

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
FS ステージ シーズ顕在化タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: 革新的なダイヤモンド熱電子発電技術の開発
プロジェクトリーダー	: (株)デンソー
所属機関	: (株)デンソー
研究責任者	: 竹内大輔((独)産業技術総合研究所)

1. 研究開発の目的

本事業では、産業技術総合研究所の負性電子親和力の評価技術と n 型ダイヤモンド薄膜の合成技術をシーズ候補とし、熱電子発電技術の顕在化に必要な要素技術を開発する。課題は、内部抵抗が高い($10\Omega \cdot \text{cm}^2$)、仕事関数大きい、電極間の温度差が安定しない等である。本研究開発では、内部抵抗 $1\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下、仕事関数 1.7eV 以下、実装条件の抽出、を行う。2020年以降の事業化目標とする本技術が完成すれば、自動車の排熱利用による燃費改善が見込まれる。今後のCO₂排出規制にも対応した事業展開ができ、波及効果は大きい。

2. 研究開発の概要

①成果

ダイヤモンド熱電子発電の実用化で課題となる、内部抵抗の低減、仕事関数の低減、実装条件の課題抽出に取り組んだ。内部抵抗の低減では、 $10^{20}/\text{cm}^3$ オーダーの高濃度リンドーブ膜の合成に成功し、目標の $1\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下まで低減できた。実効的な仕事関数の低減では、窒素ドーブ膜とリンドーブ膜の積層構造を作り、目標の 1.7eV 以下を達成した。この膜を用いて、熱電子電流 $18\text{mA}/\text{cm}^2$ を得た。実装技術の課題抽出については、温度差に対する出力依存性、真空度に対する出力依存性、ギャップに対する出力依存性の測定実験を終えた。

研究開発目標	達成度
① ダイヤモンド膜の内部抵抗の低減 $1\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下	① $10^{20}/\text{cm}^3$ オーダーの高濃度リンドーブ膜の合成に成功し、目標の $1\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下に対して、 $0.2\Omega \cdot \text{cm}^2$ まで低減できた。
② ダイヤモンド表面の仕事関数の低減 1.7eV 以下 熱電子電流 $\geq 10\text{mA}/\text{cm}^2$ ($1\text{mW}/\text{cm}^2$ 相当)	② 窒素/リン積層構造が、熱電子放出電流の増大に有効であることを予測し、実験にて目標値である $10\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上が得られ、目標の仕事関数 1.7eV を達成した。
③ 熱電子発電素子の実装条件抽出 温度差 vs 出力 ギャップ vs 出力 真空度 vs 出力	③ 出力の温度差依存性(エミッタ温度 600°C)では、コレクタとの必要な温度差は 150°C であることがわかった。真空度依存性では、 10^{-5}Pa から 1Pa まで変化しなかった。ギャップ依存性では、 $30, 50, 100\mu\text{m}$ の3水準で、影響はほとんど無かった。

②今後の展開

A-STEPステージⅡハイリスク挑戦タイプに移行する。将来の自動車応用の要求仕様を鑑み、技術的道筋を示すため、次の目標を設定する。内部抵抗は、活性化エネルギーが窒素と比べて小さいリンをドーパントとして、高濃度にドーピングし、 $0.01 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下を目標とする。実効的な仕事関数は、窒素／リン積層構造を最適化して、 1.4eV 以下を目標とする。これらの要素技術とともに、実装技術を開発し、革新的な熱電子発電素子の開発を進める。

3. 総合所見

目標通りの成果が得られ、イノベーション創出が期待される。実用化に向け、さらなる革新技術の研究開発を期待したい。