

酸化亜鉛系 B 領域紫外線センサーの開発

Development of Zinc Oxide Based Ultraviolet Light-B Sensor

1255049 秦 陸人 (機能性薄膜工学研究室)
(指導教員 牧野 久雄 教授)

1. 研究背景

紫外線(Ultraviolet : UV)には、自然光と人工光があり、波長によって 3 つの領域、UV-A(320~400 nm)、UV-B(290~320 nm)、UV-C(190~290 nm)に分けられる。人体に影響を与えるのは主に UV-B 以下の波長領域とされている。従来の UV センサーは高価なガリウムヒ素(GaAs)が主だったが、バンドギャップが 3.37eV である ZnO は Mg 添加により UV-B 領域へのワイドギャップ化が可能であり[1]、紫外線領域にのみ感度を持ち可視光フィルターが不要となるなどの優位性がある。また、ZnO には Zn 極性面と O 極性面とがあり、添加元素の取り込みや物性に大きな影響を与える[2]。しかし、ZnO 多結晶薄膜の光導電特性に対する極性の影響を検討した報告例はない。そこで、本研究では、ガラス基板上での ZnO 薄膜の極性制御及び極性による光導電特性の違いを明らかにすること、光導電型センサーの課題である減衰時間の改善、MgZnO を用いて UV-B 領域以下に感度を持つガラス基板上での酸化亜鉛系紫外線センサーの開発について検討した。

2. 実験方法

ガラス基板上に RF マグネトロンスパッタ法でスパッタガスとして Ar ガスを用い、基板温度 300℃で ZnO 薄膜を成膜した。また、減衰時間の改善のため成膜時に O₂ を導入し減衰時間が遅い原因である酸素空孔の減少を図った。本研究では Al 下地層による極性制御を試みた。Al 下地層は RF 重畳 DC マグネトロンスパッタ法で成膜し、膜厚を 1 nm とした。MgZnO 薄膜は、Ar ガスのみとし、基板温度 200℃、250℃、300℃で成膜した。光学特性評価には分光透過率・反射率測定を行った。光導電特性の評価には、電流の時間変化測定(I-t 測定)を行った。照射 UV 光は、波長 365 nm、強度約 0.525 mW、波長 310 nm、強度約 0.21 mW とした。また、雰囲気の影響を調べるため UV 照射中、照射後に N₂ ガスを吹き付けて光導電特性の評価を行った。

3. 実験結果と考察

図 1 に (a) Ar のみで成膜した ZnO 膜(Ar 成膜)と(b)O₂を導入した ZnO 膜(Ar +O₂成膜)の波長 365 nm の UV 光に対する感度を示す。ここでは Zn 極性の結果を示した。成膜時に O₂を導入することによって、極性に関係なく高抵抗化され、暗電流が低下するとともに、O 極性では約 1.06 から約 1.6 に、Zn 極性では約 1.02 から約 1600 まで感度が大きく上昇した。また、Ar のみで成膜した場合の減衰時間は、O 極性では 69 秒、Zn 極性では 134 秒でセンサーとしては遅い結果であった。成膜中に O₂を導入することで減衰時間は O 極性では 9 秒、Zn 極性では 6 秒と大幅に改善した。立ち上がりの応答時間も 10 秒以内の特性を示した。また、極性による光導電特性の違いとしては、Zn 極性は暗電流まで下がりきったが O 極性では非常に遅い成分が残った。

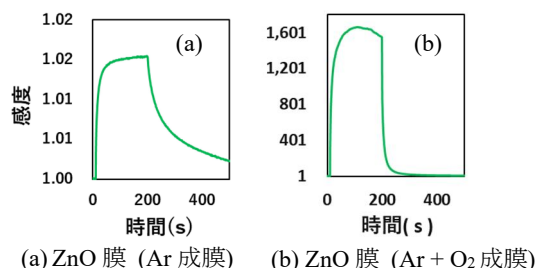


図 1 感度 (Zn 極性)

次に、基板温度を 200℃、250℃、300℃と変えて MgZnO 膜を成膜し、光源 365 nm、310nm の UV 光照射による電流の時間変化測定を行った。基板温度の上昇とともに MgZnO 膜のバンドギャップが大きくなり、300℃成膜において波長 310 nm の光源でのみ応答した。バンドギャップ励起によるプロセスが関与して光応答していることがわかった。また、300℃での MgZnO 膜では約 1.0 秒と ZnO 膜よりも速い減衰時間を得ることができた。

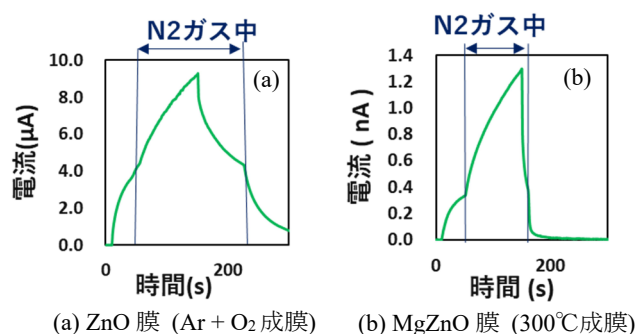


図 2 N₂ ガス中の光導電特性

図 2 に (a) O₂を導入した ZnO 膜(Ar +O₂成膜)と(b) MgZnO 膜(300℃)のサンプルに UV 照射中、照射後に N₂ ガスを吹き付けて電流の時間変化を示す。応答時間は N₂ ガス中で遅くなり、ZnO 膜(Ar +O₂成膜)は 55 秒、MgZnO 膜は 56 秒とほぼ同じ速度になった。これは、表面 O₂の脱離と O₂吸着の抑制によると考えられる。減衰時間については、ZnO 膜(Ar +O₂成膜)は、N₂ ガス中で ZnO 膜(Ar 成膜)と同程度まで遅くなったが、MgZnO 膜では N₂ ガスの影響をほぼ受けなかった。このように、大気中で速い応答、減衰時間を示す 2 つのサンプルだが、N₂ ガス中での振る舞いに違いがあることがわかった。減衰時間は、O₂を導入したサンプルで Ar 成膜と同程度になったのは実際には酸素空孔は減少せずにその影響が顕在化したと考えた。大気中で減衰が速くなったのは表面 O₂の吸着が速くなったためと考えられる。一方、MgZnO 膜では ZnO 中の Mg は O を取り込みやすく酸素空孔を減少させる働きがあり[3]、サンプル中の酸素空孔が減少し減衰時間が N₂ ガスの影響を受けず変わらず速い特性を示したと考えられる。

4. まとめ

マグネトロンスパッタ法によるガラス基板上の ZnO 膜において、1.0 nm の Al 下地層の挿入により極性の制御を達成し、極性による光導電特性の違いについて明らかにした。成膜時に O₂を導入することで光導電型センサーの課題である減衰時間の改善を達成した。ガラス基板上で MgZnO を用いた紫外線センサーとして Ar ガスを用い、基板温度 300℃での MgZnO 膜で UV-B 領域以下に感度を持つ紫外線センサーを達成した。

参考文献

- [1] A. Ohtomo, et al, Appl. Phys. Lett. 72, pp.2466–2468, (1998)
- [2] Y. Adachi, et al., Phys. Status. Solidi, B250, No. 10, 2122–2125 (2013)
- [3] Y. Ogawa, et al., phys. stat. sol. (a) 202, No. 9, pp. 1825–1828, (2005)