

研究成果報告書

所属機関
山形大学 工学部

職名
助教

氏名
関根 智仁

研究テーマ

有機強誘電性薄膜を用いた全印刷型発電デバイスの開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

近年の低消費電力に対する意識の高まりを背景に、個人が日常的（ユビキタス）に連続して発電できる技術とその社会浸透が急務となっている。すでにエレクトレット型や体温発電型などのデバイスが実用化されているが、今後はさらに小型で安価なデバイスが求められることが予想される。これを解決する方法のひとつに強誘電性ポリマー材料を用いた発電デバイスの開発がある。本材料は、圧力や振動などの応力が印加されたとき、無電源で電圧を発生するスマート発電ポリマーとして注目されている。さらに、これらのデバイス自体を安価で大面積、かつ低環境負荷で作製できる印刷法に適用することができれば、より簡便でユビキタスな発電デバイスを社会に浸透できる可能性がある。一方、実際に当該ポリマーを用いた印刷型発電デバイスが作製された事例は非常に少なく、発電特性についても不明な部分が多い。

そこで、本研究は強誘電性ポリマーであるP(VDF-TrFE)を印刷法で作製することで有機発電デバイスを開発することを目的とした。

2. 研究成果および考察

印刷法（インクジェット法、およびスクリーン印刷法）を用いてプラスチック基板上に有機発電デバイスを作製した。電極材料には、銀ナノ粒子インク、および導電性高分子を、強誘電性層にはP(VDF-TrFE)をそれぞれ用いた。電極は150℃、P(VDF-TrFE)層は140℃でそれぞれ1時間アニールした。作製したデバイス構造を図1に示す。フレキシブルで総重量約5g以下のユビキタスデバイスの作製に成功した。この有機発電デバイスについて、ソーヤ・タワー法により強誘電特性を取得した結果を図2に示す。銀ナノ粒子インクを電極に用いた場合、適切な強誘電特性が得られなかった。一方、導電性高分子を用いた場合は適切な特性を取得することに成功した。なお、一般的なP(VDF-TrFE)の強誘電特性は残留分極値Prが約7.0 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電界Ecが約50 MV/mである。さらに、銀ナノ粒子インクからなる電極表面を、

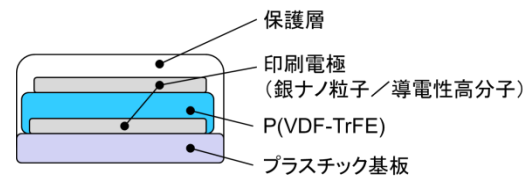


図1 作製した印刷型有機発電デバイスの断面構造

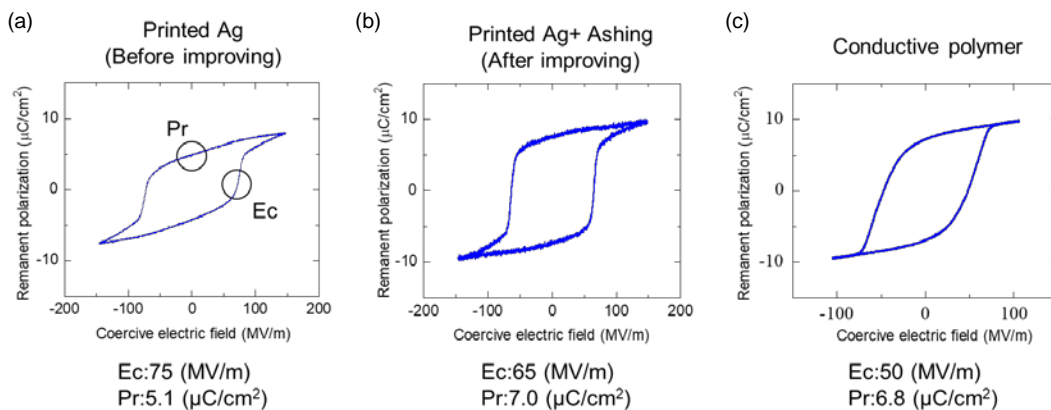


図2 印刷型有機発電デバイスの強誘電特性

(a) 銀ナノ粒子電極 (b) 銀ナノ粒子電極+アッシング処理 (c) 導電性高分子電極

N_2 ガスを用いたプラズマアッシング処理した場合、導電性高分子によるものとほぼ同等の特性を得ることに成功した。これは、銀ナノ粒子由来の有機保護分子が強誘電特性の広がりやを阻害しているためだと考えられた。実際に、プラズマアッシング処理後の銀ナノ粒子からなる電極表面をX線光電子分光法で分析した結果、有機保護分子由来の元素シグナルが観察されなかったことも確認している。

導電性高分子を用いた有機発電デバイスの作製に成功したため、次ステップして発電特性を測定した。作製した有機発電デバイスに対して、圧縮試験機を用いて任意の圧力を印加した場合の発生電圧をプロットした(図3)。作製した有機発電デバイスに対し、エラスティックインデンターを接触させ、その時の印加圧力に対して発生した電圧値を取得している(図3a)。本有機発電デバイスは強誘電性ポリマーを用いているため、印加された応力の1階時間微分値に比例した値が電圧として検出される。実際に圧力が印加されたときの電圧信号を図3bに示した。圧力が印加されたときのみ発電していることが分かる。また、印加圧力を変化させたときの発生電圧をプロットした(図3c)。圧力に対する電圧発生依存性は高い線形性を有していることが明らかになり、1.5 MPaを印加した時、最大約0.9 Vの電圧が発生することが分かった。また、100 kPa以下の比較的微弱な圧力に対しても発電性があることが明らかになった。実際に50 kPaの圧力を印加したとき、約50 mVの電圧を発生した。さらに、圧力を繰り返し印加することによるデバイス劣化挙動について測定を行った(図3d)。印加圧力を750 kPaに固定し、1 Hzで圧力印加のOn/Offを繰り返し行ったところ、概ね 10^6 回まで発電特性が劣化しないことが明らかになった。これは、圧力や振動などの応力を印加することで、連続的な発電を行える印刷型有機発電デバイスの作製に成功したことを表している。

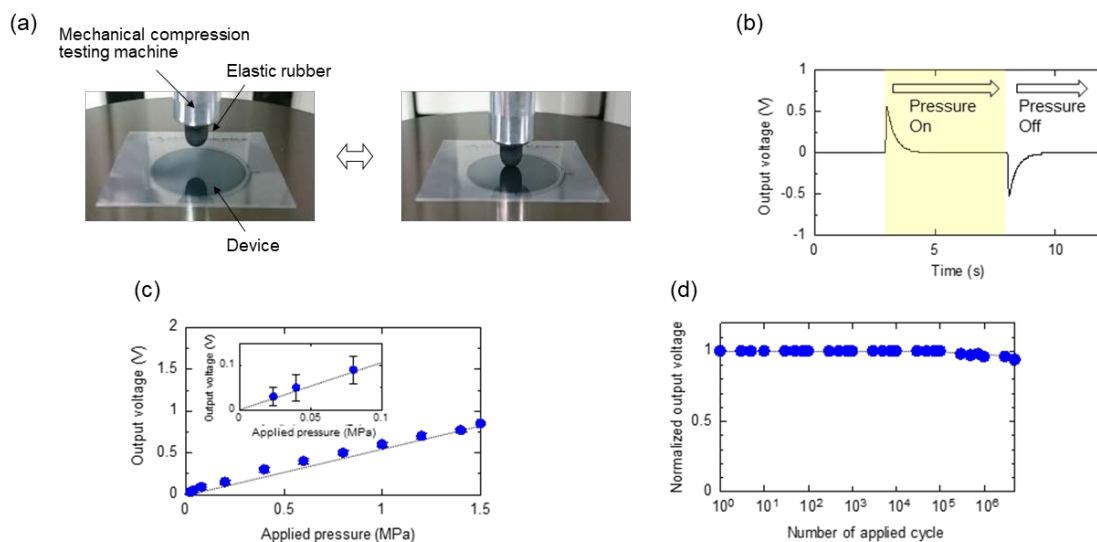


図3 印刷型有機発電デバイスの発電特性
(a) 圧縮試験機外観 (b) 圧電特性 (c) 印加圧力と発生電圧の関係 (d) 繰り返し試験時の発生電圧

3. 将来展望

印刷法を用いたP(VDF-TrFE)をベースとした印刷型有機発電デバイスの作製に成功した。また、発電特性を測定することで発電デバイスとしての有用性を明らかにした。今後は、印刷プロセスの最適化や成膜性改善を行うことで、更なる発電効率の向上を行う予定である。また、アレイ化により更なる高効率な発電を行うことができる可能性がある。このため、デバイス構造の再検討も視野にいたれたアレイデバイスについても同様に研究展開していく。

4. 研究発表

■ **Tomohito Sekine**, Ryo Sugano, Tomoya Tashiro, Jun Sato, Hiroyuki Matsui, Daisuke Kumaki, Fabrice Domingues Dos Santos, Atsushi Miyabo, Shizuo Tokito, "Fully Printed Wearable Vital Sensor for Human Pulse Rate Monitoring using Ferroelectric Polymer", *Scientific Reports*, 8, 4442 (2018).

■ **Tomohito Sekine**, "Printed Wearable Physical Sensor using Ferroelectric Polymer", 2017 International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE 2017), September, The S HILLA HOTEL, Jeju Island, Korea (2017).