

酸化インジウム透明導電膜へのホウ素ドーピング効果の比較検討

Comparative study of Boron doping in In_2O_3 transparent conductive thin films

森 峻 (電気電子工学科)

Shun Mori

高機能デバイス研究室

指導教員

相川 慎也 准教授

1. 緒言

薄膜太陽電池や大面積タッチパネルなど、次世代エネルギー・情報デバイスの実現加速に向け、透明電極材料の導電率と透明性の向上が求められている。現在商用に用いられている酸化インジウムスズ(ITO)は、イオン化不純物による散乱によって電子移動度が向上しないため、これ以上の性能改善が困難である。酸化インジウム系透明薄膜は、ドーパントのイオン半径が小さくなると電子の衝突確率が減少し電子移動度が向上する。そこで当研究室では、イオン半径の小さいホウ素(B)を添加した酸化インジウムボロン(IBO)を開発した¹⁾。しかし、ITOに比べキャリア密度が低く、導電率の向上にはさらなるキャリア移動度の向上が不可欠である。

本研究では、成膜したIBOサンプルに対して O_2 、 Ar/H_2 、 N_2 雰囲気下でアニールをおこない、各雰囲気と温度に対しての薄膜特性変化を調査する。アニールでは、膜の欠陥の減少による透過率の向上、余剰酸素の還元による低抵抗化、不活性化での結晶化による電子移動度の向上が期待されるためである。また、抵抗率や透過率などの物性値の変化からアニール条件の最適化を目的とする。

2. 実験方法

テンバックスガラス基板をアセトン、IPAに浸し超音波洗浄にかけた。その後、UV照射で基板表面をクリーニングした。洗浄後、RFスパッタリング装置を用いて基板上にIBO薄膜及び、比較用の In_2O_3 薄膜を成膜した。B粒(純度99.999%)を1個および2個用いてコスパッタでIBOを膜厚50nm程度になるよう成膜した。成膜圧力は0.24 Pa、RF電力は50W、100Wとし、成膜時の O_2 およびAr流量を変化させ、 O_2 が0~4%の範囲になるように設定した。成膜後、それぞれのサンプルに対して酸化 O_2 、 Ar/H_2 、 N_2 雰囲気下、150℃、300℃、600℃、30分間の条件でそれぞれアニールをおこなった。光学特性は紫外可視分光光度計で透過率を測定した。電気特性は4探針抵抗測定器にてシート抵抗を測定するとともに、Hall効果測定装置を用いてキャリア密度と電子移動度を評価した。膜構造はX線回折装置を用いて定量評価をおこなった。薄膜内のBの含有量を調べるため、走査型電子顕微鏡に付属のエネルギー分散型X線分析装置を用いて薄膜組成の分析をおこなった。また、透明導電膜の膜厚は接触式表面形状測定装置で測定した。

3. 実験結果および考察

Fig. 1にB1個を用いて成膜したIBOのアニール温度に対する抵抗率の特性を示す。 O_2 アニールにおいては、温度が上がるにつれ抵抗率が上昇しており、膜の酸化が進み高抵抗化したと考えられる。 Ar/H_2 アニールにおいては、膜内の余剰酸素が還元され結晶化した結果、電子移動度が向上したと考えられる。 N_2 アニールにおいては、300℃までは余剰酸素との結合が活発でなく抵抗率の変化がなかったが、300℃~600℃の間で結合が活発な状態になり、余剰酸素との結合で高抵抗化したと考えられる。

Fig. 2に上記IBO薄膜の透過スペクトルを示す。as-depo膜の可視光領域を380~750nmとした時の平均透過率は71.8%であったのに対し、アニール後の透過率はいずれも大きな変化がみられなかった。本研究で得られた透過率はいずれも70%程度であり、先行研究¹⁾より報告された80%程度の透過率に満たない結果となった。酸素の脱離によって酸素空孔が増加したため、可視光領域の透過率が低下したと考えられる。

Fig. 3にX線回折測定による温度ごとのスペクトルを示す。150℃までは結晶構造由来のピークが確認されないものの、300℃から結晶化が始まり、600℃では高いピーク強度が得られたことから結晶粒が大きくなったと考えられる。また、300℃と600℃と比較すると600℃でピーク位置が高角度側にシフトしている。これは、熱エネルギーによる格子収縮が顕著になり、Bの小イオン半径を反映した結果と考えられる。

4. 結論

IBOの熱処理条件を最適化するため、作製した薄膜に対してアニールをおこなった。検討した条件での最小抵抗率及び、最高透過率は、それぞれ $2.83 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 、透過率は70.9%であった。成膜直後のas-depo膜以上の性能を示し、アニールによる特性向上の効果があることが分かった。今後は、成膜時酸素分圧やアニール時間にも条件振りし、さらなる最適化を進めていく。

5. 参考文献

1) S. Aikawa, Y. Shibata, Y. Morinaga, 2020 IEEE 20th International Conference on Nanotechnology, Virtual Conference, 2020 July, 29-31.

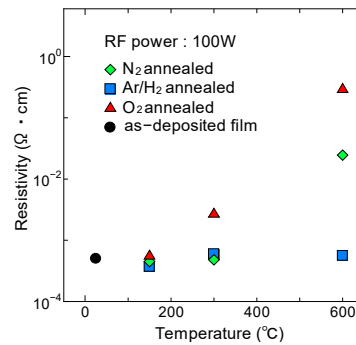


Fig.1 Resistivity of B-doped In_2O_3 films deposited at room temperature.

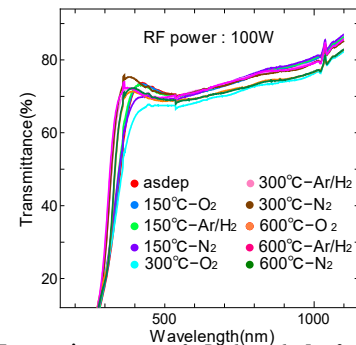


Fig.2 Transmittance of B-doped In_2O_3 films deposited at room temperature.

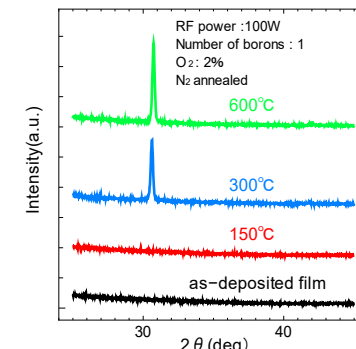


Fig.3 XRD spectra of B-doped In_2O_3 films.