

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 御中

研究概要書

研究課題：高速道路の低周波振動を利用した SnS ナノ圧電素子振動発電デバイスの開発

研究代表者： 東京大学工学系研究科 教授 長汐 晃輔

はじめに

高速道路での地震・事故等の回避を目指したセンサシステムや、自動車事故低減のためのタイヤ空気圧センサー等において、振動のエネルギーを利用した環境発電デバイスによる自立電源化は急務である。本研究では、PZTを超える発電特性が期待できる新規圧電材料SnSを用い、高速道路での数Hz程度の低周波数振動に適した振動発電を検討した。

1. 研究の目的

高速道路に代表される構造物の振動の特徴は、周波数が低く（数 Hz～数 10Hz）時間的に周波数が変化することである。それゆえ低周波数領域に対応でき、広帯域の振動に対する感度をもつことが要求される。これを実験的に再現するため、0.1Hz～1kHz 程度の範囲で動作する歪導入機構が重要となる。ここで、圧電材料の観点から考えると、最も特性のよい PZT セラミクスにおいても、必要な発電量は得られていないのが現状である。これは、圧電材料自身にブレークスルーが必要であることを示している。我々は、PZT セラミクスを凌ぐ圧電特性を有する新規材料であることが理論的に予測 [1] されていた 2 次元系材料である SnS を成長させ、圧電/強誘電特性を世界で初めて実験的に実証してきた [2]。本研究では、新規圧電材料 SnS を用い、高速道路での数 Hz 程度の低周波数振動に適した振動発電の開発を行った。

2. 2次元材料 SnS の製膜と圧電性の実証

マイカ基板は原子レベルで平坦な表面をもつことで SnS の成長において原料原子のマイグレーションを促進するだけでなく、マイカ自体が層状物質であり柔軟性に優れているという特徴をもつ。そこで SnS 圧電発電素子の実現に向けて、マイカ上に成長させた SnS を用いたフレキシブルデバイスの作製を行った。図 1 (a) に物理蒸着法にて製膜した SnS の原子間力顕微鏡像を示す。0.8 nm の単層が成長出来ていることが分かる。この SnS 単層が圧電結晶であること、つまり空間反転対称性

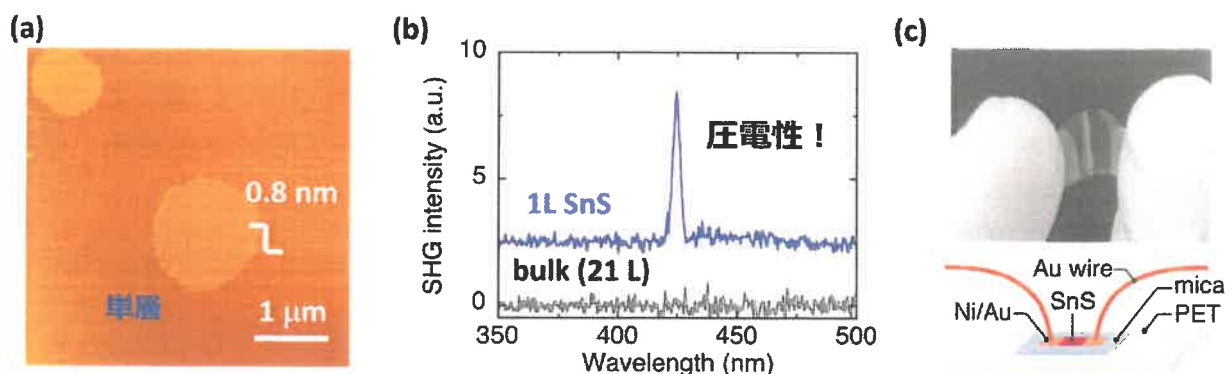


図1：単層成長と圧電結晶の実証!

の破れた結晶構造を有しているかを確認するため、第二高調波発生を確認した。960 nm の光を照射し、425 nm の光を検出することが出来れば、空間反転対称性の破れた結晶構造である。図 1 (b) に示すように、単層では 425 nm の光を検出できたが、バルク結晶では検出できなかった。つまり SnS 単層が圧電結晶であることを示している。今回 SnS の製膜はマイカ基板上に成長させたため、図 1 (c) に示すようにそのまま曲げて振動発電の計測実験が可能である。

高速道路のような構造物の振動においては周波数が低い(数 Hz~100 Hz)という特徴がある。これを実験的に検証するため、0.1Hz~10 Hz 程度の範囲で動作するひずみ印加機構を図 2 のように構築した。回転モータの回転方向を変えることで、圧縮と引張を選択することが可能な設計となっている。マイカ基板の SnS に電極を形成し、すべてのデバイスを並列接続することで得られる電流向上を狙った。実際の発電の様子を図 2 (右) に示す。2 次元層状物質である SnS は 20%もの歪印加が可能であると理論的に予想されているが、マイカ基板が約 1.2%程度で塑性変形してしまうため今回の実験では、歪の印加は 1%以下に抑えて繰り返し動作を行った。20 程度のデバイスを並列接続したとはいえ単層 SnS のため電流量は小さいものの繰り返し耐性に優れた特性を得た。

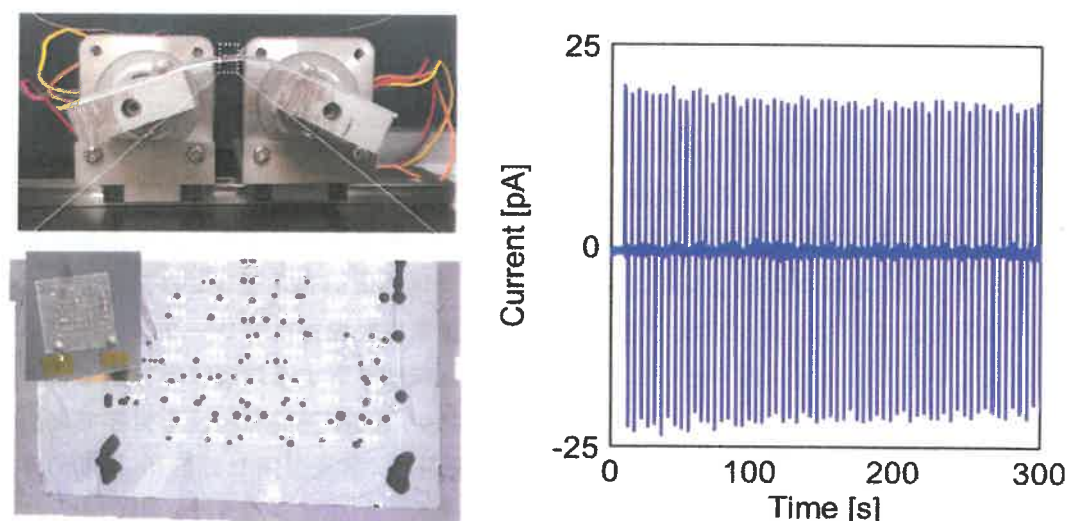


図3 歪印加装置及び振動発電特性の実証。

3. まとめ

本研究では、マイカ上に成長させた単層圧電 SnS を用いたフレキシブルデバイスの作製を行い、繰り返し耐性に優れた振動発電特性を実証した。しかしながら、理論的に予想されるほど優れた発電特性は得られていない。これは、SnS の分極が完全には揃っていないためである。今後の展開として、SnS の結晶成長に立ち返り分極方向を完全に揃えることで振動発電特性の向上が期待できる。

研究成果 (謝辞記載投稿論文)

- [1] M. Umeda, N. Higashitarumizu, R. Kitaura, T. Nishimura, K. Nagashio, **Appl. Phys. Express**, 2021, 14, 125002.
- [2] W. Nishiyama, T. Nishimura, K. Ueno, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, **Adv. Funct. Mater.**, 2021, 2108061.
- [3] Y.-R. Chang, T. Nishimura, K. Nagashio, **ACS appl. mater. interfaces**, 2021, 13, 43282–43289.

参考文献

- [1] R. Fei, W. Li, L. Yang, **Appl. Phys. Lett.**, 2015, 107, 173104.
- [2] N. Higashitarumizu, H. Kawamoto, C.-J. Lee, B. -H. Lin, F. -H. Chu, I. Yonemori, T Nishimura, K. Wakabayashi, W.-H. Chang, K. Nagashio, **Nature commun.**,2020, 11, 2428.