

## 2 - 5 リソグラフィ

### (要旨)

#### (1) 背景、ロードマップの意義、期待する効果等

##### 【背景】

我が国、半導体産業の微細化技術は、半導体メーカ、装置・材料メーカによる、インフラ基盤と技術力の根源によって、最も世界に誇れる技術分野である。この分野の経済的、技術的競争力を維持し、ひいては世界エレクトロニクス産業に貢献すべく、我が国半導体リソグラフィ技術のロードマップを策定するものである。さらに、半導体産業のみならず、関連する微細加工分野へも普及し得る長期的な視野も含めるものとする。

##### 【ロードマップの意義】

半導体メーカ、装置・材料メーカの健全的發展を基本に、我が国、産業界、学術団体の協力を仰ぎ、更なる微細加工技術の発展の指針を作成することを意義とする。更には、本微細化技術の発展が、裾野広く、各種産業界に有益であることを目的とする。

##### 【期待する効果】

本ロードマップにより、半導体産業界の基本的な指針やナビゲータとなるとともに、明確にされた将来にわたる新しい技術研究開発課題や新規創造的技術の発信源になることを期待する。同時に、大学等を通じて、今後の新しい知見や技術、及び人材の育成に役立つ事を期待したい。

#### (2) 検討範囲、検討項目

##### 【検討範囲】

現状最先端の 180nm から 100nm まで、また更に 100nm より先の限界までを明らかにしたい。限界を明確にすることにより、検討範囲も明らかにした。同時に、我が国、コンソーシアム、個別企業、大学の現状、将来検討予定のテーマを全て盛り込むものとする。基本的には、需要と供給両面から、年代数値の根拠の明確化を行う。旧来の枠にとらわれた技術絞り込みは行わず、幅広い意見に基づいた方針とする。後年度になるに従って、我が国得意技術を候補としてノミネートする。個別企業・団体の利益誘導を排除する。

##### 【検討項目】

従来の汎用メモリに加え、我が国の新しいビジネス分野であるメモリ、ロジック混載であるシステム LSI を主にフォーカスした。基本ロードマップ目標は、リソグラフィインフラの整備の面から 3 年サイクルの 70% 微細化路線を堅持し、2014 年 50nm 以下までを目指すこととする。年代表記はカレンダーイヤーとした。

最初の製品出荷の年 テクノロジーノード	1997 250nm	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm	2014 <50nm
------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	--------------	--------------	---------------

図表 1 1999 年リソグラフィ基本ロードマップ

( 3 ) ニーズ、到達レベル、解決策の候補、課題等

2005 年、すなわち、100nm ノードまでの主たる課題は、露光装置の開発加速及び、マスク製造技術の開発であり、ついで、ゲート CD 制御及びオーバーレイ制御の改善を挙げた。

2005 年以降の課題は、引き続き、主として、露光装置の開発加速及びマスク製造技術の開発であるが、これに加えて、コスト管理/低減の為の技術の開発が、重要な課題として挙げられる。更に、ゲート CD 制御及びオーバーレイ制御の改善と、これらの制御及びマスク製造技術を対象とした、計測法の開発が必要である。

また、50nm 以細のノードをターゲットと想定した、既存リソグラフィ手法の延長にはない、新たなリソグラフィ手法の探索、及び発見による、プロセス技術の新たなブレークスルーを強く期待した。

98 年度版と同様 130nm 世代を 2002 年にした。理由はマスク開発課題と大多数のチップメーカーの出荷計画が既に予定されており、装置メーカーの ArF 出荷時期も考慮した。その後の世代はインフラ整備の理由から、3 年周期とした。チップサイズについては、レチクルサイズの推移、コストと SoC の観点からあえてリソグラフィの日本版は削除した。ウェハサイズの 300mm 投入は 130nm 世代とした。日本特有として、低消費低リーク対応のシステム LSI ゲートを追記した。システム LSI ゲートは 2000 年度以降、議論を要す。

また、50nm 世代の候補技術として、ナノコンタクトプリンティングを記載した。この手法に限らず、ナノテクノロジー及び分子協調材料分野等の領域からの新しいアプローチ及びそれによるブレークスルーが必要とされる。図表 1 にはリソグラフィ要件の数値を掲げたが、本表は ITRS9 9 の世界合意以前に決定されたもので、数値が異なっている事に注意願いたい。重要なポイントはリソグラフィツールと補助手段が追加されていることである。

最初の製品出荷の年 テクノロジノード		1997 250nm	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm	2014 <50nm
形状の 最小 サイズ (nm)	緻密 Line (DRAM Half Pitch)	250	180	130	100	70	50	35
	システム LSI Gate(上段), Pitch(下段)	250 550	180 430	130 300	100 210	70 150	50 105	35 75
	孤立 Line (MPU Gate, 参考値)	200	140	85	65	50	35	25
	コンタクト	280	200	140	110	80	55	45
ゲート CD 制御 (nm, Etch 後, 3 $\sigma$ )		20	14	8.5	6.5	5	3	2.5
オーバーレイ (nm, 平均, 3 $\sigma$ )		100	70	50	35	30	20	15
視野サイズ (mm × mm)		22 × 22	25 × 32	25 × 34	25 × 36	25 × 40	不明	不明
視野面積 (mm <sup>2</sup> )		484	800	850	900	1000		
焦点深度 (μm, 注 1)		0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	不明
欠陥密度 (m <sup>-2</sup> , 注 2)		100 @ 80	80 @ 60	60 @ 40	50 @ 30	40 @ 20	30 @ 15	25 @ 10
マスクサイズ (mm, 注 3)		152	152	230(100)	230(100)	230(100)	230(100)	不明
マスク倍率		× 5	× 4,5	× 1,4,5	× 1,4,5	× 1,4,5	× 1,4,5	不明
ウェハサイズ(mm, 直径)		200	200	300	300	300	450	450
リソグラフィツール(波長順)	KrF	KrF	ArF	ArF	VUV	VUV	EUV	EUV
	EBDW	EBDW	KrF	VUV	EUV	EUV	EUV	nCP
			PXL	EBDW	PXL	PXL		
			EBDW	PXL	EBDW	EBDW		
リソグラフィ補助手段				EBST	EBST	EBST		
	BARC	BARC	BARC	BARC	TSI	TSI	TSI	
	TARC	TARC	HT-PSM	HT-PSM	HT-PSM	TLR		
	HT-PSM	HT-PSM	OPC	OPC	OPC			
		OPC	OAI	OAI	OAI			
		OAI	Alt-PSM	Alt-PSM	TLR			
					Alt-PSM			

注 1: ±10%の露光の全視野で使用可能な焦点深度。注 2: nm サイズ欠陥の層当たりの密度、リソグラフィ起因のみ。  
注 3: 括弧内の値は、等倍マスクについて。  
nCP: ナノコンタクトプリンティング。EBST: EB ステップ。

解決策あり

解決法究明中

既知の解決法無し

図表 1 生産クリティカルレベルのリソグラフィ要件と解決策

#### (4) 他の分野への依存性

本分野は他の技術分野と相互交流が必要であり、整合を取る必要がある。他分野とはモデリングとシミュレーション(レジスト、光学像)

ES&H

PIDS(段差やデザインルール)

配線(焦点深度、反射防止技術や平坦化技術)

設計(OPC、システム LSI デザインルール)

ファクトリーインテグレーション(大口径化)

( 5 ) 現状における着手レベル、目標に達成するための提言

【着手レベル】

具体的に、各種露光技術のクリティカルレベル、レジスト技術の解決法、マスク技術の解決法、計測技術の解決法、そして新世紀創世のための技術を記述している。

【提言】

- 1 次世代リソグラフィ候補の多数育成とタイムリーな絞り込み
- 2 ROIを考慮したリソグラフィ装置、プロセスコストの低減と標準化
- 3 継続的、国家レベルの研究開発支援
- 4 国際協調とその具現化
- 5 大学、国研と産業界による創造的新規テーマの発掘
- 6 科学と工業の融和
- 7 新規創造ビジネスへの転換

## 2 - 5 - 1 背景、ロードマップの意義、期待する効果等

### 背景

我が国、半導体産業の微細化技術は、半導体メーカ、装置・材料メーカによる、そのインフラ基盤と技術力の根源によって、もっとも世界に誇れる技術分野である。この分野の経済的、技術的競争力を維持し、しいては世界エレクトロニクス産業に貢献すべく、我が国半導体リソグラフィ技術のロードマップを策定するものである。さらに、半導体産業を含めて関連する微細加工分野へも普及し得る長期的視野も含めるものとする。

### ロードマップの意義

背景で述べたように、半導体メーカ、装置・材料メーカの健全な発展を基本に、我が国、産業界、学術団体の協力を仰ぎ、更なる微細加工技術の発展の指針を作成することを意義とする。更には、本微細化技術の発展が、裾の広く各種産業界に有益であることを目的としたい。

ただし、資本主義下における国際間、企業間競争は当然の原理であることを鑑み、時代の状況を考慮しながら、毎年度の改訂を念頭に置きたい。

また、他分野で囁かれる、経済的、消費電力、配線の、3つの分野の限界を考慮しつつ、適正かつ先導的な指標を示すことにより、我が国半導体産業の活力の根元となることを目標とする。

### 期待する効果

本ロードマップにより、従来通り、半導体産業界の基本的な指針やナビゲータとなるとともに、明確にされた将来にわたる新しい技術研究開発課題や新規創造的技術の発信源になることを期待する。同時に、大学等を通じて、今後の新しいリソース育成に役立つ事を期待したい。

また、従来のトレンドの展望だけでなく、我が国半導体の特有の需要分野も考慮に入れた技術的指標をも取り込み、需要側の上流への有効な波及を期待する。

最後に期待する効果として、本作成ロードマップが単なる指針に終わらず、我が国の産官学あげての新しい取り組みへの提言の基本となることを期待したい。同時に、国際的議論を通じて、国際協調を含めた世界半導体の健全な成長を願いたい。是非、積極的な関連団体の協賛を賜りたい。

## 2 - 5 - 2 検討範囲、検討項目

### 検討範囲

現状最先端の180nmから100nmまで、また更に100nmより先の限界までを明らかにしていきたい。限界をある程度明確にすることにより、検討する範囲も明らかにする予定である。同時に、我が国、コンソーシアム、個別企業、大学の現状、将来検討予定のテーマを全て盛り込むものとする。

今年度は、検討する期間が短期のため、詳細な数値は97年度版SIAロードマップをレビューすることになるが、むしろ従来のトレンドに外挿された旧年度版とことなり、1)で述べた方針とコンセプト作りを重視する。

基本的には、需要と供給両面から、年代数値の根拠の明確化を行う。

旧来の柵にとらわれた技術絞り込みは行わず、幅広い意見に基づいた方針とする。

候補を後年度になるに従って、我が国得意技術を更にノミネートする。  
個別企業・団体の利益誘導を排除する。

検討項目

従来の汎用メモリーに我が国の新しいビジネス分野であるメモリ、ロジック混載であるシステム LSI を主にフォーカスする。リソグラフィ技術分野に限定し、ツール、マスク、レジストプロセス、計測、シミュレーション、ESH そして、可能であればコスト、コスト性能比にも触れてみたい。

基本ロードマップ目標は、リソグラフィインフラの整備の面から 3 年サイクルの 70%微細化路線を堅持し、2014 年 50nm 以下までを目指すこととする。年代標記はカレンダーイヤーとした。

3 年サイクルの根拠は、

- ・ マスクトレンドが周辺インフラ整備及び人的リソースの問題でトレンドが律速する。
- ・ 特に、130nm ノードでは、OPC(optical proximity correction:光学的近接効果補正)の導入なので質的に変化する。
- ・ CD(critical dimension,最小加工寸法 minimum feature size のこと)コントロール 10%を維持するソリューションが習熟的になっている。
- ・ 工場設備償却及び装置寿命の経済的観点。

1999 年から 3 年サイクルの根拠は、

- ・ マスク開発に律速されること。
- ・ 装置デリバリー計画が間に合わないこと。
- ・ 工場設備償却及び装置寿命の経済的観点。

である。250nm ノードから 180nm ノードのみ 2 年サイクルであるのは、DRAM(dynamic random access memory)市場の経済的崩壊による不況と資本主義下における競争原理が背景となり、加速されたものである。一方、KrF リソグラフィ技術の、特にレジスト性能や高 NA スキャナー及びステッパの情勢による技術的理由も挙げられる。

最初の製品出荷の年	1997	1999	2002	2005	2008	2011	2014
テクノロジーノード	250nm	180nm	130nm	100nm	70nm	50nm	<50nm

解決策あり ☐ 解決法究明中 ☐ 既知の解決法無し ☐

図表 2 - 5 - 1 1999 年リソグラフィ基本ロードマップ

### 2 - 5 - 3 ニーズ、到達レベル、解決策の候補、課題等

以下に、ニーズ、到達レベル、課題等を述べていく。図表 2 - 5 - 2 にリソグラフィ技術の今後における困難な課題を抽出した。2005 年、すなわち、100nm ノードまでの主たる課題は、露光装置の開発加速及び、マスク製造技術の開発であり、ついで、ゲート CD 制御及びオーバーレイ制御の改善を挙げた。

2005 年以降の課題は、引き続き、主として、露光装置の開発加速及びマスク製造技術の開発であるが、これに加えて、コスト管理/低減の為の技術の開発が、重要な課題として挙げられる。更に、ゲート CD 制御及びオーバーレイ制御の改善と、これらの制御及びマスク製造技術を対象とした、計測法の開発が必要である。

また、50nm 以細のノードをターゲットと想定した、既存リソグラフィ手法の延長にはない、新たなリソグラフィ手法の探索、及び発見による、プロセス技術の新たなブレイクスルー(breakthrough)を強く期待する。

2005 年までの 4 大課題 ( 100nm)	問題内容
露光装置	ArF 及び VUV を光源とする光リソグラフィ用露光装置の開発加速、非光の露光装置の開発加速。
マスク製造	本ロードマップ記載の技術要件を実現する為の商業用マスク製造プロセス(すなわち、単層膜及び多層膜製造プロセス)の開発。特に、超解像光学マスク。 比較的小規模な市場での技術インフラストラクチャ的な機器の開発(すなわち、描画装置、検査装置、修理装置)。
ゲート CD 制御の改善	形状誤差を 10nm 未満(3 $\sigma$ で)に制御するためのプロセス開発。
オーバーレイの改善	露光手段にかかわりなく、更に精度の高いアラインメントとオーバーレイの制御方法の開発。
2005 年以降の 7 大課題 (<100nm)	問題内容
露光装置	VUV 及び EUV を光源とする光リソグラフィ用露光装置の開発加速、非光の露光装置の開発加速。
マスク製造とプロセス制御	本ロードマップ記載の技術要件を実現する為の商業用マスク製造プロセス(すなわち、単層膜及び多層膜製造プロセス)の開発。 比較的小規模な市場での技術インフラストラクチャ的な機器の開発(すなわち、描画装置、検査装置、修理装置)。 100nm 未満のノードの臨界寸法、画像位置決め及び欠陥密度の制御に関して、本ロードマップ記載の技術要件を実現する為のプロセス制御法の開発。
コスト管理	生産性の向上を維持する為の革新的技術、ツール、材料の開発。特に、サイズの大きなウェーハで一定若しくは改善されたスループットを達成すること。
計測法	臨界寸法及びオーバーレイの計測法の研究開発。
ゲート CD 制御の改善	形状誤差を 4-7nm(3 $\sigma$ で)に制御し、ラインエッジ荒れを減少させるプロセスの開発。
オーバーレイの改善	露光手段にかかわりなく、更に精度の高いアラインメントとオーバーレイの制御方法の開発。
新規プロセス	既提唱済のリソグラフィ手法の限界を超える新たなリソグラフィ手法の発見/構築。例えば、ナノテクノロジー及び分子協調技術をベースとした新規手法の発見/構築。

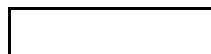
図表 2 - 5 - 2 リソグラフィ技術の困難な課題

98 年度版と同様 130nm 世代を 2002 年にした。理由はマスク開発課題と大多数のチップメーカーの出荷計画が既に予定されており、装置メーカーの ArF 出荷時期も考慮した。その後の世代はインフラ整備の理由から、3 年周期とした。チップサイズについては、レチクルサイズの推移、コストと SOC(system on a chip)の観点からあえて日本版は削除した。ウェーハサイズも 300mm 投入は 100nm 世代に遅らせた。日本特有として、低消費低リーク対応のシステム LSI(SOC)ゲートを追記した。



最初の製品出荷の年 テクノロジノード		1997 250nm	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm	2014 <50nm
形状の 最小サイズ(μm)	緻密 Line (DRAM Half Pitch)	250	180	130	100	70	50	35
	システム LSI Gate(上段), Pitch(下段)	250 550	180 430	130 300	100 210	70 150	50 105	35 75
	孤立 Line (MPU Gate, 参考値)	200	140	100	70	50	35	25
	コンタクト	280	200	140	110	80	55	45
	最高解像度	150	110	80	55	40	30	20
ゲート CD 制御 (nm, Etch 後, 3σ)		20	14	10	7	5.5	4	3
オーバーレイ (nm, 平均, 3σ)		100	70	50	35	30	20	15
視野サイズ (mm×mm)		22×22	25×32	25×34	25×36	25×40	25×42	25×44
視野面積 (mm <sup>2</sup> )		484	800	850	900	1000	1100	1300
焦点深度 (μm, 注 1)		0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4
欠陥密度 (m <sup>-2</sup> , 注 2)		100 @ 80	80 @ 60	60 @ 40	50 @ 30	40 @ 20	30 @ 15	25 @ 10
マスクサイズ (mm <sup>2</sup> )		152	152	152	230	230	230	230
マスク倍率		×5	×5, ×4	×5, ×4	×5, ×4	×5 ×4	×4	×4
ウェーハサイズ(mm, 直径)		200	200	200	300	300	300	450
リソグラフィツール		KrF	KrF	ArF	ArF	VUV	EUV	EUV
		EBDW	EBDW	KrF	VUV	EBST	EBST	nCP
				EBDW	EBDW	EBDW	EBDW	
					PXL	PXL	VUV	
					EBST	EUV	PXL	
リソグラフィ補助手段		BARC	BARC	BARC	BARC	TSI	TSI	TSI
		TARC	TARC	HT-PSM	HT-PSM	HT-PSM		
		HT-PSM	HT-PSM	OPC	OPC	OPC		
			OPC	SR	SR	SR		
			OAI	OAI	OAI	OAI		
				TLR	TLR			
注 1: ±10%の露光の全視野で使用可能な焦点深度。注 2: nm サイズ欠陥の層当たりの密度、リソグラフィ起因のみ。 nCP: ナノコンタクトプリンティング。								

解決策あり



解決法究明中



既知の解決法無し



図表 2 - 5 - 3 生産クリティカルレベルのリソグラフィ要件と解決策

最初の製品出荷の年 テクノロジーノード	1997 250nm	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm	2014 <50nm
レジスト膜厚(μm, imaging 層)	0.6-1.0	0.5-0.7	0.4-0.6	0.3-0.3	0.25-0.35	0.2	0.15
露光後ベーク感度(nm/℃)	7	5	3	2	2	1	1
汚 染 物(イオン/金属)	5 ppb						
液中パーティクル(nm, 注 1)	120	90	70	50	35	25	20
空気中アミン濃度(pptM)	1000 pptM						
裏面パーティクル(particles/m <sup>2</sup> @ critical size, nm)	3000 @200	3000 @200	2000 @100-200	2000 @100	2000 @100	2000 @100	不明
その他の要求	ポジ型またはネガ型レジストに対するニーズは、パターン密度に依存。 側壁角度は 90+0/-2°とする。 エッチ選択性はノボラックと同等、もしくはそれを超えるものとする。 残渣なく剥離できること。						
注 1: nm, mean @ density of 25 particle /ml							

露光依存要件

露光技術	248nm DUV	193nm DUV	157nm VUV	X 線	13nm EUV	電子ビーム projection	電子ビーム 直描	イオン projection
感度 (mJ/cm <sup>2</sup> )	20-50	5-10	5-10	50	10			
感度 (μC/cm <sup>2</sup> )						5-10 @100KV*	1-5 @50KV*	0.2-5.8
注*:電子ビームは解像力とリンク								

解決策あり

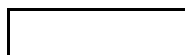
解決法究明中

既知の解決法無し

図表 2 - 5 - 4 クリティカルレベルのレジスト製品への要求

最初の製品出荷の年		1997	1999	2002		2005		2008		2011		2014	
テクノロジノード(nm)		250	180	130		100		70		50		<50	
形状の最小サイズ (nm)		200	140	90		65		45		30		20	
拡大倍率		4	4	4(5)	1	4(5)	1	4(5)	1	4(5)	1	4	1
マスク画像最小 size(nm)		800	560	360	90	260	65	180	45	120	30	85	20
マスク OPC 形状の size(nm)		400	180	160	90	130	65	90	45	60	30	42	20
画像配置 (nm, multi point)		52	36	28	14	20	10	16	8	12	6	8.5	5
寸法精度 (nm)	孤立ライン	26	18	12	8	8	6	6	4	4	3	3	2
	緻密ライン	32	23	16	10	12	7	8	5	6	4	4	3
	Contact/Bias	36	26	17	10	13	9	10	6	8	5	6	4
線形性 (nm)		40	28	20	9	14	6	10	5	7	3	5	2
CD 平均から target (nm)		20	12	8	4	6	3	4	2	3	1.5	2	1
欠陥のサイズ (nm)		200	150	100	26	80	20	60	14	40	10	30	8
データ量(GB)		8	32	128	32	512	128	2048	512	8196	2048	32784	8196
PSM 透過率			0.2	0.2		0.2							
PSM 位相ズレ			2	2		2							
マスクグリッド(nm)		20	10	4	1	4	1	4	1	4	1	3	1
マスクの材料と基板 (露光ツール依存)		光学 水晶の吸光装置、ペリクルを付けて 152mmと 230mm <sup>2</sup> 。 PSM の第一の選択は、埋め込まれたシフトと交互の穴。											
		X 線 シリコンカーバイドメンブレン用の高融点金属(直径 100mm)。 「ペリクル」定義を要する。											
		電子ビーム投射 シリコン・メンブレンの用高融点金属(直径 200mm)。 「ペリクル」定義を要する。											
		EUV 多層反射装置の基板(直径 300mm)。 「ペリクル」定義を要する。											
		イオン投射 炭素塗付シリコンメンブレンステンシルマスク(直径 200mm)。 「ペリクル」定義を要する											
注：要件は定義された年度のクリティカルレベルに対するものである。初期の数量は比較的少なく、生産が困難であると想定される。													

解決策あり



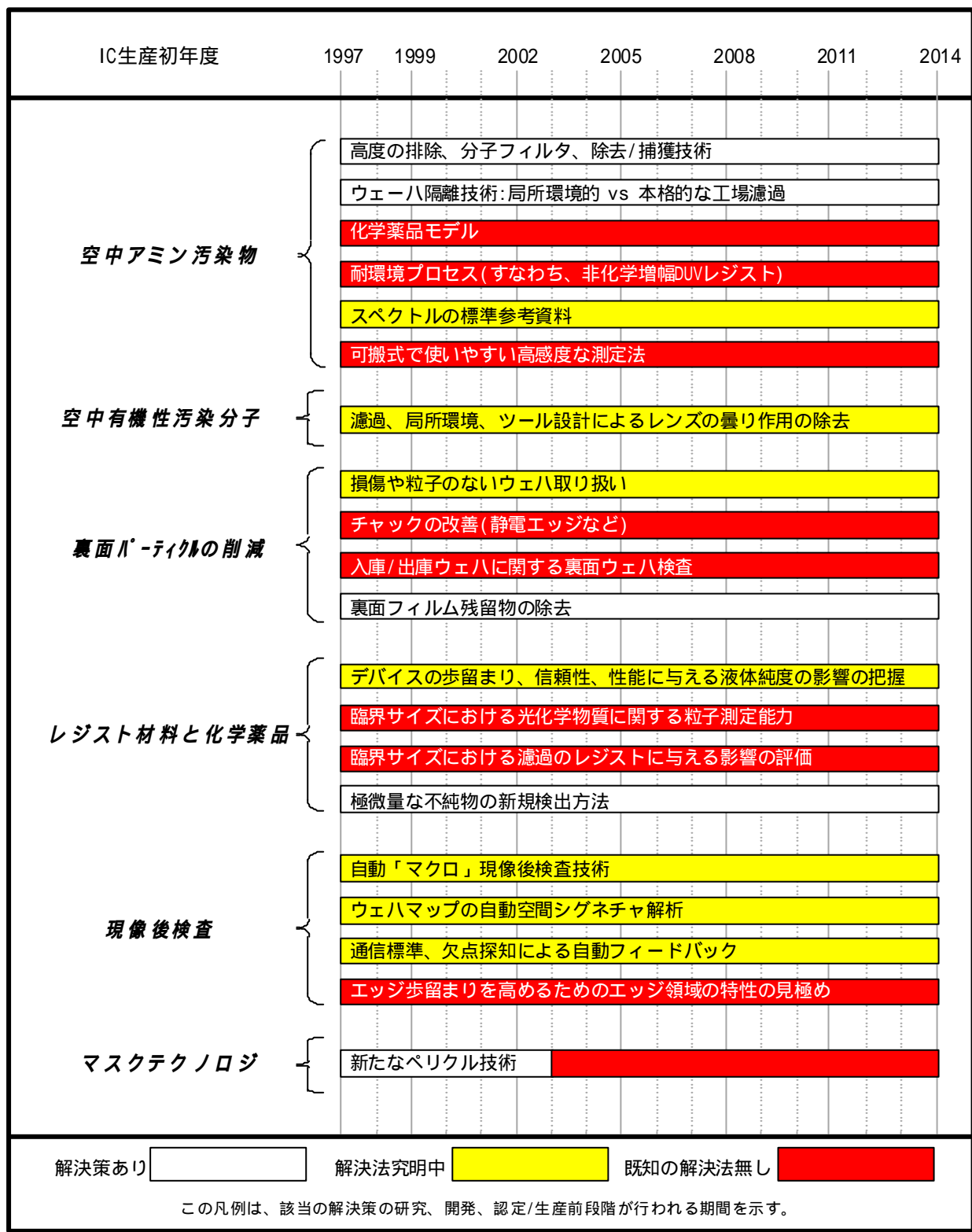
解決法究明中



既知の解決法無し



図表 2 - 5 - 5 マスクへの要求



図表 2 - 5 - 6 リソグラフィ欠陥削減に対するニーズと潜在的解決法

主要な分野	ニーズの概要	潜在的解決法
フォトリソグラフィとマスク製造用化学薬品	化学薬品の毒性、リスク評価、新規化学薬品に関する有毒物質管理法に基づくステータス、十分なサプライヤの確保、問題ある化学薬品に曝露される状態についての監視力、製造プロセスからの放出(HAPs(大気汚染危険物質)とVOCs)。	有毒物質管理法への適合評価、しっかりした化学薬品の選定基準、リスク評価、公害防止原則の使用に基づく許容化学薬品のリスト作成。 付加的な技術の使用。 超臨界 CO <sub>2</sub> のような環境にやさしい材料の使用。
プロセス装置	有毒物質に曝露されること、HAPs と VOCs の放出、危険な廃棄物処理、所有コスト、エネルギー消費。 機器のエルゴノミックスデザイン、PFC (パーフルオロ化合物)の使用、プラズマ副産物。	使用時の効果的な削減、ツール排気の最適化、公害防止と DFESH(ESH に対する設計)原則の使用、S2 標準と S8 標準の使用をサプライヤに指示すること。 ゼロ影響プロセスの導入、地球温暖化の潜在性が高い物質の必要性を無くしていくこと、製造用設計における DFESHツールの使用。
露光装置	化学薬品の毒性、放射線被爆、リスク評価、所有コスト、危険エネルギー、ビームシールド。	リスク査定及び所有コスト分析の実施。 必要に応じて、放射線保護プログラムの設定。
機器洗浄	溶剤の使用、HAPsとVOCsの放出、危険廃棄物処理、人員保護装置。 洗浄剤及び洗浄方法の選定。	極低温に適した洗浄、無溶媒洗浄、使用時削減、公害防止、ツール設計の最適化。 環境への影響を最少にするためのプロセスと機器の再設計。

図表 2 - 5 - 7 リソグラフィ ESH のニーズと潜在的解決法

最初の製品出荷の年 テクノロジーノード	1997 250nm	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm	2008 70nm	2011 50nm	2014 <50nm
ゲート CD 制御 (nm)	20	14	10	7	5	4	3
最終 CD 出力の計測精度 (nm, 3σ)	4.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.7	0.6
overlay 制御 (nm)	100	70	50	35	30	20	15
overlay 出力の計測精度 (nm, 3σ)	9.0	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	1.5

図表 2 - 5 - 8 リソグラフィ計測への要求

主要分野	ニーズの概要	解決法(施策)
レジストのモデル化	高分子/表面相互作用、塗布及び熱処理工程、シリル化、エッジラフネス、電子線、X線、VUV及びEUVレジストの特性に関する定量的予測モデル	材料の基礎研究に基づいたメカニズムベースのモデル確立。特に、分子軌道法、分子動力学法、定量的構造活性相関法の適用とその為の計算機リソース。 モデルの新材料への応用。 生産ツールに関するモデルの較正方法の開発。 2次元及び3次元プロファイル予測モデルの開発。
光学系のモデル化	露光フィールド内の不均一性、解像力強調と光学系の不完全性との相互作用、 $10^8$ 図形に対するOPC(光近接効果補正)、PPC(プロセス近接効果補正)の適用、マスクの不完全性、基板反射に関するモデル化。	プロセスとツールに依存したOPC、PPCを適用する手法と計算機リソース。 解像力強調とデバイスパターン転写の光学系レベルでの考察の為のエンジニアリングワークベンチTCADツール。 マスク描画の不完全性及びそれが転写に与える影響のシミュレーション。 SEM像と統計的計測によるシミュレータの較正。
100nm以細	EUV、X線、VUV、電子線及びマスクレス技術等を用いた先端リソグラフィシステム(例えばナノコンタクトプリンティング)における像質、重ね合せ、スループット、パターン依存性、溶解時における応力とエッジラフネスに関するモデル化。	解像度、スループット、マスクや機械電気部品の不完全性、レジストの不均一性や輸送効果(拡散現象)等の、性能を決める要素のバランスを重視したリソグラフィツールのフルシステムシミュレーション。 マスクレスリソグラフィへの新規なアプローチに対するシミュレーションベースの評価。
TCADと計測法	ICシステム設計レベルにおけるプロセス物理からの考察、プロセス設計シミュレーションにおける製造公差の知識、科学技術者に優しいツール、光学モニタ、走査プローブ及びSEM像の正確な解釈。	TCADとICCADとの統合。 TCADシミュレーションとパラメータ抽出及びCIM(コンピュータ統合生産)の統計的計測法との統合。 標準エンジニアリングワークベンチに基づくシミュレーション環境。 光学モニタとSEM測定モデル化。

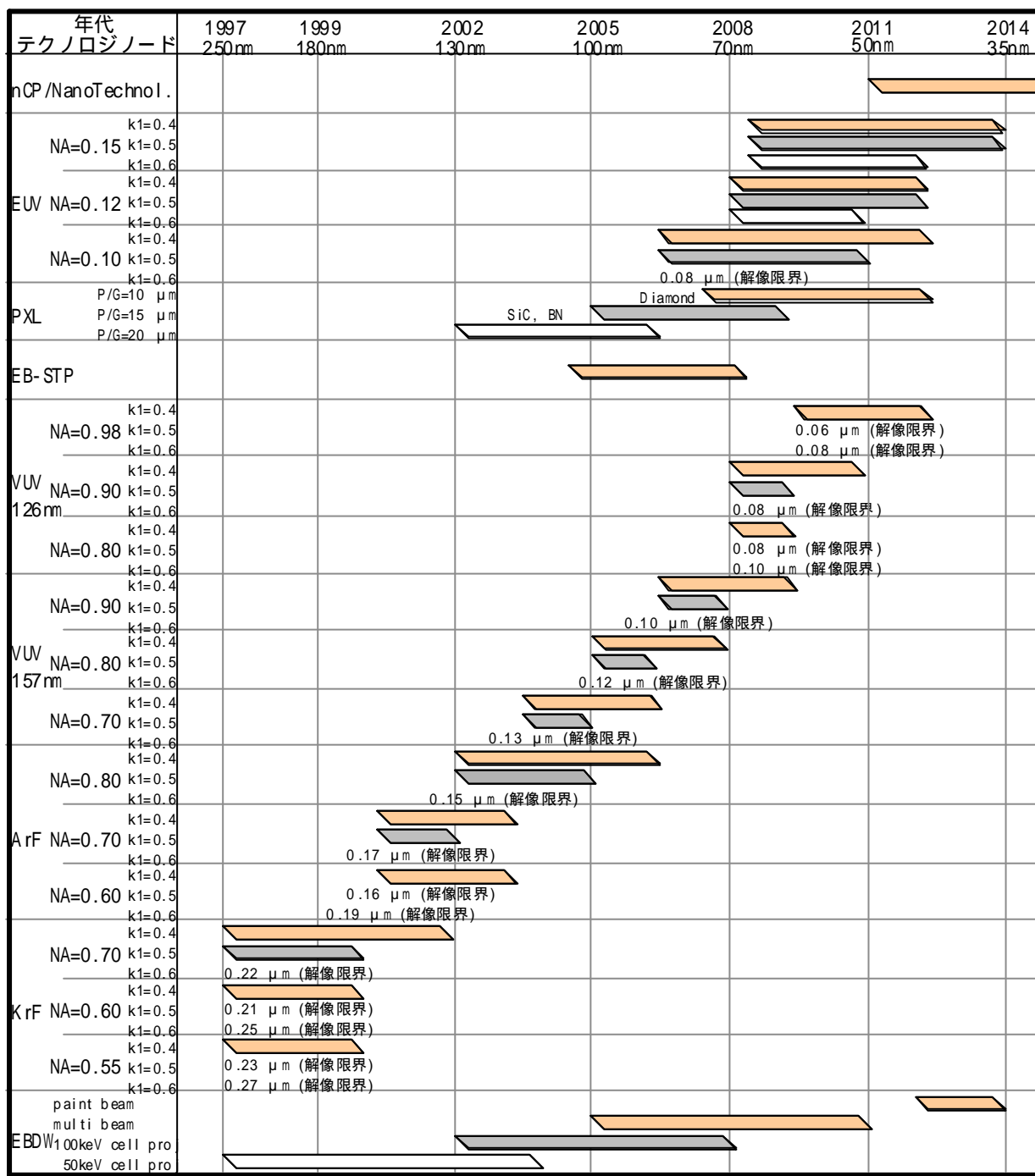
図表2 - 5 - 9 リソグラフィモデル化、シミュレーションに対するニーズと解決法

2 - 5 - 4 他の分野への依存性

テクノロジー	横断的問題
モデリングとシミュレーション	光学的像強調技術向けのレベルアップ レジストのモデリング システムの重ねのモデリング EB クーロン効果のモデリング
材料	光学材料 レジスト材料 マスク基板 機械の高精度化に向けた先端材料
環境,安全,健康	揮発性有機化合物使用量の削減 溶剤の削減 安全溶剤化 露光装置の安全基準
プロセスインテグレーション,構造	段差の低減と平坦化 デザインルールの緩和
配線	光リソグラフィ向け反射防止膜 エッチング選択比の向上 埋め込み配線向けプロセス
材料とバルクプロセス	ウェーハ平坦度要求 高エネルギー注入に対する薄膜レジストの欠点
設計及びテスト	光学的像強調技術向けの設計/レイアウトソフトウェア 部分一括転写向け図形抽出ソフトウェア
ファクトリインテグレーション	ウェーハ大口径化コスト解析 ビジネスモデルの仮定に対する CoO ターゲット リソグラフィ管理システムに対する CoO ターゲット

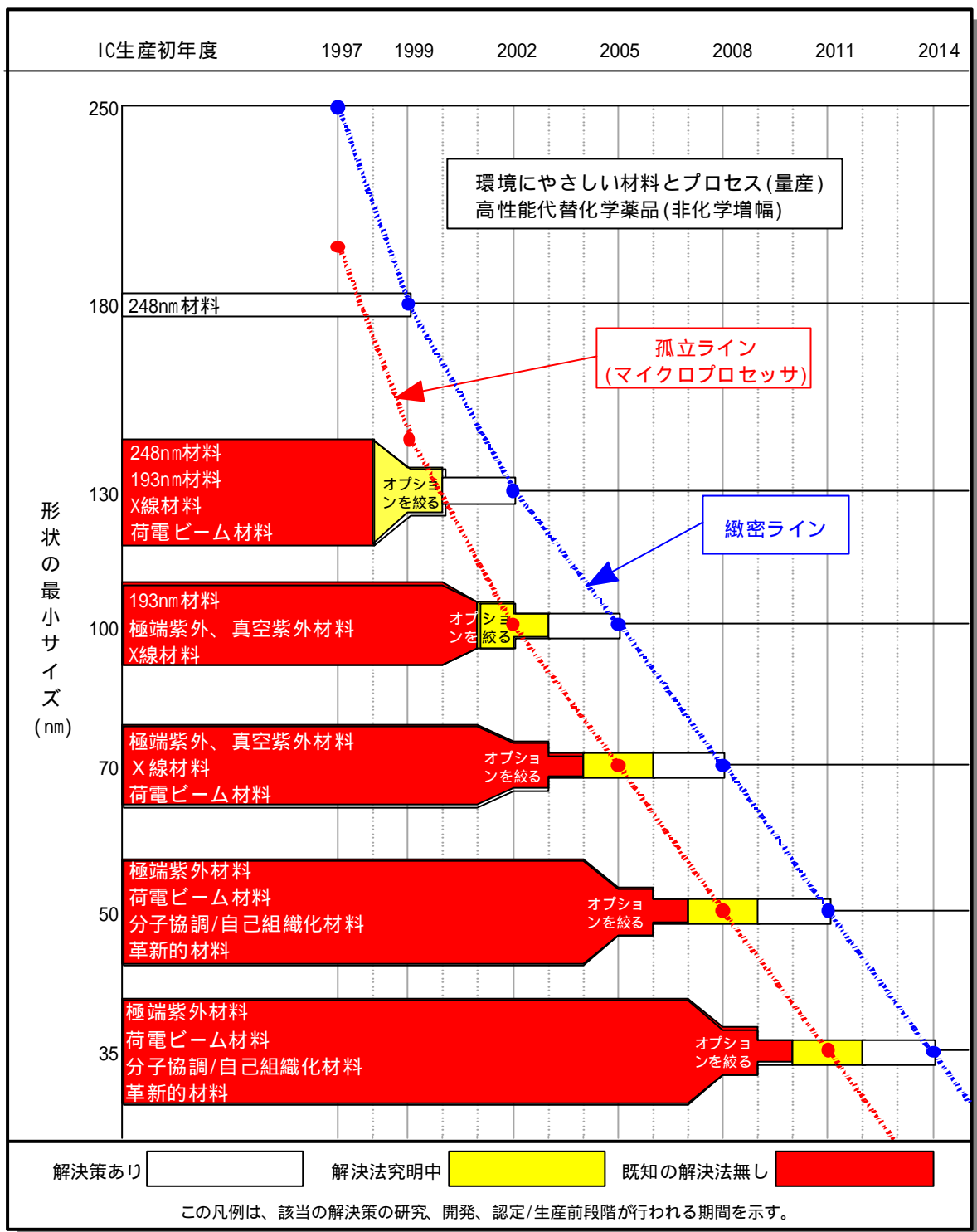
図表2 - 5 - 10 リソグラフィ TWG と他の TWG との相互交流

図表 2 - 5 - 5 現状における着手レベル、目標に達成するための提言

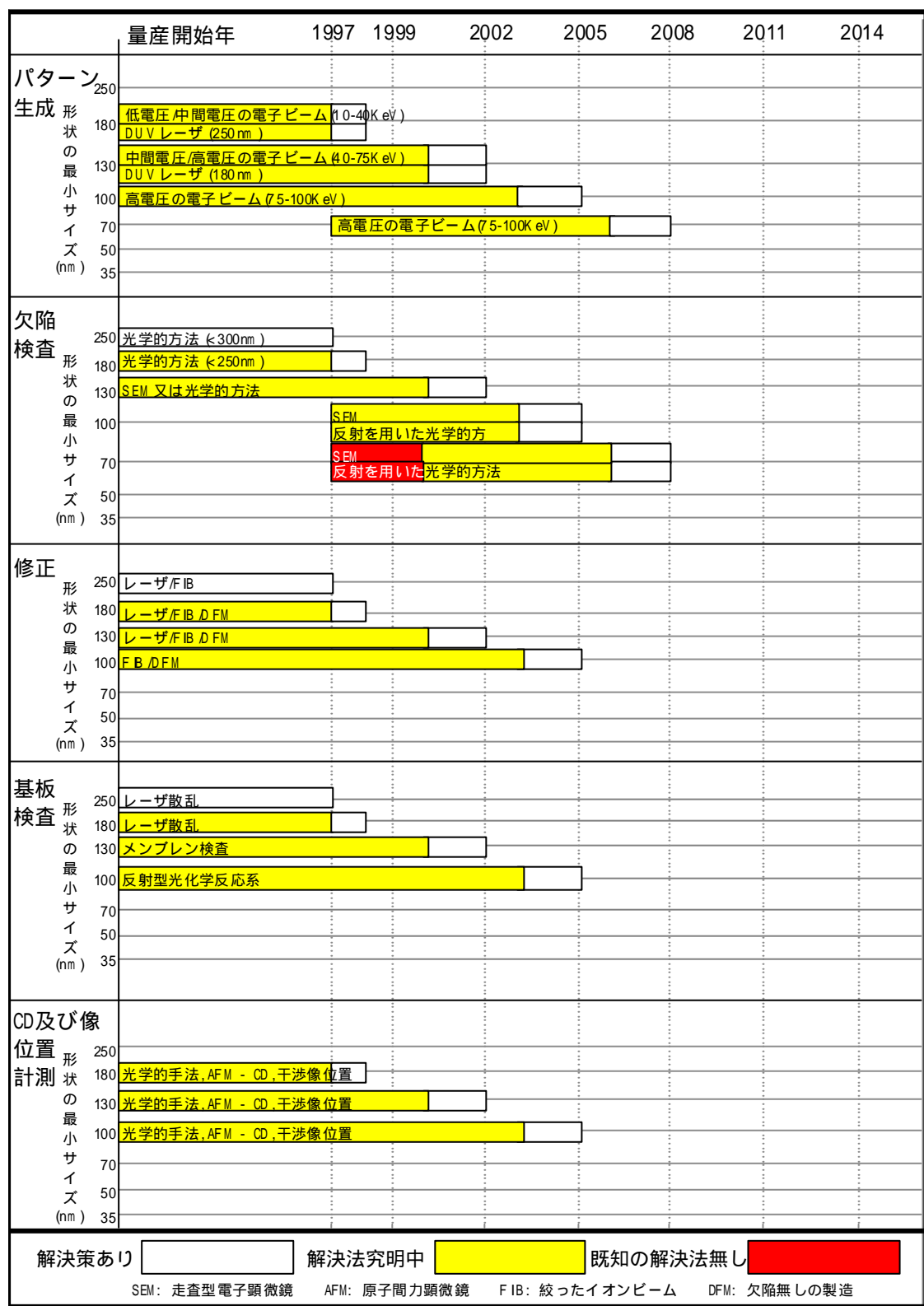


図表 2 - 5 - 11 露光技術クリティカルレベル

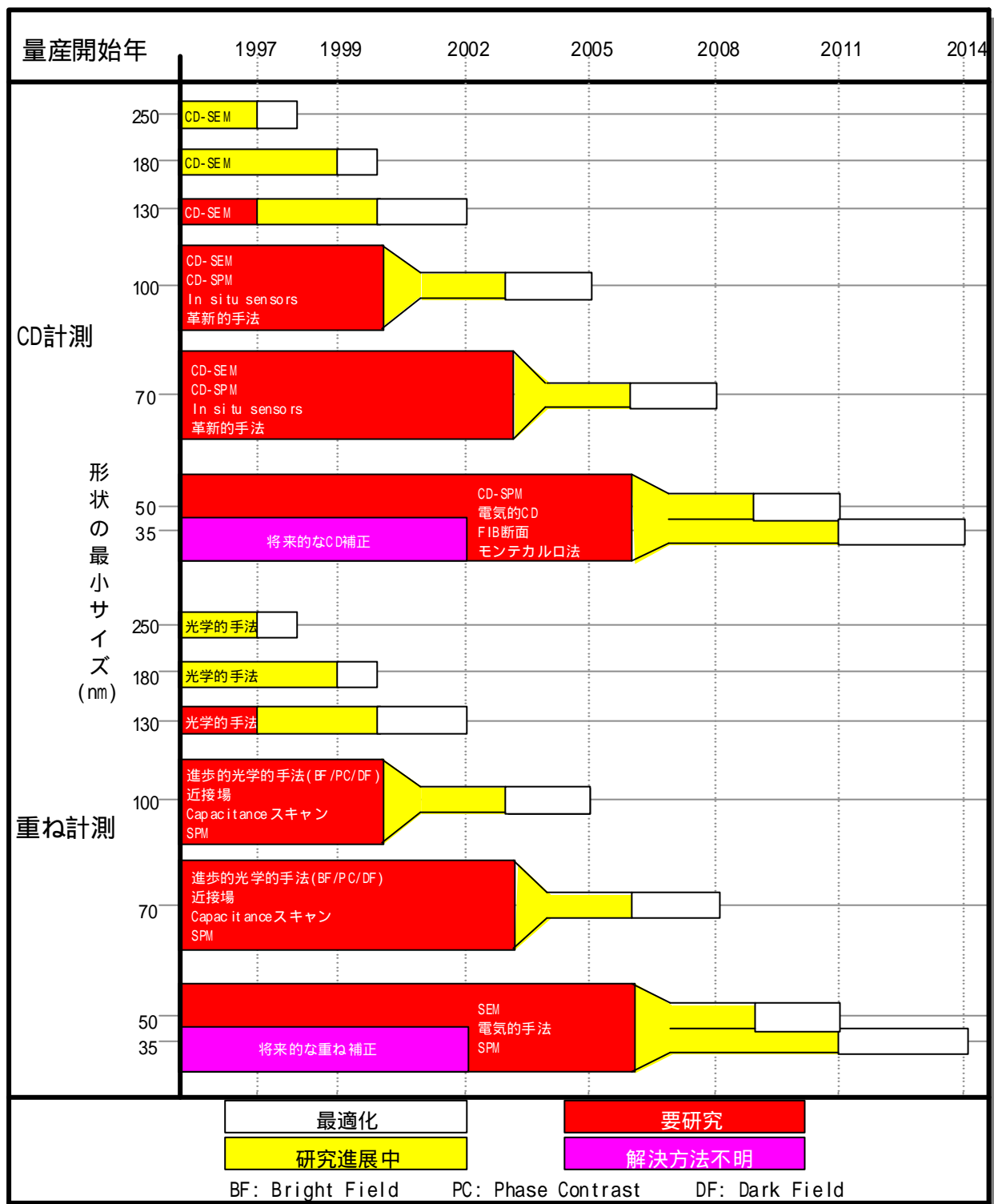




図表2 - 5 - 12 臨界レベルのレジスト・テクノロジーの潜在的解決法



図表 2 - 5 - 13 臨界レベルのマスク・テクノロジーの潜在的解決法



図表 2 - 5 - 1 4 臨界レベルの計測・テクノロジーの潜在的解決法

## 提言

- 1 次世代リソグラフィ候補の多数育成とタイムリーな絞り込み
- 2 リソグラフィ装置、プロセスコストの低減と標準化
- 3 継続的、国家レベルの研究開発支援
- 4 国際協調とその具現化
- 5 大学、国研と産業界による創造的新規テーマの発掘
- 6 科学と工業の融和
- 7 新規創造ビジネスへの転換

## 謝辞

ロードマップのためのアンケートに対して協力頂いた諸氏に感謝します。