

高集積熱電変換モジュールによる 低密度廃熱回収システムの開発

化学食品部 豊田丈紫 佐々木直哉 嶋田一裕 中村静夫
 機械金属部 田畑裕之
 ニッコー(株) 中村大輔 亀井寛 木谷直樹 滝本幹夫
 (株)アクトリー 増井芽 水越裕治
 東京工業大学 奥部真樹 佐々木聡

1. 目的

地球温暖化防止や低環境負荷を目指した社会基盤に対する意識の高まりによって、工場等から排出される廃熱エネルギーを回収する方法として熱電変換技術が注目されるようになってきている。熱電変換とは、2種類の熱電材料を型に組み合わせた素子に熱エネルギーを与えることで直接電気エネルギーへ変換する技術を用い、熱電素子の両端に温度差をつけることで熱起電力が発生する「ゼーベック効果」の原理を利用した発電方法である(図1)。熱電変換技術を利用した発電システムが廃熱回収分野へ普及するには、素子を集積化した熱電変換モジュールの製造コスト削減と熱応力による素子の破壊といった技術課題を解消する必要がある。そこで、低コストな汎用技術であるスクリーン印刷法を用いて、膜厚方向に温度勾配を持つ熱電変換モジュールを形成する方法を新たに考案した。本発表では、この手法により開発された熱電変換モジュールの高温域における発電特性及び熱伝導性について検討を行った結果を報告する。

2. 内容

2.1 モジュール試作

本研究で開発したスクリーン印刷法による熱電変換モジュールの製造工程を図2に示す。p型およびn型素子の材料は、各々 $\text{Ca}_{0.7}\text{La}_{0.3}\text{Co}_4\text{O}_9$ 、 $\text{Ca}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{MnO}_3$ である。各々の材料を粗粉碎後、ボールミルにて24時間微粉碎し、樹脂成分と結着材を混合することにより印刷用ペーストとした。あらかじめ印刷した電極パターン上に10~50 μm の膜厚で各々のペーストを順次印刷し、

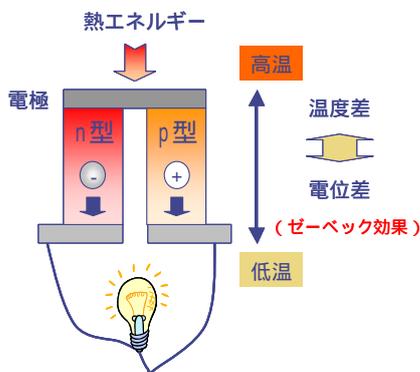


図1 熱電変換素子の模式図

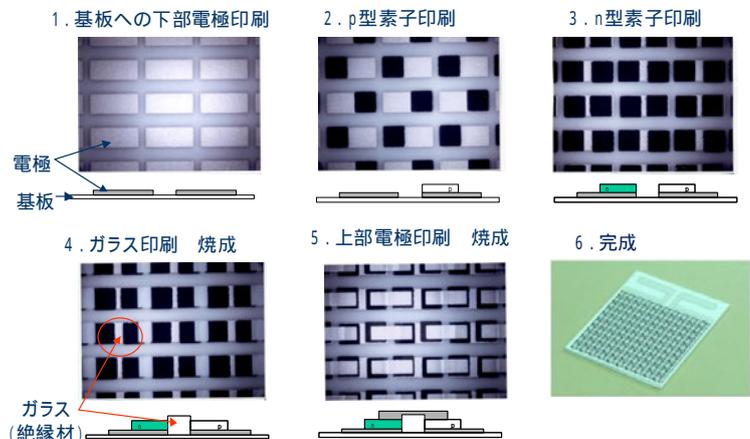


図2 熱電変換モジュール製造工程

焼付け工程を経て熱電変換モジュールを得た。図3に試作した熱電変換モジュールを示す。(a)のモジュールは200対のp-n接合により構成されており、素子寸法は(b)の50対モジュールに比べて半分の $1 \times 1 \text{mm}$ で構成されている。このように、スクリーン印刷法の版を変更することで容易に素子の大きさが変更可能であり、基板の寸法に応じた高集積熱電変換モジュールが作製可能である。

2.2 熱電特性評価

図4に発電効率特性評価装置(アルバック理工(株)製, PEM-2)によって求めた熱電発電特性の結果を示す。測定温度は加熱炉設定で 800°C であり、高温側温度 575°C で素子の温度差は 310°C であった。200対の熱電変換モジュールの開放電圧は 1.9V で50対モジュールの約4倍となることから、モジュールの起電圧は素子数に比例し、素子の大きさに依存しないことが確認された。

図5に定常法熱伝導率測定装置(アルバック理工(株)製, GH-1)を用いて測定した素子部の熱伝導率の結果を示す。素子部の平均温度 250°C において最高で $0.13 \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ であった。スクリーン印刷法による素子は、ペースト中の樹脂成分が飛散することで粒子間に空隙が生まれる。この空隙が素子の低熱伝導化に寄与するため、素子に十分な温度が生じ、膜状素子でありながら熱電変換モジュールとして有効に機能することがわかった。 $100 \mu\text{m}$ 以下の素子厚さ(高さ)でも素子に温度差が発生するという数値解析の結果からも裏付けられた。素子高温面を室温から 500°C まで加熱する熱サイクル耐久性実験においても各サイクルにおけるモジュールの発電特性は安定しており、素子の劣化は観察されなかった。

3. 結果

膜厚方向に温度差を持つ熱電変換モジュールを設計し、スクリーン印刷法を用いて素子部が $50 \mu\text{m}$ 以下の熱電変換モジュールを試作した。 800°C の高温雰囲気中において熱電発電特有の出力特性を示すことがわかった。作動中の素子には最高で 300°C 以上の温度差が発生したが、熱応力破損(剥がれ)は観察されず、熱サイクルによる熱電特性の劣化も観察されなかった。以上より、印刷法が高集積化という点において大変有効であることが明らかになった。

本研究は、経済産業省の「平成19年度地域新生コンソーシアム研究開発事業」、同「平成20年度地域イノベーション創出研究開発事業」にて行われた。

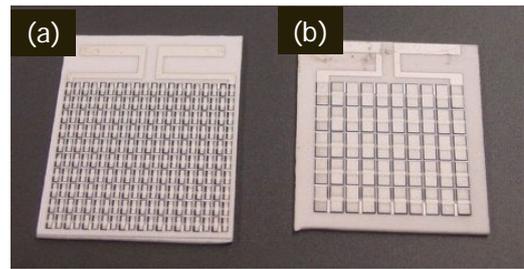


図3 熱電変換モジュール ($30 \times 30 \text{mm}$)
(a) 200対, (b) 50対

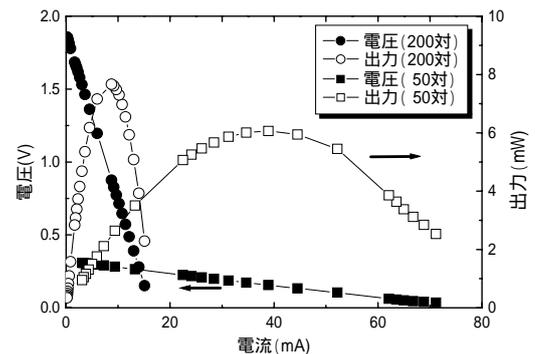


図4 試作モジュールの出力特性

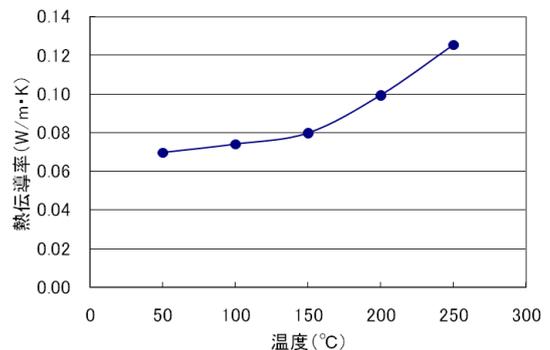


図5 素子の熱伝導率の温度依存性