

図 1. 本研究課題で実施される基盤科学技術、応用技術開発、標準化

2. 研究課題の進捗状況

(1) 全体の進捗状況

基盤科学技術の2つのサブテーマにおいて、それぞれ以下のような特筆すべき成果が得られており、1分子解析に関するコア要素技術群の高度化は着実に進められていると評価される。

- ① トンネル電流による1分子識別技術の実証、及びそれを用いたゲーティングナノポア法による1分子DNAとRNAの塩基配列決定
- ② 第3世代ナノピラーによるDNAとマイクロRNAの500マイクロ秒での分離

応用技術開発の3つのサブテーマと標準化の1つのサブテーマにおいては基盤科学技術の成果を逐次取り入れながら、それぞれ以下のような進展がみられている。

- ③ ナノポア・ナノピラー・DNAチップ混載ハイブリッドデバイスの構成要素となる増幅・検出一体化デバイスの試作品により、検査時間30分以内を実証
- ④ 血液中に極微量含まれる血中循環がん細胞の分離回収ユニットとなるタンパク質除去モジュールの試作品により、99.9%の不要タンパク質を除去

- ⑤疾病マーカーの高効率回収が可能な静電噴霧型濃縮デバイスの試作品等により、サブ ppb レベルの検出感度を達成
- ⑥標準物質の選定と外部提供体制を確立

以上の基盤科学技術と応用技術開発の連携を通じた研究進捗状況から、研究課題全体として、順調に進捗していると判断される。

(2) 課題及び留意点等

実用可能なナノバイオデバイス群の創出に向けて、研究課題終了までに高信頼性を示す試作品の提示が望まれるため、残る研究期間においては残された諸課題の解決に向けて、産学連携をさらに強化した収束型の研究推進が期待される。

また、その実現が強く望まれている超高速単分子 DNA シークエンサー（1塩基1ミリ秒、24時間以内ヒトゲノム読み取り可能全自動検出器）については基盤科学技術において基礎検討段階であるものの、研究課題全体で得られた要素技術群を統合した成果に相当する位置付けであると考えられる。残る研究期間において、中心研究者のリーダーシップによって諸成果の糾合を加速し、実現に至るまでのさらに盤石な道筋が示されることが期待される。

3. 研究の推進・支援体制の状況

(1) 全体の推進・支援状況

研究推進体制としては、ナノテクノロジー分野での豊富な実績と基盤技術を有する中心研究者が所属する大阪大学と共同提案者が所属する名古屋大学を中核機関とし、5大学附置研究所と連携して、基礎研究を推進している。また、アカデミアと連携しながら東芝、東レ、パナソニックの3社がそれぞれ担当する応用デバイス開発を行い、特定非営利活動法人バイオチップコンソーシアム（JMAC）が標準物質開発を推進している。研究課題全体としては、約140名の研究者が参画している。

研究支援体制としては、大阪大学大型教育研究プロジェクト支援事務室の支援チーム（専任5名、兼任4名）に研究課題全体の支援を統括する中心事務局機能をもたせ、名古屋大学の支援チーム（専任4名、兼任6名）、科学技術振興機構の支援チーム（兼任2名、他に大阪大学へ2名派遣）、大阪大学内関係部署をはじめとする参加機関の関係部署と連携して、研究支援が行われている。

研究成果の実用化、普及に向けては、パテントマップ作成、市場調査といった多面的な活動を展開しており、ナノバイオデバイス製品群の実用化に向けてはこれらの取組みを機動的、効果的に活用することが期待される。

(2) 課題及び留意点等

研究の進捗に伴って特許出願件数が徐々に増加しているものの、企業の単独出願の比率が高い点と参加企業ごとに出願件数に偏りがある点が懸念される。中心研究者から積極的な出願方針が示されているものの、残る研究期間においては研究支援担当機関が共同研究機関にわたる研究支援をさらに充実させ、産学連携を一層深めた成果として大学と企業との共同出願のさらなる増加と全体的に偏りの無い知的財産権の確保が期待される。

4. 総合判断

1 分子解析技術に関するコア技術群の高度化による所望機能の実証とともに、それらの成果を搭載したナノバイオデバイス群の試作品等により各種性能指標の向上が行われており、今後も研究計画通りに進捗すれば、研究課題終了時において世界をリードするトップ水準の成果となると見込まれる。

目標の達成見通しについては、産学連携をさらに強化し、収束型の研究推進によって個々のナノバイオデバイス群の完成度を着実に高めるとともに、研究課題全体の統合成果として超高速単分子DNAシーケンサー実用化に至る明確な道筋を提示できれば、目標の達成は可能と見込まれる。

以上を総合的に勘案して、本研究課題については以下の取扱いとする。
プロジェクトを継続とする。

研究課題名	低炭素社会創成へ向けた炭化珪素 (SiC) 革新パワーエレクトロニクスの研究開発
中心研究者名	木本 恒暢
研究支援担当機関名	独立行政法人産業技術総合研究所

1. 研究課題の概要

パワー半導体デバイスは、発電から送電、最終使用に至るまでの様々な用途（送電網設備、家庭用電化製品、自動車等）で、電力エネルギーを制御する電力変換器（交流・直流変換器、昇圧・降圧回路等）に用いられている。炭化珪素 (SiC) は、現在のパワー半導体材料の主流であるシリコン (Si) を凌ぐ絶縁破壊電界や熱伝導率といった材料特性を備えており、優れた耐電圧性、低電力損失性、耐熱性をもつ次世代パワー半導体材料として期待されている。

本研究課題では、SiC の結晶成長技術からデバイス、回路に至るまでの様々な要素技術の完成度を高めることで、小型特殊用途にとどまらず大電力制御用途にまで普及対象を拡大させ、電力エネルギーの熱損失を大幅に低減し、省エネルギー化に貢献することを目指している。また、次世代電力インフラ用の超高耐電圧 SiC パワー半導体デバイスを実現するために以下の3つの目標を設定している。

- 「1」13kV-20A級の SiC PiN ダイオード (P層/高抵抗層/N層構造のダイオード)、IGBT (絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ) の実現
- 「2」250°C、5kV スイッチング動作の実証
- 「3」上記を可能とする材料科学、デバイス物理、結晶技術の確立

これらの目標を達成するため、以下の3つのサブテーマを推進するとしている。

- [1] SiC の欠陥・物性制御とデバイス基礎
- [2] 超厚膜・多層 SiC エピウエハ技術
- [3] プロセス基礎・超高耐圧 SiC デバイス技術

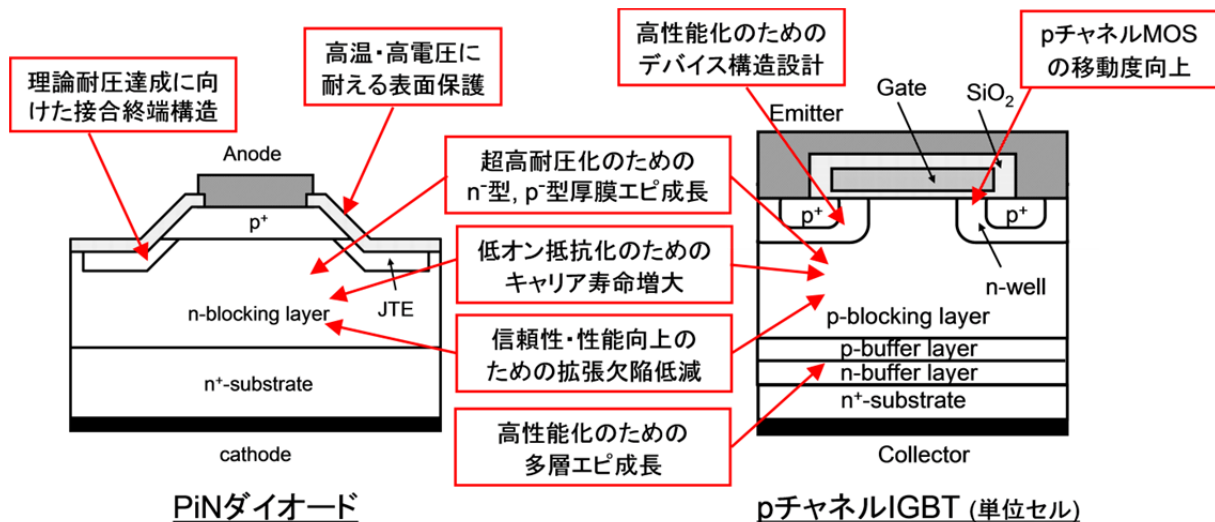


図1. 目標とするデバイス構造と技術解決に取り組む諸課題例

2. 研究課題の進捗状況

(1) 全体の進捗状況

SiC パワー半導体デバイスに関する要素技術について、材料、設計、プロセス、実装、評価といった多岐に渡るフェーズで様々な技術課題の改善に取り組んでいる。基礎研究で知見を深め、その成果をエピ成長、デバイス開発に活用しながら研究開発を推進しているが、これまでに

- ・ SiC パワー半導体デバイスの拡張欠陥の主要因となっていた基底面転位の密度を従来の $10 \text{ 個}/\text{cm}^2$ レベルから $0.1 \text{ 個}/\text{cm}^2$ 以下にまで飛躍的に低減
- ・ キャリア寿命の改善によって通電時の電力損失（導通損失）低減を狙い、キャリア寿命を制限する $Z_{1/2}$ センター欠陥の起源となる炭素空孔を低減させる2つの手法（炭素イオン注入・熱処理法、熱酸化・熱処理法）を開発。これによって欠陥密度を検出限界（ $10^{11} \text{ 個}/\text{cm}^3$ ）以下に低減し、キャリア寿命を従来の1マイクロ秒から30マイクロ秒以上に向上することに成功。
- ・ 8mm 角のチップサイズで 12.8kV の耐電圧と 20A の定格電流をもつ SiC PiN ダイオードを作製

といった世界をリードする成果が得られており、研究課題全体として順調に進捗していると判断される。

(2) 課題及び留意点等

所期の目標である 13kV-20A 級の SiC IGBT の作製と高温スイッチング動作 (250°C、5kV) 実証の達成に向けては、デバイスグループと基盤研究・エピ成長グループとの緊密な連携が必要不可欠である。引き続き中心研究者がリーダーシップを発揮することで、デバイスの構造、プロセス、最適設計等での技術課題を迅速に基盤研究・エピ