透明フレキシブルレクテナに向けた B 添加 In₂O₃ 透明フレキシブル導電膜の特性調査

Investigation of B-doped In₂O₃ transparent flexible conductive films for transparent flexible rectennas

矢崎 結也(電気電子工学科)

Yuya Yasaki

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 教授

1. 緒言

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を用いてハーベスティングする技術が注目されている[2,3]. エネルギーハーベスティングに用いられるアンテナは、都市環境へ簡単に統合できることが求められるため、透明かつフレキシブルであることが望ましい[4,5].

Taha らは、銅を用いたフレキシブルレクテナを報告している[6]. しかし銅は不透明な材料である. Potti らは、フッ素ドープ導電性酸化物(FTO)を用いて光学的に透明なレクテナを報告した. しかし機械的な物性調査は行われておらず、フレキシブル性を持たない可能性がある[7]. このように、フレキシブルでかつ透明な材料を用いたレクテナはこれまでに作製されていない.

そこで本研究では、当研究室で開発したフレキシブルかつ透明な導電酸化物である B-doped In₂O₃(IBO)を、最適なフレキシブル性でかつ透過性にてレクテナに活用するために、膜厚や成膜圧力による特性変化の調査を目的とした。

2. 実験方法

ポリイミド基板と石英基板を蒸留水に浸し 10 分間超音波洗浄をかけた. 洗浄後, RF マグネトロンスパッタリング装置を用いて, In_2O_3 ターゲット上に Boron 粒(純度 99.999%)を一個置き, Ar ガスを用いて IBO の成膜を行った. 膜厚は 30 nm, 90 nm, 150 nm にて物性変化を調査した. フレキシブル性については, 曲げ半径2 mm にて 1000 回の屈曲を行い, 抵抗変化率を調査した. 光学的特性の評価は紫外可視分光光度計(UV-Vis)を用いて, 波長は 200 nm から 1100 nm にて透過率を調査した. また, 結晶性は X 線回折装置(XRD)にて評価した.

3. 実験結果および考察

本要旨では、IBO の透過率およびフレキシブル性の膜厚依存性を示す。

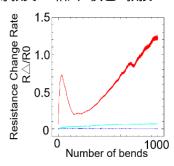
屈曲による抵抗変化の膜厚依存性を Fig. 1 に示し、Table 1 に抵抗値を示す。Fig. 1 より、90 nm での抵抗変化が最も低く、150 nm では大きく抵抗が変化していることが分かる。30 nm のサンプルも、抵抗変化率が 0.1 未満と低く抑えられていることが分かる。また、90 nm での抵抗値は屈曲前後で 66Ω であった。

UV-Vis による透過率の膜厚依存性を Fig. 2 に示し,可視光平均透過率を Table 2 に示す. Fig. 2 より, 膜厚が増加することで,透過率のピーク位置が長波長側にシフトし, ピーク幅は広くなった. Table 2 より, 膜厚 165 nm ではピーク幅が広くなったことにより, 可視光平均透過率が高くなったと考えられる.

Fig. 3 に XRD の結果を示す. 膜厚が厚くなるほど結晶性が高くなっていることが分かる. Fig. 1 および 3 より, 結晶化した膜に生じるクラックが抵抗変化に寄与していると考えられる.

4. 結論

フレキシブル透明レクテナへの応用を目的に、フレキシブル透明導電膜 IBO の特性を調査した. 結果として、本要旨では膜厚依存性のみ示した. フレキシブル性が高く抵抗値が低い膜厚は 90 nm であることがわかった. 可視光透過性に関しては、膜厚による



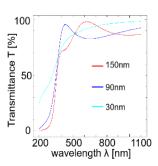


Fig. 1. 抵抗変化率の膜厚依存

Fig. 2. 透過率の膜厚依存

Table 1. 屈曲前後の抵抗変化

膜厚 d [nm]	屈曲前抵抗値 R_0 [Ω]	屈曲後抵抗値 $R[\Omega]$
30	247.2	261.7
90	66.53	66.91
150	91.78	161.3

Table 2. 可視光平均透過率

Thickness d [nm]	Visible transmittance T [%]
30	88.75
90	86.56
120	88.80

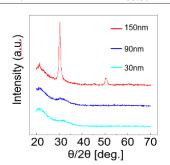


Fig. 3. 結晶性の膜厚依存性

一定な透過率の変遷確認できなかった。これらのことから,膜厚90 nm の IBO をフレキシブル透明レクテナへ利用することが期待できる。今後は IBO を用いてアンテナを設計し,特性を評価することに取り組んでいく。

5. 参考文献

[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

[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] A. Taha et al., IET Nanodielectr., vol. 3, pp. 88-93 (2020).

[7] P. Devisowjanya *et al.*, Int. J. Microwave Wireless Technolog., vol. 14, pp. 1081-1085 (2022).