

## 平成 2 4 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 1 5 条第 1 項第 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（\*1）、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 2 7 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。

[共同研究事業（NEDO 負担率：1 / 2）]

研究開発目標① EUV マスク検査・レジスト材料技術開発

hp 1 0 nm 台の技術領域における課題を解決する。

最終目標（平成 2 7 年度）

## (1) EUV マスクブランク欠陥検査技術開発

hp 1 1 nm 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

hp 1 1 nm 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 hp 1 1 nm 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。

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) 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) 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。

[委託事業]

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

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② EUV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) 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

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5 nm程度までは、hp11 nm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) 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 実績推移

	22年度	23年度
	委託	委託・共同研究
実績額推移 一般勘定 (百万円)	0	2,132 (委託) 864 (共同)
特許出願件数 (件)	0	3
論文発表数 (報)	0	25
フォーラム等 (件)	0	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

EUVマスク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。具体的には、多層膜欠陥の転写性評価、CSMの継続開発、真空搬送系の開発、総合システム開発等を行う。また、今後のhp11nm世代に対する準備もはじめる。

###### (2) EUVマスクパターン欠陥検査技術開発

電子線写像投影光学系のコア技術開発を行い基本的な機能を確認することによりEUVマスク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ーハ転写性を高精度に評価し、hp16nm世代において検出が必要なクリティカル欠陥を明確化し、欠陥検査装置の欠陥検出性能にこれをフィードバックし装置開発をおこなう。

###### (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。具体的には、レジストの評価を進め「第2次標準レジスト」を選定する。アウトガス評価においては、解像度hp16nmのレジストに対するアウトガスのガイドラインを提示する。

##### 5. 2 平成24年度事業規模

一般勘定 1,432百万円 (継続)

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。

## 7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成24年3月 制定

実施体制

