

B 添加 In_2O_3 フレキシブル透明導電膜におけるフレキシブル性の基板依存

Degradation mechanism of flexibility in B-doped In_2O_3 -based transparent conductive film

工学院大 ○(B)矢崎 結也, 木菱 完太, 辛 佳和, 相川 慎也

Kogakuin Univ., Yuya Yasaki, Kanta Kibishi, Yosikazu Shin, Shinya Aikawa

E-mail: aikawa@cc.kogakuin.ac.jp

今日では, IoT ネットワークの構成が求められている. その自律性と環境への統合を実現するには, ハードウェアにおいてエネルギーの自立性を保証する必要がある¹⁾. そこで, 消費電力の少ないセンサーネットワークに対して, 周囲の未利用電磁波エネルギーをレクテナにてハーベスティングする技術が注目されている^{2,3)}. さらに, 都市環境への統合性を考慮すると, 透明かつフレキシブルであることが望ましい^{4,5)}. 材料となる透明導電膜について, インジウムスズ酸化物(ITO)に代表される金属酸化物は, 一般に曲げに対して脆いため, アモルファス化によるフレキシブル性向上が行われている. しかし, 曲げ半径 2 mm での急激な抵抗変化が見られる⁶⁾. これに対し, 当研究室では In_2O_3 にホウ素(B)を添加し, 高いアモルファス性に基づくフレキシブル透明導電膜(IFO)を報告してきた. これを透明かつフレキシブルなレクテナへ利用するためにはプラスチック基板の誘電率が重要となる. そこで本研究では, まず代表的なプラスチック基板である PET と PI とでのフレキシブル性を比較し, 基板のフレキシブル性に対する影響を確認することを目的とした. さらに PI 基板の厚さ依存を評価した.

IFO は, RF マグネトロンスパッタリング装置にて 90 nm 成膜した. 基板は厚さ 75 μm の PET 基板と PI 基板を用意し, 基板の厚さに対する比較として 15 および 38 μm の PI 基板を用いた. 光学顕微鏡にて表面形状を観察したのち, 屈曲装置を用い, 電気抵抗を測定しながら曲げ半径 2 mm で 1000 回の屈曲を行い, フレキシブル性を調査した.

Fig. 1 に屈曲後の光学顕微鏡像を示す. 各薄膜においてピンホールの存在が確認できる. Fig. 2 に屈曲試験の結果を示す. 基板の種類にて比較すると, 曲げに対して最も抵抗変化が小さい基板は厚さ 15 μm の PI であり, 最も抵抗が変化した基板は厚さ 75 μm の PET であった. 基板の厚さに関しては, 基板が薄くなるほど屈曲に対する抵抗変化が小さくなった. 同様の結果は, ITO でも報告されており⁷⁾, 我々の結果とも一致している. また, 同論文内にて, より低いヤング率をもつバッファ層の挿入により, 屈曲に対する抵抗増加が抑えられたとも報告されており, 加えて PET と CPI(透明ポリイミド)にて比較した論文⁸⁾では, CPI がフレキシブル性において優位であるとの報告がなされていた. ここで, PET のヤング率が 2.9 GPa, PI のヤング率が 2.4 GPa であることを考慮すると⁹⁾, デバイスの柔軟性においては, より薄く, より低いヤング率を持つ材料が基板に適していると考えられる.

IFO のレクテナ利用を目的に, フレキシブル性が最適となる基板を調査した. フレキシブル性において, ヤング率が小さく, 厚さが薄い 15 μm の PI 基板が最もフレキシブル性が高いことを確認した. しかし, 透明かつフレキシブルな用途としてポリイミドは適さないため, 透明ポリイミドでの検討を行っていく予定である.

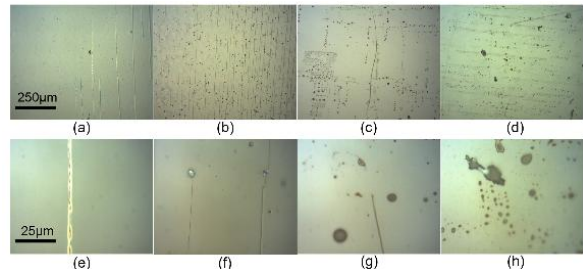


Fig. 1. 光学顕微鏡像: (a) PET 75 μm , (b) PI 75 μm , (c) PI 38 μm , (d) PI 15 μm . (e), (f), (g), (h): それぞれ(a), (b), (c), (d)の拡大図.

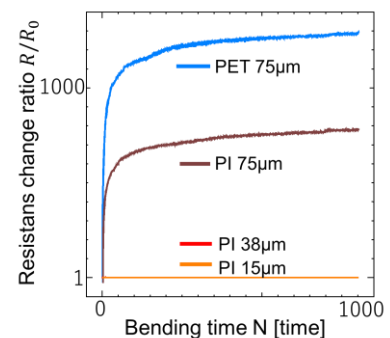


Fig. 2. 屈曲試験結果

- 1) H. Zhang *et al.*, IEEE Microwave Wireless Compon. Lett., vol. 29, pp. 291-293 (2019).
- 2) M. A. Halimi *et al.*, IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 66, pp. 34-35 (2023).
- 3) B. Naresh *et al.*, Int. J. Microwave Wireless Technolog., vol. 13, pp. 46-57 (2020).
- 4) A. S. M. Sayem, *et al.*, IEEE Open J. Antennas Propag., vol. 3, pp. 1109-1133(2022).
- 5) S. Jeong *et al.*, IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol., vol. 12, pp. 1748 - 1756 (2022).
- 6) Y. K. Oh *et al.*, Mater. Today Electron., vol. 8, June 2024, 100104
- 7) S. K. Park *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 42, pp. 623-629(2003)
- 8) J. A. Park *et al.*, J. Power Sources, vol. 341, pp. 340-347(2017)
- 9) H. S. Jung *et al.*, Microsyst. Technol., vol. 23, pp. 1961-1970(2016)