

INTERNATIONAL
TECHNOLOGY ROADMAP
FOR
SEMICONDUCTORS

2007 年版

環境、安全と健康

THE ITRS IS DEVISED AND INTENDED FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT ONLY AND IS WITHOUT REGARD TO ANY COMMERCIAL CONSIDERATIONS
PERTAINING TO INDIVIDUAL PRODUCTS OR EQUIPMENT.

訳者まえがき

この文書は International Technology Roadmap for Semiconductors 2007 Edition(国際半導体技術ロードマップ 2007年版)の全訳である。

国際半導体技術ロードマップ(以下 ITRS と表記)は、米国、日本、欧州、韓国、台湾の世界5極の専門家によって編集・作成されている。日本では、半導体技術ロードマップ専門委員会 (STRJ) が電子情報技術産業協会 (JEITA) 内に組織され、日本国内で半導体技術ロードマップについての調査活動を行うとともに、ITRS の編集・作成に貢献している。STRJ 内には 14 のワーキンググループ (WG: Working Group)、2 つのタスクフォース(設計タスクフォースと故障解析タスクフォース)、経済性検討小委員会が組織され、半導体集積回路メーカー、半導体製造装置メーカー、材料メーカー、大学、独立行政法人、コンソーシアなどから専門家が集まり、それぞれの専門分野の調査活動を行っている。

ITRS は改版を重ねるごとにページ数が増え、2007年版は英文で約 1000 ページの文書となった。このような大部の文書を原文で読み通すことは専門家でも多大な労力を要するし、専門家であっても技術分野が少し異なると ITRS を理解することは必ずしも容易でない。STRJ の専門委員がその専門分野に応じて ITRS を訳出することで、ITRS をより親しみやすいものにすることができるのではないかと考えている。

なお、ITRS 2005 年版(英語の原書)までは、ウェブ公開とともに、印刷された本としても出版していたが、2007年版以降、は印刷コストが大きくなってきたこと、ウェブ上で無料公開されている文書の出版版を本の形で有償頒布しても需要に限られることなどのため、印刷物の形での出版を断念し、ウェブ公開のみとなった。ITRS の読者の皆様にはご不便をおかけするが、ご理解願いたい。

訳文の作成は、STRJ 委員が分担してこれにあたり、JEITA の STRJ 担当事務局が全体の取りまとめを行った。訳語については、できる限り統一するように努めたが、なお、統一が取れていないところもある。また、訳者によって、文体が異なるところもある。ITRS の原文自体も多くは専門家による分担執筆であり、そもそも原文の文体も一定していないことも、ご理解いただきたい。誤訳、誤字脱字などが無いよう、細心の注意をしているが、短期間のうちに訳文を作成しているため、なお間違いが含まれていると思う。また、翻訳の過程で原文のニュアンスが変化してしまうこともある。訳文についてお気づきの点や、ITRS についてのご批判、ご意見などを事務局まで連絡いただければありがたい。

今回の訳出にあたっては、ITRS の本文の部分のみとし、ITRS 内の図や表の内部の英文は訳さないでそのまま掲載することとした。Executive Summary の冒頭の謝辞(Acknowledgments)に、ITRS の編集にかかわった方々の氏名が書かれているが、ここも訳出せず、原文のままの表記とした。原文中の略語については、できるかぎり、初出の際に、「ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)」のように () 内に原義を示すようにした。英文の略号をそのまま使わないで技術用語を訳出する際、原語を引用したほうが適切と考えられる場合には、「国際半導体技術ロードマップ (ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors、以下 ITRS と表記)」「国際半導体技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductors)」のように和訳の後に () 内に原語やそれに対応する略語を表示した。本書の巻末に用語集 (Glossary) も参照されたい。原文の括弧 () があってそれを訳するために括弧を使った場合もあるが、前後の文脈の関係で判別できると思う。また訳注は「【訳者注:この部分は訳者の注釈であることを示す】」のように【】内に表記した。また [] 内の部分は、訳者が原文にない言葉をおぎなった部分であることを示している。訳文は厳密な逐語訳ではなく、日本語として読んで意味が通りやすいように意識している。ITRS のウェブ版ではハイパーリンクが埋め込まれているが、今回の日本語版ではハイパーリンクは原則として削除した。読者の皆様には不便をおかけするが、ご理解いただければ幸いである。

今回の日本語訳全体の編集は全体のページ数が膨大であるため、大変な作業となってしまいました。編集作業を担当いただいた、JEITA 内 STRJ 事務局の古川昇さん、恩田豊さん、近藤美智さん、明石理香さんに大変お世話になりました。厚くお礼申し上げます。

より多くの方に ITRS をご活用いただきたいの思いから、今回の翻訳作業を進めました。今後とも ITRS と

STRJ へのご理解とご支援をよろしくお願ひ申し上げます。

2008年5月
訳者一同を代表して
電子情報技術産業協会(JEITA)半導体部会 半導体技術ロードマップ専門委員会(STRJ) 委員長
石内 秀美 (株式会社 東芝)

版權について

ORIGINAL (ENGLISH VERSION) COPYRIGHT © 2007 SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION

All rights reserved

IIRS • 2706 Montopolis Drive • Austin, Texas 78741 • 512.356.7687 • <http://public.iirs.net>

Japanese translation by the JEITA, Japan Electronics and Information Technology Industries Association under the license of the
Semiconductor Industry Association

—引用する場合の注意—

原文(英語版)から引用する場合： 2007IIRS page XX, Figure(Table) YY

この和訳から引用する場合： 2007IIRS JEITA 和訳 XX 頁図(表)YY

と明記してください。

問合せ先：

社団法人 電子情報技術産業協会

半導体技術ロードマップ専門委員会 事務局

Tel: 03-5275-7258 mailto: roadmap@jeita.or.jp

TABLE OF CONTENTS

環境、安全と健康.....		1
スコープ	1	
背景.....		1
期待.....		1
困難な技術課題 (Difficult Challenges)	1	
ESH内因的要求事項	5	
ESH技術要求の技術的要点	5	
配線.....		5
フロントエンド・プロセス.....		6
リソグラフィ.....		7
アセンブリとパッケージ.....		8
新探求材料.....		8
ファシリティ.....		9
持続可能性と生産に関する安全管理.....		10
解決策候補	22	

LIST OF FIGURES

Figure ESH1	Potential Solutions for ESH: Chemicals and Materials Management.....	23
Figure ESH2	Potential Solutions for ESH: Processes and Equipment Management.....	25
Figure ESH3	Potential Solutions for ESH: Facilities.....	27

LIST OF TABLES

Table ESH1a	ESH Difficult Challenges—Near-term.....	3
Table ESH1b	ESH Difficult Challenges—Long-term.....	4
Table ESH2a	ESH Intrinsic Requirements—Near-term Years.....	12
Table ESH2b	ESH Intrinsic Requirements—Long-term Years.....	13
Table ESH3a	Chemicals and Materials Management Technology Requirements—Near-term	
Years		14
Table ESH3b	Chemicals and Materials Management Technology	
Requirements—Long-term Years		16
Table ESH4a	Process and Equipment Management Technology	
Requirements—Near-term Years		17
Table ESH4b	Process and Equipment Management Technology	
Requirements—Long-term Years		19
Table ESH5a	Facilities Energy and Water Optimization Technology	
Requirements—Near-term Years		20

Table ESH5b	Facilities Energy and Water Optimization Technology
Requirements—Long-term Years	21
Table ESH6	Sustainability and Product Stewardship Technology Requirements22

環境、安全と健康

スコープ

背景

半導体業界は、ESH(Environment, safety and health)において責任ある行動を取る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。ロードマップにおいて具体化された 4 つの基本的 ESH 戦略としては、

1. 発展局面においてそのプロセスや材料を理解すること(特徴づけること)
2. 危険性の無い若しくは副生成物に危険性の無い材料を使うこと
3. 原材料や資源の消費の少ない製品及びシステム(装置と原動エネルギー)を設計すること
4. 従業員のための工場安全の確保

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、Table ESH1-6 に示した通りである。さらに、このロードマップは Figure ESH1-6 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。

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。

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、それらの技術課題は、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。ESH の困難な技術課題は以下の高次元の分野を包含している。即ち、「化学物質及び材料の管理」、「プロセスと設備の管理」、「原動エネルギーへの要求」、及び「持続性と製品の管理」である。これらの分野は技術的な要求と有機的に結びつけられている。

「化学物質及び材料の管理」の分野では、化学物質と材料に着目しており、設備の設計技術者や設備のユーザのために、

2 環境、安全と健康

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。

これは、本質的に ESH 影響を最小限に抑える化学物質や材料の選択を薦めている。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)を参照のこと。

「プロセス及び装置の管理」は、道具やプロセス設計に着目しており、人の健康・安全そして環境への影響を減らしながら技術的要求に適合したプロセスや装置の進展させることの必要性を強調している。化学物質への暴露、個々の保護具(PPE)や人間工学は装置の設計上の重要な配慮事項である。その他の重要項目は、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による資源管理(水、エネルギー及び化学物質)である。有害な化学物質のより安全な物資への置き換え、工程からの排出及び副生成物の管理、消費材料の削減も又、装置設計や操作上における重要な配慮事項である。保守の容易性や設備の寿命は付加的挑戦項目である。

「原動エネルギー技術」は、工場の支援システム、環境にやさしい設計、工場および支援システムの操作性に着目している。効率的クリーンルーム設計、空調管理、廃熱及び世代に応じた言動エネルギー技術を通じて、資源管理(水、エネルギー及び化学物質)が求められている。別の考慮すべき事項は、工場規模や建設コストの増加に起因する工場再開発の設計がある。

「持続性及び製品の管理」は、ビジネス上の配慮事項として重要になりつつある。これらの挑戦を効率良くタイムリーに課題に対応するため持続的な訴求が必要である。加えて、マネジメントの意思決定と同様に、Design for Environment, Safety and Health (DFESH)は、原動エネルギー、装置および製品設計に必須事項となってきている。言動エネルギー、工場設備そして製品が肝要に優しい廃棄あるいは又再利用が広く求められている。

Table ESH1a ESH Difficult Challenges—Near-term

22nm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かつ人も人間の健康や安全、環境を損ねることなく、製造で利用されるナノ材料の様な新しい化学物質を製造で使用する事を保証する迅速なアセスメント方法の評価及び質の改善 地域間における化学物質に関する規制の差異(地域的なR&Dの動向、試作段階、完全な商品化段階化なのか) 暴露制限の下限値とモニタリングの動向</p>
	<p>化学物質データの有効性 特にナノ材料のような材料の将来的な制限や禁止の対する予期/予測の困難性 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、どんな工程副生成物が作られるかという情報の欠如 どのように化学物質が使用され工程でどのような副産物が生成されるかに関する情報を得るための方法</p>
工程と製造装置の管理	<p>工程使用化学物質の最適化 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い、人の健康と安全、そして環境への影響も低減する製造装置とプロセス開発の必要性</p>
	<p>環境管理 一連の廃棄物の中で部材毎に分離する能力 工程で排出する物質の ESH 特性もしくは製造時の副生成物の適切な緩和策に関する理解の必要性 製造装置の再利用と廃棄、そして製造工程からの有害、非有害残渣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>地球温暖化物質の排出量削減 工程から排出される地球温暖化(GWP)物質の排出量削減の必要性</p>
	<p>水とエネルギーの節約 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 副生成物の特定とその測定方法の開発</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>メンテナンスに対応した設計 通常の作業において供給される部品と消耗品に対して容易にまた安全に操作出来る装置設計の必要性 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化する必要性</p>
	<p>設備寿命 設備の再利用と処分に関連する問題を扱うために有効なマネジメントシステムを開発する必要性</p>
	<p>節約 エネルギー、水、および他のユーティリティの使用を抑える必要性 クリーンルームとファンリテイシステムの、より効率的な熱管理の必要性</p>
ファンリテイ技術の要求事項	<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 トータルCO2として排出量を削減する必要性</p>
	<p>持続性の定量化 技術の進化の持続性を定義、評価する要素を特定する必要性</p>
持続性と製品の管理	<p>ESHに配慮した設計 新しい製造装置、工程、及び製品を開発する場合に設計段階において ESH をパラメータにする必要性</p>
	<p>製品寿命での処理と再利用 ファンリテイ、装置、製材が耐用年数となった場合、容易に処理と再利用が可能で設計をする必要性</p>

Table ESH1b ESH Difficult Challenges—Long-term

2nm以降の困難な課題	要点
化学物質と材料の管理	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かかも人間の健康や安全、環境を損ねることなく、製造に利用されるナノ材料の様な新しい化学物質を製造に使用し得ることを保証する迅速なアセスメント方法の評価及び質の改善
	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、地域的要素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
	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、どんな工程副生成物が作られるかという情報の欠如
	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素にも適い、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 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
工程と製造装置の管理	環境管理 工程で排出する物質の ESH 特性もしくは製造時の副生成物の適切な緩和策に関する理解の必要性 製造装置の再利用と廃棄、そして製造工程からの有害、非有害残留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
	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
	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拡大
	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
	メンテナンスに対応した設計 一人作業で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 通常の作業において供給される部品と消耗品に対して容易にまた安全に操作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
	寿命を迎えた製造装置 使用済み製造装置の再利用、処理に関連した問題に対応した効果的な管理システムの必要性
	節約 エネルギーと水使用量その他の用力(動力)を減らす必要性 クリーンルームとファシリテイシステムのより効率的な熱管理の必要性
ファシリテイ技術の要求事項	地球温暖化物質の放出抑制 エネルギー効率の良いファシリテイ支援装置と製造設備の設計の必要性 高GWP化学物質の使用による、プロセスからの排出削減の必要性
	持続性の定量化 技術世代の持続性の定義と測定するための要素を特定する必要性 工場の構造基盤の水準においてその持続性を定義しそれを測定する要素を同定する必要性
	工場インフラストラクチャ基盤水準においての ESH に配慮した設計を行うため持続性の定義とそれを測定するための要素を特定する必要性 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
	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 耐用年数が切れた装置の処理と再利用 耐用年数が切れた場合の処理と再利用が容易なファシリテイ、製造装置及び製品を設計する必要性
持続性製品の管理	

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 要件を代表する。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。多くの新材料は評価されており、使用量は IC の性能要求を満足する新技術の導入とともに増加するであろう。過去において同一の材料が4から5世代使用されたが、最近では各世代毎に一つ以上の材料が要求されている。

ESH アセスメントはこれらの新材料を導入する重要な要素である。各プロセスにおける基本的な化学的反応は ESH の影響が最小になるプロセスが開発することができる様に理解されなければならない。従って、プロセス解析は健康や環境に重大な影響を与える排出および副産物の特徴を含まなければならないことが明記されなければならない。加えて、リスクアセスメントは禁止化学物質やいくつかの規制を確認した科学物質規制テーブル (Chemical Restrictions Table) に対する科学材料の確認を行うべきである。ESH 影響アセスメントは材料バランスを考慮すべきであり、また化学材料が環境に侵入する経路とは独立に扱われるべきである。TableESH2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。これはファシリティシステムの化学物質消費や廃棄物およびPFC放出の削減だけでなく、化学物質の危険性のアセスメントや装置や設備のエネルギーや水の消費削減の目標についてまとめている。加えてこのテーブルは製品の管理やサステナビリティの要求にも触れている。ESH 解決策候補は、主要環境性能指標 (KEPIs) の開発や、ナノおよび生体材料リスクアセスメント方法論の開発、そしてすばやい毒性試験のためのバイオチップの開発を含んでいる。

ESH 技術要求の技術的要点

各技術要求(内部配線、前工程、露光、組立、新材料など)についての具体的な ESH 技術要求は、Table ESH3とESH4に見ることができ、これは4つのESHの困難な挑戦の見出しと化学物質と装置管理の二つとそれぞれ一致している。Table ESH3は化学物質と装置の選択と管理についてであり、Table ESH4はプロセスと装置の設計についてである。ESH 要求はESHの困難な挑戦に対する技術要点的要求のマッピングに元付いて作られたものである。多くの場合、目標は化学物質の使用効率と放出の基準を確立することであり、これは化学物質の利用効率の向上、結果として放出の削減を達成することであり、ESH に優しい化学物質あるいはプロセスの選択と同一である。

労働者保護対策は物理的危険性候補(熱、非イオン化放射、レーザー、ロボットの危険性 等)と同時に特に装置の保守における化学物質の危険性について注目すべきである。先進技術によりプロセス装置の寸法と複雑さが増加する中で、安全で人間工学を考慮した保守のための装置の設計はより挑戦的になる。しかし、安全な工場という業界の評判と仕事関連の怪我の低い発生率を維持する中で、装置設計時にはの挑戦に注意が払われなければならない。

ウエハーサイズとスループットの増加は、ウエハ搬送システムの操作と保守における労働者の危険を増大する可能性がある。自動ウエハー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はこれらの変化に対応しなければならない。特定の技術的要求と技術条件と解決策候補を以下に示す。

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、業界では先端的な成膜の分野において、すなわち低誘電率、低圧力平坦化(CMP)、表面清浄化、3次元配線とカーボンナノチューブ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(健康や安全に関する影響、反応生成物の放出と副生成物、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、この様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。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。

温室効果ガス排出は気候変動に関連している。PFCs(地球温暖化にたいして大きな影響がある化学材料)が、内部連絡ドライエッチングとチャンバークリーニングアプリケーションで広範囲に使われている。多量の PFC 放射物の可能性として、シリコンを貫通する 3 次元配線において硫黄六フッ化物のような PFCs が使われている。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。近年、チャンバークリーニングには高い地球温暖化可能性副産物を発しないプロセスが開発された。この概念は、エッチング時のフッ化熱伝達流体における地球温暖化の影響などにも適応されねばならぬこれらの材料の放出を最小にされなければならない。

配線工程における平坦化プロセスの適応が増えているために、これらの化学物質と水の使用が増加してきている。したがって、平坦化プロセス開発において全体的な水の消費を減らさなければならない。平坦化とポスト平坦化における水のリサイクルと再生によって、水使用を削減する潜在的対策である。

省エネルギーについては、CMP 装置と同様にプラズマ CVD とエッチングの電力を最小にしなければならない。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。

配線工程における潜在的対策は以下である。付加的な処理、低い ESH 影響の CMP プロセス(例えばスラリーリサイクルまたはスラリーの無い CMP)、PFC 放出の無いシリコン貫通エッチング、POU によるチャンバークリーニングガスのリサイクル、低価格・高効率のプラズマエッチング除害、低温ウエハー洗浄、CVD と ALD チャンバの容積削減。

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、電極、記憶素子のための新素材、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管理、および化学物質の使用量と廃棄物の生成を抑制するためのプロセス最適化である。65 nm およびそれ以降の技術のために使用される新材料は、ESH の観点からの十分なチェックが必要である。

化学物質を管理するための最も重要な戦略は、環境に対して最も影響の少ない化学物質を選択していくことである。

表面処理における ESH の課題は、新洗浄技術、化学物質の使用、水およびエネルギーの消費量である。表面処理技術は新材料に対応するための革新が続いている。化学物質や水の使用量削減のためには表面および界面科学に関する理解が改善されていかなければならない。

従来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(たとえば希薄溶液化学、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)は化学物質の危険性、使用量削減のために迫られていかなければならない。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。

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)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。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。溶剤洗浄法の代替洗浄法を開発する必要がある。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。

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。450mm の大きなウェーハでは、その大きさゆえにより多くの化学物質、エネルギー、水が必要になるが、業界の努力によってウェーハ面積当たり (per cm²) で見て、その使用量を少なくすることが重要である。

高誘電率電極材料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及びエッチングプロセスの両方に関して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。

様々な有機配位化合物が高誘電率電極材料の前駆体として提案されている。これらの材料はその副生成物と同様毒性あるいは可燃性の危険性があるゆえ、その排出過程、その副生成物を明確にしておくことが重要である。ドーピングの代替技術の物理的、化学的な危険性を検討し、その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。代替アニーリング技術として強力なレーザーや放電技術を使う手もある。

引き続きチャンバークリーニングやプラズマエッチに 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。

フロントエンドプロセスで ESH に配慮するために希釈溶液を使ったり何回も使ったりする表面処理、付加プロセス、PFC 排出レスエッチ、低温ウェーハークリーニング、高効率リンス、エネルギー効率の高い熱プロセスなどを追求していくべきである。

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(193nm の i 線、EUV、インプリント、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、変更を行う前にならざるを得ない検討が必要がある。電磁波はさまざまな波長に依存した特性を示す。パターン形成に使われる波長がX線領域にまで到達すると健康にどう影響する可能性があるかをしっかりと見定めなければならない。

リソグラフィおよびマスク製造用の化学物質はその物質そのものと排出に関するESH評価が必要である。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、有害大気汚染物質(HAPs)、揮発性有機化合物(VOCs)及び難分解生物蓄積性毒性物質(PBT)があるかないか、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排出に関するものが含まれる。もう一つの重要な必要事項は、現像液、エッチャント、反射防止膜(Anti-reflective coating)、及び化学増幅型レジストに含まれるPAG(Photo Acid Generator)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。第2世代のシステムでは、有機液体が使用され、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。第3世代の液体には高屈折率のナノマテリアルと他の無機物を加えた水が再び使用されこれもまたESH評価が必要となる。

リソグラフィプロセス装置として要求される技術的事項には人間工学的デザイン、毒性物質への作業員への影響の解明とそれを最小限にすること、HAPs,VOCs,PBTsの排出管理、危険廃棄物の最小化、有効資源使用の減少、コスト意識などが挙げられる。加えてプラズマエッチ、アッシングの排出、副産物の解明、管理も必要である。

露光装置として必要な技術的事項には新規化学物質(たとえば液浸材料)の毒性理解、放射能、有害エネルギーへの暴露の可能性と最小化、使用エネルギーの最小化、コスト意識がある。

リソグラフィの解決策候補技術としては新規使用物質のESHアセス、持続可能な化学物質の使用、PFAS、PFOAを含まない物質の開発、化学物質使用の改善、新装置、新プロセス開発時の汚染防止原則、DFESHの原則を守ることが挙げられる。

今のところEUVで使われるソース源のエネルギー効率はよくない。この改善に取り組まないとEUVステッパーはHVMファブの中では最もエネルギーを消費してしまうものひとつになってしまう。(ファブ全体の25%以上を占める。)エネルギー効率の良いソース源が求められる。装置の設計段階では放射能シールドを効率よく行い人間工学的ストレスを最小にしSEMIのS2, S8, S23のガイドライン¹に固執すべきである。長期的レンジでの解決策技術としては資源材料の有効使用のための追加プロセス、新パターンニング装置設計などが挙げられる。

アセンブリとパッケージ

チップスケールとフリップ・チップパッケージに向かう傾向は、従来のリードフレームとモールドのアプリケーションが不要となるから、アセンブリとパッケージ領域における、ESHパフォーマンスを向上させるかもしれない

潜在的に全体的なESHに与える影響を減少させている一方で、3Dパッケージは新しい化学的あるいはプロセス上の(例えば、ウエハースの薄くなること、接着、シリコンのヴィアホール)ESHに関連した懸念があります。

鉛や、六価クロムや、ベリリウムや、アンチモンや、臭素系難燃剤などの環境に有害なアセンブリとパッケージの材料で使うことは、増加する国際的な規定の圧力と制限にさらされています。エネルギー消費量を減らすのは資源保護観点と同様に地球温暖化のために重要です。

主要な環境成績指標の開発を含めた、アセンブリとパッケージの潜在的解決策は; 将来規制される可能性のある化学物質を使用しないことである; そして、no/low-curing plasticsプラスチックを採用する、3D接合のための開口に特性の良いレーザ持ちいる、ことや再生利用可能なパッケージ材料を使うことである。

新探求材料

半導体製造に使用される材料がナノサイズの領域になると、ESHにおける、新しい焦点は、これらの材料

¹ SEMI S2—*Environment, Health and Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment*

SEMI S8—*Safety Guidelines for Ergonomics Engineering of Semiconductor Equipment*

SEMI S23 - *Guide for Conservation of Energy, Utilities and Materials Used by Semiconductor Manufacturing Equipment*

しばしばナノサイズの材料が、その bulk の特性に比べて、ユニークで多様性のある特性を持つことは良く報告されています。これらの違いは、ESH 観点から理解しなければならず、ユニークな挑戦が必要となるかもしれない。

さらに、この小さいサイズの新しい材料により、伝統的な ESH をコントロール(放出制御装置などの)が最適な方法ではなくなるかもしれません。その結果、将来の技術開発では以下の ESH 上課題を考慮すべきである:

- 作業場所、廃棄物の流通経路、および外部環境における、nanomaterials を検出できる、有効なモニターツールを開発すること。
- 労働者の健康と安全を確保するための適切なプロトコルの評価、開発。
- nanomaterials を含む廃棄物経路で有効な処理を確実にを行うための汚染防止設備の評価開発。
- Bulk の特性と異なる可能性のある、新しい nanomaterials の毒性の理解。

nano- and biological materials の ESH リスクアセスメントの手順、開発と導入を含む emerging research materials の将来的な解決策は、Emerging Research Materials 章を参照してください。

ファシリティ

半導体産業が負うべき ESH のパフォーマンスは工場の計画、デザイン、建設から始まる。テーブル ESH5 に施設デザインとオペレーションのゴールを示す。工場の設計と工場、設備と労働者間のインタフェースはこの産業の ESH パフォーマンスに強く影響を及ぼす。

適用可能な安全・環境システム、手順、および方法論の標準化は、効率的で費用対効果に優れたアプローチになるだろう。

これらの実施項目を共有することにより、start-up schedules の削減ができ、その結果、装置をファシリティに接続する際に設備サプライヤのより大きい協力がえられる。

規則や法的な要求事項を満たした、安全・環境を考慮したデザインを早く理解することは、環境面の期待に応え、start-up schedules を削減し、コストの掛かる改良や変更無い工場を設計する人にとって不可欠である。300mm や 450mm のウエハ大口径化においては、より大きいプロセス装置とより大量の化学物質やリソースを必要とすることから特に重要である。

有害性除去、工業技術コントロール、経営コントロール、保護装置については、優先的にリスク管理の協定として承認される。

製造装置にアSEMBリ/テスト装置を加えた、より大きな標準化を行う良い機会でもある。装置の設計、設計検証、ESH 適格化、承認を行うことにより、ESH パフォーマンスや効率の良い start-up、コスト面で改善されるであろう。更に、装置保全、改良、廃棄、最終処分における ESH 実践の標準化は装置や工場の全ライフタイムを通して十分な成果をもたらすであろう。

ビルの安全システムとプロセス装置とのインタフェースの標準化は、インストールの効率を上げ早期立上げを可能とするだろう。この標準化は、火災検知器と鎮火システムのモニタリングインタフェースに限らず、ガス検知システム、電気的・化学的隔離装置、緊急遮断システムと安全アラームも含むものになるであろう。

さらに、プロセスとこのロードマップの他のセクションに対応するメンテナンス化学物質を厳選することにより作業者を装置オペレーションやメンテナンスから隔離することができるだろう。

将来の工場では、工場サポートシステムに関する安全問題積極的に改善しなければならない。リスクアセスメント方法を改善し設計段階で一貫して利用することにより取り組みは強化されるであろう。

自動化装置に関する潜在的な安全リスクを徹底的に理解して、人と製品の安全な労働環境を保証する基準は整備されてゆく。これらの基準とガイドラインは、自動システム、インタフェースで接続された装置、インタフェース自体と一体化される必要がある。更に、工場計画とレイアウトは、特に 450mm ウエハのハンドリングには、人間工学的設計基準を考慮しなければならない。

産業界に対して許諾や規制、排出制限が厳しくなっている。今後の工場計画や既存工場の改良計画は規制団体や政府機関省庁と連携しながら、装置や工場技術の進展を理解し新たな規制や修正を加え生かして行くべきである。これらのアクションはグローバルに行われなければならない。半導体業界は基本的な ESH 仕様を作り、世界の認識を得て全ての装置や工場にこれを適用すべく動き出すべきである。

工場設計は、プロセス装置に材料を供給し副産物を管理し作業場をコントロールするシステムを定義するものである。将来の工場は省資源、削減、管理のバランスをとらなければならない。これら保護と縮小プログラムは、限られた水とエネルギー資源の激化する争奪や汚染、限られた資源の消費によって動かされるものである。

装置と工場に対する ESH の標準化と設計改良は、産業のために産業によって確立されたトレーニングプログラムを通して大いに強化することができる。技術的には、このセクションで述べたあらゆる設計や手続き的課題に対応する computer-based training (CBT) プログラムの作成は可能である。

ウェハの大口径化や工程数の増加は水や化学物質の高純度化と同様に、ウェハ 1 枚当たりの資源(水、エネルギー、化学物質)使用量を増加させる。この潜在的傾向はプロセスや設備の高効率化や、使用済み化学物質や水のリサイクル、プロセス以外の用途での再利用を組み合わせることで逆転することができる。半導体設備の資源利用効率は大いに改善することができる。

半導体製造に使用される水の大部分は超純水(UPW)である。UPW の生産には大量の化学物質が必要なため、UPW の使用量増加、高品質化にはより多くの化学物質を消費する(生産コストも増加する)。UPW 消費量削減は環境影響と生産コストの両方を抑制するであろう。高品質水のリサイクルやプロセス以外の用途への低品質水の再利用が重要である。水の豊富などころでは、排水リサイクルは再利用形態とリサイクルコストで選択できるであろう。

エネルギー源の制限は潜在的に既存工場の拡張や新工場建設を制限する。半導体メーカーがエネルギー効率改善を実証してきた過去 10 年の間、潜在資源の制限は産業界にこの傾向を要求し続けた。もっとも大きな要求は効率改善であり、真空ポンプ、POU チラー、無停電パワーシステム、パワー変換装置(例えば RF ジェネレータや変圧器)に求められる。エネルギー効率化ツールへの要求に加えて、クリーンルームでの装置の熱負荷/影響を低減すること、ウェハ待機時に装置をアイドルモードとする機能を開発することが必要である。

限られた資源の使用量を抑え無駄を最小限にする責任が装置サプライヤーとプロセス技術者にある一方で、工場システムへの高度な資源マネジメントプログラムの適用は大きな影響を与えるであろう。これら未来プログラムのゴールは、資源消費を最小に、リユース、リサイクル、副生成物の再生を最大にし排出ゼロの工場を作り出すことである。ESH プログラム対応の主要工場は、プロセスやプロセス以外の用途での水の再利用、高効率エネルギー施設、改良された施設システム設計、及び新しい施設稼働戦略が要求される。

工場統合の将来的な解は半導体施設特有の LEED 活動²の実践と発展にある。それは、アイドルモード機能の工場システムへの導入や、UPWリサイクリング用の新種のリアルタイム、オンラインセンサの開発である。

持続可能性と生産に関する安全管理

表 ESH6 は、半導体製品設計とプロセス開発に関する全てのエリアに及んでおり、持続可能性と製品、プロセス、設備、及びファシリティーの環境面で健全なデザインの基準について概説している。気候変化は 21 世紀最大の地球環境の課題であり、半導体製造に使用される PFCs などの地球温暖化ガスの排出だけでなく、電力発生による二酸化炭素の排出を減少させる為に世界的な取り組みが必要である。カーボン・フットプリント(製品やプロセスの地球環境への影響を追跡する手段)は、製品のトータルのライフサイクルで排出される CO₂ と他の地球温暖化ガスの総量と定義されており、それを減少させる事が工業界の持続可能性に極めて重要である。従って、進歩を追跡する為にカーボン・フットプリントの評価指標を開発する必要がある。幸いにも、製品やシステムのカーボン・フットプリントを改良するためには半導体デバイスを使用することが不可欠である。

DFESH は、技術設計に ESH の改善を組み込み、広げていく事に用いられる用語である。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、確実に ESH に関連した問題を無くすることができる。DFESH は、製造装置と材料の開発、工場の設計、廃棄物と資源の管理、そしてそれらが 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。又、DFESH は、望ましい価格/機能、品質を維持したままで、製品の製造工程や製造方法において、ESH 面での改善を盛り込むことを可能にしてくれる。

最後に、耐用年数を経た時に容易に分解や再利用ができるよう、施設、設備、及び製品の設計に気を配らなければならない。

² LEED—Leadership in Energy and Environmental Efficient Design

持続可能性と製品管理の為の潜在的ソリューションとは、次の技術世代にわたって、製品、材料、プロセス、及びファシリティーの環境影響の改善を測定する為の KEPIs の開発も含まれている。

Table ESH2a ESH Intrinsic Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
I. Chemicals and Materials Management Technology Requirements									
Chemical risk assessments (environmental, health and safety) defined and completed	100%		100%		100%				
ESH risk assessment techniques for nano-materials and nano-particles	Develop assessment methodology.		Implement risk assessment methodology.						
II. Process and Equipment Technology Requirements									
Energy Consumption									
Total fab tools (kWh/cm ²) [2]	0.40-0.35		0.35-0.30		0.30-0.25				
Tool energy usage (% of 2005 baseline)	90		80		Functional Area Goals TBD				
Tool total equivalent energy* (% of 2007 baseline)	100	80	70		60				
Water Consumption (driven by sustainable growth and cost)									
Surface preparation UPW use (% of 2005 baseline)	90		80		75				
Tool UPW use (% of 2005 baseline)	90		80		75				
Chemical Consumption and Waste Reduction (driven by environmental stewardship and cost)									
Improvement in process chemical utilization (% of 2005 baseline)	90		80		75				
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				
Liquid and solid waste reduction (% of 2007 baseline)	100	90	80		75				
Worker and Workplace Protection									
Safety screening methodologies for new technologies (e.g., 450mm, EUV lithography, ERM)	Develop methodologies.		Implement methodologies.						
III. Facilities Technology Requirements									
Energy Consumption									
Total fab energy usage (kWh/cm ²)	1.5-1.3		1.3-1.1		1.1-1.0				
Total fab support systems energy usage (kWh/cm ²) [2]	0.8-0.6		0.6-0.5		0.5-0.4				
Reduce total fab energy usage (% of 2007 baseline)	100	90	80		70				
Water Consumption									
Net feed water use (liters/cm ²) [2]	15	15-12	12-10		10-8				
Fab UPW use (liters/cm ²) [2]	8	8-7	7-6		6-4				
Chemical Consumption and Waste Reduction									
Reduce hazardous liquid waste by recycle/reuse*** (% of 2007 baseline)	100	90	80		75				
Reduce solid waste by recycle/reuse*** (% of 2007 baseline)	100	90	80		75				
IV. Sustainability and Product Stewardship Requirements									
Define environmental footprint metrics for process, equipment, facilities, and products; reduce from baseline year.	Define metrics and baseline.		90% of baseline		80% of baseline				
Integrate ESH priorities into the design process for new processes, equipment, facilities, and products.	Define metrics and baseline.								
Facilitate end-of-life disposal/reclaim	Define metrics and baseline.								

Table ESH2b ESH Intrinsic Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<i>I. Chemicals and Materials Management Technology Requirements</i>							
Chemical risk assessments (environmental, health and safety) defined and completed	100%						
<i>II. Process and Equipment Technology Requirements</i>							
<i>Energy Consumption</i>							
Total fab tools (kWh/cm ²) [2]	0.25						
Tool energy usage (kWh per wafer pass)	Functional Area Goals TBD						
Tool total equivalent energy* (% of baseline)	50						
<i>Water Consumption (driven by sustainable growth and cost)</i>							
Surface preparation UPW use (liters per wafer pass)	50						
Tool UPW usage (% of 2005 baseline)	50						
<i>Chemical Consumption and Waste Reduction (driven by environmental stewardship and cost)</i>							
Improvement in process chemical utilization (% of 2005 baseline)	50						
Reduce PFC emission	Maintain 10% absolute reduction from 1995 baseline						
Reduce liquid and solid waste (% of 2007 baseline)	50						
<i>III. Facilities Technology Requirements</i>							
<i>Energy Consumption</i>							
Total fab energy usage (kWh/cm ²)	1.0-0.75						
Total fab support systems energy usage (kWh/cm ²) [2]	0.4-0.25						
Reduce total fab energy usage (% of 2007 baseline)	50						
<i>Water Consumption</i>							
Net feed water use (liters/cm ²) [2]	8-6						
Fab UPW use (liters/cm ²) [2]	4-3						
<i>Chemical Consumption and Waste Reduction</i>							
Reduce hazardous liquid waste by recycle/reuse** (% of 2007 baseline)	50						
Reduce solid waste by recycle/reuse** (% of 2007 baseline)	50						
<i>IV. Sustainability and Product Stewardship Requirements</i>							
Define environmental footprint metrics for process, equipment, facilities, and products, reduce from baseline year.	50% of baseline						

Notes for Table ESH2a and b:

[1] CPIF = Chemical Properties Information Form

[2] cm² per wafer out

* as defined by SEMI guideline S23

**Recycle = Re-use after treatment

***Reuse = Use in secondary application (without treatment)

***Reclaim = Extracting a useful component from waste

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

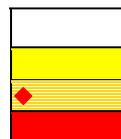


Table ESH3a Chemicals and Materials Management Technology Requirements—Near-term Years

The Environment, Safety, and Health の新化学物質検定ツール (化学物質制限リスト) はオンラインでリンクされている

生産年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
リソグラフィ									
193nm 液浸レジスト	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	
193nm 液浸材料	材料の ESH リスク・アセスメントの実施		化学物質使用効率を 10%に維持又は改善	化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	
EUV レジスト	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	
インプリント技術	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			材料の ESH リスク・アセスメントの実施		材料の ESH リスク・アセスメントの実施		化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	
PFOS/PFAS** 化学物質	PFOS/PFAS 代替品調査・実行						リソグラフィに必要な Non-PFAS 材の開発		
マスク作成・洗浄	排出の明確化、基準設定		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	ESH 影響を改善できる代替物質 / ESH 影響の少ない化学物質 / 化学物質使用効率*10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替(PFOS フリー) / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	
組立&梱包									
チップ薄体化	排出物の明確化、基準設定		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	ESH 影響を改善できる代替物質 / ESH 影響の少ない化学物質 / 化学物質使用効率*10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	
組立・梱包廃棄物	排出物の明確化、基準設定		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	ESH 影響を改善できる代替物質 / ESH 影響の少ない化学物質 / 化学物質使用効率*10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化		ESH 影響を改善できる代替物質 / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善; 工程副生成物の最小化	
PFC を用いたシリコン貫通ヒアス (例 3D)	排出物の明確化、基準設定		ESH リスクの増加を伴わない地球温暖化影響の削減 (GWP 排出の低減; エッチング液の代替; 使用効率*の改善) / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	ESH リスクの増加を伴わない地球温暖化影響の削減 (GWP 排出の低減; エッチング液の代替; 使用効率*の改善) / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		ESH リスクの増加を伴わない地球温暖化影響の削減 (GWP 排出の低減; エッチング液の代替; 使用効率*の改善) / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善		ESH リスクの増加を伴わない地球温暖化影響の削減 (GWP 排出の低減; エッチング液の代替; 使用効率*の改善) / 化学物質使用効率*を 10%に維持又は改善	
新研究材料									
ナノ材料	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			材料の ESH リスク・アセスメントの実施					
生物物質とその廃棄物	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			材料の ESH リスク・アセスメントの実施					
新規ロジックとメモリー用の材料	材料の ESH リスク・アセスメントの実施			材料の ESH リスク・アセスメントの実施					

*使用効率 = [(供給量 - 排出量) / 供給量] × 100%

**PFOS = パーフルオロオクタンスルホン酸, PFAS = パーフルオロアルキルスルホン酸

製造可能な解決策があり最適化されている

製造可能な解決策が知られている

暫定の解決策が知られている

製造可能な解決策が未知である

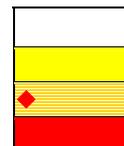


Table ESH3b Chemicals and Materials Management Technology Requirements—Long-term Years

*The Environment, Safety, and Health new chemical screening tool (Chemical Restrictions Table) is linked online

生産年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
酸線							
Low-k 材料—spin-on and CVD	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程からの副生成物の最小化						
銅配線材料(従来及び代替技術)	銅の 100%再生/リサイクル						
Advanced metallization including barrier and nucleation deposition	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程からの排出物及び副生成物の最小化						
平坦化技術	消費量の年 2%削減						
プラズマエッチ	ESH の負荷を改善する代替物質,ESH の負荷が低い化学物質,化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程からの副生成物の最小化						
CVDチャンバー洗浄(プラズマ)	ESH の負荷を改善する代替物質,ESH の負荷が低い化学物質,化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程からの副生成物の最小化						
	ESH のリスクを増加させない地球温暖化への影響削減(より低い地球温暖化物質の排出; 利用率*の改善)						
表面処理	ESH の負荷を改善する代替物質; 年 2% の化学物質削減; リサイクル/再生						
PFC類を用いた基板貫通ビアエッチング(例3D)	ESH リスクを増加させない地球温暖化への影響削減 (より低い地球温暖化係数の排出; 代替エッチング物質と利用率*の改善), 化学物質利用率*の維持又は 10%改善						
前工程プロセス							
High-k 及び金属電極材料	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
ドーピング(イオン注入及び拡散)	低ハザード物質						
従来の表面処理(剥離 洗浄, リンス, 乾燥)	化学物質利用率*の維持又は 10%改善						
代替表面処理技術	化学物質利用率*の維持又は 10%改善						
プラズマエッチ	ESH への影響を改善する代替物, 化学物質利用率*の維持又は 10%改善; 工程排出物と副生成物の最小化						
非シリコン活性基板(チャネル)	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
新しいメモリ材料	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
リソグラフィ							
193nm 液浸レジスト	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程の副生成物の最小化;低ハザード/非ハザード溶剤,PFAS 非含有レジスト						
193nm 液浸材料	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
EUV レジスト	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程副生成物の最小化; 低ハザード/非ハザード溶剤,PFAS 非含有レジスト,						
印刷	化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
PFOS/PFAS** 化学物質	リソグラフィでのクリティカルユース向けに開発された PFAS 非含有材料						
マスク製造及び洗浄	ESH への影響を改善する代替物質(PFAS 非含有),化学物質利用率*の維持又は 10%改善,及び工程排出物と副生成物の最小化						
組み立て及びパッケージング							
ダイ薄薄化	ESH への影響を改善する代替物質, 化学物質利用率*の維持又は 10%改善; 工程副生成物の最小化						
組み立て及びパッケージング廃棄物	ESH への影響を改善する代替物質, 化学物質利用率*の維持又は 10%改善; 工程副生成物の最小化						
PFC類を用いた基板貫通ビアエッチング(例3D)	ESH リスクを増加させない地球温暖化への影響削減 (より低い地球温暖化係数の排出; 代替エッチング物質と利用率*の改善), 化学物質利用率*の維持又は 10%改善						
調査物質の明確化							
ナノマテリアル	材料に関する ESH リスクアセスメントの導入						
生物基及びその廃棄物	材料に関する ESH リスクアセスメントの導入						
新しいロジック及びメモリ材料	材料に関する ESH リスクアセスメントの導入						

* 利用率 = [(供給量 - 排出量) / 供給量] × 100%

** PFOS = perfluorooctane sulfonate; PFAS = perfluoroalkyl sulfonate

Table ESH4a Process and Equipment Management Technology Requirements—Near-term Years

*ESH 関連の新化学物質を選別する手段としての化学物質規制表は、オンラインでリンクされる

生産年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
配線									
Low-k膜の形成(回転塗布とCVD)	化学物質使用量と副産物のベースラインの確立	化学物質使用量の維持または 10%改善 プロセスからの放出物と副産物の特定				化学物質使用量の維持または 10%改善、プロセスからの放出物と副産物の特定			
銅導線形成(従来法と改善法)	消耗品と廃棄物を最小にする銅プロセス最適化のベースライン(作り)	消耗品と廃棄物を 25%削減するための銅プロセスの最適化							
バリア層形成を含む先進的な形成	化学物質使用量と副産物のベースラインの確立	化学物質使用量の維持または 10%改善 プロセスからの放出物と副産物の特定				化学物質使用量の維持または 10%改善、プロセスからの放出物と副産物の特定			
平坦化	消耗品に関するベースラインの確立	ベースライン比 15%以上の消耗品削減				さらに年率2%の削減			
	水使用量のベースライン確立	ベースライン比 15%以上の水使用量削減				さらに年率2%の削減 (3R 推進)			
プラズマエッチングプロセス	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)			環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)		環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)		
CVD チャンバークリーニング(プラズマ)	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)			環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)		環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低 GWP 化、使用量改善)		
表面処理	化学物質・水使用と副産物処理のベースラインの確立	化学物質と水の使用量をベースライン比 15%以上削減				さらに年率 2%、化学物質と水の使用量を削減(再利用と再生)			
PFC を使ったリソ貫通ビアッチ (3D)	放出物の特定とベースラインの確立	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響削減(排出ガスの低 WP 化、使用量改善)、 化学物質使用量の維持または 10%改善	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響削減(排出ガスの低 WP 化、使用量改善)、 化学物質使用量の維持または 10%改善			環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響削減(排出ガスの低 WP 化、使用量改善)、 化学物質使用量の維持または 10%改善			
フロントエンドプロセス									
High-kとメタゲート プロセス	放出物の特定;化学物質使用量とプロセス放出物に関するベースラインの確立	環境影響が低いデポジション、エッチング、洗浄プロセス							
	エネルギー使用量のベースライン	効率のよいデポジションプロセス(プロセスと付随装置); 要求エネルギーを 15%の削減							
ドーピング(体注入と拡散)	危険性(有害性)の低いドーパント材とプロセス	危険性(有害性)の低いドーパント材とプロセス							
	エネルギー使用量のベースライン確立	エネルギー効率のよいドーピングプロセス(プロセスと付随装置)							
表面処理(除離、洗浄、リンス)	環境にやさしいウェハー洗浄・リンスプロセスとツールの評価	環境にやさしいウェハー洗浄・リンスプロセスとツールの製造への導入							
	放出物の特定;水と化学物質使用量ベースライン確立	化学物質と水の使用量維持または 10%改善	化学物質と水の使用量維持または 10%改善			化学物質と水の使用量維持または 10%改善			
	エネルギー効率のよい洗浄プロセス(排気量率削減とヒータの最適化)	エネルギー効率のよい洗浄プロセス(排気量率とヒータの最適化)							
改善された表面処理法	新しいウェハー洗浄プロセスと装置の開発 放出物の特定、水と化学物質使用量のベースラインの確立、環境リスク評価の主導	環境影響が改善された新プロセスの導入			環境影響が改善された新プロセスの評価と最小化に向けた最適化		環境影響が改善された新プロセスの実用化		
プラズマエッチングプロセス	環境影響が改善された新プロセス; プロセス副産物の特定	環境影響が改善された新プロセス; 化学物質使用量の維持または 10%の改善 プロセス副産物の特定	環境影響が改善された新プロセス; 化学物質使用量の維持または 10%の改善 プロセス副産物の特定			環境影響が改善された新プロセス; 化学物質使用量の維持または 10%の改善 プロセス副産物の特定			
非リソのメタゲートプロセス	プロセスと装置の環境影響評価主導、化学物質使用量の維持と改善、 プロセス放出物と副産物の特定					化学物質使用量の維持または 10%の改善、プロセスからの放出物と副産物の特定			
新規材料	プロセスと装置の環境影響評価主導、化学物質使用量の維持または改善、 プロセス放出物と副産物の特定	化学物質使用量の維持または 10%の改善、 プロセス放出物と副産物の特定			化学物質使用量の維持または 10%の改善、 プロセス放出物と副産物の特定				

Table ESH4a Process and Equipment Management Technology Requirements—Near-term Years

*ESH 関連の新化学物質を選別する手段としての化学物質規制表は、オンラインでリンクされる

生産年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
リソグラフィ									
193nm 浸漬リソグラフィ	プロセスと装置の環境影響評価主導			浸漬液、プロセス、装置、消費物からの環境影響の最小化		浸漬液、プロセス、装置、消費物からの環境影響の最小化			
EUV (Extreme Ultra Violet) リソグラフィ	プロセスと装置の環境影響評価主導			イオン化放射線による ESH への影響最小化; 人間工学に基づいた高効率の EUV 源 (の開発)		イオン化放射線による ESH への影響最小化; 人間工学に基づいた高効率の EUV 源 (の開発)			
インクルリソグラフィ	プロセスと装置の環境影響評価主導			プロセス、装置、消費物からの環境影響の最小化		プロセス、装置、消費物からの環境影響の最小化			
ウェット洗浄	放出物の特定 ベースラインの確立	化学物質使用量の維持または 10% の改善; プロセス放出物と副産物の特定		環境影響を最小にした洗浄技術の開発 (CO2 排出を限界まで抑制)		評価済みで、環境影響を最小にするように最適化された新規技術			
組立とパッケージング									
モールドング	環境影響ベースラインの確立	モールド工程廃棄物最小化		モールド材廃棄物の 50% 削減		モールド技術からの廃棄物ゼロ化 (リサイクル後)			
ダイの薄化	放出物の特定; ベースラインの確立	環境影響を改善した新技術 (の開発) 化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定			
組立とパッケージングプロセスからの廃棄物	放出物の特定; ベースラインの確立	環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定			
PFC を使ったシリコ貫通ビアッチ (3D)	放出物の特定; ベースラインの確立	環境影響が改善された新プロセス、化学物質使用量の維持または 10% の改善、プロセス副産物の特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定		環境影響を改善した新技術 (の開発)、化学物質の使用量を 10% 削減、プロセスからの放出物と副産物を特定			
浸漬技術研究材料									
ナノ材料	材料、プロセスと装置の環境影響評価主導			材料、プロセスと装置の環境影響評価主導					
生物材料とその廃棄物	材料、プロセスと装置の環境影響評価主導			材料、プロセスと装置の環境影響評価主導					
新パッド・レジストの材料	材料、プロセスと装置の環境影響評価主導			材料、プロセスと装置の環境影響評価主導					
新装置の設計									
エテザイン	フットプリントと環境影響最小化のためのエテザイン基準の開発と測定法及び目標の確立			環境フットプリントと安全衛生への影響の最小化プロセスと付随装置の設計					
保全装置	安全な保全のための基準の開発			共通保守部品と消耗品が簡単かつ安全に入手できるような装置設計					
エネルギー消費 (kWh/cm ²) [1]	プロセスと付随装置の要求エネルギーの確定			エネルギー消費の最適化、付随装置へのアイトリミング、モードの付加 (ポンプその他); テクノロジーノード毎に 15% の要求エネルギー削減					
水とその他の用剤リットル (cm ³ /cm ²) [1]	水と他の用剤のプロセス要求の確定と消費量の最適化、水の再生/再利用の可能性決定; 水・その他用剤の要求量をテクノロジーノード毎に 15% 削減			水の再生/再利用の可能性決定; 水・その他用剤の要求量をテクノロジーノード毎に 15% 削減					
化学物質 (グラム/cm ²) [1]	プロセスと装置の環境影響評価主導			プロセスと装置の環境影響評価主導 / 化学物質の使用量維持または削減 / プロセス放出物と副産物の特定; 化学物質の消費量テクノロジーノード毎に 15% 削減					
消耗品*	消耗品のベースライン確立			消耗品と廃棄物を最小化するための最適化; 消耗品とその廃棄物をテクノロジーノード毎に 15% 削減					
装置の熱管理	ベースラインの確立			プロセスや装置からのクリーンルームへの廃熱をベースライン 15% 削減		プロセスや装置からのクリーンルームエアへの廃熱をさらに 15% 削減			
装置寿命満了回収設計	プロセスと付随装置の分解と再利用/再生のための設計								

* 使用量 = [(供給量 - 排出量) / 供給量] x 100%

** 消耗品 = CMP パッド, CMP 後処理 フィルター、チャイバラー、その他 (固形廃棄物を作り出すもの)

[1] cm²/waferout

現存する製造能力で、最適化されるべきもの

製造能力の解明

当面の解明

製造能力の解明

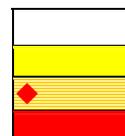


Table ESH4b Process and Equipment Management Technology Requirements—Long-term Years

*関連の新化学物質を選別する手段としての化学物質規制表は、オンラインでリンクされる

生産年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
配線							
Low-k膜の形成(回転塗布とCVD)	化学物質使用量の維持または10%の改善 プロセス放出物と副産物の特定			化学物質使用量の維持または5%の改善 プロセス放出物と副産物の特定			
銅導体形成プロセス(従来法と改善法)	銅の再生・再利用品100%使用; 消耗品を25%削減するための銅プロセスの最適化						
バリと物形成を含む先端プロセス形成	化学物質使用量の維持または10%の改善; プロセス放出物と副産物の特定						
平坦化法	消耗品をさらに年2%削減 平坦化プロセス用水をさらに2%削減(再生・再利用)						
プラズマプロセス	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低GWP化、使用量改善)						
CVDプロセス(バーコックプロセス)	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低GWP化、使用量改善)						
表面処理	化学物質と水の使用量を年2%削減(再生・再利用)						
3D(超薄化、穿孔、接着、金属化)	環境影響が改善された新プロセス 化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
PFCを用いたリソグラフィ(3D)	環境安全リスクの増大がない地球温暖化影響の削減(排出ガスの低GWP化、使用量改善) 化学物質使用量を10%削減						
フロントエンドプロセス							
High-κとメタリットプロセス	環境影響の最小化(ボジション、エッチング、洗浄)プロセス、化学物質使用量の維持または10%の改善とプロセス放出物と副産物の特定 効率のよいボジションプロセス(プロセスと付随装置); 要求エネルギーをさらに25%削減						
ドレージング(体注入と拡散)	危険性(有害性)の低いドレージング材料とプロセス エネルギー効率のよいドレージングプロセス(処理装置と補給装置); 要求エネルギーをさらに25%削減						
表面処理(脱離、洗浄、リンス)	環境にやさしい洗浄・リンスプロセスと材料の製造への導入 化学物質と水の使用量を維持または10% 効率のよいボジションプロセス(処理装置と補給装置); さらに25%のエネルギー削減を要求						
改善された表面処理法	新洗浄プロセスの実用化; 化学物質使用量の維持または10%削減						
プラズマプロセス	環境影響が改善された新プロセス 化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
非リソグラフィプロセス	化学物質使用量の維持または10%の改善; プロセス放出物と副産物の特定						
新材料	化学物質使用量の維持または10%の改善; プロセス放出物と副産物の特定						
リソグラフィ							
193nm浸漬リソグラフィ	環境影響が最小の浸漬液プロセス、装置、消耗品; 化学物質の使用量を維持または10%改善とプロセス副産物の特定(低有害性無害溶剤PFASフリーリスト)						
EUV(Extreme Ultra Violet)リソグラフィ	体積効率、人間工学、エネルギー消費、材料からの環境影響の最小化 化学物質使用量の維持または10%の改善; プロセス放出物と副産物の特定						
インプリントリソグラフィ	プロセス、装置、消費物からの環境影響の最小化、化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
ウェット洗浄	評価済みで、環境影響を最小にするように最適化された新規技術; 環境影響を改善する代替技術(PFASフリー); 化学物質使用量の維持または10%の改善; プロセス放出物と副産物の特定						
組立とパッケージング							
ダイの薄化	環境影響が改善された新プロセス; 化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
組立とパッケージ化プロセスからの廃棄物	環境影響が改善された新プロセス; 化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
PFCを使用したリソグラフィ(3D)	環境影響が改善された新プロセスと装置; 化学物質使用量の維持または10%改善とプロセス放出物の特定						
浸漬技術研究材料							
ナノ材料	材料、プロセス、装置の環境影響評価の主導						
生物材料とその廃棄物	材料、プロセス、装置の環境影響評価の主導						
新プロセス・材料プロセスの材料	材料、プロセス、装置の環境影響評価の主導						
新装置の設計							
エッチング	環境フットプリントと安全衛生への影響を最小化するプロセスと付随装置の設計						
保全増設計	共通サービス部品と消耗品が簡単かつ安全に入手できるような装置設計						
エネルギー消費(kWh/cm ²)[1]	エネルギー消費の最適化、付随装置へのアイドルモードの付加(ポンプその他); テクノロジーノード毎に15%の要求エネルギー削減						
水とその他の用力(liters/cm ³ /cm ²)[1]	プロセス用水と他の用力要求の特定と消費量の最適化 水の再生/再利用の可能性決定; 水・その他用力の要求量をテクノロジーノード毎に15%削減						
化学物質(g/cm ²)[1]	プロセスと装置の環境影響評価主導と化学物質の使用量維持または削減 プロセス放出物と副産物の特定; 化学物質の消費量をテクノロジーノード毎に15%削減						
消耗品	消耗品と廃棄物を最小化するための最適化; 消耗品とその廃棄物をテクノロジーノード毎に15%削減						
装置の熱管理	プロセスや装置からのクリーンルームエアへの廃熱をさらに15%削減			プロセスや装置からのクリーンルームエアへの廃熱をさらに15%削減			
装置寿命満了廃棄物設計	プロセスと付随装置の分解と再利用/再生のための設計						

* 使用量 = [(供給量 - 排出量) / 供給量] x 100%

** 消耗品 = CMP パッド, CMP 後処理ガラス, フィルター, チャンバーライナー, その他(固形廃棄物を作り出すもの)

[1] cm² per wafer out

Table ESH5a Facilities Energy and Water Optimization Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Facilities Design</i>									
Eco-friendly facility design	Design facilities to minimize environmental footprint and impact			Meet a recognized standard for designing and rating a reduced environmental impact facility; e.g., LEED, Green Globes, etc.					
Design for end-of-life re-use	Comprehend and implement potential re-use scenarios during facility design			Meet a recognized standard for reduced environmental impact through building re-use; e.g., LEED, etc.					
<i>Water</i>									
Total fab* water consumption (liters/cm ²) [1]	14			12.5			11		
Total site water consumption reduction	Establish baseline	Reduce total consumption 10% from baseline levels		Reduce total consumption additional 10%			Reduce total consumption additional 10%		
Total UPW consumption (liters/cm ²) [1]	8			7			6		
UPW recycled/reclaimed** (% of use)	70			75			80		
<i>Energy (electricity, natural gas, etc.)</i>									
Total fab* energy consumption (kWh per cm ²) [1]	1.9			1.6			1.35		
Total site energy consumption reduction	Establish baseline	Reduce total consumption 10% from baseline levels		Reduce total consumption additional 10%			Reduce total consumption additional 10%		
Cleanroom thermal management	Establish baseline			Reduce heat rejection from process and ancillary equipment to cleanroom air by 15% from baseline			Reduce heat rejection from process and ancillary equipment to cleanroom air by additional 15%		
<i>Waste</i>									
Non-hazardous solid waste (g per cm ²) [1]	50			45			40		
Hazardous waste (g per cm ²) [1]	6			5			4		
<i>Air Emissions</i>									
Exhaust and abatement optimization	Baseline DRE and utilities (exhaust, natural gas, etc.).			Maximize DRE while minimizing resource consumption by 10% from baseline.			Maximize DRE while minimizing resource consumption by additional 10% from baseline.		
Volatile Organic Compounds (VOCs) (g per cm ²) [1]	0.1			0.08			0.075		
Perfluorocompounds (PFCs)	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the World Semiconductor Council (WSC)			Maintain 10% absolute reduction from 1995 baseline					

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

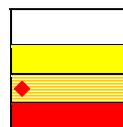


Table ESH5b Facilities Energy and Water Optimization Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<i>Facilities Design</i>							
Eco-friendly facility design	Meet a recognized standard for designing and rating a reduced environmental impact facility; e.g., LEED, Green Globes, etc.						
Design for end-of-life re-use	Meet a recognized standard for reduced environmental impact through building re-use; e.g., LEED, etc.						
<i>Water</i>							
Total fab* water consumption (liters/cm ²)[1]	10			9			
Total site water consumption reduction	Reduce total consumption by additional 10%			Reduce total consumption by additional 10%			
Total UPW consumption (liters/cm ²)[1]	5			5.5			
UPW recycled/reclaimed**(% of use)	85			90			
<i>Energy (electricity, natural gas, etc.)</i>							
Total fab* energy consumption (kWh per cm ²)[1]	1.2			1.1			
Total site energy consumption reduction	Reduce total consumption by additional 5%			Reduce total consumption by additional 5%			
Cleanroom thermal management	Reduce heat rejection from process and ancillary equipment to cleanroom air by additional 15%			Reduce heat rejection from process and ancillary equipment to cleanroom air by additional 15%			
<i>Waste</i>							
Non-hazardous solid waste (g per cm ²)[1]	30			25			
Hazardous waste (g per cm ²)[1]	3.5			3			
<i>Air Emissions</i>							
Exhaust and abatement optimization	Maximize DRE while minimizing resource consumption by additional 10% from baseline			Maximize DRE while minimizing resource consumption by additional 10% from baseline			
Volatile Organic Compounds (VOCs) (g per cm ²)[1]	0.07			0.065			
Perfluorocompounds (PFCs)	Maintain 10% absolute reduction from 1995 baseline						

Notes for Table ESH5a and b:

*Fab = manufacturing space + support systems

**Recycle = Re-use after treatment

**Reuse = Use in secondary application (without treatment)

**Reclaim = Extracting a useful component from waste

[1] cm² per wafer out

Table ESH6

Sustainability and Product Stewardship Technology Requirements

生産年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
持続性の基準																
原動のエコデザイン	エコデザイン基準の開発、環境へのフットプリントと影響が最小化された指標と目標の確立		環境へのフットプリント、安全および健康への影響を最小化するための原動、プロセスおよび付帯装置の設計													
カーボンフットプリント	共通の指標の認識とベースラインの確立		カーボンフットプリントの減少													
製品のエコデザイン	主要な環境性能指標 (KEPIs) *の開発とベースラインの確立		ベースラインレベルから KEPIs*を 10% 減少	KEPIs*を更に 10% 減少			KEPIs* を更に 10%減少			KEPIs* を更に 10%減少						
EHS の設計																
材料	主要な環境性能指標 (KEPIs) *の開発とベースラインの確立		ベースラインレベルから KEPIs*を 10% 減少	KEPIs*を更に 10% 減少			KEPIs* を更に 10%減少%			KEPIs* を更に 10%減少						
	研究開発の非常に早い段階での ESH の影響についての早期の評価(材料が比較され選択される時点)															
プロセス	主要な環境性能指標 (KEPIs) *の開発とベースラインの確立		ベースラインレベルから KEPIs*を 10% 減少	KEPIs*を更に 10% 減少			KEPIs* を更に 10%減少%			KEPIs* を更に 10%減少						
			平坦化と堆積に関する ESH 影響の低い代替プロセス	付加的なプロセスへのパラダイムシフト												
研究開発の非常に早い段階での ESH の影響についての早期の評価(プロセスが比較され選択される時点)																
工場と装置退出に対する ESH の改善された統合	装置および工場の設計、例えば LEED**に対する ESH 設計のガイドライン、方法論および基準の導入															
耐用年数																
原動の再利用/再生に対する再製作と汚染除去の容易性	原動の設計において可能な再使用のシナリオの理解と実施		再使用のために設計する際の環境影響の減少			再使用のために設計する際の環境影響の減少										
装置の再利用/再生に対する再製作と汚染除去の容易性	分解と再使用/再生のためのプロセスおよび付帯装置の設計															

*KEPIs = Key Environmental Performance Indicators such as energy and water consumption, product content, human toxicity, ozone depletion, global warming potential, photochemical oxidation potential, resource depletion potential, etc.

** LEED = Leadership in Energy and Environmental Design (a U.S. "Green Building" rating system)

解決策候補

解決策候補は図 ESH1、2、および 3 に、化学物質と材料、プロセスと装置、および原動についてそれぞれ概説されている。表には ESH、配線、フロントエンドプロセス、リソグラフィ、アSEMBリとパッケージング、および新探求材料、新装置とファクトリーインテグレーションについて解決策候補が提示されている。しかしながら、それぞれの分野における固有の解決策候補は上記の個別の議論に組み入れられている。付加的なプロセスは全ての技術的に推進される領域におよぶ解決策候補であり、その結果、化学物質と資源の消費の減少を通して ESH の利益となる。

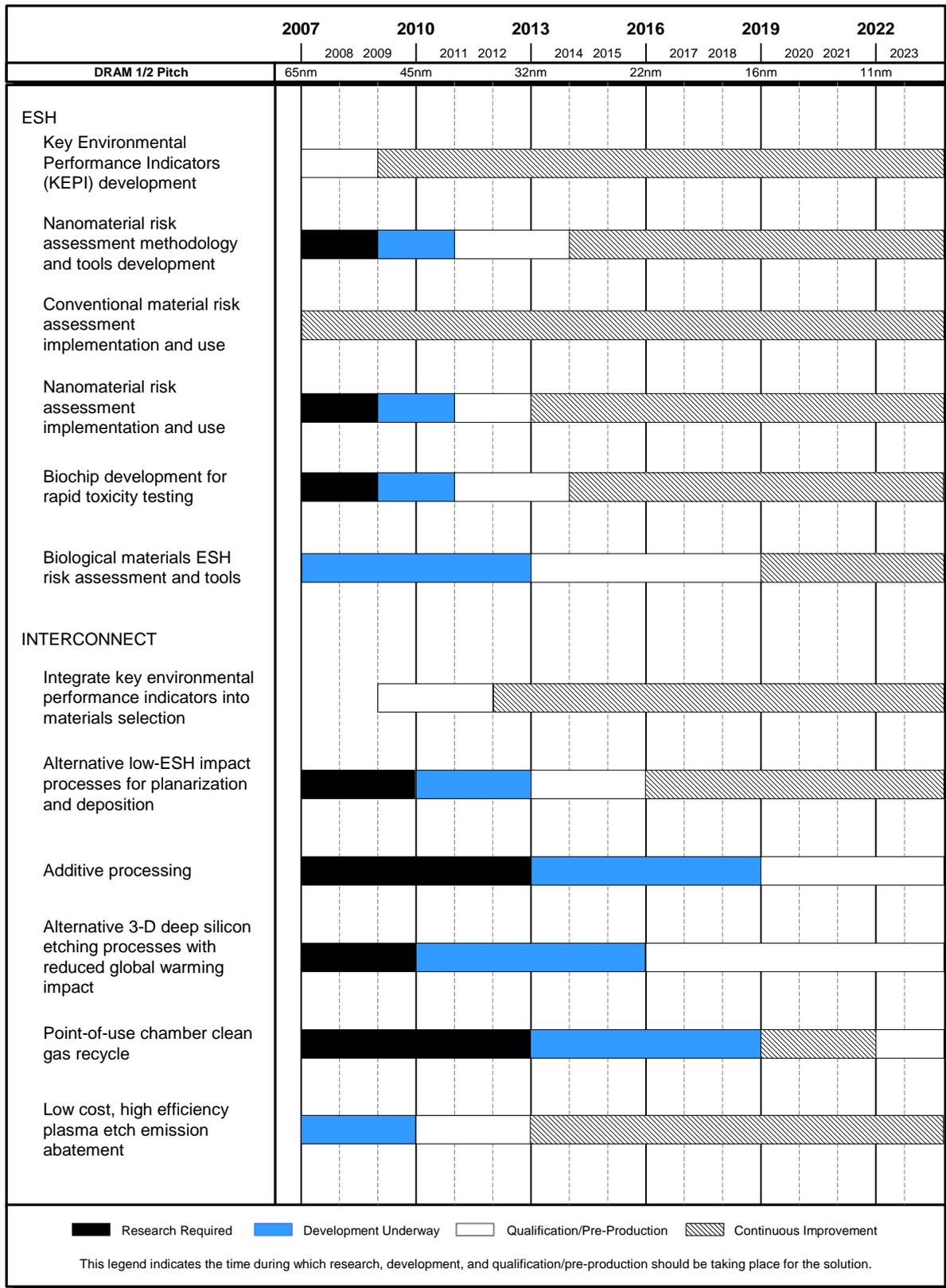


Figure ESH1

Potential Solutions for ESH: Chemicals and Materials Management

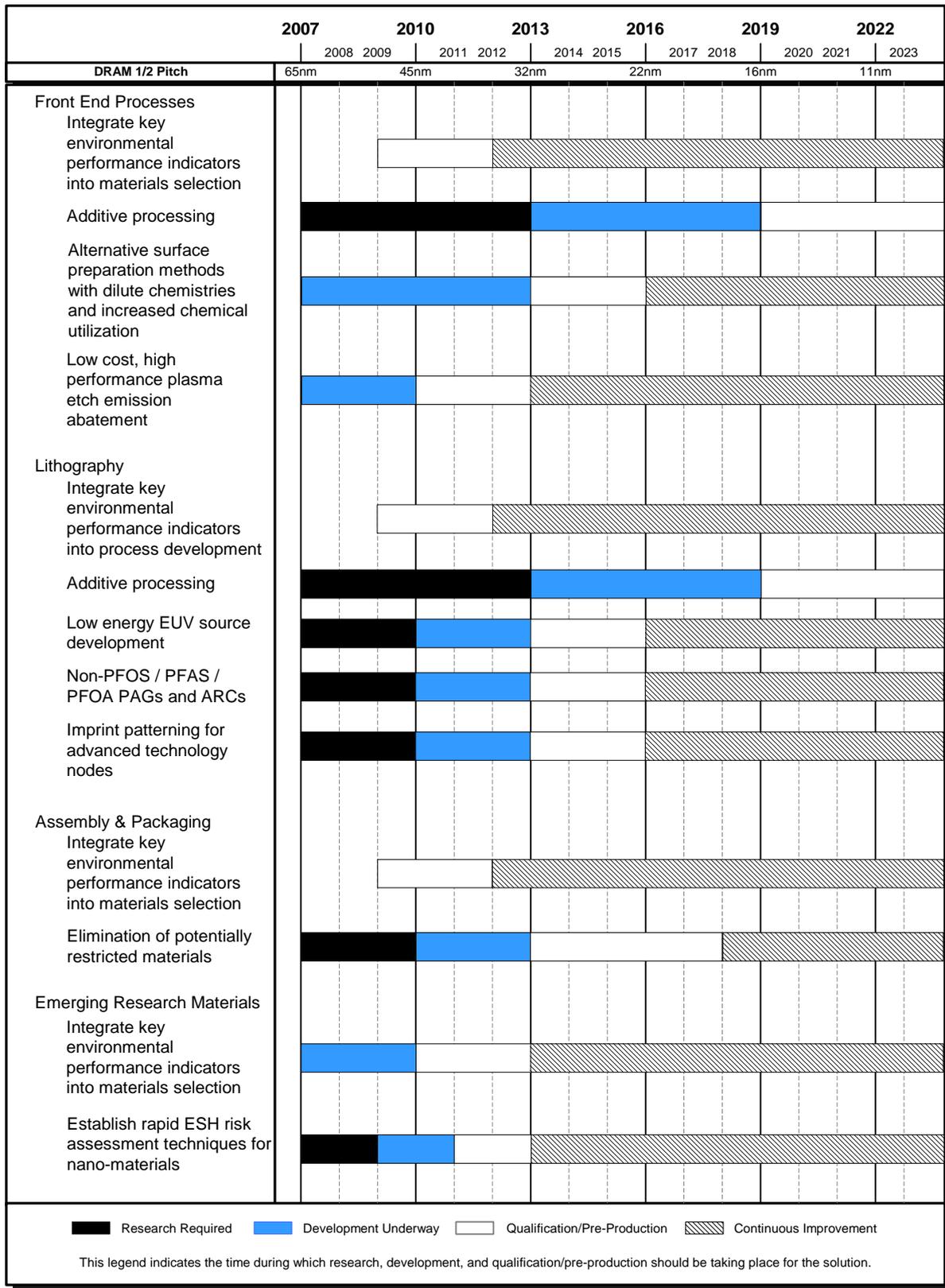


Figure ESH1

Potential Solutions for ESH: Chemicals and Materials Management (continued)

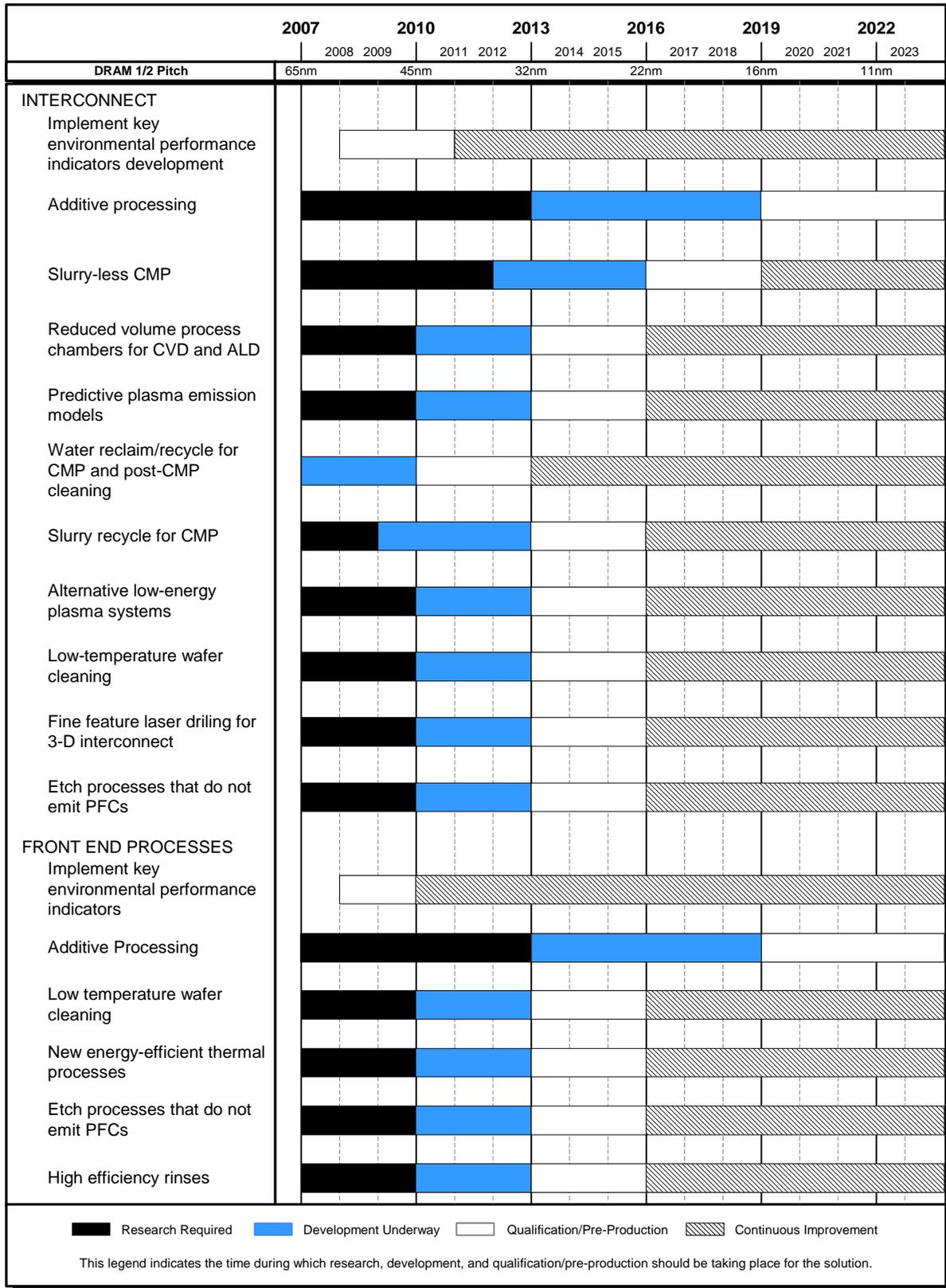


Figure ESH2

Potential Solutions for ESH: Processes and Equipment Management

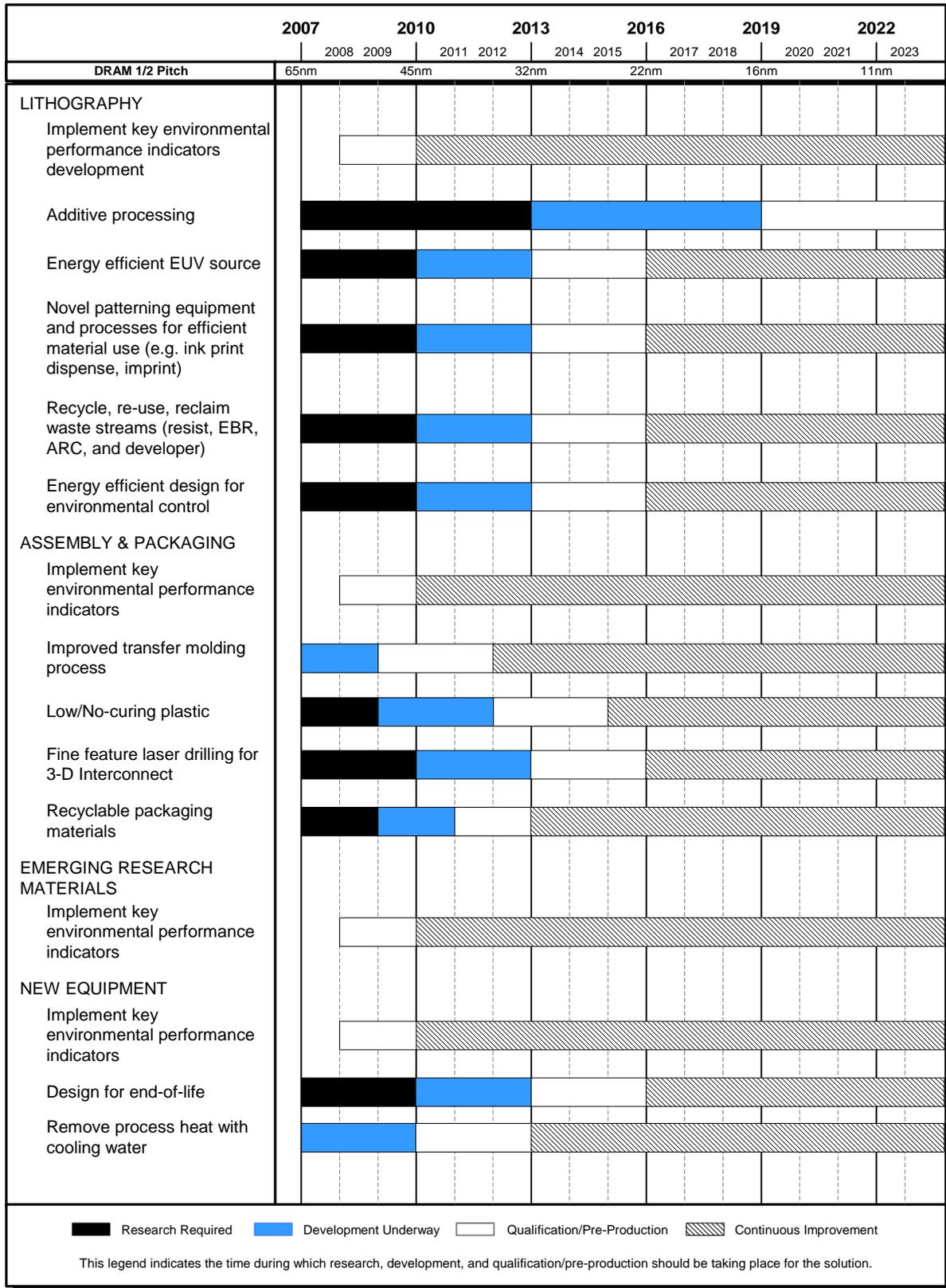


Figure ESH2 Potential Solutions for ESH: Processes and Equipment Management (continued)

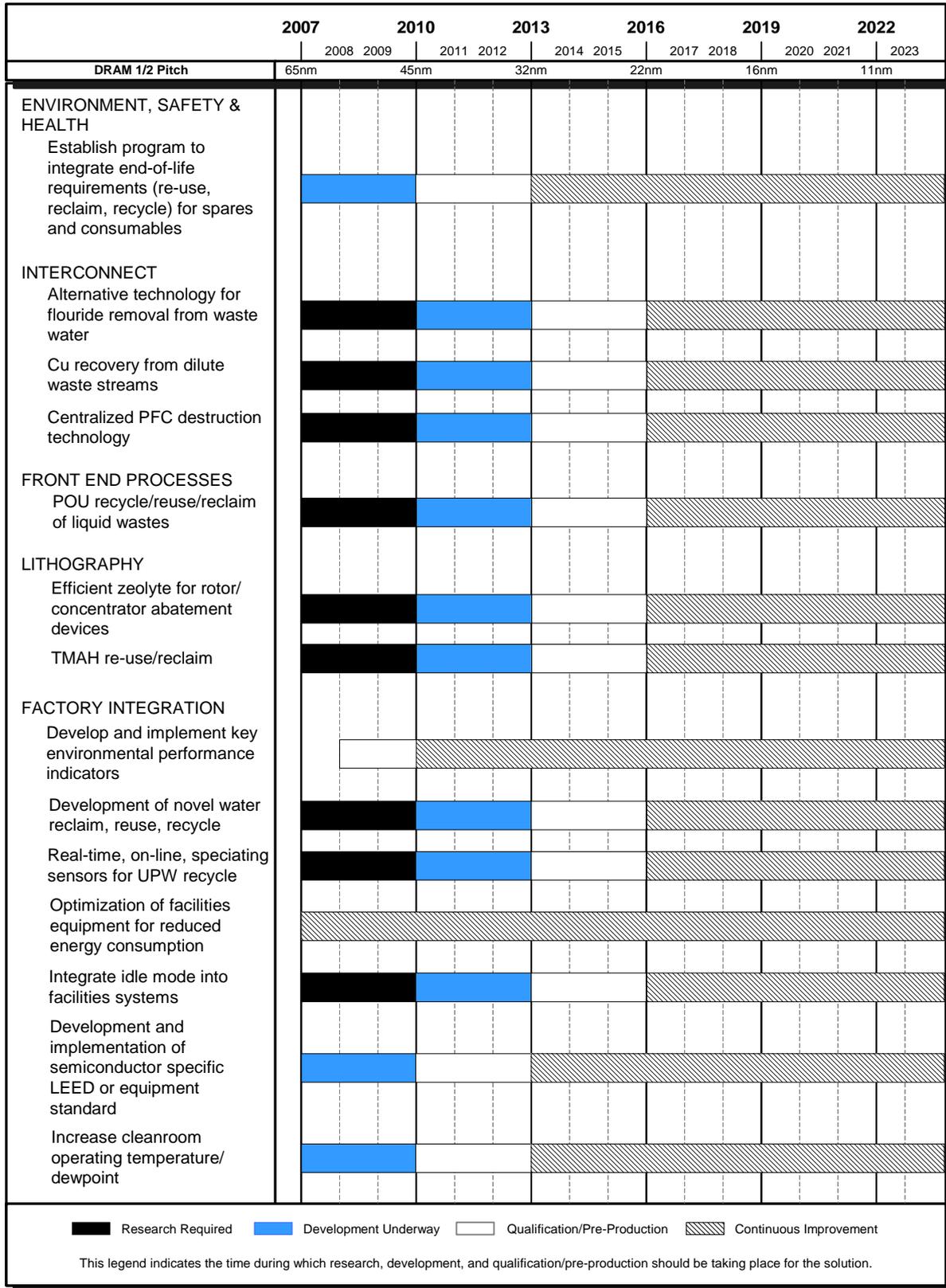


Figure ESH3

Potential Solutions for ESH: Facilities