

「次世代半導体微細加工プロセス技術」に関する研究開発構想（プロジェクト型）

令和5年10月

内閣府

文部科学省

目次

1 構想の背景、目的、内容.....	2
1.1 構想の目的.....	2
1.1.1 政策的な重要性.....	2
1.1.2 我が国の状況.....	3
1.1.3 世界の取組状況.....	3
1.1.4 構想のねらい.....	4
1.2 構想の目標.....	4
1.2.1 アウトプット目標.....	4
1.2.2 アウトカム目標.....	7
1.3 研究開発の内容.....	7
1.3.1 研究開発の必要性.....	7
1.3.2 研究開発の具体的内容例.....	7
1.3.3 研究開発の達成目標.....	9
2 研究開発の実施方法、実施期間、評価.....	9
2.1 研究開発の実施・体制.....	9
2.2 研究開発の実施期間.....	10
2.3 評価に関する事項.....	11
2.4 社会実装に向けた取組.....	12

1 構想の背景、目的、内容

1.1 構想の目的

1.1.1 政策的な重要性

半導体は、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（経済安全保障推進法）に基づく特定重要物資として指定された、5G・ビッグデータ・AI・IoT・DX等のデジタル社会を支える重要基盤であり、現在、各種施策により、従来型半導体及び半導体のサプライチェーンを構成する部素材等の安定供給に対する支援や、先端半導体の安定供給、次世代半導体の研究開発のための支援などを行っているところである。次世代半導体技術の更なる発展に向けては、その製造基盤においてキーテクノロジーとなり得る革新的技術を確保・強化し、優位性・不可欠性を獲得していくことが戦略的に重要であるが、我が国の半導体産業の地位は、1990年代以降、徐々に低下しており、その基盤を確保・強化していくことが求められている。特に、半導体集積回路の微細加工プロセス技術は、電子機器のさらなる高性能化に必要不可欠であるが、現在、微細加工の中核を担う露光技術やその周辺技術は海外企業の寡占状態にある他、その莫大な電力消費やランニングコストが各国で社会問題となっている。また、更なる微細化を追求するには光源の強度に限界が存在しており、国内外においてこれを解決できる技術は確立していない。

デジタル技術の利用拡大により、2030年には、国内の情報通信量が2倍、IT分野の電力消費は1.5倍に増大すると見込まれており¹、製造基盤の強化とともに、次世代半導体には、より一層の高性能化・省エネ化が求められている。また、国内では、オープンな次世代半導体の研究開発拠点として、技術研究組合最先端半導体技術センター（LSTC）、量産製造拠点のRapidus株式会社の立ち上げなどの取組も進んでいる。

このような状況を踏まえれば、電子機器のさらなる高性能化に必要不可欠な半導体集積回路の微細加工プロセス技術を強化していくことが戦略的に重要である。具体的には、現在の関連企業が共有している技術課題の延長線上に無いような、最先端のEUV（Extreme Ultra Violet）露光（リソグラフィ）技術を超える全く新しい技術や、半導体製造以外の用途の可能性につ

¹ 半導体・デジタル産業戦略（令和5年6月 経済産業省商務情報政策局）

いての開拓も視野に、革新的なレーザー技術・ミラー作成技術の開発やその周辺技術の高度化を図り、よりエネルギー効率が高く省エネ・省スペースを実現する革新的な技術を開発し、我が国がこれらの技術を世界に先んじて獲得していくことが必要である。

本構想は、研究開発ビジョン（第二次）において、半導体に係る経済安全保障の確保に資する支援対象技術として定められた「次世代半導体微細加工プロセス技術」において、プロジェクト型として、我が国の技術優位性の獲得及びこれに繋がり得る自律性の確保を目指すものである。

1.1.2 我が国の状況

前述のとおり、次世代半導体に関しては、オープンな研究開発拠点であるLSTC、量産製造拠点であるRapidus株式会社の立ち上げなど、半導体産業の復活に向けて、国を挙げた取組が進められている。

一方で、EUV露光システムについては、2000年代初頭に国の支援によりいくつかの研究開発が実施されたものの、その成果が一定の市場規模を占めるには至っていないのが現状である。しかしながら、我が国は、EUV露光システムのレーザー光源に必要とされる要素技術では複数の強みを有しており、例えば、高出力短パルスファイバーレーザーの開発では世界最高レベルの能力を有している他、高出力レーザーに必要な高出力用ファイバーとして非常に優れた製品を開発している。さらに、高出力レーザーで重要な部品であるレーザー用セラミックスは我が国がほぼ独占している状況である。次世代半導体技術の獲得に向けては、これらの技術を着実に半導体製造へ活用していくことが重要となる。

また、マルチスケールデバイスプロセスの開発では、我が国には微細化に資する深紫外レーザーや超短パルスレーザーに強みがあり、テスト加工等が可能なレーザー加工プラットフォームが国内に構築されている。例えば、レーザー加工と人工知能（AI）とを融合した、ものづくりCPS（サイバーフィジカルシステム）の原理実証も世界に先駆けて進んでいる。

1.1.3 世界の取組状況

米国においては、半導体製造・研究開発等の支援を可能とする「The CHIPS and Science Act of 2022」が2022年8月に成立した。米国政府は

これを通じて、半導体関連のための設備投資、研究開発等の支援が可能な基金を含め、5年間で計527億ドルの資金提供を行う計画である。

欧州では、2023年4月に欧州半導体法が承認され、総額430億ユーロを超える官民の投資により、欧州域内の半導体の生産拡大や研究開発強化を図ることとしており、半導体製造・研究開発に向けた投資を加速させている。

1.1.4 構想のねらい

本構想は、デジタル社会を支える重要基盤である半導体の微細加工プロセス技術について、半導体製造以外の用途の可能性についての開拓も視野に、革新的なレーザー技術・ミラー作成技術の開発やその周辺技術の高度化を図り、よりエネルギー効率が高く、省エネ・省スペースを実現する革新的な次世代半導体技術を創出し、その製造基盤においてキーテクノロジーとなり得る革新的技術の確保・強化を通じた優位性・不可欠性の獲得を目指す。

これにより、半導体加工における重要なプロセスに戦略的不可欠性の高い我が国の技術が入り込むことが可能になるなど、半導体分野における我が国の国際的な地位向上が期待される。また、例えば、アト秒パルスの高出力化等の基礎科学的な拡がりや、ガラスや樹脂等のレーザー加工や医療用レーザーなどの他分野への応用・展開も期待される。

1.2 構想の目標

1.2.1 アウトプット目標

(1) EUV 露光励起用レーザーの開発

次世代の半導体微細加工技術を確保するため、以下の要件を目指したEUV露光に用いる革新的なEUV露光励起用レーザーを開発する。

<要件>

※事業終了後、レーザーの平均出力100kW級にスケールアップが可能なものを開発する。

- レーザーの平均出力：1kW以上
- パルスエネルギー：10mJ以上
- パルス幅：100ns以下
- 繰り返し周波数：100kHz以下
- レーザー光からEUVへの変換効率が十分高くなる波長のレーザー

であること

- 現状の EUV 光源に用いられる CO₂ レーザーと比較して、運転に必要な消費エネルギーが大幅に低く²、かつ、躯体の設置スペースが格段に小さい³ものであること

(2) EUV 露光に用いるミラー開発

以下の要件を同時に実現する EUV 露光装置に用いるミラー及び計測技術を開発する。また、本事業終了後、実用化可能なサイズにスケールアップ可能なものを開発すること。

<要件>

- ミラーの直径 200mm 以上
- ミラーの表面成型の形状誤差が世界最高レベルであること
- ミラーの反射率が既存のミラーに比べて同程度であること
- 開発する非球面ミラーの形状誤差を正確に計測可能な技術を開発すること
- EUV コレクトミラー用の反射膜（多層膜）として、高反射率、ミラー表面全体で均質、かつ、耐久性に優れた構造を開発すること

(3) 半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス（マルチスケールデバイスプロセス）の開発

半導体チップの多様化を見据えた、次世代半導体製造における半導体チップを実装する工程（後工程）での次世代微細加工プロセスを開発するにあたり、以下の要件を実現する。また、本事業終了後に、実用化可能なスケールアップを可能なものとし、他分野の応用・展開も視野に入れたものとする。

<要件>

- 最先端の新たに開発する様々な種類のチップに柔軟に対応可能なサブミクロン領域を視野に入れたマルチスケールの微細加工に関するデータベースを整備し、AI 等を活用することで、高速条件出しによる

² 例えば、既存の 3 分の 1 以下

³ 例えば、既存の 5 分の 1 以下

高品質⁴の次世代微細加工プロセス技術を開発すること

(4) 最先端露光技術の更に先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発

①EUV 露光用新規高性能光源開発

本技術の EUV への導入を念頭に、既存の EUV 光源では困難である以下の要件を満たす EUV 露光用の新規高性能光源の開発を進め、5 年間の本事業期間中に同光源の要素技術開発を行う。

<要件>

- 平均出力：露光機 1 台あたり 1kW 以上
- 波長：Beyond EUV 光源（光源波長 6.75nm）への進化も念頭に 6.75-13.5nm
- 分解能：High NA 露光機⁵でも、既存の EUV 光源と比較して高い分解能を実現できること
- 消費電力：既存の EUV 光源と比較して低減できること（0.5MW 程度）
- 保守経費（消耗品費等）：既存の EUV 光源と比較して低減できること⁶
- 露光機 1 台相当の設置スペース：既存の EUV 光源と概ね同程度であること

本事業終了後に、本技術の EUV 導入を念頭にしたプロトタイプ機製造に着手可能であること

②光源、光学系、材料系、計測技術等の要素技術開発（フィージビリティスタディ）

最先端露光技術の更に先を見据えた Beyond EUV 実現に向けて、光学系（集光用ミラー等）、材料系（レジスト、マスク、基板等）、計測技術等について、世界最先端レベルのコア技術（要素技術）を得る。

⁴ 例えば、加工時の発熱等による周辺への影響等を評価する技術など

⁵ NA：Numerical Aperture が 0.55 以上

⁶ 例えば、原理的に光学系の交換の必要性が無いなど

1.2.2 アウトカム目標

上記のアウトプット目標を達成することにより、エネルギー効率が高く、より省エネ・省スペースを実現する技術を獲得し、その製造基盤においてキーテクノロジーとなり得る革新的技術の確保・強化を通じた優位性・不可欠性の獲得を目指す。まずは、半導体微細加工の中核を担う露光技術やその周辺技術が海外企業の寡占状態であることを踏まえ、当該企業が今後必要とする技術基盤を確立し、当該企業と連携しつつ、将来的には、当該技術を用いた我が国企業の成長、市場参入により、国内の半導体製造基盤の確保に貢献する。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

半導体はデジタル製品をはじめとした様々な製品に組み込まれ、国民生活や産業に不可欠な存在であるとともに、デジタル社会やグリーン社会を支える重要な基盤である。特に、海外企業が独占している次世代半導体微細加工プロセス技術は、今後、情報通信量などの増大が見込まれる中で、電子機器のさらなる高性能化に必要不可欠であり、国内で技術能力を確保することは極めて重要である。

このため、次世代半導体微細加工プロセス技術について、最先端の EUV 露光技術を超える革新的なレーザー技術、ミラー作成技術やその周辺技術の開発などによる超極細の溝を刻むリソグラフィ技術の高度化、そして半導体プロセスの後工程 (μm レベル) において、最先端の新たに開発する様々な種類のチップに柔軟に対応可能となる次世代微細加工プロセスを「エコ」にしていくことで、次世代半導体の技術能力を確保し、より省エネ・省スペースを実現し、半導体工程における重要なプロセスに戦略的不可欠性の高い我が国の技術が入り込むことを目指し、我が国がこれらの技術を世界に先んじて獲得していくことが必要である。

1.3.2 研究開発の具体的内容例

社会実装後のイメージを明確にした上で、それに向けた研究開発の具体的内容として考えられる項目やその進め方を以下に例示する。

(1) EUV 露光励起用レーザーの開発

EUV 光を発生させるドライブレーザーの開発、特にレーザー発振器や前置増幅器、増幅器などの開発、エネルギー伝搬計測・制御技術の開発などを行う。また、これら開発した技術を組みあわせてレーザーシステムとしてのシミュレーション技術も活用した実証試験も行う。事業終了後、レーザーの平均出力 100kW 級にスケールアップが想定可能なものを開発する。

(2) EUV 露光に用いるミラー開発

例えば、放射光施設用ミラーなど高い研磨技術を誇る我が国の技術を活用し、EUV 用の大型ミラーの作成に必要な超微細研磨技術、膜技術、超精密ミラーの特性計測技術などの開発をシミュレーション技術も活用して行う。なお、本事業終了後、実用化可能なサイズにスケールアップが想定可能なものを開発する。

(3) 半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス（マルチスケールデバイスプロセス）の開発

最先端の新たに開発する様々な種類のチップに柔軟に対応可能となるよう、マルチスケールの微細加工に関するデータベースの整備、高速条件出しのための AI 技術開発等を行い、後工程での高品質の次世代微細加工プロセスを開発する。また、本事業終了後に、実用化可能なスケールアップを可能なものとし、他分野の応用・展開も視野に入れたものとする。

(4) 最先端露光技術の更に先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発

①EUV 露光用新規高性能光源開発

既存の EUV 光源では実現困難な、高出力、EUV 以下の短波長、高分解能、低消費電力、保守経費低減を実現できる、EUV 露光用の新規高性能光源の開発に向けた要素技術開発（例：短波長までの展開可能性のある新たな光源の開発、低消費電力で高出力を実現する技術の開発、消耗品の交換頻度を低減する技術の開発など）を行う。本事業終了後に、本技術の EUV 露光への導入を念頭にプロトタイプ機製造に着手する。

②光源、光学系、材料系、計測技術等の要素技術開発（フィージビリティスタディ）

既存の EUV 露光技術（波長 13.5nm）の更にその先を指向した次世代半導体露光技術に貢献する光源、光学系（集光用ミラー等）、材料系（レジスト、マスク、基板等）、計測技術等の革新的基盤技術を開発する。

1.3.3 研究開発の達成目標

事業終了後のスケールアップを見据え、「EUV 露光励起用レーザーの開発」、「EUV 露光に用いるミラー開発」、「半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス（マルチスケールデバイスプロセス）の開発」、「最先端露光技術の更に先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発」を行い、アウトプット目標で示した要件を満たすことを確認する。

より具体的には、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定めると共に、研究開発開始後においては、半導体の国内外の市場動向、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要な場合、見直しを行う。また、実用化に必要な要素技術の検討やパッケージ化した技術の実証方法を検討するなど、企業導入に向けた方策の検討を進めていく。

2 研究開発の実施方法、実施期間、評価

2.1 研究開発の実施・体制

「EUV 露光励起用レーザーの開発」、「EUV 露光に用いるミラー開発」及び「半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス（マルチスケールデバイスプロセス）の開発」に係る革新的技術の獲得に向けた研究代表機関を決定する。

また、「最先端露光技術の更に先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発」については、要素技術開発が中心となる研究開発であるため、個別に研究公募を行い、研究開発課題を決定する。

期間中、研究代表機関、関係府省等による意見交換を経て、試作システムに必要な技術について、プログラム・ディレクター（PD）が新たな研究機

関による研究開発が適切と判断した場合には、その研究開発について公募を行うものとする。その場合、研究代表機関から公募を行うことも可能とする。

上記視点を踏まえ、PDの指揮・監督の下、研究代表機関及び個別の研究課題の研究代表者が連携して、研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST等の助言に基づき、研究に参加する機関・研究者のそれぞれが、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進すると共に、研究開発に必要な事項を行う。

社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、研究代表機関、研究代表者はPD及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

2.2 研究開発の実施期間

研究開発開始から「1.3.3 研究開発の達成目標」まで5年程度とし、構想全体で最大135億円程度の予算を措置する。

「1.2.1 アウトプット目標」を達成するまでの計画と、その計画の達成により「1.2.2 アウトカム目標」以外に実現が見込める潜在的な社会実装についても提出を推奨する。

項目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
EUV露光励起用レーザーの開発	レーザー発振器等の開発、エネルギーの制御技術の研究開発等				実証試験
	→				
EUV露光に用いるミラー開発	ミラーの超微細研磨技術の研究開発等				実証試験
	→				
半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス(マルチスケールデバイスプロセス)の開発	微細レーザー加工技術の研究開発等				実証試験
	→				
最先端露光技術の更にも先を見据えたBeyond EUV実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発					
EUV露光用新規高性能光源開発	新規高性能光源開発に向けた要素開発等				
	→				
光源、光学系、材料系、計測技術等の要素技術開発(フィージビリティスタディ)	Beyond EUV実現のための革新的基盤技術				
	→				

研究開発の進め方のイメージ

2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。「EUV 露光励起用レーザーの開発」、「EUV 露光に用いるミラー開発」、「半導体チップを実装する工程での次世代微細加工プロセス(マルチスケールデバイスプロセス)の開発」及び「最先端露光技術の更にも先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発のうち、EUV 露光用新規高性能光源開発」の外部評価については原則、研究開発の開始から3年目に中間評価、研究開発終了年に事後評価を実施する。また、「最先端露光技術の更にも先を見据えた Beyond EUV 実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発」のうち、「光源、光学系、材料系、計測技術等の要素技術開発(フィージビリティスタディ)」の外部評価については、例えば、研究開始から2年目又は3年目にステージゲート評価を行うものとし、これをもって中間評価とすることができる。また、研究開発終了年に最終評価を実施する。

また、本研究開発は、半導体の国内外の市場動向に大きく影響されるため、その影響を絶えず注視、先取りし、研究開発目標を修正・変更していくことが求められる。このため、中間評価時に関わらず、PDの裁量により、これ

ら動向を踏まえ、抜本的な研究計画の見直しや研究中止を行う場合がある。

具体的な時期やステージゲート評価の目標等の設定については、担当する PD が採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想は、デジタル社会を支える重要基盤である半導体の微細加工プロセス技術について、半導体製造以外の用途の可能性についての開拓も視野に、革新的なレーザー技術・ミラー作成技術の開発やその周辺技術の高度化を図り、よりエネルギー効率が高く省エネ・省スペースを実現した次世代半導体技術の創出を目指し、その製造基盤においてキーテクノロジーとなり得る革新的技術の確保・強化を通じた優位性・不可欠性の獲得を目指すものである。

このためには、研究代表機関又は研究代表者と、潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等との間で情報共有や、社会実装イメージや研究開発の進め方を議論・共有する取組が有用である。個々の要素技術を捉えるだけでなく、組合せによるシステム化、実験等により得られたビッグデータの処理、設計製造へのデジタル技術の活用を踏まえて各種開発を進めていく。また、収集されたビッグデータのなかには機微なものが含まれ得ることを踏まえ、社会実装の際にどのように取り扱うのかを事前に検討をすることも必要である。また、潜在的な社会実装の担い手につなげていくことや将来の運用に関する枠組みも検討していくものとする。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に示す。また、PD は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。