

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：パワーデバイス冷却機能強化を指向したダイヤモンドウェハ大型化
- (2) 研究代表者：産業技術総合研究所 山田 英明
- (3) 研究期間：令和5年度～令和9年度（予定）

2. 中間評価の実施概要

日時：令和7年10月27日

場所：TKP新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員

東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

東京科学大学 工学院 電気電子系 教授

梶川 浩太郎

慶應義塾大学 名誉教授

神成 文彦

大阪大学 大学院工学研究科 教授

近藤 正彦

東京農工大学 名誉教授

佐藤 勝昭

国立健康危機管理研究機構 国立感染症研究所 客員研究員

防衛医科大学校 名誉教授

四ノ宮 成祥

豊橋技術科学大学 シニア研究員、名誉教授

長岡技術科学大学 学長アドバイザー

中野 裕美

量子科学技術研究開発機構 高崎量子技術基盤研究所 先端機能

材料研究部長

八巻 徹也

情報通信研究機構 電磁波研究所 総括研究員

山本 真之

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究の進捗状況

研究の概要

本研究では次世代高耐圧デバイスの高効率化において必要となる、高熱伝導且つ高耐圧なダイヤモンド単結晶ウェハの大面积化、並びに、そのモジュール化に必要な要素技術確立に取り組み、最終的には高い冷却機能により従来性能を超える次世代高耐圧パワーモジュールの実現を目指す。

進捗状況

上記要素技術は、①結晶成長技術の高度化、②加工技術の高度化、③異種材料接合技術、④モジュール形成技術、⑤熱物性評価技術 から構成される。以下にそれぞれについて進捗状況を記載する。

- ① 結晶成長技術の高度化： 新規提案方式として、レーザー追加熱による基板温度の独立制御を実現した。これを用いて目標サイズを超える $15 \times 20 \text{ mm}$ 角サイズでの結晶成長をすでに達成しており、2 インチ（50 mm）長の結晶側面にも結晶成長を実現可能な技術を構築した。これに付随して成長環境観察や結晶評価技術にも取り組み、基板温度の絶対値測定や成長表面モフォロジーのその場観察など副次的な成果が得られている。これらの情報を基に品質向上へ向けての指針も得られている。
- ② 加工技術の高度化： 水ガイドレーザー^{*1} 加工＋トライボ援用研磨^{*2} によるプロセスを提案し、20 mm 角基板に対して、成長直後の表面から平滑面までを加工時間 14 時間程度で達成済である。これは従来手法での加工時間の $1/10$ 程度への短縮に相当する。一方で、加工損傷層の評価も実施し、従来の機械研磨で導入される加工変質層が、採用研磨法により除去され、同様の変質層は新たに導入されないことを確認した。
- ③ 異種材料接合技術： ダイヤモンド DBC 基板^{*3} 構造を作製実証し、接合強度も実証した。計画を前倒しで達成しており、知財化へ向けて接合界面構造の検証を実施中。
- ④ モジュール形成技術： 1 次試作の試作・性能試験サイクルは完了し、放熱能力 1 kW/cm^2 以上を確認済。原理的には更なる改善余地も見えるため継続検討中。
- ⑤ 熱物性評価技術： 測定手法の妥当性を確認の上、複数回測定したときの熱拡散率^{*4} のばらつき 2.7 %（目標測定精度 $\pm 5 \%$ 以下）を達成済。

4. 中間評価の評点

A 進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。

5. 総合コメント

測定技術を含めて研究が順調に進んでいる点は評価できる。

今後は、素子の大型化によって達成すべきターゲットを検討していただきたい。
また、諸外国の動向を踏まえて、素子の更なる大型化に向けて取り組んでいただきたい。

6. 主な個別コメント

- 原理的に大口径ウェハの作成に有利な方式を採用しており、期待できる。
- 概ね順調に研究が進んでいるが、社会的な波及効果の大きさには疑問が残る。ポジティブにアピールできる結果や主張ができるとうい。
- 価格帯として普及しうるか疑問が残るが、ダイヤモンド半導体としての性能評価および改善まで進めていただきたい。
- 本計画にあるウェハ構造化はオリジナル技術であり、面積拡大や機能向上に向けて知財の確保などを着実に進めていただきたい。
- ダイヤモンド基板が産業界にも広く応用できるように、知見を確立・提供していただきたい。
- ダイヤモンドウェハの4インチ化達成には新たな装置の導入と工夫を伴う、大サイズ化に対応した異常成長の評価方法等の開発が必要と思われるが、中間目標をすべて達成していること、ヒアリングで今後の研究のアプローチを適切に説明されたこと等、大きな問題はない。今後の成果創出を期待する。

-
- *1 水ガイドレーザー：層流の水柱の中にレーザーを導入し、水柱が照射された箇所を加工する。光ファイバーの様に、 $100\mu\text{m}$ 程度の径を持った水柱の中をレーザーが進行するため、従来の様にレンズ等を用いて集光するよりも切しろが抑制できる。
 - *2 トライボ援用研磨：絶縁性の被加工物と、絶縁性の研磨盤との間では、電荷が蓄積してトライボプラズマと呼ばれる放電が発生する。電荷の更なる印加や、雰囲気最適化などによりトライボプラズマを強化することで積極的に研磨能率向上へ活用する研磨手法。
 - *3 DBC 基板：一般的にはセラミックス基板に銅を直接接合した基板。主にパワー半導体モジュールにおいて、半導体デバイスとヒートシンクとの間に挿入され、放熱性と耐熱性が求められる。本研究ではこのセラミックスをダイヤモンドにすることを目論む。
 - *4 熱拡散率：熱伝導率を比熱容量と密度の積で割った値。単位は $[\text{m}^2/\text{s}]$ 。比熱容量と密度の測定ばらつきは熱拡散率の測定ばらつきよりも小さい。