

令和 4 年 3 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23523

研究課題名（和文）シリコン熱電素子を用いたIoT向け環境調和型電源の開発

研究課題名（英文）A Study on a Thermoelectric Generator using Silicon for Ecofriendly Power Source

研究代表者

山田 駿介（Yamada, Shunsuke）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：50811634

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：熱電素子の出力を蓄電するスーパーキャパシタをイオン液体を使用して作製した。活性炭とイオン液体を混合して、生分解性電極上に成膜し電極とした。作製したスーパーキャパシタの特性をサイクリックボルタムメトリーで評価した。掃引速度5mV/s-300mV/sで、電圧を0V-1.5V掃引して生じる電流を測定したところ、電気化学反応にともなうピークは見られず、スーパーキャパシタに1.5Vの電圧を印加できることが判明した。そこで、ガルバノスタティックチャージ・ディスチャージにより、容量を測定したところ、印加電流0.2 mA/cm²-2mA/cm²の範囲で、容量40mF-60mFを示すことが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の核となるフレキシブル電極は、有機材料ではなく、金属に切り紙・折り紙構造を付与することで、高い導電性と柔軟性を実現する。さらに、申請者が作製した環境調和型スーパーキャパシタと組み合わせて環境調和型IoT用電源を実現できる。環境調和性を持つ電源は、IoTモジュールだけでなく、柔軟性により、自由曲面に貼り付け用途にも応用可能であるためウェアラブルデバイス分野にも産業的な波及効果は大きいと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this work, we have developed a biodegradable supercapacitor using biodegradable metal, ionic liquid, and charcoal. The ionic liquid and charcoal were well mixed to be homogenized, and were coated on the biodegradable metal. A study of cyclic voltammetry was performed on the developed supercapacitor to investigate the electrochemical stability. The supercapacitor remain stable to show no peak within the voltage range from 0V to 1.5V. The galvanostatic charge discharge reveals that the supercapacitor shows the capacitance of 40 mF to 60 mF with the discharge current of 0.2 mA/cm² to 2mA/cm².

研究分野：MEMS

キーワード：環境発電 蓄電素子

1. 研究開始当初の背景

様々なモノがインターネットに接続され、それらが取得する情報と人とを結びつけるモノのインターネット (IoT) が注目を集めている。生活空間からビッグデータ解析・AI 技術に必要なデータを取得するために、社会に実装される IoT センサ端末の数は 10 兆個にもなると試算されている。その膨大な数のセンサのメンテナンスは物理的に不可能であり、電池の交換が困難であるだけでなく、センサ設置後は回収できず、IoT センサ端末は環境中に廃棄されると想定される。このため、端末の経年劣化により、有害物質が漏洩して深刻な環境汚染を引き起こす恐れがある。本研究では、Si を用いた環境発電技術と環境調和性を有する蓄電素子を用いた、環境中に分解・吸収される IoT センサ端末用の電源を実現しようと考えた。

2. 研究の目的

Si は、環境中に潤沢に存在するため、主要な熱電材料として使用されている。また、酸・アルカリ水溶液に触れると、無害な Si(OH)_4 に分解されるため、環境調和性を示す。そのため、環境調和性 IoT センサ端末の電源、センサ、プロセッサとして有望である。しかしながら、Si のヤング率は 200 GPa であるため、非常に硬く、ウェアブルデバイスや、自由曲面への貼り付けは実現できていない。さらに、密着性が悪いため、熱源とデバイス間に空気層が生じて、熱がデバイスに伝導しない課題があった。一方、有機材料は優れているものの、熱により分解するため、長期駆動 (数年) が求められる IoT センサ端末の電源としては不十分である。本研究では電極に切り紙・折り紙構造を作製して、基板に環境調和型ポリマーを使用することで、デバイス全体で柔軟性と環境調和性を実現できると考えた。本研究の核となるフレキシブル電極は、有機材料ではなく、金属に切り紙・折り紙構造を付与することで、高い導電性と柔軟性を実現する。さらに、申請者が作製した環境調和型スーパーキャパシタと組み合わせて環境調和型 IoT 用電源を実現できる。環境調和性を持つ電源は、IoT モジュールだけでなく、柔軟性により、自由曲面に貼り付け用途にも応用可能であるためウェアブルデバイス分野にも産業的な波及効果は大きいと考えている。

3. 研究の方法

「デバイス設計・力学特性の評価」

環境調和型熱電素子の作製に関しては、電極構造、生分解性ポリマー材料を検討する。電極構造として、天の川構造、ともえ構造、三浦折り構造が挙げられるが、電極の電気伝導性と、熱源との接触熱抵抗を測定して、最適な機械構造を決定する。基板となる生分解性ポリマーは、弾性を有しているため、折り目ができず、折り構造に影響を与えることが想定される。生分解性ポリマー Polyvinyl alcohol (PVA)、Ecoflex、ポリ乳酸の機械特性を測定して、折りに最適な材料を決定する。さらに、曲げに対する耐久性、充放電に対する耐久性試験を実施して、フレキシブル電源としての実用性を評価する。電極パターンニングには配線部にレーザー加工、またはステンシルマスクを利用することを検討している。

「熱電特性の評価・IoT モジュールへの応用」

作製したデバイスの発電特性を評価して、単位面積あたりの出力を測定する。また、曲げが出力に与える影響を評価する。平らな熱源に設置した場合と、曲面に貼り付けた場合、出力がどの程度変化するかを評価する。この時生じる出力差に関して、構造解析や弾塑性解析を行い、理論と実験結果の比較を行うことも検討している。本研究の実用性を示すため、熱電素子とスーパーキャパシタを用いて IoT センサ端末を駆動することを考えている。具体的には、作製した熱電素子

とスーパーキャパシタを用いて、温度センサを駆動することでデータをクラウドにアップロードすることが挙げられる。

4. 研究成果

熱電素子の出力を蓄電するスーパーキャパシタをイオン液体 tris(2-hydroxy-ethyl) methylammonium ethylsulfate ([METOA][MeOSO₃]) を使用して作製した。活性炭と [METOA][MeOSO₃] を混合して、生分解性を持つモリブデン (Mo) 電極上に成膜した。また、セパレータとして、セルロースをその上に設置して、Mo-カーボン-セルロース-カーボン-Mo 構造を作製した。

作製したスーパーキャパシタの特性をサイクリックボルタンメトリーで評価した。図 1 に示すように、掃引速度 5mV/s~300mV/s で、電圧を 0V~1.5V 掃引して生じる電流を測定したところ、電気化学反応にともなうピークは見られず、スーパーキャパシタに 1.5V の電圧を印加できることが判明した。そこで、図 2 に示すように、ガルバノスタティックチャージ・ディスチャージにより、容量を測定したところ、印加電流 0.2 mA/cm²~2mA/cm² の範囲で、容量 40mF~60mF を示すことが判明した。また、図 3 に示すように、作製したスーパーキャパシタを 2 つ並列に接続したところ容量が倍になり、図 4 に示すように、2 つ直列に接続したところ 3V まで印加できることが判明した。印加電圧が 3V に上昇したことで、製品化されたセンサ、CPU、LED を駆動できる。本研究で作製したスーパーキャパシタと、市販のスーパーキャパシタ・アルミ電解コンデンサを出力電力、蓄電エネルギーを単位面積、単位体積あたりで評価した。図 5 に示すように、単位面積あたりの出力電力と蓄電エネルギーは市販品と同等または、低い結果が得られた。これは、本研究で作製したスーパーキャパシタは薄いためである。図 6 に示すように、単位体積あたりで評価すると、出力電力は 10 倍、蓄電エネルギーは 10 倍~1000 倍以上大きいことが判明し、十分な性能を有しているといえる。

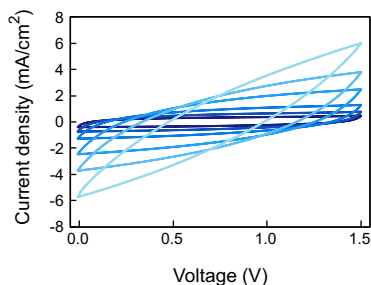


図 1 作製したスーパーキャパシタのサイクリックボルタンメトリー結果

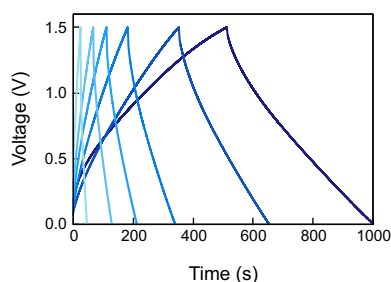


図 2 作製したスーパーキャパシタのガルバノスタティックチャージ・ディスチャージ結果

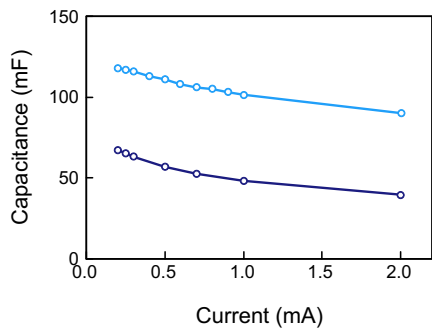


図3 作製したスーパーキャパシタの容量-放電電流特性（並列2つ）。容量がほぼ二倍になる

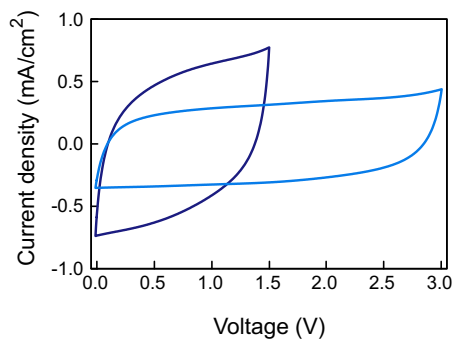


図4 作製したスーパーキャパシタの容量-放電電流特性（直列2つ）。容量がほぼ二倍になる

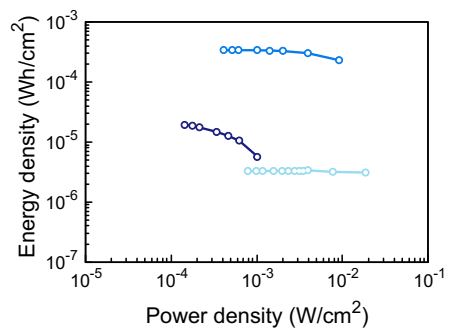


図5 単位面積あたりのラグーンプロット（出力電力-蓄電エネルギー）

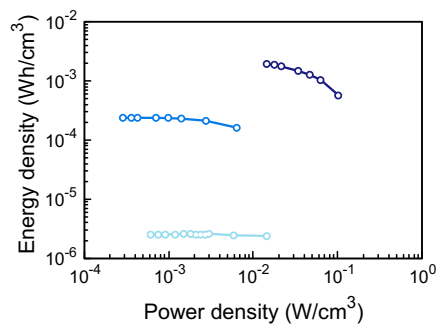


図6 単位体積あたりのラグーンプロット (出力電力-蓄電エネルギー)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamada Shunsuke, Toshiyoshi Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Temperature Sensor with a Water-Dissolvable Ionic Gel for Ionic Skin	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 36449 ~ 36457
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acscami.0c10229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------