

ES&H（環境、安全、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 82～87 に示した通りである。さらに、このロードマップは図 53～55 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、サプライヤ(業者)、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。半導体産業、大学、政府等によって援助された国際的な先導研究機関や他のESHに特化した著名な機関によってこのロードマップのESHに関する目標が真に国際的なものになってきている。

困難なチャレンジ

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」、「気候変動の緩和(地球温暖化の防止を含む)」、「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。「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、反応生成物質の放出、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。「気候変動の緩和（地球温暖化の防止を含む）」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。「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。「資源の節約（水、エネルギー、化学物質、原料）」は、資源の確保、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。上記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処理するために、ESH に対するデザイン（DFESH）は、マネジメント意思決定の不可欠なことのひとつとして設計段階においてこれらの問題を系統的に考察することによって ESH への影響を最小限にすることができる。

Table 82 ESH Difficult Challenges

FIVE DIFFICULT CHALLENGES ³ 65 NM / THROUGH 2007	SUMMARY OF ISSUES/NEEDS
Chemicals, Materials and Equipment Management	<p><i>New Chemical Assessment</i> Need for quality rapid assessment methodologies to ensure that new chemicals can be utilized in manufacturing, while protecting human health, safety, and the environment without delaying process implementation. Chemicals in existing uses require reassessment when new chemical restrictions are identified.</p> <p><i>Chemical Data Collection</i> Need to document and make available environment, safety, and health characteristics of chemicals.</p> <p><i>Chemical Reduction</i> Need to develop processes that meet technology demands while reducing impact on human health, safety and the environment, both through replacement of hazardous materials with materials that are more benign, and by reducing chemical quantity requirements through more efficient and cost-effective process management.</p> <p><i>Environment Management</i> Need to develop effective management systems to address issues related to disposal of equipment, and hazardous and non-hazardous residue from the manufacturing process.</p>
Resource Conservation	<p><i>Natural Resource Conservation (Energy, Water)</i> Need to design more energy and water efficient processing equipment.</p> <p><i>Chemicals and Materials Use</i> Need more efficient utilization of chemicals and materials.</p> <p><i>Resource Recycling</i> Increase resource reuse and recycling.</p>
Workplace Protection	<p><i>Equipment Safety</i> Need to design ergonomically correct and safe equipment.</p> <p><i>Chemical Exposure Protection</i> Increase knowledge base on health and safety characteristics of chemicals and materials used in the manufacturing and maintenance processes, and of the process byproducts; and implement safeguards to protect the users of the equipment and facility.</p>
Climate Change Mitigation	<p><i>Reduce Energy Use Of Process Equipment</i> Need to design energy efficient larger wafer size processing equipment.</p> <p><i>Reduce Energy Use Of The Manufacturing Facility</i> Need to design energy efficient facilities to offset the increasing energy requirements of higher class clean rooms.</p> <p><i>Reduce High Global Warming Potential (GWP) Chemicals Emission</i> Need ongoing improvement in methods that reduce emissions from processes using GWP chemicals.</p>
Design for Environmental, Safety, and Health (DFESH)	<p><i>Evaluate and Quantify ESH Impact</i> Need integrated way to evaluate and quantify ESH impact of process, chemicals, and process equipment, and to make ESH a design parameter in development procedures for new equipment and processes.</p>

Table 82 ESH Difficult Challenges (continued)

FIVE DIFFICULT CHALLENGES < 65 NM / BEYOND 2007	SUMMARY OF ISSUES/NEEDS
Chemicals, Materials and Equipment Management	<i>Chemical Use Information</i> Rapid introduction of chemicals and materials into new process requires the understanding of process fundamentals in order to reduce ESH impacts.
Resource Conservation	<i>Reduce Water, Energy, Chemicals And Materials Use</i> Need resource efficient processing and facility support equipment and improved water reclaim and recycling methods. Emphasis on resource sustainability will grow.
Workplace Protection	<i>Equipment Safety</i> Need ergonomic principles integrated into the processing and wafer moving equipment for both operation and maintenance aspects, and into the overall manufacturing facility.
Climate Change Mitigation	<i>Reduce Energy Use</i> The importance of reducing energy use to minimize/slow climate change will grow. <i>Reduce High GWP Chemicals Emissions</i> The international pressures to reduce emissions of GWP chemicals will continue.
Design for Environmental, Safety, and Health (DFESH)	<i>Evaluate and Quantify ESH Impact</i> Need integrated ESH design in development of new equipment and processes.

ESH に関する技術的要求および解決策候補

ESH 内因的要求事項 (1)

ESH に関連した技術的要求事項は、技術を決定する責任を担っている科学者や技術者が、それを全うできるように分析方法、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する。2001 技術ロードマップでは、これらの必要性を明確にする ESH 内因的要求事項の新しい表を導入した。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、影響を受けることはない。

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適用できる。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。

物質やプロセスの最小限の ESH への影響を決定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ツーデートされていなければ、その意味が薄れてしまう。デバイスやプロセスの設計企画段階の間に環境に配慮した設計を行うため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いえる。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。マテリアルバランス (物質の収支) を行うために P R T R プログラムの結果を適用することは有益かもしれな

い。

データベースの確立 データベースは使用する化学物質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）、化学物質を使用した後の排出処理方法、法律による規制条件等である。現在ある一般的なデータベースは化学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物質の環境への分配率（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。即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 新たな化学物質を導入する際には、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物質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。

新材料および新化学物質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、環境への負荷を評価する。

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 特に、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物質や材料を管理する必要がある。従って、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物質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。物質のLCA（life cycle analysis、ライフサイクル分析）は、現在は手作業によるデータの収集、報告を通じてなされている。自動データ収集システムを確立すべきである。

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伴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つつある。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。半導体生産設備におけるエネルギーの節約に加え、クリーンルームに熱的な負荷あるいは影響を与える要素を減らすことも必要である。エネルギーに関する候補技術は、[図51](#)に示した通りである。

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、次にあ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。a)危険の排除、b)技術面の管理、c)事務的管理、d)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)の拡大に伴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。自動化されたシステムや作業員が介入する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、火に強くてプロセスに適合した資材が必要とされている。

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 線量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

ウェーハサイズおよびプロセスステップの増大や高純度の水や化学薬品に対する要求はウェーハあたりの資源(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や装置の開発や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(特に水や廃棄物に対して)を含む方策を組み合わせることによって逆転する(即ち低減する方向に)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。フォトリソグラフィは、大量の化学薬品が使用されているが、その殆どがウェーハから除去されて(工業)廃棄物となる一例といえる。

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消費量の増大は化学薬品の消費量(これに加えて超純水の製造コストも)を加速することになる。従ってUPWの消費と製造を削減できれば、化学薬品による環境への影響や製造コストを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、局所的な再利用と関連するリサイクリングコストを勘案しながら廃棄水のリサイクリングを実施するべきである。

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たが、その一方で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 新しい化学物質が使用され、その使用量が技術的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。その一方で人々は産業活動により引き起こされる環境汚染により敏感になってきている。半導体産業における化学物質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なる。

廃棄ゼロ 上記の状況を判断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部分として EHS 向上の統合と増殖に適用される用語であり、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、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（このようなことによって人目を引きつけるような）ことを含まない解を確保することによって技術の発展を可能とするのに役立っている。また DFESH は以下のような包括的な理解を必要とする。装置や材料の開発、施設的设计、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等々。DFESH は製品が製造される方法の中に ESH の向上を我々が盛り込むことを、ただし望ましい製品コストや性能および品質特性を損なうことなく、可能としてくれる。

Table 83a ESH Intrinsic Requirements—Near-term

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	DRIVER	
DRAM I/2 PITCH (nm)	130	115	100	90	80	70	65		
Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements									
Assessment of Chemical and By-product Properties									
Data accumulation Existing chemicals (include by-product materials)	Design of Data Base		50% of the data/chemical		100% of the data/chemical			NEW RESTRICTIONS	
New chemicals (include by-product materials)					100% after 2 years of market introduction			NEW PROCESSES	
Resource Conservation Technology Requirements									
Energy Consumption									
Overall fab equipment (KWh/cm2)	0.5-0.7		0.4-0.5		0.3-0.4			SUSTAINABLE GROWTH	
Fab facility (kWh/cm2)	0.5-0.7		0.4-0.5		0.3-0.4				
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm); baseline 1999	1.5		1.0						
Water Consumption									
Net feed water use (Liters/cm2)	5.9		3.5		3.5			COST AND SUSTAINABLE GROWTH	
Fab UPW use (Liters/cm2)	6 - 8		5 - 7		4 - 6				
Tool UPW Use (Liters/cm2, per wafer pass)	0.15		0.075		0.06				
Chemical Consumption & Waste Reduction									
Chemical Use (liters/cm2/mask layer)	Reduced 5% per year				Reduced 5% per year				ENVIRONMENTAL STEWARDSHIP
Recycle/Reuse Systems	Infrastructure improvement	Thorough recycle/reuse system		Innovative recycling technologies					
Waste recycle rate (%)	60%		65%		70%				
Climate Change Mitigation Technology Requirements									
Reduce PFC emission	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the WSC							VOLUNTARY AGREEMENT	
Workplace Protection Technology Requirement									
Equipment safety, gases and chemical leaks, and equipment stability during an earthquake	Conformance to S2 Safety Guidelines and S8 Ergonomic/Human Factor Guidelines			Conformance to revisions of S2 Safety Guidelines and S8 Ergonomic/Human Factor Guidelines					
Safe Interface of Automated Material Handling Systems (AMHS) and manufacturing equipment	Standardized control features and procedures								
Safe Robotics	Standardized control features and procedures								
Comprehensive exposure data	Data collection	Comprehensive industrial hygiene(IH) exposure data for operations and maintenance							
	Collaboration among government, industry, academia, and companies regarding new exposure data								
Personal protection equipment (PPE)	Investigation of PPE	Test and rate PPE							
Material Safety Data Sheets (MSDS)	Employee awareness for new technologies	Comprehensive data							
Equipment Risk Assessment (Health and Safety)	Case Study	Common Algorithm			Common Application				
Reduced chemical exposure	Workers isolated from chemicals and by-product for non-routine operation and maintenance								
Ergonomic Improvement	Basic Study for 300mm	Minimized/eliminated physiological stresses							
Design for ESH (DFESH)									
Environmental load/impact assessment (LCA)	Case Study	Common Algorithm to identify, access, and accept risk			Common Algorithm to identify, access, and accept risk				
Chemical Risk Assessment (Health and Safety)	Case Study	Common Algorithm to identify, access, and accept risk			Common Algorithm to identify, access, and accept 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, policy trends, and others								

Table 83b ESH Intrinsic Requirements—Long-term

YEAR OF PRODUCTION	2010	2013	2016	DRIVER
DRAM 1/2 PITCH (nm)	45	32	22	
<i>Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements</i>				
<i>Assessment of Chemical and By-product Properties</i>				
Data accumulation				NEW RESTRICTIONS
Existing chemicals (including by-product materials)	100% after 2 years of market production			
New chemicals (including by-product materials)	100% after 2 years of market production			
<i>Resource Conservation Technology Requirements</i>				
<i>Energy Consumption</i>				
Overall fab equipment (KWh/cm2)	0.3-0.4			
Fab facility (kWh/cm2)	0.3-0.4			
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm); baseline 1999	0.8			
<i>Water Consumption</i>				
Net feed water use (Liters/cm2)	3.5			COST AND SUSTAINABLE GROWTH
Fab UPW use (Liters/cm2)	3 - 5			
Tool UPW Use (Liters/cm2, per wafer pass)	0.05			
<i>Chemical Consumption & Waste Reduction</i>				
Chemical Use (liters/cm2/mask layer)	Reduced 5% per year			ENVIRONMENTAL STEWARDSHIP
Recycle/Reuse Systems	Innovative recycling technologies			
Waste recycle rate (%)	80%	90%		
<i>Climate Change Mitigation Technology Requirements</i>				
Reduce PFC emission	10% absolute reduction from 1995 baseline by 2010 as agreed to by the WSC			VOLUNTARY AGREEMENT
<i>Workplace Protection Technology Requirement</i>				
Equipment safety, gases and chemical leaks, and equipment stability during an earthquake	Conformance to revisions of S2 Safety Guidelines and S8 Ergonomic/Human Factor Guidelines			
Safe Interface of Automated Material Handling Systems (AMHS) and manufacturing equipment	Standardized control features and procedures			
Safe Robotics	Standardized control features and procedures			
Comprehensive exposure data	Industry database of IH exposure data			
	Collaboration among government, industry, academia, and companies regarding new exposure data			
Personal protection equipment (PPE)	Test and rate PPE for new materials			
Material Safety Data Sheets (MSDS)	Comprehensive data			
Equipment Risk Assessment (Health and Safety)	Common Application for new equipment			
Reduced chemical exposure	Workers isolated from chemicals and by-product for non-routine operation and maintenance			
Ergonomic Improvement	Minimized/eliminated physiological stresses for new equipment			
<i>Design for ESH (DFESH)</i>				
Environmental load/impact assessment (LCA)	Lowest environmental load/impact materials in production			
Chemical Risk Assessment (Health and Safety)	Lowest chemical risk (health & safety) materials in production			
Material Balance				NEW MATERIALS AND RESTRICTIONS
Regulatory Requirements	Collection of requirements, guidelines, policy trends, and others			

Table 84a Chemicals, Materials and Equipment Management Technology
Requirements—Near-term

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	DRIVER
DRAM ½ PITCH (nm)	130	115	100	90	80	70	65	
<i>Interconnect</i>								
Low κ materials – spin on and CVD	Lowest ESH impact solvents/CVD precursors	Emissions modeled	ESH benign processes			<i>SPEED, SIGNAL LOSS</i>		
Copper processes	Lowest ESH impact plating chemistries	Plating bath recycle	ESH benign processes			<i>SPEED, RELIABILITY</i>		
Advanced metallization	Lowest ESH impact processes/emissions characterization		ESH benign processes					
Planarization	Slurry minimization	Slurry recycling	Slurry-less planarization			<i>PLANARITY</i>		
Plasma processes	Etch abatement	Alternative etch chemistries	Lowest ESH impact etch chemistries		<i>ETCH/CLEAN</i>			
	Characterization of plasma by-products		Lowest ESH impact etch chemistries					
<i>Front end Processes</i>								
High κ materials	Characterization of high k precursor materials	Lowest ESH impact high k materials		ESH benign processes		<i>TRANSISTOR PERFORMANCE</i>		
	Characterization of low-hazard deposition methods	Low-hazard deposition methods	ESH benign processes			<i>TRANSISTOR PERFORMANCE AND DEVICE DEVELOPMENT</i>		
		High k materials without potentially toxic/bioaccumulative metals (Pb, Ni)	Lowest hazard metal compounds			<i>DEVICE DEVELOPMENT</i>		
Doping	Sub-atmospheric delivery system			Lowest hazard dopant materials and processes				
Surface preparation	Fundamental research on surface/interface science	Ongoing research and integration of solutions		Optimized surface preparation processes				
	Alternative wafer rinse methods	Incorporation into new rinse/clean tools						
	Characterization of alternative cleaning methods	Incorporation into new clean tools		ESH benign cleans				
	Elimination of sulfuric acid							
Front end etch	Characterization of plasma by-products			Plasma process simulation-optimized processes for by-product destruction				

Table 84a Chemicals, Materials and Equipment Management Technology Requirements—
Near-term (continued)

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	DRIVER
DRAM ½ PITCH (nm)	130	115	100	90	80	70	65	
<i>Lithography</i>								
New Equipment								REDUCED FEATURE SIZE
Optical			Characterization of ESH Impacts		Minimal ESH Impact for hazardous chemicals and material compatibility			NEXT GENERATION LITHOGRAPHY
e-Beam			Characterization of ESH Impacts		Minimal ESH Impact for ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal			
EUV			Characterization of ESH Impacts		Minimal ESH Impact for non-ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal			
Radiation	Fundamental research on X-ray exposure		Requirements for x-ray exposure PPE and/or equipment defined					
New Materials			Characterization of ESH Impacts		Minimal ESH Impact for new chemicals, purification requirements, wastes, and emissions			REDUCED FEATURE SIZE
			Identification of PFOS applications		PFOS Alternatives			

Table 84b Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements—Long-term

<i>YEAR OF PRODUCTION</i>	<i>2010</i>	<i>2013</i>	<i>2016</i>	<i>DRIVER</i>
<i>DRAM ½ PITCH (nm)</i>	<i>45</i>	<i>32</i>	<i>22</i>	
<i>Interconnect</i>				
Low κ materials – spin on and CVD	ESH benign processes			<i>SPEED, SIGNAL LOSS</i>
Copper processes	ESH benign processes			<i>SPEED, RELIABILITY</i>
Advanced metallization	ESH benign processes			
Planarization	Slurry-less planarization			<i>PLANARITY</i>
Plasma processes	Lowest ESH impact etch chemistries			<i>ETCH/CLEAN</i>
	Lowest ESH impact etch chemistries			
<i>Front end Processes</i>				
High κ materials	ESH benign processes			<i>TRANSISTOR PERFORMANCE</i>
	Lowest hazard metal compounds			<i>TRANSISTOR PERFORMANCE AND DEVICE DEVELOPMENT</i>
Doping	Lowest hazard dopant materials and processes			
	Self-cleaning dopant tools (in situ clean)			
Surface preparation	ESH benign cleans			
Front end etch	ESH benign processes, including high k etch			
<i>Lithography</i>				
New Equipment				<i>REDUCED FEATURE SIZE</i>
Optical				<i>NEXT GENERATION LITHOGRAPHY</i>
e-Beam	Minimal ESH Impact for ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal			
EUV	Minimal ESH Impact for non-ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, and disposal			
Radiation				
New Materials	Minimal ESH Impact for new chemicals, purification requirements, wastes, and emissions			<i>REDUCED FEATURE SIZE</i>

Table 85a Climate Change Mitigation Technology Requirements—Near-term

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
DRAM ½ PITCH (nm)	130	115	100	90	80	70	65
<i>Interconnect</i>							
Reduce PFC emissions for CVD equipment	Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement			Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies			
Chamber Clean Gas Utilization*	85%		90%		95%		
<i>Front End Processes</i>							
Reduce PFC emissions (etch)	Develop optimized etch processes and cost-effective abatement			Develop optimized etch processes and cost-effective abatement for new technologies			
				Alternative etch chemistries identified			

Table 85b Climate Change Mitigation Technology Requirements—Long-term

YEAR OF PRODUCTION	2010	2013	2016
DRAM ½ PITCH (nm)	45	32	22
<i>Interconnect</i>			
Reduce PFC emissions for CVD equipment	Optimized chamber clean processes, alternative chemistries, and cost-effective abatement for new technologies		
Chamber Clean Gas Utilization*	>95%		
<i>Front End Processes</i>			
Reduce PFC emissions (etch)	Develop optimized etch processes and cost-effective abatement for new technologies		

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

Table 86a Resource Conservation Technology Requirements—Near-term

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	DRIVER
DRAM ½ PITCH (nm)	130	115	10	90	80	70	65	
<i>Interconnect</i>								
Copper processes	Minimum rinse water and chemical consumption							INCREASING NUMBER OF INTERLAYERS
Planarization	Reduced water consumption		Water recycle					
Plasma processing	Measured and optimized energy use		Reduced tool/system energy requirements					
<i>Front End Processes</i>								
High κ			Energy-efficient deposition processes		Precise uniform thermal processes with minimal energy consumption			
Doping			Minimum energy use for future doping technologies	Energy efficient processes				
Surface preparation	Quantified energy use		Energy efficient clean processes					
	Incorporation of novel rinse methodologies in wet tools		Novel water reduction techniques derived from surface/interface science					
Front end etch	Measured and optimized energy use		More energy efficient plasma processes					
Starting Materials			Quantified energy/water reduction from SOI-based process flows					
<i>Lithography</i>								
Equipment resource consumption: optical, e-beam, and EUV			Optimized energy consumption, equipment related chemicals/ gases/materials, and water consumption					REDUCED FEATURE SIZE
<i>Factory Integration</i>								
Net feed water use (Liters/cm ²)	5.9		3.5		3.5			
Fab UPW use (Liters/cm ²)	6–8	5–7			4–6			
Tool UPW Use (Liters/cm ² , per wafer pass)	0.15	0.075		0.06				
<i>Assembly & Packaging</i>								
Eliminate waste from molding process			Newly developed molding technologies					
Reduce water use	0.8X (X = 1999 baseline)							
Reduce chemical use and consumption	0.8X (X = 1999 baseline)							

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.

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).

Table 86b Resource Conservation Technology Requirements—Long-term

YEAR OF PRODUCTION	2010	2013	2016	DRIVER
DRAM ½ PITCH (nm)	45	32	22	
<i>Interconnect</i>				
Copper processes				INCREASING NUMBER OF INTERLAYERS
Planarization	Water recycle			
Plasma processing	Reduced tool/system energy requirements			
<i>Front End Processes</i>				
High κ	Precise uniform thermal processes with minimal energy consumption			
Doping	Energy efficient processes			
Surface preparation	Energy efficient clean processes			
	Novel water reduction techniques derived from surface/interface science			
Front end etch	More energy efficient plasma processes			
Starting Materials	Quantified energy/water reduction from SOI-based process flows			
<i>Lithography</i>				
Equipment resource consumption: optical, e-beam, and EUV	Optimized energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials, and water consumption			REDUCED FEATURE SIZE
<i>Factory Integration</i>				
Net feed water use (Liters/cm2)	3.5			
Fab UPW use (Liters/cm2)	3 – 5			
Tool UPW Use (Liters/cm2, per wafer pass)	0.05			
<i>Assembly & Packaging</i>				
Eliminate waste from molding process	Newly developed molding technologies			
Reduce water use	0.5X			
Reduce chemical use and consumption	0.5X			

Table 87 Design for Environmental, Safety, and Health Technology Requirements

YEAR OF PRODUCTION	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
DRAM ½ PITCH (nm)	130	115	100	90	80	70	65
<i>Factory Integration</i>							
Improved factory design and equipment integration for ESH	Case Study	ESH Design guidelines, methodology, and criteria defined		Safe, "Green" Fab Built			
	Consensus designs for chemical delivery and by-product management						
	Consensus design for equipment factory interface						

ESH の内因的要求事項 (2)

技術開発者 (科学者や技術者) は ESH 要求事項を満足するように技術的決断をするために、彼

ら自身の ESH 的直感や一緒に働いている ESH の専門家に頼るのがこれまでのやり方でした。ESH の目標は、しばしば方策や規制の目的を満足するために必要となるが、多くの場合、技術的決断をするための具体的な事柄を与えてくれない。ESH の内因的要求事項が、科学者や技術者がこれらの決定をすることができるような分析方法、データセット、実行方法を 専門的な ESH 関係者に明示してくれる。これらの中に含まれているのが以下のような主題であり、化学薬品と副生成物の性質の アセスメント、化学薬品の消費量と廃棄量の削減そして作業場所の保護である。

測定と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適用できる。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。

物質やプロセスの最小限の ESH への影響を決定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ツーデートされていなければ、その意味が薄れてしまう。 デバイスやプロセスの設計企画段階の間に環境に配慮した設計を行うため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いえる。 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。マテリアルバランス(物質の収支)を行うために P R T R プログラムの結果を適用することは有益かもしれない。

データベースの確立 データベースは使用する化学物質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)、化学物質を使用した後の排出処理方法、法律による規制条件等である。現在ある一般的なデータベースは化学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物質の環境への分配率(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。即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。

表 68a と b はともにエネルギーや水の保護や PFC 排出削減のような広く適用できる領域に対する数値目標、そこから個々の挿入技術に関する要求事項を引き出しうる、を与えている。

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、業界では新しい配線材料、低、高、CMP(chemical mechanical polishing:化学機械研磨)、および光配線の分野で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、およびそれに伴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、それによってプロセスの開発後や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 84a）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あげられる。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、平坦化用化学物質、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 84b）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あげられる。

気候変化の 1 つの可能性として、地球の温暖化が指摘されている。地球温暖化物質の 1 つである PFC (perfluorocompounds) は、配線工程におい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 85）は、PFC の放出量を 1995 年の基本レベルから 10%削減することであり、それが半導体業界が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の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 86a）で示したように、総合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および再生することも、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。化学物質の利用効率（F イオンの 30 ~ 70%分離）と組み合わせた場合、プラズマ処理のエネルギー効率は高くない。特にアイドル時あるいはチャンバクリーニングのための改良されたエンドポイント・センサにおいては、設置したいいくつかの基本装置をモニタし、電気の消費量が少なくなるように最適化することができる。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。

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 83a）としては、従業員が接する時間が少なく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 に関して問題となるのは、ゲート誘電体や電極のための新素材開発、天然資源（特に水）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や廃棄物の生成を抑制するためのプロセスの最適化である。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 EHS 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、特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。工場を計画する時は、ウェーハの取扱い（特に 300～450 mm 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。EHS 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、新材料の危険性を明らかに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。FEP が指摘する分野の中には、エッチ後のスルーホールおよび底面金属洗浄 無溶剤ドライ洗浄；銅層の洗浄（CMP 後の洗浄を含む） 湿式洗浄と乾式洗浄；窒化物ストリップのポリマー/残さの気相エッチおよび洗浄による除去；金属および異物の挙動-単純化された化学操作；希薄溶液を用いた化学処理；およびキレート剤の使用がある。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 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 および代替物質）の使用量の増加について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水の使用量削減の戦略が継続して進められている。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事故をなくすためには、低レベルの有機物を検出する信頼性の高い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。

材料 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) 成長したものである。130 nm 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、即ち、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 ~ 450 mm 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/薄膜 高 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。

さまざまな有機化合物(ハロゲンを含む)が高 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。BST(チタン酸バリウムストロンチウム、BaSrTiO₃)や PbLaTiO₃ といった化合物に関する研究がなされている。より複雑な誘電体としては、ZrSnTiO₄、SrBiTaO₄ や、PbZrTiO₄ といった化合物、その他の強誘電体、 piezo 化合物がある。N₂、FNO₂、O₂、NH₃、H₂(フォーミングガス)による熱処理も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。プロセス危険性分析装置は、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 を副生成物として放出しない代替 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 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はいないが、Cl 化合物が使用されるであろう。

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。即ち、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、シンナー、現像液、洗浄液、ストリッパー）、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）、露光装置（DUM 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、ショーストッパーの回避という問題がある。特に、新しい処理物質の評価、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、変更を行う前には必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され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、リスクアセスメントのデータ、TSCA の下での状態、作業員に対する曝露可能性のモニター手段、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。

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あげられる。また、代替物質や代替技術、新しい物質や技術のライフ・サイクルの分析、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 規格の使用があげられる。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、CO₂、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、CO₂ の分析、必要に応じた放射線防止プログラムの使用があげられる。

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あげられる。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。

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指摘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。作業環境が人間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。この様な規格やガイドラインは、オートメーション・システムやオートメーション・システムに使用する装置だけでなく、両者の間を取り持つインタフェースも対象となる。

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。SC 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、資源を保護、節約、管理するためのバランスのとれたプログラムを使用することが必要となる。このような資源を保護、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、大量の消費である。

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サプライヤ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、および資源の再利用、リサイクル、副生成物の再生を通じて廃棄物をほとんど出さない工場を建設することにある。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、従来のモルディング、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、クロミウム、ベリリウム、アンチモン、臭素化難燃剤などの物質に対しては、国際的な規制の圧力がますます高まっている。ヨーロッパ市場向けの製品については、2004 年までにこれらの物質に対する規制が適用されることが予想される。

はんだ付けを現行のプロセスで幅広く使い、機器の組み立てに多用している電子機器業界においては、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、鉛 (Pb) が大きな関心を集めている。はんだ付けの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、製品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さらに複雑にしている。

地球温暖化ガスの放出量の削減が求められていること、また、資源の保護という観点から、エネルギー消費の削減が必要となる。

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。

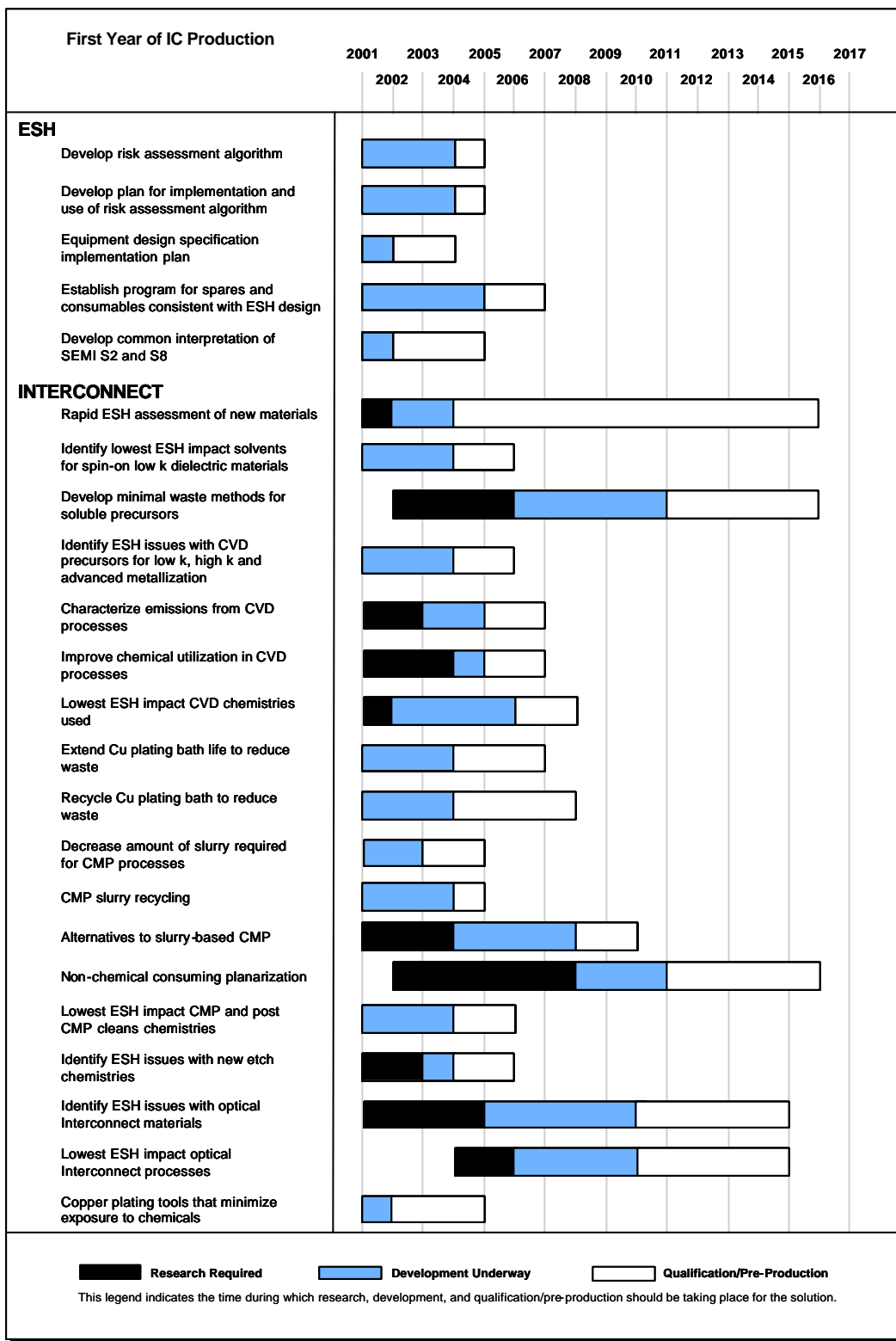


Figure 53 Potential Solutions for ESH: Chemicals, Materials, and Equipment, and Worker Protection

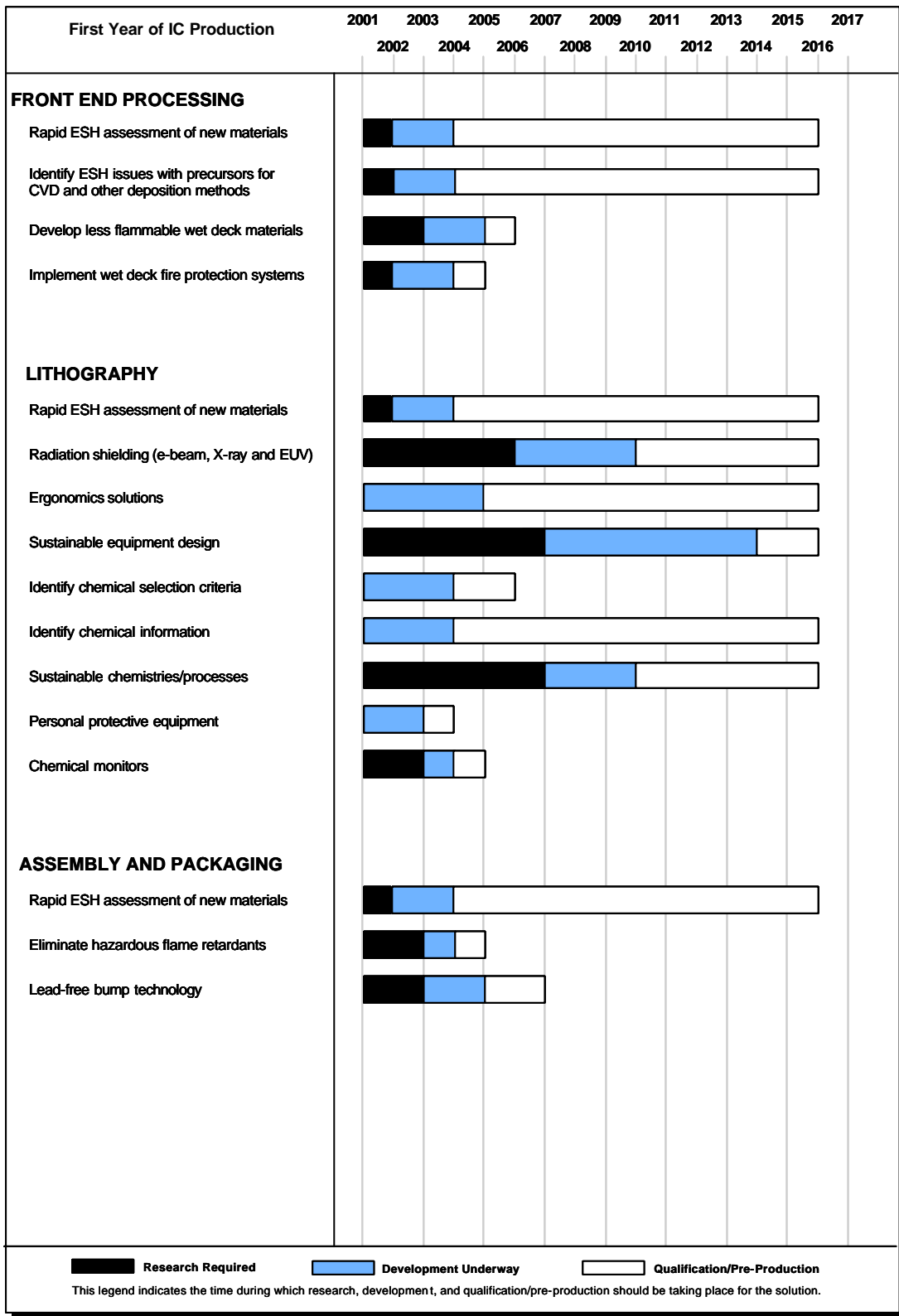


Figure 53 Potential Solutions for ESH: Chemicals, Materials, and Equipment and Worker Protection (continued)

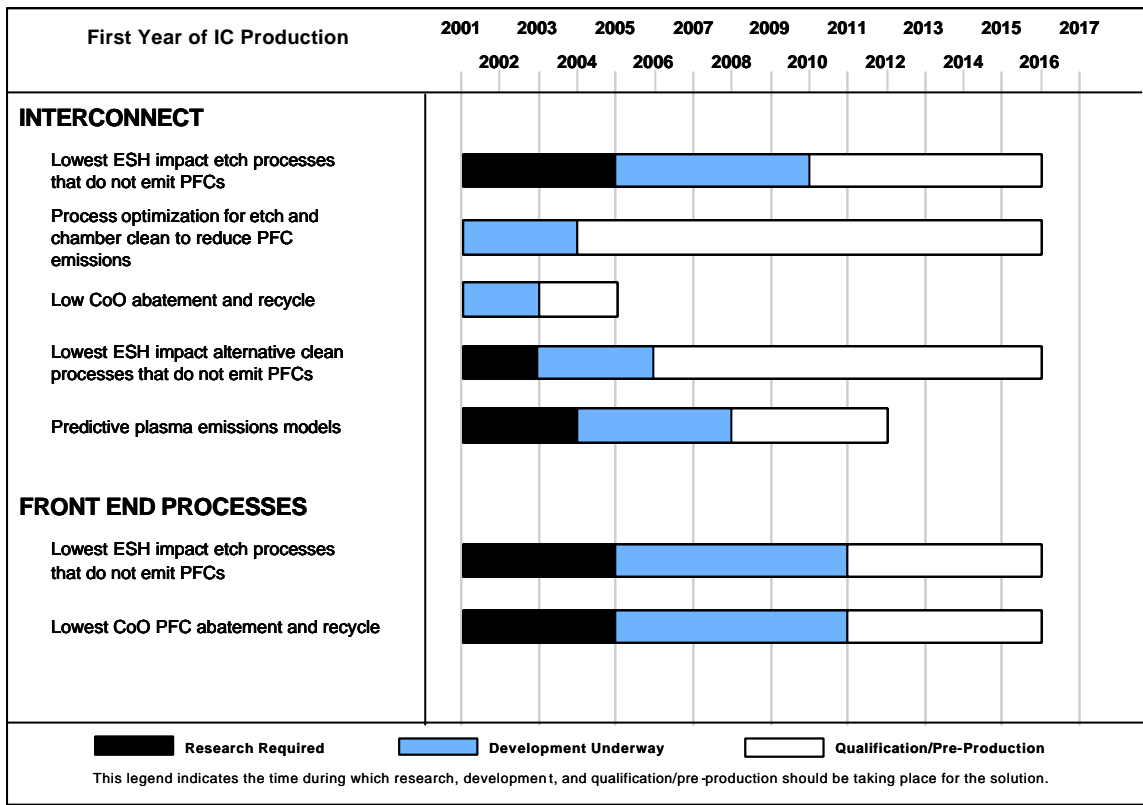


Figure 54 Potential Solutions for ESH: Climate Change Mitigation

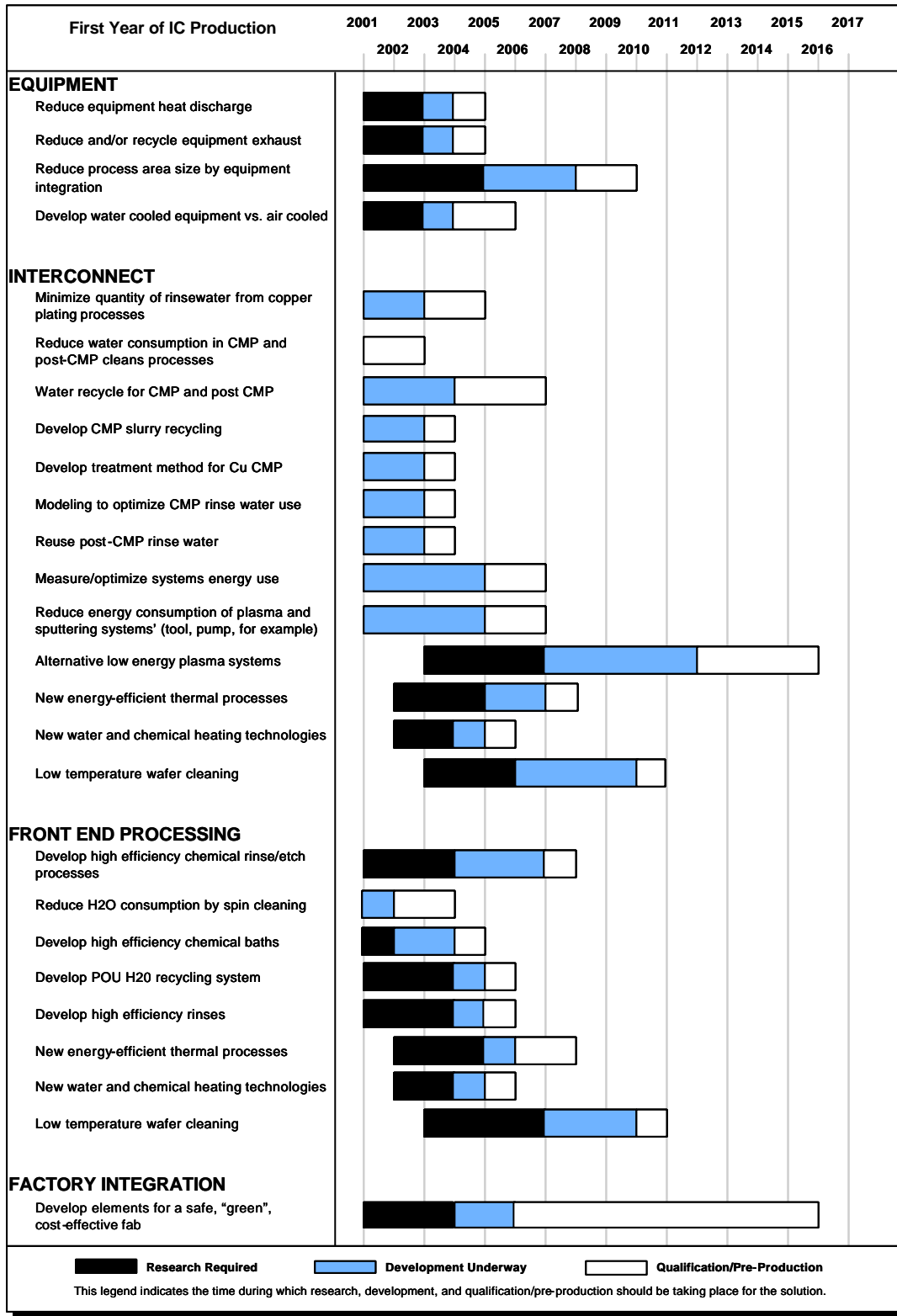


Figure 55 Potential Solutions for ESH: Resource Conservation

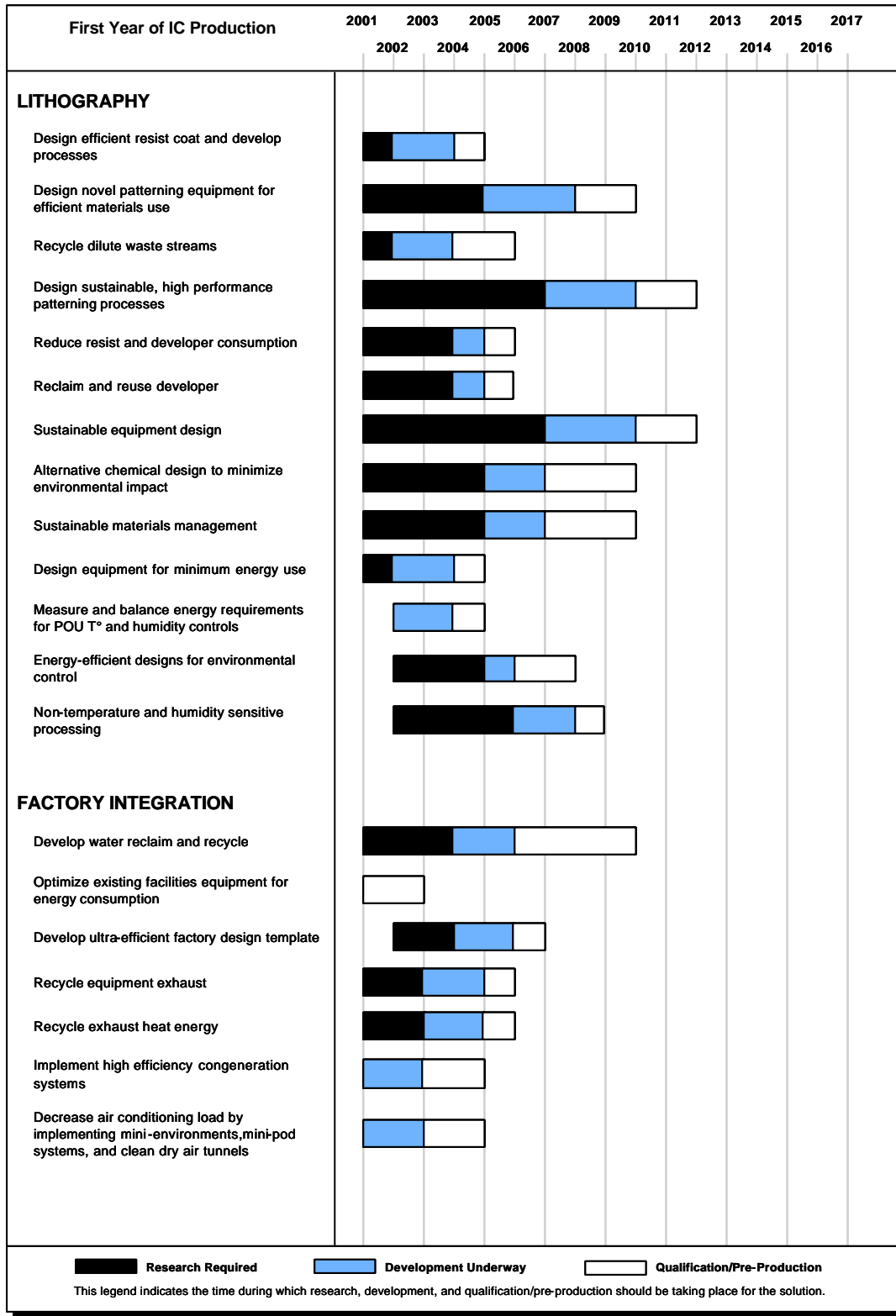


Figure 55 Potential Solutions for ESH: Resource Conservation (continued)

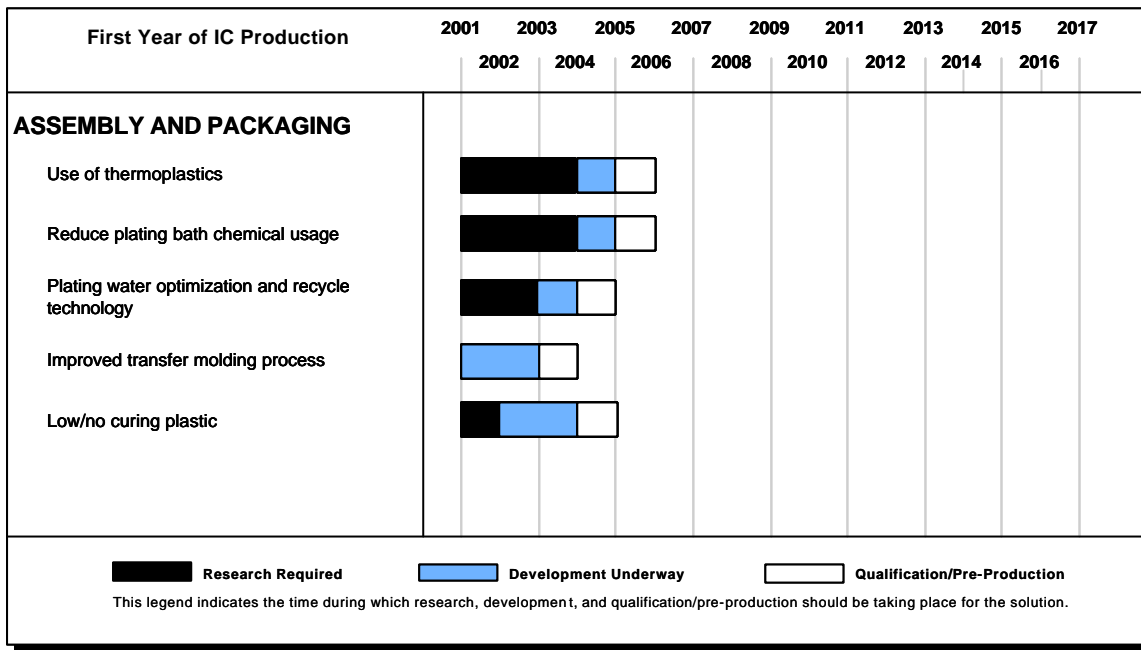


Figure 55 Potential Solutions for ESH: Resource Conservation (continued)