

令和7年度 終了評価書

研究機関 : 国立研究開発法人情報通信研究機構、Orbray(株)、東京農工大学、大阪公立大学、日新イオン機器(株)、(株)レーザーシステム、三菱電機(株)、京都大学

研究開発課題 : 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)

研究開発期間 : 令和6年度 ～ 令和7年度

代表研究責任者 : 東脇 正高

■ 総合評価(5～1の5段階評価) : 評価3

■ 総合評価点 : 20 点

(総論)

酸化ガリウム半導体は我が国が強みを持つ技術であり、今後ますます重要性が増す領域を対象にしていることから、我が国の国際競争力の維持・強化に資する本研究開発の目的・政策的位置付けは妥当であると評価できる。

本研究開発は概ね計画通りに研究が進められ、一部目標未達があるものの、目標を上回る成果も達成しており、実用化の検討も進められていることは評価できる。

今後も、市場動向等を踏まえた継続的な研究開発が期待される。

(被評価者へのコメント)

- Ga_2O_3 は我が国が強みを持つ技術として将来有望で、次世代のパワーデバイスとして期待されており、研究開発の目的・政策的位置付けは妥当であったと考えられる。本研究開発を通じて、多くの研究開発成果が得られており、今後取り組むべき技術の方向性も明確化されつつある。市場動向を踏まえた継続的な研究開発の取り組みを期待する。耐電流10Aの縦型 Ga_2O_3 のSBD など、早期の市場導入が期待できるデバイスも開発され、商用化の検討が進められつつある。EV、データセンタ、フィジカルAIなどパワーデバイスの環境は大きく変化していることから、SiC等の既存パワーデバイスに対する、 Ga_2O_3 の適用領域の明確化、アプリケーション開拓を期待する。
- 酸化ガリウムを用いて超低消費電力および極限環境下での情報通信を実現することは、我が国だけでなく全世界の課題である。本課題は多数の要素技術ごとに数値目標が設定されている。その中には目標を達成していない要素技術があるが、目標以上の成果を挙げた要素技術もある。総合的に概ね目標を達成している。これまで、酸化ガリウム半導体の技術開発は我が国が主導してきた。今後も国際競争力を高めて、全世界の省エネに貢献するべきである。
- 本研究開発は我が国にとって今後ますます重要性が増す領域を対象にしている。各研究テーマ間で連携を取って研究を進めており、ほぼ計画通りに進捗した。成果も期待以上のものも挙がっている。
- 一部未達があるものの、薄膜結晶成長についての結果を評価したい。

(1) 研究開発の目的・政策的位置付けおよび目標

(5～1の5段階評価) : 評価4

(総論)

酸化ガリウム半導体は次世代のパワーデバイスとして期待されており、AIの普及に伴う高効率電源の需要等を背景に、本研究の必要性は高まっている。また、酸化ガリウム半導体は我が国が優位性を有する技術であり、本研究開発は我が国の国際競争力の維持・強化に資するものである。そのため、本研究開発の目的・政策的位置付け及び目標は妥当であると評価できる。

(被評価者へのコメント)

- Ga₂O₃デバイスについて、結晶、ウェハ製造技術、エピタキシャル成長技術、デバイス技術と広範な課題に取り組んだ。Ga₂O₃は次世代のパワーデバイスとして期待されており、我が国が優位性を持っている技術分野であるので、研究開発の目的・政策的位置付けは妥当であったと考えられる。
- 酸化ガリウムを用いた次世代デバイスの製品化に必要な技術の開発と実証試験を進めることは、現時点でも有意義である。我が国が酸化ガリウム半導体の技術開発を主導しており、さらに国際競争力を高めるとともに、全世界の省エネに貢献するべきである。
- 当初予想していたEVに代表される自動車電動化の推進だけでなく、AIの普及に伴う高効率電源の需要は、世界的に今後ますます伸びると予想される。特に2026年に入り、この状況が一層明確となって来た。本研究の必要性は一段と増したと思われる。わが国として、さらに積極的にサポートする必要があるテーマである。
- 熱などの面で優位性を発揮できると考えられ、日本発祥であり研究面で優位に立っていると考えられる酸化ガリウムにおいて、さらに優位性を保つためのテーマ設定であり、国が推進すべきものである。

(2) 研究開発マネジメント(費用対効果分析を含む)

(5～1の5段階評価) : 評価3

(総論)

酸化ガリウム半導体の広範な課題を含む探索型の研究開発であり、一部目標未達も見受けられるものの、それぞれの課題において有効な成果が得られている。また、各研究テーマ間で良く連携を図りながら、研究開発が進められた点は評価できる。

(被評価者へのコメント)

- Ga₂O₃ デバイスの広範な課題を含む探索型の研究開発であり、目標を上回る成果と目標未達の両方が混在するものの、それぞれの課題で有効な成果が出ており、技術的な方向付けができつつある。
- Orbray (株) は、酸化ガリウムのウェハ市場の動向を注視して、高抵抗型結晶よりも n 型結晶の研究開発を優先するといった取捨選択を行い、三菱電機 (株) がショットキーバリアダイオード (SBD) の耐性評価をする際には、エピタキシャル成膜を東京農工大が提供するといった連携が図られている。
- ウェハ、エピ開発からそれを使った素子試作に至るまで、良く連携が取られている。(010) 基板にエピ成膜し、SBD の作製・評価まで行われている点は評価できる。
- 薄膜結晶成長において MOVPE 法が良いという方向性が見出され、その分野では非常に面白い結果だと思う。一方、チップ化レーザー加工について、加工速度とチップングの状況からみて、実効性に疑問が残る部分もある。

(3) 研究開発目標(アウトプット目標)の達成状況

(5～1の5段階評価)： 評価3

(総論)

目標を上回る成果を達成した研究テーマがある一方、一部の研究テーマにおいては目標未達であるが、広範な課題を含む探索型の研究開発である点を踏まえると、総合的には概ね目標を達成していると評価できる。目標未達項目も含め、継続的な研究開発が期待される。

(被評価者へのコメント)

- 結晶製造技術については、量産化を見越して円柱状結晶の製造法に取り組んだが目標未達となった。今後の研究開発に期待したい。 Ga_2O_3 デバイスの結晶、ウェハ製造技術、エピタキシャル成長技術、デバイス技術という広範な課題を含む研究開発であり、目標を上回る成果も出ているが、目標未達も散見される。探索型の研究開発であり、やむを得ないものと思われる。取り組むべき技術の方向性が徐々に明確化されてきており、継続的な研究開発を期待する。論文発表、特許出願では高い成果が得られており、評価できる。
- 一部の要素技術は数値目標を達成していないが、目標以上の成果をあげた技術開発もあり、総合的に判断すると概ね目標を達成していると評価できる。EFG 法で世界初となる2インチサイズ(010)面ウェハを切り出せる Ga_2O_3 の大口径結晶育成技術確立したこと、世界に先駆けて縦型デバイス作製用の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (010)ホモエピタキシャル薄膜成長技術確立したことは評価できる。
- (010)基板上に SBD を試作し、耐量評価にてその効果を確認した成果は素晴らしいと思う。p 層形成 N_2 ドープ技術開発も大きな成果だと思う。未達項目もいくつかあるが、その原因もおおむね明確になっている。良好なデバイス特性も得られている。技術レベルのベンチマークがあるとなお良かった。
- 薄膜結晶成長における MOVPE 法の優位性を示し、目標を上回る $15\mu\text{m/h}$ を達成したことは評価したい。また、表面窒化プロセス技術開発や N ドープ Ga_2O_3 薄膜成長技術開発で目標以上の成果を達成したことも評価できる一方、未達の目標もいくつかあった。

(4) 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた取組みの実施状況

(5～1の5段階評価)： 評価3

(総論)

基本特許となり得る知的財産も含め、目標を上回る特許出願が行われ、論文発表や報道掲載等を通じた成果発信も実施されている。本研究開発の技術的進展を踏まえ、アウトカム目標達成に向けた進捗が見られると評価できる。

(被評価者へのコメント)

- 本研究開発により Ga_2O_3 に関する技術的な進展が見られ、アウトカムの達成に向けた進捗がみられる。例えば、縦型 Ga_2O_3 の SBD は試作で通電電流 10A の優れた特性が確認されており、早期の商用導入が期待でき、評価できる。
- 2年間の研究開発期間内に12件の特許を出願した。この中には基本特許となりうる知的財産が含まれていることも評価できる。また、論文発表、報道発表を行い、報道掲載もされている。さらに、大阪公立大学において学生の研究テーマの割り振りに際して適材適所となるように配慮されている。
- 論文発表並びに特許出願も十分行われている。特許に関しては目標よりも多くの出願が成された。市場調査についても十分行われている。一方で、優れた人材の確保のための活動についての記述が見つからなかった。
- 成果において、発表論文数が目標に対して少なく感じたが、特許出願が目標より多い点は評価できる。

(5) 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた計画

(5～1の5段階評価)： 評価4

(総論)

実用化に向けた検討・取組が進められており、早期の市場展開が期待できる技術も存在することから、アウトカム目標達成に向けた計画として十分評価できる。酸化ガリウム半導体は我が国が強みを有する技術であり、パワーデバイスを取り巻く環境が大きく変化していることから、SiC 等の既存パワーデバイスとの差別化を図りつつ、適用領域の明確化及びアプリケーション開拓が行われることが期待される。

(被評価者へのコメント)

- 耐電流 10A の縦型 Ga_2O_3 の SBD は、高耐圧領域のマーケットへの早期展開が期待できる。市場見通し及び市場実績を意識した検討も進められており、アウトカム目標達成に向けた取り組みとして評価できる。 Ga_2O_3 は我が国が強みを持つ技術として将来有望であり、EV、データセンタ、フィジカル AI などパワーデバイスの環境は大きく変化していることから、SiC 等の既存パワーデバイスに対する、 Ga_2O_3 の適用領域の明確化、アプリケーション開拓を期待する。
- Orbray(株)は本研究開発の成果と自己資金による研究開発成果を合わせて、本年度からの小形ウェハの販売を検討している。さらに 2027 年からの 2 インチウェハサンプル出荷、2030 年台からの 4 インチウェハサンプル出荷を目指している。熱伝導率が低いことは酸化ガリウムの弱点である。本研究開発において、熱伝導率が最も高い (010)面基板を用いれば、放熱性が向上して SBD のサージ電流耐量が高まることが示された。本研究開発において、酸化ガリウムの実用化における課題であった基板・エピ界面の不要なリーク電流を低減する技術を確立することができた。
- 特に問題はないと思われる。本研究開発で得られた各種ノウハウに関しても、文章化しておく必要があると思う。
- 実用化に向けた検討は十分されていると感じた。