止や厳しい使用制限の具体的な対象としている。 2. 主要な製造業者が以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の段階的な生産中止の検討を示唆している。 3. 以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の ESH に対する影響について報道機関で深刻な議論がされている。この際政府当局に対して、その製造や使用を制限すべきという要求があり、その要求に対して政府当局が考慮に値することを示唆している場合	1. 関連政府当局が以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料の使用禁止や厳しい規制の対象として確認している。 2. 以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品種、化学薬品や材料の ESH に対する影響について報道機関で議論されている。 3. 深刻な ESH に対する影響（例えば、TOSCA 項目 8(e)）が発見されたことにより、報告義務が生じたことを受けて、以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品や材料に関する研究結果が政府機関に提出されている。 4. 半導体製造市場への供給者で、ある主要な化学製品製造業者が、以下に並べた一つ又はそれ以上の化学薬品を彼らの製品で使用しないことを契約に盛り込むことを示唆した。

4. 潜在的制限表

問題点と特徴	製造中止の原因となりうる物質	高リスクの物質	中リスクの物質
既存又は今後の製造 又は 使用に関する規制の対象となる化学薬品又は原材料のリスト	アスベスト (石綿) 特定のグリコールエーテル ポリ塩化ビフェニール (PCB) 完全ハロゲン化クロロフルオロカーボン (フロン類 CFCs) 四塩化炭素 1,1,1 トリクロロエタン ハロン 1211、1301、2402 ヒドロブロモフルオロカーボン (HBFCs) HCFC 141b	ヒドロクロロフルオロカーボン (HCFCs) PFOS PBBs & PBDEs カドミウム化合物 鉛化合物 水銀化合物 クロミウム化合物	PFCs —SF6 —C4F10 —C2F6 —C5F12 —CF4 —C6F14 —NF3 —C4F8 —CHF3 —C3F8 HFCs