

# 可視光透明 B ドープ $\text{In}_2\text{O}_3$ ダイオードの試作

## Fabrication of visible light transparent B-doped $\text{In}_2\text{O}_3$ diode

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

大久保 慶人

指導教員 相川 慎也 教授，研究協力者 木菱 完太，山寺 真理，矢崎 結也

あらゆる場所に存在する電波を電力に変換できるフレキシブル透明レクテナ素子開発のため、フレキシブル透明アンテナとともに透明ダイオードの開発が求められている。本研究では、これまで当研究室で開発してきた B doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  を用いた可視光透明なダイオードの試作を目的とする。

キーワード：レクテナ，フレキシブル，ショットキーダイオード，MIS ダイオード

### 1. 緒言

レクテナとはアンテナと整流器が組み合わさった次世代デバイスであり、周囲に存在する電波を電力に変換することができる。加えて、フレキシブル化することで曲面にも搭載できるため、フレキシブルレクテナの開発は近年期待が高まっている。レクテナに使われる整流器の構成にダイオードが必要なため [1]、フレキシブルなレクテナの実現に向けて透明でフレキシブルなダイオードの開発が求められる。

しかし、従来使われている透明電極材料の Sn ドープ  $\text{In}_2\text{O}_3$  (ITO) は電流特性の向上のため熱処理による結晶化をさせている。これにより多少の屈曲でも亀裂が発生し、電極の抵抗値が上昇してしまうため、曲げに脆くフレキシブル化に向かない [2] [3]。

当研究室では、アモルファス性の強い構造を有したフレキシブルな透明電極として B ドープ  $\text{In}_2\text{O}_3$  (IBO) の開発を行ってきた。これにより IBO は ITO と比べて屈曲回数による抵抗値の上昇が抑えられ、フレキシブル性のある材料であることが示された。そこで、IBO を構成材料として用いることで透明かつフレキシブルなダイオードの実現につながると考えられる。本研究では、構成材料を IBO のみとしたダイオードの試作を目的とした。

### 2. 実験方法

1  $\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  が積まれた Si 基盤を 1  $\text{cm}^2$  にダイシングし、アセトンと IPA を用いて各 10 分間超音波洗浄を行った。その後コンパクトエッチャーを用いて表面の有機物を除去した。続いて RF マグネトロンスパッタ装置を用いて図 1 に示す金属 IBO/半導体 IBO で構成したショットキーダイオードと金属/半導体の接合間に絶縁体 IBO を加えた MIS ダイオードを成膜した。それぞれの IBO は  $\text{In}_2\text{O}_3$  ターゲット上に Boron 粒を置き、 $\text{Ar}/\text{O}_2$  ガスを用いて酸素比を変更することで基板上に成膜をした。半導体 IBO は B ペレット 2 個、酸素比 10%、絶縁体 IBO は B ペレット 1 個、酸素比 50%、金属 IBO は B ペレット 1 個、酸素比 0% に設定した。成膜後、マニュアルプローバを用いて I-V 測定からダイオード特性を評価した。

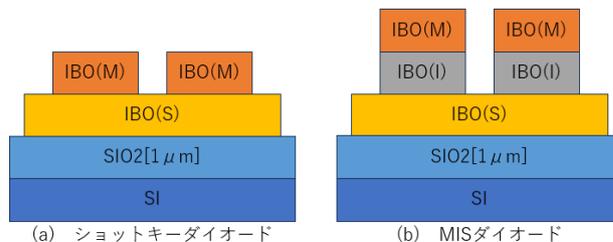


図 1 ショットキーダイオードおよび MIS ダイオードの概略図

### 3. 実験結果および考察

ショットキーダイオードの I-V 特性の結果を図 2 に示す。電圧を±30V 加えたがダイオード特性は観測できず線形の I-V 特性が観測された。この結果より、金属 IBO/半導体 IBO のショットキーダイオードはオーミック接合で構成されたと考えられた。考察として、半導体 IBO の仕事関数が関係していると考えた。半導体 IBO 成膜時に O<sub>2</sub> ガスを用いることによってフェルミ準位が下がり、対照的に仕事関数が大

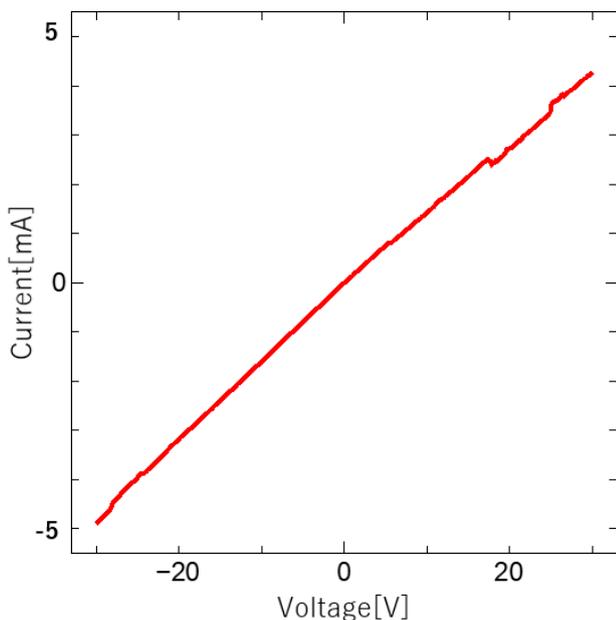


図 2 ショットキーダイオードの I-V 特性結果

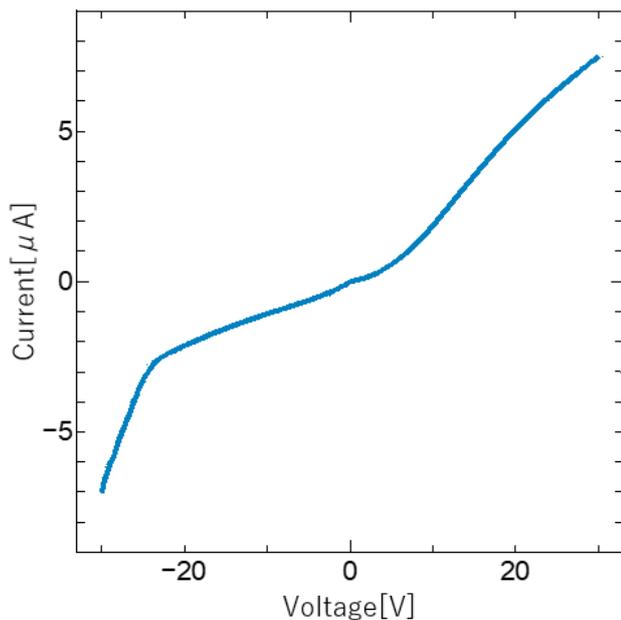


図 3 MIS ダイオードの I-V 特性結果

きくなる。このとき金属 IBO と比較したとき、仕事関数は半導体の方が金属より大きくなる。しかしショットキー接合は、半導体の仕事関数が金属よりも小さいことが条件だが、仕事関数が逆によりオーミック接合で構成されてしまい、ダイオード特性が得られなかったと考えられた。

MIS ダイオードの I-V 特性の結果を図 3 に示す。電圧を±30V 加えると正バイアスおよび負バイアスにおいてダイオード特性を観測できた。正バイアスのかけた際には+5V 付近までは電流値の上昇が抑えられ、+5V を超えると緩やかに電流値が上昇した。一方負バイアスを加えた際は、-25V 付近まで電流値の上昇が抑えられ、-25V を超えると急激に電流値が上昇した。この結果より、金属/半導体の接合間に絶縁体を加えることでオーミック接合のショットキーダイオードでもダイオード特性を得られることが分かった。考察として絶縁体を挟むことで、電圧を加えた際に絶縁体部分でトンネル効果が発生し電流値の上昇が抑制され、疑似的にダイオード特性が発生したと考えられた。

### 4. 結論

本研究では、B ドープ In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(IBO)のみでダイオードを作成し、ダイオード特性の観測を行った。その結果、金属/半導体接合ではオーミック接触となりダイオード特性は観測できなかったが、絶縁体を金属/半導体の接合間に作成することでダイオード特性を観測することができた。今後の展望として MIS ダイオードの電流特性向上に向けて半導体成膜時における O<sub>2</sub> ガスの条件探索を行う。また MIS ダイオードの順バイアス及び逆バイアスの閾値の測定も行う。

### 5. 参考文献

- [1] N. Shinohara *et al.*, J. Surf. Finish. Soc. Jpn. 67, 353-356 (2016).
- [2] Y-G. Bi *et al.*, Adv. Opt. Mater. 7, 1800778 (2019).
- [3] K-H. Choi *et al.*, Appl. Phys. Lett. 92, 223302 (2008).