

薄膜熱センサの応用に関する研究

評価技術課 奈須野雅明 加工技術課 小幡勤

1. 緒言

測温センサとして広い分野で活用されている熱電対を薄膜で尚且つフレキシブルにすることで、高感度化等、汎用性の高い活用が見込める。本研究では、市販のカッティングプロッターによって作製した樹脂マスクとスパッタリング蒸着にてフレキシブルなT型(+極:銅(Cu)、一極:コンスタンタン(CuNi 合金))の薄膜熱電対を試作し、その基礎的な特性評価を行った。また、同薄膜を直列構造に設計し、常温における環境発電モジュールとしての検討を行った。

2. 実験方法および実験結果

2.1 薄膜熱電対の試作と熱起電力特性の評価

市販のカッティングプロッターを用いて、ポリイミド樹脂フィルム(50mm角、厚さ75 μ m)にてマスクを作製し、同樹脂フィルム(50mm角、厚さ:7.5、12.5、50、75 μ m)を基板として用いて、CuNi合金を0.4 μ m、Cuを0.4 μ mスパッタリングし作製した。線幅の減少に伴う傾向を確認するため、線幅(0.5~2.0mm)が異なる熱電対を作製した。

試作した薄膜熱電対は、恒温槽を用いて熱起電力測定を測った。試験熱電対とともに、基準とするT型熱電対(クラス2)を2対恒温槽の中に入れ、恒温槽内の温度および基準とする熱起電力を測定した。試験熱電対については、T型の補償導線でデータロガーと接続した。槽内の循環風の影響を抑えるため、基準熱電対及び試験熱電対は、アルミニウムプレートで挟み、評価を行った。恒温槽内は-50 $^{\circ}$ Cから+100 $^{\circ}$ C間を1時間毎10 $^{\circ}$ Cステップで設定し、サンプリングは定温維持状態のときに行った。図1に測定の模式図を示し、図2に熱起電力特性の測定結果を示す。

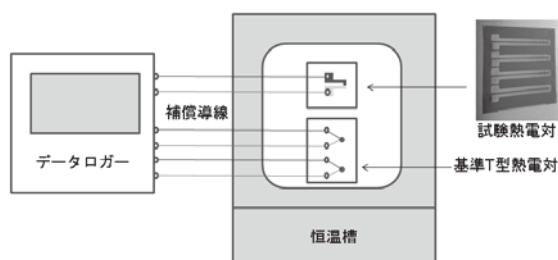


図1 熱起電力測定の模式図

横軸は基準T型熱電対(クラス2)で計測した恒温槽内の温度、縦軸は温度差によって発生した熱起電力を示す。熱起電力は、冷接点部を0 $^{\circ}$ Cに保つ温度補償を実施していないことから、恒温槽外の室温分の熱起電力が低下し、原点は通っていない。測定時の槽外温度は21 \pm 1 $^{\circ}$ C。同時に測定した熱電対個体差については、最大差の平均は、0.023mV(温度換算にして約0.6 $^{\circ}$ C)、最大0.038mV(同約0.9 $^{\circ}$ C)であった。(参考:恒温槽内の温度分布と基準T型熱電対の補償温度の仕様上の精度がそれぞれ \pm 0.5 $^{\circ}$ C)基準とした熱電対とほぼ同程度の線形性が認められ、また、線幅間の差異は認められなかった。

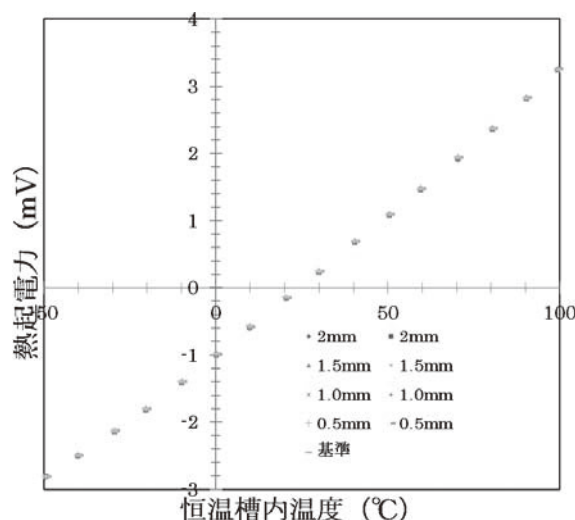


図2 薄膜熱電対の熱起電力特性

次に、熱応答速度を比較するため、試作した薄膜熱電対(線幅0.5mm、測温接触面積0.25mm²、厚さ0.4 μ m)と、市販品(素線径 Φ 0.32、仕上がり径1.0 \times 1.6mmのT型熱電対)を室温(約20 $^{\circ}$ C)から同時に温水(約35 $^{\circ}$ C)に浸漬した結果を図3に示す。測定のサンプリングは20msecで行った。市販品の温度センサに比べて、薄膜熱電対は、立ち上がりから短時間で飽和点まで到達することが確認できる。薄膜熱電対には、微小の変動があるのは、薄膜では熱容量が小さくなり感度が高くなったこと、フレキシブルなために外乱の影響を受けやすいことが影響していると思われる。

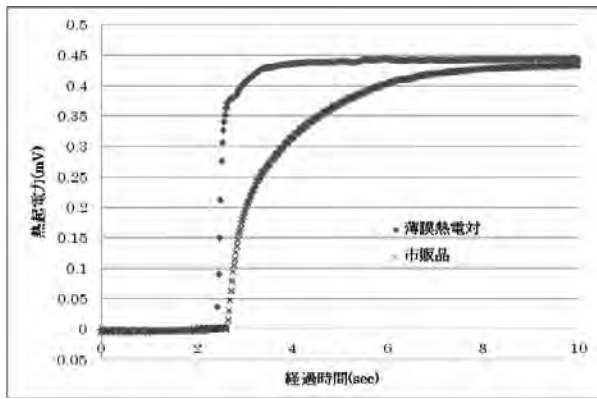


図3 熱応答性の比較

2.2 熱電モジュールの試作

一般的に熱電発電に利用される材料は、ゼーベック係数や電気低効率が低い。熱電対に使われる金属の組み合わせでは、ゼーベック係数は低いが、電気抵抗率が低い。そのため、単純な構造で、熱起電力の回収が見込める。そこで、2.1項と同素材、同作製プロセスで、薄膜熱電対を直列構造に設計し、環境発電試料としての試作検討を試みた。

50mm×80mm(厚さ 75 μ m)のポリイミドフィルムを基板として用い、図4のような外観の熱電モジュールを試作した。温接点部と冷接点部を列ごとに設け、局所選択的に熱を加えることで、電圧を稼ぐ構造に設計した。(冷接点部分のみ温めると逆方向に電圧が発生する。)

電圧の測定は、試作したモジュールを厚み 1.2mm のアルミニウムプレート上に置き、温接点部に手の指で触れて熱(体温)を加え、起電圧の測定を行った結果を図5に示す。(測定は室温 20 $^{\circ}$ Cで行い、温接点部と冷接点部は 10 $^{\circ}$ C程度の温度差が見込める。サンプリングは 10msec で実施) 温接点部に触れた瞬時に最大約 4mV の電圧が発生した。その後、時間の経過とともに、温接点部と冷接点部の温度差の縮小し、電圧の下降する傾向が見受けられた。環境発電モジュールとして活用するためには、微小昇圧回路を用いるとしても 20mV は必要であり、電圧の向上には、ゼーベック係数の大きい材料の選択や、直列

キーワード：薄膜熱電対、フレキシブル、熱電発電、環境発電

The study on application of thin film thermo-couples

Evaluate Technology Section; Masaaki NASUNO, Tsutomu OBATA

We tried to develop Type T flexible film thermocouples for high sensitivity and versatility. The thermoelectromotive power of the sample was measured in the range of -50 $^{\circ}$ C to 100 $^{\circ}$ C. As a result, the accuracy of the sensor was confirmed in the millimeter-scale. And, we tried to develop thermoelectric power generation device for energy harvesting using the same structure.

構造、や温接点と冷接点との距離の設計を見直し、温度上昇しにくい構造等にすれば、IoT等の環境発電モジュールとしての展開も可能と考えられる。

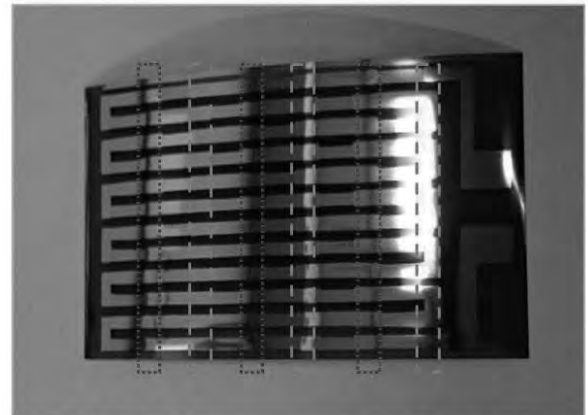


図4 試作した熱電モジュール例

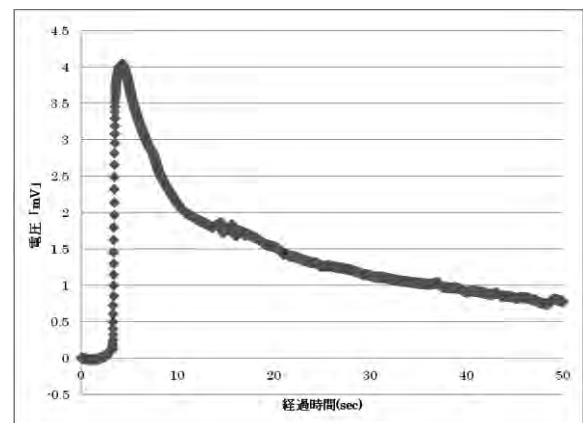


図5 熱電モジュールの電圧特性

3. 結言

市販品のツールを用いて、フレキシブルな T 型薄膜熱電対を試作し、基礎的な熱起電力等の特性評価を行った。その結果、-50 $^{\circ}$ C~+100 $^{\circ}$ Cの温度帯域では、熱起電力は市販品と同等の線形性を示し、熱応答性の向上を確認した。

環境発電モジュールの試作では、設計見込みより電圧は得られなかったが、今後材料や構造を変更し、検討を試みたい。