

# フレキシブルレクテナに向けたホウ素含有酸化インジウム薄膜の膜厚依存性

Thickness dependence of B-doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  transparent thin-films toward flexible rectenna application

工学院大学 工学部 電気電子工学科 高機能デバイス研究室

矢崎 結也

指導教員 相川 慎也 教授, 研究協力者 木菱 完太 曹 博聞

エッジコンピューティングへの需要が高まり、IoT 機器にバッテリーレスで電力を供給する技術が注目されている。中でも、未利用電磁波を直流電源として回収するレクテナ素子が期待されている。そこで、本研究ではフレキシブルレクテナへの応用に向けたフレキシブル透明導電膜の物性を膜厚に着目し調査した。

キーワード：透明導電酸化物, 薄膜, 酸化インジウム, ホウ素

## 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 RF 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[2] [3] が注目されている。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から、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作製した [6]。しかし銅は可視光透過性がない。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[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の作製例は確認できない。

そのため、同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  $\text{In}_2\text{O}_3$ (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、膜厚による特性を調査した。

## 2. 実験方法

ポリイミド基板を超純水に浸し 10 分間超音波洗浄をかけた。透過率測定および結晶性評価用の石英ガラス基板においても同じように洗浄を行った。洗浄後、RF マグネトロンスパッタリング装置を用いて、 $\text{In}_2\text{O}_3$  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 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。その他、結晶性を XRD にて観察した。

## 3. 実験結果および考察

フレキシブル性の膜厚依存性を Fig. 1 に示す。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、0.1 未満と抵抗変化が低く抑えられていることが分かる。

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 1 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、ピーク幅については広がっている。

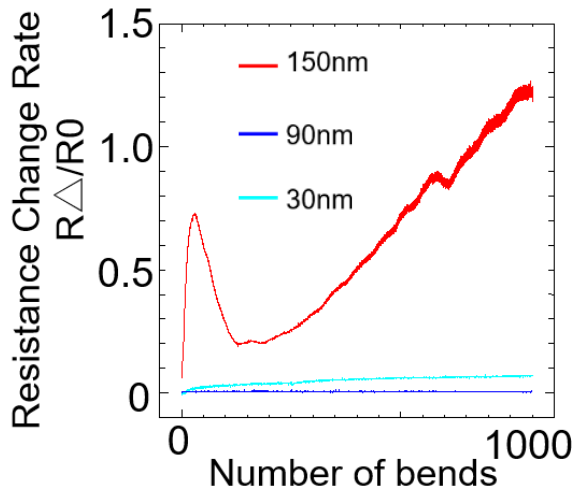


Fig. 1. 抵抗変化率の膜厚依存性

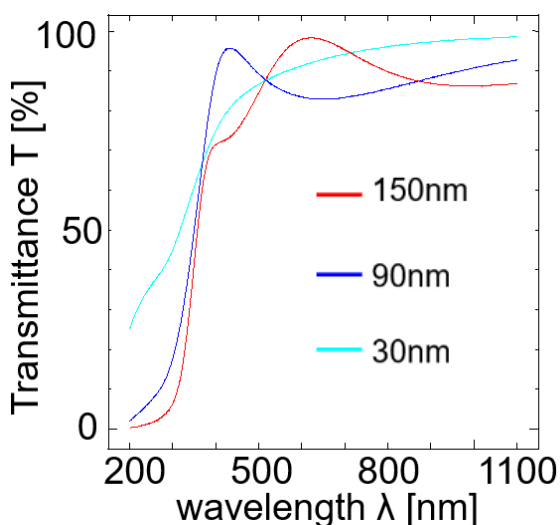


Fig. 2. 透過率の膜厚依存性

Table 1. 可視光平均透過率

Thickness d [nm]	Visible transmittance T [%]
30	<b>88.75</b>
90	<b>86.56</b>
120	<b>88.80</b>

Tab. 1 より、膜厚 165 nm ではピーク幅が広がったことにより、可視光平均透過率が高くなっていると考えられる。

Fig. 3 に XRD の結果を示す。Fig. 3 より、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, Fig. 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[8]。

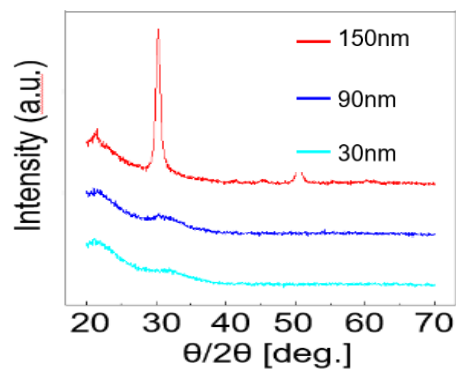


Fig. 3. 結晶性の膜厚依存性

#### 4. 結論

フレキシブル透明レクテナへの利用を目的に、フレキシブル透明導電膜 IBO の特性の膜厚依存性を調査した。結果として、フレキシブル性が最も高いのは 90 nm であり、次に 30 nm が 0.1 以下の抵抗変化率を有していた。可視光透過性に関しては、120 nm が 88.80% と最も高く、次に 30 nm が 88.75% と高い可視光透過率を有していた。これらのことから、膜厚 30 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 SEM を用いて膜状態を確認することや、実際に 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, issue 4, pp. 291-293 (2019).
- [2] M. A. Halimi *et al.*, IEEE Antennas Propag Mag, vol. 66, issue 1, pp. 34-35 (2023).
- [3] B. Naresh *et al.*, Int J Microwave Wireless Technolog, vol. 13, issue 1, pp. 46-57 (2020).
- [4] H. Takhedmit *et al.*, EuCAP (2024).
- [5] S. Jeong *et al.*, IEEE Trans Compon Packag Manuf Technol, vol. 12, issue 11, pp. 1748 – 1756 (2022).
- [6] A. Taha *et al.*, IET Nanodielectr, sol. 3, issue 3, pp. 88-93 (2020).
- [7] P. Devisowjanya *et al.*, Int J Microwave Wireless Technolog, vol. 14, issue 8, pp. 1081-1085 (2022).