

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
ハイリスク挑戦タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: 車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発
プロジェクトリーダー	: 株式会社デンソー
所属機関	: 株式会社デンソー
研究責任者	: 加藤宙光 (産業技術総合研究所)

1. 研究開発の目的

熱電子発電技術は、ゼーベック熱電技術と並ぶ熱電変換技術の一つである。本技術は、動作温度が約 1500℃と高いため、これまで実用化は難しかった。デンソー、産業技術総合研究所および静岡大学は、ダイヤモンドの負性電子親和力に注目した素子を作製し、約 600℃での発電実証を試みた。

本ハイリスク挑戦タイプでの最終目標は、車載時(例えば、ガソリン車)の燃費 2-5%改善を狙い、実用上の課題(主に、ダイヤモンド素子)の把握とその解決策の提案を目的とした。

2. 研究開発の概要

①成果

熱電子発電システムを低温(例えば 600℃程度)で効率良く動作させるためには、より電子が放出しやすい材料、すなわち実効的な仕事関数の低い材料を選択する必要がある。本プロジェクトで用いたダイヤモンド膜は、負の電子親和力を持つ水素終端の n 型ダイヤモンドであり、低い実効的な仕事関数が期待される。

ダイヤモンド素子性能は、主に素子内部の抵抗と膜表面での実効的な仕事関数によって性能が決まり、性能向上にはそれらの低減が必要となる。特に、実効的な仕事関数の低減は、技術的難易度が高いため“技術リスク”となる。本プロジェクトでは、素子単体での抵抗及び実効的な仕事関数の低減と発電現象の確認に取り組んだ。

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 目標: 0.01 Ωcm ² 以下	① リンドープダイヤモンド膜, 窒素ドーパダイヤモンド膜のそれぞれの測定値から、窒素/リンドープダイヤモンド積層膜(以下、積層膜)に期待される抵抗が、0.01 Ωcm ² 以下である結果を得た。(達成度 100 %)

<p>② 【リスク課題】ダイヤモンド表面の実効的な仕事関数の低減 目標: 1.4 eV 以下</p>	<p>② 水素終端した積層膜の熱電子電流(温度依存性)データ解析(リチャードソンダッシュマンの式)により、実効的な仕事関数として 1.4 eV が見積もられた。(達成度 100%)</p>
<p>③ 熱電子発電素子の動作確認(素子単体) 目標: 熱電子電流値(飽和) 0.2 A cm⁻² 以上 熱電子発電現象の確認</p>	<p>③ ・水素終端した積層膜の熱電子電流(飽和値)測定の結果、0.193 A cm⁻²を確認した。 ・エミッタとコレクタに積層膜を用いた際の発電評価を実施し、発電現象の確認した。(達成度 95%)</p>

②今後の展開

本プロジェクトを推進することにより、ダイヤモンド素子のポテンシャルの高さを示す成果を得た。一方で、素子課題も明確になった。一例をあげると、基板とダイヤモンド膜間での界面抵抗が高いことが明らかとなった。界面での抵抗は、オーミックを形成する必要がある。今後、中間層の導入などの改善を試みる。また実効的な仕事関数の低減は、実用化のリスクであり、一層の低減が必要となる。それに向け、アルカリ金属などの導入を継続して検討する。なお素子課題解決に向けては、現研究体制のもと推進する計画である。

3. 総合所見

参画機関の良好な連携により挑戦的な目標を達成し、技術的リスクが低減され、次の研究開発フェーズに進むための成果が得られた。今後の取り組み次第ではイノベーション創出の可能性がある。

熱電子発電性能の基本となる、ダイヤモンド表面の実効的な仕事関数の大幅な低減に成功し、他の研究機関の性能を大幅に越える飽和電流密度を達成したことは評価できる。

今後、実用化に向けた更なる発電性能の向上に期待したい。