

(ロボット・新機械イノベーションプログラム)

「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」基本計画

機械システム技術開発部

1. 研究開発の目的、目標及び内容

(1) 研究開発の目的

我が国産業は、強力な競争力を有する製造業を柱に成長してきたが、情報ネットワーク技術の進展や経済のグローバル化によって、激しい国際競争にさらされており、更に少子高齢化による技術伝承の困難さ、地球環境問題への対応等、様々な課題に直面している。このような中で、製造業が我が国の産業競争力を支えていくためには、新たな製造技術の開発により、新しい産業を創出し、製造業での高付加価値化を更に進めることが必要である。そのためには、これまでの縦割りの技術の深耕ではなく、様々な分野の技術、科学的知見を融合した新しい製造技術を創り上げていくことが必要である。

代表的な新しい製造技術であるMEMS (Micro Electro Mechanical Systems : 微小電気機械システム) 技術は、90年代に世界に先駆け我が国では産学官での挑戦が始まり、2000年以降自動車、各種製造機器、情報機器、通信機器等の小型・高性能化をもたらし、わが国の産業競争力強化に貢献してきた。

MEMS技術は、直近の産学官の取り組みである「高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクト」において、MEMS技術と半導体技術、ナノ技術とを融合し、高集積化・複合化による多機能デバイスの創出を狙う新たな製造技術を実現したが、今後、2015年以降2025年に向けて革新的イノベーションを起こし、更なる市場の拡大を図るには、従来電子・機械製造技術と完全に異分野とされてきた技術とを融合させる等により、これまでの製造技術の概念・常識を打ち破った技術を創出することが肝要である。

MEMS技術戦略マップ2007年版では、「MEMSはトップダウンプロセスである微細加工とボトムアッププロセスであるナノ・バイオプロセスとを融合させたマイクロ・ナノ統合製造技術の確立により、その応用範囲を急速に広げ国家・社会的課題である「環境・エネルギー」、「医療・福祉」、「安全・安心」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的デバイスとして広く浸透する。」と記載されている。例えば、「医療・福祉」分野では、人体に与える負荷を極小化させる医療診断システムや、「安全・安心」分野として、広くセンサネットワークを構築し、災害監視や地球観測に適用可能な宇宙で使えるような革新的デバイスの創出が望まれている。この革新的デバイスを創出するためには、その基盤技術であるプロセス技術の確立が必須である。

また、全世界的課題として環境エネルギー問題への対応が国や産業毎に強く求められており、革新的次世代デバイスの実用化においては製造プロセス自体の省資源や高効率

な製造プロセスの実現による低環境負荷化が期待されている。

このため、本プロジェクトは、サイエンスとエンジニアリングを融合させ、将来の革新的次世代デバイスの創出に必要な新しいコンセプトに基づき、基盤的プロセス技術群を開発し、かつ、そのプラットフォームを確立することを目的とする。

さらに、低炭素社会づくりに貢献する高機能MEMSセンサおよびそれを活かしたネットワークシステムの構築と、革新的次世代デバイスの実用化における低環境負荷型製造プロセス技術を確立することを目的とする。そのため、我が国のものづくりを支える中核デバイスの国際競争力強化を目的とした「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として行う。

(2) 研究開発の目標

MEMS技術戦略マップ2007のロードマップによる2025年以降の技術等を見越し、研究開発の目的に即した革新的製造プロセス技術を抽出し、その技術を確立することを目標とする。更に、本技術開発を通じて得られた共通基盤製造技術に関わる知識を集約し、データベースを整備する。

具体的な目標としては、プロジェクト3年経過時点において別紙の研究開発計画の研究開発項目①から④の中間目標を、プロジェクト終了時において別紙の研究開発計画項目の①から④の最終目標を達成することとする。

さらに成果の早期実用化に向け、平成21年度より別紙の研究開発項目⑤を実施し、平成22年度末において当該研究開発項目の最終目標を達成することとする。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下の研究開発項目について、各項目間の連携にも配慮しながら、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発
- ② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発
- ③ マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発
- ④ 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備
- ⑤ 高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発

2. プロジェクトの実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、経済産業省により、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等から公募によって研究開発実施者が選定され、大学や公的研究機関を中心に企業等が参画する集中研方式で平成20年度より委託により実施している。平成21年度より、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。）が本研究開発を運営・管理するに当たっては、平成20年度の進捗状況を踏まえた研究開発内容・計

画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、委託して実施する。

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、NEDOが指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）財団法人マイクロマシンセンター 遊佐厚氏を置き、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。研究開発責任者は、本研究目的が革新的基盤プロセス技術の開発ではあるが、一方で我が国の競争力のある産業を創るという基本を踏まえて、出口を明確に意識した研究マネジメント体制を構築し研究を進める責務を持つ。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、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、研究体にプロジェクトの総合調整を行うNEDO職員を配置すること、NEDOに設置する委員会及び技術検討会等の外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は、平成21年度から平成24年度までの4年間とする。平成20年度から経済産業省により「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」として実施された研究開発項目①～④については、平成21年度よりNEDOの事業として平成24年度まで実施する。研究開発項目⑤については、平成21年度よりNEDOの事業として平成22年度まで実施する。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、研究開発項目①～④については、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度に、事後評価を平成25年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じその結果を後年度の研究開発に反映することとする。研究開発項目⑤については、中間評価は行わず、事後評価を平成23年度に実施する。なお、平成24年度までの各年度末に推進委員会等で各研究開発内容を内部評価し、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。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等に応じて、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

①成果の普及

実施者は、得られた研究成果の普及について、可能な限り、保有する特許等の活用も含め、最善の努力をするものとする。NEDOは、実施者との緊密なる連携の下、標準化活動を含め必要とされる環境整備等について十分な配慮をするものとする。

更に得られた知見を逐次データベース化するとともに、MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトによる知識データベースと連動しつつ公開する仕組みを構築し、産業界等に広く普及させる。

同時に委託研究成果の普及による産業化促進の観点から知的財産を広くライセンスングする等の仕組みを構築する。

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、知的基盤整備また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提供、標準案の提案等を積極的に行う。

また、先端分野での国際標準化活動を重要視するという観点から、研究開発成果の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「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、すべて委託先に帰属させることとする。

④人材の育成

将来の研究開発リーダーの育成を図るため、若手研究者等の研究参加を促進する環境を整備する。

-

(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、社会・経済的状況、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) 成果の産業化

本プロジェクトは、将来の革新的次世代デバイスの創出に必要な新たな基盤的プロセス技術を開発することを目指すものであるが、そこに至る途中段階でも実用化が可能な研究成果については、円滑で迅速な実用化を促進する。

6. 基本計画の改訂履歴

平成21年3月、制定。

平成21年12月、研究開発項目⑤「高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発」を追加

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発」

1. 研究開発の必要性

(1) 健康・医療・環境分野で、将来必要とされている次世代デバイスとして、常時健康管理のための体内埋め込みデバイス、超高感度オンサイト予防・診断デバイス、環境改善及び保全のためのオンサイト環境制御デバイス、環境エネルギー有効活用のためのエネルギーハーベスティングデバイスなどが挙げられている。

(2) これらのデバイス開発には、高感度、高効率、生体・環境適合などの機能や機構を実現する必要がある。このためには、従来のシリコンを中心とする無機材料に加え、生体分子、細胞、組織、微生物や合成有機分子などのバイオ・有機材料の持つ特異的な機能を活かす融合プロセスの研究開発が不可欠である。具体的には、各種材料の融合の際に、各々の優れた機能を発揮させるため、界面及びナノ間隙における制御プロセス技術が必要である。またデバイスとして機能するためには、バイオ・有機材料を体内などの使用環境において長期間安定させるためのプロセス開発が必要である。さらに、人工細胞・組織や高効率エネルギーハーベスティングを実現するために、同種または異種のバイオ・有機材料を高次構造化させるプロセスの開発が不可欠である。これには、微小器官や細胞の3次元ヘテロ組織化、有機材料のナノピラー構造やナノポーラス構造を形成するプロセスなどが含まれる。

(3) 本研究開発項目は上記を踏まえ、ナノ界面融合プロセス技術、及びバイオ・有機高次構造形成プロセス技術を開発することにある。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ナノ界面融合プロセス技術

バイオ・有機材料特有の生体適合性、特異的分子認識能、高効率多段階反応能、高効率エネルギーハーベスティングなどの機能を最大限に活用するために、材料の配向や選択的配置、固定化、高密度被覆を実現する界面制御プロセス、及びナノ間隙への材料の高密度充填プロセスと充填後の平坦化プロセスを研究開発する。また、生体組織内、体表面、体外でのハイドロゲルや人工脂質二重膜などのバイオ・有機材料の長期間安定形成プロセスを研究開発する。さらに、上記のプロセスをモデル化し、界面構造の最適化に向けた解析を実施する。

(2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

人工細胞や人工組織、高性能有機半導体など、バイオ・有機材料を構造化することで高度な機能を発現させるために、材料の相互作用を利用した3次元構造の組立プロセス、微小器官・細胞の3次元ヘテロ組織化プロセス、材料の自己組織化能を利用した3次元ナノピラー構造やナノポーラス構造などのナノ構造形成プロセスの研究開発を行う。さ

らに、上記バイオ・有機材料を高次構造化するプロセスを評価し、モデル化する。

3. 研究開発の目標

(1) 最終目標

① ナノ界面融合プロセス技術

ナノ構造体表面で、生体分子、細胞、組織、微生物や合成有機分子の生体適合性、特異的分子認識能、高効率多段階反応能を発現させる。有機半導体のキャリア拡散距離である 200nm 以下の間隔を有するナノ構造体表面に低分子有機材料の配向・高分子材料の被覆プロセス、そのナノ間隙への材料充填及び表面平坦化プロセスを開発する。体内で連続3ヶ月以上機能するハイドロゲルなどのバイオ・有機材料、及び一日以上安定して高感度に生体分子計測を行う人工脂質二重膜の形成プロセスを開発する。界面構造最適化に向けたナノ界面融合プロセスのモデル化と解析を実施する。

② バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

バイオ・有機異種材料による3次元組立プロセス技術を開発する。また、径 50 nm 以下の有機分子ナノピラー構造、100 nm 以下の均一ポアを有する有機分子ナノポーラス構造、ライン・アンド・スペース (L/S) = 100 nm 以下の網目や直線構造などのナノ構造を自己組織的に形成するプロセスを実現する。さらに、バイオ・有機高次構造形成プロセスのモデルを構築する。

(2) 中間目標

① ナノ界面融合プロセス技術

最終目標に示されている生体適合性、特異的分子認識能、高効率多段階反応能を発現させるための、材料及び手法を選定する。配向や被覆プロセス、材料充填プロセス、表面平坦化プロセスを実現するための材料や手法を確定する。体内で機能するハイドロゲルなどのバイオ・有機材料及び人工脂質二重膜を安定形成する基本技術を確立し、最終目標値を達成するための手法を決定する。ナノ界面融合プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群を導出する。

② バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

バイオ・有機異種材料の組立プロセス技術を開発し、最終目標を達成するための手法を決定する。有機分子ナノピラー構造、有機分子ナノポーラス構造、直線及び網目構造などのナノ構造形成のための手法を選定する。バイオ・有機高次構造形成プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群を導出する。

研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」

1. 研究開発の必要性

(1) 安全・安心・健康な社会を実現するためには、効果的なセンサネットワークを構築する必要があり、そのためには、センサの感度向上、省電力化、自立電源化、高い耐環境性が重要となる。さらに、効率的に広域を観測するためには、センサネットワークを拡大し、宇宙空間から観測網を実現することが重要である。そのための基盤技術として、シリコン等の3次元構造にナノ構造材料を集積し、シリコンのみでは得られない機能を発現させる必要がある。これら3次元ナノ構造そのものや、ナノ構造によって実現できる超高感度センシング、高密度エネルギー貯蔵・変換、複雑な3次元アクチュエーションなどの機能をMEMSに付与し革新的次世代デバイスを創出できる。

(2) 上記のデバイスを製造するためには、高アスペクト比・高密度の複雑な3次元ナノ構造を形成する革新的構造形成技術、及びトップダウン手法により形成された構造にナノ粒子等のナノ材料の自己組織化を利用したボトムアップ手法により形成された構造を組み合わせた集積構造の形成が必要となる。さらに、これらナノ構造が革新的機能をデバイスに付与するためには、構造の表面物理・化学が重要である。例えば、原子層レベルでの表面平滑性は、電子移動度や励起子輸送特性の向上、あるいは光学散乱の低減に寄与する。また、ナノ領域における表面修飾やトライボロジーの制御はナノオーダーのギャップを利用した電気・機械特性の向上に、複数の構造パターンを有する3次元ナノ構造は宇宙空間からのマルチバンド観測に必要なフィルタにおける複数の光に対する透過性向上にそれぞれ寄与する。

一方、上述した複雑な構造形成や革新的機能・諸特性の付与のためには、高アスペクト比・高密度3次元ナノ構造を超低損傷かつ十分なスループットで製造する技術、必要とされる部位に選択的にナノ材料を自己組織化させる技術、3次元ナノ構造表面を局所的に修飾する技術、3次元構造表面に均一にナノ構造を転写形成する技術、さらにこれらのプロセスを理論的に設計・制御する技術の確立が必要である。

(3) 本研究開発項目は上記を踏まえ、超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術、異種機能集積3次元ナノ構造形成技術、宇宙適用3次元ナノ構造形成技術を開発することにある。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

原子層レベルで平坦かつダメージフリーな被エッチング面を有し、従来のMEMS技術では不可能であった複雑な3次元ナノ構造を形成できる技術を開発する。材料はシリコンに限定せず化合物半導体や誘電材料・光学材料等への展開を図る。あわせてこれらの新規プロセスを設計・制御するためのシミュレーション技術を開発する。さらに、大規模3次元構造のウェハレベルでの作製が可能なまでに高速化、かつウェハ面内の均一

性を確保する。

(2) 異種機能集積 3次元ナノ構造形成技術

超低損傷シリコン 3次元構造表面に機能性ナノ構造を形成するために、ナノトライボロジー、改質など表面の物理・化学的性質を評価・制御してナノ粒子を規則的に配列する技術を開発する。また、同様な機能性ナノ構造を成膜プロセスにおいて自己組織化的に形成する技術を併せて開発する。

高アスペクト比 3次元ナノ構造に機能性材料層を形成するために、3次元ナノ構造深部まで原料を供給し、かつ界面張力による微細構造のスティッキングを防止するコーティング技術、成膜技術を開発する。さらに、スループットやウェハ面内均一性の向上を図る。

このように形成した異種機能集積 3次元ナノ構造を解析し、機能のモデル化・予測を可能にする。

(3) 宇宙適用 3次元ナノ構造形成技術

宇宙空間からのマルチバンド観測に必要なフィルタに、複数の波長の光を選択的に透過させることのできる複数の構造パターンを有する 3次元ナノ構造を形成するために、トップダウンにより形成された 3次元構造に均一にナノ構造を転写形成する技術を開発する。

さらに、3次元ナノ構造を形成したフィルタにより宇宙空間において複数の波長の光が選択的に検出できることを検証する手法を確立し実証する

3. 研究開発の目標

(1) 最終目標

①超低損傷・高密度 3次元ナノ構造形成技術

被エッチング面の粗さが原子層レベルの超低損傷シリコン 3次元ナノ構造（ナノサイズの開口でアスペクト比が 100 以上）を実用的なエッチング速度により形成し、側壁の傾斜角や等方性・異方性をデバイス構造に対応して高精度に制御する。さらに化合物半導体や誘電材料、光学材料等に本技術を適用する指針を得る。

超低損傷 3次元ナノ構造の形状をプロセス変数から予測・設計できるシミュレーション技術を構築し、工業化に対応した大面積基板において均一性を達成する技術指針と装置の基本設計を提供する。

②異種機能集積 3次元ナノ構造形成技術

3次元構造表面の特定箇所に対し、100 nm 以下の径のナノ粒子・自己組織化ドット等を配置し、粒子間隔・密度をデバイス構造に対応して高精度に制御する。その際必要となるナノ構造の接触物間作用力を実用的な精度で測定し、ナノトライボロジーモデルを

構築する。また、3次元ナノ構造の微細溝や孔（ナノサイズの開口でアスペクト比が100以上）に、金属あるいは酸化膜を空隙なく埋め込む技術を確立する。

③宇宙適用3次元ナノ構造形成技術

宇宙空間でのマルチバンド観測を実現する3次元ナノ構造形成技術として、トップダウンにより形成された3次元構造に均一に100nmレベルのナノ構造を転写形成する技術を確立する。

さらに、3次元ナノ構造を形成したフィルタにより宇宙空間において複数の波長の光が選択的に検出できることを検証する手法を確立し実証する。

(2) 中間目標

①超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

被エッチング面の粗さが原子層レベルの超低損傷シリコン3次元ナノ構造（ナノサイズの開口でアスペクト比が30以上）をエッチングにより形成し、側壁の傾斜角や等方性・異方性を制御する。また、超低損傷3次元ナノ構造の形状を予測・設計できるシミュレーションモデルを構築する。

②異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

3次元構造表面の特定箇所に対し、100 nm以下の径のナノ粒子・自己組織化ドット等を配置するための表面制御技術を構築する。その際必要となるナノ構造の接触物間作用力を実用的な精度で測定する技術を開発する。また、3次元ナノ構造の微細溝や孔（ナノサイズの開口でアスペクト比が30以上）に、金属あるいは酸化膜を埋め込む。

③宇宙適用3次元ナノ構造形成技術

宇宙空間でのマルチバンド観測を実現する3次元ナノ構造形成技術として、トップダウンにより形成された3次元構造に均一に100nmレベルのナノ構造を転写形成する基本プロセスを構築する。

さらに、3次元ナノ構造を形成したフィルタにより宇宙空間において複数の波長の光が選択的に検出できることを検証する基本手法を確立する。

研究開発項目③「マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発」

1. 研究開発の必要性

- (1) 環境・エネルギー、健康・医療分野では、メーター級大面積エネルギーハーベスティングデバイスの大幅な低コスト化とともにマイクロ・ナノ構造搭載による高機能化が期待されている。また、ウェアラブル発電、安全安心ジャケット、シート型健康管理デバイス等の3次元自由曲面に装着可能な新形態のフレキシブルシートデバイスの実現が望まれている。これらの製造に際し、従来の半導体製造装置をベースとした製造技術の延長では、真空プロセス装置の大型化の限界、基板の大面積化の限界などの問題が顕在化してきている。将来のメーター級大面積デバイスの高機能化、低コスト化のためには、マイクロ・ナノ構造を有する高品位機能膜をメーター級の基板に真空プロセス装置を用いずに形成する製造技術の創出が必要となる。また、基板の大面積化を伴うことなく、メーター級のフレキシブルシートデバイスを実現する、製織技術などを活用した新たな製造技術の創出が重要である。
- (2) メーター級の面積基板にマイクロ・ナノ構造を有する高品位機能膜を高速直接形成する技術として、ナノ粒子など機能材料の塗布プロセスをベースに雰囲気ガスや温度などの局所環境制御によりナノ機能材料を活性化する技術、ナノ機能材料の密度や配列を制御する技術などを融合した革新的次世代非真空プロセスが必要である。さらに、基板の大面積化を伴うことなくメーター級のフレキシブルシートデバイスを実現するため、繊維状基材に上記非真空プロセスによる高品位機能膜を高速に連続形成する技術、ならびにこの繊維状基材を新たな製織集積化プロセスにより機能化・大面積化する技術が必要である。
- (3) 本研究開発項目は上記を踏まえ、非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術、繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術を開発することにある。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

局所雰囲気制御下でのナノ材料の塗布プロセスや自己組織化プロセスなどの非真空薄膜堆積プロセスにより、電子的、機械的、光学的な機能を発現する機能膜、すなわち、MEMSのみならず電子デバイス全般に適用可能なマイクロ・ナノ構造の高品位機能膜を形成するプロセスを開発するとともに、その高速化に関する研究開発を行う。

また、この高品位機能膜形成プロセスをスケラブルにメーター級の面積基板に拡張するために、面積基板の全面に亘り、局所雰囲気を維持したまま高品位機能膜形成装置を相対移動させるスキヤニング技術、高品位機能膜をむら無く形成させる均質塗布技術、及びその装置化要素技術を開発する。さらに、高品位機能膜形成プロセスとメーターレベルのスキヤニングとのナノ・マクロ連成解析モデルを構築し、上記プロセスの最適化に向けた解析を実施する。

(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

上記非真空高品位ナノ機能膜形成プロセスなどを用いて、繊維状基材上に連続的に均質な高品位機能膜を被覆することが可能なプロセスを開発する。

また、高品位機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を高速連続形成する加工技術と、それら多数の異種繊維状基材を製織によって機能化・集積化する技術とを開発することにより、メートル級のフレキシブルシートデバイスを実現する一連の新規製造プロセスを開発する。

3. 研究開発の目標

(1) 最終目標

①非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

局所雰囲気制御下での材料の塗布プロセスや自己組織化プロセスなどの非真空薄膜堆積プロセスにより電子移動度 $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 以上の電子的機能膜、マイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜を、実用的な成膜レートで形成可能とするプロセスを確立する。また、この高品位機能膜形成装置をメートル級の面積基板にスキヤニングして、上記高品位機能膜を膜厚均一性 $\pm 10\%$ 以下、パターニング分解能 $200 \mu\text{m}$ 以下、及び現行真空装置による製造時間以下で面積基板に形成可能とするプロセスを確立する。さらに、それを実現する装置仕様を決定する。

②繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

繊維状基材上に、上記非真空薄膜堆積プロセスにより、電子的機能膜、マイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜、及び発光、反射・屈折率などを制御する光学的機能膜を、実用的な速度で形成するプロセスを確立する。また、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を加工速度 20 m/min 以上で形成するプロセスを実現する。さらに、3次元的に変形させても機能するシート型デバイスを実現する製織集積化プロセスを確立する。

(2) 中間目標

①非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

最終目標に示される電子的機能膜、機械的機能膜を形成する基本プロセスを開発する。また、面積化に関しては、最終目標の膜厚均一性、パターニング分解能、及び成膜速度を達成する手法を決定する。

②繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

繊維状基材上に、上記非真空薄膜堆積プロセスにより、最終目標に示される電子的機能膜、機械的機能膜、及び光学的機能膜を形成する基本プロセスを開発する。また、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を形成するプロセスを構築する。さ

らに、シート型デバイスを実現する製織集積化基本プロセスを開発する。

研究開発項目④「異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備」

1. 研究開発の必要性

- (1) 現状において異分野融合型次世代デバイス製造技術に関しては未知の分野であり、科学技術的知見の蓄積・整理が強く望まれている。
- (2) 異分野融合型次世代デバイス製造技術の開発の成果あるいはこれに関連する新たな知見については、これら革新的次世代デバイスの開発を目指す企業研究者・技術者が容易に利用できるようにすることにより、新製品開発・実用化や新たな産業の創造に資することが期待される。
- (3) 本研究開発項目は上記を踏まえ、異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備を行うことにある。

2. 研究開発の具体的内容

異分野融合型次世代デバイス製造技術の研究開発項目①～③にかかわる新たな知見を系統的に収集・蓄積し、データベース化する。

3. 研究開発の目標

(1) 最終目標

異分野融合型次世代デバイス製造技術の研究開発項目①～③にかかわる新たな知見（文献情報、特許情報、及び研究成果を含めて）を系統的に蓄積してデータベース化するとともに、MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトなどでこれまで蓄積した技術情報を統合的に取り扱える知識データベースシステムを開発する。また、蓄積するデータ数は1,500件以上とし、この知識情報をMEMS用設計・解析支援システムで活用できるようにする。

(2) 中間目標

異分野融合型次世代デバイス製造技術の研究開発項目①～③にかかわる新たな知見（文献情報、特許情報、及び研究成果を含めて）を系統的に蓄積してデータベース化するとともに、MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトなどでこれまで蓄積した技術情報を統合的に取り扱える知識データベースシステムを開発する。また、蓄積するデータ数は500件以上とし、この知識情報をMEMS用設計・解析支援システムで活用できるようにする。

研究開発項目⑤「高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発」

1. 研究開発の必要性

(1) 工場等の製造現場において、原材料や使用資源のきめ細かい状況モニタリングと制御を行う微細・極小、高機能なセンサの実用化により、製造プロセスの省資源化、高効率化の実現が期待されている。

(2) 小型で低コスト、かつ信頼性の高いワイヤレスセンサとすることで、設置にあたっての大がかりな工事を必要とせず、既存施設にも低コストでの導入が可能となる。合わせて、センサの製造において低環境負荷型の製造プロセス技術の開発を行うことで、生産システムの低炭素化にも貢献が可能となる。

(3) そこで、本プロジェクトの研究開発項目①から③で開発したプロセス技術等を活用し、高機能センサネットワークシステム・センサモジュールの事業化と、低環境負荷型製造プロセスの確立に向けた開発・実証研究を行う。

2. 研究開発の具体的内容

① 高機能センサネットワークシステム開発

大口径MEMS用クリーンルームにおける各製造・評価装置や空調、純水製造等の周辺装置の消費エネルギー、温度、圧力、風量、異物粒子、ガスなどをセンシングすることにより、省資源、高効率に最も適した集積化センサチップ及びセンサネットワークシステムを検証し、省エネルギー、低炭素化などに関する効果を分析するための、センサネットワークシステムを試作する。

また、低環境負荷型及び異分野融合型次世代デバイス製造技術で開発したプロセス技術を活用した高機能集積化センサチップの開発に向け、ワイヤレス通信、エネルギーのワイヤレス自立、小型・薄型化と、エネルギー、温度、圧力、風量、異物粒子、ガスなどの高感度センシング機能、新たなセンシング原理を開発し、これらの数値を収集する。

② 低環境負荷型プロセス技術開発

シリコン貫通深掘り加工において、温室効果ガス排出量削減に向けて、温暖化係数の高い SF6 から代替ガスへの切り替えと、エッチレート高速化によるガスの消費量低減およびエネルギー消費効率の向上など環境負荷の小さい高効率なエッチングプロセスの開発をする。

また、ウェハ・ツリー・ウェハとチップ・ツリー・ウェハ技術を組み合わせて、ウェハサイズ、チップサイズ、チップ厚さに関わらず、様々な異種デバイスをウェハレベルで一括集積化する技術も開発する。さらに、従来のシリコンに比べ高い機械特性を有するポリマー材料を使ったMEMSを開発するとともに、従来のシリコンMEMSと異種材料MEMSとの多層集積化技術を開発し、環境負荷低減プロセスを提示する。

さらに本プロジェクト成果のデバイス機能検証のためのTEG (Test Element Group) ウ

ェハを設計開発及び試作すると共に、大口径TEGのデバイス・プロセス設計及び試作を行う。

3次元構造かつ可動部から構成される高機能センサ製造に不可欠となる設計―検査間の情報共有化フレームワークを構築し、そのフレームワーク上でマスク、3次元構造、及び機械的・電気的特性に関する設計情報を製造・検査に利用するだけでなく、非破壊検査装置の計測データを設計にフィードバックし、歩留まり・品質、スループットの向上を図るとともに、製造設備の電力使用量や温室効果・有害ガスの排出量などのデータを活用し、デバイス設計時から環境負荷を考慮した情報共有化技術を開発する。

3. 研究開発の目標

(1) 最終目標

① 高機能センサネットシステム開発

検証用のクリーンルームにおいて、従来比（1990年比）CO₂削減60%のセンサネット制御システムを開発する。また、一辺30mm、厚み10mm以内に複数のMEMSセンサと処理回路、無線回路、エネルギーデバイスとの融合を想定したセンサモジュールプラットフォームを作製する。

② 低環境負荷型プロセス技術開発

現状のSF₆ガスに対し、複数の代替候補ガスを調査・検討し、温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。また高機能デバイス薄膜の集積化に関し、250℃以下で大気圧付近から真空中で封止できる接合方式を決定する。さらに生体適合性ポリマーを用いたMEMS製造プロセスにおいて、シミュレーションを用いて機械特性などの機能数値を具体的に示す。

大口径MEMS用試作ラインにて、センサ用途等TEGの設計および試作を複数種類行い、歩留まり、生産性、効率性のデータとデバイスの動作を妨げる製造装置、製造プロセス、デバイス構造起因の欠陥・ばらつき等の課題を抽出する。研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術開発」の成果である中性粒子ビームエッチングをセンサTEGに適用し、デバイス性能への効果を検証する。

設計・計測・ファブ環境情報において共有化する情報を類型化し、データ共有化のためのデータフォーマット、それに付随する基本ソフトウェアの開発を行い、MEMS-TEGを用いてデータ交換および設計手法の検証を行う。また、クリーンルームおよび製造・検査装置に関わる消費エネルギー、二酸化炭素排出量など環境情報の収集管理の方法を決定する。