

B ドープ In_2O_3 透明フレキシブル導電膜における水素ドーピング効果

Effect of hydrogen doping effects in B-doped In_2O_3 flexible and transparent conducting film

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

木菱 完太

指導教員 相川 慎也 准教授, 研究協力者 森 峻, 山寺 真理

キーワード: 透明導電酸化物, 薄膜, 酸化インジウム, ホウ素, 水素

1. 緒言

透明導電酸化物(TCO)は、高い導電性・透明性を持つことから、フラットパネルディスプレイや薄膜太陽電池の透明電極に用いられている。また、柔軟性のある基板に成膜することでフレキシブルなウェアラブルデバイスに応用可能なため、近年期待が高まっている。現在商用で用いられている Sn ドープ In_2O_3 (ITO)は、熱処理による結晶化を伴うことで性能向上が見込まれるが[1]、未熱処理ではこれ以上の性能改善が困難である。また、結晶化は柔軟性に対して有効であるか定かではない。

In_2O_3 系透明導電膜は小イオン半径元素をドープすることで、電子移動度が向上するとともに[2][3]、アモルファスになりやすいことが報告されている。アモルファス材料は、原子間の結合距離および結合角がランダムであることから形状変化に対して応力緩和が期待でき、柔軟性に対して有効と考えられる。

当研究室では、 In_2O_3 に小イオン半径元素であるホウ素(B)をドープした B ドープ In_2O_3 (IBO)を開発してきた。さらなる低抵抗化のためにはキャリア密度向上が必要であるが、B は In と価数が等しいため、キャリア密度向上は期待できない。

本研究では、水素(H)が In_2O_3 中でドナーとして働く先行研究結果にヒントを得て[4]、IBO に H をドープし、低抵抗化する成膜条件の最適化を目的とする。また、H ドープ IBO の柔軟性、透過性も評価する。

2. 実験方法

RF マグнетロンスパッタ装置を用いて基板上へ H ドープ IBO 薄膜及び、比較用の IBO 薄膜を成膜した。 In_2O_3 ターゲット上に Boron 粒(純度 99.999 %)を 1 個置き、水素をドープするために Ar/H₂ ガスを用いた。また、成膜圧力 0.24 Pa に固定し RF 電力 50 W、および 100 W で膜厚が 100 nm 程度になるように成膜時間を調整した。

成膜後、電気特性は Hall 効果測定装置を用いて Van der Pauw 法によりキャリア密度 n と電子移動度 μ を測定し、ドルーデ・モデルにより抵抗率 ρ を算出した。

$$\rho = 1/en\mu \quad (1)$$

ここで、 e は電荷素量である。

機械特性は屈曲試験による相対抵抗値で評価した。また、走査型電子顕微鏡(SEM)で屈曲後の表面観察、X 線回折装置(XRD)で結晶構造評価を行った。光学特性は紫外可視分光光度計(UV-vis)で透過率を測定した。

3. 実験結果および考察

Hall 効果測定の測定結果を Table 1 に示す。RF 電力 100 W で成膜した H ドープ IBO を IBO と比較すると電子移動度は劣るもの、キャリア密度は向上し、抵抗率は同等の値となった。この結果より水素はドナーとして働き、キャリア密度向上に寄与したと考えられる。また、RF 電力 50 W と 100 W で成膜した H ドープ IBO を比較すると、50 W の方が電子移動度およびキャリア密度が向上し、IBO より抵抗

率が低い値となった。したがって、50 Wで成膜を行うことで膜がより緻密になるとともに、水素がよりドナーとして活性化しやすくなつたと考えられる[4]。

Table.1 Hall効果測定によるHドープIBOとIBOの電気特性評価

サンプル	RF電力(W)	電子移動度(cm ² /Vs)	キャリア密度(cm ⁻³)	抵抗率(Ω·cm)
IBO	100	41.1	4.56×10^{20}	3.33×10^{-4}
HドープIBO	100	29.2	5.77×10^{20}	3.59×10^{-4}
HドープIBO	50	35.0	6.32×10^{20}	2.83×10^{-4}

屈曲試験における測定結果をFig.1に示す。RF電力100 Wで成膜したHドープIBOをIBOと比較すると、相対抵抗は約3倍高くなつた。また、SEMによる表面観察を行つたところHドープIBOの方が、クラックが多く発生していることがわかつた。この結果より、成膜時の水素分圧が高いため、IBOよりアモルファスではなくなり、柔軟性が低下したのではないかと考えられる。

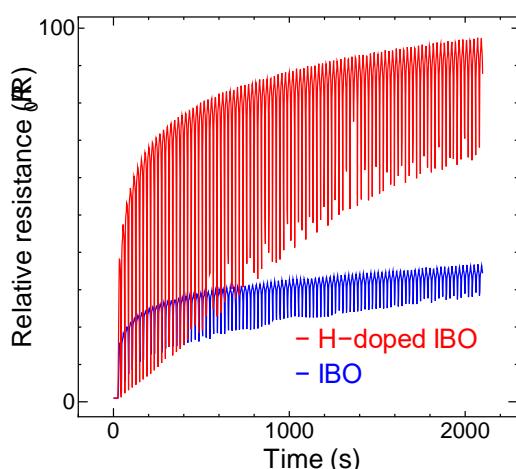


Fig.1 屈曲試験によるHドープIBOとIBOの相対抵抗値測定結果

UV-visによる透過率の測定結果をFig.2に示す。RF電力100 Wで成膜したサンプルを比較し

た。HドープIBOおよびIBOの可視光領域における平均透過率は、それぞれ81.8%、80.1%と同等の値となつた。この結果より、Hドープは可視光領域において影響を及ぼさないと考える。

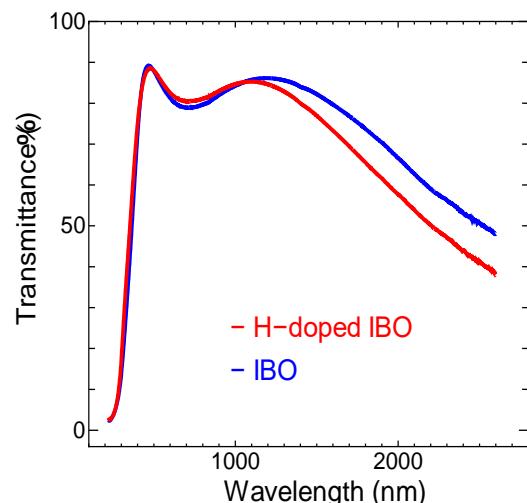


Fig.2 UV-visによるHドープIBOとIBOの透過率測定結果

4. 結論

本研究では、HドープIBOを成膜し低抵抗化する成膜条件の最適化を行つた。その結果、相対抵抗はIBOより高い値となつたが、抵抗率 2.83×10^{-4} Ω·cm、平均透過率81.8%と優れた値を示した。したがつて、水素はドナーとして働く有効なドーパント材料であることがわかつた。今後の展望としては、スパッタガスAr/H₂の成膜条件と比較するため、水蒸気(H₂O)導入によるHドープで成膜を行う。

5. 参考文献

- [1] Ocal Tunal et al., Phys. D: Appl. Phys. 43, 055402 (2014)
- [2] D. Bruce Buchholz et al., Chem. Mater. 26, 5401-5411 (2014)
- [3] N. Mitoma et al., App. Phys. Lett. 106, p. 042106 (2015)
- [4] T. Koida et al./ Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 28 (2007)