

# 次世代省エネ型デバイス関連技術の開発・実証事業（第二期）

## 基本計画書

### 1. 目的

総務省では、未来の情報通信を実現するために必要な基盤的技術の研究開発の一環として、これまで次世代デバイスの基礎研究を推進してきた。我が国政府としても、2030年度の温室効果ガス46%削減（2013年度比）、2050年カーボンニュートラルという目標を掲げており、電子デバイス向けの関連技術の進展及びその社会実装を図ることが喫緊性の高い政策課題となっている。

このような状況を背景として、本研究開発では、Society 5.0の推進により、あらゆるものがICTでつながり電化していく社会においてエネルギーが制約要因にならないために、大幅な省エネ技術を確立することで情報通信由来のCO<sub>2</sub>排出を減らす（Green of ICT）こと、及び次世代デバイスを用いた再生可能エネルギーの導入促進、情報通信機器の小型化、自動車等のワイヤーハーネスフリー化による軽量化、極限環境下で活動可能なロボットの実現による既存作業の高効率化等の様々な想定されうる用途においてCO<sub>2</sub>排出を減らす（Green by ICT）ことを念頭におき、ワイドギャップ半導体の一種である酸化ガリウムを用いた次世代デバイス関連技術に取り組む。

上記の目的の実現に向けて、「超低消費電力」及び「極限環境下での情報通信」を実現しうる、酸化ガリウムを用いた様々な次世代デバイスの製品化に向けた民間事業者の事業予見性を高めるために必要な技術の開発・実証試験等を実施する。

また、日本が開拓してきた酸化ガリウム半導体分野について、世界に伍する重要な技術分野に関する論文の発表・特許取得や技術的貢献等を実現することで、国際産業競争力や気候変動枠組条約等での国際交渉におけるプレゼンス向上のコベネフィットを獲得することも目指す。

## 2. 政策的位置付け

- 「統合イノベーション戦略 2023」（令和 5 年 6 月 9 日 閣議決定）においても、「ポストコロナ時代の新しいライフスタイルやデジタル分野の脱炭素化のため、AI 技術等の活用による DX による社会最適化（Green By デジタル）、データセンターのゼロエミッション化に向けた取組、多種多様な電気機器（AI 制御、LED 等）に組み込まれている各種デバイスを高品質窒化ガリウム（GaN）等の次世代半導体により高効率化し、徹底したエネルギー消費量の削減を実現する等の省エネ技術に関する技術開発・実証及び社会実装を推進。（総務省・環境省・文科省）」と位置づけられている。
- 「経済財政運営と改革の基本方針 2023」（令和 5 年 6 月 16 日 閣議決定）、いわゆる「骨太の方針」においても、「（前略）次世代半導体を含め我が国がグローバルサプライチェーンの中核となることを目指し、半導体産業への支援を始め、政府を挙げて国内投資の更なる拡大や研究開発、人材育成に取り組んでいく。」とされている。
- 「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2023 改訂版」（令和 5 年 6 月 16 日 閣議決定）にも、「半導体は、高性能化・低消費電力化することにより、高度・高速・省電力でのデータ処理や計算が可能となり、生産性向上や社会生活に与える影響も大きい。自動車や産業ロボット等の利用側でのデータ処理が拡大することが確実である中、GX・DX の観点からも、安定的なサプライチェーンの確保や、関連産業を含めた国内投資促進が期待される。（中略）研究開発・量産化支援を通じ、2020 年代のうちに次世代半導体を実用化するための設計・製造基盤を確立する。」とされている。
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和 3 年 10 月 22 日 閣議決定）においては、「半導体・情報通信産業については、①デジタル化によるエネルギー需要の効率化・省 CO2 化の促進（グリーン by デジタル）と、②デジタル機器・情報通信産業自身の省エネルギー・グリーン化（グリーン of デジタル）の 2 つのアプローチを車の両輪として各種取組を推進し、2040 年に半導体・情報通信産業のカーボンニュートラルを目指す。」とされている。
- さらに「Beyond 5G 推進戦略 -6G へのロードマップ-」（令和 2 年 6 月 30 日 総務省取りまとめ）では、「酸化ガリウムデバイスは超低消費電力技術の 1 つとして官民間問わず積極的に進めるべき技術」と位置づけられている。
- 加えて、「革新的環境イノベーション戦略」（令和 2 年 1 月 21 日 統合イノベーション戦略推進会議決定）において、「デジタル技術を用いた強靱な電力ネットワークの構築、高効率・低コストなパワーエレクトロニクス技術等の開発の一環として、窒化ガリウム等の次世代半導体の開発技術を活かし、通信機器

や、レーザー、ワイヤレス電力伝送へ応用可能な技術の研究開発から社会実装及び窒化ガリウム等の次世代パワー半導体の高性能化技術や低コスト化技術の開発に取り組む」とされている。

### 3. 目 標

#### (1) 政策目標（アウトカム目標）

現在、情報通信分野として懸念されるエネルギーに関連した課題として、5Gの浸透・普及やAI・IoTの進展に伴うネットワークへの接続機器数の増大により爆発的なトラフィックの増加や人工知能の学習のために電力消費量が急増していくことが予想されており、国立研究開発法人科学技術振興機構の「低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書 技術普及編 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol. 1)平成31年3月」によると、省電力技術が発達しないと、2030年には現在の総電力を大きく上回る電力をIT関連機器だけで消費する可能性があるとされている。

Society 5.0の推進により、あらゆる分野の電化が進み、ICTはあらゆる分野と融合していく社会が想定される。各種機器が電化していき、またICTが様々な分野のグリーン化を促進していく際に、省エネ性能が高く安価で極限環境下においても動作する等の多様なメリットを有する次世代半導体技術がなければ、情報通信インフラ及び将来的にICTと深く結びつく分野（例えば電気自動車等）由来のCO2排出が情報通信の発展の阻害となりうることも懸念される。

こうした課題を踏まえて、情報通信社会のグリーン化（Green of ICT）と情報通信技術によるグリーン化（Green by ICT）を実現しうる次世代デバイスを実社会に実装するために必要な要素技術を確立するとともに、脱炭素化に向けた国際社会への技術イノベーション面での貢献に資する重要な論文・特許等につながる成果を生み出し、産業投資を促進することを狙いとする。

このような取組により、我が国の産業競争力及び国際社会における地位の向上等の国際交渉力の強化を図るとともに、政府としての重要課題である日本社会のデジタル化・グリーン化に貢献する。

#### (2) 研究開発目標（アウトプット目標）

コストを低く抑えた上で「超低消費電力」及び「極限環境下での情報通信」を実現しうる次世代デバイスを開発するため、民間企業での投資判断・産業化の可能性を見極めるために必要なマイルストーンとしての位置づけで、酸化ガリウムの性能を最大限に引き出す2インチ以上の高品質酸化ガリウムウェハ作製、量産性に優れた薄膜成長技術（例えば、有望な技術と見込まれるトリハライド気相成

長 (THVPE) 法や有機金属気相成長 (MOCVD) 法等において、十分な成長速度・導電性制御機能・表面均一性等の特性を有するエピタキシャルウェハの製造技術) の確立、及び耐圧 1 kV 以上等の産業化の可能性の見極めに必要なスペックを満たすデバイス作製技術等を確立するとともに、次世代半導体の省エネ効果を示すため、開発デバイスによる省エネ性能に基づき、期待される CO2 削減量を推定する。

また、民間企業等と密に連携した上で、当該技術に関し国際的に重要となる大きなインパクトのある論文や国内外の特許等の成果を獲得し、国際学会・論文誌・プレスリリース等を通じてその有用性を国内外に積極的に発信し、次世代半導体関連分野における我が国の産学連携による国際競争力の強化を図る。なお、その際、脱炭素社会に資する優れた技術を日本から発信していくことによる日本の国際的プレゼンスの向上等を含む。

## 4. 研究開発内容

### (1) 概要

幅広い用途において世界規模での省エネ、及び CO2 排出量の大幅削減を可能とする、酸化ガリウムデバイス (トランジスタ、ダイオード) 基盤技術の研究開発を実施する。

酸化ガリウムは、半導体材料として広く用いられるシリコンの 1.1 eV、現在技術開発が先行する次世代半導体材料のシリコンカーバイドや窒化ガリウムの 3.3~3.4 eV に比べて、さらに 1 eV 程度大きな 4.5 eV 以上のバンドギャップを持つ。また、パワーデバイスへの適正を推定する指標であるバリガ性能指数でも、酸化ガリウムはシリコンカーバイドや窒化ガリウムの数倍大きな数値を示す。さらに、酸化ガリウムは、融液成長による大型単結晶バルクの育成が可能であり、デバイス化における技術的な課題はあるものの理論上は他の次世代半導体材料よりも大幅な製造コストの低減が可能な物質だと考えられている。

これらの理由から、酸化ガリウムデバイスは、製造コストを十分低く抑えた上で、高効率かつ低損失なデバイス性能が得られる可能性が高い。また、航空機等の輸送機器のエンジンルーム・宇宙環境に代表される高温・放射線下等の極限環境においても、長期間の安定的な動作が可能であると考えられ、半導体デバイスの新たな適用分野を開拓する可能性もある。その実現による裨益は幅広く、可能性として例えば、再生可能エネルギーの導入促進、情報通信機器の小型化・高効率化、自動車等のエンジン近傍における高周波デバイス制御によるワイヤーハーネスフリー化による軽量化、極限環境下での電波方式による無線給電、また極限環境下で活動可能なロボットの実現による既存作業の高効率化やこれまで出来なかった作業の実施等、2030 年以降の社会の様々な省 CO2 型/デジタル型社会の実現に大きく貢献することが期待される。このような高度な ICT システムを実現する

ためのデバイス作製に必要な技術の研究開発を実施する。

## (2) 技術課題

酸化ガリウムデバイス技術として、以下の3項目において技術の研究開発・実証に取り組む。

### ア) 高品質な単結晶バルク、ウェハ製造技術の確立・実証

半導体デバイスの社会実装のためには、製造コストに大きく関係するウェハ径の大型化と、高いデバイス性能を達成するための高品質化が重要である。加えて、酸化ガリウムのポテンシャルを最大限に引き出すため、物性的に優れた結晶面を主面としたウェハの量産化も求められる。

現在、国内で製造されている入手可能なサイズ2インチ径以上の酸化ガリウムウェハは、製造が比較的容易等のメリットがあるが、省エネ性能を含めたデバイスとして重要となる性能(例:熱伝導率・電子移動度等)が理論的に最大となる結晶面のものではない。

他方で、省エネ性能を含めたデバイスとして重要となる性能が理論的に最大となる結晶面(※)を持つ酸化ガリウムウェハ(以下、「高品質酸化ガリウムウェハ」と定義する。)は、我が国を含め国際的に活発に研究開発が進められている。本研究開発の第一期においては、開始時では最大でも1インチ径程度のウェハ製造技術しか存在しなかったところ、2インチへの大口径化を実現したが、その結晶性には技術的な改善が必要である。

※ 結晶面がいわゆる*b*面(ミラー指数が(010)を示す面が主面)のもの

### イ) 薄膜エピタキシャル成長技術の確立・実証

現在、デバイス応用に向けた代表的な酸化ガリウム薄膜エピタキシャル成長技術には、分子線エピタキシー(MBE)法、ハライド気相成長(HVPE)法、有機金属化学気相成長(MOCVD)法、ミスト化学気相成長(CVD)法がある。

これらの中で、HVPE法及びMOCVD法は、物性として最も安定している結晶相であるβ酸化ガリウムの薄膜成長に適性があると考えられ、酸化ガリウムパワーデバイスの産業化に適した低コストでの高速、高品質薄膜成長の実現が期待されている。また、ミストCVDは、α酸化ガリウムの薄膜成長に適性があると考えられ、低温で反応が進み、簡便な装置で成膜が可能である。総じて、環境負荷が小さい持続可能な製造方法であるが、実用化のためには技術的な課題解決が必要である。

例えば、HVPE法は、不純物が入らない形で高速成長を可能とするが、Ga供給源の種類により、結晶の品質、成長速度に加えて、実際の製造工程における量産性(Ga供給源の急激な反応の制御の要否、調達性、固体物質であるか等)が大きく変わる。したがって、民間企業において商用化に向けたHVPE

装置の製造・量産を行うために必要となる経済性と品質を両立するための技術を確認する必要がある。本研究開発の第一期において、一塩化ガリウムを用いた他の方法に比べて取扱いが容易であり、量産性に優れる固体状の三塩化ガリウムをガリウム源とするトリハライド気相成長（THVPE）法について、小型の大気圧 THVPE 炉を稼働させ、従来の HVPE に比べ気相反応が抑えられた上で同等の成長速度を達成できること等、HVPE 法の中でもとりわけ THVPE 法が有望であることを確認した。一方で、厚膜成長における面内膜厚のばらつきの低減や導電性制御のための均一なドーピングに関する技術については課題として残っている。

MOCVD 法については、ウェハの大口径化により大幅なコスト低減が期待できる等の HVPE 法より優れた点がある一方で、本研究開発の開始時点ではその成長速度の遅さ・反応制御の難しさ・混入する不純物の多さ等の課題があり、ほとんど検討されていなかった。MOCVD 法によるエピウェハの製造技術を確認することにより、大幅なコスト低減に加え、高周波デバイス関連技術の進展が見込まれる。これにより無線通信の分野への裨益に加え、極限環境下における高周波デバイスの活用等による新たな省エネ・脱炭素化施策の可能性を開いていくと考えられている。本研究開発の第一期においては、酸化ガリウムデバイス用の MOCVD 装置を開発・稼働させ、HVPE 法に匹敵する高速成長の技術を確認し、課題であった反応の制御と成長速度の遅さについて解決に一定のメドを立てた。一方で、課題として残る不純物混入の低減に加え、民間企業による商用化に向けては、表面均一性や導電性の制御性能等の技術の向上による更なる高品質化と、民間企業における経済性と品質を両立する MOCVD 装置の製造・量産技術の確立が必要である。同じく  $\beta$  酸化ガリウムエピウェハの製造に有望な技術である HVPE 法との比較の観点では、第一期において MOCVD 法の有用性を一定程度示した一方で、MOCVD 法と HVPE 法のどちらが優位性を持つかについては未だ不明瞭な点が多い状況である。MOCVD 法は前述のようなコストやデバイス化の観点での様々な優位性を発揮するポテンシャルがあると考えられる一方で、HVPE 法は、現時点で安価かつ高速な薄膜成長が可能なプロセスであり、原理的に炭素・水素等の不純物が混入せず高純度の理想的な薄膜成長が可能であるため、前述の課題が解決されれば更に利便性の高い薄膜成長技術となりうる。これらを踏まえ、両者に残る課題を検討した上で、ウェハ製造やデバイス化のプロセスの研究開発と連携し、HVPE 法と MOCVD 法を比較し評価する必要がある。

ミスト CVD 法は、簡便な装置及び手法でデバイス化が可能な一定レベルの品質の成膜が可能な点に特色があることに加えて、HVPE 法・MOCVD 法で得られる結晶構造とは異なる準安定相の  $\alpha$  酸化ガリウムの薄膜成長に適した手法である。準安定相の  $\alpha$  酸化ガリウム薄膜については、安定相の  $\beta$  酸化ガリウム薄膜の方が基本的な物性は優れていると考えられるものの、 $\beta$  酸化ガリウ

ム薄膜とはデバイス作製に際し違ったデバイス構造となることから、パワーデバイス、極限環境デバイス等の様々な用途において $\beta$ 酸化ガリウム薄膜を用いる場合とは異なる可能性を有するが、論文等の報告が少なく民間企業の事業予見性が低い。本研究開発の第一期では、準安定相の $\alpha$ 酸化ガリウムのデバイス特性を評価するための欠陥構造の観察手法やドーピング制御技術等の必要な技術を確認し、ミスT CVD法を薄膜エピタキシャル成長技術として活用しデバイスを作製していく上で一定のメドを立てた。一方で、ミスT CVD法を用いてデバイスを作製するためには、結晶性の向上やオン抵抗の軽減等の技術課題に関して検討を進める必要がある。

諸外国に対して酸化ガリウムデバイス技術における我が国の多様な面での優位性を担保し、次世代半導体による機器の省エネ性能の向上や極限環境下への対応等により、酸化ガリウムの特性を踏まえた新たな情報通信や脱炭素技術を実現するためには、今後のウェハの大口径化を踏まえた上で、各薄膜エピタキシャル成長技術のコスト・品質・デバイスの生産性等の観点から技術開発を行うとともに、候補となる成長技術を比較し、目的に応じた最適な手法を見出し産業界に技術や知見を提供する必要がある。

## ウ) 次世代デバイス技術の確立・実証

現在、酸化ガリウムパワーデバイス開発においては、プロセス要素技術の開発が進み、産業化に向け必要な性能を満たした上で量産性を確保する等の観点から、縦型・横型トランジスタ、ショットキーバリアダイオード (SBD) 構造の試作、動作実証等が行われている段階にある。

今後、Society 5.0の推進によりあらゆるものがICTでつながり電化していく社会を確立するには、より高性能なパワー・高周波デバイスを実現し、様々な企業における実用化、産業化の可能性を高め、広く民間企業のデバイスビジネスに利活用できるようにすることが重要である。そのため、縦型・横型トランジスタ、SBDの高性能化・量産化に向けた基盤技術を確認するとともに、省エネ性能を示すため、期待されるCO<sub>2</sub>削減量を推定することが必要である。また、実際のデバイスとして活用するためには熱設計も重要な観点である。酸化ガリウムは熱伝導率については相対的に低く、熱伝導性の高い物質を活用したサーマルパスを発熱部近くに設ける等の取組により、デバイスとしての放熱性を上げるような取組も併せて重要である。

同時に、現状の半導体エレクトロニクスでは適用が困難な宇宙等の極限環境での用途においても、長期間安定的に動作可能なICTデバイス技術を確認するための開発も行うことで、革新的なIoT社会の実現への寄与が期待できる。

第一期では、各種デバイスに関し、研究開発を実施した結果、以下のよう

な課題が明らかになったところである。

- ・ 縦型パワートランジスタに関しては、現状最も開発が進んでいるフィン電界効果トランジスタ (FinFET) に関して、高品質酸化ガリウムウェハを用いた世界初の動作実証に成功した。またそのデバイス特性評価では、高品質なゲート絶縁膜/酸化ガリウム界面が形成されており、高品質酸化ガリウムウェハによってパワートランジスタの性能が向上することを示唆する結果が得られた。今後の課題としてゲートリーク電流の低減や量産性の改善等の技術課題が示された。
- ・ 縦型パワーSBDについては、オン抵抗  $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  以下、耐圧  $2 \text{ kV}$  以上のデバイス特性を実現し、実際のパワーデバイス製品において重視される信頼性・耐久性について顕著な問題がないことを確認した。今後、ア) 及びイ) の成果を活用し、高品質酸化ガリウムウェハならではの性能を評価することが必要である。また、縦型SBDはマイクロ波無線電力伝送等のための高周波デバイスとしても有望であり、第一期でのMOCVD法での薄膜成長技術の進展も踏まえ、酸化ガリウムデバイスの応用先として、関連の研究開発をより強化して実施していくことが望ましい。特に、安定相である $\beta$ 酸化ガリウムに限らず、準安定相であるサファイア基板上の $\alpha$ 酸化ガリウムについても、基板がマイクロ波領域で低損失であること等から縦型高周波SBD適性があると考えられるため、上記の技術的進展等を踏まえ両者について具体的な適用先を見据えた研究開発を推進する必要がある。
- ・ 極限環境用の横型高周波トランジスタについては、宇宙空間等の高放射線下での高速無線通信を実現するには、最大発振周波数  $20 \text{ GHz}$  以上、ガンマ線耐量  $1 \text{ MGy}$  以上のデバイスが求められる。第一期において、高周波酸化ガリウムFETを試作しガンマ線照射実験を実施したところ、先行研究で用いた簡易な構造のデバイスと比較して、ガンマ線耐量が  $1/5$  程度まで大幅に小さくなることが分かった。今後、デバイス特性及び放射性耐性の改善に向けこれまでと違ったアプローチが必要である。また、地熱発電施設、砂漠での再生可能エネルギー発電施設、機械エンジン部位周辺等の高温下での無線通信制御等を実現可能とするために、室温下周波数  $2 \text{ GHz}$  において  $0.1 \text{ W}$  以上の出力電力を有するデバイスの開発や、 $300 \text{ }^\circ\text{C}$  以上における高温環境での動作信頼性の評価も行っていく必要がある。

### (3) 到達目標

#### ア) 高品質な単結晶バルク、ウェハ製造技術の確立・実証



国際的に広く市場が期待できる高品質酸化ガリウムウェハの大口径化を目的として、2インチ以上の口径を維持し結晶性も改善した高品質な単結晶バルク、ウェハ製造基盤技術を実証、確立し、実用に耐えうる高い性能を有するデバイスの実現につなげる。

- ・高品質酸化ガリウムウェハ製造のために、酸化ガリウムが有する結晶の異方性に留意した上で、バルク育成手法や切断・研磨等の基板加工技術を開発し、ウェハ量産化を念頭に当該技術を確認する。具体的には、2インチ以上のサイズの単結晶酸化ガリウムバルク、及び2インチ径以上の高品質酸化ガリウムウェハを製造する単結晶バルク、ウェハ製造技術を、X線ロックアップ測定のパーク半値幅が350 arcsec以下である全面単結晶で確認する。加えて、高品質酸化ガリウムウェハの試作、結晶品質評価（表面平坦性、転位・欠陥密度、電気的特性評価等）を実施し、その特性を確認するとともに、イ）とウ）と連携することで、高性能デバイスへの適用が可能な結晶品質を実現する。

#### イ) 薄膜エピタキシャル成長技術の確立・実証

ウ) で実施する酸化ガリウムパワーデバイスの実現に必要な薄膜エピタキシャル成長技術のうち、HVPE法及びMOCVD法を含む薄膜エピタキシャル成長技術の開発を行い、ア)ウ)の研究開発と連携して比較することで、量産を念頭においたデバイス製造の最適な条件を明らかにし、目的に応じた最適な薄膜エピタキシャル成長技術を見出すことを目標とする。

- ・HVPE法を用いた技術の場合は、トリハライド気相成長（THVPE）法について、2インチ径以上の酸化ガリウム基板を用い、20  $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の酸化ガリウム層成長速度を維持した上で、10  $\mu\text{m}$ 以上の厚みのホモエピタキシャル層を面内膜厚のばらつき（最大値と最小値の差の平均値）5%未満で安定して成長させ、n型ドーピングによる電子濃度を $10^{16}\sim 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ で制御する技術を確認する。
- ・MOCVD法を用いた技術の場合は、HVPE法と同様に、2インチ径以上の酸化ガリウム基板を用い、10  $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の酸化ガリウム層成長速度を維持した上で、原料ガス由来の不純物の薄膜成長への影響を抑制し、ウ)と連携し必要に応じて15  $\mu\text{m}$ までの任意の厚みのホモエピタキシャル層を面内膜厚のばらつき（最大値と最小値の差の平均値）5%未満で安定して成長させ、n型ドーピングによる電子濃度を $10^{16}\sim 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ で制御する技術を確認する。

優れたデバイス技術の実証・確立を念頭におき、成膜成長速度・表面均一性・導電性制御・成膜プロセス等の観点から基礎的な検討を行い、上記に記載の課題を解決し、高品質なエピ基板を作製し、ア)ウ)と密接に連携(製造したエピ基板の提供・デバイスの性能を最大化するために必要な薄膜成長プロセスの高度化に必要な試験等を実施)し、量産に必要なデバイス製造基盤技術を確立することを目標とする。

## ウ) 次世代デバイス技術の確立・実証

家電製品や自動車等を始め多種多様な用途でパワーデバイスの適用が可能な範囲として広い需要が見込め、かつ産業化の可能性の見極めが可能となる耐圧 500~2000 V(2 kV)程度の領域を想定し、各活用先に応じて十分に機能を発揮することが可能な縦型パワートランジスタ・縦型パワーSBDを実現する。また、極限環境(高放射線下・高温下)においても長期間安定的に作動可能な ICT デバイスに適用可能な縦型高周波 SBD・横型トランジスタを製造する。

- ・縦型パワートランジスタについては、オン抵抗  $20 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$  以下、耐圧 1 kV 以上のデバイス特性を維持・更なる改善に取り組み、また放熱性も確保した上で、ゲートリーク電流の低減に伴うスイッチングデバイスとして求められるオン/オフ比 6 桁以上の実現と、デバイス構造やその製造プロセスを踏まえた量産性の改善に取り組む。
- ・縦型パワーSBDについては、第一期で確立した技術とア)及びイ)の成果を各々の進捗に応じて適用し、実際の製品仕様として重要なサージ電流耐量(電流二乗時間積)について 10 A 級デバイスを試作し評価し、その特性改善のための課題を明確にする。サージ電流耐量はデバイスの放熱性に依存するため、熱伝導率や移動度が異なる複数の結晶面で実証し評価する。
- ・縦型高周波 SBD については、 $\alpha$  及び  $\beta$  酸化ガリウムの両者についてデバイスを作製し動作確認する。 $\alpha$  酸化ガリウムデバイスに関しては、サファイア基板を用いた  $\alpha$  酸化ガリウムのエピウェハの特徴を生かしたデバイス作製技術を確立する。 $\beta$  酸化ガリウムデバイスに関しては、高周波 SBD 作製に新たに必要となるデバイス作製プロセスの要素技術を確立する。これらの取組を通じ、両者について、電極直径  $10 \mu\text{m}$  において、デバイス特性としてオン抵抗  $3 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$  以下、オフ耐圧 30 V 以上を実現する高周波デバイスの開発を目指す。

- ・横型高周波トランジスタについては、第一期で試作したものとは違ったアプローチで本用途に適したデバイス作製手法を検討・デバイス構造を設計し、試作・デバイス特性評価を行い、最大発振周波数 20 GHz 以上においてガンマ線耐量 1 MGy 以上を実現することと、室温下 2 GHz の周波数で 0.1 W 以上の出力電力を有するデバイスを実現することを目標とする。また上記で製作したデバイスに関して高温環境での動作信頼性を評価するため 300 °C 以上における動作試験も実施する。
- ・上記の取組を実施する上で、多様なデバイスの作製において共通に利用可能な、ドーピング技術、デバイス表面の安定性・特性向上技術、デバイスチップ化に必要となるウェハ加工技術、トランジスタノーマリーオフ化のために必要なプロセス技術などのデバイスプロセス基盤技術を確立する。

## 5. 実施期間

令和6年度から令和7年度までの2年間

## 6. その他 特記事項

### (1) 提案及び研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果（アウトプット等）の取扱方策（研究開発課題の分野の特性を踏まえたオープン・クローズ戦略等を含む）について提案すること。
- ② 実用化については、酸化ガリウムのほか窒化ガリウムやシリコンカーバイド等の他の半導体材料を含め、半導体関連技術に関するこれまでの内外の開発・実用化動向を分析・記載し、酸化ガリウムデバイスのターゲット市場や求められるコスト・特性等を分析・記載した上で、それらの点を踏まえて事業終了後の早期の実用化を念頭においた実用化目標年度、実用化に至るまでの段階を明示した取組計画等を記載し、その取組計画と整合性がとれる形で提案すること。その上で、令和7年度の事業終了時に、4（3）ウ）に記載の各デバイスに関して、どれくらいのコスト・特性が実現されており、また今後実現可能となる見込みかについて、産業界の投資判断に有用な形でとりまとめ、6（3）①に記載のシンポジウム等で発表すること。
- ③ 目標を達成するための具体的な研究方法、実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について提案書の中にできるだけ具体的に記載すること。複数機関による共同研究を提案する際には、分担する技術間の連携を明確にし、インタフェースを確保すること。
- ④ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者（例えば、半導体業界の民間企業（メーカー）の研究者、技術者）等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。
- ⑤ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、本研究開発に関する情報及び技術開発の成果の開示等に可能な限り応じること。

- ⑥ 本研究開発の第二期の実施に当たっては、令和3年度から5年度まで実施した第一期の実施者と密に連携し成果等を十分に活用すること。

## **(2) 人材の確保・育成への配慮**

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表する等、将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

## **(3) 研究開発成果の情報発信**

- ① 本研究開発で確立した技術について、本研究開発の終了前にシンポジウムを開催し普及啓発活動を実施する。その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省及び連携先の環境省においてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、上記のシンポジウムとは別に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において、研究開発の進捗状況や成果について説明等を行う旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発終了後に成果を論文発表、プレス発表、製品化、Webサイト掲載等を行う際には「本研究は、総務省 ICT 重点技術の研究開発プロジェクト (JPMI00316) 次世代省エネ型デバイス関連技術の開発・実証事業（環境省連携事業）の委託を受け実施したものである。」との注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。文言の修正が必要な場合は総務省担当官と相談し修正すること。

※ 英語で記載する場合：This work was supported by MIC under a grant entitled “R&D of ICT Priority Technology (JPMI00316): Next-Generation

Energy-Efficient Semiconductor Development and Demonstration Project  
(in collaboration with MOEJ).”

**(4) その他 特記事項**

本研究開発は、環境省との連携事業の一環としてエネルギー対策特別会計エネルギー需給勘定により実施されるものであり、環境省が行う気候変動対策の政策立案・国際交渉等を実施するにあたって参考となる本研究開発の技術的進展の成果を、必要に応じて環境省へ情報提供すること。

以上