

環境 安全と健康

スコープ

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。

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、Table103-107 に示した通りである。さらに、このロードマップは Figure98-100 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、および半導体メーカ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及びコンソーシア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、コンソーシア、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。

ナノエレクトロニクスにおける環境・健康・安全

半導体製造で使用される材料がナノサイズ領域に入ってくるにつれて、環境・安全・健康とこれらの材料との係わりに当然新たな焦点が当てられる。ナノサイズの物質が往々にしてバルクとは異なった特異な性質を有することが文献に示されている。このような差異は ESH の観点から理解しなければならないし、ユニークな挑戦の機会を提供する。更に、小さい新たな物質については、従来の ESH の管理レベル(排出制御装置のようなもの)の最適値よりも低く設定される。その結果、次のような ESH の要点が将来の技術開発で考慮されるべきである。

- ・ 作業場、排水、及び環境中のナノ物質の存在を検知する効果的な測定器具の開発
- ・ 従業員の健康と安全を確保するための適切な指標の評価と開発
- ・ ナノマテリアルを含んだ排水の効果的な処理を保証する汚染制御装置の評価と開発
- ・ バルクとは異なる新しいナノ物質の毒性に対する理解

困難な技術課題 (Difficult Challenges)

ESH の困難な技術課題は ITRS に関する 3 つの重要な機能に有用である。まず、ナノ物質に対する測定ツールの必要性など、進化する半導体技術の領域に科学としての ESH に固有の要件を取り込む。二番目に、これらの技術課題は、国際的な政策、規制、立法上の制約が将来の技術計画に関係し得る場であるということである。三番目に、ESH の困難な技術課題として構成された固有かつ国際的な ESH の要件は、個々の技術の推進を判断するフレームワークである。結果として生じる“横断的な推進の選別”は ESH の技術要求表に関連したニーズに関する情報を提供する。

次の 4 項目は、技術の推進領域までまとめ上げなければならない相乗的な ESH の戦略に必要な、グローバルな ESH の課題である。即ち、「化学物質及び材料の管理」、「プロセスと設備の管理」、「原動エネルギーと水の最適化」、及び「持続性と製品の管理」である。

「化学物質及び材料の管理」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。化学物質のスクリーニング・ツール(化学物質規制表) <http://public.itrs.net> を参照のこと。

「プロセス及び装置の管理」は、プロセスの最適化、費用対効果を考えた使用量削減方法の実施、有害な化学物質のより安全な物資への置き換えなどによる、水、エネルギー及び化学物質の節減に対する継続的な要求を含む。副生成物の管理、化学物質への暴露、人間工学、消耗品の消費は、装置の設計や動作において重要な配慮事項である。

「原動エネルギーと水の最適化」は工場の支援システムの資源保護に対する要請が中心である。発電とエッチングやチャンバークリーニング工程での化学物質の使用の両方による地球温暖化放出物の削減は、製造工程に必須なエネルギーと化学物質の使用を制限し得るため、重要な要件である。放熱のためのより効率的なクリーンルーム及び原動システムの設計は、もう一つの課題である。

「持続性及び製品の管理」は、世論や製品を使用するカスタマーに起因するこれから重要となる要件である。コスト効率良くタイムリーにこれらの課題に対応するために、Design for Environment, Safety and Health (DFESH) がプロセス設計やマネジメントの意思決定に間違いなく必要な部分になって来る。耐用期限の切れた製造装置や製品の環境に優しい廃棄、あるいはまた再利用がグローバルに要請される。

Table 103a ESH の困難な技術課題 短期

32nm 以前の困難な技術課題	要点
化学物質と材料の管理	<p>化学物質のアセスメント プロセスの稼働を遅延させずに、しかも人間の健康や安全、環境を損ねることなく化学物質を製造に使用し得ることを保証するスピーディな品質アセスメント方法の欠如</p> <p>化学物質データの有効性 化学物質の使用に対して増大する国際的・地域的要請に対応するための新しい販売化学物質や材料に対する総合的な ESH データの欠如</p> <p>化学物質の暴露管理 どのように化学物質や材料を使用するか、どんな工程性生成物が作られるかという情報の欠如</p>
工程と製造装置の管理	<p>化学物質の削減 効果的でコスト効率の良い工程管理により、必要な化学物質の量を削減し、かつより安全な化学物質を使用することで技術的要請にも適し、人の健康と安全、そして環境への影響も低減するプロセス開発の必要性</p> <p>環境管理 製造装置の再利用と廃棄、そして製造工程から出される有害・非有害物質に関連した問題に対応した効果的なマネジメントシステムを開発する必要性</p> <p>水とエネルギーの節約 水使用量の削減と省エネの必要性 新たなエネルギーを使用し、水の使用効率が高いプロセスと製造装置の必要性</p> <p>消費材の最適化 化学物質と材料のより有効な利用、及び再利用とリサイクルの必要性</p> <p>副生成物の管理 適当な緩衝を見極めるための、工程から出る副生成物の ESH に関する特性を理解する必要性</p> <p>化学物質の暴露管理 化学物質の暴露可能性と人を暴露から守る装置(PPE)設計の必要性</p> <p>装置の人間工学 人間工学的に正しいそして安全な装置設計の必要性 メンテナンスに対応した設計 一人の人が安全にメンテナンスとサービスを実行出来る装置設計の必要性 メンテナンス作業中の健康と安全に関するリスクを最小にする必要性</p>
原動エネルギーと水の最適化	<p>保全 エネルギーと水使用量を減らす必要性</p> <p>放熱装置 クリーンルームと原動システムのより効率的な熱管理の必要性</p> <p>地球温暖化物質の放出抑制 エネルギー効率の良い製造装置と製造施設を設計する必要性 地球温暖化係数の高い化学物質を使用する工程における排出量を削減する必要性</p>
持続性と製品の管理	<p>耐用年数が切れた装置の廃棄と再利用 耐用年数が切れた場合の廃棄が容易な製造装置と製品を設計する必要性</p> <p>ESH に配慮した設計 工程、化学物質、及び全製造工程の製造装置の ESH に関する影響をトータルに評価し定量化する手法の必要性</p> <p>新しい製造装置、工程、及び製品を開発する場合に ESH を設計パラメータにする必要性</p> <p>持続性の定量化 技術の進化の持続性を定義し評価する要素を特定する必要性</p>

Table 103b ESH の困難な技術課題—長期

32nm 以降の困難な技術課題	要点
化学物質と材料の管理	<p>化学物質のアセスメント プロセスの種差を適正せずに、しかも人間の健康や安全、環境を損ねることなく化学物質を製造に使用し得ることを保証するスピーディな品質アセスメント方法の欠如</p> <p>化学物質データの有効性 化学物質の使用に対して増大する国際的、地域的要請に対応するための新しい販売化学物質や材料に対する総合的な ESH データの欠如</p> <p>化学物質の暴露管理 どのように化学物質や材料を使用するか、どんな工程性生成物作られるかという情報の欠如</p>
工程と製造装置の管理	<p>化学物質の削減 効果的でコスト効率の良い工程管理により、必要な化学物質の量を削減し、かつより安全な化学物質を使用することで技術的要請にも適し、人の健康と安全、そして環境への影響も低減するプロセス開発の必要性</p> <p>環境管理 製造装置の再利用と廃棄、そして製造工程から出される有害、非有害物質に関連した問題に対応した効果的なマネジメントシステムを開発する必要性</p> <p>水とエネルギーの節約 水使用量の削減と省エネの必要性 新たなエネルギーを使用し、水の使用効率が高いプロセスと製造装置の必要性</p> <p>消費材の最適化 化学物質と材料のより有効な利用、及び再利用とリサイクルの必要性</p> <p>副生成物の管理 適切な経路を見極めるための、工程から出る副生成物の ESH に関する特性を理解する必要性</p> <p>化学物質の暴露管理 化学物質の暴露可能性と人を暴露から守る装置(PPE)設計の必要性</p> <p>装置の人間工学 人間工学的に正しいそして安全な装置設計の必要性 メンテナンスに対応した設計 一人の人が安全にメンテナンスとサービスを実行出来る装置設計の必要性 メンテナンス作業中の健康と安全に関するリスクを最小にする必要性</p>
原動のエネルギーと水の最適化	<p>保全 エネルギーと水使用量を減らす必要性</p> <p>放熱装置 クリーンルームと原動システムのより効率的な熱管理の必要性</p> <p>地球温暖化物質の放出抑制 エネルギー効率の良い製造装置と製造施設を設計する必要性 地球温暖化係数の高い化学物質を使用する工程における排出量を削減する必要性</p>
持続性と製品の管理	<p>耐用年数が切れた装置の廃棄と再利用 耐用年数が切れた場合の廃棄が容易な製造装置と製品を設計する必要性</p> <p>ESH に配慮した設計 工程、化学物質、及び全製造工程の製造装置の ESH に関する影響をトータルに評価し定量化する手法の必要性</p> <p>新しい製造装置、工程、及び製品を開発する場合に ESH を設計パラメータにする必要性</p> <p>持続性の定量化 技術の進化の持続性を定義し評価する要素を特定する必要性</p>

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

新しいテクノロジーの開発を担当している科学者並びにエンジニアは、ESH-関連のテクノロジー決定をするために、内因的な ESH 要件としてのガイドラインと目標の明確な組み合わせを必要としている。その目的は、

主流となる技術の目標と一緒に ESH の内因的な要件を満足することにある。

Table104 は 4 つの「ESH 困難な課題」に関する表題の下でこれらの包括的な ESH の目標を説明している。この表は原動システムだけでなく付帯設備と製造装置のエネルギーや水の消費量の目標を詳細に説明していて、廃棄物の発生だけでなく化学物質の消費量削減のための具体的な方法も与えてくれる。また後者の場合についても PFC の排出だけでなく、有害な廃棄物の発生について液体、固体によらず、正面から取り扱っている。さらに、この表は、労働者と労働環境の保全のための基本的な要求事項を明らかにし、そしてすべての新規化学物質の環境への負荷 / 影響アセスメントの必要性を指摘している。

化学物質と材料の管理

化学リスクアセスメント - 新しい化学薬品または素材を使用するのに先立って、安全性、健康を阻害する危険性や環境負荷を正確に、且つ迅速に測ることが必要となり、その時点で、その薬品等を使用するかどうかの決定が、使用量や使用方法及びリスクアセスメントに基づいて行われる。オペレータと保安要員が化学薬品または素材に曝される機会は、安全と健康面から減らされなければならない。その排出は、環境負荷を最小にするように抑制されなければならない。またリスクアセスメントプロセスにおいては物質によって引き起こされる危害や障害を考慮することが重要となる。

プロセス解析は環境影響アセスメントの重要な要素である。プラズマプロセスのように、プロセス中に発生する副生成物が、無視することのできない深刻な健康や環境問題を引き起こす可能性があるからである。ESH 面で最も影響の少ないプロセスを開発するためには、それぞれのプロセスにおいて基本の化学反応を理解しなくてはならない。さらに、リスクアセスメントは、対象の化学物質が使用禁止、または、何らかの規制がなされていないことを保証するために、化学物質制限テーブル(ITRS にリンク <http://public.itrs.net>)を参照して化学物質の確認をする作業を含むべきである。

化学物質データの有用性

データベースは、半導体産業で使われる材料と化学物質について正確にリスクアセスメントを実施するために必要となる化学データを格納していることが保証されるべきである。データベースは、以下のような安全データを含む必要があり、環境負荷に関するデータ、プロセスデータ、排出分配率(分散モデル) および排出の取り扱いの方法などであり、これらの材料を、既存及びこれから出てくる法律や規則に準拠して使用するためである。現在、化学物質と材料の一般的なデータベースは化学物質/素材産業によって作られているが、多くの場合充分と言えない。特に長期間の環境面及び慢性毒性に対する影響に関して不十分であるが、素材に対する化学物質データ要件を決定する際に、そのリスクを考慮することはおそらくできるだろう。

化学物質暴露管

各プラント(サイト)で化学物質と素材の使用量と排出量を削減するためこれらの物質の管理が必要となる。従って、ESH 面への影響評価は、化学物質または素材が環境に広がる経路のマテリアルバランスと検証を含まねばならない。これまでに様々な代替物質、特に温室効果ガスとオゾン層破壊物質に対する代替物質を見つけるため多大な努力を払ってきた。また、プラスチックパッケージに使われている臭素系やアンチモン系難燃剤の代替物質及びはんだ付けや、スズメッキ用途の鉛の代替物質については今でも開発が続けられている。産業ニーズは、安全で、費用対効果の高い構成素材を要求している。製造のニーズと保険業者の期待に添うような難燃性を持ち、プロセスに適応できる素材が装置とウェハーキャリアの両方に必要である。

電磁波はその波長に依存した様々な特徴を持っている。パターン露光のために使用される波長がエックス線領域にまで短縮化される時には、その健康影響について評価されなければならない。

プロセスと装置管理

化学物質の削減

新しい化学物質と素材は、新しいテクノロジーの導入と開発に伴って、先に挙げた技術要件を満たすため使われ始め、その後、その使用量が急速に増大するであろう。過去においては、同じ素材が4から5世代のテクノロジーを無理なく支えてきたのに対して、今日では、各テクノロジーの殆どが、1つあるいは、それ以上の新しい素材の導入を必要とするようになっている。半導体産業における全体の化学物質と素材の使用量は他の産業に比べて極めて少ないけれども、リソースを効率よく使用できる生産工程と生産設備が必要である。

水とエネルギーの節約

水とエネルギー使用量は、半導体が複雑化し、ウェーハが大口径化することによって増大してきている。クリーンルームのデザイン、製造設備のデザイン、そしてウェーハ搬送/保管方法などの分野の変化も必要となっている。最も必要とされているのは、真空ポンプ、局所冷却装置、およびヒーター、無停電電源システム、電源変換装置(例えば RF 発生器と変圧器)などである。より多くのエネルギー効率の高いより多くの装置の必要性に加えて、これらがクリーンルームへの熱負荷を減らすこと及びウェーハを処理していない時に「アイドルモード」にする機能を開発することが必要である。

消耗品の節約

CMP のスラリーや CMP 後洗浄の時に使われるブラシなどの消耗品は、原動設備から発生する廃棄物量と同じように装置のランニングコストに大きな影響を与える。従って、消耗品の消費を最小化するためのプロセス最適化は非常に重要になる。

副生成物の管理

装置から排気系または排水系に排出されるプロセス副産物の検証は、環境に対する不適当な排出を防止するためだけでなく装置オペレータとメンテナンス技術者の安全のために非常に重要である。

環境管理

半導体メーカは、他の産業のように「廃棄物ゼロ」プラントの実現を目指すべきである。その目的を達成するために、廃棄物のリサイクル率を改善しなければならず、リサイクル産業や政府との協力が必要になるであろう。

化学物質暴露管理

生産設備、プロセス、メンテナンス、工場デザイン、および工場統合に対して、半導体産業は以下の優先順位に並べた解決手法を利用するため、ハザードコントロールのための標準ルールを受け入れ、全面的に用いなければならない: 1) 危険除去、2) 技術的コントロール、3) 管理的コントロール、および 4) 保護具(PPE)。

装置の人間工学

ウェーハサイズとスループットの増加は、ウェーハハンドリングシステムを必要とするが、これに対する作業者の操作とメンテナンス時のリスクが増大する可能性がある。自動ウェーハ搬送システム及びこれらが製造設備との間に介在してくることが、システムの近くで作業する者に潜在的な危険となり得る。製造装置の操作性向上や誤操作を防止するため人間工学とロボット工学の理解の下でデザインコントロールと手順を確立しなくてはならない。

メンテナンスのためのデザイン

先進的技術に対応するため装置や付帯設備の大きさや複雑さが増大しており、これらの安全で、人間工学に適ったメンテナンスのための設計は、より難しく、やり甲斐のあるものになる。しかしながら、安全工場であることや業務傷害の発生率が低いというような産業界における評判を維持する上で、装置や付帯設備の設計に関するこの課題に注意を払わねばならない。

原動エネルギーと水の最適化

節約

エネルギー - より高純度の水と化学物質の必要性に加えて、ウェハーサイズとプロセスステップ数の増加によりウェーハ当たりの資源(水、エネルギー、および化学物質)消費が更に増えることが見込まれている。より高効率のプロセスや製造装置の開発、並びに使用済み薬品、水、排水に対して、プロセス用途のリサイクルとプロセス用途以外のリユース等を巧みに組みあわせることにより、このような傾向を逆転することができる。半導体製造装置における資源活用効率は大いに高められることができるものである。例えば、フォトリソプロセスにおいて、スピンドン時にウェーハに滴下されるレジストのかなりの量が周辺に飛び散り、廃棄されている(というものの、すでにレジスト廃棄物の削減に関してはかなり進歩している)。また、製造装置からの排気の必要量やクリーンルーム HEPA フィルターの風速に対する最適化が、工場全体のエネルギー消費量を減らすために必要とされている。

エネルギー源の制約は、産業界が、安易に既存の工場を拡張したり、新しい工場を建設するのを思い止めることができる。半導体メーカーは、過去 10 年以上にわたりエネルギーの有効活用に関して活動してきたが、資源の制約に対する見込みが、産業界にこの努力を継続することを求めている。

水 - 半導体製造において使用されている水のほとんどは超純水(UPW)である。UPW の製造は大量の化学物質を必要とし、UPW 使用量の増加と品質の向上が化学物質のより大量の消費をもたらしている(その結果として UPW の製造コストも)。UPW 消費の減少は製造コストを減らすだけでなく化学物質によって起こされる環境影響を減少させるであろう。プロセス用途のための、より高品位の水のリサイクル、プロセス用途以外の低品位の水の再利用は重要である。水が豊富なエリアでは、廃水リサイクルは、その地域の水再利用の選択とリサイクルに伴う様々なコストに依存するであろう。

クリーンルームデザイン、ウェーハ搬送/保管の方法など、エリアの変化は必要である。さらに、よりエネルギー効率の高い製造装置の必要性、すなわちクリーンルームにおけるこれらの製造装置からの熱負荷を削減することが必要である。

地球温暖化ガスの排出削減

地球気候変動に対する懸念が、PFCs など半導体製造において使用されている温室効果ガスの排出削減のみならず、半導体製造において使われるエネルギー起因の二酸化炭素の排出量削減への国際的な取り組みへの駆動源となっている。

持続可能性と生産に関する管理

DFESH(環境、健康、および安全のための設計)は技術設計の中に ESH の改善を組み込み、広げて行くために使用され始めた用語である。それは、重要な技術開発に関連した ESH 問題を早期に評価することを可能にし、ESH に関連した問題点から開発途中や開発後に技術内容の見直しが起らないことを約束してくれる。DFESHは製造装置と材料・素材の開発、工場の設計、廃棄物と資源の管理、これらが ESH に影響を及ぼす過程についての包括的な理解を要求している。また、DFESH は、望ましい価格/機能、品質を維持したままで、私達が、製品の製造工程や製造方法において、ESH 面における様々な改善を盛り込むことを可能にしてくれる。

Table 104a ESH Intrinsic Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Drier	
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	36	32		
MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm) (contacted)	90	78	68	59	52	45	40	36	32		
Chemicals and Materials Management Technology Requirements											
CPIFs* completed for percent of new chemical candidates	100%										
Percent chemical assessments (hazard/safety) completed	100%					100%					
Process and Equipment Technology Requirements											
Energy Consumption											
Total fab tools (kWh/m ²) [3]	03-04						025-03				
Total energy usage per wafer pass (300mm vs 200mm) (baseline 1999)	1	08		06			Functional Area Goals TBD				
Water Consumption										Sustainable growth and cost	
Wet bench UPW use (liters/300mm wafer pass)	42					TBD					
Chemical Consumption and Waste Reduction										Environmental stewardship and cost	
Improvement in process chemical utilization (liters/liquid) or grams/gas/cm ² /mask layer)	3%/per year					3%/per year					
Worker and Workplace Protection											
Conformance of new tools to latest International ESH standards and guidelines such as SEMI S2 [1] and European CE mark requirements [2]	100%					100%					
Conformance of AMHS tool interface to latest SEMI S2 Guideline and CE mark directive	100%					100%					
Facilities Energy and Water Optimization Technology Requirements											
Energy Consumption											
Total fab support systems (kWh/m ²) [3]	05-06					035-05					
Water Consumption											
Net feed water use (liters/m ²) [3]	8-10					3-5					
Fab UPW use (liters/m ²) [3]	4-6					4-6					
Chemical Consumption and Waste Reduction											
Hazardous liquid waste recycling rate	80%					80%					
Solid waste recycling rate	85%					90%					
Reduce PFC emission	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the World Semiconductor Council (WSC)						Maintain 10% absolute reduction from 1995 baseline				
Sustainability and Product Stewardship Requirements											
Procession metal in purchases as a % of new materials	75%			100%							

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

Notes for Table 2a:

[1] SEMI S2-93A—Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment

[2] European CE Mark Safety Requirements

[3] cm² per wafer out.

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 ground water body.

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

* CPIF = Chemical Properties Information Form

Table 104b ESH Intrinsic Requirements—Long-term Years

Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Driver
DRAM/1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
MPU/ASIC Metal 1 (M1)/1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
Chemicals and Materials Management Technology Requirements								
CPIFs* completed for percent of new chemical candidates	100%							
Percent of chemical risk assessments (health and safety) completed	100%							
Process and Equipment Technology Requirements								
Energy Consumption								
Total fab loads (kWh/cm²) [3]	0.25-0.3							
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm) (baseline 1999)	Functional Area Goals TBD							
Water Consumption								Sustainable growth and cost
Wafer batch UPW use (liters/300mm wafer pass)	TBD							
Chemical Consumption and Waste Reduction								Environmental stewardship and cost
Improvement in process chemical utilization (liters [liquid] or grams [gas]/cm²/mask layer)	3%/per year							
Worker and Workplace Protection								
Conformance of new tools to latest International ESH standards and guidelines such as SEMI S2 [1] and European CE mark requirements [2]	100%							
Conformance of AMHS tool interface to latest SEMI S2 Guideline and CE mark directive	100%							
Facilities Energy and Water Optimization Technology Requirements								
Energy Consumption								
Total fab support systems (kWh/cm²) [3]	0.35-0.5							
Water Consumption								
Net feed water use (liters/cm²) [3]	3-5							
Fab UPW use (liters/cm²) [3]	4-6							
Chemical Consumption and Waste Reduction								
Hazardous liquid waste recycling rate	80%		90%					
Solid waste recycling rate	90%							
Reduce PFC emission	Maintain 10% absolute reduction from 1995 baseline							
Sustainability and Product Stewardship Requirements								
Process environmental load impact assessments for (%) of new materials	100%							

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

Notes for Table 2b:

[1] SEMI S2-93A—Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment.

[2] European CE Mark Safety Requirements.

[3] cm² per wafer out.

* CPIF = Chemical Properties Information Form

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

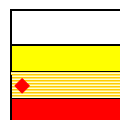


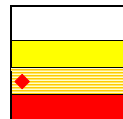
Table 105a Chemicals and Materials Management Technology Requirements—Near-term Years*

*The Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table) is linked online at <http://public.itrs.net>

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Driver
DRAM/1/2 Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	36	32	
MPU/ASIC Metal 1 (M1)/1/2 Pitch (nm) (contacted)	90	78	68	59	52	45	40	36	32	
Interconnect										
Low materials—spin-on-CVD	Minimum emission/waste processes			75% raw material (chemical) utilization			90% raw material (chemicals) utilization			
Copper processes (ECD)	75% copper reclaimed/recycled			85% copper reclaimed/recycled			100% copper reclaimed/recycled			
Advanced metallization including Cu barrier and PVD and ALD	Minimum emission/waste processes					Minimum emission/waste processes				
Panization (metal CMP)	15% reduction in consumables from baseline			>15% Reduction in consumables from baseline			5% reduction in consumables per year			
Plasma etch processes	Alternative etch chemistries					Lowest ESH impact etch chemistries				
CVD chamber clean (plasma)	Low ESH impact CVD chamber clean chemistries					Low ESH impact CVD chamber clean chemistries				
Frontend Processes										
High- materials	Lowest ESH impact high- materials			ESH benign processes						Transistor performance and device density
High- materials	Low-hazard deposition, etch, and clean processes			ESH benign processes						
High- materials	High- materials without potentially toxic/bioaccumulative metals			Lowest hazard compounds and processes						
Doping (implantation and diffusion)	Lowest hazard dopant materials and processes									
Surface preparation (stripping, cleaning, rinsing)	ESH-friendly wafer clean and rinse processes and tools evaluated					ESH-friendly wafer clean and rinse processes and tools incorporated into manufacturing				
Novel wafer cleaning (supercritical CO ₂ , etc)	Novel wafer cleaning technologies evaluated					Novel wafer cleaning technologies implemented				
Front-end etch	ESH-friendly etch processes evaluated					ESH-friendly etch processes implemented				
Lithography										
New Equipment										
Optical	Characterization of ESH impacts	Minimal ESH impact from radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal				Minimal ESH impact from ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal				Next generation lithography
193 nm immersion lithography	Low ESH impact resists			Low ESH impact immersion fluid additives, fluids, and resists						
EUV	Characterization of ESH impacts			Minimal ESH impact from ionizing radiation, ergonomics, energy consumption, and source gases						
PFOS/PFAS**	Non-critical uses eliminated		Non-PFOS/PFAS alternatives researched						Non-PFAS materials developed for critical uses in photolithography	
Mask cleaning	Cost-effective, ESH-friendly technology (eg. supercritical CO ₂)									

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

Manufacturable solution exists, and are being optimized
 Manufacturable solutions are known
 Interim solutions are known
 Manufacturable solutions are NOT known



Notes for Table 3a:

* Everything that is not identified as a critical use.

** Critical uses of PFOS includes use in a photo-microlithography process to produce semiconductors 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

Table 105b Chemicals and Materials Management Technology Requirements—Long-term Years*

*The Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table) is linked online at <http://public.itrs.net>

Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Driver
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
Interconnect								
Low-κ materials—spin-on and CVD	90% raw material (chemicals) utilization							
Copper processes (ECD)	100% copper reclaimed/recycled							
Advanced metallization including Cu barrier and seed (PVD and ALD)	Minimum emission/waste processes							
Planarization (metal CMP)	5% reduction in consumables per year							
Plasma etch processes	Lowest ESH impact etch chemistries							
CVD chamber clean (plasma)	Low ESH impact CVD chamber clean chemistries							
Frontend Processes								Reduced feature size
High-κ materials	Lowest ESH impact metal compounds and processes							Transistor performance and device development
High-κ materials	ESH benign processes							
High-κ materials	Lowest hazard compounds and processes							
Doping (implantation and diffusion)	Lowest hazard dopant materials and processes							
Surface preparation (stripping, cleaning, rinsing)	ESH friendly wafer clean and rinse processes and tools incorporated into manufacturing							
Novel wafer cleaning (supercritical CO ₂ etc)	Novel wafer cleaning technology implemented							
Front-end etch	ESH friendly etch process implemented							
Lithography								
New Equipment								
Optical	Minimal ESH impact for imaging radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal							Next generation lithography
193nm immersion lithography								
EUV	Energy-efficient EUV lithography and/or other low ESH impact innovative patterning technology							
PFOS/PFAS**	Non-PFAS materials developed for critical uses in photolithography							
Mask cleaning								

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

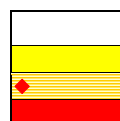
*The Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table) is linked online at <http://public.itrs.net>

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known



Notes for Table 3b:

** Critical uses of PFOS includes use in a photo-microlithography process to produce semiconductors 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

Table 106a Resource Conservation Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Driver
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	36	32	
MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm) (contacted)	90	78	68	59	52	45	40	36	32	
Interconnect										Increase in number of inter-layers
Copper processes (ECD)	Copper processes optimized to minimize waste to water and land									
Planarization	Water recycle technique									
Plasma processing	Reduced to little energy use									
Front End Processes										
High-	Energy efficient deposition processes					Energy efficient deposition processes				
Implantation	Energy use and heat removal optimized					Minimum implanting energy for future technologies				
Surface preparation	Energy efficient clean processes (reduced exhaust flow rates)					Energy efficient clean processes (optimized exhaust flow rates)				
	Novel wafer cleans based on surface interface science					Wafer cleans with more diluted chemistries and lower water consumption				
Front end etch	Reduced to little energy									
Starting materials	Quantified energy/water reduction from SOI based process flows									
Lithography										Reduced feature size
Equipment source consumption (optical, e-beam, and EUV)	Optimized energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials, and water consumption									
Assembly and Packaging										
Eliminate waste from molding process	Zero waste (after recycling) from molding technologies					Zero waste (after recycling) from molding technologies				
Reduce water use	0.8X (X=1999) baseline					0.5X (X=1999) baseline				
Reduce chemical use and consumption	0.8X (X=1999) baseline					0.5X (X=1999) baseline				

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

Manufacturable solution exists, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

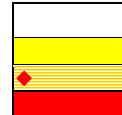


Table 106b Resource Conservation Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Diver
DRAM/ $\frac{1}{2}$ Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
MPCU/ASIC/Metal I (MI)/ $\frac{1}{2}$ Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14	
Interconnect								Increasing number of interlayers
Copper processes (ECD)	Copper processes optimized to minimize waste to water and land							
Planarization	Water recycle/reclaim							
Plasma processing	Reduced total energy use							
Front-End Processes								
High-	Energy efficient deposition process							
Implantation	Minimum implanting energy for future technologies							
Surface preparation	Energy efficient clean processes (optimized exhaust flow rates)							
	Water drains with more dilute chemistries and lower water consumption							
Front-End etch	Reduced total energy							
Sintering materials	Quantified energy/water reduction from SOI-based process flows							
Lithography								Reduced feature size
Equipment source consumption: optical, e-beam, and EUV	Optimized energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials, and water consumption							
Assembly and Packaging								
Eliminate waste from molding process	Zero waste (after recycling) from molding technologies							
Reduce water use	0.5X (X=1999) baseline							
Reduce chemical use and consumption	0.5X (X=1999) baseline							

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

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 ground water body.

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

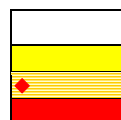


Table 107a Sustainability and Product Stewardship Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	36	32
MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm) (contacted)	90	78	68	59	52	45	40	36	32
Factory Integration									
Improved integration of ESH into factory and equipment design	Incorporate ESH design guidelines, methodology, and criteria into total factory design								

Table 107b Sustainability and Product Stewardship Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14
MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14
Factory Integration							
Improved integration of ESH into factory and equipment design	Incorporate ESH design guidelines, methodology, and criteria into total factory design						

The status of some of the entries for 2005 is shown as "YELLOW", because the ESH TWG felt that there was still some work to be done. However, since the status was closer to the "WHITE" than the "RED", the TWG elected not to use the "INTERIM SOLUTIONS" color code for these line items.

Manufacturable solutions exist, and are being optimized	
Manufacturable solutions are known	
Interim solutions are known	
Manufacturable solutions are NOT known	

ESH の内因的要求事項

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。先進技術の性能要求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の分野において、すなわち低誘電率、CMP (chemical mechanical polishing: 化学機械研磨)、ウェーハ洗浄および銅と多孔質の低誘電率膜の積層に関する技術において多くの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、およびそれにとまなう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、このような研究方法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。化学物質と材料の管理に関する技術要求 (Table 105) の 1 つとして、配線工程のすべての側面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) / ALD (atomic layer deposition) の原料物質、低誘電率膜中の微細な穴の封止剤、銅配線の拡散防止及び成長核物質、CMP 用化学物質（スラリー等）とパッド、CMP 後のブラシ洗浄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が要請されるが、これらの要求は CVD / ALD 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 スラリー量の効率的な使用やスラリーのリサイクル等による使用量削減によって達成することができるだろう。

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 2 酸化炭素のような超臨界流体を使用する技術が

主流となるならば、化学薬品や水の廃棄分を劇的に低減できるだろう。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、ピアベイル(via veil)とエッチ後の低誘電率物質の洗浄に対する実現可能技術の一つになるかもしれない。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。高い地球温暖化効果を有する仲間の一つである 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。半導体産業の短期的目標は、PFCの排出絶対量を2010年までに1995年の基本レベルから10%以上削減することである。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え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の使用が増加することは、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。それゆえ全体的な水の消費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、再生することは、水の使用量を減らすための1つの有望な解決策である。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低いばかりでなく、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(多くの場合、たったの10 - 70%の分解にすぎない)。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だろう。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。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。

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、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廃棄物、特に危険物の生成を最小限にしながら化学物質と装置の使用効率を最大限に上げることである。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)に対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、特に300と450mmのウェーハにおいて、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、イオン水/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。無水ガス（HF/HCl、およびその代替物質）の使用量の増加が見込まれているが、そのプロセスの危険性についても検討しなければならない。

より効率的な超純水の生産、水の消費量の削減、効率的なリンスのような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キシー (Epi) 膜を成長させたものである。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み、その結果として、化学物質やエネルギーの使用量が少なくなるので ESH の観点からは好ましい可能性がある。(300 と 450mm の) 大きなウェーハでは、ウェーハ当たりで見て、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同等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/N₂（フォーミングガス）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（SiH₄、B₂H₆、PH₃、SbH₃、

AsH₃ 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、3 つの分野が対象となる。すなわち、1) 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)、2) プロセス装置(スピナー、蒸着システム、シリレーション・オープン)、3) 露光装置(EUV、電子ビーム、X 線、イオン・ビーム)。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、スピン・オン(回転塗布法)やベーキング及びこれに引き続くエッチ、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。もう一つの重要な必要事項は、現像液、表面活性剤、反射防止膜 (Anti-reflective coating)、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。液浸リソグラフィ技術の開発に関しても、ESH で問題となりう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。

液浸リソグラフィ技術は、レンズとウェーハ間に注入する液体として、初期は水を使用するが、一回限りの使用のため、排水量が増えることになる。第 2 世代のシステムでは、水よりも屈折率の高い液体が使用され、このために効率的な再利用や廃棄方法に加えて、ESH 評価が必要となる。

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、CoO、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、全ての新しい化学物質の毒性、HAPs や VOCs の排出、起こりうる放射線、そして、または危険なエネルギーへの暴露、エネルギーの全体使用量、CoO 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。

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。

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。作業環境が作業者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 2006 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、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、ウェーハ製造の世代には関係はない。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。

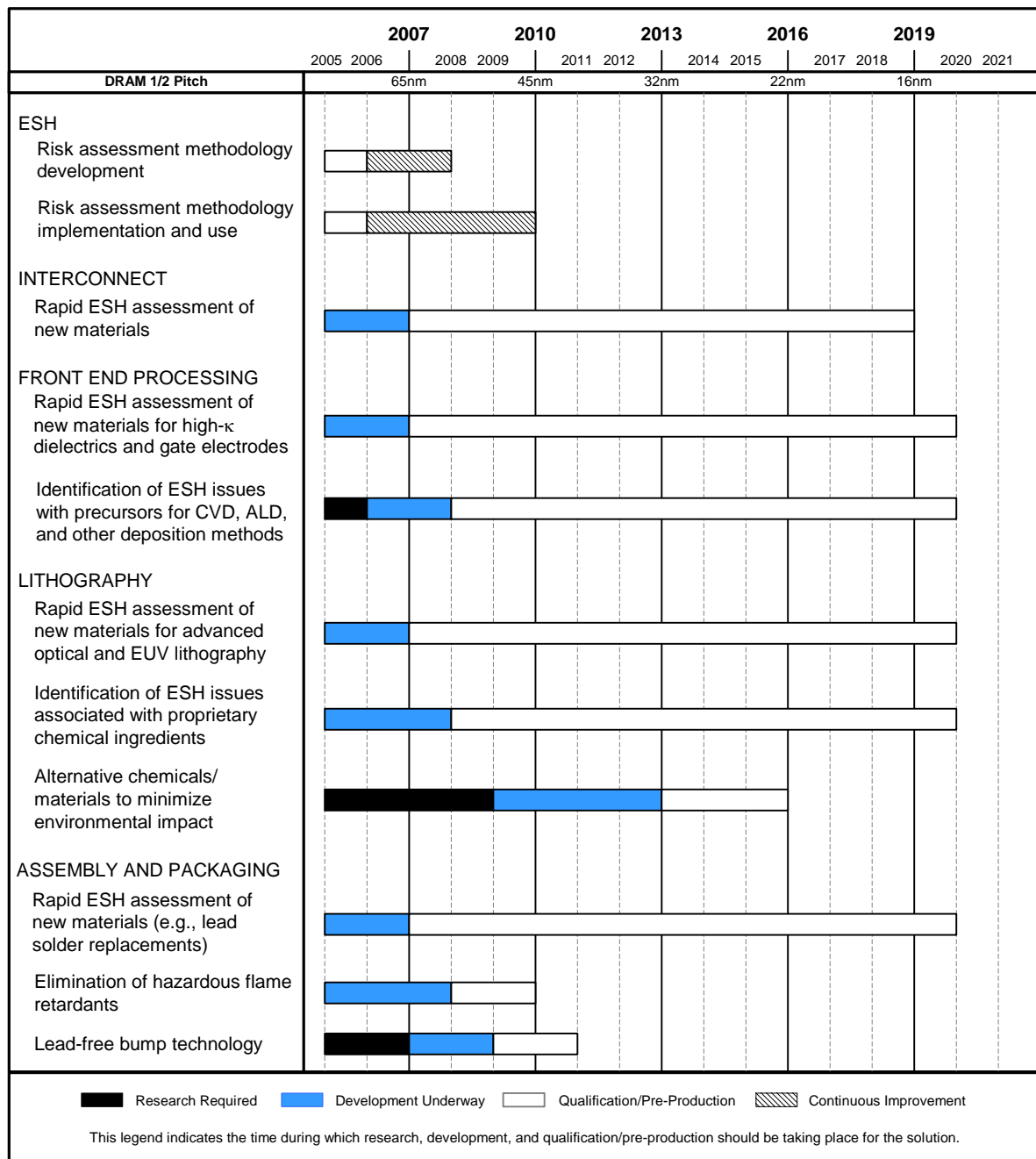


Figure 98 Potential Solutions for ESH: Chemicals and Materials Management

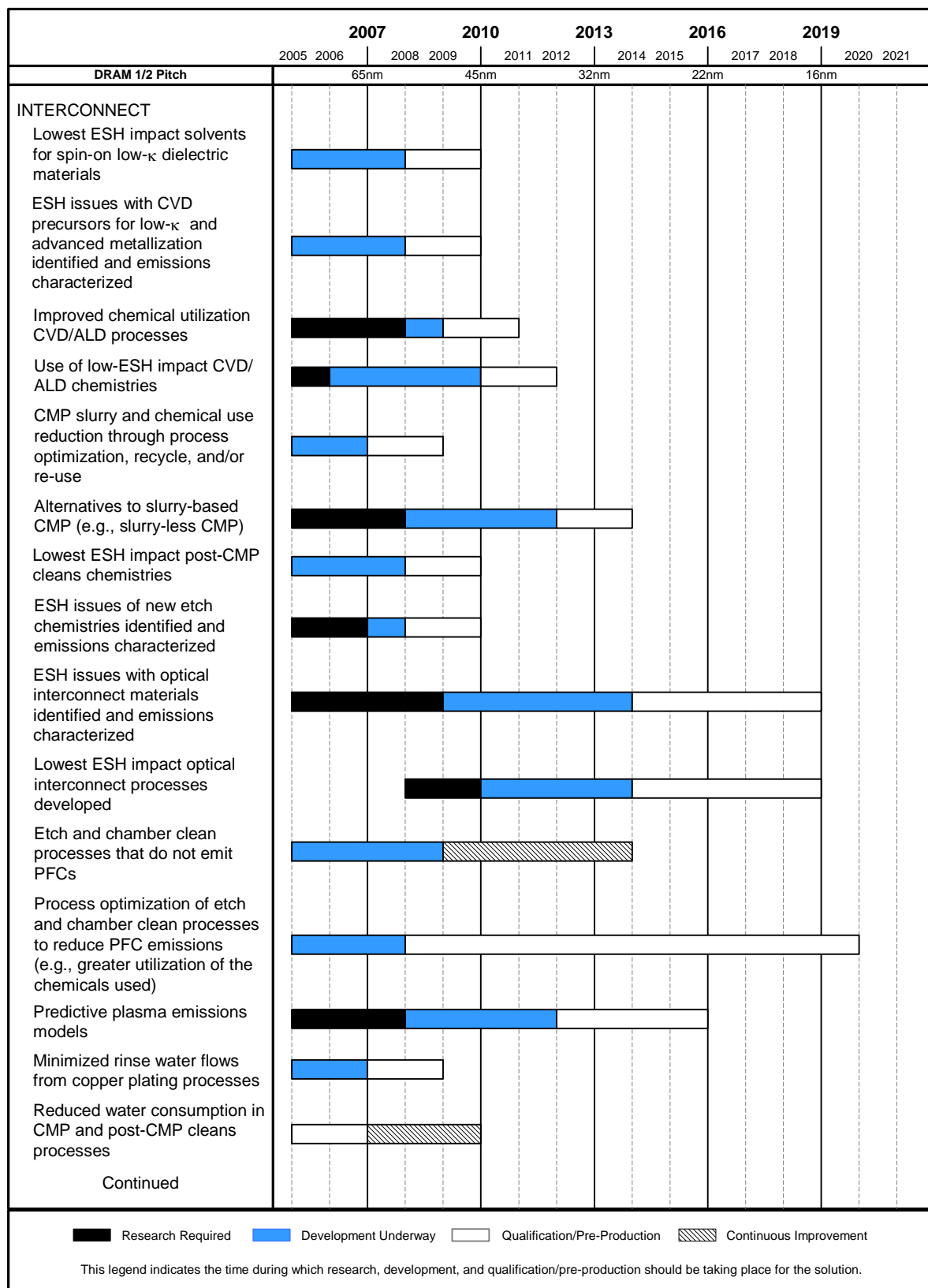


Figure 99 Potential Solutions for ESH: Process and Equipment Management

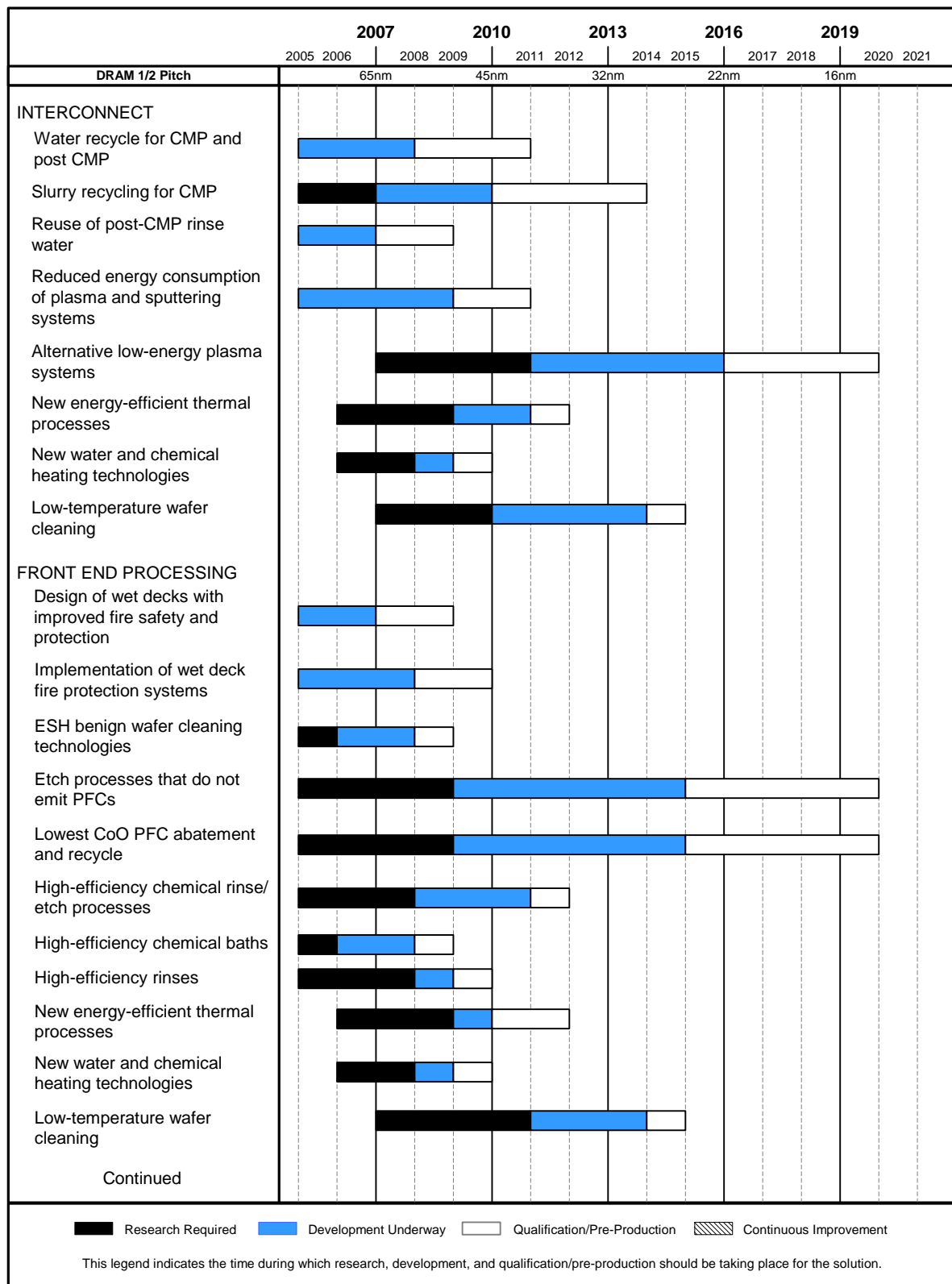


Figure 99 Potential Solutions for ESH: Process and Equipment Management (continued)

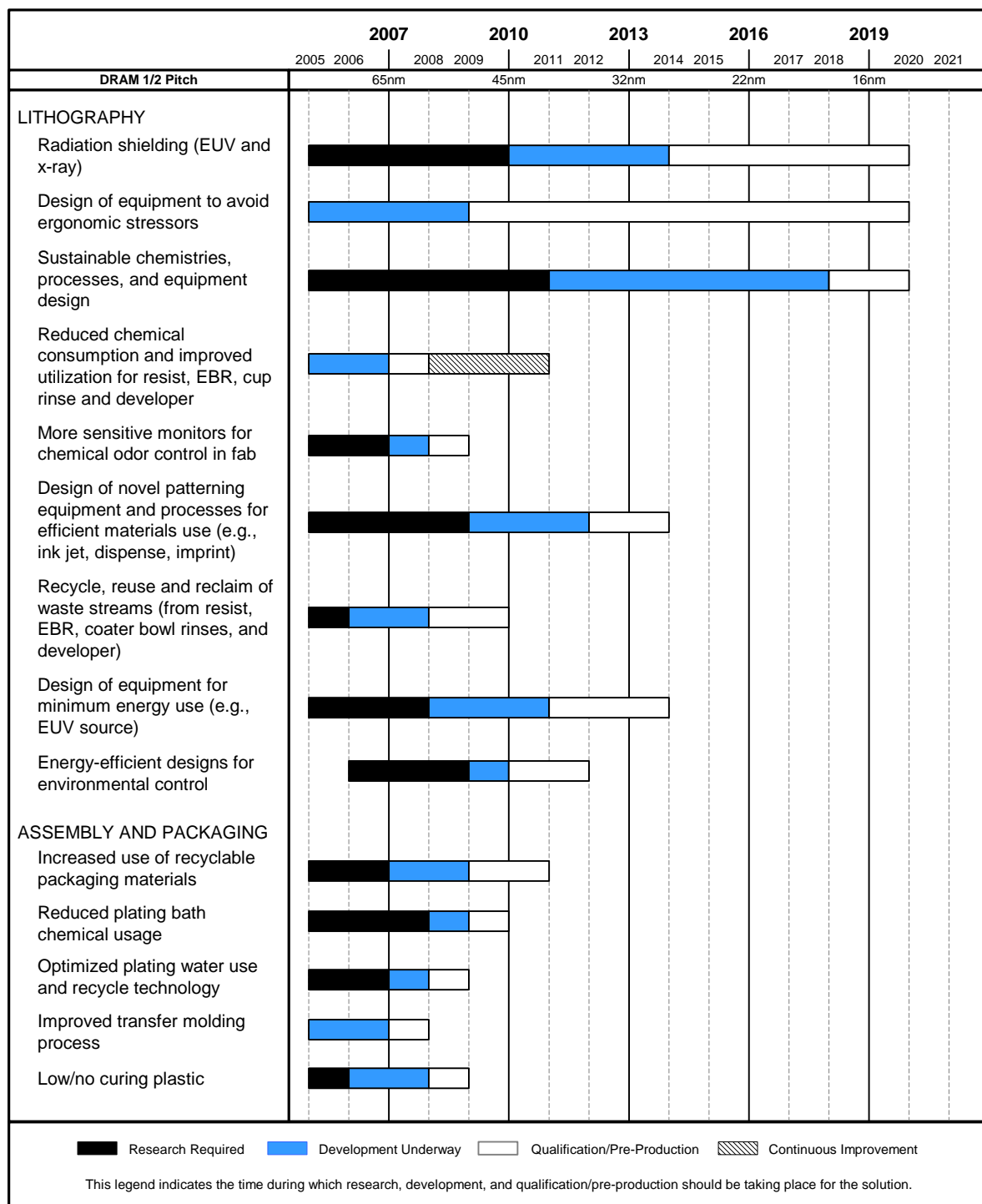


Figure 99 Potential Solutions for ESH: Process and Equipment Management (continued)

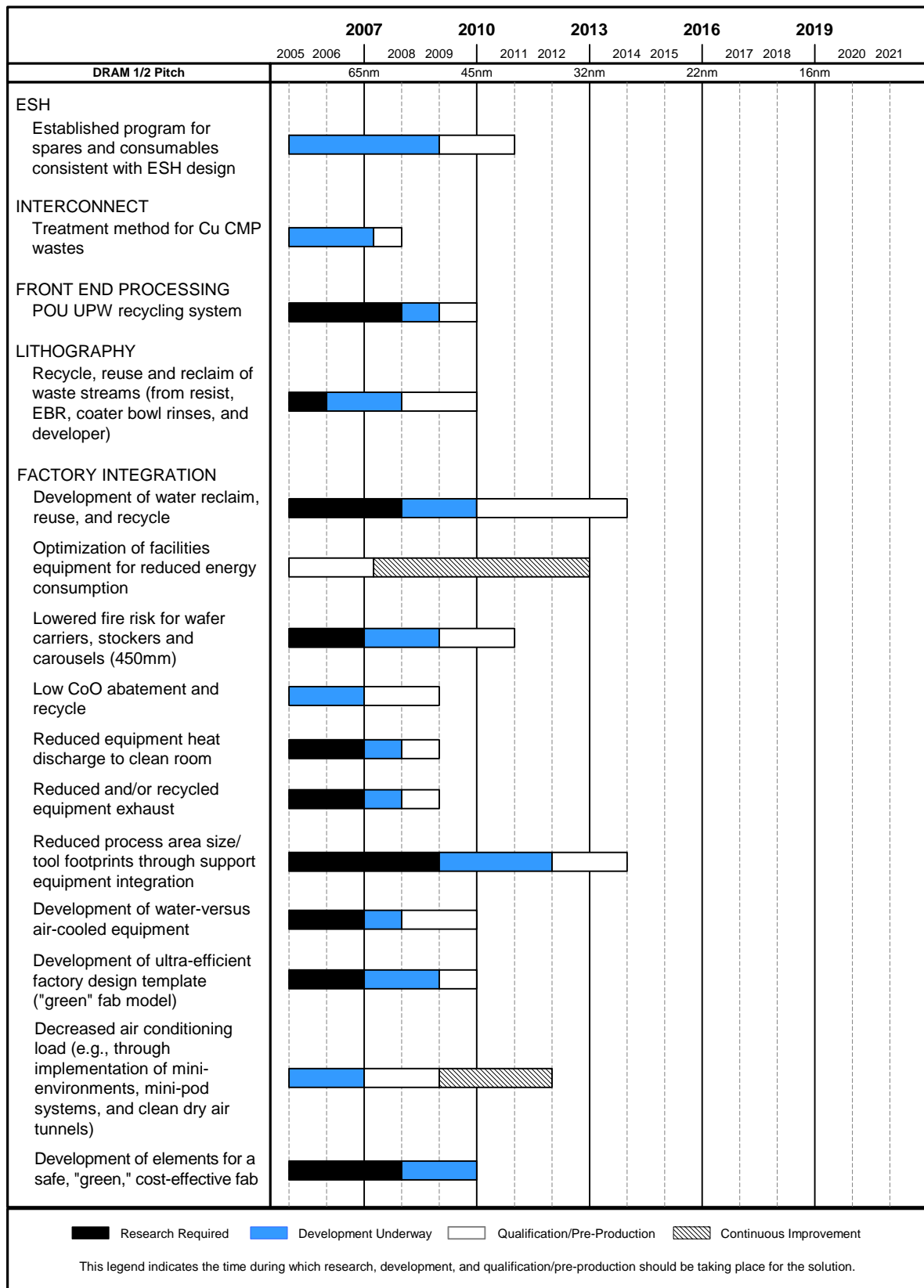


Figure 100 Potential Solutions for ESH: Facilities Energy and Water Optimization