

平成25年度実施方針

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：プログラム名 ITイノベーションプログラム
(大項目) 次世代半導体微細加工・評価基盤技術の開発
2. 根拠法
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1号ニ及び第2号
3. 背景及び目的・目標

本プロジェクトは、第3期科学技術基本計画における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点分野である情報通信分野に位置づけられるため「ITイノベーションプログラム」の一環として実施する。また、我が国のIT機器の消費電力量を低減させる革新的な技術開発が必要とされていることから「低炭素社会を実現する超低電力デバイスプロジェクト」の一環としても実施する。その上で、我が国の半導体関連産業(デバイス、装置及び材料)の国際競争力を強化するため、回路線幅(half pitch、以下、「hp」という。)10ナノメートル台(現状30ナノメートル台)の次世代の半導体微細化技術を開発し、“究極の”半導体微細加工技術である極端紫外線(Extreme Ultra Violet、以下、「EUV」という。)露光技術を構築するマスク関連評価技術、レジスト評価技術等を平成27年度までに確立することを目的とする。

本プロジェクトでは、以下の研究開発を行う。

研究開発目標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)]

hp10nm台の技術領域における課題を解決する。

中間目標(平成25年度)

(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(Blank Inspection、以下、「BI」という。)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マスクブランク検査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。

(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(Pattern Inspection、以下、「PI」という。)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マスクパターン検査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。

(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。

最終目標(平成27年度)

(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装置においておよび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。

(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。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以細の他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
[委託事業]

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

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。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

4.1 平成22年度(委託・共同研究)事業内容

研究開発項目① EUVマスク検査・レジスト材料技術開発

本研究は、平成23年度から開始。

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

基本計画に基づき委託先を公募し、応募のあった提案について外部有識者による事前審査を行った。契約・助成審査委員会を経て委託先を決定し、最終目標を達成するため、以下の事業に着手した。

(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。

(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。

(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。

4.2 平成23年度(委託・共同研究)事業内容

平成23年5月31日から、株式会社EUVL基盤開発センター 代表取締役社長 渡邊久恆をプロジェクトリーダーとし、以下の成果を得た。

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

平成25年度の間目標達成に向けて、下記の成果が計画通り得られている。

hp16nm世代での量産に対応できる BI 装置仕様を検討した。検討項目は、高感度欠陥検出モジュール、ステージに関する技術、光学系検討、高感度信号処理システム等である。また、実際の露光試験を行うためアライメント確認用のマスクの準備を行い、BI 装置実機での読み取り評価も終了した。一方、計算機シミュレーションにより位相欠陥の構造の露光へ与える影響に関する評価において、計算環境の整備を終え、必要な技術検討項目に対して評価を継続している。位相欠陥の評価手段として再委託をおこなっている兵庫県立大学の CSM(Coherent Scatterometry Microscope:以下、「CSM」という。)研究は、装置の組立が終了し、来年度以降性能の検証と実欠陥の評価を行う。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

平成25年度の間目標達成に向けて、下記の成果が計画通り得られている。

欠陥画像の忠実な再現性を得るためには数100eV以上の入射電子エネルギーが必要であり、検出電子数を稼ぐためには低エネルギーの画像電子を取り出すことが必要なことを確認した。また、目標感度を達成するために必要なノイズレベルの解析を検出電子数の観点からを行い、これを装置仕様にフィードバックした。これらの得られた結果をもとに、委託業務において、高分解能電子光学系の開発とその製作をおこなっている。電子光学系の優位性を試料との相互作用を織り込んだ電子軌道計算より確認した。今後、製作した電子高分解能電子光学系を用い、実際のマスク検査に対する最適化を行い、hp16nm世代の EUV マスクパターン検査に必要な装置性能を実現していく。

(3) EUV レジスト材料技術開発

平成25年度の間目標達成に向けて、下記の成果が計画通り得られている。

200サンプル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「第1次標準レジスト」を選定した。「第1次標準レジスト材料」の限界解像度評価として、超解像露光技術を用いた評価を行い、限界解像度16nmを得た。レジストプロセス開発としては、トップコートプロセス、有機下地膜の有効性・効果を確認できた。現在も詳細な評価を継続している。

EUVレジスト材料のアウトガスに関する統一的な知見を得るために計5種類のレジストを試作した。また、高出力EUV光を用いたアウトガス評価装置を改良することにより、実験精度の向上を達成した。試作した5種類のレジストにおいて、EUV、電子ビーム照射によるアウトガス起因で形成されたコンタミ膜の比較評価を実施した。EUVと電子ビームの違いによるアウトガス評価結果で異なる挙動を示すデータが一部で得られ、次年度以降解析を進める。

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

hp16nm以細に対応するBI装置の設計を完了し、装置構成において核となる要素技術の

有効性を確認し、目標を達成した。

研究開発項目①で検討された、hp16nm世代での量産装置の仕様を実現するために、最適な照明光学系、対物光学系およびシステム全体の検討と基本設計を行った。光学シミュレーションにより検査光学系での結像画像の解析を行い、開発装置の光学系の構成を決定した。この過程で、各々の要素部品に要求される取り付け精度を確認し、求められた精度を実現するために必要な装置の機械的な構造を振動解析等の計算機シミュレーションにより最適化し、装置の基本設計を完了した。これと合わせ、前記の装置仕様であるhp16nm世代の EUV マスクブランクを製造するために必要とされる欠陥検出感度において 45 分以内での欠陥検査を実現するために必要な EUV 光源の仕様を定めた。この仕様を満たす光源を選定するために、光源評価のための測定系テストベンチを製作し、EUV 光源の性能を評価法を確立した。これら方法を用いて、市販されている 4 種類の EUV 光源性能の比較評価を行い、EUV マスクブランク欠陥検査装置の EUV 光源として選定した。

(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、装置構成において核となる要素技術の有効性を示し、目標を達成した。

既存の試験電子光学系を用い、電子投影光学系により得られる試料の画像を、電子の入射エネルギー等の電子光学系の光学条件を変化させて取得し、開発目標であるhp16nm世代の量産装置に必要な光学条件を確認した。この結果を基に、電子ビーム結像光学系および電子ビーム照明光学系に対する要件を絞り込み、光学系の設計・製作を行った。今後、完成された電子線投影光学系および電子ビーム照明光学系を用い、実際のマスク検査に対し最適化を行う。

(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データが得られ、当初の目標を達成した。具体的には、下記の成果が得られている。

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た。このシミュレーションにより、レジストプロセスの露光量、クエンチャー濃度、露光後熱処理時間依存性を明らかにした。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、実際の露光結果に適用することにより、微細化に伴うレジスト溶解特性の劣化を評価した。hp16nm以細のレジスト設計では微細構造からのレジスト溶解特性の改善が重要になることを明らかにした。

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、量子収率の波長依存性を明らかにした。波長 5nm 程度までは、hp11nmにおいて解像度ボケは許容範囲であり、酸の発生効率もほとんど影響を受けないが、吸収係数が小さくなるため感度が著しく低下することが分かった。

液中 AFM (Atomic Force Microscope: 以下、「AFM」という。)を用いたレジスト膜厚薄膜化による影響の解析を行った。その結果、レジストのプラットフォームによって、溶解挙動が異なることが明らかになった。また、レジストの薄膜化によってクラスターサイズが縮小していることが明らかになった。これにより、レジストを薄膜化することで、LWRを低減できる可能性が示唆された。一連の研究から、液中 AFM がレジストの反応機構の解析に極めて有用であることが分かった。今後、種々のレジストの解析を進め、レジスト材料・プロセス開発にフィードバックしていく。

EUVレジスト材料の電子ビームによるアウトガス評価装置の仕様を決定した。この仕様に基づき、実際に電子ビームによるアウトガス評価装置を導入し、導入評価装置が露光装置メーカー提案のアウトガス評価手法の仕様を満たしていることを確認した。また、アウトガス物理分析装置が評価に問題無いことを確認した。実際に、露光装置メーカーの汚染膜標準サンプルを用い当該装置で測定した結果、十分な測定精度があることを確認した。

4.3 平成24年度(共同研究)事業内容

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

B I 装置として必要な制御機能の組み込みが完了し、実際の E U V ブランク全域にわたる欠陥検査が可能であることを確認した。この B I 装置により、hp16nm 世代に対応する B I 装置として必要な仕様性能を達成した。

B I 装置仕様を決定するために実際に露光試験をおこない、位相欠陥を吸収体パターンで被覆する欠陥緩和技術により、欠陥の影響を解消できることを確認した。B I 装置の更なる高度化として、高感度欠陥検出を実現するための光学ユニットを作製し、hp11nm 世代の B I 装置技術の検討を開始した。また、E U V 露光シミュレーションにより、hp16nm 世代においてウエハ像に影響を及ぼす位相欠陥の大きさを提示した。

位相欠陥の評価手段として再委託をおこなっている兵庫県立大学の C S M による評価技術の開発は、照射光の集光により小領域化を達成し、試料上の位相欠陥の信号取得に成功した。また、この取得信号と欠陥構造のつき合わせにより、取得信号が欠陥構造の相違により変化することを確認するなど、C S M による欠陥の解析を開始した。

今年度より東北大学に E U V 顕微鏡の製作を再委託し、顕微鏡の設計と製作をおこなった。また、光学シミュレーションにより、E U V 顕微鏡が hp11nm 世代のマスクにおいて位相欠陥の露光影響が観察できることを確認した。

(2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

開発をおこなっている P I 装置は、装置本体の機械・電気系が完成し、平成 23 年度に製作した高解像度電子光学系鏡筒の搭載を完了した。

P I 装置の仕様検討として E U V 露光のシミュレーションをおこない、hp16nm 世代で要求されるパターン欠陥の定義をおこなった。また、実際の露光実験により、このシミュレーション結果を確認した。更に、高開口数に想定される、より大きな入射角による照明におけるパターン欠陥の転写性に関しても露光シミュレーションをおこない、欠陥に対する仕様がより厳しくなることを確認した。

E U V マスクパターン欠陥検査の基盤技術開発として、平成 23 年度に製作をおこなった高解像度電子光学系の評価をおこない、hp16nm 世代に対応する 64nm のマスクパターンが、信号の全振幅に対して 0.5 以上のコントラストで観察できることを確認した。さらに、高解像度鏡筒が電子透過率の向上をもたらすことを確認した。

電子光学系における電子の軌道シミュレーションにより、電子光学系の運用条件による結像への影響を確認することが可能となった。高解像度の画像を得るための最適な運用条件および欠陥検出に最適な電子光学系の条件の検討をこの軌道シミュレーションにより開始した。

(3) EUV レジスト材料技術開発

レジスト組成物のスクリーニングとして、樹脂のスクリーニングを行った結果、レジスト感度を向上させる樹脂材料(新規フッ素増感ユニット)を見出した。また、ネガ現像レジストの初期評価を行い、hp16nm レベルの実現可能性があることを確認した。さらに約 300 サンプル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“第 2 次標準レジスト”を選定した。

レジストプロセス開発としては、現像後に用いるリンス液を、標準レジストと組合せて多数評価し、パターン倒れ改善、LWR改善が見込める新規リンス液を見出した。

レジスト反応解析の一環として、高速液中 AFM を用いたレジスト溶解過程の観察を進めた。評価手法の種々工夫により、標準濃度現像液にてラインアンドスペースパターンを観察することがで

きた。また、レジスト反応機構解析シミュレーションを行い、LWR がベース樹脂の脱保護量の揺らぎに相当することを明らかにした。これら得られた知見をレジスト材料開発プロセス開発にフィードバックし、開発に寄与した。

電子ビームを用いたレジストアウトガス評価手法を確立した。EUV光との相関を確認し、求められる評価精度を実現していることを確認した。平成23年度成果の解析により、EUV光照射時に発生するコンタミネーション膜厚に、露光面積に関する補正を加えることにより、EUV光と電子ビームそれぞれの照射時の標準レジストのコンタミネーション膜厚に良好な相関があることが判明した。

標準レジストと同一組成で、光酸発生剤(Photo Acid Generator、以下、PAGと呼ぶ)添加量および溶解抑止基の保護率などの組成比を変えたレジストからのアウトガスによるコンタミネーション膜厚の評価を行った。標準レジストのノンクリーナブル成分分析を行なったところ、EUV光の未露光部分において、PAGのアニオンが検出された。PAGアニオン吸着量の評価結果は今後のアウトガス評価手法の高精度化に寄与すると共に、レジスト材料開発においても、材料設計に対する指針となった。

4.4 実績推移

	22年度	23年度	24年度
	委託	委託・共同研究	共同研究
実績額推移		2,132(委託)	1,432
一般勘定(百万円)	0	864(共同)	
特許出願件数(件)	0	7	4
論文発表数(報)	0	25	55
フォーラム等(件)	0	1	1

5. 事業内容

株式会社EUVL基盤開発センター 代表取締役社長 渡邊久恆をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5.1 平成25年度(共同研究)事業内容

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

以下の開発により、hp16nm 世代のB I 技術開発を完了させる。さらに、hp11nm 以細の世代のためのB I 技術開発に対する指針を提示する。

1) B I 装置高度化

B I 装置高度化により、実際に装置を工程で使用する際の操作性等、生産性の向上をおこない、hp16nm 世代の量産に適用できるB I 装置技術を完成させる。また、高感度欠陥検出モジュールの評価をおこなうことにより、B I 技術のhp11nm 以細の世代への展開を検討する。

2) B I 装置仕様検討

位相欠陥のウエハ転写性の露光実験および計算機シミュレーションによる検討を継続し、hp16nm 世代に検出が必要となる位相欠陥の信頼性の高い定義をおこなう。また、hp11nm 以細の世代で考慮が必要な位相欠陥に対する仕様の予測をおこなう。

3) C S Mの開発 (兵庫県立大学への再委託)

C S M装置による位相欠陥の特徴解析をおこない、hp16nm 世代において考慮が必要となる位相欠陥の特徴を定義する。

4) E U V 顕微鏡の開発（東北大学への再委託）

E U V 顕微鏡を完成させ、hp16nm の位相欠陥の観察によりその有効性の確認をおこなう。また、hp11nm 以細の世代のための欠陥評価技術への展開を検討する。

(2) E U V マスクパターン欠陥検査技術開発

以下の開発により、hp16nm 世代の P I 技術開発を完了させる。加えて、hp11nm 以細の世代に対応する P I 技術開発に対する指針を提示する。

1) P I 装置コア技術開発

欠陥検出動作の実証と欠陥検出効率の向上をおこない、hp16nm における P I 装置技術を完成させる。また、E U V マスクパターン欠陥検査の基盤技術開発を通して、hp11nm 以細の世代における P I 技術の展開を検討する。

2) P I 装置仕様検討

パターン欠陥のウエハ転写性の露光実験および計算機シミュレーションによる検討を継続し、hp16nm 世代に検出が必要となるパターン欠陥の定義を完了させる。また、hp11nm 以細の世代で考慮が必要なパターン欠陥の予測をおこなう。

(3) E U V レジスト材料技術開発

1) 様々な E U V レジスト材料の評価を行い、第 3 次標準レジストを選定する。また、レジストプロセス評価を推進し、解像度 hp16nm 向けに必要なレジストプロセスの開発を行う。特に、実用化を見据えたフルフィールド露光機による E U V レジスト材料の評価を開始する。さらに、レジスト反応解析（実験とシミュレーション）を行い、上記材料開発・プロセスにフィードバックする。

2) 解像度 hp16nm の E U V レジストについて、L W R、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。hp11nm 以細に対応する E U V レジスト材料における課題を明確にする。また、hp11nm に対応する E U V レジスト材料を評価可能な露光装置である H S F E T (High NA Small Field Exposure Tool) の製作を開始する。

3) 平成 24 年度から引き続き、E U V 光、および電子ビームを E U V レジストに照射した時に発生するアウトガスによるコンタミ膜の比較評価を行い、アウトガスの影響のデータベースを構築する。このデータベースより、hp16nm レジストへのアウトガス基準、材料設計指針を明確にする。

4) 上記 hp16nm レジストに関する知見を元に、hp11nm 以細におけるレジストアウトガスに対する課題をまとめ、評価手法および基準に対する指針を提示する。

5) 開発した E U V レジストをベースに他のレジスト技術を組み合わせることにより、hp11nm 以細の他のレジスト技術開発を開始する。

5.2 平成25年度事業規模

需給勘定 1,728百万円

事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

6.1 評価の方法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法(以下、「NEDO」という。)は、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、平成23年度末に外部有識者からなる委員会を開催し、研究開発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。

6.2 運営・管理

NEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

6.3 複数年度契約の実施

研究開発項目① [共同研究事業(NEDO負担率:1/2)]

平成23～25年度の複数年度契約を行う。

研究開発項目② [委託事業]

平成22～23年度の複数年契約を行う。

7. 実施方針の改定履歴

- | | |
|-------------|---------------------------------|
| (1)平成25年3月 | 制定 |
| (2)平成25年8月 | 開発成果創出促進制度による事業規模増額に伴う変更 |
| (3)平成25年10月 | 共同実施先および再委託先の追加による実施体制の見直しに伴う変更 |

研究開発体制図

