

13. 環境、安全、健康

13-1 スコープ

13-1-1 背景

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

13-1-2 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 69～73 に示した通りである。さらに、このロードマップは図 49～53 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ーに対して方向を示すことにより、解決策を見いだすことに焦点を当てている。製造活動や事業活動に ESH を統合することは、明白な優先事項である。将来の成功や改善を強く望むのであれば、プロセス、生産設備、付帯施設に携わる技術者や大学における研究者の思考や行動に ESH を反映させることが必要となる。これらの改善は、地域、国、および国際的な条件を満たすと同時にコスト、技術的パフォーマンス、製品開発のタイミングに好ましい効果をもたらし、リスクを最小限に抑え、一般市民や従業員の健康を守り、環境保護に資するものでなければならない。解決策は時宜を得たものでなければならないが、それと同時に将来にわたって効果をもたらし、長期的な成功を保証するものでなければならない。このロードマップが国際的なものとして策定された成果は、国際的な推進機関、および半導体業界、大学、政府が支援する ESH の関連機関の協力と努力の賜物である。

13-2 大チャレンジ

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み込まれる必要があるグローバルな5つの要求として、「化学物質、材料、および設備の管理」、「地球温暖化の防止」、「作業環境の安全」、「資源の節約」、「ESH 設計および測定手段」がある。「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。「地球温暖化の防止」が大きな問題となる理由は、温暖化を防止するためには製造プロセスに不可欠なエネルギーや化学物質の使用が制限される可能性があるためである。「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。これらの問題をコスト的にも時間的にも効率よく処理するためには、「ESH 設計および測定手段」を改善して多数の人が健全で調和のとれた選択と決定ができるようにする必要がある。

<i>FIVE DIFFICULT CHALLENGES ≥ 100 nm / BEFORE 2005</i>	<i>SUMMARY OF ISSUES</i>
Chemicals, Materials and Equipment Management	<i>Chemical Data Collection</i> Need to document and make available environment, safety, and health characteristics of chemicals. <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. <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.
Climate Change Mitigation	<i>Reduce Energy Use Of Process Equipment</i> Need to design energy efficient larger wafer size processing equipment. <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. <i>Reduce High Global Warming Potential (GWP) Chemicals Emission</i> Need ongoing improvement in methods that will result in emissions reduction from GWP chemicals.
Workplace Protection	<i>Equipment Safety</i> Need to design ergonomically correct and safe equipment. <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.
Resource Conservation	<i>Reduce Water, Chemicals And Materials Use</i> Requirements for large amounts of water, chemicals, and materials limit sustainable growth. <i>Waste Recycle</i> Increase in resource use as the result of increasing process complexity will require that efficient waste recycling methods be developed.
ESH Design and Measurement Methods	<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.

表 68 ESH に関する要求

<i>FIVE DIFFICULT CHALLENGES < 100 nm / BEYOND 2005</i>	<i>SUMMARY OF ISSUES</i>
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.
Climate Change Mitigation	<i>Reduce Energy Use</i> The importance of reducing energy use for climate change will grow. <i>Reduce High GWP Chemicals Emissions</i> No known alternatives and international regulatory pressure to reduce emissions of GWP chemicals.
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.
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.
ESH Design and Measurement Methods	<i>Evaluate and Quantify ESH Impact</i> Need integrated ESH design in development of new equipment and processes.

表 68 ESH に関する要求 (続き)

13-3 ESH に関する技術的要求および解決策候補

13-3-1 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 — とくに、温室効果ガスやオゾン層破壊物質に関しては、これまで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。したがって、マテリアルバランスを管理するシステムが必要となる。管理の対象となる化学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。

13-3-2 地球温暖化の防止

半導体の複雑化やウェーハの大型化にともなう生産設備のエネルギー消費の増大、およびクリーンルームの清浄度の高度化による空調設備のエネルギー消費の増加により、エネルギーの消費量が拡大しつつある。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 50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。

13-3-3 作業環境の安全

業界は、設備、プロセス、メンテナンス、工場の設計、工場の統合に関し、次に挙げる解決策を活用して危険を防止するためのあらゆる標準計画を承認し、全面的に採用しなければならない。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)の拡大にともなって必要となるウェーハ処理システムでは、システムの運転およびメンテナンス時の作業員に対する危険が増大する可能性がある。自動化された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。

13-3-4 資源の節約

水 — ウェーハの大型化、高い純度の水に対する需要の拡大、プロセスの数の増加は、ウェーハあたりの水の使用量が増加する潜在的傾向を示している。この傾向は、洗浄効果の高いプロセスの開発、プロセスに使用する高品質の水の再利用、プロセス以外に使用する低品質の水の再利用といった方法を組み合わせることで歯止めをかけることができる。

半導体の製造には、UPW (ultrapure water、超純水) が使用される。UPW の製造は大量の化学物質を必要とするため、UPW の使用量や純度を上げることは化学物質の使用量(および超純水の製造コスト)を増やす要因となってきた。したがって、UPW の使用量や生産量の削減は、化学物質によ

る環境への影響の低減や製造コストの削減につながる。水資源の豊富な場所では、当該地域の水の再利用および再処理のコストを検討した上で水のリサイクル・システムを導入するべきである。

再処理機能や再利用機能を備えた将来の給水システムを正しく運用するためには、オンラインで汚染をモニタできる信頼性が高く、反応が早いセンサが必要となる。将来の UPW プラント、給水システム、排水の貯水システムを設計、運用するためには、システムのシミュレーション・ツールと高度な管理手法が必要となる。また、エネルギーや化学物質の使用を抑制するためには、水を効率的に浄化する新しい手段が必要となる。必要とされる純度の水の供給能力を備えた新しい工場を設計することが不可欠である。そうすることで、廃棄する水の量を減らし、水の使用による環境への影響を抑制することが可能になろう。

エネルギー — エネルギー資源に対する制約は、業界が既存の工場を拡張したり、新しい工場の建設する能力を制限する要因となる可能性がある。半導体メーカーは、ここ数年エネルギー効率が改善されていることを宣伝してきたが、潜在的な資源の制約により、業界では引き続きエネルギー効率の改善が求められる。

13-3-5 ESH 設計および測定手段

測定や評価の手段の 1 つの重要な要素として、リスク管理が挙げられる。1 つの例として、化学業界が行った調査の結果を若干の修正を加えたうえで半導体業界に適用することができる。リスクを特定、査定、許容するためには、標準化された手段が必要である。

ESH に与える影響が最も低い原料やプロセスを決定する手段を開発する必要がある。測定や査定の手段は、使いやすく、信頼性の高いものでなければならない。また、新しい半導体技術やその他の技術の進歩に応じて改善されなければ意味をなさない。機器やプロセスの設計段階で環境に配慮した設計が行えるような設計アルゴリズムが必要となる。

ESH の評価に際しては、プロセスの分析も 1 つの要素となる。たとえば、プラズマ・プロセスなどのプロセスで発生する副生成物は、重要な問題である。ESH の影響が最も小さくなるようなプロセスを開発するためには、それぞれのプロセスにおける元素の化学反応について理解し、新しい測定および評価手段を使用しなければならない。マテリアルバランスという点では、PRTR (pollutant release and transfer register、汚染物質の排出移動登録) プログラムを適用することも 1 つのメリットといえよう。

データベースの確立 — 使用する材料や化学物質に関するリスクアセスメントを正確に実施するためには、情報を保存するデータベースが必要となる。データベースには、安全性に関するデータ、環境に与える負荷、放出される物質の分散係数 (拡散モデル)、材料を使用する際の放出物質の処理方法、法律で定められた条件などの情報を記録する。現時点では、化学物質の包括的なデータベースが化学業界によって作成されているが、とくに、使用されるプロセスに関するデータや化学物質の環境への分散係数 (拡散モデル) についてのデータは十分ではない。

水 — 洗浄効果の高いプロセスの開発、製造プロセスに使用する高品質の水の再利用、プロセス以外に使用するへの低品質の水の再利用の最適なバランスを考えるためのプロセス・シミュレーション・ツールやコスト最適化ツールが必要となる。

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
ESH								
Chemical risk assessment	Algorithm						Applica- tion	New processes
Data accumulation								
Existing chemicals	Design of data base			50%		100%		
New chemicals	Design of data base					After 2 years of market intro		New processes
Assessment of new chemicals: safety data and environmental load/impact	Evaluation terms and method			Evaluation system		Data accumula- tion		
Reduction of environmental load/impact materials								
Existing materials	Lead-free process and structure							
	Bromine-, Antimony-free fire- resistant plastics, Beryllium-free							
	Assessment of other materials			Substitution process and disposal treatments				
By-product materials				Process evaluation		Substitutio n process and disposal treatments		
Material LCA				Algorithm		Operation		
Environmental management								
Material balance	Algorithm			Pollutant release, and transfer disclosure (PRTR)		Automatic PRTR data acquisition system		
Disposal management	System design						Operation	
Equipment standards	Identify gaps in existing standards		Implement comprehensive foundation of international standards					
ESH impact of spares and consumables	Analysis of impact			Do testing and generate specifications				

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 69a 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術的要求—短期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
Interconnect								
Low κ materials – spin on and CVD		Lowest ESH impact solvents/ CVD precursors			Emissions models/ESH benign processes			Speed, signal loss
Copper processes	Extend plating bath life		Lowest ESH impact plating chemistries		Plating bath recycle/ESH benign CVD processes			Speed, reliability
Advanced metallization			Lowest ESH impact processes/ emissions characterization			Improved chemical utilization		Perform, cost, SoC
Planarization	Reduce slurry required			Slurry recycling/ESH benign chemistries				Planarity
Plasma processes			Lowest ESH impact etch chemistries					Etch/clean
Front end Processes								
High κ	ESH evaluation for high κ		Lowest ESH impact high κ materials		ESH benign processes			
	Low-hazard precursor materials		Low-hazard deposition methods		ESH benign processes			
			High κ materials without potentially toxic/bioaccumulative metals (Pb, Ni)		Lowest hazard metal compounds			
Doping processes	Subatmos- pheric hydride and halo- genated gas delivery systems	Subatmospheric delivery for additional dopants			Lowest hazard dopant materials			
Surface preparation	Fundamental research on surface/interface science		Ongoing research and integration of solutions		Optimized surface preparation processes			
	Alternate wafer rinse methods		Incorporation into new rinse/clean tools					
	Alternate clean methods (O ₃ , super- critical etc., research)		In situ chemical generation		Chemical optimization of high κ cleans			
	Elimination of sulfuric acid							
Front end etch	Characterize plasma by-products		Plasma process simulation-optimize processes for by-product destruction					
Lithography								
Introduction and integration of new equipment into manufacturing								Reduced feature size
Optical		Hazardous chemicals, material compatibility						
e-Beam		Ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, disposal						
EUV		Non-ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, disposal						
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing: Optical, e-Beam, and EUV		New chemicals, purification requirements, wastes, emissions						Reduced feature size

Solutions Exist

Solutions Being Pursued

No Known Solutions

表 69a 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術的要求—短期(続き)

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70 nm	2011 50 nm	2014 35 nm	DRIVER
<i>ESH</i>				
Data accumulation				
New chemicals	After 1 year of market intro			New processes
Material LCA	Revision			
<i>Interconnect</i>				
Low κ materials	Zero waste deposition/soluble precursors			Speed, signal loss
Copper/advanced metallization	Zero waste deposition			Speed
Planarization	Non-chemical consuming processes			Planarity
Optical interconnect	Lowest ESH impact materials & processes			Speed
<i>Front End Processes</i>				
High κ dielectrics	ESH benign materials and deposition processes			
Doping	Self-cleaning dopant tools (<i>in situ</i> clean)			
	ESH benign materials and processes			
Surface preparation	Ambient temperature cleans			
	"No-clean" processes			
Front end etch	ESH – benign process, including high κ etch methodologies			
<i>Lithography</i>				
Introduction and integration of new equipment into manufacturing				Reduced feature size
Optical	Hazardous chemical, material compatibility			
e-Beam and EUV	Ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, disposal			
Innovative options	Ionizing/non-ionizing radiation, ergonomics, chemical consumption, disposal			
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing				Reduced feature size
Optical	New chemicals, purification requirements, wastes, emissions			
e-Beam, EUV, and innovative options	New chemicals, purification requirements, wastes, emissions			

Solutions Exist

Solutions Being Pursued

No Known Solutions

表 69b 化学物質、原料、および機器の管理に関する技術的要求—長期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
ESH								
Energy consumption: overall fab equipment kWh/cm ² (kWh/in ²)	0.5 (3.2)–0.7 (4.5)						0.4 (2.6)–0.5 (3.2)	
Energy consumption: fab facility kWh/cm ² (kWh/in ²)	0.5 (3.2)–0.7 (4.5)						0.4 (2.6)–0.5 (3.2)	
300 mm production fab equipment energy consumption	X*				0.5X			Productivity
Reduce PFC emissions	[Note 1]							
Front End Processes								
Reduce PFC emissions (etch)	Develop optimized etch processes, alternate chemistries, and cost effective abatement							
				Continued research in alternate etch chemistries				
Lithography								
Equipment energy and material consumption								Reduced feature size
e-Beam		Emission of climate change gases, energy consumption						
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing							Reduced feature size	
e-Beam		Use of climate change gases, air emissions, wastes						
Assembly & Packaging								
Reduce energy use	X	0.8X						

* X is based on 200 mm tool energy per wafer requirement.

[Note 1] 10% or greater absolute reduction from 1995 baseline by 2010 is agreed to by the World Semiconductor Council.

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 70a 地球温暖化防止に関する技術的要求—短期

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70 nm	2011 50 nm	2014 35 nm	DRIVER
ESH				
Energy consumption: overall fab equipment kWh/cm ² (kWh/in ²)	0.4 (2.6)–0.5 (3.2)	0.3 (1.9)–0.4 (2.6)		
Energy consumption: fab facility kWh/cm ² (kWh/in ²)	0.4 (2.6)–0.5 (3.2)	0.3 (1.9)–0.4 (2.6)		
300 mm production fab equipment energy consumption	0.4X			Productivity
Reduce PFC emissions	Note 1			
Lithography				
Equipment energy and material consumption				Reduced feature size
e-Beam	Emission of climate change gases, energy consumption			
Innovative options	Emission of climate change gases, energy consumption			
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing				Reduced feature size
e-Beam	Use of climate change gases, air emissions, wastes			
Innovative options	Use of climate change gases, air emissions, wastes			
Assembly & Packaging				
Reduce energy use	0.5X			

* X is based on 200 mm tool energy per wafer requirement.

[Note 1] 10% or greater absolute reduction from 1995 baseline by 2010 is agreed to by the World Semiconductor Council.

Solutions Exist 

Solutions Being Pursued 

No Known Solutions 

表 70b 地球温暖化防止に関する技術的要求—長期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
ESH								
Equipment safety, gases and chemicals leak, and equipment stability during an earthquake	Implement S2 Safety Guidelines and S8 Ergonomic/ Human Factor Guidelines ^{50, 51}							
Safe interface of Automated Material Handling Systems (AMHS) and manufacturing equipment	Standardized control features and procedures							
Comprehensive exposure data	Comprehensive industrial hygiene (IH) exposure data For operations and maintenance							
MSDS data sheets	Industry standardized format	Use format						
Personal protection equipment (PPE)				Test and rate PPE against chemicals used				
PPE trade-off versus hazard elimination or engineering control		Cost of PPE per employee per shift						
Protocol for selecting risk management solutions	Industry acceptance	Full implementation						
Reduced chemical exposure	Isolate workers from chemicals and by-products during operation and maintenance							
Ergonomic improvement	Understand physiological stresses	Minimize/eliminate physiological stresses						
New chemical qualification	Collaboration of government/academia/industry/company resources							
X-ray exposure	Fundamental research required							
Endocrine disruptors in mold resin	Develop new materials							
N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) exposure					Phase out			
Interconnect								
Copper plating processes		Tools w/reduced employee exposure						
Front End Processes								
Less flammable wet deck materials	Develop new materials							
Work environment	Continued reduction of physical stressors in clean room environment – noise, non-ionizing radiation, thermal stress							
High κ		Lowest hazard materials and precursors						
Doping	Low pressure dopants	Reduced potential for exposure during maintenance				Low hazard dopants		
Surface preparation	Robotics safety		Reduced chemical use in clean processes		Inert material cleans (supercritical, cryogenic)			
Front end etch	Minimize potential exposure to plasma etch by-products		Optimize processes to minimize production of potentially hazardous by-products					
Solutions Exist ☐ Solutions Being Pursued ☐ No Known Solutions ☐								

⁵⁰ SEMI. S2-93A – Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment.

⁵¹ SEMI. S8-95 – Safety Guidelines for Ergonomics / Human Factors Engineering of Semiconductor Equipment.

表 71a 作業環境の安全に関する技術的要求—短期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
Lithography								
Health and safety								Reduced feature size
Optical		Ergonomics issues, potential exposure to hazardous chemicals						
e-Beam		Ergonomics issues, hazardous chemicals, potential exposure to ionizing radiation						
EUV		Ergonomics issues, potential exposure to hazardous chemicals, potential exposure to non-ionizing radiation						
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing								Reduced feature size
Optical		Potential exposure to toxic chemicals						
e-Beam and EUV		Hazardous chemical use						

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 71a 作業環境の安全に関する技術的要求—短期(続き)

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70 nm	2011 50 nm	2014 35 nm	DRIVER
ESH				
Comprehensive exposure data	Industry database of IH exposure data			
New chemical qualification	Apply new methods			
X-ray exposure	Collaboration of government/academia/company resources	Apply new methods		
Endocrine disrupters in mold resin	Use new materials			
NMP exposure	Complete elimination			
Interconnect				
Optical interconnect	Tools with no employee exposure			
Front End Processes				
Less flammable wet deck materials	Use new materials			
High κ	ESH-benign dielectrics, electrode materials and deposition processes			
Doping	Low hazard dopants			
Surface preparation	Novel rinse/clean methods that reduce water and chemical usage			
Starting materials	Ergonomic design of tools and wafer handling for >300 mm wafers			
Front end etch	In situ equipment clean processes			
Lithography				
Health and safety				Reduced feature size
Optical and e-beam	Potential exposure to hazardous chemicals			
EUV	Potential exposure to non-ionizing radiation			
Innovative options	Potential exposure to ionizing/non-ionizing radiation			
Specification and integration of new chemicals and materials introduced into manufacturing				Reduced feature size
Optical, e-beam, and EUV	Potential exposure to toxic chemicals			
Innovative options	Potential exposure to toxic chemicals			

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 71b 作業環境の安全に関する技術的要求—長期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
ESH								
Zero emissions	Thorough recycle/reuse system						Develop recycling technology	
Recycle rate: %	60%			65%				
Interconnect								
Copper processes		Minimize rinsewater						
Planarization	Reduce water consumption			Water recycle				
Plasma processing		Measure/ optimize energy use		Reduce tool/system energy requirements				
Front End Processes								
High κ			Energy-efficient deposition processes			Precise uniform thermal processes with minimal energy consumption		
Doping		Energy-use evaluation for future doping technologies such as PGILD			Energy efficient processes			
Surface preparation	Energy use quantification for surface preparation methodologies		Energy efficient clean process with heated chemistries and UPW					
	Water conservation through rinse optimization; idle flow reduction		Incorporation of novel rinse methodologies in wet tools			Novel water reduction techniques derived from surface/interface science		
Front end etch	Measure/ optimize energy use		More energy efficient plasma processes					
Starting Materials		Quantitation of energy/water reduction from simplified SOI-based process flows						
Lithography								
Optimization of resource consumption by equipment: optical, e-beam, and EUV		Equipment energy consumption, equipment related chemicals/ gases/materials						Reduced feature size
Optimization of resource usage: optical, e-beam, and EUV		Water/waste recycle/reuse/reduction						Reduced feature size
Factory Integration								
Decrease net feed water use Liters/cm ² (gal/ in ²)	7.6 (13)	7.6 (13)	5.9 (10)	5.9 (10)	3.5 (6)	3.5 (6)	2.9 (5)	
Decrease UPW use Liters/cm ² (gal/ in ²)	6 (10.2)–8 (13.6)			5 (8.5)–7 (11.9)			4 (6.8)–6 (10.2)	
Assembly & Packaging								
Eliminate waste from molding process	Develop/use new molding technologies							
Reduce water use	X	0.8X						
Reduce chemical use and consumption	X	0.8X						

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 72a 資源の節約に関する技術的要求—短期

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70 nm	2011 50 nm	2014 35 nm	DRIVER
ESH				
Zero emissions (recycle rate: %)	80%	90%		
Front End Processes				
Surface preparation	Ambient temp. processes	Virtual closed loop water systems		
Lithography				
Optimization of resource consumption by equipment: optical, e-beam, and EUV	Equipment energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials			Reduced feature size
Innovative options	Equipment energy consumption, equipment related chemicals/gases/materials			
Optimization of resource usage: optical, e-beam, and EUV	Water/waste recycle/reuse/reduction			Reduced feature size
Innovative options	Water/waste recycle/reuse/reduction			
Factory Integration				
Decrease net feed water use Liters/cm ² (gal/in ²)	1.2 (2)			
Decrease UPW use Liters/ cm ² (gal/ in ²)	3 (5.1)–5 (8.5)			
Assembly & Packaging				
Reduce/eliminate waste from molding process	Develop/use alternative molding materials			
Reduce water usage	0.5X			
Reduce chemical use and consumption	0.5X			

Solutions Exist 

Solutions Being Pursued 

No Known Solutions 

表 72b 資源の節約に関する技術的要求一長期

YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180 nm	2000	2001	2002 130 nm	2003	2004	2005 100 nm	DRIVER
ESH								
Methodology for determining lowest ESH impact of materials and processes	Develop basic approach			Beta test the approach			Integrate approach into industry	
Material balance	Basic study			System performance check by existing data			Implement	
Risk assessment	Standardized methodology to identify, access, and accept risk							
Case study for cost and relative risk model	Case study							
Relative risk model with cost performance				Modeling			Check and improvement	
Default values for risk and cost model				Interim version			Improve accuracy	
Design tool integration				Basic study of integration for different values			Study for integration	
Resource cycle system model	Basic approach			Modeling			Check and improvement	
Process simulation model				Establish basic methodology			Develop advanced process methods	
Evaluation of major process				Use of simulation model on a major process			Use on advanced processes	
Data base for chemicals and materials				Software development				
Data base for regulatory requirements				Survey on requirements, guidelines, NGO trends, and others				
Lithography								
Equipment design tools—optical, e-beam, and EUV		Risk assessment/performance/cost of ownership						Reduced feature size
Chemical usage design tools—optical, e-beam, and EUV		Risk assessment/performance/cost of ownership						Reduced feature size
Factory Integration								
Improved factory design and equipment integration for ESH	Training for factory designers				Implement			
	Industry strategy to develop and write codes							
	Consensus designs for chemical delivery and by-product management			Implement				
	Consensus design for equipment factory interface							

Solutions Exist

Solutions Being Pursued

No Known Solutions

表 73a ESH 設計および測定手段に関する技術的要求—短期

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70 nm	2011 50 nm	2014 35 nm	DRIVER
<i>ESH</i>				
Design tool integration	Integration			
Evaluation methodology for resource cycle system model	Performance and predictability check			
Process simulation model	Develop advanced process methods			
Evaluation of major process	Use on advanced processes			
<i>Lithography</i>				
Equipment design tools				Reduced feature size
Innovative options	Risk assessment/performance/cost of ownership			
Chemical usage design tools				Reduced feature size
Innovative options	Risk assessment/performance/cost of ownership			

Solutions Exist ☐

Solutions Being Pursued ☐

No Known Solutions ☐

表 73b ESH 設計および測定手段に関する技術的要求—長期

13-3-6 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 κ 、高 κ 、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、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 69a)の 1 つとして、配線工程のすべての分野において最も影響の小さい材料やプロセスを開発することが挙げられる。これには、スパイン・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 69b)としては、誘電体と金属の両方を対象とした廃棄物を生じないデポジションプロセス、および化学物質を使用しない平坦化プロセスの開発が挙げられる。

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 70)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するようにしてゆくためには、業界がブ

プロセスの最適化、代替物質の使用、リサイクル、除害といった方法を通じて PFC の放出量の削減に努める必要がある。新しい材料を開発することは、新しいエッチ技術の導入につながる。温暖化係数の高い副生成物を発生せず、ESH に対する影響を最小限に抑えられるようなエッチ・プロセスを開発しなければならない。このことは、CVD チャンバのクリーニングにもあてはまる。

CMP に対する必要性が高まることは、配線が化学物質と水の両方を最も多く使用する分野となることを意味する。短期的に見た場合の資源の節約に関する技術課題(表 72a)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。とく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 71a)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。

13-3-7 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(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、とくに機器のメンテナンスに際しての物理的

な事故(熱、非イオン化放射、レーザ、およびロボットによる危険)に関しても対応しなければならない。工場を計画する時は、ウェーハの取扱い(とくに 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及び底面金属洗浄 — 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/残さの気相エッチ及び洗浄による除去;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 κ 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、すなわち、他の結晶よりも使用する化学物質やエネルギーが少ないので ESH の観点からは好ましい可能性がある。300~450 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 κ 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 κ 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、 BaSrTiO_3)や PbLaTiO_3 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、 ZrSnTiO 、 SrBiTaO や、 PbZrTiO といった化合物、その他の強誘電体、piezo化合物がある。 N_2 、 FNO_2 、 O_2 、 NH_3 、 H_2 (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(SiH_4 、 B_2H_6 、 PH_3 、 SbH_3 、 AsH_3 など)、金属アルキル、レーザガスの管理に有効である。さまざまなドーピング物質に関して減圧ガス供給システムを開発する必要がある。

フロントエンドのプラズマ・エッチ — 引き続き PFC を使用するためには、短期的にはプロセスの最適化およびガス使用効率の向上(プロセス中での変換効率)が必要になる。長期的には、PFC を副生成物として放出しない代替 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 κ 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。

13-3-8 リソグラフィ

リソグラフィに関する ESH について考える場合、4つの分野が対象となる。すなわち、リソグラフィおよびマスク製造用の化学物質(フォトレジスト、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。とくに、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、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、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、使用する化学物質の毒性、放射線の危険の防止、リスクアセスメント、COO、危険なエネルギーやビームの遮蔽について理解することである。

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

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

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

13-3-9 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。

13-3-10 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更に複雑にしている。

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。

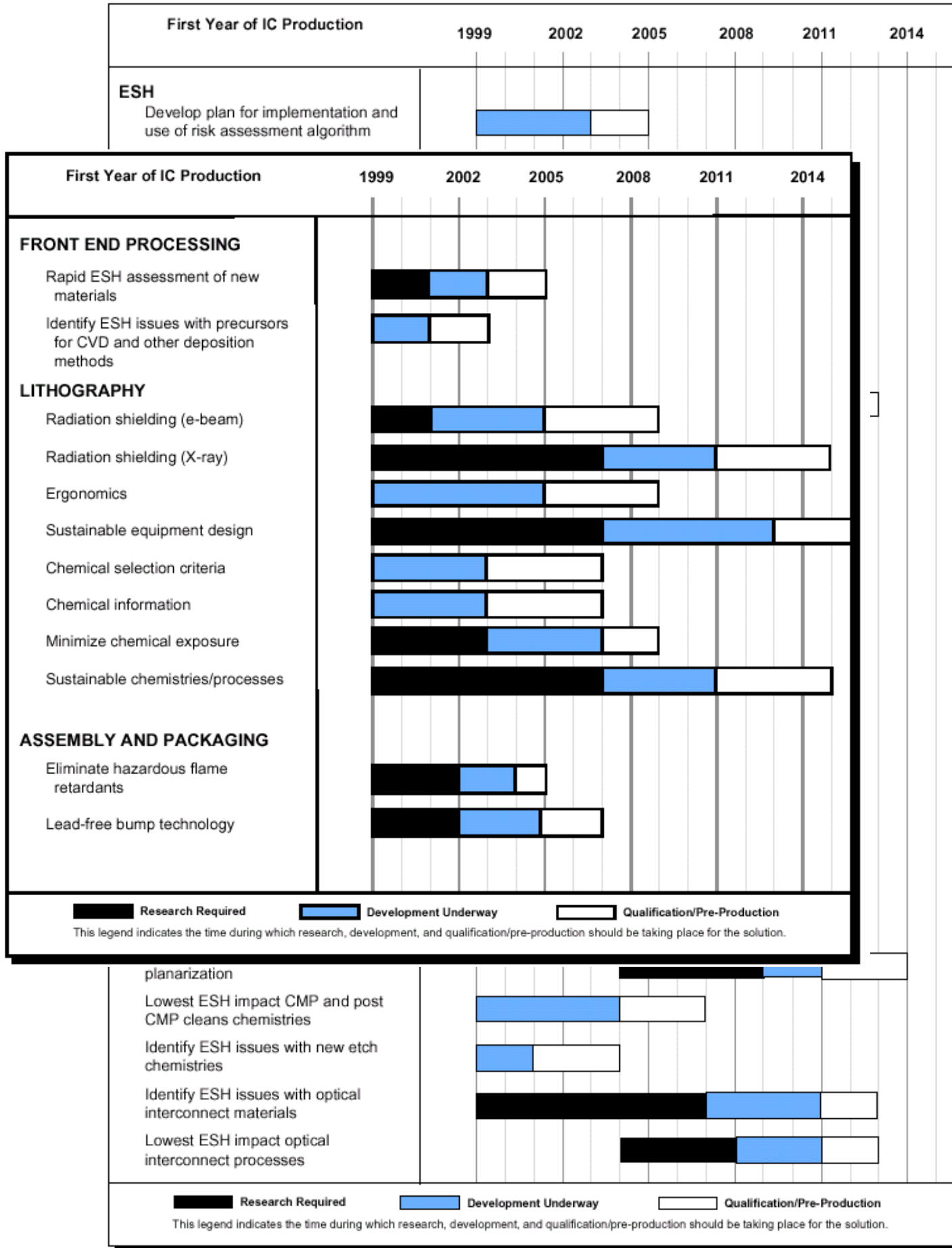


図 49 ESH に関する解決策候補:化学物質、原料、および機器

図 49 ESH に関する解決策候補:化学物質、原料、および機器 (続き)

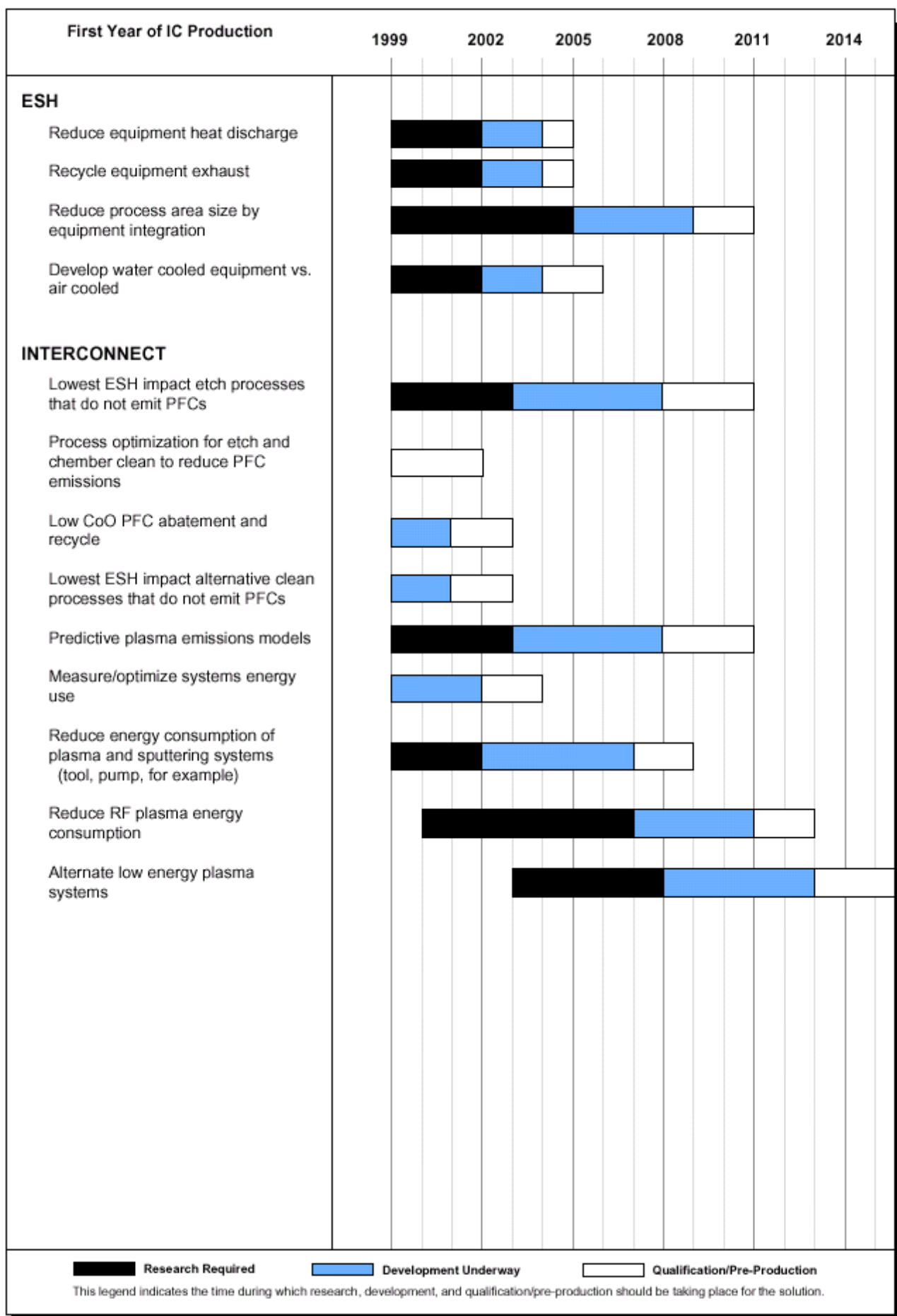


図 50 ESH に関する解決策候補：地球温暖化の防止

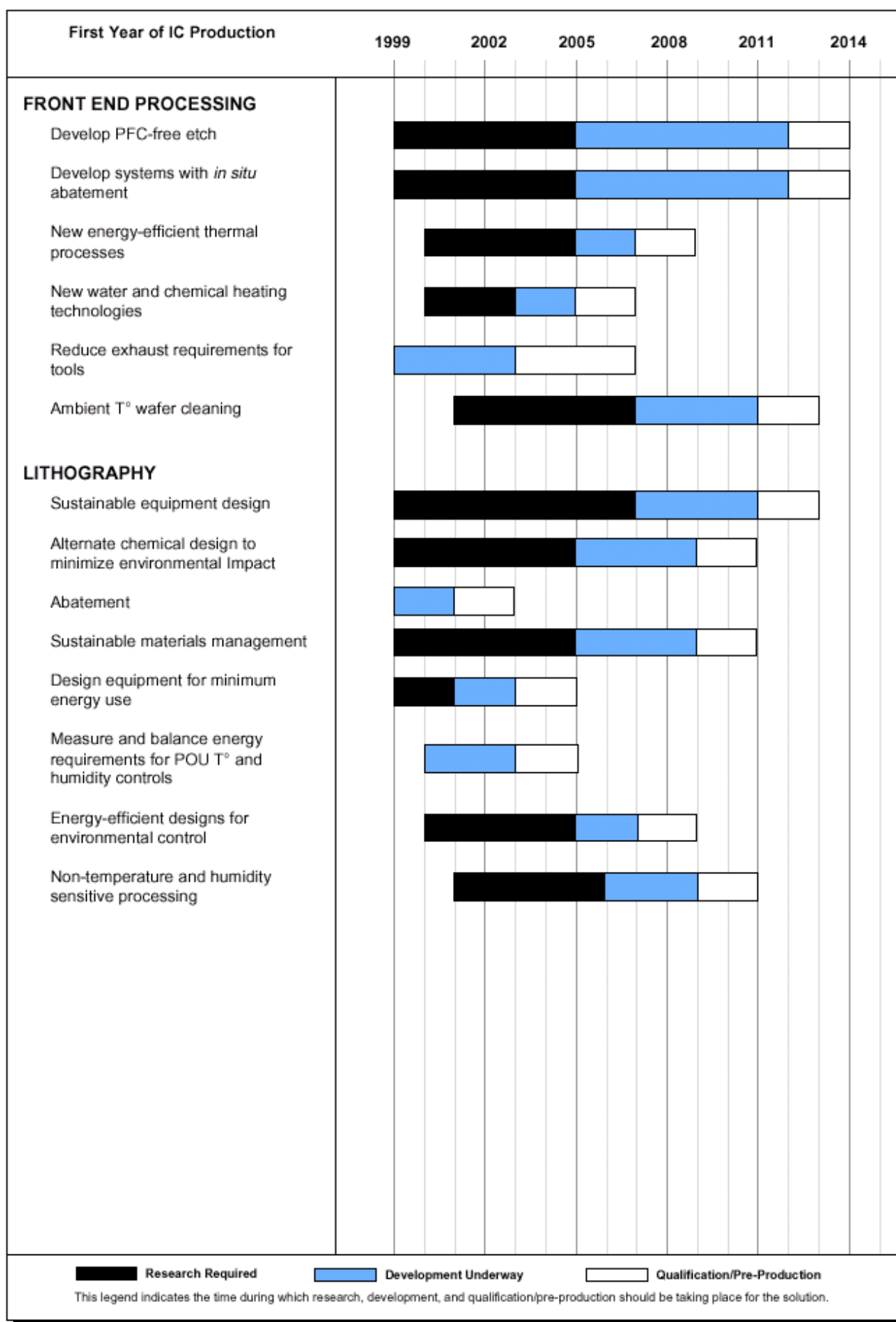


図 50 ESH に関する解決策候補：地球温暖化の防止（続き）

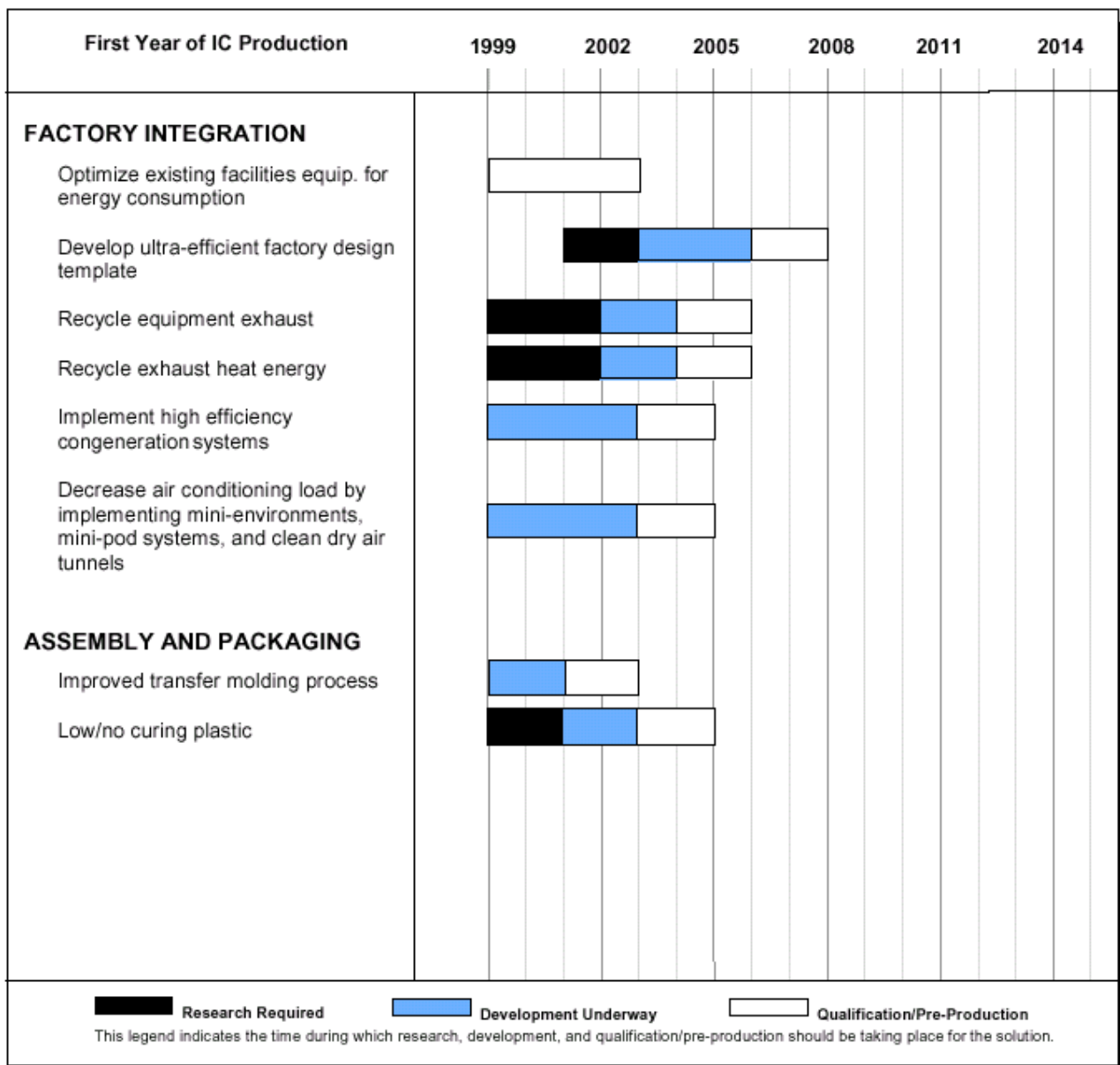


図 50 ESH に関する解決策候補：地球温暖化の防止（続き）

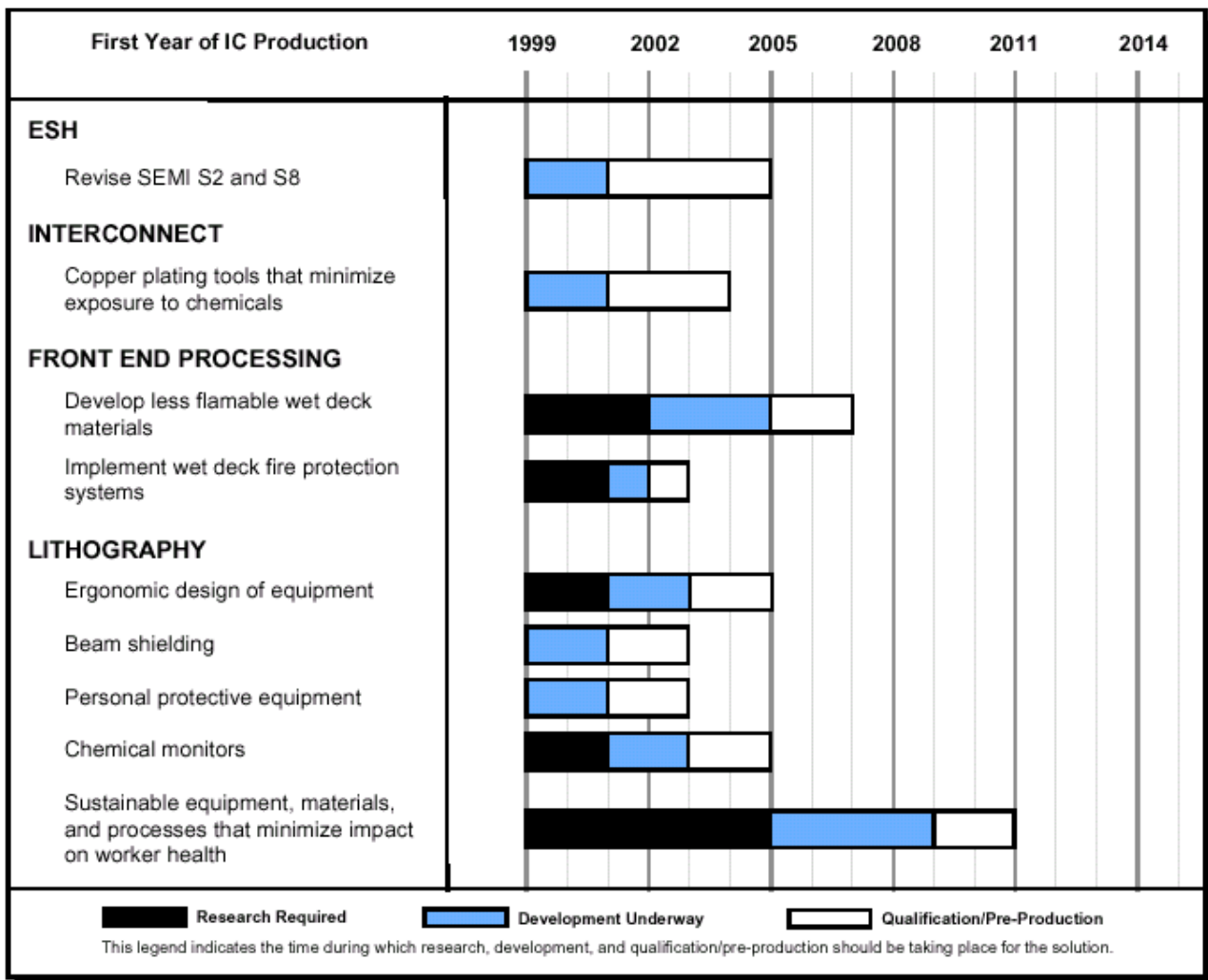


図 51 ESH に関する解決策候補：作業環境の安全性

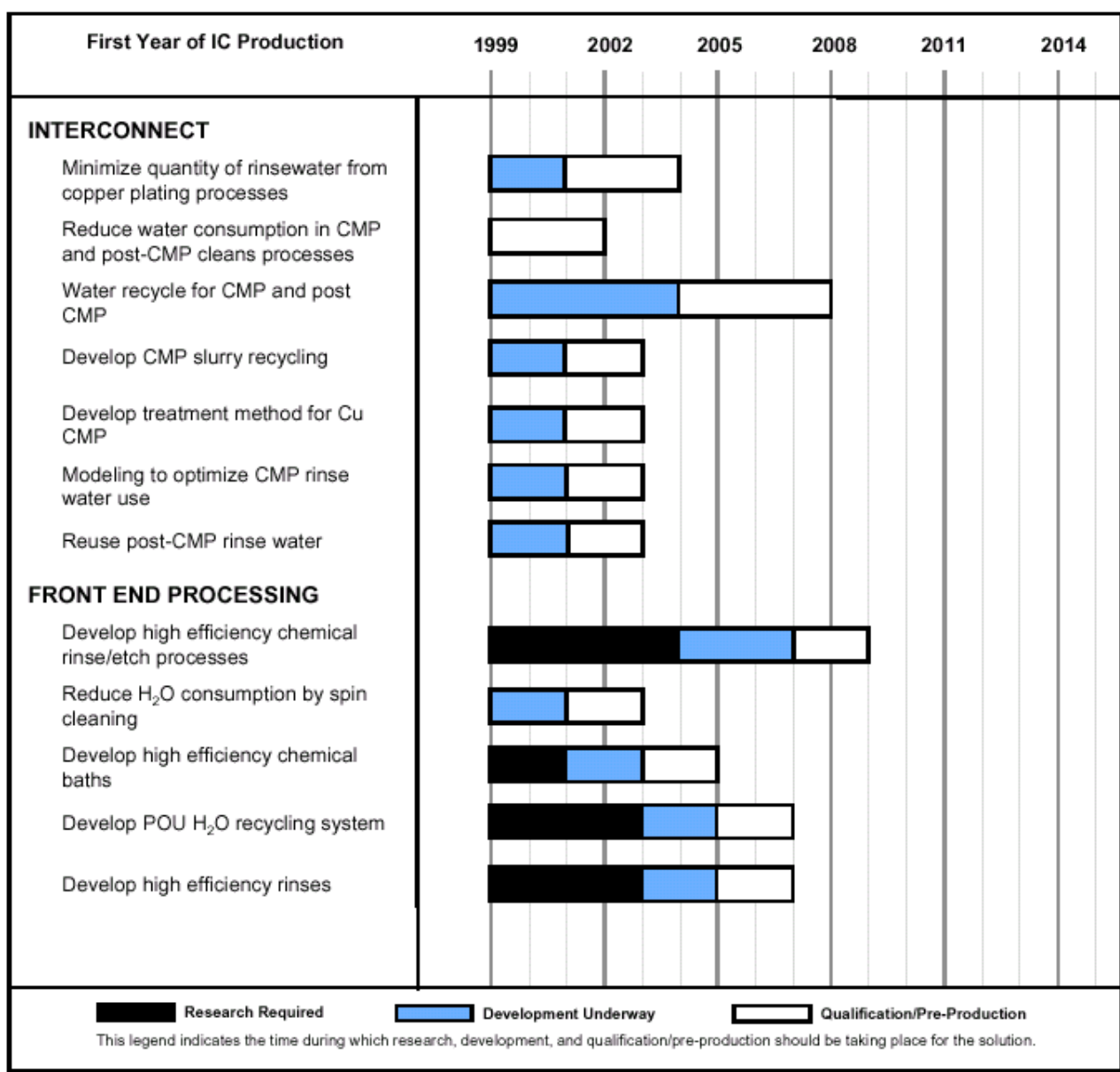


図 52 ESH に関する解決策候補:資源の保護

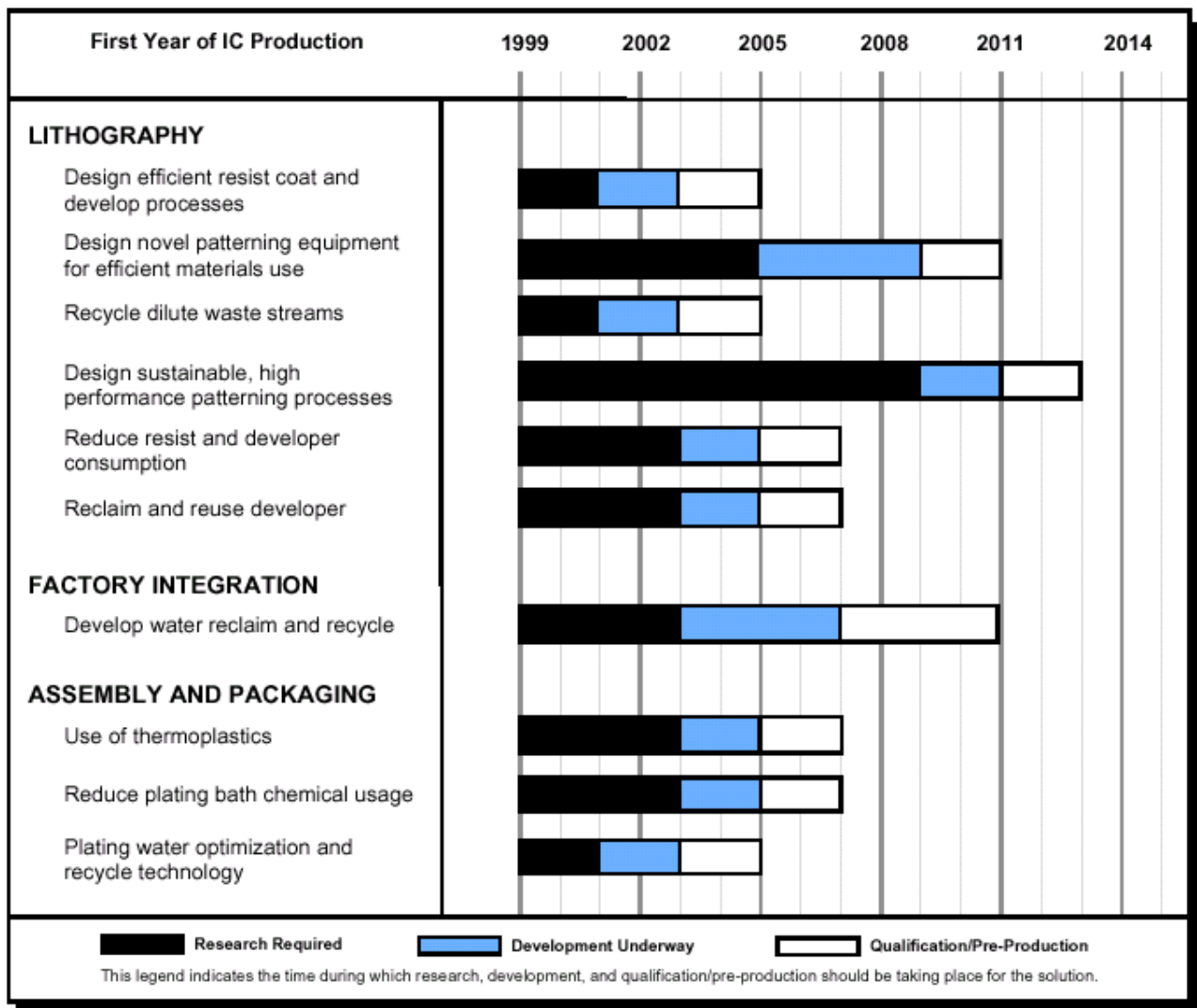


図 52 ESH に関する解決策候補:資源の保護(続き)

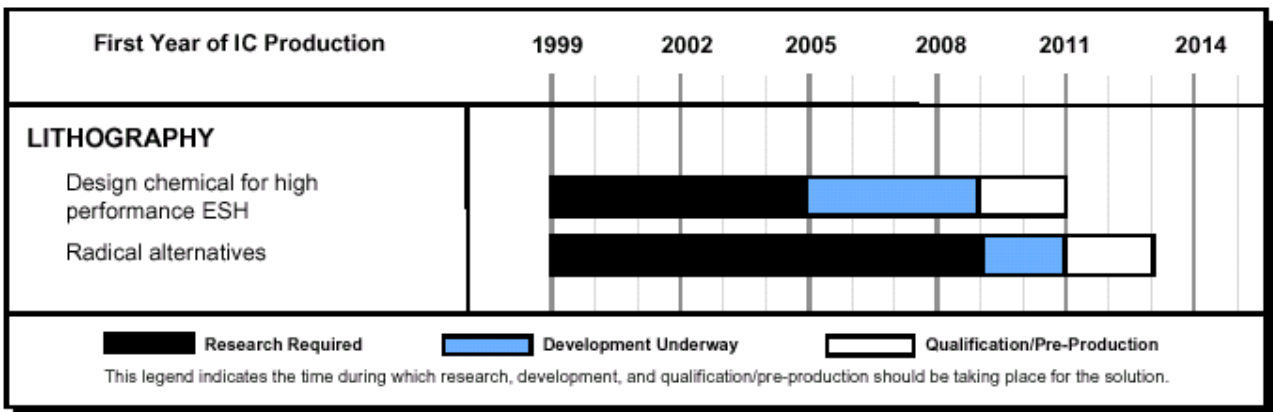


図 53 ESH に関する解決策候補:ESH 設計および測定手段

