

「次世代半導体微細加工・評価基盤技術の開発
(超低電力デバイスプロジェクト)」

事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

—目次—

概要	概要 1
プロジェクト用語集	用語集-1
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果(費用対効果)	I-4
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-5
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-2
2.1 研究開発の内容	II-4
2.2 研究開発の実施体制	II-8
2.3 研究の運営管理	II-11
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-12
3. 情勢変化への対応	II-13
4. 中間評価結果への対応	II-16
5. 評価に関する事項	II-16
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III-1
IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	
1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	IV-1

(添付資料)

- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価関連資料(事前評価書)

概要

		最終更新日	平成 25 年 8 月 7 日
プロジェクト名	次世代半導体微細加工・評価基盤技術の開発(超低電力デバイスプロジェクト)	プロジェクト番号	P10025
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 小野英輝(2011年3月～2011年10月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 青山敬幸(2011年10月～2013年8月現在) 電子・材料・ナノテクノロジー部 明日徹(2013年6月～2013年8月現在)		
0. 事業の概要	次世代の半導体露光方式として最有力視されている極端紫外線(Extreme Ultra Violet、以下、「EUV」という。)リソグラフィにおいて、hp11nm以細に対応可能なEUVマスク検査関連技術並びにレジスト材料基盤技術開発として、EUVマスクブランク(多層膜を積層したマスク基板)やマスクパターン(ブランク表面上のEUV光の吸収層パターン)の欠陥検査・評価・同定技術、およびレジスト材料の露光性能やアウトガスを含めた材料開発や評価技術など、hp11nm以細に対応可能な技術の基盤を確立する。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国経済を支える先端産業である、情報家電、コンピュータ、通信装置、自動車、医療機器などの競争力強化に不可欠な基盤技術は、半導体 LSI の微細化技術である。これまで、微細化技術の進展による半導体 LSI の集積度は、3 年で 4 倍という急速な速度で推移しており、2010 年には、技術世代 hp45nm の製品が量産され始めている。今後も情報家電やロボットなどのシステムに求められる高集積化・低コスト化および低電力化を同時に実現するためには、更なる微細化が必要であり、引き続き重要な技術課題である。</p> <p>海外では産学官連携の下で、これらの技術課題の解決に向け、欧州の IMEC や米国の SEMATECH といった様々なコンソーシアムやアライアンスを中心に、精力的な取り組みがなされ、世界の関連企業を取り込んだグローバルな開発が行われている。一方、日本では世界的な半導体ビジネス・技術開発のパラダイム変化に伴い、最先端プロセスを指向するデバイス企業は減少しているものの、装置・材料等の関連産業においては未だ強みを維持しており、日本の強みを活かすことにより世界に先駆けて半導体 LSI の更なる微細化という重要な技術課題を克服できると期待される。</p> <p>以上のように、本プロジェクトは、我が国の半導体関連産業(デバイス、マスク、装置及び材料)の国際競争力強化に貢献すると期待されるため、本プロジェクト推進の必要性は高い。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>EUV マスクブランク(多層膜を積層したマスク基板)やマスクパターン(ブランク表面上の EUV 光の吸収層パターン)の欠陥検査・評価・同定技術、およびレジスト材料の露光性能やアウトガスを含めた材料開発や評価技術など、hp11nm 以細に対応可能な技術の基盤を確立する。</p> <p>NEDO ロードマップ上の半導体 LSI 微細化に資する。本プロジェクトでは、波長 13.5nm の EUV を用いる EUV リソグラフィにかかるマスク技術と関連検査技術、レジスト材料等の課題に取り組む。EUV リソグラフィはマスクパターンの光学的縮小投影方式であり、露光波長がエキシマレーザーの 1/10 以下であるため hp22nm 以細の技術領域に適用可能であること等から、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている。</p>		
	<p>研究開発項目①</p> <p>EUV マスク検査・レジスト材料技術開発では、EUV マスクブランク欠陥検査(Blank Inspection、以下、「BI」という。)、EUV マスクパターン欠陥検査(Pattern Inspection、以下、「PI」という。)、レジスト材料評価に関する基盤技術開発目標として以下を提示する。</p> <p>【中間目標】</p> <p>2013 度末までに以下の目標を達成する。</p> <p>(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発</p> <p>hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 基盤技術を確立する。また、hp11nm 以細に対応する BI 技術における課題を明確にする。</p> <p>(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発</p> <p>hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 基盤技術を確立する。また、hp11nm 以細に対応する PI 技術における課題を明確にする。</p> <p>(3) EUV レジスト材料技術開発</p> <p>解像度 hp16nm のレジストについて、LWR(Line Width Roughness)、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、hp11nm 以細に対応する</p>		

レジスト材料における課題を明確にする。

【最終目標】
 2015 年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発
 hp11nm 以細の微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 装置基盤技術を確立する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発
 hp11nm 以細の微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 装置基盤技術を確立する。

(3) EUV レジスト材料技術開発
 解像度 hp11nm 以細のレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。
 NAND フラッシュメモリの微細化に関する国内企業の開発動向に合わせるため、「(3) EUV レジスト材料技術開発」の最終目標を下記のように変更した。(基本計画の変更(2013 年 2 月))
 解像度 hp11nm 以細のレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、開発した EUV レジストをベースに他のレジスト材料を組み合わせることで、hp11nm 以細のレジスト技術を実現する。

研究開発項目②
 EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発では、EUV マスク BI 装置開発、EUV マスク PI 装置開発、EUV レジスト材料基礎研究に関する目標として以下を提示する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発
 hp16nm 以細に対応する BI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発
 hp16nm 以細に対応する PI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(3) EUV レジスト材料基礎研究
 得られた知見や新規技術に関する研究成果が、hp16nm 以細へのレジスト材料開発にとって有効であることを示す。

事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	
	NEDO 技術開発 研究開発項目 ①[共同研究]		←				→	
	NEDO 技術開発 研究開発項目 ②[委託]	←	→					
開発予算 (単位:百万円) 契約種類: 委託 共同研究(負担率 1/2)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	総額
	一般会計	0	2,999	1,432				
	特別会計 (需給)				1,600			
	総予算額	0	2,999	1,432	1,600			
	(共同研究) :負担率 1/2		864	1,432	1,600			
	(委託)		2,135					
開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局 情報通信機器課						
	プロジェクトリーダー	渡邊久恒 株式会社 EUVL 基盤開発センター 代表取締役社長						

	委託先	<p>研究開発項目①[2011年度～2015年度] 共同研究先:株式会社 EUVL 基盤開発センター(EIDEC) 参加企業:旭硝子株式会社/大日本印刷株式会社/富士フイルム株式会社/HOYA 株式会社/JSR 株式会社/株式会社ニコン/日産化学工業株式会社/ルネサスエレクトロニクス株式会社/信越化学工業株式会社/東京エレクトロン株式会社/東京応化工業株式会社/凸版印刷株式会社/株式会社東芝 共同実施先:インテルコーポレーション(米国)/サムスン電子(韓国)/サンディスク コーポレーション(米国)/SK ハイニックス(韓国)/台湾セミコンダクター・マニファクチャリング・カンパニー(台湾)/レーザーテック株式会社/株式会社荏原製作所/東京エレクトロン株式会社 再委託先:国立大学法人大阪大学/公立大学法人兵庫県立大学/国立大学法人東北大学</p> <hr/> <p>研究開発項目②[2010年度～2011年度] 委託先:株式会社 EUVL 基盤開発センター(EIDEC)/国立大学法人大阪大学 参加企業:旭硝子株式会社/大日本印刷株式会社/富士フイルム株式会社/HOYA 株式会社/JSR 株式会社/日産化学工業株式会社/ルネサスエレクトロニクス株式会社/信越化学工業株式会社/東京応化工業株式会社/凸版印刷株式会社/株式会社東芝 共同実施先:インテルコーポレーション(米国)/サムスン電子(韓国)/サンディスク コーポレーション(米国)/SK ハイニックス(韓国)/台湾セミコンダクター・マニファクチャリング・カンパニー(台湾)/レーザーテック株式会社/株式会社荏原製作所 再委託先:公立大学法人兵庫県立大学</p>
情勢変化への対応		<p>(1) 東日本大震災 2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災により損傷した産業技術総合研究所のスーパークリーンルームにある機器の修理のため、研究開発項目②の委託費用を2011年6月に2.2億円増額した。</p> <p>(2) 他のレジスト開発 NAND フラッシュメモリの微細化に関する国内企業の開発動向に合わせるため、開発した EUV レジストをベースに他のレジスト材料を組み合わせることで、hp11nm 以細のレジスト技術を実現する開発を2013年度から開始した。</p> <p>(3) フルフィールド露光評価 2012年度までのEUVレジスト材料技術開発において、中間目標であるhp16nmを上回る解像度 hp15nmのEUVレジスト材料の開発に成功した。これらの成果を受けて、実用化を見据え基本性能が実証されたEUVレジスト材料のフルフィールド露光機による評価を実施する。</p> <p>(4) レジスト hp11nm 以細対応露光装置 hp11nm 以細のレジスト材料開発に対しては、新たに NA=0.5 の HSFET を製作する。</p> <p>(5) 技術推進委員会 (5)-1 第1回技術推進委員会(2012年2月8日実施) 2012年2月8日に、研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」の評価を兼ねて第1回技術推進委員会を実施した。 事業の必要性、重要性を認めて頂き、達成された成果も妥当との意見を頂いた。これを基に、研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」は研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施することが了承された。</p> <p>(5)-2 第2回技術推進委員会(2012年11月13日実施) 設定目標に対する進捗の達成度を確認したうえで、委員の専門性を活かした中間目標達成のためのコメントを頂いた。</p>
中間評価結果への対応		2013年8月中間評価実施のため現時点記載すべき事項無し。
評価に関する事項	事前評価	2010年度実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部
	研究開発項目②の評価	2011年度(2012年2月8日)技術推進委員会において研究開発項目②の評価を実施
	中間評価	2013年度 中間評価実施予定
	事後評価	2016年度 事後評価実施予定

	<p>本研究開発の成果は、世界最高水準の EUV マスク BI 装置、EUV マスク PI 装置、EUV レジスト材料の実現にあたりとともに、最先端半導体デバイスプロセス市場における日本企業の競争力強化が可能となる。つまり、EUV リソグラフィに関する技術開発においては、製造装置開発・材料開発・プロセス開発など広い範囲の連携が必要と想定される。それぞれが幅広く、かつ有機的に関係するため、製造装置開発に直接かかわる事業者だけでなく、材料メーカー、デバイスメーカーをはじめとする種々の関連産業においても、技術の底上げと雇用の促進が期待され、同時に、EUV リソグラフィの専門性を備えた人材の育成が期待できる。</p>						
	<p>研究開発項目①(見込みはいずれも 2016 年 3 月)</p> <p>(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発 BI 装置を組上げて完成させ、プログラム欠陥を用いた画像データから、基本機能が達成されていることを確認した。BI 装置の欠陥検出効率向上のための基本検討を行って基本仕様をまとめ、マスクブランク欠陥のウェハへの転写性を高精度で評価して欠陥検出感度の要求値を明確にした。</p> <p>(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発 PI 装置を高感度化、及び高スループット化するためのコア技術を開発する。EUV マスクの電子線像の確認と、照明光学系と結像光学系の電子透過率に注目しその性能を精密に評価する手法を確立する。</p> <p>(3) EUV レジスト材料技術開発 EUV レジスト材料開発を進め、解像度、LWR、感度、アウトガスの観点で優れた特性を持つレジスト材料・プロセスを開発する。さらに、hp11nm に対する開発目標とマイルストーンを設定する。EB 照射方式によるレジストアウト評価手法を確立し、EUV 光照射方式(兵庫県立大学への再委託)との相関を取得した。そのレジストアウト評価手法の妥当性の検証をする。EUV レジスト技術をベースに他のレジスト材料を用いて、EUV による転写パターンのサイズの縮小を可能にするレジストプロセス技術を開発し、hp11nm 以細のパターンが形成できる材料・プロセス技術を実現する。</p>						
<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>研究開発項目②</p> <p>(1) EUV ブランク欠陥検査装置開発 EUV 光を用いた量産のための BI 装置を実現するための装置の基本設計を行い、より高効率化を目指し、光源、光学系等の最適設計を実施した。照明強度を高輝度化させることにより、45 分程度で欠陥検査できることを達成した。</p> <p>(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発 電子ビームを用いた写像投影方式による欠陥検査技術を確立する為の高分解能写像投影光学系を開発した。hp16nm に対応した高分解能写像投影方式電子ビーム光学系に対する要求仕様を明確にした。上記にて明確化される高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の要求仕様に基づいて、EUV マスク欠陥検査装置の核となる新たに開発する高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を製作する。</p> <p>(3) EUV レジスト材料基礎研究 これまでのレジストモデルの拡張を行うとともに逆解析アルゴリズムの高精度化を行い、SFET(Small Field Exposure Tool)によるレジスト露光に適用し、hp16nm、hp11nm に向けたレジスト設計指針を得た。hp16nm レジストパターン作成に重要な工程である現像・リンス工程に対して行い、該パターン形成に向けての材料、現像(液)プロセス、リンス(液)プロセス方針を明確にした。 ・アウトガスとコンタミ膜厚評価の基礎手法を習得したうえで、レジスト材料の量産プロセスの使用条件を考慮したアウトガスとコンタミ膜厚評価用サンプル作成技術を構築し評価技術の標準化に向けた提案を行った。</p>						
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="406 1525 603 1563">投稿論文</td> <td data-bbox="603 1525 1437 1563">「査読付き」60 件、「その他」58 件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="406 1563 603 1626">特 許</td> <td data-bbox="603 1563 1437 1626">「出願済」15 件、「登録」2 件、「実施」0 件(うち国際出願 2 件) 特記事項:なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="406 1626 603 1845">その他の外部発表(プレス発表等)</td> <td data-bbox="603 1626 1437 1845">「ルネサス、共同開発に参加、次世代半導体の企業連合始動材料含め競争力を確保」(日本経済新聞 9面2011年6月10日) 「超低電力デバイス実現へ開発着手、次世代半導体微細加工・評価基盤技術 NEDO など」(化学工業日報 朝刊 5 面 2011 年 6 月 13 日) EIDEC シンポジウム 2011 2011 年 6 月 17 日 品川プリンスホテル 170 名 EIDEC シンポジウム 2012 2012 年 5 月 11 日 コクヨホール(品川) 200 名 EIDEC シンポジウム 2013 2013 年 5 月 21 日 コクヨホール(品川) 230 名</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」60 件、「その他」58 件	特 許	「出願済」15 件、「登録」2 件、「実施」0 件(うち国際出願 2 件) 特記事項:なし	その他の外部発表(プレス発表等)	「ルネサス、共同開発に参加、次世代半導体の企業連合始動材料含め競争力を確保」(日本経済新聞 9面2011年6月10日) 「超低電力デバイス実現へ開発着手、次世代半導体微細加工・評価基盤技術 NEDO など」(化学工業日報 朝刊 5 面 2011 年 6 月 13 日) EIDEC シンポジウム 2011 2011 年 6 月 17 日 品川プリンスホテル 170 名 EIDEC シンポジウム 2012 2012 年 5 月 11 日 コクヨホール(品川) 200 名 EIDEC シンポジウム 2013 2013 年 5 月 21 日 コクヨホール(品川) 230 名
投稿論文	「査読付き」60 件、「その他」58 件						
特 許	「出願済」15 件、「登録」2 件、「実施」0 件(うち国際出願 2 件) 特記事項:なし						
その他の外部発表(プレス発表等)	「ルネサス、共同開発に参加、次世代半導体の企業連合始動材料含め競争力を確保」(日本経済新聞 9面2011年6月10日) 「超低電力デバイス実現へ開発着手、次世代半導体微細加工・評価基盤技術 NEDO など」(化学工業日報 朝刊 5 面 2011 年 6 月 13 日) EIDEC シンポジウム 2011 2011 年 6 月 17 日 品川プリンスホテル 170 名 EIDEC シンポジウム 2012 2012 年 5 月 11 日 コクヨホール(品川) 200 名 EIDEC シンポジウム 2013 2013 年 5 月 21 日 コクヨホール(品川) 230 名						
<p>IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて</p>	<p>本プロジェクトは 2015 年度で終了するが、その後、マスク検査装置開発、EUV レジスト材料開発を企業において本格化し、hp16nm 対応は 2015 年から、hp11nm 以細対応は 2017 年からプロトタイプの検証を開始し、2~3 年の量産化開発を経て量産製品出荷を見込む。これにより ITRS(*)ロードマップに対応するので、検査装置市場、材料市場の広がりが予想できる。これらより、成果の実用化可能性、波及効果および事業化までのシナリオは十分に見込まれると考える。</p> <p>(*)最新の ITRS は 2012 年版</p>						

V. 基本計画に関する 事項	作成時期	2010年12月 作成
	変更履歴	2013年2月 改訂(EUVレジスト材料技術開発における最終目標の追加修正)

プロジェクト用語集

用語	説明	分類
ABI	Actinic Blank Inspection の略。ここでは、EUV 光を検査光としてマスクやマスクブランクに存在する欠陥を検出すること。	(1)
EUV	Extreme Ultraviolet の略で、極端紫外線と呼ばれる。リソグラフィで使用される EUV 光の波長はほぼ 13.5 nm である。	(1)
照明光学系	光源から発する光を物体面の所望の領域に照射するように、光の進行方向を制御する光学手段。EUV 光用は、複数の多層膜反射ミラーの組み合わせで構成される。	(1)
対物光学系	物体面の像をセンサー面などに結像するレンズ光学系のうち、物体面に近いレンズのこと。EUV 光用の光学系は、複数の多層膜反射ミラーの組み合わせで構成される。	(1)
マスク	半導体集積回路や液晶ディスプレイなどの製造工程で、シリコン基板上にパターンを焼き込む際に使用する、パターンの原画が描かれた原板。	(1)
ブランク	ガラス基板や低熱膨張率基板上に、異なる 2 種類の材料を、1 層あたり 1/4 波長の厚さで交互に数 10 層積層した基板。 所定の波長の光を反射させる機能を有する。	(1)
TDI センサー	Time Delay Integration の略で時間差積分のこと。時間をズラしながら光量を積算していく受光素子。	(1)
CCD	Charge-Coupled Device の略で、画像を電気信号に変換する際に、受光素子が光から発生した電荷を読み出す電荷結合素子と呼ばれる回路素子。	(1)
読み出しタップ	TDIセンサーに蓄積されたデータを外部に読み出すチャンネルのこと。	(1)
Camera Link	産業用デジタルカメラのデータ伝送方式を定めた規格の名称。カメラメーカーとボードメーカーがコネクタやピンアサイン、使用するケーブル等を標準化している。	(1)
フレームトランスファ	CCD センサーの構造の一つ。受光用 CCD と転送用 CCD を有し、垂直帰線期間に受光用 CCD から転送用 CCD に転送を行う。	(1)
ブルーミング	CCD センサー上に、非常に強い光が入射したとき、画素から電荷があふれ出して、周囲に光がにじみ出たような画像になってしまうこと。 (blooming)	(1)
リニアガイド	直線駆動ベアリングユニット。ステージ等の機械の直線運動部を駆動体を用いてガイドする。	(1)
レーザー干渉計	可干渉性に優れたレーザー光を分割して被測定物に照射し、反射光や透過光の微小な光路差により生じる干渉縞を解析することで変位などを測定する装置。	(1)
ピッチング	平面内を一方向に移動するステージにおいて、移動面内にあつて進行方向と直交する軸の廻りの回転運動。	(1)
ヨーイング	平面内を一方向に移動するステージにおいて、移動面と直交する軸の廻りの回転運動。	(1)
LVDS	低電圧作動信号方式のこと。高データレート、高ノイズ耐性、低消費電力の高速デジタルインタフェース。	(1)
MIRAI-Selete	株式会社半導体先端テクノロジーズ (Selete) が、MIRAI 第 3 期 (2006/4~2011/3) の期間中に NEDO の支援を受けて実施した次世代マスクプロジェクト。	(1)
プログラム位相欠陥	EUV ブランクを構成する多層膜中の所定位置に、所望の大きさを有して意図的に作り込まれた位相欠陥のこと。基板に凹凸を付けることにより作成する。	(1)
照射ゲイン	入射した光と、放出(反射)される光のエネルギー比のこと。	(1)

シェーディング補正	画像全体が平均的に一様な明るさとなるように補正すること。	(1)
Position Possessor	エンコーダ等によって検出した位置信号を処理する機能を持つユニット。本装置では XY ステージの位置を検出してサーボドライバや検査回路に位置を転送する役割を持つ。	(1)
Motion Controller	ステージの位置、速度、加速度等を定めてサーボドライバへの指令を行い、ステージを制御する機能を持つユニット。	(1)
INSENA 信号	ABI 装置で定義した信号で Inspection enable 信号の省略。検査の有効範囲を示し、On の範囲でのみ検査回路が欠陥を取得する。	(1)
PEEK	ポリエーテルエーテルケトン, polyetheretherketone。射出成形可能な熱可塑性樹脂として最高の耐熱性を持つ。芳香族系。ガラス繊維で強化可能。耐薬品性も優れる。	(1)
FKM	フッ素系合成ゴム。耐油性、耐化学薬品性、耐熱性、耐炎性、耐候性、耐オゾン性など他の合成ゴムの追従を許さない高度の性質を有する。	(1)
SCP5000	デュポン株式会社製の耐熱樹脂。吸水率が低く、引張強度や寸法安定性に優れる。また発塵や高温劣化も少ない。	(1)
EMO	Emergency off。SEMI 規格で「緊急遮断」と規定される。EMO 機能としては人や設備に対して新たな危険を生じずに安全シャットダウン状態に移行すべきと規定される。	(1)
逡倍処理	入力したクロック信号の整数倍の周波数を持つクロック信号を生成する処理。	(1)
ディファレンシャル干渉計	ユーザーが準備する2つのミラーの相対距離差を光の干渉により測定する干渉計システムを指す。	(1)
バーミラー	主に露光装置のXYステージの測長に使用される棒状基準ミラー。高純度合成石英、低熱膨張ガラスを使用。	(1)
スーパーインバー	鉄、ニッケル、コバルトの合金。常温域での熱膨張率がごく小さい金属材料。「超不変鉄」「超不変鋼」「スーパーアンバー」とも呼ぶ。	(1)
白色干渉計	可干渉性の少ない白色光源と等光路干渉計を利用し測定面に対応する CCD 各画素の等光路位置(干渉強度が最大になる位置)を干渉計対物レンズを垂直走査して求める手法。	(1)
弾性ヒンジ	elastic hinge。片方の要素のガタや振動などを他方に伝えないために弾性変形によって吸収させる結合部分。	(1)
Shading 補正	光学系や撮像系特性による輝度ムラに対して一様な明るさの画像になる様に補正する処理。全体が一様な輝度分布を有す画像に対する画像処理系への入力データを用い全画素に対する変換特性を事前に求め輝度補正する。	(1)
FPGA	field-programmable gate array。製造後に購入者や設計者が構成を設定できる集積回路。広義には PLD(プログラマブルロジックデバイス)の一種。現場でプログラム可能なゲートアレイ。	(1)
フレームグラバ	Frame grabber。動画像取り込み装置。フレームバッファを内蔵し PCI バスなどに準拠したボード。カメラの同期を取り複数のカメラ映像を取り込む。	(1)
先鋭化フィルター	鮮鋭化フィルター。画像の濃度値が本来は急変しているべき輪郭部などで濃度値変化が緩やかになる場合、濃度値変化を強調(その部分を微分)することで鮮明画像を得る。	(1)
平滑化フィルター	画像の輝度値を平らに滑らかにするための手法。画像中のノイズを除去するために用いる。移動平均フィルター(別名:平均化フィルター、単に平滑化フィルターともいう)は注目画素のその周辺の輝度値を用いて輝度値を平均し処理後画像の輝度値とする手法。	(1)
Convolution	畳み込み。関数 f を平行移動しながら関数 g を重ね足し合わせる。	(1)
アンティチャンバ	Antechamber。控えの間、副室。ロードロックチャンバと検査チャンバとの中間に位置し、検査サンプルの一時的な真空保管機能を有す。	(1)

ナビエストークス方程式	Navier-Stokes equations、流体運動を記述する2階非線型偏微分方程式。流体力学で用いられる。ニュートン力学の運動の第2法則に相当、運動量の流れの保存則を表す。	(1)
ペリクルレス	マスク上への異物付着を防ぐペリクルを使用しない環境を指す。現状、EUV露光技術に適したペリクル作成が困難なため、ペリクルレスがEUV露光の前提とされている。	(1)
Dual Pod	EUV露光用マスクの付着異物発生を抑制するため、搬送用Podを2重構造とし、主にアウターは大気側で、インナーは真空側で開閉する構造を持つ。	(1)
PSL	Polystyrene Latex(ポリスチレンラテックス)の略。粒径の均一性及び真球度に優れているため粒径の標準微粒子として使用される。	(1)
擬似欠陥	マスク欠陥検査を実施する際に、主に検出器のノイズ信号など、実際には欠陥でないにも拘らず欠陥として認識された検出物を指す。	(1)
近接場	マスクなど構造物近傍の電場分布(Near field)を指す。通常マスク立体構造を考慮したウェハ転写像計算では、マスク近接場がウェハ上に結像されるモデルを用いている。	(1)
CSM	Coherent EUV Scatterometry Microscopeの略。EUVマスクにコヒーレント光を入射し、発生した回折像を取得してマスク像を再生する顕微鏡。	(1)
AFM	Atomic Force Microscope(原子間力顕微鏡)の略。試料と探針との原子間に働く力を検出して像を取得する。EUVマスクの位相欠陥の観察や、表面粗さ測定に用いられる。	(1)
SEM	Scanning Electron Microscope(走査型電子顕微鏡)の略。電子線を絞ってマスクなどの観察物に照射し、主に発生する二次電子を検出して像を取得する。	(1)
HVM	High Volume Manufacturingの略。製造装置や製造プロセスなどが量産を目的として開発されたもの、およびその技術を指す。	(1)
シュバルツシルト光学系	中心部の空いた凹面鏡と凸面鏡から構成される結像光学系。比較的開口数が大きくでき、構造的に安定である利点を持ち、EUV光学系で多く用いられる。	(1)
NA	Numerical Aperture(開口数)の略。光学系の光軸と最外光線のなす角の正弦に媒質の屈折率を乗じたものを指す。投影光学系ではNAが大きいほど高い分解能が得られる。	(1)
ダイポール照明	二重極照明と呼ばれる露光装置の照明条件のひとつであり、投影レンズの瞳面での光強度分布が2極に分離している。ラインアンドスペースパタンの形成に適している。	(1)
EDX分析	Energy Dispersive X-ray spectrometryの略。電子線照射により発生する特性X線を検出し、エネルギーで分光することによって、元素分析や組成分析を行う手法のこと。	(1)
Bore(プラズマ絞り)	放電型EUV光源において、所定のターゲットガス内での放電により生成されるプラズマを絞る管状の部材。	(1)
Zrフィルター	ジルコニウムを材料としたフィルターのこと。EUV光源から発する光の内、長波長領域の光を遮断するフィルターとして使用される。	(1)
ラマン分光分析	ラマン分光法は物質に単色光を照射し、散乱される光を分光器によって観測する分析法。得られたスペクトルより物質の評価を行う。	(1)
2流体ノズル	液体と気体を混合させ噴霧することが可能なノズル。マスクの洗浄法の一つである2流体ジェット法に用いるノズル。	(1)
フィデューシヤルマーク	マスク基板の基準点を示すマークであり、アライメントや位置特定のために使用される基準マークのこと。	(1)
収束イオンビーム	空間的に収束させたイオンビームのこと。マスク材料の除去加工にも使用される。	(1)

SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International の略。米国の半導体製造装置材料協会。	(1)
フェナントレン	炭素が 14 個、水素が 10 個からなる多環芳香族炭化水素。	(1)
CD 誤差	CD は半導体、フォトマスク等のパターン寸法精度のひとつである (Critical Dimension) の略であり、CD 誤差は設計線幅と実際の線幅の差を表す指標。	(1)
LER	半導体、フォトマスク等のパターンエッジの凹凸 (Line Edge Roughness) の略称。LER 精度は半導体性能、歩留まり等に影響することから、リソグラフィ精度を顕わす指標のひとつとして用いられる。	(1)
TEM	透過電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscopy) の略称。高速の電子線を薄膜試料に照射し、電子線の試料内での回折・散乱による回折像を得ることにより微細構造の観察を行う分析装置。	(1)
伝搬角度	EUV 光フォトマスク用ブランクの多層膜に発生する位相欠陥において、ガラス基板表面に存在し位相欠陥の原因となる種欠陥と、種欠陥に起因して多層膜最表面に生じる凹凸形状を結んだ仮想線と基板表面からの垂線の成す角度。	(1)
コンフォーマルモデル	EUV 光フォトマスク用ブランクの多層膜の積層モデルを表し、ガラス基板表面の形状と多層膜表面の形状が同一となる積層モデルを指す。	(1)
円形照明	半導体露光装置の照明形状のひとつであり、最も基本的な形状とされ、投影レンズの瞳面での光強度分布が円形となる照明形状。	(1)
PSD	パワースペクトル密度 (Power Spectral Density) の略称。原子間力顕微鏡により得られた表面形状の解析等、広く用いられる解析指標で、表面形状分等を周波数毎に分離してその特性を顕わす。	(1)
FFT 処理	FFT とは高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform) の略称で、フーリエ変換を高速に計算するアルゴリズムを指す。FFT 処理はそれを利用したフーリエ変換処理を指す。	(1)
rms	自乗平均粗さ (roughness of Root Mean Square) の略称。表面粗さの指標のひとつで、平均線から測定曲線までの偏差の二乗を平均した値の平方根をとった値。	(1)
CDトレランス	リソグラフィにおけるパターン線幅の設計線幅からのズレ量の許容値を指す。	(1)
EL	露光裕度 (Exposure Latitude) の略称。フォトリソグラフィにおける露光量の変動に対する裕度を示し、レジストパターンの線幅寸法の変動量が許容範囲内に入る露光量の範囲を指す。	(1)
ニュースバル	ニュースバル放射光施設は、大型放射光施設 SPring-8 (世界最高性能の放射光施設) の敷地内に兵庫県が設置し、兵庫県立大学高度産業科学技術研究所が運営を行っている。	(1)
フレネルゾーンプレート	回折光学素子の一種で、規則的に間隔の変化する同心円帯をつくり、各輪帯からの光が同位相で 1 点に集まるようにしたもの。	(1)
スペックルノイズ	マイクロ CSM では、コヒーレントな光源を利用するので照射された 2 点間の粗さによる散乱が、撮像面で干渉して作る明暗によるノイズ。	(1)
SR	Synchrotron Radiation 放射光とは、相対論的な荷電粒子 (電子や陽電子) が磁場で曲げられるとき、その進行方向に放射される電磁波。	(1)
X 線反射ロックングスキャン	X 線反射率測定において、ロックングスキャンは、入射 X 線も検出器も固定して、照射されるサンプルのみを回転させて測定する方法。	(1)
ブラグピーク	多層膜反射鏡を X 線回折で見た場合、各界面で散乱した X 線が、膜構造に依存する干渉条件により強めあうピーク。	(1)
次数制限遮光部品	フレネルゾーンプレートで発生する、0 次光と 2 次以上の回折光を遮光する部品。フレネルゾーンプレート下部に装着される。	(1)

X線ズーム管	結像した軟 X 線を光電面に照射して電子を発生させ、その光電子を電子光学系で拡大して撮像する装置。	(1)
軸外収差	ザイデルの 5 収差の中で、非点収差やコマ収差は光軸外からの光線に特有に発生するので軸外収差と呼ばれている。	(1)
ケーラー照明	光源内部の強度ムラを解消する照明方法のひとつ。光源を投影レンズに結像させる集光レンズと照射面を集光レンズに結像させる投影レンズで構成される。	(1)
波面収差	収差のない理想結像(ガウス結像)における波面と実際の光学系によって結像の場合の波面とのずれを波面収差という。	(1)
Annular Zernike 多項式	光学系の収差の量を、単位円の中で互いに直交する関数の多項式で表したものを、円内を極座標表示 (r, θ) すると、直交する関数は、 r のみの関数と $\cos(m\theta)$ または $\sin(m\theta)$ との積で表される。	(1)
ザイデル収差	幾何光学においてレンズや鏡で像をつくる時に生じるボケやゆがみなどの収差のうち、色収差以外の単色収差を分類し説明したもの。球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲、歪曲収差の 5 収差を示す。	(1)
Petzvar 項	ザイデル収差の第 4 項で定義される像面湾曲のこと。結像光学系で形成される像面形状は平面が理想的であるが、実光学系では一般に湾曲する。	(1)
Airy disk	円形開口を通過した光は、回折して開口部から遠く離れた観察平面上に同心円状の明暗のパターンをつくる。この回折パターンの中心部の明るい領域を Airy disk という。	(1)
2 光速干渉	周期パターンや回折格子で回折された回折成分の内、 -1 次と 0 次、あるいは 0 次と $+1$ 次というように 2 成分だけが結像光学系を通過してパターン像を形成すること。	(1)
MRP (MRSP)	Multiple Reticle SMIF Pod の略。複数のマスクを収納できるマスクポッドのこと。	(1)
ZEMAX	米国 Radiant Zemax, LLC 社が提供する光学シミュレータの名称。光線追跡計算や様々な収差解析、光学系設計を行うことができる。	(1)
Out of Band 光	着目する光の波長と十分に異なる波長を有する光。EUV 光(波長 13.5 nm)を取り扱う分野では、波長が 50 nm 以上の光を指し、可視光も含む。	(1)
PD	Photodiode(フォトダイオード)であり、光を受けて電気信号に変えて光量を検出する素子のこと。	(1)
エタンデュ Ω_s	光束の面積と拡がり立体角との積の値。光学系の中ではエタンデュは一定。光源側のエタンデュ(光源面積と発散立体角の積)は照明領域のエタンデュにより制限される。	(1)
写像投影光学系	試料面から放出される電子線分布を結像光学系により拡大して検出器に投影する光学系。	(2)
PI	Patterned mask Inspection の略。マスク上に形成された回路パターンが設計通りに形成されているかを検査すること。	(2)
ビーム分離ユニット	電子照明系と電子像投影系の電子ビームを分離するユニット。照明ビームを曲げて試料表面に照射し、試料表面からの電子を検出器方向に直進させる。	(2)
Cathode レンズ	O レンズと同義。	(2)
LSF	Line Spread Function の略。物体が直線物体であるとき、光学系によるその像の分布をいう。1 次元的に変化する物体の光学系による像は、物体関数と LSF の畳み込み積分として求められる。	(2)
PEM	Projection Electron Microscope の略。電子線を生成する電子源と、試料への電子ビーム照射を面状で行う照明光学系と、試料面から出てくる電子像を拡大投影して検出器に結像する。	(2)

ITRS	International Technology Roadmap for Semiconductors の略。半導体製造に関わるヨーロッパ・日本・韓国・台湾・米国の工業団体の資金により運営されている。	(2)
スキヤナ	マスク上に形成された微細回路パターンを、ウェハ上に転写する露光装置。転写に当ってスリット状の露光光に対してマスクを走査(スキヤン)し、これと同期してウェハを移動する。	(2)
CRAO	Chief Ray Angle at Object の略。EUV 露光においてはマスクに対して照明光が斜め(6 度程度)に入射するため、ウェハ上へ転写されるパターンの忠実性に影響を及ぼす。	(2)
輪帯照明	マスクパターンをウェハ上に転写する際、パターンピッチが小さい場合に効率よく集光し像形成するための照明方法。任意方向に回転したパターンに有効。	(2)
二極照明	マスクパターンをウェハ上に転写する際、パターンピッチが小さい場合に効率よく集光し像形成するための照明方法。特に、一次元方向の L/S パターンに有効。	(2)
EB-GAE 技術	Electron Beam Gas Assisted Etching の略。加工促進ガスを導入しながら電子線を照射し、高速かつ選択的に対象物をエッチングする技術。	(2)
SFET	Small Field Exposure Tool の略。マスク上の微小領域の EUV 転写評価装置。	(2)
EM-Suite	リソグラフィシミュレータ。Panoramic Technology 社の商品名。	(2)
TaBN、TaBO	吸収層を構成する物質。TaBN はタンタルとボロンと窒素を含む。TaBO はタンタルとボロンと酸素を含む。	(2)
Mo/Si 多層膜	EUV 光を反射させる層。Mo と Si の膜厚はそれぞれ 2.8nm と 4.2nm で、40 ペアで構成される。	(2)
ミラー電子	一次電子が試料に衝突することなく、試料直前で反射する電子。試料に電子ビームの持つエネルギーよりわずかに大きい負の電位を与えることによって得られる。	(2)
ダイ比較方式	マスク上の複数置かれた同一レイアウトのパターンブロック(ダイ)に注目し、お互いのパターンを比較することで、差異を見つけて欠陥を同定する方式。	(2)
ローパスフィルター	画像に含まれるパルス状のノイズ(高周波成分)を除去するフィルター。	(2)
バンドパスフィルター	検出ターゲット欠陥の画像の強度変化が、その大きさに応じて空間周波数が変わることを利用して、その空間周波数成分を強調するフィルター。	(2)
PSF	Point Spread Function の略。物体が点物体であるとき、光学系によるその像の分布をいう。2 次元の広がりを持つ物体の光学系による像は、物体関数と PSF の畳み込み積分として求められる。	(2)
PPEM	Photoelectron Pattern Evaluation Method の略。パターン状に形成された光電子を結像光学系の試料面に発生させ、得られた電子線像のパターンにより性能を評価する。	(2)
PEF	Photoelectron Emittable Film の略。レーザー光を照射すると、膜から光電子が放出される。	(2)
SPF	Shading Pattern Film の略。PEF 上にパターン状に形成し、裏面からレーザーを照射すると、SPF からは光電子が発生しないのでパターン状の光電子が形成される。	(2)
O レンズ R レンズ P レンズ	O レンズ(オブジェクトレンズ)、R レンズ(リレーレンズ)、P レンズ(拡大投影レンズ)を組み合わせてマスクの電子像を規定倍率にて検出器に拡大投影する。	(2)
MTF	Modulation Transfer Function の略。被写体の持つコントラストをどの程度忠実に再現できるかを、空間周波数特性として表現したもの。	(2)

ベルシュ効果	電子銃から放出される電子の電流量が増すと、電子同士のクーロン相互作用によってエネルギー分布の幅が増大する現象。色収差を大きくする。	(2)
ウィーン条件	ビーム分離ユニットに対し、斜め上から入射する電子がマスクに垂直方向に入射し、下から入射する電子は直進するような、電界と磁界による偏向が打ち消しあう条件。	(2)
ロードロックチャンバ	マスクを大気中から搬送し、ゲートバルブを設けることで真空ポンプによりトランスファーチャンバに移載できる真空度まで到達させ、マスクを検査位置へ送り出す。	(2)
MPPS	Mega Pixel Per Second の略。画素(Pixel)単位で 2 次元的に分割された画像に対して演算処理をするスピードの単位。一秒当たり 100 万画素の処理をする速度。	(2)
DUV	Deep UltraViolet の略。半導体製造工程で、マスクパターンをウェーハ上に転写するのに用いられる光源の波長。	(2)
高圧基準管	電子ビーム光学系において、高エネルギー電子を用いた軌道形成を行う際、基準電圧場を設定するための主要部品。	(2)
ガラス転移温度 Tg	高分子の物性を表すパラメーターの一つ。 高分子が軟化する温度。分子量、側鎖の高高さなどが寄与する。	(3)-1
光酸発生剤 (PAG)	Photo Acid Generator : 光や電子を受けて分解し、酸を発生させる加工物。	(3)-1
液中 AFM	液中 A tom F orce M icroscope (原子間力顕微鏡) : 試料及びカンチレバー (片持ち梁) が液中にあって分析を行う AFM。	(3)-1
IMEC	I nter u niversity M icro E lectronics C enter : ベルギーにある、半導体関係の研究開発を行うコンソーシアム。	(3)-1
SEMATECH	S emiconductor M anufacturing T echnology : アメリカにある、半導体関係の研究開発を行うコンソーシアム。	(3)-1
MET	M icro E xposure T ool : 小フィールド EUV 露光機の一つ。	(3)-1
LWR	L ine W idth R oughness : ラインパターンの線幅のばらつきを表す指標。	(3)-1
クエンチャー	露光中及び露光後の熱処理の際に、露光によって発生した酸が拡散するのを抑制するために添加されるレジスト組成物。	(3)-1
化学増幅型レジスト	露光によって発生した酸が触媒となって、レジストベース樹脂の保護基を脱保護する事をコンセプトにしたレジストの事。	(3)-1
ASML	オランダに本社を構える、露光機メーカー。	(3)-1
LBNL	L awrence B erkeley N ational L aboratory : アメリカにある米国エネルギー省の研究所。カリフォルニア大学が代行運営を行っている。	(3)-1
Albany	SEMATECH が University at Albany キャンパス内にある Albany Nanotech に保有するレジストテストセンター。	(3)-1
ArF 液浸リソグラフィ	ArF 光源 ($\lambda=193\text{nm}$) を使用したリソグラフィのうち、投影レンズとレジストの間を純水で満たして露光する技術。	(3)-1
保護基ユニット	レジストのベースとなる樹脂のモノマーのうち、酸によって分解し、現像液に対する溶解コントラストを発現する置換基が導入されているモノマー単位(ユニット)のこと。	(3)-1
RLS	R : Resolution (解像度)、 L : LWR (Line width Roughness)、 S : Sensitivity (感度)	(3)-1
PHS ベース	ポリヒドロキシシスチレンベース : レジストのベースとなる樹脂の骨格が、ヒドロキシシスチレンであること。	(3)-1
メタクリルベース	レジストのベースとなる樹脂の骨格が、メタクリル酸であること。	(3)-1

Dill's C パラメータ	米国研究者 Dill らがレジスト中の感光剤濃度を計算するために見出した感光パラメータの一つ。光の吸収に寄与するパラメータ。	(3)-1
コンタクトホール C/H	半導体素子が形成された層と配線のための層をつなぐために、絶縁膜に開けられる穴。	(3)-1
TMAH	T etramethyl a mmonium h ydroxide (水酸化テトラメチルアンモニウム): 現像液は、TMAH の 2.38% 水溶液が用いられるのが一般的。	(3)-1
PTD	P ositive T one D evelopment: 露光された部分を、現像液に溶解させる現像プロセス。	(3)-1
NTD	N egative T one D evelopment: 露光されていない部分を、現像液に溶解させる現像プロセス。	(3)-1
HMDS 処理	H examethyl d isilazane 処理: レジストの密着性を向上させるために、ウェハに HMDS (ヘキサメチルジシラザン) を散布し、ウェハ表面を疎水性にする処理のこと。	(3)-1
PEB	P ost E xposure B ake: 露光後に行う熱処理。	(3)-1
フラーレン	多数の炭素原子のみで構成される、中空な球状のクラスターの総称。サッカーボール状の構造を持ったフラーレンを特に C ₆₀ フラーレンという。	(3)-1
HSQ	H ydrogen S ilse s quioxane (水素シルセスキオキサン)。	(3)-1
X-dipole	光学コントラストを向上させるための照明形状の一つ。 X-dipole は、特にラインアンドスペースパターンの光学コントラストが向上する。	(3)-1
フラッシュランプ PB	フラッシュランプポストバーク: 現像後に、ミリ秒オーダーで光を当ててレジスト膜を加熱するプロセス。	(3)-1
CNF	C arbon N ano F ibers: AFM (原子間力顕微鏡) のカンチレバーに用いられる材料。既成品に比べ、細い部分が長いのが特徴。	(3)-1
PID 制御	P roportional I ntegral D erivative 制御: フィードバック制御の一つ。入力値を出力値と目標値の偏差、積分、微分の 3 つの要素によって行うこと	(3)-1
力場	原子に作用する力を決めるポテンシャルのこと。分子動力学計算はこの力場を用いて分子シミュレーションする。	(3)-1
ダブルパターンニング技術	物理的に解像不可能な線幅のパターンを、2 回に分割してパターン形成する技術。プロセス違いで数種類ある。	(3)-1
WS WF	W itness S ample (WS): レジストアウトガス評価に用いる、表面にコンタミ膜を形成させる 1 インチのシリコンウェハ。ウイットネスサンプル。 W afer (WF): シリコンウェハ。	(3)-2
ECC	E mission C urrent C ontrol : 電子銃から放出される電流量を、電流量の増減をモニターしながら制御する方法。	(3)-2
XPS	X -ray P hotoelectron S pectroscopy: サンプル表面に X 線を照射し、放出される光電子のエネルギーを測定することで、サンプルの構成元素とその組成比を測定することができる。	(3)-2
極性依存性	分子内に存在する電気的な偏りの大きさに依存した特性をもつこと。	(3)-2
TOF-SIMS	T ime of F light S econdary I on M ass S pectroscopy: 質量分析計の一種。2 次イオンが検出器に到達するまでの時間 (飛行時間) が質量の関数 (軽いイオンは高速、重いイオンは低速) であることを利用し、飛行時間の分布を精密に計測することができる。	(3)-2
DSMC 法	D irect S imulation M onte C arlo 法: 希薄気体の挙動を解析するシミュレーション手法。粒子の衝突、輸送過程を確率的に求める。	(3)-2
V.W.V.	V an der W aals V olume: 原子および分子の体積を示す指標。	(3)-2

NIST	National Institute of Standards and Technology: 米国の国立標準技術研究所。	(3)-2
四重極質量分析計 QMS	質量分析計の一種。検出器に 4 本の平行なロッド状電極を用い、四重極電場を形成する。作動真空度が低い、小型化、高速走査が可能、操作、保守が容易などの利点を持つ。	(3)-2
in-situ 分光エリプソ	その場測定が可能なエリプソメーター。エリプソメーターは薄膜や表面の微細構造の解析に偏光光を用いた測定手法で、表面で反射した偏光ビームの相対的な位相変化を解析し膜厚を求める。	(3)-2
ミューラーマトリックス	分光エリプソ測定における特定のサンプルによる光の偏光状態の変化を完全に記述する行列。全偏光、部分偏光および非偏光の光を記述することができる 4×4 の行列で、反射や透過での偏光状態の変化を記述したもの。	(3)-2
アンジュレーター光	電子を周期的に小さく何度も蛇行させ、蛇行のたびに発生する放射光を干渉させることにより得られる、高輝度の特定波長領域における光。	(3)-2
イオンカウント方式	質量分析の検出方法の一種。検出器に到達したイオン数をカウントする方式。	(3)-2
溶解しきい値	レジストが現像液に溶解する時の組成変化の閾値。	(3)-2
DSA	Directed Self-Assembly。日本語では誘導型自己組織化。人工的に作製したガイドに沿ってポリマーなどに自己組織化を発現させること。	(3)-3
マイクロ相分離	水と油のように相反する性質の成分が混在するとき、同じ性質の成分同士が集合して局所的な相分離を生じる現象。	(3)-3
オーバーレイ	半導体デバイスの製造工程において、複数層の構造を互いに重ね合わせる。上下層間で回路パターン位置がどの程度位置ずれしているかを示す指標としても使われる。	(3)-3
ニュートラル層	水と油のように相反する性質の成分が混在する物質に対して、両方にほぼ同程度の親和性(接触角など)を有する物質からなる層。	(3)-3
ガイドパターン	DSA で用いる人工的に作製したガイド構造のこと。物理的な凹凸を利用する物理ガイド、化学的性質の異なる表面を利用する化学ガイドがある。	(3)-3
pinning パターン	DSA で用いる化学ガイドのこと。DSA 構成成分の特定の成分をピン止めするように固定することができる。	(3)-3
GI-SAXS	Grazing-Incidence Small-Angle X-ray Scattering。日本語では微小角入射 X 線小角散乱。試料であるパターン表面に対して微小な角度から X 線を入射し、散乱光を解析することによりパターン表面近傍の内部構造を評価する方法。	(3)-3
CFM	Chemical Force Microscopy。日本語では化学力顕微鏡。原子間力顕微鏡の針の先端を化学修飾し、物質の表面をなぞることで被測定表面の化学的な性質を測定する方法。	(3)-3
OCTA	NEDO プロジェクトで開発されたソフトマテリアルに対する統合シミュレーター。 http://www.octa.jp/	(3)-3
ソルバー	シミュレーションにおいて計算を行うプログラムのこと。	(3)-3
SCF	Self-Consistent Field。日本語では自己無撞着場理論。複雑な高分子を離散化したメッシュ単位でセグメント密度とポテンシャルを循環論で計算することにより、平衡・安定な状態までを高精度にシミュレーションする方法。	(3)-3
DPD	Dissipative Particle Dynamics。日本語では散逸粒子動力学。複雑な高分子を複数の粒子で近似し、粒子間のニュートン運動方程式を計算することにより、平衡・安定な状態までを高速かつ適切にシミュレーションする方法。	(3)-3

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

ネットなどに流れる情報量は年々爆発的に増加し、それを取り扱う情報技術もめざましい発展を見せている今日の社会では、情報・知識を、時間や場所の制約を受けず誰もが自由自在かつ安全に活用できる情報通信環境の実現が望まれている。また、2006年3月に閣議決定された「第3期科学技術基本計画」、および2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」においても、世界をリードする「グリーンイノベーション」を実現し、我が国の強みを活かし国際競争力強化のために注力すべき分野として、情報通信機器（IT 機器）・関連デバイス等の情報通信技術分野が挙げられている。そして、その「第3期科学技術基本計画」および「新成長戦略（基本方針）」に基づき、「IT イノベーションプログラム」として「半導体の微細化に係る革新的基盤技術の開発」等が具体的に展開された。

さらに、2011年8月に閣議決定された「第4期科学技術基本計画」でも「グリーンイノベーション」の継続が示され、直近では、「日本再興戦略」（2013年6月の閣議決定）で提示された「世界最高水準のIT社会の実現」に向けて、「科学技術イノベーション総合戦略」（2013年6月の閣議決定）において、第4期科学技術基本計画と整合をとる形で、長期ビジョンと短期プログラムが設定された。これらの政策内容を支える基幹デバイスとなる半導体集積回路には、一層の高機能化、低消費電力化が求められている。（図 I-1）

その中で、我が国経済を支える情報通信技術分野の先端産業である、情報家電、コンピュータ、通信装置、自動車、医療機器などの競争力強化に不可欠な基盤技術は、半導体集積回路の微細化技術である。これまで、微細化技術の進展による半導体集積回路の集積度は、3年で4倍という急速な速度で推移してきており、2010年には、技術世代 hp45nm の製品が量産され始めている。今後も情報家電やロボットなどのシステムに求められる高集積化・低コスト化および低電力化を同時に実現するためには、更なる微細化が必要であり、微細化技術は引き続き重要な技術課題である。

以上のことから、本プロジェクトは、我が国の半導体関連産業（デバイス、マスク、装置及び材料）の国際競争力強化のため、極低電力半導体集積回路の実現に不可欠な半導体構造の微細化に対応できる半導体デバイスプロセス技術を確立することを目的として実施する。

また、NEDO の第 2 期中期計画（2008 年度から 2012 年度）が示すように、我が国の「高度な情報通信社会の実現」、「IT 産業の国際競争力の強化」のため、半導体分野を注力すべき基盤技術分野として捉えており、NEDO の目標にも合致する開発プロジェクトである（図 I-2 ）。

2013 年 3 月に策定された第 3 期中期計画においても、電子デバイス分野で「我が国の電子関連企業の競争力向上と新市場開拓のために、低消費電力、高速処理、高信頼性、設計期間の短縮化等のデバイス技術開発を推進する。」とされ、引き続き電子デバイスの半導体分野は注力すべき基盤技術分野として捉えている。

産業技術政策(政府全体)

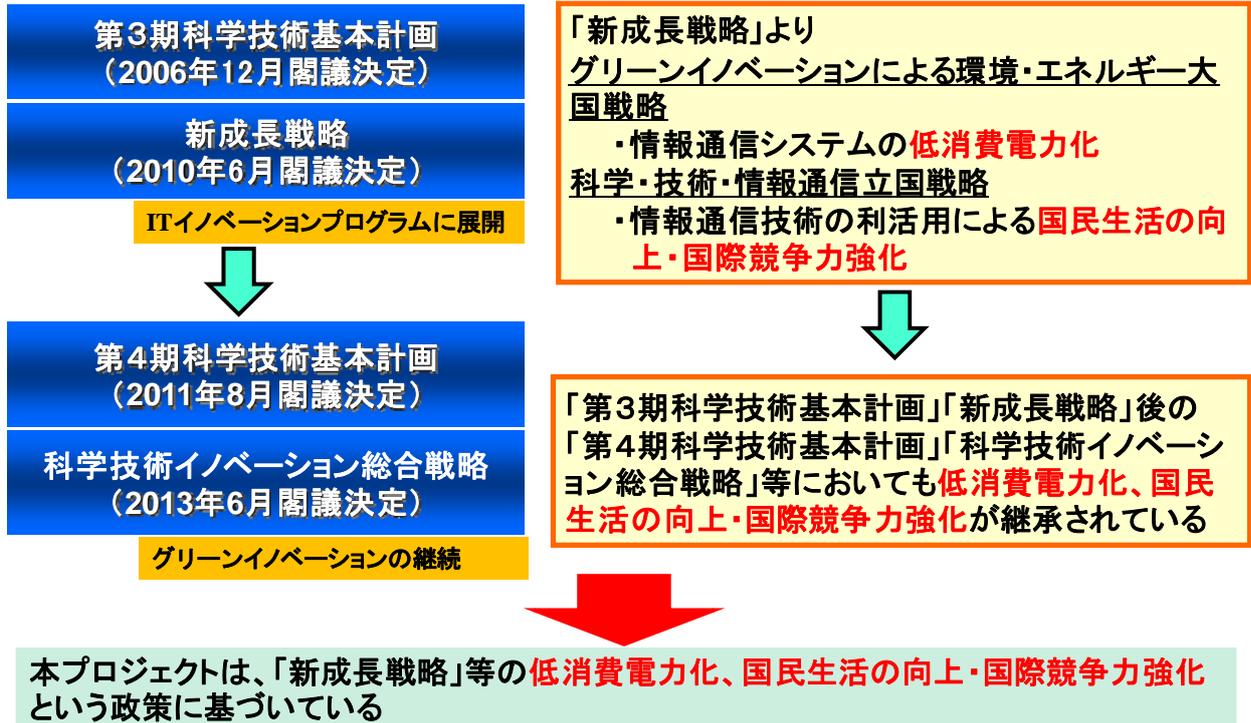


図 I-1 政策上の位置づけ

「高度な情報通信社会の実現」、「IT産業の国際競争力の強化」のため、
 情報技術開発分野の半導体における技術開発の一環として実施。

● 高度情報通信社会とそれを支える技術分野



図 I-2 NEDO 第2期中期計画(2008年度から2012年度)における位置づけ

電子デバイスは、これまで継続的な微細化により、低消費電力、高速処理、高信頼性を実現してきた。また、今後もこの傾向は継続すると予想される。この微細化を推進してきた光リソグラフィについては、hp22nm 以細の技術領域では、波長 193nm のエキシマレーザー光源による液浸露光やダブルパターンニングといった従来の微細化手法が技術的にもコスト的にも限界に達すると予測されており、これに代わる新たなリソグラフィ技術の開発が求められている。

波長 13.5nm の極端紫外光(Extreme Ultra Violet、以下、「EUV」という。)を用いる EUV リソグラフィは、マスクパターンの光学的縮小投影方式であり、露光波長がエキシマレーザーの 1/10 以下であるため hp22nm 以細の技術領域に適用可能であること等から、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている。NEDO ロードマップ上では EUV リソグラフィは半導体集積回路の微細化に資し、本プロジェクトの開発技術である EUV リソグラフィにかかるマスク技術と関連検査技術、レジスト材料等が課題とされている。

近年、hp22nm 以細に向けた次世代半導体開発のために、海外では産学官連携の下で、ITRS(The International Technology Roadmap for Semiconductors)で示されている技術課題の解決に向け、欧州の IMEC や米国の SEMATECH といった様々なコンソーシアムやアライアンスを中心に、各々年間平均研究予算 50～70 億円規模で精力的な取り組みがなされ、世界の関連企業を取り込んだグローバルな開発が行われている。一方、日本では世界的な半導体ビジネス・技術開発のパラダイム変化に伴い、最先端プロセスを指向するデバイス企業は減少しているものの、装置・材料等の関連産業においては未だ強みを維持しており、日本の強みを活かすことにより世界に先駆けて半導体集積回路のさらなる更なる微細化という重要な技術課題を克服できると期待される。

このように、これまで EUV 関連の開発は国内外でコンソーシアム、企業、大学等の連携による強力な取り組みが進められており、その結果、EUV 光源や光学系等の要素技術の開発は大きく進展し、2010 年には量産前のプロセス評価用露光機が出荷される予定となっている。しかしながら、マスク技術と関連検査技術、レジスト材料等においては、まだ解決すべき課題が多く残されている。特に、高精度・低欠陥マスクの実現には、マスク基板、マスクパターン等での欠陥低減が hp22nm 以細ではさらに技術的難易度の高い開発となるとともに、高解像、低 LWR(Line Width Roughness)、高感度、および低アウトガスを満たすレジスト材料の実現には、材料開発のみならず評価技術開発においても解決すべき大きな技術的障壁がある。このため、本プロジェクトでは、上記技術的障壁を解決できる半導体デバイスプロセス技術を確立することを目的としている。

以上のように、本プロジェクトは、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている EUV リソグラフィにおいて、EUV マスクブランク検査技術、EUV マスクパターン検査技術を開発するとともに、レジスト材料とレジスト材料評価技術を同時に開発するという、挑戦的・野心的な研究開発であり、かつ、異なる企業体間、ないし産学官の連携が最も奏功すると期待できる。異なる事業体の連携推進という NEDO 機能が貢献できる内容であることに加え、我が国半導体とその関連産業の国際競争力強化、および国家的重点目標である高度情報化社会の実現に寄与するものであり、産業政策・情報政策の面からも極めて重要な

課題であることから、国家プロジェクトとして NEDO が関与すべきものと考えられる。

1.2 実施の効果(費用対効果)

事業規模は、研究開発項目①について初年度の2011年度は864百万円、研究開発項目②については2010年度から2011年度までの2年間で1,915百万円(東日本大震災による装置被害を修復するため増額して2,135百万円となった)を予定して開始した。その後の本プロジェクトの実際の予算は、以下の表の通りである。

表 I-1 本プロジェクトの開発予算 (単位:百万円)

		2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度
研究開発項目① 共同研究	一般会計	0	864	1,432	0	-	-
	特別会計	0	0	0	1,600	-	-
研究開発項目② 委託	一般会計	0	2,135	0	0	-	-
合計		0	2,999	1,432	1,600	-	-

(1)経済効果

これらの取り組みにより、国内マスクメーカー、レジストメーカー、検査装置メーカーにおける EUV 関連の新製品が、現行の従来露光関連製品の世界シェアを超えることを目指す。同様に国内デバイスメーカーにおけるメモリなどのデバイスの世界シェアが現状を超えることを目指す。

本プロジェクトの企画段階での関連事業の国内企業のシェア、2020年での市場規模(予想)は下記の表 I-2 の通りである。半導体全体の世界市場は、図 I-3 の世界半導体市場統計(WSTS)のデータから、320,000百万米国ドルである。

表 I-2 関連事業の国内企業のシェア、2020年での市場規模

事業分野	国内企業のシェア(2011年)	2020年での市場規模(予想)
マスク	43%	4,650億円
レジスト	76.9%	710億円
検査装置メーカー	15.2%	650億円
NANDフラッシュメモリ	35.4%	2兆200億円

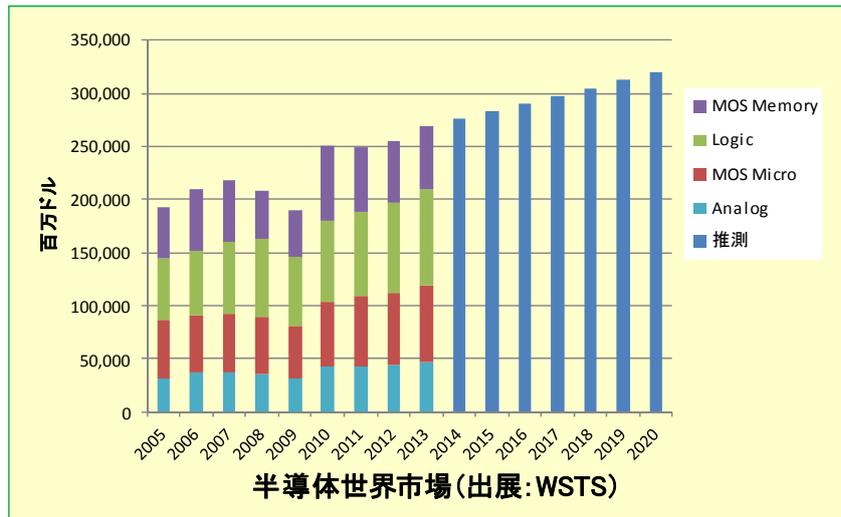


図 I-3 半導体世界市場

(2) 省エネルギー効果

省エネルギー効果については、半導体集積回路の微細化に伴う省電力化が進むことにより、2020 年において炭酸ガス削減量への換算で 440 万トン/年(116億kWh/年)とプロジェクト立ち上げ当初に見積もった。

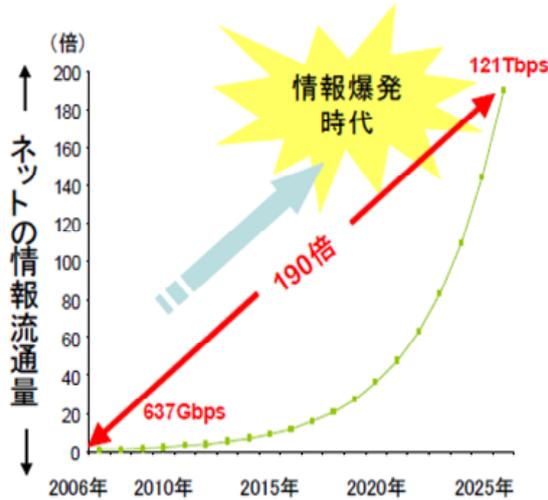
平成 24 年度、本プロジェクトの微細化の効果に加えて、将来のデバイスの低電圧動作、及び待機電力ゼロを、テレビ等の民生機器やサーバー、ルーター等の IT 機器、データセンタ等に使用される MPU、ロジック、メモリに適用することにより、再度、省エネルギー効果を見積もった。それによると、2020 年に 189 億 kWh/年の電力削減が期待できる。これは、2020 年に IT 機器が使用すると予想される 1,600 億 kWh の約 1 割強に相当する。また、炭酸ガス削減量に換算すると、1,049 万トン/年である。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

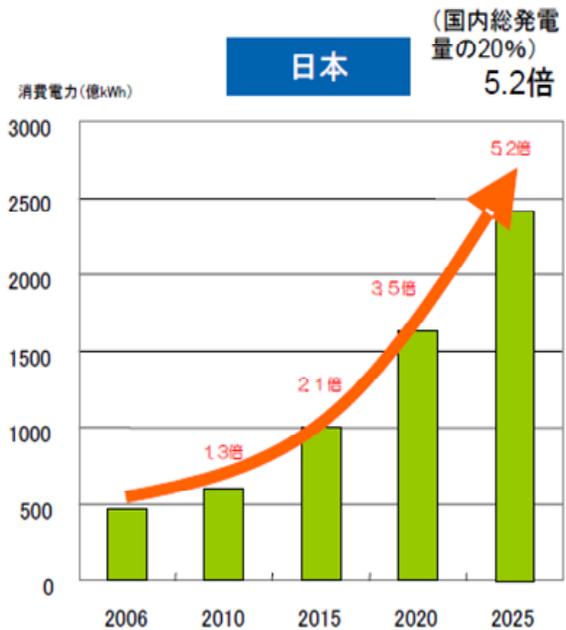
(1) 事業の背景

我が国経済を支える先端産業である、情報家電、コンピュータ、通信装置、自動車、医療機器などの競争力強化に不可欠な基盤技術は、半導体集積回路の微細化技術である。これまで、微細化技術の進展による半導体集積回路の集積度は、3年で4倍という急速な速度で推移してきており、2010年には、技術世代 hp45nm の製品が量産され始めている。今後も情報家電やロボットなどのシステムに求められる高集積化・低コスト化および低電力化を同時に実現するためには、更なる微細化が必要であり、引き続き重要な技術課題である。特に、今日予測されているネットに流れる情報量の爆発的な増加、それに伴う IT 機器の待機電力を含む消費電力の急激な増加(図 I-4)に対応するためには、更なるデバイスの微細化技術を開発する必要がある。

情報爆発時代の到来



IT機器の消費電力量が急増



グリーンITイニシアティブの推進 平成20年10月 経済産業省商務情報政策局 発表資料より

図 I-4 ネット情報量、IT 機器消費電力の予測

(2) 事業の目的

これまで微細化を推進してきた光リソグラフィについては、hp22nm 以細の技術領域では、波長193 nmのエキシマレーザー光源による液浸露光やダブルパターンングといった従来の微細化手法が技術的にもコスト的にも限界に達すると予測されており、これに代わる新たなリソグラフィ技術の開発が求められている。

波長 13.5nm の極端紫外光 (EUV) を用いる EUV リソグラフィは、マスクパターンの光学的縮小投影方式であり、露光波長がエキシマレーザーの 1/10 以下であるため hp22nm 以細の技術領域に適用可能であること等から、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている。これまで、国内外でコンソーシアム、企業、大学等の連携による強力な取り組みが進められており、その結果、EUV 光源や光学系等の要素技術の開発は大きく進展し、2010 年には量産前のプロセス評価用露光機が出荷される予定となっている。しかしながら、マスク技術と関連検査技術、レジスト材料等においては、まだ解決すべき課題が多く残されている。特に、高精度・低欠陥マスクの実現には、マスク基板、マスクパターン等での欠陥低減が hp22nm 以細ではさらに技術的難易度の高い開発となるとともに、高解像、低 LWR (Line Width Roughness)、高感度、および低アウトガスを満たすレジスト材料の実現には、材料開発のみならず評価技術開発においても解決すべき大きな技術的障壁がある。そこで、本プロジェクトでは、上記技術的障壁を解決できる半導体デバイスプロセス技術を確立することを目的としている。

(3) 事業の位置づけ

海外では産学官連携の下で、これらの技術課題の解決に向け、欧州の IMEC や米国の SEMATECH といった様々なコンソーシアムやアライアンスを中心に、精力的な取り組みがなされ、世界の関連企業を取り込んだグローバルな開発が行われている。一方、日本では世界的な半導体ビジネス・技術開発のパラダイム変化に伴い、最先端プロセスを指向するデバイス企業は減少しているものの、装置・材料等の関連産業においては未だ強みを維持しており、日本の強みを活かすことにより世界に先駆けて半導体集積回路のさらなる更なる微細化という重要な技術課題を克服できると期待される。

以上のように、本プロジェクトは、我が国の半導体関連産業(デバイス、マスク、装置及び材料)の国際競争力強化に貢献すると期待されるため、本プロジェクト推進の必要性は高い。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」

具体的な研究開発目標としては、研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」では、EUV マスクブランク欠陥検査(Blank Inspection、以下、「BI」という。)、EUV マスクパターン欠陥検査(Pattern Inspection、以下、「PI」という。)、レジスト材料評価に関する技術開発目標として以下を提示する。

【中間目標】

平成 25 年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 技術を確立する。また、hp11nm 以細に対応する BI 技術における課題を明確にする。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 技術を確立する。また、hp11nm に対応する PI 技術における課題を明確にする。

(3) EUV レジスト材料技術開発

解像度 hp16nm のレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、hp11nm に対応するレジスト材料における課題を明確にする。

【最終目標】

平成 27 年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

hp11nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 装置技術を確立する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

hp11nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 装置技術を確立する。

(3) EUVレジスト材料技術開発

解像度hp11nmのレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、開発したEUVレジストをベースに他のレジスト材料を組み合わせることにより、hp11nm以細のレジスト技術を実現する。

研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」

研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」では、EUV マスク BI 装置開発、EUV マスク PI 装置開発、EUV レジスト材料基礎研究に関する目標として以下を提示する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発

hp11nm 以細に対応する BI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

hp16nm 以細に対応する PI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(3) EUV レジスト材料基礎研究

得られた知見や新規技術に関する研究成果が、hp16nm 以細へのレジスト材料開発にとって有効であることを示す。

研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、研究開発期間終了時に外部有識者からなる委員会を開催して達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施する。

以上の目標は、2010年11月22日「次世代半導体微細加工・評価基盤技術開発」基本計画検討委員会での有識者との議論を踏まえたものであり、妥当と判断する。

2. 事業の計画内容

上記目標を達成するために、本研究開発においては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、下記に示す通り研究開発項目を分け研究開発を実施する。(図 II-1)

研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」

[共同研究事業(NEDO負担率: 1/2)]

研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」

[委託事業]

本研究開発項目は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

本研究開発の期間は、2010年度から2015年度までの6年間とする。ただし、この期間内において、研究開発項目毎に研究開発期間を設定する。研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」については、2011年度から2015年度までの5年間とする。研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、2010年度から2011年度までの2年間とする。

以上の本プロジェクトの事業の目標、研究開発項目、期間等の基本計画の概要を図II-1にまとめた。

【研究開発内容】

サブテーマ		2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度
①EUVマスク検査・レジスト材料技術開発 (1)EUVマスクブランク欠陥検査技術開発 (2)EUVマスクパターン欠陥検査技術開発 (3)EUVレジスト材料技術開発	通常予算 (共同研究事業: NEDO 1/2負担)			中間評価		事後評価
②EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発 (1)EUVマスクブランク欠陥検査装置開発 (2)EUVマスクパターン欠陥検査装置開発 (3)EUVレジスト材料基礎研究 (基礎的・基盤的テーマ)	2010年度 補正予算 (委託事業)					

今後の研究開発への有効性について評価を実施

【目標】

<p>hp16nm以細対応</p> <ul style="list-style-type: none"> BI装置・PI装置の設計完了、装置要素技術の有効性明確化 レジスト反応機構の解明、レジスト材料・パターン等新規計測・評価技術の基礎的研究を実施 	<p>hp16nm対応</p> <ul style="list-style-type: none"> 許容欠陥指標明確化、BI・PI基盤技術確立 LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する 	<p>hp11nm以細対応</p> <ul style="list-style-type: none"> 許容欠陥指標明確化、BI・PI基盤技術確立 LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する
---	--	--

BI: Blank Inspection PI: Pattern Inspection

図 II-1 プロジェクトの基本計画概要

2.1 研究開発の内容

研究開発の内容およびその開発線表を以下に記す。

研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」

(1) EUVマスクブランク欠陥検査技術開発

EUVマスクブランク欠陥検査 (BI) 装置の高感度化・高度化開発による欠陥検出効率と、スループットの向上を進める。また、ブランク欠陥のウェハへの転写性を高精度で評価し、欠陥サイズ等を精度良く評価する手法を開発する。

(1)－1 ABI 装置高度化(レーザーテックとの共同研究)

・研究内容:ABI 装置を組上げて完成させ、プログラム欠陥を用いた画像データから、基本機能が達成されていることを確認する。

(1)－2 ABI 装置仕様検討

・研究内容:ABI 装置の欠陥検出効率向上のための基本検討を行って基本仕様をまとめ、マスクブランク欠陥のウェハへの転写性を高精度で評価して欠陥検出感度の要求値を明確にする。

(1)－3 マイクロ CSM の開発(兵庫県立大学への再委託)

・研究内容:マイクロ CSM システムを構築して位相欠陥のデータベースを作成し、パターン形成に影響を与える欠陥の識別に役立て、ABI 装置による検査に反映する。

(1)－4 EUV 明視野顕微鏡観察技術の開発(東北大学への再委託)

・研究内容:hp16nm～hp11nm 世代対応の EUV ブランク及びマスクの欠陥観察を目的とする明視野 EUV 顕微鏡観察技術を開発し、マスクパターンの欠陥検査・評価・同定技術および技術の基盤を確立する。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

EUVマスクパターン欠陥検査 (PI) 装置の低ノイズ化・高感度化、及び高スループット化開発を進める。また、パターン欠陥のウェハ転写性を高速、高精度に評価可能な手法を開発する。

(2)－1 PI 装置仕様検討

・研究内容:PI 装置の高感度化、及び高スループット化のための理論検討を行い、PI 装置の検出感度に関する基本仕様をまとめる。また、パターン欠陥のウェハ転写性を高速、高感度に評価可能な手法を開発する。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置コア技術開発(荏原製作所との共同実施)

・研究内容:PI装置を高感度化、及び高スループット化するためのコア技術を開発する。EUVマスクの電子線像の確認と、照明光学系と結像光学系の電子透過率に注目しその性能を精密に評価する手法を確立する。

(3) EUVレジスト材料技術開発

EUVレジスト材料開発を進め、解像度、LWR、感度、アウトガスの観点で優れた特性を持つレジスト材料を開発する。またEUV露光時にEUVレジスト材料から発生するアウトガスの材質や量等について高精度測定方法を確立する。

(3)－1 EUVレジスト材料開発

・研究内容: EUVレジスト材料開発を進め、解像度、LWR、感度、アウトガスの観点で優れた特性を持つレジスト材料・プロセスを開発する。さらに、hp11nm に対する開発目標とマイルストーンを設定する。

(3)－2 レジストアウトガス高精度測定方法確立

・研究内容: EB照射方式によるレジストアウト評価手法を確立し、EUV照射方式(兵庫県立大学への再委託)との相関を取得する。そのレジストアウトガス評価手法の妥当性の検証をすることを目標とする。

(3)－3 パターンサイズ縮小レジストプロセス技術開発

・研究内容: 他のレジストを用いて、EUVLによる転写パターンのサイズの縮小を可能にするレジストプロセス技術を開発し、hp11nm 以細のパターンが形成できる材料・プロセス技術を実現する。

(3)－4 アウトガスデータベースの構築(兵庫県立大学への再委託)

・研究内容: 兵庫県立大学の EUV光を用いて、アウトガスとコンタミ付着との関係を明らかにする。EUV照射方式によるアウトガス評価装置を用いて種々のレジストのアウトガスデータを蓄積し、EBによる評価との相関を調べる。

(3)－5 材料設計(大阪大学への再委託)

・研究内容: ブリッジおよびラインブレイク、パターン倒壊等の関係をシミュレーション解析することにより、潜像とこれらの欠陥の関係を明らかにする。また、これらより分子レベルでの設計指針を得る。

研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」

(1) EUVマスクブランク欠陥検査装置開発

EUVマスクBI装置において、高感度、低ノイズ化、高スループットを実現するための要素技術を開発する。

(1)－1 ABI装置基本設計

・研究内容: EUV光を用いた量産のためのABI装置を実現するための装置の基本設計をおこなう。より高効率化を目指し、光源、光学系等の最適設計を実施する。

(1)－2 EUV光源・照明光学系基礎検討(レーザーテックとの共同実施)

・研究内容: 照明強度を高輝度化させることにより、45分程度で欠陥検査できることを目標とする。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査装置開発

EUVマスクPI装置において、高感度、低ノイズ化、高スループットを実現するための要素技術を開発する。

(2)－1 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

・研究内容:電子ビームを用いた写像投影方式による欠陥検査技術を確立する為の高分解能写像投影光学系を開発する。hp16nm に対応した高分解能写像投影方式電子ビーム光学系に対する要求仕様を明確にする。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発(荏原製作所との共同実施)

・研究内容:(2)－1 にて明確化される高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の要求仕様に基づいて、EUV マスク欠陥検査装置の核となる新たに開発する高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を製作する。

(3) EUVレジスト材料基礎研究

EUVレジスト材料の反応機構の解明、レジスト材料やレジストパターン等に関する新規計測・評価技術などについての基礎的研究を実施する。

(3)－1 レジストパフォーマンスシミュレーション技術開発(NEDO から大阪大学への委託研究)

・研究内容:これまでのレジストモデルの拡張を行うとともに逆解析アルゴリズムの高精度化を行い、SFET (Small Field Exposure Tool)によるレジスト露光に適用し、hp16nm、hp11nm に向けたレジスト設計指針を得る。

(3)－2 レジスト基本特性仕様明確化

・研究内容:hp16nm レジストパターン作成に重要な工程である現像・リンス工程に対して行い、該パターン形成に向けての材料、現像(液)プロセス、リンス(液)プロセス方針を明確にする。

(3)－3 アウトガス検出手法開発

・研究内容:アウトガスとコンタミ膜厚評価の基礎手法を習得したうえで、レジスト材料の量産プロセスの使用条件を考慮したアウトガスとコンタミ膜厚評価用サンプル作成技術を構築し評価技術の標準化に向けた提案を行う。

研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」

開発線表(2011年度から2013年度)

研究開発項目	23年度				24年度				25年度					
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期		
① EUVマスク ブランク欠陥検査技術開発	(i) ABI装置高度化 (EIDECとレーザーテック株式会社との共同実施)	TDI開発				} TDIステージ モジュール単体完成								
		光源開発(委託) φ1	光源開発 φ2	φ3										
		ステージ開発 φ1	ステージ開発 φ2	信号処理システム開発										
				搬送システム開発				真空搬送モジュール開発		評価				
								総合システム開発 φ1		総合システム開発 φ2				
										コア技術実証・改善	装置コア技術開発共同実施(生産性の向上)			
	(ii) ABI装置仕様検討 (EIDEC)	プログラム欠陥ブランク作製			プログラム欠陥マスク作製		プログラム欠陥ブランク作製		プログラム欠陥マスク作製					
			プリンタビリティ評価			プリンタビリティ評価			プリンタビリティ評価によるhp16nm世代仕様提示					
				MIRA toolを主とした、ブランク欠陥検査	欠陥の電磁界シミュレーション高度化		リソグラフィックシミュレーション高度化		16nm対応欠陥検出モジュールの実証					
					ブランク欠陥検査 → ブランクス評価、欠陥data取得				hp11nm世代光学系検討 実験		hp11nm世代装置仕様提示			
	(iii) CSMの開発 (兵庫県立大学への再委託)	マイクPCSM装置の構築					プログラム欠陥評価			実欠陥の評価				
				集光性能評価と100 nm集光				欠陥データベース枠組み構築		16 nm対応データベース構築				
(iv) EUV明視野顕微鏡観察技術の開発 (東北大学への再委託)						顕微鏡設計								
							顕微鏡製作・調整		像観察によるhp16nm~hp11nmにおける欠陥影響の調査					
② EUVマスク パターン欠陥検査技術開発	(i) PI装置仕様検討 (EIDEC)	欠陥転写性シミュレーション		設計欠陥マスク製作		欠陥転写性シミュレーション		設計欠陥マスク製作		欠陥転写性シミュレーション				
						欠陥転写性評価			欠陥転写性評価					
	(ii) EUVマスクパターン欠陥検査装置コア技術開発 (EIDECと株式会社佐原製作所との共同実施)	PI装置基本仕様					電子のエネルギーの最適化 電子のエネルギー分布最適化 光学系最適化			16nm対応欠陥検出モジュールの実証				
				電子ビーム写像投影光学系設計製作			電子軌道計算による電子光学系の最適化・運用のための光学条件の最適化 取得画像処理技術開発による高感度化・高スループット化検討							
③ EUVレジスト 材料技術開発	(i)-1 EUVレジスト材料技術開発 (EIDECと東京エレクトロンの共同実施)	要素検討		(レジスト材料露光評価・標準レジスト材料選定1)		組成構築 (レジスト材料露光評価・標準レジスト材料選定2)		最適化 (レジスト材料露光評価・標準レジスト材料選定3)		hp16nm用レジスト仕様構築				
						hp<20nm用レジスト材料の計測技術確立								
	(i)-2 EUVレジスト材料のアウトガス測定方法の確立	EUV光評価プロセス構築		EUV光による標準レジストおよび開発レジストの評価		標準レジストおよび開発レジストの評価				hp<16nm用レジスト材料の計測技術方向性明確化				
				電子線評価プロセス構築		アウトガス・コンタミ膜のEUV光と電子線との相関評価								
	(i)-3 パターンサイズ縮小レジストプロセス技術開発 (EIDEC)									hp14~12nm対応スループロセス構築				
										hp2nm対応材料評価				
										シミュレータ開発(モデル式検証)				
	(ii) アウトガスデータベースの構築 (兵庫県立大学への再委託)	予備実験の準備と予備評価					種々基本材料評価と材料選定							
		評価系の改造	評価系の確立			EUV光強度依存性データデータベース構築			hp 16 nm級のレジスト材料評価					
		Witness多層膜基板の成膜				真空度依存性								
(iii) 材料設計 (大阪大学 古澤孝弘教授への再委託)			(潜像と欠陥の関係の解明)			潜像縮らぎと分子構造の関係の解明				最適分子設計の解明				

研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」

開発線表(2010 年度から 2011 年度)

研究開発項目		23年度			
		第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①EUVマスクプランク欠陥検査装置開発	(i) 装置基本設計	1次design 基本仕様に基づくconcept design 高精度化検討(実験, simulation) 高感度技術検討(実験, simulation)	2次design 機械, 電気系 改善仕様に基づくdesign improvement 電気系	concept design complete	
	(ii) EUV光源・照明光学系基礎検討	評価用テストベンチ製作/評価準備 光源仕様検討・調査	テストベンチ完成 実証評価(実験) 検討・調査継続	光源選定・fix	
②EUVマスクパターン欠陥検査装置開発	(i) 仕様検討	電子ビーム写像投影光学系要求仕様検討	設計仕様検証	設計仕様検証	
	(ii) EUVマスクパターン欠陥検査装置開発(株式会社EUVL基盤開発センターと共同実施)	高解像電子ビーム写像投影光学系・照明光学系設計	高解像電子ビーム写像投影光学系・照明光学系製作	高解像電子ビーム写像投影光学系・結像光学系設計	高解像電子ビーム写像投影光学系・結像光学系製作
③EUVレジスト材料基礎研究	(i) レジストパフォーマンスシミュレーション技術開発(EUVレジスト材料の反応像構解析)(大阪大学産業科学研究所)	レジストモデル拡張・アルゴリズム高精度化	露光結果への適用	設計指針	
	(ii) レジスト基本特性仕様明確化(株式会社EUVL基盤開発センター)	現像プロセスにおける樹脂種、像質や現像液、pH、温度、方式の依存性調査	解像度ボケの波長依存性の解明	方針・課題整理	
		リンスプロセスにおける樹脂種、像質やリンス液、リンス材濃度、温度、方式の依存性調査		方針・課題整理	
	(iii) アウトガス検出手法開発(株式会社EUVL基盤開発センター)	電子線照射アウトガス評価装置導入 アウトガス・コンタミ膜評価のための材料成膜技術の構築(EUV照射で構築)	電子線照射による検証 EUV光照射検討(アウトガス)	EB照射検討(アウトガス)	
	witness基板仕様検討 コンタミ膜評価用分光エリブソ導入	EUV光照射検討(アウトガス) コンタミ膜計測技術構築	EB照射検討(アウトガス) EB照射検討(コンタミ膜)		

2.2 研究開発の実施体制

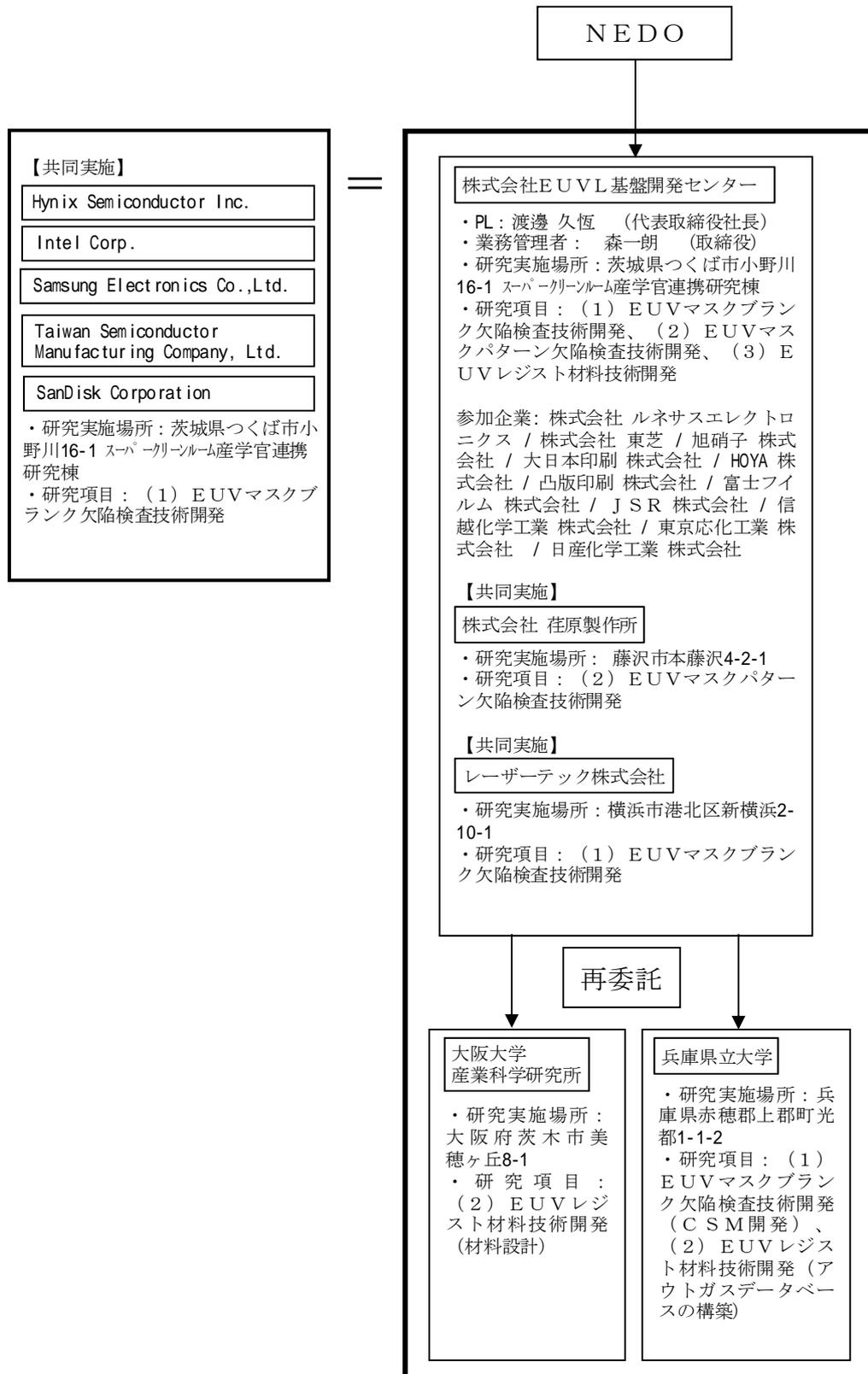
本研究開発は、NEDO が、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託または共同研究により実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体には NEDO が委託先決定後に委嘱する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

上記に基づき、株式会社 EUVL 基盤開発センター 代表取締役社長 渡邊久恒をプロジェクトリーダーとし委嘱した。(委嘱期間:2011年5月31日から当該プロジェクトの事後評価終了日まで)

再委託先、共同実施先を含めた本プロジェクトの実施体制は以下の通りである。

本プロジェクトの実施体制（研究開発項目① [共同研究]「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」)



実施体制変更履歴

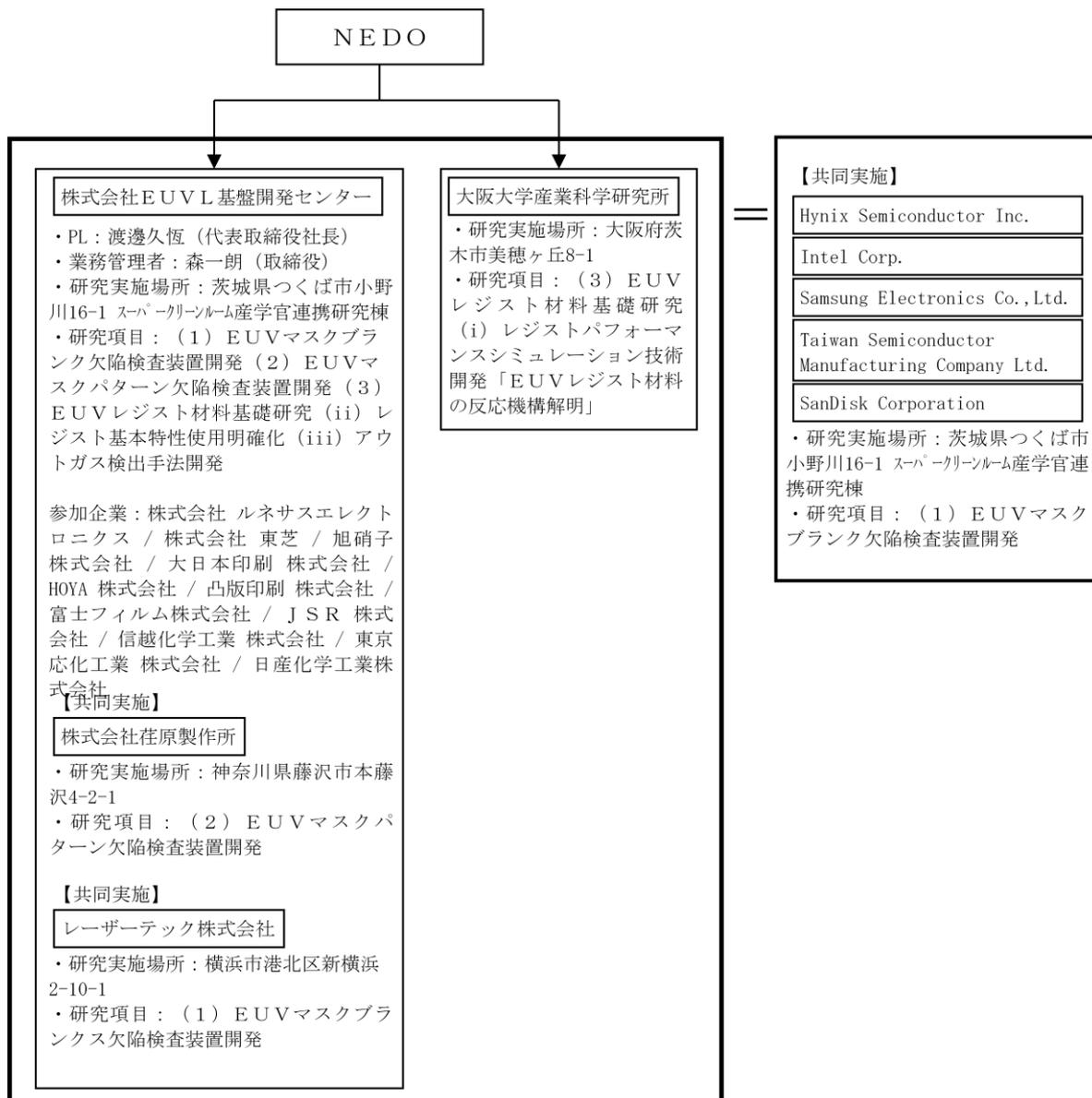
2011年8月26日 サンディスク コーポレーションを共同実施に追加

2012年5月9日 国立大学法人東北大学を再委託に追加

2012年11月26日 東京エレクトロン株式会社を共同実施に追加

2012年3月26日 株式会社ニコンおよび東京エレクトロン株式会社が株式会社 EUVL基盤開発センターの参加企業となる

本プロジェクトの実施体制（研究開発項目② [委託] 「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」）



2.3 研究の運営管理

(1) 委託元実施(NEDO)

(1)－1 予算所要額ヒアリング

次年度計画およびその予算に関して、実施者、NEDO、経済産業省担当課間で共通認識を持つために年 1 回予算所要額ヒアリングを実施

2011 年度	2011 年 5 月 18 日
2012 年度	2012 年 4 月 26 日
2013 年度	2013 年 5 月 7 日

(1)－2 技術推進委員会を 2 回開催

定期的な進捗把握および今後の開発の方向性について、第三者の委員に意見を伺うことを目的に開催した。特に、2011 年度(2012 年 2 月 8 日)実施の技術推進委員会は、基本計画にある「研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、2011 年度末に外部有識者からなる委員会を開催し、研究開発計画の達成目標に照らして達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、2012 年度以降は研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施する。」を実施するための「外部有識者からなる委員会」を兼ねる。開催日を以下に示す。

2011 年度	2012 年 2 月 8 日
2012 年度	2012 年 11 月 13 日

(1)－3 進捗報告会

定期的な進捗把握を目的に、進捗ヒアリングを実施。これと技術推進委員会等により、おおよそ四半期毎にプロジェクトの進捗把握を実施。

2011 年度	2011 年 11 月 24 日
2012 年度	2012 年 7 月 26 日

(1)－4 知的財産プロデューサー活用の推薦

独立行政法人工業所有権情報・研修館は、公的資金が投入された革新的な成果が期待される研究開発プロジェクトを推進する研究開発機関等に対し、知的財産マネジメントの専門家である知的財産プロデューサー(以下「知財 PD」という。)を派遣し、当該研究開発プロジェクトの研究の初期段階より知財の視点から成果の活用を見据えた戦略の策定や研究開発プロジェクトの知的財産マネジメント等を支援することにより、我が国のイノベーションの促進に寄与することを目的として知財 PD 派遣事業を行っている。この知財 PD 派遣事業が本プロジェクトにおいて有用と考え、実施者にこの事業の活用の検討を提案した(2012 年

8月)。2013年度より本制度を活用し、知財PDによる知的財産権の強化活動を開始している。

(2) 実施者実施(EIDEC)

(2)－1 プロジェクトの成果報告会を兼ねて、EIDECシンポジウムを年1回開催。

2011年度	2011年6月17日
2012年度	2012年5月11日
2013年度	2013年5月21日

(2)－2 知的財産プロデューサー活用

本プロジェクトの研究開発を進めるにあたり、関係する全ての技術に注力することは困難であり、他のコンソーシアムや企業が先行している分野を認識した上で、競争力向上につながる技術に注力していかなければならないとの課題がある。そこで、2013年度より、工業所有権情報・研修館より知的財産プロデューサーを招き、本プロジェクトの重要テーマに関する競合特許の出願動向の調査を行い、より活用しやすい成果を目指した研究開発の方向性の検討を進めるとともに、国プロにおける知財マネジメントのあり方に関する社内レクチャーを行い(2013年5月29日)、研究者の知財意識の向上と特許提案の良質化を推進している。

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトは2015年度で終了するが、その後、マスク検査装置開発、EUVレジスト材料開発を企業において本格化し、hp16nm対応は2015年から、hp11nm対応は2017年からプロトタイプを検証を開始し、2～3年の量産化開発を経て量産製品出荷を見込む。これによりITRSロードマップ(2009年版)に対応するので、検査装置市場、材料市場の広がりが予想できる。これらより、成果の実用化可能性、波及効果および事業化までのシナリオは十分に見込まれると考える。具体的には、テーマ毎の実用化、事業化は下記に記す。(図II-2)

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

EUV マスクブランク欠陥検査技術の直接の実用化、事業化元として、フォトマスクのブランク欠陥検査装置のトップシェアメーカー(ほぼシェア100%)であるレーザーテック株式会社を共同実施先として実施体制に入れた。また、この開発したEUVブランク欠陥検査装置を用いてEUVマスクブランクおよびEUVパターンマスクを実用化、事業化に結びつけるブランクメーカーを含むマスクメーカーが参加している。さらに、EUVマスクの最終ユーザーとなる、デバイスメーカーがこのプロジェクトに参加している。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

EUV マスクパターン欠陥検査技術の直接の実用化、事業化元として、株式会社荏原製作所を共同実施先として実施体制に入れた。また、この開発した EUV マスクパターン欠陥検査装置のユーザーである EUV パターンマスクを実用化、事業化に結びつけるマスクメーカーが参加している。さらに、EUV マスクの最終ユーザーとなる、デバイスメーカーがこのプロジェクトに参加している。

(3) EUV レジスト材料技術開発

EUV レジスト材料技術開発で開発された EUV レジスト材料は、レジストメーカーが直接実用化、事業化を行う。EUV レジスト材料技術開発では、EUV レジスト材料に関連したプロセス技術も開発される。これらのプロセス技術は、東京エレクトロンが自社装置の開発に応用されることにより実用化、事業化されるとともに、デバイスメーカーがデバイスを製造するためにも活用される。

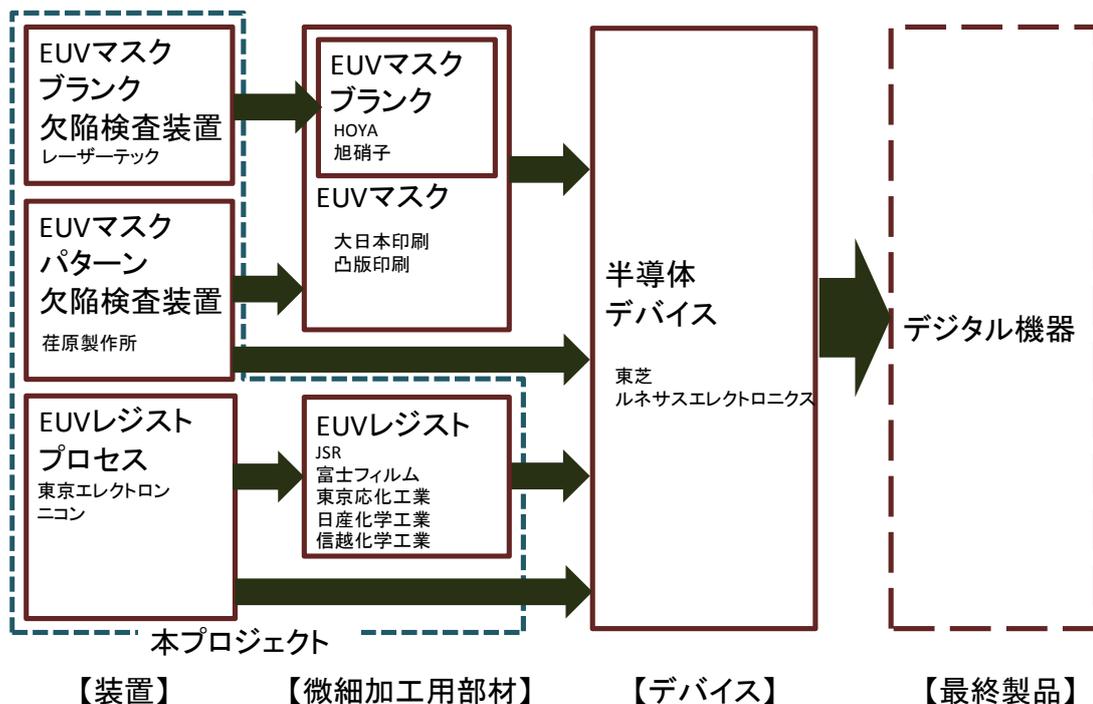


図 II-2 プロジェクト成果活用(実用化、事業化)の概要

3. 情勢変化への対応

(1) 東日本大震災

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災のために、産業技術総合研究所のスーパークリーンルームにある損傷した機器の修理のため、研究開発項目②の委託費用を2011年6月に2.2億円増額した。

(2)他のレジスト

本プロジェクトの開始において、ITRS2009を参考にして、2013年度末にhp16nm対応技術の確立および2015年度末にhp11nm対応技術の確立を目標とした。しかし、NANDフラッシュメモリの微細化に関する国内企業の開発動向に合わせるため開発したEUVレジストをベースに他のレジスト材料を組み合わせることにより、hp11nm以細のレジスト技術を実現する開発を2013年度から開始した。

(3)フルフィールド露光機評価

2012年度までのEUVレジスト材料技術開発において、中間目標であるhp16nmを上回る解像度hp15nmのEUVレジスト材料の開発に成功した。この成果は、SFET(Small Field Exposure Tool)露光機を用いて、0.6mm×0.2mmの露光サイズでウェハの中心部分で実現したものである。これにより、EUVレジスト材料の基本性能が実証されたが、実用化のための欠陥発生、ウェハ面内均一性等の評価は未実施の段階であり、実用化に向けてこれらの評価は課題となっている。

これらの成果、課題を受けて(フルフィールド露光機による実用化評価に値するEUVレジスト材料が前倒しで開発できたため)、実用化を見据えて、基本性能が実証されたEUVレジスト材料のフルフィールド露光機による評価を実施する。2013年度後半に予定していたフルフィールド露光機によるEUVレジスト材料の評価を実施する。実施においては、フルフィールドスキャナ設備NXE:3100を使用して評価を推進する計画である。

このフルフィールド露光機による評価により、国内レジストメーカーが基本性能実証で世界をリードしているアドバンテージを維持したまま、実用化評価の面でもライバル他社に先行することにより、実用化促進および国際競争上の優位性の確立を同時に実現することを目指して実施する。

(4)hp11nm 対応 露光装置

パターンサイズhp16nmまでのレジスト材料開発は既存のSFET(NA=0.3)を用いて推進してきたが、hp11nmのレジスト材料開発にはSFETでは解像度が不足するため、新たにNA=0.5のHSFETが必要となる。このため、2011年度3次補正予算でHSFETの要素技術の開発をMETI直執行で実施している。この開発成果を活用して、本プロジェクトのhp11nm以細のレジスト材料開発に対しては、新たにhp11nm以細対応 露光装置であるNA=0.5のHSFETを前倒しで製作する。

(5)技術推進委員会

定期的な進捗把握および今後の開発の方向性について、第三者の委員に意見を伺うことを目的に開催した。

(5)－1 第1回技術推進委員会(2012年2月8日実施)

2012年2月8日に、研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」の評価を兼ねて第1回技術推進委員会を実施した。

事業の必要性、重要性を認めて頂き、達成された成果も妥当との意見を頂いた。これを基に、研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」は、2012年度以降、研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施することが了承された。第1回技術推進委員会での主な指摘事項と対応について表II-1にまとめた。

表 II-1 第1回技術推進委員会(2012年2月8日実施)の指摘事項とその対応のまとめ

開発項目	指摘事項	対応
全体	研究員増強を含めた研究体制の強化	2012年度以降に必要な応じて研究員の増強
(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発	hp11nm 対応技術への展開が十分でない	2012年度の実実施計画の拡大光学系(40倍)の検討を含めた hp11nm 対応技術の開発を前倒して開始
	欠陥の転写性の理論・物理解析	2012年5月、EUV明視野顕微鏡による欠陥の観察技術の強化と転写性評価を目的に東北大学を再委託先に追加
(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発	高スループットが課題である	高輝度電子銃等の対策を 2014 年度に計画
(3) EUVレジスト材料技術開発	LWRを含めたレジスト性能の改善が必要	東京エレクトロンと共同実施を開始し、LWR改善を目的にリンスプロセスの開発を開始(2012年11月)
	無機レジストなど化学増感レジスト以外の各種レジスト評価も必要	2012年度にネガ型有機現像レジストの評価を実施。また、2013年度に大学等の開発したレジストの評価を計画
	hp11nm 用露光環境の構築が必要	HSFETの製作を2013年度に計画
	次世代リソグラフィ技術の検討	EUVレジストをベースに他のレジスト開発を2013年度から開始

(5)ー2 第1回技術推進委員会(2012年11月13日実施)

設定目標に対する進捗の達成度を確認したうえで、委員の専門性を活かした中間目標達成のためのコメントを頂いた。第1回技術推進委員会での主な指摘事項と対応について表 II-2 にまとめた。

表 II-2 第2回技術推進委員会(2012年11月13日実施)の指摘事項と対応のまとめ

開発項目	指摘事項	対応
全体(その他)	光源開発の重要性	別のプロジェクトで開発(本プロジェクトの推進部として推薦)
(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発	明視野顕微鏡の他分野(PI)応用	実施予定
(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発	高スループットが課題である(再指摘)	高輝度電子銃等の対策を2014年度より開始予定
(3) EUVレジスト材料技術開発	実用的なウェハ全面での評価の必要性	2013年度にフルフィールド露光評価を実施
	hp11nm 用露光環境の構築が必要(再指摘)	HSFET の製作を2013年度に計画

4. 中間評価結果への対応

本プロジェクトは、2013年度に中間評価の実施を予定しており、現時点において未実施のため記載すべき事項はない。

5. 評価に関する事項

NEDO は、技術的および政策的観点から見た技術開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を2013年度、事後評価を2016年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえて必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況などに応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、2011年度末に外部有識者からなる委員会を開催し、研究開発計画の達成目標に照らして達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、2012年度以降は研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①

「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施する。よって、中間評価、事後評価においては、研究開発項目②の成果を含めた上で研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」の評価を中心に行う。

Ⅲ 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

2013年度までの3年間の事業全体についての成果を、初期目標の達成状況、知財権の取得状況、学会・論文発表の状況に分別し、本節で示す。初期目標の達成状況については表Ⅲ-1.1に示すとおりである。以下に概要を示す。

EIDEC プロジェクト基本計画では、平成25年度までに hp16nm 世代での EUV リソグラフィ技術の量産化に不可欠な高精度・低欠陥マスク技術と関連検査技術、レジスト材料等においては高解像、低 LWR (Line Width Roughness)、高感度、および低アウトガスを満たすレジスト材料を実現するための材料開発と評価技術開発にある技術的障壁を解決できる半導体デバイスプロセス基盤技術を確立することを目的としている。

3つの大テーマの共同研究「研究開発項目①EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」における中間目標は以下のようである。

テーマ(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

- ・中間目標:hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスクBI装置において6インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスクBI基盤技術を確立する。また、hp11nm 以細に対応するBI技術における課題を明確にする。

テーマ(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

- ・中間目標:hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスクPI装置において6インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスクPI基盤技術を確立する。また、hp11nm 以細に対応するPI技術における課題を明確にする。

テーマ(3) EUV レジスト材料技術開発

- ・中間目標:解像度 hp16nm のレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、hp11nm 以細に対応するレジスト材料における課題を明確にする。

また、業務委託「研究開発項目②EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」での目標は、平成 23 年度末までに以下を達成することである。

テーマ(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発

- ・目標： hp16nm 以細に対応する BI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

テーマ(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

- ・目標： hp16nm 以細に対応する PI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

テーマ(3) EUV レジスト材料基礎研究

- ・目標： 得られた知見や新規技術に関する研究成果が、hp16nm 以細へのレジスト材料開発にとって有効であることを示す。

さらにこれらのテーマは以下の中テーマとして分けられ、研究内容は以下のようである。

研究開発項目①EUV マスク検査・レジスト材料技術開発

(1)－1 ABI 装置高度化(レーザーテックとの共同研究)

- ・研究内容:ABI 装置を組上げて完成させ、プログラム欠陥を用いた画像データから、基本機能が達成されていることを確認する。

(1)－2 ABI 装置仕様検討

- ・研究内容:ABI 装置の欠陥検出効率向上のための基本検討を行って基本仕様をまとめ、マスクブランク欠陥のウェハへの転写性を高精度で評価して欠陥検出感度の要求値を明確にする。

(1)－3 マイクロ CSM の開発(兵庫県立大学への再委託)

- ・研究内容:マイクロ CSM システムを構築して位相欠陥のデータベースを作成し、パターン形成に影響を与える欠陥の識別に役立て、ABI 装置による検査に反映する。

(1)－4 EUV 明視野顕微鏡観察技術の開発(東北大学への再委託)

- ・研究内容:16nm～11 nm 世代対応の EUV ブランク及びマスクの欠陥観察を目的とする明視野 EUV 顕微鏡観察技術を開発し、マスクパターンの欠陥検査・評価・同定技術および技術の基盤を確立する。

(2)－1 PI 装置仕様検討

- ・研究内容:PI 装置の高感度化、及び高スループット化のための理論検討を行い、PI 装置の検出感度に関する基本仕様をまとめる。また、パターン欠陥のウェハ転写性を高速、高感度に評価可能な手法を開発する。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置コア技術開発(荏原製作所との共同実施)

- ・研究内容:PI 装置を高感度化、及び高スループット化するためのコア技術を開発する。
EUV マスクの電子線像の確認と、照明光学系と結像光学系の電子透過率に注目しその性能を精密に評価する手法を確立する。

(3)－1 EUV レジスト材料開発

- ・研究内容:EUV レジスト材料開発を進め、解像度、LWR、感度、アウトガスの観点で優れた特性を持つレジスト材料・プロセスを開発する。さらに、hp11nm に対する開発目標とマイルストーンを設定する。

(3)－2 レジストアウトガス高精度測定方法確立

- ・研究内容:EB 照射方式によるレジストアウト評価手法を確立し、EUV 光照射方式(兵庫県立大学への再委託)との相関を取得する。そのレジストアウトガス評価手法の妥当性の検証をすることを目標とする。

(3)－3 パターンサイズ縮小レジストプロセス技術開発

- ・研究内容:DSA(directed self-assembly; 自己組織化)ポリマーを用いて、EUVL による転写パターンのサイズの縮小を可能にするレジストプロセス技術を開発し、hp11nm 以細のパターンが形成できる材料・プロセス技術を実現する。

(3)－4 アウトガスデータベースの構築(兵庫県立大学への再委託)

- ・研究内容:兵庫県立大学の EUV 光を用いて、アウトガスとコンタミ付着との関係を明らかにする。EUV 光照射方式によるアウトガス評価装置を用いて種々のレジストのアウトガスデータを蓄積し、EB による評価との相関を調べる。

(3)－5 材料設計(大阪大学への再委託)

- ・研究内容:ブリッジおよびラインブレイク、パターン倒壊等の関係をシミュレーション解析することにより、潜像とこれらの欠陥の関係を明らかにする。また、これらより分子レベルでの設計指針を得る。

研究開発項目②EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発

(1)－1 ABI 装置基本設計

- ・研究内容: EUV 光を用いた量産のための ABI 装置を実現するための装置の基本設計を行う。より高効率化を目指し、光源、光学系等の最適設計を実施する。

(1)－2 EUV 光源・照明光学系基礎検討(レーザーテックとの共同実施)

- ・研究内容: 照明強度を高輝度化させることにより、45 分程度で欠陥検査できることを目標とする。

(2)－1 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

- ・研究内容: 電子ビームを用いた写像投影方式による欠陥検査技術を確立する為の高分解能写像投影光学系を開発する。hp16nm に対応した高分解能写像投影方式電子ビーム光学系に対する要求仕様を明確にする。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発(荏原製作所との共同実施)

- ・研究内容: (2)－1にて明確化される高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の要求仕様に基づいて、EUV マスク欠陥検査装置の核となる新たに開発する高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を製作する。

(3)－1 レジストパフォーマンスシミュレーション技術開発

(NEDO から大阪大学への委託研究)

- ・研究内容: これまでのレジストモデルの拡張を行うとともに逆解析アルゴリズムの高精度化を行い、SFET(Small Field Exposure Tool)によるレジスト露光に適用し、16、11nm ノードに向けたレジスト設計指針を得る。

(3)－2 レジスト基本特性仕様明確化

- ・研究内容: hp16nm レジストパターン作成に重要な工程である現像・リンス工程に対して行い、該パターン形成に向けての材料、現像(液)プロセス、リンス(液)プロセス方針を明確にする。

(3)－3 アウトガス検出手法開発

- ・研究内容: アウトガスとコンタミ膜厚評価の基礎手法を習得したうえで、レジスト材料の量産プロセスの使用条件を考慮したアウトガスとコンタミ膜厚評価用サンプル作成技術を構築し評価技術の標準化に向けた提案を行う。

これらのテーマに対する成果を以下にまとめた。

研究開発項目①EUV マスク検査・レジスト材料技術開発

(1)－1 ABI 装置高度化(レーザーテックとの共同研究)

ABI 装置の欠陥検出性能およびスループット向上のためのコア技術である[1]TDI センサーの開発、[2]ステージ技術の開発、[3]信号処理システムの開発、[4]ブランクの真空搬送系技術について開発を行った。

平成 23 年度に委託研究で開発した EUV 光源モジュール、照明光学系、および対物光学系に本開発により実現された TDI センサーとステージモジュール、信号処理システムと搬送システムを組み上げて ABI 装置を製作完成させ、プログラム欠陥を用いた画像データから、基本機能が達成されていることを確認した。また、検出された位相欠陥の位置精度を高めるための高倍率レビュー機能の性能確認を終了させるとともに、hp11nm 世代で必要となる要素技術を検証し、hp11nm に対応する ABI 装置のフィジビリティを検討する。

(1)－2 ABI 装置仕様検討

ABI 装置のコア技術開発と併行して、目標とした欠陥検出感度の妥当性検証ならびに技術開発で採用した暗視野 ABI 方式の限界性能の解析を行った。

マスクブランク欠陥のウェハへの転写性を高精度で評価するために、プログラム位相欠陥や振幅欠陥と吸収体パターンとを有するテストマスク(Programmed Defect Mask:PDM)を露光装置によってレジスト上に転写した結果と、欠陥信号を比較した。また、プログラム欠陥から発生する欠陥信号を予測するための電磁界シミュレーションの高度化を行い、hp11nm 世代に向けたシミュレーション方式の高度化を進めた。具体的には、高さ 1 nm 以下の位相欠陥では、表面ラフネスとの分離が困難になってくることが予想されるため、より微細なサイズを有する PDM を作成し、位相欠陥と表面ラフネスとの検査信号の特性解析を進め、位相欠陥検出感度向上の可能性を追求した。欠陥がパターン転写に与える影響度の詳細な解析を行い hp16nm 世代用ブランク欠陥検査装置に必要な欠陥検出感度を明確にした。ABI 装置により得られる欠陥信号と、計算シミュレーションとの比較を行うことにより、現状の暗視野検査光学系光学パラメーターの妥当性の検証を行い、hp11nm 世代対応の方向付けを行った。

(1)－3 マイクロ CSM の開発(兵庫県立大学への再委託)

EUV 回折光を用いた微細構造の解析手法である CSM において、照明光の集光径を $\phi 100\text{nm}$ 程度に小さくすることにより、欠陥の特徴を解析することが可能となる。また、欠陥からの回折光の取り込み角を大きく取ることで、3次元形状の評価が可能となる。これらの特徴を有するマイクロ CSM を開発した。

EUV 光を集光させるための FZP を試作し、EUV 照明光が $\phi 200\text{nm}$ 以下に絞られていることを確認した。 $\Phi 200\text{nm}$ 以下ビームスポットの集光光学系を活用してプログラム欠陥の散乱パターン取得実験を行い、幅 (FWHM) $\phi 30\text{nm}$ に至る微細な位相欠陥まで散乱パターンを測定することに成功した。今後、平成 25 年度末までに、マイクロ CSM による EUV マスクブランク上の位相欠陥の特性評価を進め、マイクロ CSM の回折像と欠陥の幾何学的構造の相関を整理し、欠陥データベースを作成する。これらの分類された位相欠陥のデータベースを、パターン形成に影響を与える欠陥の識別に役立て、ABI 開発にフィードバックする。

(1)－4 EUV 明視野顕微鏡観察技術の開発(東北大学への再委託)

実際に露光検証を行うことが困難となる $\text{hp}16\text{nm}\sim 11\text{nm}$ 世代対応の EUV ブランク及びマスクの欠陥を露光波長の EUV 光を用いて観察することを目的として EUV 明視野顕微鏡観察技術の開発を行った。

EUV 明視野顕微鏡の拡大光学系を設計した。対物鏡としては 2 段結像光学系で 3 枚の多層膜ミラーを採用し、1460 倍の拡大倍率を実現した。多層膜ミラーの製作を行った後に形状計測した結果、所望の精度が得られていることを確認した。完成した EUV 明視野顕微鏡で兵庫県立大学の EUV 光源を用いてプログラム欠陥マスクを観察し、 $\text{hp } 60\text{nm}, 50\text{nm}, 40\text{nm}$ の L&S パターン像でのコントラストを確認し、EUV 顕微鏡が $\text{hp}16\text{nm}\sim 11\text{nm}$ 世代の EUV マスク観察に十分な空間分解能を持つことを確認した。今後、平成 25 年度末までに、テストマスクによる観察実験を行い、露光実験とあわせて、EUV 顕微鏡を用いたミュレーションの妥当性を検証する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

(2)－1 PI 装置仕様検討

PI 装置の高感度化、及び高スループット化のための理論検討を行い、また、hp20nm 以細に必要な PI 装置の欠陥検出感度を欠陥転写性のシミュレーションなどの手法により精密に見積もることで、PI 装置の検出感度に関する基本仕様をまとめる。また、電子軌道シミュレーションにより検査条件の最適化を行う。更に、信号処理のための論理と回路への実装検討を行い、hp16nm 微細加工に対応するパターン欠陥検出感度が実現できることを確認する。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] PI 装置の欠陥検出性能解析
- [2] プリンタビリティ検討
- [3] 電子軌道シミュレーションによる電子線像の予測
- [4] 欠陥検出用の論理と回路の検討

これらにより、PI 装置の高感度化、及び高スループット化のための理論検討を行い、PI 装置の検出感度に関する基本仕様を策定した。パターン欠陥のウェハ転写性を高速、高感度に評価可能な手法を開発した。これらの成果に基づき、hp16nm 微細加工に対応するパターン欠陥検出感度が実現できることを確認した。具体的には、PI 装置において解像度と電子線透過率を評価し、現行機に対する性能の向上を確認した。また、hp11nm 世代対応の性能達成に必要な改善量を特定した。転写性シミュレーターを用いた評価により、検出必要欠陥サイズの大きさ、マスクに対する入射角の影響、薄膜欠陥に対する基準を定めた。マスク構成部材の二次電子放出効率を精密に測定することで電子軌道シミュレーションによる電子線像の生成を精度よく行い、検出光学系を模擬した欠陥検出像を解析することで 16nm サイズ凹凸欠陥検出のための条件を設定した。今後、平成 25 年度末までに、PI 装置の欠陥検出に採用しているダイ比較方式に対して、比較を行うダイの位置関係を 1% 以下の誤差で合わせる機能と、フィルター処理による欠陥信号強調機能を組み込んで、その効果を実証確認する。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置コア技術開発(荏原製作所との共同実施)

PI 装置を高感度化、及び高スループット化するためのコア技術として、ハードウェアの高精度化を行う。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] 基本性能評価及び条件最適化

[2] 欠陥検出感度と検出確率の評価

これらにより、今後、平成 25 年度末までに、PI 装置を高感度化、及び高スループット化するためのコア技術を開発した。具体的には、hp16nm 以細の微細加工技術に対応した電子ビーム写像投影光学系の研究開発を行うことにより、(2)－1において示された許容欠陥サイズの指標に対応可能な EUV マスクパターン欠陥検査基盤技術を確立した。特に、hp16nm 世代対応に必要な 20% の結像光学系収差低減と、20 倍以上の透過率向上設計に注目し、照明系と結像系を結合した総合評価で性能を評価した。確立した高エネルギー電子を用いるための高圧基準電位の印加手法により、総合機能を達成した。また、開発した電子ビーム写像投影光学系の欠陥検出感度を実証するための評価装置を導入整備し、600MPPS の処理速度での 6 インチマスク全面で 16nm \square 欠陥の検出が可能であることを実証する。

(3) EUV レジスト材料技術開発

(3)－1 EUV レジスト材料技術開発(東京エレクトロンとの共同実施)

EUV レジスト材料開発に当たっては以下の項目の検討を行った。

- (a) 解像度 hp16nm レジストの合否判定基準策定、レジスト材料の開発
- (b) レジスト組成物のスクリーニング
- (c) ネガ現像レジストの開発
- (d) 低分子レジストの開発
- (e) 無機レジストの評価
- (f) 限界解像度評価

EUV レジストプロセスの開発に当たっては以下の項目の検討を行った。

- (a) 上層膜プロセスの開発
- (b) 下層膜プロセスの開発
- (c) フラッシュランプベークプロセスの評価
- (d) リンスプロセスの最適化(東京エレクトロンと共同で実施した)

その結果、レジスト樹脂のスクリーニングから、リソグラフィ性能を向上させる新規樹脂や増感ユニットを見出した。パターン倒れ改善、LWR 改善が可能な新規リンス液ならびにリンスプロセスレシピを見出し、EIDEC 標準プロセスを確立した。多数のレジスト材料を評価し、解像度、LWR、感度のバランスが良好な EIDEC 標準レジストを選定した。

(3)－2 レジストアウトガス高精度測定方法確立

EB 照射方式と EUV 照射方式の相関性を検証した。具体的には、EB 方式アウトガス評価装置において形成された、アウトガス評価用標準レジストのクリーナブルコンタミ膜厚を、同一の標準レジストを用いて兵庫県立大学への再委託事業で構築された EUV 方式アウトガス評価装置で形成されたクリーナブルコンタミ膜と比較評価したところ、非常に高い相関性を確認できた。また、上記アウトガス評価用標準レジストのクリーナブルコンタミ膜厚を、水素ラジカルを用いてクリーニング処理を行った後、ウイットネスサンプル(WS)上に残留したコンタミ成分を XPS にて元素分析を行い、同一の標準レジストを用いた EUV 方式アウトガス評価装置で形成されたクリーナブルコンタミ膜と比較評価したところ、高い相関性が得られない場合があることがわかった。平成 26 年 3 月までに原因を究明する予定である。

数種類のレジストのアウトガス評価結果から、評価手法の改善ならびに EUV レジスト材料設計への指針を得ることが出来た。具体的には、同一組成で光酸発生剤(PAG)添加量、溶解抑止基の保護率、クエンチャー添加量などの組成比を変えたレジスト(レジストファミリー)からのアウトガスによるコンタミ膜厚を評価したところ、線形的に単調変化することが判明した。この知見を元にした評価数削減案を提案した。またクリーナブルコンタミの脱保護による副生成物とレジスト樹脂の極性依存性について解析した結果、脱保護反応による副生成物の極性が高いほどアウトガス量が小さいことが分かった。

WS 未露光部におけるコンタミの評価を行ったところ、EUV 光の未露光部分における PAG のアニオン起因のノンクリーナブルなコンタミ現象が存在することを世界で初めて発見した。当該コンタミのクリーニング容易性のアニオンサイズ依存性を調べたところ、カーボン数の多いアニオンほど WS のクリーニングレートが高いことが判明した。WS の未露光部においては、WS 上に吸着した PAG アニオンは WS 表面の Ru と強力な結合を形成するのに対し、露光部においてはカーボンコンタミ膜と同時に形成されるため、Ru との結合が形成されず、クリーニング時に除去されることが考えられる。

(3)－3 パターンサイズ縮小レジストプロセス技術開発

DSA(directed self-assembly; 自己組織化)ポリマーを用いて、EUVL による転写パターンのサイズの縮小を可能にするレジストプロセス技術を開発し、EUV レジストに組み合わせることにより、hp11nm 以細のパターンが形成できる材料・プロセス技術を実現する。

パターンサイズの微細化を可能にする材料開発を加速するには、分子設計のシミュレーション技術の高度化が必須である。また、パターンサイズが微細なためプロセスにおける寸法ばらつきや欠陥発生などを計測器で観測することは容易でなく、プロセス開発には、計算機上でシミュレーションできることが必須である。このため、DSA レジストプロセスにおける寸法のばらつき、欠陥や LWR の発生などの挙動を、高精度かつ高速に予測できるシミュレーション技術を開発する。開発されたシミュレーション技術を用いて、高精度で低欠陥のパターンサイズ縮小レジストプロセスの構築に向けた材料開発ならびにプロセス技術を確立する。

これらの方針のもとに、専用のプロセス装置、エッチング装置の仕様を策定し、装置を導入する。DSA 用材料開発(中性化膜,ブロックコポリマー)と、中性化層成膜・加工、レジスト剥離、相分離、現像プロセスを開発し、hp12~14nmL/S パターンを 300mm ウェハで形成する。後述する東京工業大学への再委託で開発した材料を使用して、周辺材料とプロセス開发行い、hp7nm L/S パタ

ーンを形成する。DSA に特化した相分離シミュレーターを開発し、系の持つ自由エネルギーを比較することにより、計算機によりプロセスマージンを予測する。

(3)－4 アウトガスデータベースの構築(兵庫県立大学への再委託)

兵庫県立大学の装置は、量産で要求される光強度に近い EUV 光強度での評価が可能である。そこで、この EUV 光を用いて、アウトガスとコンタミ付着との関係を明らかにする。また、ASML 社は電子線(Electron Beam: EB)による評価を推奨しているが、EB と EUV 光ではレジストからのアウトガス種を生成する反応収率が異なっていると考えられ、EUV 光照射方式によるアウトガス評価装置を用いてレジストからのアウトガスに起因するコンタミ膜厚測定を進め、種々のレジストのアウトガスデータを蓄積し、EB による評価との相関を調べる。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] EUV 照射方式によるアウトガス評価装置の開発
- [2] EUV 方式によるレジストアウトガス評価
- [3] アウトガスデータベースの構築

これらにより、兵庫県立大学のアウトガス評価装置を 8 インチウェハ対応に改良し、評価時間を短縮した。コンタミ成長の再現性を確認し、電子線方式との比較におけるコンタミ膜厚の補正方法を確立した。レジストファミリー化のデータベースを構築。電子線方式の同データベースとの相関を確認する。

(3)－5 材料設計(大阪大学への再委託)

レジストパターン形成における化学反応が確率過程であることをモデル化したシミュレーション解析手法を開発し、ラインエッジラフネス、ブリッジ欠陥およびラインブレイク欠陥等の現象を解明し、そこで得られた知見を基に、レジスト分子構造を確率論的観点から考察し、分子レベルでの設計指針を得ることを目的に研究を行っている。

今回、SFET での露光結果から、ラインエッジラフネス、ブリッジ欠陥、ブレイク欠陥、倒壊確率等を測定し、レジスト潜像との関係を明らかにした。シミュレーターを用いて推定したパターンの潜像から、ラインエッジラフネスと保護基濃度の揺らぎとの関係、ならびにブリッジ欠陥やラインブレイク欠陥を消失させるのに必要な、平均保護基濃度と溶解しきい値の関係を明らかにした。EIDEC 標準レジストを用いて、レジスト中に形成される潜像と保護基数の揺らぎを推定可能にし、未露光のレジストの保護基数の揺らぎが潜像揺らぎに与える影響を明らかにした。EIDEC 標準レジストの

酸拡散長が、hp16nm における最適酸拡散長と比較して妥当であることを確認した。これらの知見を基に、今後、分子サイズや保護基密度等のレジスト分子構造を確率論的観点から考察し、分子レベルでの設計指針を得る予定である。

研究開発項目②EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発

(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発

(1)－1 ABI 装置基本設計

EUV 光を用いた量産のためのABI 装置を実現するための装置の基本設計を行う。装置構成の基本は、MIRAI－Selete の研究成果であるABI 装置に準拠するが、より高効率化を目指し、光源、光学系等の最適設計を実施する。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] 全体設計方針、フロアプラン
- [2] 光学系構想と必要機械精度
 - [2-1] EUV 光源部設計
 - [2-2] 光学系構想／照明光学系
 - [2-3] 光学系構想／結像光学系
 - [2-4] 必要機械精度／光学系の安定支持構造
 - [2-4-1] TDI センサー部支持構造
 - [2-4-2] シュバルツシルト光学系保持構造
- [3] 機械設計
 - [3-1] マスクステージシステム
 - [3-1-1] XY 軸構成
 - [3-1-2] アクチュエータ
 - [3-1-3] ガイド
 - [3-1-4] エンコーダ
 - [3-2] 搬送系システム
 - [3-2-1] マスクカセット
 - [3-2-2] 高効率搬送設計
 - [3-2-3] 低発塵・低アウトガス真空系設計
- [4] 検出系設計
 - [4-1] 検査時間
 - [4-2] レビュー機能

これらにより、Selete での開発を踏襲した EUV 光を用いた量産のための ABI 装置を実現するために、高感度と高スループットの実現、パーティクル性能の向上、使い勝手やメンテナンス方法の改善、等の実現に注力し、全体設計方針を決定し基本設計を実施した。

光学系構想設計と必要機械精度の検討として、量産を視野に、今後の上市される光源への変更に対し裕度のある設計を行った。真空チャンバやステージ等の構成を変更せずにこれら新規光源への交換が可能となる構成とした。EUV マスクブランクの全面を 45 分で検査するための高速スキャンには光源の出力向上と光学系の効率向上により対応するものとし、光源のメンテナンス性を確保する基本設計を行った。

Selete を踏襲した 26 倍のシュバルツシルト光学系を採用した。精度検討を行った結果、0.1 μ m 以下の解像性が得られることを確認した。生産性を考慮し、光学系の取り付け方式を振動解析により決定した。

機械設計としては、発熱を考慮したうえで、ステージの駆動方式の検討を行い、高位置精度を実現する駆動方式を採用した基本設計を行った。高位置精度実現のための位置読取機構もあわせて開発を行った。また、装置の立ち上げ調整時に、容易に各種試料に対応できるように、RSP200、Dual Pod、および、MRP の 3 種類のマスクカセットを同一ポートで対応が可能となる搬送系を提案した。清浄度を維持するための低排気速度、低開放速度に対応し、真空チャンバ内に次なる検査予定マスクを待機させる構成とした。マスクの搬送のため低発塵技術と光学系汚染防止に低アウトガス技術として、真空搬送ロボット、ゲートバルブ類、Oリング等、入手できる最良部材を提案した。

検出系設計として、画像情報を欠陥検出回路でリアルタイムに欠陥判定する構成とし、往復スキャン方式を採用することにより 45 分/マスクの検査時間を達成する目処を得た。検査中に欠陥画像を自動的に取得する Instant レビュー機能と検査後に詳細に欠陥観察する Live レビュー機能に加えて、欠陥のより高精度な位置計測機能も備えたシステム構成とした。

(1) - 2 EUV 光源・照明光学系基礎検討(レーザーテックとの共同実施)

ABI 装置において、EUV マスクブランク全面を 45 分程度で欠陥検査を実現するために EUV 光源の比較評価をおこなう。EUV 光源の性能を評価する手法を確立し、市販されている複数種の EUV 光源評価をおこない、光源の選定を行う。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] 光源評価装置設計、製作
- [2] 評価対象となる EUV 光源諸元

[3] EUV 光源評価結果

これらにより、光源評価時に、比較対象であるあらゆる光源に装着し EUV 光源の出力を定量的に評価するために必要となる、EUV 光源出力評価装置を設計・製作した。製作した EUV 光源出力評価装置を用い、上市されている 3 種の光源の評価をおこない、ABI 装置として必要となる、EUV 光源光出力、輝度、発光点の特性、安定性、等を EUV 光源諸元として評価した。評価の結果として、開発に係る ABI 装置に適用する EUV 光源として、Energetiq 社製 EQ-10 改良型の光源の優位を確認した。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

(2)－1 仕様検討

開発を行うマスクパターン欠陥検査装置の hp16nm に対応した高分解能写像投影方式電子ビーム光学系に対する要求仕様を明確にする。

以下に本研究の成果項目を記す。

[1] 電子ビーム写像投影光学系の限界性能解析

電子ビームを用いた写像投影方式による欠陥検査技術を確立する為の高分解能写像投影光学系を開発するため、hp16nm に対応した高分解能写像投影方式電子ビーム光学系に対する要求仕様を明確にした。具体的には、開発光学系のベースとなる現行機が hp100nm において設計値と同等な画像コントラストを有していることを画像評価により確認し、高解像度化設計による限界性能見積りの妥当性を確認した。その上で当該要求仕様を満たすため、後述の株式会社荏原製作所との共同実施により高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を上記の高解像度化設計に沿って製作した。

(2)－2 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発(荏原製作所との共同実施)

EUV マスク欠陥検査装置の核となる低収差電子ビーム結像光学系と狭エネルギー分布電子ビーム照明光学系の2つの光学系から構成される高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を製作する。

以下に本研究の成果項目を記す。

[1] 高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の基本設計

[2] 高解像電子ビーム写像投影光学系の製作

[3] 性能評価

これらにより、株式会社荏原製作所との共同実施により、EUV マスク欠陥検査装置の核となる新たに開発する高分解能写像投影方式電子ビーム光学系を製作した。高分解能写像投影方式電子ビーム光学系は、低収差電子ビーム結像光学系と狭エネルギー分布電子ビーム照明光学系の2つの光学系から構成される。②-1にて明確化される高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の要求仕様に基づいて、これら2つの光学系の設計および製作を行った。具体的には、収差を20%低減し高い電子エネルギーを持つ電子を用いるための鏡筒の設計を完了し、光学系の単体性能評価を行うための評価治具の設計を完了した。設計に基づき構造を最適化した鏡筒構造を有する光学系の製作を完了した。高輝度電子線源の開発もあわせておこない、電子ビームでマスクを照明するために必要な照明電流が得られることを確認した。高エネルギー電子を採用した光学系の設計製作を行い、治具真空チャンバでの評価を完了した。

(3) EUVレジスト材料基礎研究

(3)-1 レジストパフォーマンスシミュレーション技術開発

(NEDO から大阪大学への委託研究)

これまでの Selete と大阪大学との共同研究で得られた成果に基づき、レジストモデルの拡張を行うとともに逆解析アルゴリズムの高精度化を行う。以上を SFET(Small Field Exposure Tool)によるレジスト露光に適用し、16、11nm ノードに向けたレジスト設計指針を得ることを目標とする。また、低エネルギー二次電子の平均非弾性散乱距離を考慮したモンテカルロシミュレーションにより、二次電子による解像度ボケの波長依存性を明らかにすることも目標とする。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] 二次電子モデルの解像度ボケの波長依存性の解明
- [2] 逆解析プログラム高度化と SFET 露光結果への適用
- [3] アニオンバウンドレジストのモデル化

これらにより、モンテカルロシミュレーションにより、二次電子による解像度ボケ、量子収率の波長依存性を明らかにし、分子設計指針を得た。逆解析モデルにレジスト溶解点のパターンサイズ依存性を考慮可能とし、SFET 露光結果に適用し、微細化に伴うレジスト溶解特性の劣化を解明した。酸アニオン固定型のレジスト中における酸拡散をモデル化し、シミュレーションコードを作製し、レジストプロセスの露光量・解像度・クエンチャー濃度・PEB 時間依存性を明らかにした。

(3)－2 レジスト基本特性仕様明確化

EUUVレジストの反応機構解明は Selete でこれまで行われてきた評価データと、現象を解明する技術を引き継ぎ、hp16nm レジストパターン作成に重要な工程である現像・リンス工程に対して行い、該パターン形成に向けての材料、現像(液)プロセス、リンス(液)プロセス方針を明確にする。本研究で行うパターンニングの実験には、現在、スーパークリーンルーム産学官連携研究棟に設置されている SFET を活用する。材料の視点から現像反応機構解明は標準的な材料を用い、樹脂種、EUUV 露光でレジスト内に形成される潜像をパラメーターとして行う。プロセスの視点からの機構解明は現像液、現像液濃度、現像液温度、現像手法をパラメーターとして行う。これらパラメーターのうち影響が大きい因子の絞込みを平成 23 年 12 月までに行い、平成 23 年度末までに現像プロセスの方針を整理する。リンス反応機構解明は、レジストに標準的な材料を用い、樹脂種、EUUV 露光でレジスト内に形成される潜像をパラメーターとして行う。プロセスの視点からの機構解明はリンス液、リンス材濃度、リンス液温度、リンス手法をパラメーターとして行う。これらパラメーターのなかで、影響が大きい因子の絞込みを平成 23 年 12 月までに行い、平成 23 年度末までにリンスプロセスの方針を整理する。

以下に本研究の成果項目を記す。

- [1] レジストプラットフォームによる現像挙動への影響
- [2] レジスト膜厚を薄膜化した際の現像挙動への影響
- [3] 現像過程、リンス過程および乾燥過程の評価

これらにより、ヒドロキシシチレン(PHS)系、メタクリル系及び PHS とメタクリルのハイブリッド系で、溶解挙動(特に膨潤)が異なることを明らかにした。レジストを薄膜化することで、溶解のクラスターサイズが縮小し、LWR を低減できる可能性を示した。レジストのパターン形成(形状の決定)には、現像過程だけでなく、リンス過程及び乾燥過程も寄与していることを明らかにした。

(3)－3 アウトガス検出手法開発

露光時にレジストから発生するアウトガスは、露光装置のミラー光学系を汚染し露光装置の寿命を短くしてしまう原因となるため、EUUVL 実用化の大きな課題である。そこで ASML 社はレジストからのアウトガスを定量的に同定して正確な合否判定を行う評価方法を提案した。本手法はレジストに EUUV 光乃至電子線(EB)を照射してアウトガスを放出させ、EUUV 光、あるいは EB を照射したウイットネスサンプル(WS)上に形成されたコンタミネーション(クリーナブルコンタミ)をエリプソメー

ターで膜厚測定することでカーボン系アウトガス量を測定し、その後カーボンコンタミネーションを水素ラジカルで洗浄し、残った洗浄不可能な成分(ノンクリーナブルコンタミ)をXPSで定量測定するという方法である。EBを用いる場合はコスト、評価時間等にメリットがあり実用的だが、EUV光による結果との相関性が課題となっていた。

そこで本研究においては、まずEB照射方式によるアウトガス評価フローの構築を目的としてレジストアウトガス評価装置(リソテックジャパン社: EUVOM-9000)を導入し、再現性など計測精度の評価を行った。精度上の問題点と対処方針を明確にした上で当該装置の改造・機能拡張を行った。本フローに従って形成されたクリーナブルコンタミの膜厚再現性を評価した結果、良好な再現性が得られた。またWS上のノンクリーナブルコンタミのXPS分析結果も、良好な精度が確認された。本研究により、EB照射方式のレジストアウトガス評価装置を用いたフローによって正確なアウトガス合否判定を行うに必要な精度を実現した。

表Ⅲ-1.1 初期目標の達成状況

研究開発項目①EUV マスク検査・レジスト材料開発

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)-1 ABI 装置 高度化 (レーザー テック との共同 実施)	[1]TDI センサーの開発完了	達成	[1]センサーを構成する電気素子の電極構造と配置と、アレイ分割と信号回路の最適化を行い、高速化と低雑音を同時に実現した。
	[2]ステージ技術の開発完了	達成	[2]レーザー干渉計を用いた高精度システムを採用した。TDI との同期制御を組み込むシステムとし、実績のある信号処理システムを基にこれを実現することとした。また、低分子量有機物の放出の少ないマスク接触部材の検討を完了した。
	[3]信号処理システムの開発完了	達成	[3]画像データの受信とデコード、輝度補正、欠陥検出、欠陥情報の蓄積、欠陥データの転送の機能を Shading 補正基板、欠陥検出基板、インターフェイス基板よりなる信号処理システムに持たせ、その機能の実現を確認した。
	[4]ブランクの真空搬送系技術開発完了	達成見込み 2014 年 3 月	[4]検査効率を確保した真空搬送系を検討した。ロードロックチャンバは、気流シミュレーションにより構造を決定した。異物付着を低減する施策をほどこし、評価により対策の効果を確認した。評価中である裏面と、

	[5]ABI 装置高度化完了	達成見込み 2014年3月	エッジ領域の異物については、2014年3月末までに目標を達成する。 [5]ABI 装置高度化開発による成果により、hp16nm の量産に対応するための ABI 装置の組み上げを完了し、2013年3月までに、基本性能の確認を終了した。量産装置に必要な装置の安定動作と高スループット化、および、メンテナンスコストの低減のための開発を 2014年3月末までに達成する。
--	----------------	------------------	--

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)-2 ABI 装置 仕様検討	[1]暗視野 ABI 方式の限界性能解析完了	達成	[1]ノイズ解析を行い、検査時間を短縮するためにはスキャン速度の増加に応じた光量増加の必要を確認した。表面ラフネスの解析を行い、ABI 像の解析により内部構造が予測できることを実証した。ABI 装置に固有の付着異物解析と低減方法の検討し、異物数を 1/15 に低減した。フィデュシャルマークの構造最適化を行った。振幅欠陥が ABI 信号に及ぼす影響について解析を行った。
	[2]プリンタビリティ評価による位相欠陥の影響確認	達成	[2]位相欠陥のサイズや欠陥位置依存性を転写実験により確認し、シミュレーション結果と比較検討した。また、欠陥形状モデルの精度がシミュ

	<p>[3]シミュレーションによる位相欠陥の影響の確認</p>	<p>達成</p>	<p>レーション精度に大きな影響を与えることが分かった。多層膜中を斜め方向に伝搬する位相欠陥を発見し、ABI でしか露光影響の座標を特定ができないことを確認した。</p> <p>[3]シミュレーションにより、欠陥サイズ依存性や欠陥位置依存性を確認した。また、別に行ったシミュレーションにより、ABI 信号強度、ウェハ転写での欠陥像強度に欠陥側壁角等の形状要因が影響している可能性が示唆された。3D マスク構造を取り込んだ高速モンテカルロシミュレーションによる統計的評価で、プロセスウィンドを確認した。</p>
--	---------------------------------	-----------	--

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
<p>(1)-3 CSM の開発（兵庫県立大学への再委託）</p>	<p>[1]マイクロ CSM 開発完了</p> <p>[2]プログラム位相欠陥の回折像取得と実欠陥キャラクターライズ完了</p>	<p>達成</p> <p>達成見込み</p> <p>2014 年 3 月</p>	<p>[1]マイクロ CSM の装置開発をおこない、焦点距離と波長により構造の決まるフレネルゾーンプレートの製作を行った。製作したフレネルゾーンプレートにより 200nm 以下の集光スポット径を確認した。</p> <p>[2]マイクロ CSM により、幅 30nm 以下の欠陥まで観測できる感度を確認した。また、非対称な形状の欠陥においては非対称の回折パターンが生じることが確認された。</p>

			今年度は実欠陥のキャラクタライズを進める。
--	--	--	-----------------------

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)-4 EUV 明視野顕微鏡観察技術の開発 (東北大学への再委託)	[1]EUV 用高倍率拡大光学系の設計とミラーの製作完了	達成	[1]EUV 明視野顕微鏡の設計を行った。対物鏡は、東北大学による 2 段結像光学系で、3 枚の多層膜ミラーにより 1460 倍の拡大倍率を得る。ミラー基板は、東北大学多元物質科学研究所に付属する光器械工場で製作し、ミラー基板の形状計測も東北大学にて行った。結像光学系の鏡基板が、所望の高い形状精度で作製されていることを確認した。
	[2]顕微鏡拡大光学系の基本性能の評価と確認	達成	[2]吸収層マスクを観察し、hp 60nm, 50nm, 40nm の L&S パターン像で、50%程度の良好なコントラストが得られていることが確認された。本顕微鏡が、hp16nm~11 nm 世代の EUV マスク観察に十分な空間分解能を持つことを確認した。
	[3]位相欠陥が転写パターンに与える影響の直接評価基盤確立(シミュレーション予測)	達成見込み 2014 年 3 月	[3]シミュレーションにより、顕微鏡像は、パターンの転写像を模擬しないが、像強度の変化により hp16nm~11 nm 世代の位相欠陥の有無や転写影響を判断できることがわかった。テストマスクによる観察実験を行い、露光実験とあわせて、シミュレーションの妥当性を検証する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(2)-1 PI 装置 仕様検討	[1]PI 装置の欠陥検出性能解析による光学系の仕様特定	達成	[1]開発した電子線写像投影光学系を評価することにより、hp11nm 世代に対応する PI 装置を実現するために必要な光学系の仕様を特定した。
	[2]プリンタビリティ検討による問題となる欠陥の確認	達成	[2] 露光シミュレーションにより、hp16nm において検出が必要とされる欠陥サイズが 16nm□であることを見出した。マスクに対する入射角の影響が hp11nm 世代では大きくなることを確認した。薄膜欠陥のウェハ転写評価により膜厚 2.9nm の吸収層欠陥であっても露光パターンに影響が生じることを見出すと共に、電子線画像が薄膜欠陥の検出に有効であることを電子軌道シミュレーションにより確認した。
	[3]電子軌道シミュレーションによる最適撮像条件の決定	達成	[3]マスク構成部材の二次電子放出効率を精密に測定することで電子軌道シミュレーションによる電子線像の生成を精度よく行い、検出光学系を模擬した欠陥検出像を解析することで 16nm□凹凸欠陥検出のための最適撮像条件を見出した。
	[4]欠陥検出用の論理と回路の開発完了	達成見込み	[4]PI 装置で欠陥検出を行うダイ比較検査の論理の開発を行い、比較を

		2014年 3月	行うダイの位置関係を1%以下の誤差で合わせる機能と、フィルター処理による欠陥信号強調機能を組み込んだ。開発した検査光学系により16nm□欠陥が検出できることを確認した。EUVマスクの実欠陥検査により性能の達成を実証する。
--	--	-------------	--

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(2)-2 EUVマスクパターン欠陥検査装置コア技術開発（荏原製作所との共同実施）	[1]基本性能評価及び条件最適化による目標検査機能の達成 [2]欠陥検出感度と検出確率の評価による16nm□欠陥検出の実証	達成見込み 2014年 3月 達成見込み 2014年 3月	[1]hp16nm世代対応に必要な20%の結像光学系収差低減と、20倍以上の透過率向上設計が実現されていることをテストベンチ上で確認した。PI装置に搭載した状態で、高エネルギー電子を用いるための高圧基準電位の印加手法を確立しており、総合的な機能を達成する。 [2]検査装置本体となる評価装置に電子線写像投影光学系の搭載を完了。達成性能の見積もりを行った。検査実施により16nm□欠陥検出を実証する。

(3) EUV レジスト材料技術開発

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-1 EUV レジスト材料技術開発（東京エレクトロンとの共同実施）	[1]レジスト組成物のスクリーニングによる樹脂、増感剤の選定	達成	[1]樹脂スクリーニングから、リソグラフィ性能を向上させる新規ハイブリット樹脂、感度を向上させる新規フッ素増感ユニットを見出した。
	[2]解像度 hp16nm 向けレジストに必要な要素技術検討による標準プロセスの設定	達成	[2]パターン倒れ改善、LWR 改善が可能な新規リンス液ならびにリンスプロセスレシピを見出し、EIDEC 標準プロセスとして採用した。
	[3]解像度 hp16nm レジストの合否判定基準策定、レジスト材料の選定	達成	[3]300 種類以上のレジスト材料を評価し、解像度、LWR、感度のバランスが良好な EIDEC 標準レジストを3 種選定した。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-2 レジストアウトガス高精度測定方法確立	[1]電子線照射方式によるアウトガス評価手法の確立	達成	[1]レジスト組成比およびプロセス条件、計 4 条件に対するコンタミ膜厚の単調な依存性を確認。アウトガステストの削減ルールを明確にした。
	[2]EUV レジスト材料設計／材料評価への指針	達成見込み 2014 年 3 月	[2]10 種類以上のモデルレジストによる比較を実施。良好な相関性が得られる見込み。
	[3]未露光部におけるコンタミネーションの評価	達成	[3]EUV 光未露光部における、付着係数の高い物質のコンタミ現象から、

			コンタミの高いウイットネスサンプル姿勢・位置依存性を確認。評価手法に対する大きな指針となった。
--	--	--	---

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-3 パターン サイズ縮 小プロセ ス技術開 発	[1]DSA 材料・プロセス技術開発	達成の見込み 2014年 3月	[1]DSA 専用のプロセス装置、エッチング装置の仕様策定し、産総研 SCR へ装置導入。DSA 用材料開発(中性化膜,ブロックコポリマー)と、中性化層成膜・加工,レジスト剥離,相分離,現像プロセス開発し、hp12~14nmL/S パターンを 300mm ウェハで形成。上記材料を使用して、周辺材料とプロセス開発を行い、hp7nm L/S パターンを形成。以上を平成 25 年度末までに実現する見込みである。
	[2]DSA シミュレーション技術開発	達成の見込み 2014年 3月	[2]DSA に特化した相分離シミュレーターを開発し、系の持つ自由エネルギーを比較することにより、計算機によるプロセスマージンの予測を実現する。以上を平成 25 年度末までに実現する見込みである。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-4 アウトガ スデータ	[1] EUV 照射方式によるアウトガス評価装置の開発完了	達成	[1]アウトガス評価装置を 8 インチウェハ対応に改良。評価時間を従来比(4 インチ仕様)で 1/4 に短縮でき

ベースの構築（兵庫県立大学への再委託）	[2]EUV 方式によるレジストアウトガス評価手法の確立	達成	た。 [2]コンタミ成長の再現性で 10%以下を確認。電子線方式との比較におけるコンタミ膜厚の補正方法確立。
	[3]アウトガスデータベースの構築	達成見込み 2014 年 3 月	[3]レジストファミリー化のデータベースを構築。電子線方式の同データベースと良好な相関が得られる見込み。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)－5 材料設計 (大阪大学への再委託)	[1]潜像と欠陥の関係の解明	達成	[1]独自に開発したシミュレーターを用いて推定したパターンの潜像から、ブリッジ欠陥やラインブレイク欠陥を消失させるのに必要な、平均保護基濃度と溶解しきい値の関係を明らかにした。
	[2]潜像ゆらぎと分子構造の関係の解明	達成	[2] EIDEC 標準レジストを用いて、レジスト中に形成される潜像と保護基数の揺らぎを推定可能にした。さらに、未露光のレジストの保護基数の揺らぎが潜像揺らぎに与える影響を明らかにした。
	[3]最適分子設計の解明	達成見込み 2014 年 3 月	[3]EIDEC 標準レジストの酸拡散長が、hp16nm における最適酸拡散長と同等であることを明らかにした。今後、分子サイズや保護基密度等の

			レジスト分子構造を確率論的観点から考察し、分子レベルでの設計指針を得る予定である。
--	--	--	---

研究開発項目②EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発

(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)-1 ABI 装置 基本設計 (レーザーテックとの共同実施) (1/3)	[1] 全体設計方針、フロアプラン策定	達成	[1]Selete での開発を踏襲し、感度とスループットの実現、パーティクル性能の向上、使い勝手やメンテナンス方法の改善、等に注力し、その設計を行った。
	[2] 光学系構想と必要機械精度	達成	[2-1]今後の上市される光源への変更に対し裕度のある設計を行った。真空チャンバやステージ等の構成を変更せずともこれら新規光源への交換が可能となる構成とした。
	[2-1]EUV 光源部設計完了	達成	[2-2]EUV マスクブランクの全面を45分で検査するための高速スキャンには光源の出力向上と光学系の効率向上により対応するものとし、光源メンテナンス性を確保する設計を実施した。
	[2-2]光学系構想／照明光学系の決定	達成	[2-3]Selete 踏襲した 26 倍のシュバルツシルト光学系を採用した。精度検討を行った結果、0.1 μm 以下の高
	[2-3]光学系構想／結像光学系の決定	達成	

	<p>[2-4]必要機械精度／光学系の安定支持構造</p> <p>[2-4-1]TDI センサー部支持構造の決定</p>	達成	<p>い解像性が得られることを確認した。</p> <p>[2-4-1]振動解析を行い、振動に対する目標達成の目途を得た。真空排気に伴う変形量を見積もり、性能に影響を与えない板厚の見積もりを行った。</p>
	<p>[2-4-2]シュバルツシルト光学系保持構造の決定</p>	達成	<p>[2-4-2]シュバルツシルト光学系の保持構造を振動解析により検討し、目標振動数を実現する保持機構が実現できることを確認した。</p>

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
<p>(1)－1 ABI 装置 基本設計 (レーザ ーテック との共同 実施) (2/3)</p>	<p>[3]機械設計</p> <p>[3-1]マスクステージシステム</p> <p>[3-1-1]XY 軸構成の決定</p> <p>[3-1-2]アクチュエータの選定 完了</p> <p>[3-1-3]ガイドの選定完了</p>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p>	<p>[3-1-1]ステージ駆動方式の検討をおこない、高位置精度が実現される駆動方式を採用するものとした。</p> <p>[3-1-2]発塵、冷却、および安定性を指標に比較検討を実施し、発熱対策に優れた駆動方式を採用した。</p> <p>[3-1-3]ステージ上面素サイズとの見合いからスキャン精度や位置精度を満足し、アウトガスの少ない軸受を</p>

	[3-1-4]エンコーダの決定	達成	採用した。 [3-1-4] 高位置精度を実現するための位置読み取り機構を採用した。
	[3-2]搬送系システム [3-2-1]マスクカセットの提案	達成	[3-2-1]RSP200、Dual Pod、および、MRPの3種類のマスクカセットを同一ポートで対応が可能となる搬送系を提案した。
	[3-2-2]高効率搬送設計完了	達成	[3-2-2]清浄度を維持するための低排気速度、低開放速度に対応し、搬送効率向上のために真空チャンバ内に次なる検査予定マスクを待機させる構成とした。
	[3-2-3]低発塵・低アウトガス 真空系設計完了	達成	[3-2-3]マスクの搬送のため低発塵技術と光学系汚染防止に低アウトガス技術として、真空搬送ロボット、ゲートバルブ類、Oリング等、入手できる最良部材を提案した。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)ー1 ABI 装置 基本設計 (レーザ ーテック との共同 実施)	[4]検出系設計 [4-1]検査時間の目標 45 分達 成	達成	[4-1]画像情報を欠陥検出回路でリアルタイムに欠陥判定する構成とし、往復スキャン方式を採用することにより 45 分/マスクの検査時間を達成する目処を得た。
(3/3)	[4-2]レビュー機能 2 種の設定 とシステム構成の提案	達成	[4-2]検査中に欠陥画像を自動的に取得する Instant レビュー機能と検査後に詳細に欠陥観察する Live レビュー機能に加えて、欠陥のより高精度な計測機能も備えたシステム構成とした。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(1)ー2 EUV 光 源・照明 光学系基 礎 検 討 (レーザ ーテック との共同 実施)	[1]光源評価装置設計、製作完了	達成	[1]EUV 光源の出力を定量的に評価するために、パワーを測るための EUV 光源出力評価装置を設計し製作した。
	[2]評価対象となる EUV 光源 諸元の評価完了	達成	[2]EUV 光源のパワーを同一条件で計測するために、光源評価装置を用いて、上市されている 3 種の光源の評価を行った。
	[3]EUV 光源評価結果による 最適光源の選定、導入	達成	[3]Energetiq 社製 EQ-10 改良型の光源の優位を確認した。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(2)-1 仕様検討	[1]電子ビーム写像投影光学系の限界性能解析と高解像度化設計の見積もりの妥当性確認	達成	[1]開発光学系のベースとなる現行機が hp100nm において設計値と同等な画像コントラスト(0.4)を有していることを画像評価により確認し、高解像度化設計による限界性能見積もりの妥当性を確認した。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(2)-2 EUV マスクパターン欠陥検査装置開発（荏原製作所との共同実施）	[1]高分解能写像投影方式電子ビーム光学系の基本設計完了	達成	[1]収差を 20%低減し高い電子エネルギー持つ電子を用いるための鏡筒の設計を完了した。また、光学系の単体性能評価を行うための評価冶具の設計を完了した。
	[2]高解像電子ビーム写像投影光学系の製作完了	達成	[2]設計に基づき構造を最適化した高圧基準管を有する光学系の製作を完了した。また、真空チャンバと電子ビーム計測センサーを含む計測冶具の製作を完了した。
	[3]性能評価と必要照明電流の設定	達成	[3] 高輝度電子線源の開発もあわせておこない、電子ビームでマスクを照明するために必要な照明電流が得られることを確認した。

(3) EUV レジスト材料基礎研究

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-1 レジスト パフォー マンスシ ミュレ ーション技 術 開 発 (NEDO から大阪 大学への 業 務 委 託)	[1]二次電子モデルの解像度 ボケの波長依存性の解明と分 子設計指針設定	達成	[1] モンテカルロシミュレーション により、二次電子による解像度ボケ、 量子収率の波長依存性を明らかに し、分子設計指針を得た。
	[2]逆解析プログラム高度化 と SFET 露光結果への適用で 微細化での問題点解明	達成	[2] 逆解析モデルにレジスト溶解点 のパターンサイズ依存性を考慮可能 とし、SFET 露光結果に適用し、微 細化に伴うレジスト溶解特性の劣化 を解明した。
	[3]アニオンバウンドレジス トのモデル化とプロセスパラ メーターとの関係の明確化	達成	[3] 酸アニオン固定型のレジスト中 における酸拡散をモデル化し、シミ ュレーションコードを作製し、レジ ストプロセスの露光量・解像度・ク エンチャー濃度・PEB 時間依存性を 明らかにした。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-2 レジスト 基本特性 仕様明確 化	[1]レジストプラットフォームによる現像挙動への影響の 違いの明確化	達成	[1]ヒドロキシスチレン(PHS)系、メ タクリル系及び PHS とメタクリル のハイブリッド系で、溶解挙動(特に 膨潤)が異なることを明らかにした。

	[2]レジスト膜厚を薄膜化した際の現像挙動への影響の確認	達成	[2]レジストを薄膜化することで、溶解のクラスターサイズが縮小し、LWR を低減できる可能性を示した。
	[3]現像過程、リンス過程および乾燥過程の評価とパターン形成への寄与の確認	達成	[3]レジストのパターン形成(形状の決定)には、現像過程だけでなく、リンス過程及び乾燥過程も寄与していることを明らかにした。

開発項目	当期目標	達成度	達成状況
(3)-3 アウトガス検出手法開発	[1]電子線照射方式によるレジストアウトガス測定方法の構築と EUV 光源との相関の確認	達成	[1] 電子線を光源としたアウトガス評価装置を導入、評価手法を確立し、EUV を光源としたコンタミ実験との比較において、良好な相関が得られた。

次に知財権の取得に関しては参加企業に出願依頼をし、特許出願を推進している。

表Ⅲ-1.2 に示すように現在までに

「出願済」15件、「登録」2件、「実施」0件（うち国際出願2件）

である。

表Ⅲ-1.2 特許出願件数

プログラム	出願番号	出願日	出願人	出願時(発明提案時)発明の名称	備考
BI	2011-227138	2011/10/14	<u>大日本印刷(株)</u>	反射型マスクの欠陥修正方法および製造方法	共同研究
BI	2012-59421	2012/03/15	(株)東芝、 大日本印刷(株)	マスク基板の欠陥検査方法及び欠陥検査装置、フォトマスクの製造方法及び半導体装置の製造方法	共同研究
BI	2012-60832	2012/03/16	(株)東芝、 大日本印刷(株)	最適撮像位置検出方法、最適撮像位置検出装置、フォトマスクの製造方法及び半導体装置の製造方法	共同研究
BI	2012-239460	2012/10/30	<u>大日本印刷(株)</u>	反射型マスクの製造方法およびマスクブランクの製造方法	共同研究
BI	2012-242810	2012/11/02	<u>大日本印刷(株)</u> 、 旭硝子(株)	パターンの製造方法および半導体装置の製造方法	共同研究
BI	2011-219756	2011/10/04	<u>レーザーテック(株)</u>	EUV マスク検査装置及びEUV マスク検査方法	業務委託
BI	2011-253135	2011/11/18	<u>レーザーテック(株)</u>	アライメント方法、及びマスクの製造方法	共同研究
BI	2012-052555	2012/03/09	<u>レーザーテック(株)</u>	プラズマシールド装置及びプラズマ光源装置	共同研究
BI	2012-057168	2012/03/14	<u>レーザーテック(株)</u>	欠陥座標測定装置、欠陥座標測定方法、マスクの製造方法、及び基準マスク	共同研究
BI	2012-088360	2012/04/09	<u>レーザーテック(株)</u>	EUV マスク検査装置	共同研究
BI	2012-093296	2012/04/16	<u>レーザーテック(株)</u>	EUV マスクブランクス、マスクの製造方法、及びアライメント方法	共同研究
BI	2013-025809	2013/02/13	<u>レーザーテック(株)</u>	検査装置、及び検査方法	共同研究
BI	2013-111476	2013/05/28	<u>レーザーテック(株)</u>	光学装置、フィルタ、及びその製造方法	共同研究
BI	2013-117742	2013/06/04	<u>レーザーテック(株)</u>	フォーカス制御方法、及び光学装置	共同研究
PI	2013-069941	2013/03/28	(株)荏原製作所	電子線検査装置	共同研究

学会・論文発表については、表Ⅲ-1.3 に示すように研究開発成果の積極的な発表を推進し、現在までに 118 件の発表を実施している。

表Ⅲ-1.3 学会・論文発表件数

2011 年度

Date (発表日)	Meeting title (発表先)	Presentation title (タイトル)	Presenter (発表者)
10/17/2011	2011 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	EUV mask pattern inspection using EB projection optics	Tsuyoshi Amano
10/17/2011	2011 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Phase defect detection and analysis using actinic blank inspection tool and TEM	Tsuyoshi Amano
7/7/2011	Hama Tech Japan Seminar 2011	EIDEC's EUVL Program- A new consortium launched in Japan-	Hidehiro Watanabe
2/12/2012	SPIE Advanced Lithography: Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography	Phase Defect Mitigation Strategy: Study of Fiducial Mark requirements on EUVL Mask	Tetsunori Murachi Tsuyoshi Amano Sunghyun Oh
2/12/2012	SPIE Advanced Lithography 2012	Impact of the phase defect structure on an actinic dark-field blank inspection signal and wafer printability	Tsuyoshi Amano
2/12/2012	SPIE Advanced Lithography 2012	Study of actinic dark-field inspection with programmed amplitude defects	Noriaki Takagi Takeshi Yamane Tsuneo Terasawa
2/12/2012	SPIE Advanced Lithography 2012	Phase defect printability analyses depending on defect type and exposure condition	Tsuneo Terasawa Takeshi Yamane Yukiyasu Arisawa Hidehiro Watanabe

3/1/2012	会誌「光学」第 41 卷 第 3 号 Newsletter "KOGAKU" vol.41, No.3	At wavelength inspection of 6-inch EUVL mask blank	Tsuneo Terasawa Takeshi Yamane
11/11/2011	第 38 回ナガセマイク ロエレクトロニクス セミナー 38th Nagase Microelectronics Seminar	つくば国際コンソーシアム発の 基盤技術 Infrastructure Technology Development from International Consortia in Tsukuba	Hidehiro Watanabe

2012 年度

Date (発表日)	Meeting title (発表先)	Presentation title (タイトル)	Presenter (発表者)
4/19/2012	Photomask Japan 2012 Symposium on Photomask and NGL Mask Technology XIX	Phase Defect Mitigation Strategy: Fiducial Mark requirements on EUVL Mask	Tetsunori Murachi Tsuyoshi Amano Sunghyun Oh
4/27/2012	先端技術セミナー 2012	μ CSM による位相欠陥評価 (1)	Youichi Usui
4/27/2012	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 EUVL 産業利用報告会	高出力 EUV 光および電子線を用いたレジストアウトガスの評価	Toshiya Takahashi Norihiko Sugie Kazuhiro Katayama Isamu Takagi Sachiko Kikuchi Eishi Shiobara
6/13/2012	SEMI Forum Japan	EUV レジスト全般の開発状況報告	Toshiro Itani
5/23/2012	SEMI Forum Japan	極端紫外線リソグラフィ技術開発の現状と今後の展望	Takeo Watanabe Tetsuo Harada Hiroo Kinoshita
6/4/2012	EUVL Workshop 2012	Parsistent Efforts to Overcome the Challenge of EUVL	Soichi Inoue
6/7/2012	2012 International Worsshop on EUVL	Development of the Novel Evaluation Tool with an In-situ Ellipsometer of the Thickness Measurement of the Contamination Originated by the High Power EUV Irradiation on EUV Resist	Takeo Watanabe
9/11/2012	2012 年秋季 第 73 回応用物理学会学 術講演会	In situ Observation of Photoresist Dissolution 4	Toshiro Itani Julius Joseph Santillan

9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Fiducial Mark requirements from the viewpoints of EUV Actinic Blank Inspection tool for phase defect mitigation	Tetsunori Murachi Tsuyoshi Amano Sunghyun Oh
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	EUV resist material development at EIDEC	Norihiko Sugie Toshiya Takahashi Toshiro Itani
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	EUV Resist Process Development at EIDEC	Eishi Shiobara
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	In situ characterization of the resist process effect on EUV resist patterning	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Basic performance evaluation of novel Projection Electron Microscopy (PEM) system for EUV mask pattern inspection	Ryoichi Hirano
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	The impact of EUV mask residual-type defect thickness on wafer printability	Tsuyoshi Amano
8/1/2012	Advance Optical Technologies (AOT)	Development of core technologies on EUV mask and resist for sub-20 nm half pitch generation	Soichi Inoue, Takeshi Yamane Tsuyoshi Amano, Toshiro Itani

			Hidehiro Watanabe,Ichiro Mori
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Status of phase defect printability studies in EIDEC	Tsuneo Terasawa Tsuyoshi Amano, Oh Sunghyun, Yukiyasu Arisawa Takeshi Yamane Hidehiro Watanabe
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Study of Contamination due to EUV Resist Outgassing	Isamu Takagi,Toshiya Takahashi, Norihiro Sugie,Takeo Watanabe,Tetsuo Harada,Hiroo Kinoshita,Kazuhi ro Katayama,Yukiko Kikuchi, Eishi Shiobara
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	The Characterization of the Witness Sample Testing for the Outgassing Qualification of EUV Resists	Yukiko Kikuchi,Toshiya Takahashi, Norihiro Sugie,Takeo Watanabe,Tetsuo Harada,Hiroo Kinoshita,Kazuhi ro Katayama, Eishi shiobara.Hiroyuki Tanaka,Soichi Inoue

7/19/2012	次世代リソグラフィワークショップ 2012	Novel Programmed Defect Mask Blanks for ML Defect	Noriaki Takagi, Kazuaki Matsui
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Projection electron microscope image for EUV Mask with various types of defects using Monte Carlo simulation	Susumu Iida
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Particle contamination on an EUVL blank during actinic inspection	Oh Sunghyun, Takeshi Yamane, Noriaki Takagi, Tsuneo Terasawa, Hidehiro Watanabe
9/30/2012	2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Analysis of Stochastic Effect in Line-and-Space Patterns Fabricated by Extreme Ultraviolet Lithography	Takahiro Kozawa Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
6/20/2012	Electron Beam Monte Carlo Simulation Workshop and User Meeting Group	Investigation of Projection Electron Microscope image for EUV Mask by using CHARIOT with 72 cores	Susumu Iida
10/15/2012	ISSM 2012 TOKYO	EUV Resist Material and Process Development at EIDEC	Eishi Shiobara
10/14/2012	ISSM	EUVL resist pattern formation: an in situ analysis using HS-AFM	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
10/30/2012	MNC2012	Phase Defect Printability Prediction Using EUV Microscope Technique	Tsuneo Terasawa, Tsuyoshi Amano, Osamu Suga, Yukiyasu

			Arisawa, Takeshi Yamane, Hidehiro Watanabe, Mitsunori Toyoda
7/9/2012	EUV Mask Blank Fiducial Mark TF/Technical Workgroup meeting at SEMICON WEST SEMI Standard Meetings	FM recommendation & learning needed areas from MIRAI EUV ABI tool	Tetsunori Murachi
9/19/2012	61th Symposium on Macromolecules	Present status of EUV resist development	Norihiko Sugie
10/30/2012	MNC2012	An in situ analysis of the dissolution characteristics of half pitch line and space EUV resist patterns	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
7/13/2012	IEUVI Meeting #36	EIDEC Update on Resist Outgassing	Toshiya Takahashi, Norihiko Sugie, Eishi shiohara, Soichi Inoue, Ichiro Mori
7/20/2012	NGL 2012	Current Status of EUVL Technology Development in EIDEC	Soichi Inoue, Ichiro Mori
11/1/2012	Journal of vacuum science and technology B	Identification of residual-type defect on EUV mask by projection electron microscope using Monte Carlo simulation	Susumu Iida

11/1/2012	Journal of vacuum science and technology B	Residual-type mask defect printability for EUV lithography	Tsuyoshi Amano
11/1/2012	Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS	Impact of the phase defect structure on an actinic dark-field blank inspection signal and wafer printability	Tsuyoshi Amano
9/6/2012	Spring-8 産業利用報告会	アンジュレーター光を用いた EUV レジストのアウトガス評価	Kazuhiro Katayama, Toshiya Takahashi, Norihiko Sugie, Isamu Takagi, Yukiko Kikuchi, Eishi shiobara, Hiroyuki Tanaka, Soichi Inoue, Takeo Watanabe, Tetsuo Harada, Hiroo Kinoshita
2/24/2013	SPIE Advanced Lithography: Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography	Location accuracy improvement of Fiducial Mask on EUVL Mask with MIRAI EUV ABI tool	Tetsunori Murachi Tsuyoshi Amano
9/30/2012	IEUVI Mask TWG	Fiducial Mark requirements form the viewpoints of EUV Actinic Blank Inspection tool for phase defect mitigation on EUVL Mask	Tetsunori Murachi Tsuyoshi Amano Sunghyun Oh
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Evaluation of Novel Projection Electron Microscopy(PEM)	Ryoichi Hirano

		optics for EUV mask inspection	
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Effect of phase defect shape for ABI intensity and patterned CD with simulation	Noriaki Takagi
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Impact of the phase defect structure on wafer printability and an actinic dark-field blank inspection signal	Tsuyoshi Amano
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Study of simulated projection electron microscope images of defects on EUV Mask	Susumu Iida
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Experimental phase defect printability evaluation using a programmed phase defect in EUVL mask	Tsuneo Terasawa, Tsuyoshi Amano, Oh Sunghyun, Takeshi Yamane, Hidehiro Watanabe
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Simulation study of EUV outgassing spatial distribution toward witness plate in the optics contamination evaluation system	Yukiko Kikuchi, Hiroyuki Tanaka, Toshiya Takahashi, Norihiro Sugie, Kazuhiro Katayama, Isamu Takagi, Eishi shiobara, Soichi Inoue
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Resist outgassing characterization based on the resist compositions and process	Norihiko Sugie, Toshiya Takahashi, Kazuhiro Katayama, Isamu Takagi, Yukiko Kikuchi,

			Hiroyuki Tanaka, Eishi Shiobara, Soichi Inoue
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Study of LWR Reduction and Pattern Collapse Suppression for 16 nm node EUV Resists	Eishi Shiobara
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Process Development of the EUVL Negative Tone Imaging at EIDEC	Toshiya Takahashi, Ryuji Onishi, Toshiro Itani
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	In situ dissolution analysis of half-pitch line and space patterns at various resist platforms using high speed atomic force microscopy	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Relationship between Stochastic Effect and Resist Pattern Defect in Extreme Ultraviolet Lithography	Takahiro Kozawa Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	Impact of EUV mask roughness on lithography performance	Yukiyasu Arisawa, Tsuneo Terasawa, Hidehiro Watanabe
2/24/2013	2013 Advanced Lithography	EUV Actinic Blank Inspection: from Prototype to Production	Kiwamu Takehisa, Hiroki Miyai, Tomohiro Suzuki, Haruhiko Kusunose, Anna Tchikoulaeva, Takeshi Yamane, Tsuneo Terasawa, Hidehiro Watanabe, Soichi Inoue, Ichiro Mori

11/1/2012	MNC2012	Current progress of advanced EUVL development in EIDEC	Soichi Inoue, Hidehiro Watanabe, Toshiro Itani, Ichiro Mori
12/4/2012	次世代リソグラフィ技術研究会 定例会	EUVL Symposium2012 参加報告ーマスク (検査・リペア) 技術	Tsuneo Terasawa
3/27/2013	2013年 春季 第60回応用物理学会 春季学術講演会	In situ Observation of Photoresist Dissolution 5	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
1/16/2013	TECHNICAL MEETING ON SILICON PHOTONICS	EUV lithographic technology: present status and future trends	Toshiro Itani
3/27/2013	応用物理学会 2013 春季講演会	EUV マスクの欠陥特性評価のためのマイクロコヒーレントスキャトロメトリー顕微鏡の開発	Yusuke Tanaka
3/22/2013	日本化学会第 93 春季年会(2013)	EUV Resist Technology	Toshiro Itani
3/22/2013	日本化学会第 93 春季年会(2013)	Stochastic effect of extreme ultraviolet lithography and material design	Takahiro Kozawa Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
3/15/2013	先端技術セミナー 2013	New SUBARU の高輝度放射光を用いた EUV リソグラフィの基盤研究	Eishi Shiobara
2/24/2013	IEUVI Resist TWG in SanJose	EIDEC Outgas Testing Update	Toshiya Takahashi,Eishi Shiobara,Norihiko Sugie,Sachiko Kikuchi,Isamu Takagi,Kazuhiro Katayama,Hiroyuki Tanaka,Soichi Inoue

2/27/2013	電子・情報技術分野 技術ロードマップ 2013	電子・情報技術分野 技術ロード マップ 2013 リソグラフィ	Soichi Inoue
3/7/2013	NGL 技術研究会定 例会	EUV マスクの欠陥検査技術	Hidehiro Watanabe
3/7/2013	ナノテストニング 学会 平成 24 年度 第 1 回先端計測技 術研究会	Electron image simulation for development of PEM technique	Susumu Iida

2013 年度

Date (発表日)	Meeting title (発表先)	Presentation title (タイトル)	Presenter (発表者)
4/1/2013	Journal of Micro/Nanolitho graphy, MEMS, and MOEMS	Development of EUV mask pattern inspection technology using projection EB optics	Ryoichi Hirano
4/16/2013	PMJ2013	Pattern inspection performance of novel Projection Electron Microscopy(PEM) on EUV masks	Ryoichi Hirano
4/16/2013	PMJ2013	Novel Projection Electron Microscopy(PEM) Optics for EUV Mask Inspection and their Basic Performance Evaluation	Masahiro Hatakeyama
4/16/2013	PMJ2013	Background level analysis on an actinic inspection image of EUVL mask blank	Takeshi Yamane, Myoungso o Lee, Tsuneo Terasawa
5/28/2013	57th International Conference on Electron, Iron, and Photon Beam Technology and Nanofabrication(EIPBN)	Unveiling success rate of defect mitigation by experiment with EUV Actinic Blank Inspection Prototype for 16 nm hp	Tetsunori Murachi, Tsuyoshi Amano, Hiroki Miyai(Lasertec)
4/16/2013	Photomask Japan 2013	Exploring probability of shallow ML defect impact to defect assurance	Kazuaki.Matusi(To ppan printing), Noriaki.T akagi
5/28/2013	The 57th International conference on EIPBN	Influence of EUV mask structure on electron trajectories using Monte Carlo simulation	Susumu Iida

5/28/2013	THE 57TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRON,ION, AND PHOTONBEAM TECHNOLOGY AND NANOFABRICA TION	An in situ analysis of negative tone development EUV resist dissolution characteristics	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani
5/28/2013	EIPBN2013	Phase Defect Characterization on an EUV Blank Mask using Micro Coherent EUV Scatterometry Microscope	T.Harada
2013/4/19 頃	Applied Phisics Express(APEX)	Observation of Residual-Type Thin absorber Defect on EUVL Mask Using EUV Microscope	Tsuyoshi Amano
5/22/2013	SEMI Forum Japan 2013	EUV リソグラフィーにおけるレジ スト開発	Eishi Shiobara
9/10/2013	2013 ISPIE Photomask Technology	EUV patterned mask inspection using projection electron microscope	Hidehiro Watanabe
9/10/2013	SPIE 2013 Photomask Technology	Development of Inspection System for EUV mask with Novel Projection Electron Microscopy(PEM)	Masahiro Hatakeyama
6/25/2013	The 30th International Conference of Photopolymer Science and Technology	In situ analysis of the EUV resist pattern formation during the resist dissolution process	Julius Joseph Santillan Toshiro Itani

6/10/2013	2013 international Workshop on EUVL	Stochastic Effects in Chemically Amplified Resists for Extreme Ultraviolet Lithography	Takahiro Kozawa, Julius Joseph Santillan, Toshiro Itani
5/31/2013	Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS	Propagation of surface topography of extreme ultraviolet blank substrate through multilayer and impact of phase defect structure on wafer image	Tsuyoshi Amano
5/31/2013	Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS	Study on extreme ultraviolet mask defect inspection with hp16nm node using simulated projection electron microscope images	Susumu Iida
9/16/2013	2013 JSAP-MRS joint Symposia	High Speed Atomic Force Microscopy and the real-time visualization of nanoscale resist pattern formation during the dissolution process	Toshiro Itani, Julius Joseph Santillan
9/10/2013	Photomask technology 2013	Extreme ultraviolet mask defect observation using an extreme ultraviolet microscope	Tsuyoshi Amano
6/28/2013	30th international Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-30)	Comparison of resist family outgassing characterization between EUV and EB	Isamu Takagi, Toshiya Takahashi, Norihiko Sugie, Takeo Watanabe, Tetsuo Harada, Hiroo Kinoshita, Kazuhiko Katayama, Yukiko Kikuchi, Eishi Shiobara, Hiroyuki Tanaka, Soichi Inoue

10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Current status of EUV patterned mask inspection tool for hp16nm and beyond	Ryoichi Hirano
9/16/2013	2013年 第74 回応用物理学会 秋季学術講演会	In situ Observation of Photoresist Dissolution 6	Julius Joseph Santillan,Toshiro Itani
10/6/2013	International symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Defect location accuracy improvement with EUV Actinic Blank Inspection Prototype for 16 nm hp	Tetsunori Murachi,Tsuyoshi Amano,Tomohiro Suzuki(Lesertec),H iroki Miyai(Lesertec)
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Accuracy verification of phase defect printability prediction with various defect shape models	Tsuneo Terasawa,Yukiyasu Arisawa,Tsuyoshi Amano,Noriaki Takagi,Takeshi Yamane,Hidehiro Watanabe
10/7/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Effect of phase defect characteristics on ABI signal intensity	Noriaki Takagi
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Understanding for defect size fluctuation in actinic inspection tool	Myoungsoo Lee,Takeshi Yamane,Kenji Sakamoto,Tsuneo Terasawa

10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Resist outgassing characterization of PAG blend and PAG bound systems	Kazuhiro Katayama, Toshiya Takahashi, Norihiko Sugie, Isamu Takagi Yukiko Kikuchi, Eishi Shiobara, Hiroyuki Tanaka, Soichi Inoue, Takeo Watanabe, Tetsuo Harada, Hiroo Kinoshita
10/6/2013	2013 EUVL International Symposium	Study on EUV mask defect inspection with hp16nm and 11 nm node using simulated projection electron	Susumu Iida
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Development of new Inspection System with Novel PEM and its Basic Performance Evaluation for EUV Mask	Masahiro Hatakeyama
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Stochastic Effects in Resist Processes of Extreme Ultraviolet Lithography	Takahiro Kozawa, Toshiro Itani, Julius Joseph Santillan
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Positive and Negative-tone development resists ; Pattern formation characterization during resist dissolution	Julius Joseph Santillan, Motoharu Shichiri, Toshiro Itani
2013年11月頃	会誌「高分子」2013年11月号特	Visual characterization of nano-sized photoresist pattern	Toshiro Itani

	集	formation	
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	EUV Resist Material and Process Development at EIDEC	Eishi Shiobara
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Cleanability of non- carbon outgas contaminants using hydrogen radical cleaning	Toshiya Takahashi, Kazuhir o Katayama, Isamu Takagi, Norihiko Sugie, Yukiko Kikuchi, Eishi Shiobara, Hiroyuki Tanaka, Soichi Inoue
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Inhomogeneity of resist film simulated by Molecular dynamics	Minoru Toriumi, Toshiro Itani
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Correlation depth analysis of surface roughness by actinic blank inspection	Takeshi Yamane, Tsuneo Terasawa
10/6/2013	2013 EUVL International Symposium	Blank Inspection technology development at EIDEC	Hidehiro Watanabe

9/30/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	Study of the relation between Resist components and outgassing contamination species	Yukiko Kikuchi, Toshiya Takahashi, Norihiko Sugie, Kazuhiro Katayama, Isamu Takagi, Eishi Shiobara, Hiroyuki Tanaka, Soichi Inoue, Takeo Watanabe, Tetsuo Harada, Hiroo Kinoshita
10/6/2013	2013 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography	The effect of EUV resist material composition on RLS trade-off	Norihiko Sugie, Eishi Shiobara, Toshiro Itani

「査読付き」 60 件、 「その他」 58 件

IV 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

半導体微細化の目的は低コスト化、低消費電力化、高性能化である。EUVL は hp16nm 以下の微細化技術の主流であり、他の技術(Double Patterning、DSA、ML2)との融合で更なる微細化も見込むことができる。

2013年上期から量産用 EUV 露光機(NXE:3300B ASML 社)の出荷が始まり、半導体市場において EUV 露光機を用いた量産の準備が整いつつある。EUVL の実用化を阻んでいる最大の要因は光源開発の遅れであるが、SPIE 2013(2月開催)で、光源の確実な進展が見られ、ようやく初期量産への道のりが見え始めた。2013年内にフィールドレベルにて 50W-80Wレベルが見えてきており、目標の 250W に対しては、レーザー高出力化、周波数 UP などの施策が必要である。

本格的に EUV 露光機を用いた半導体デバイス生産が開始されるのは、2015～2016年と予測される。適用デバイスは 10nm Logic と 1Xnm DRAM の見込みである。hp16nm 世代が 2017年以降、hp11nm 世代が 2020年以降と考えられており、EIDEC 各参加企業もそれに向けて準備を進めている。EIDEC の成果を実用化・事業化についての基本的考え方は、まず EIDEC プロジェクトに参加している企業とプロジェクト期間内より連携できる体制として早期の実用化を推進することとしている。このために、参加企業と定期的な技術会議を開催し、報告書を提出している。

□成果移転の基本的考え方

- ・EIDEC 参加企業への成果移管や技術移管などを通じて実施する。
- ・ブランク検査装置は、プロジェクト期間内に参加企業と連携し、実用化する。

□参加企業との定期技術会議開催

- ・3ヶ月ごとにプログラムコミッティーを開催し、
参加企業のプログラム委員に最新の開発状況を報告
参加企業と各プログラム開発方針に対する討議
- ・共同実施先との連携

□参加企業に対して、定期的に報告書を提出

- ・マンスリーレポート、クォーターリーレポートを提出

□参加企業に対して、毎年成果報告会を開催

- ・最新成果を EIDEC シンポジウムで報告

2011～2013 年度の phase1 においては、hp16nm 対応ブランク検査装置量産機が完成した。
2014 年度は共同実施先において量産機が製作され、2015 年度には量産適用される。

hp16nm 対応マスクパターン検査装置量産機は 2013 年度に性能が確認され、2014～2015 年
度に信頼性・安定性を改善した後、2016 年度に量産適用される。

hp16nm 対応レジストは phase1 でレジストメーカーでサンプルが試作され、2014～2015 年度の
phase2 において、実用化が検討され、2016 年度以降に事業化が検討される。

2014～2015 年度の phase2 の hp11nm 以細対応では、ブランク欠陥検査装置が開発され
2016 年度以降に量産適用される。hp11nm 以細対応レジストは phase2 でサンプル試作が実施さ
れ、2016 年度以降にレジストメーカーにおいて実用化試作が実施される。

2011～2013 年度 phase1

マスク	BI	hp16nm 量産機完成
	PI	hp16nm 対応性能確認
レジスト		hp16nm サンプル試作



2014～2015 年度 phase2

マスク	BI	hp16nm 量産機製作、量産適用 (ブランクメーカー)
		hp11nm 対応機開発
	PI	hp16nm 対応機信頼性、安定性向上
レジスト		hp16nm 実用化検討、hp11nm サンプル試作



2016～2018 年度

マスク	BI	hp16nm 量産機量産適用 (デバイス、マスクメーカー)
		hp11nm 対応機量産適用
	PI	hp16nm 対応機量産適用
レジスト		hp16nm 事業化検討、hp11nm 実用化試作

(I T イノベーションプログラム)

「次世代半導体微細加工・評価基盤技術の開発(超低電力デバイスプロジェクト)」
基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

我が国経済を支える先端産業である、情報家電、コンピュータ、通信装置、自動車、医療機器などの競争力強化に不可欠な基盤技術は、半導体LSIの微細化技術である。これまで、微細化技術の進展による半導体LSIの集積度は、3年で4倍という急速な速度で推移してきており、2010年には、技術世代h p 45nm (*1) の製品が量産され始めている。今後も、情報家電やロボットなどのシステムに求められる高集積化・低コスト化および低電力化を同時に実現するためには、更なる微細化が必要であり、引き続き重要な技術課題である。

以上のことから、本プロジェクトは、我が国の半導体関連産業（デバイス、マスク、装置及び材料）の国際競争力強化のため、極低電力LSIの実現に不可欠な半導体構造の微細化に対応できる半導体デバイスプロセス基盤技術を確立することを目的として「ITイノベーションプログラム」の一環として実施する。

②我が国の状況

我が国の半導体LSIの微細化技術開発は、民間によるあすかプロジェクトと国によるMIRA Iプロジェクトを中心に、産学官連携による技術研究組合等のコンソーシアム等の下で、h p 32nmを実現するための基盤技術開発が2010年度まで進められた。この間に半導体ビジネス・技術開発のパラダイム変化が生じ、最先端プロセスを指向するデバイス企業は減少するものの、装置・材料等の関連産業においては未だ強みを維持している。

③世界の取り組み状況

近年、h p 22nm以細に向けた次世代半導体開発のために、海外では産学官連携の下

(*1) LSIの配線層のピッチで最小のもの1/2をハーフピッチ（以下、「h p」という。）と呼び、国際半導体技術ロードマップ（以下、「ITRS」という。）によればDRAMなどの第一層金属配線（ビット線）のピッチの1/2で示している。ここではDRAMのh pを半導体LSI技術レベルの指標として用いる。

で、ITRS（*2）で示されている技術課題の解決に向け、欧州のIMECや米国のSEMATECHといった様々なコンソーシアムやアライアンスを中心に、各々年間平均研究予算50～70億円規模で精力的な取り組みがなされ、世界の関連企業を取り込んだグローバルな開発が行われている。

④本事業のねらい

これまで微細化を推進してきた光リソグラフィについては、hp22nm以細の技術領域では、波長193nmのエキシマレーザー光源による液浸露光やダブルパターンングといった従来の微細化手法が技術的にもコスト的にも限界に達すると予測されており、これに代わる新たなリソグラフィ技術の開発が求められている。

波長13.5nmの極端紫外光（Extreme Ultra Violet、以下、「EUV」という。）を用いるEUVリソグラフィは、マスクパターンの光学的縮小投影方式であり、露光波長がエキシマレーザーの1/10以下であるためhp22nm以細の技術領域に適用可能であること等から、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている。これまで、国内外でコンソーシアム、企業、大学等の連携による強力な取り組みが進められており、その結果、EUV光源や光学系等の要素技術の開発は大きく進展し、2010年には量産前のプロセス評価用露光機が出荷される予定となっている。しかしながら、マスク技術と関連検査技術、レジスト材料等においては、まだ解決すべき課題が多く残されている。特に、高精度・低欠陥マスクの実現には、マスク基板、マスクパターン等での欠陥低減がhp22nm以細ではさらに技術的難易度の高い開発となるとともに、高解像、低LWR（Line Width Roughness）、高感度、および低アウトガスを満たすレジスト材料の実現には、材料開発のみならず評価技術開発においても解決すべき大きな技術的障壁がある。

そこで、本プロジェクトでは、上記技術的障壁を解決できる半導体デバイスプロセス基盤技術を確立することを目的とする。

なお、当該研究開発事業は、産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されていることを条件とし、また、海外コンソーシアム等との協調を図りながら実施する。

（2）研究開発の目標

過去の取り組みとその評価

平成18年度から22年度まで実施中の「次世代半導体材料・プロセス基盤（MIRAI）プロジェクト／次世代マスク基盤技術開発」により、平成20年度までに世界最高性能である線幅26nmの孤立・密集パターンの同時形成、マスクブランク内の高さ1.5nm、大きさ60nmの欠陥を走査検出可能な新原理欠陥検出法の開発、汚染物質に関わ

（*2）最新のITRSは2010年版

る多くの知見とそのクリーニング方法、搬送方法など、プロジェクト最終目標である h p 3 2 n m に対応した E U V マスク技術に関し多くの目覚しい研究開発成果が得られた。平成 2 0 年度に実施した中間評価では、全体として十分な成果が認められた上で、h p 2 2 n m への適応可能性も含めて今後の研究開発を実施すべきとの提言を受けた。

②本事業の目標

本事業では、E U V マスクブランク（多層膜を積層したマスク基板）やマスクパターン（ブランク表面上の E U V 光の吸収層パターン）の欠陥検査・評価・同定技術、およびレジスト材料の露光性能やアウトガスを含めた材料開発や評価技術など、h p 2 0 n m 以細に対応可能な技術の基盤を確立する。

本事業以外に必要とされる取り組み

標準化や普及活動等、本研究開発事業に関連して必要とされる取り組みを行う。

④全体としてのアウトカム目標

これらの取り組みにより、国内マスクメーカー、レジストメーカー、検査装置メーカーにおける E U V 関連の新製品が、現行の従来露光関連製品の世界シェア（*3）を超えることを目指す。同様に国内デバイスメーカーにおけるメモリなどのデバイスの世界シェア（*4）が現状を超えることを目指す。

2 0 2 0 年での市場規模については、半導体の世界市場は 4 7 3, 0 2 4 百万米国ドルに達し、マスクは 4, 1 8 9 百万米国ドル、レジストは 2, 3 1 8 百万米国ドル、検査装置は 2, 2 8 7 百万米国ドルに達すると予想される。

省エネルギー効果については、半導体 L S I の微細化に伴う省電力化が進むことにより、2 0 2 0 年において C O₂ 換算で 4 4 百万 t / 年となる。

（3）研究開発内容

上記目標を達成するために、本研究開発においては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、下記に示す通り研究開発項目を分け、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

研究開発項目 E U V マスク検査・レジスト材料技術開発

[共同研究事業（N E D O 負担率：1 / 2）]

(*3) 国内マスクメーカー合計：4 6 %（上位 3 社 2 0 0 8 年時）
国内レジストメーカー合計：7 1. 6 %（上位 4 社 2 0 0 7 年時）
国内検査装置メーカー合計：2 6 %（2 0 0 9 年時）

(*4) N A N D フラッシュメモリ：3 4. 2 %（2 0 0 9 年時）

研究開発項目②EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発

[委託事業]

本研究開発項目は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）が、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託または共同研究により実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDOが委託先決定後に委嘱する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダーとともに事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成22年度から平成27年度までの6年間とする。ただし、この期間内において、研究開発項目毎に研究開発期間を設定する。研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」については、平成23年度から平成27年度までの5年間とする。研究開発項目「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、平成22年度から平成23年度までの2年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的および政策的観点から見た技術開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成25年度、事後評価を平成28年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえて必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況などに応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDOおよび実施者が協力して普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準案の提案等を積極的に行う。

知的所有権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的所有権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先及び共同研究先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するために、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号に基づき実施する。

(4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、研究開発を加速し、円滑な技術移転を促進する。

なお、研究開発項目②「EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、平成23年度末に外部有識者からなる委員会を開催し、別紙の研究開発計画「3. 達成目標」に照らして達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、平成24年度以降は研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成22年12月、制定
- (2) 平成25年2月、改定

(別紙) 研究開発計画 (案)

研究開発項目 EUVマスク検査・レジスト材料技術開発

1. 研究開発の必要性

h p 2 0 n m以細のリソグラフィは、EUV光源を用いるEUVリソグラフィ技術が最有力候補であり、反射型の光学系、EUVマスクが必要になる。特にEUVマスクの検査関連技術開発並びにレジスト材料基盤技術開発は、h p 2 0 n m以細において新規開発が必要となる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) EUVマスクブランク欠陥検査技術開発

EUVマスクブランク欠陥検査(以下、「BI」という。)装置の高感度化・高度化開発による欠陥検出効率と、スループットの向上を進める。また、ブランク欠陥のウェーハへの転写性を高精度で評価し、欠陥サイズ等を精度良く評価する手法を開発する。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

EUVマスクパターン欠陥検査(以下、「PI」という。)装置の低ノイズ化・高感度化、及び高スループット化開発を進める。また、パターン欠陥のウェーハ転写性を高速、高精度に評価可能な手法を開発する。

(3) EUVレジスト材料技術開発

EUVレジスト材料開発を進め、解像度、LWR、感度、アウトガスの観点で優れた特性を持つレジスト材料を開発する。またEUV露光時にEUVレジスト材料から発生するアウトガスの材質や量等について高精度測定方法を確立する。

3. 達成目標

【中間目標】

平成25年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUVマスクブランク欠陥検査技術開発

h p 1 6 n m微細加工技術に対応するEUVマスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUVマスクBI装置において6インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能なEUVマスクBI基盤技術を確立する。また、h p 1 1 n mに対応するBI技術における課題を明確にする。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

h p 1 6 n m微細加工技術に対応するEUVマスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUVマスクP I装置において6インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能なEUVマスクP I基盤技術を確立する。また、h p 1 1 n mに対応するP I技術における課題を明確にする。

(3) EUVレジスト材料技術開発

解像度h p 1 6 n mのレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、h p 1 1 n mに対応するレジスト材料における課題を明確にする。

【最終目標】

平成27年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUVマスクブランク欠陥検査技術開発

h p 1 1 n m微細加工技術に対応するEUVマスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUVマスクB I装置において6インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能なEUVマスクB I基盤技術を確立する。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

h p 1 1 n m微細加工技術に対応するEUVマスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUVマスクP I装置において6インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能なEUVマスクP I基盤技術を確立する。

(3) EUVレジスト材料技術開発

解像度h p 1 1 n mのレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、開発したEUVレジストをベースに他のレジスト材料を組み合わせることにより、h p 1 1 n m以細のレジスト技術を実現する。

研究開発項目②EUVマスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発

1. 研究開発の必要性

本プロジェクトで取り組むh p 2 0 n m以細のEUVマスクの検査関連技術開発並びにレジスト材料基盤技術開発において、B I 装置開発、P I 装置開発、レジスト材料基礎研究は、特に重要な技術課題であり、挑戦的でリスクの高い研究開発であるため、産学官が連携して互いのノウハウ等を持ちより協調して研究開発を実施する必要がある。また、特にB I 装置開発とP I 装置開発は、試験・評価方法ならびに基準・プラットフォームの提案に関する研究開発であり「公共財の研究開発」の性質が高い。以上のことから、本研究開発項目ではこれらの3項目を取り上げて研究開発を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) EUVマスクブランク欠陥検査装置開発

EUVマスクB I 装置において、高感度、低ノイズ化、高スループットを実現するための要素技術を開発する。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査装置開発

EUVマスクP I 装置において、高感度、低ノイズ化、高スループットを実現するための要素技術を開発する。

(3) EUVレジスト材料基礎研究

EUVレジスト材料の反応機構の解明、レジスト材料やレジストパターン等に関する新規計測・評価技術などについての基礎的研究を実施する。

本研究開発項目では、平成23年度末に外部有識者からなる委員会を開催し、後述の達成目標に照らして達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、平成24年度以降は前述の研究開発項目①「EUVマスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して研究開発を実施する。

3. 達成目標

平成23年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUVマスクブランク欠陥検査装置開発

h p 1 6 n m以細に対応するB I 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査装置開発

h p 1 6 n m以細に対応するP I 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(3) EUVレジスト材料基礎研究

得られた知見や新規技術に関する研究成果が、h p 1 6 n m以細へのレジスト材料開発にとって有効であることを示す。

事前評価書

		作成日	平成22年12月1日
1. 事業名称 (コード番号)	次世代半導体微細加工・評価基盤技術開発 (超低電力デバイスプロジェクト)		
2. 推進部署名	電子・材料・ナノテクノロジー部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：次世代の半導体露光方式として最有力視されている極端紫外線 (Extreme Ultra Violet、以下、「EUV」という。) リソグラフィにおいて、回路線幅 20nm 以細に対応可能な EUV マスク検査関連技術並びにレジスト材料基盤技術開発として、EUV マスクブランク (多層膜を積層したマスク基板) やマスクパターン (ブランク表面上の EUV 光から吸収層のパターン) の欠陥検査・評価・同定技術、およびレジスト材料の露光性能やアウトガスを含めた材料開発や評価技術など、回路線幅 20nm 以細に対応可能な技術の基盤を確立する。</p> <p>(2) 事業規模：平成 22 年度～27 年度 89 億円 (未定)</p> <p>(3) 事業期間：平成 22 年度～27 年度 (6 年間)</p> <p>研究開発項目①：平成 23 年度～平成 27 年度 (5 年間)</p> <p>研究開発項目②：平成 22 年度～平成 23 年度 (2 年間)</p>		
4. 評価の検討状況			
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>我が国経済を支える先端産業である、情報家電、コンピュータ、通信装置、自動車、医療機器などの競争力強化に不可欠な基盤技術は、半導体 LSI の微細化技術である。これまで、微細化技術の進展による半導体 LSI の集積度は、3 年で 4 倍という急速な速度で推移してきており、2010 年には、技術世代 hp45nm^(*)の製品が量産され始めている。今後も情報家電やロボットなどのシステムに求められる高集積化・低コスト化および低電力化を同時に実現するためには、更なる微細化が必要であり、引き続き重要な技術課題である。</p> <p>海外では産学官連携の下で、これらの技術課題の解決に向け、欧州の IMEC や米国の SEMATECH といった様々なコンソーシアムやアライアンスを中心に、精力的な取り組みがなされ、世界の関連企業を取り込んだグローバルな開発が行われている。一方、日本では世界的な半導体ビジネス・技術開発のパラダイム変化に伴い、最先端プロセスを指向するデバイス企業は減少しているものの、装置・材料等の関連産業においては未だ強みを維持しており、日本の強みを活かすことにより世界に先駆けて半導体 LSI のさらなる更なる微細化という重要な技術課題を克服できると期待される。</p> <p>以上のように、本プロジェクトは、我が国の半導体関連産業 (デバイス、マスク、装置及び材料) の国際競争力強化に貢献すると期待されるため、本プロジェクト推進の必要性は高い。</p> <p>(*1) LSI の配線層のピッチで最小のもの 1/2 をハーフピッチ (以下、「hp」という。) と呼び、国際半導体技術ロードマップ (以下、「ITRS」という。) によれば DRAM などの第一層金属配線 (ビット線) のピッチの 1/2 で示している。ここでは DRAM の hp を半導体 LSI 技術レベルの指標として用いる。</p>			
<p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p>NEDOロードマップ上の半導体 LSI 微細化に資する。本プロジェクトでは、波長 13.5nm の EUV を用いる EUV リソグラフィにかかるマスク技術と関連検査技術、レジスト材料等の課題に取り組む。EUV リソグラフィはマスクパターンの光学的縮小投影方式であり、露光波長がエキシマレーザーの 1/10 以下であるため hp22nm 以細の技術領域に適用可能であること等から、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている。</p>			

具体的な研究開発目標としては、
研究開発項目①EUV マスク検査・レジスト材料技術開発では、EUV マスクブランク欠陥検査 (Blank Inspection、以下、「BI」という。)、EUV マスクパターン欠陥検査 (Pattern Inspection、以下、「PI」という。)、レジスト材料評価に関する基盤技術開発目標として以下を提示する。

【中間目標】

平成 25 年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 基盤技術を確立する。また、hp11nm に対応する BI 技術における課題を明確にする。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

hp16nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 基盤技術を確立する。また、hp11nm に対応する PI 技術における課題を明確にする。

(3) EUV レジスト材料技術開発

解像度 hp16nm のレジストについて、LWR (Line Width Roughness)、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。また、hp11nm に対応するレジスト材料における課題を明確にする。

【最終目標】

平成 27 年度末までに以下の目標を達成する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

hp11nm 微細加工技術に対応する EUV マスクブランクの許容欠陥の指標、および、EUV マスク BI 装置において 6 インチブランク全域にわたり位相欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク BI 装置基盤技術を確立する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査技術開発

hp11nm 微細加工技術に対応する EUV マスクパターンの許容欠陥の指標、および、EUV マスク PI 装置において 6 インチブランク全域にわたりパターン欠陥を検出する際の欠陥検出感度や検出確率などの指標を明確化し、これらの指標に対応可能な EUV マスク PI 装置基盤技術を確立する。

(3) EUV レジスト材料技術開発

解像度 hp11nm のレジストについて、LWR、感度、アウトガスの合否基準を策定し、それらの基準を満足するレジスト材料を開発する。

研究開発項目②EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発では、EUV マスク BI 装置開発、EUV マスク PI 装置開発、EUV レジスト材料基礎研究に関する目標として以下を提示する。

(1) EUV マスクブランク欠陥検査装置開発

hp16nm 以細に対応する BI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(2) EUV マスクパターン欠陥検査装置開発

hp16nm 以細に対応する PI 装置の設計を完了させると共に、装置構成において核となる要素技術の有効性を明確化する。

(3) EUV レジスト材料基礎研究

得られた知見や新規技術に関する研究成果が、hp16nm 以細へのレジスト材料開発にとって有効であることを示す。

研究開発項目②「EUV マスク検査装置・レジスト材料基盤技術開発」については、研究開発期間終了時に外部有識者からなる委員会を開催して達成度を評価し、将来の市場化へ向けた評価基盤プラットフォーム構築のため、研究開発の実施体制を見直した上で研究開発項目①「EUV マスク検査・レジスト材料技術開発」と統合して共同研究事業を実施する。

以上は、2010 年 11 月 22 日「次世代半導体微細加工・評価基盤技術開発」基本計画検討委員会での有識者との議論を踏まえたものであり、妥当と判断する。

なお達成目標の設定値については、研究開発実施にあたっての必須の目標値のみを基本計画に設定することで、委託先公募において広く提案を収集し、優れた提案を採択する。したがって、提案者が技術の優位性を示したい場合には、達成目標等を適時追加または改訂することによって対応できるものとする。またこれら目標設定については今後も委員会ならびに有識者ヒアリングなどで聴取した意見を適切に反映させる。

(3) 研究開発マネジメント

公募を通じて、高い技術を有する民間企業、大学等の研究機関による最適な実施体制を構築する。特に、マスク検査装置開発とマスク評価技術開発の連携、及びレジスト材料開発とレジスト評価技術開発の連携によって成果を最大化する点にマネジメントの力点を置く。また、競争力確保のため知財権の確保も推進する。外部有識者の意見を求め、その結果を踏まえて事業全体の予算配分や計画について見直しを行い、適切な運営管理に努める。さらに別途定められた技術評価に係る指針、および技術評価実施要領に基づき、技術的、および産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

(4) 研究開発成果

本研究開発の成果は、世界最高水準の EUV マスク BI 装置、EUV マスク PI 装置、EUV レジスト材料の実現にあたりるとともに、最先端半導体デバイスプロセス市場における日本企業の競争力強化が可能となる。つまり、EUV リソグラフィに関する技術開発においては、製造装置開発・材料開発・プロセス開発など広い範囲の連携が必要と想定される。それぞれが幅広く、かつ有機的に関係するため、製造装置開発に直接かかわる事業者だけでなく、材料メーカー、デバイスメーカーをはじめとする種々の関連産業においても、技術の底上げと雇用の促進が期待され、同時に、EUV リソグラフィの専門性を備えた人材の育成が期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

本プロジェクトは 2015 年度で終了するが、その後、マスク検査装置開発、絵レジスト材料開発を企業において本格化し、hp16nm 対応は 2015 年から、hp11nm 対応は 2017 年からプロトタイプの検証を開始し、2~3 年の量産化開発を経て量産製品出荷を見込む。これにより ITRS^(*)ロードマップに対応するので、検査装置市場、材料市場の広がりが見込める。これらより、成果の実用化可能性、波及効果および事業化までのシナリオは十分に見込まれると考える。

(*2)最新の ITRS は 2009 年版

(6) その他特記事項

なし

5. 総合評価

本プロジェクトは、次世代リソグラフィの最有力候補と位置づけられている EUV リソグラフィにおいて、EUV マスクブランク検査技術、EUV マスクパターン検査技術を開発するとともに、レジスト材料とレジスト材料評価技術を同時に開発するという、挑戦的・野心的な研究開発であり、かつ、異なる企業体間、ないし産学官の連携が最も奏功すると期待できる。異なる事業体の連携推進という NEDO 機能が貢献できる内容であるので、NEDO が実施する事業として適切であると判断する。