

非晶質InGaZnO薄膜のギャップ内準位の評価

日大生産工 ○清水耕作

1 まえがき

アモルファスIn-Ga-Zn-O(a-IGZO)に代表される非晶質透明酸化物半導体は室温で形成しても電子移動度が $10[\text{cm}^2/\text{Vs}]$ 以上の高い移動度をもつ。このため、これまで主流であったアモルファスシリコンに代わって、高性能で安価なLCDパネルを始めフィルムディスプレイや軽量小型ディスプレイへの実用化が大いに期待されている。

本研究では、さらに高性能な薄膜を作製することや、現状の薄膜に対する改善を目的として、ギャップ内の準位の評価を行った。評価には光電流一定法（CPM法）を用いた。

2 実験方法および測定方法

2.1 試料作製

非晶質InGaZnO (a-IGZO) は、パルスレーザ堆積法($\lambda=248\text{ nm}$ 、レーザエネルギー密度： $\sim 0.1\text{ J}/\text{cm}^2/\text{pulse}$ 、繰り返し周波： 10 Hz)を用いてガラス基板（Corning#1737）上に酸素分圧 5.0 Pa の条件で堆積した。膜厚は、 $400\text{--}900\text{ nm}$ とした。電極は、Au/ITOの積層構造とし、良好なオーミック特性が得られることを確認している。¹⁾ また、照射面積は、直径 10 mm 程度に集光しており、SiおよびInGaAsのセンサを用いて、フォトンフラックスを校正した。

2.2 CPM法の原理

光電流一定法（Constant Photocurrent Method）は、移動度ギャップ中の状態密度を評価する方法として1980年代 J. Kockaら²⁾によって提案・開発された方法である。以降歴史的にはアモルファスシリコン膜のギャップ内準位の評価にはPDS（Photothermal Deflection Spectroscopy）と並んで多用されてきたし、十分認知された評価方法である。

簡単に要点を述べる。光電流 I_{ph} は、電極界面がオーミック接触である場合、内部反射の項を無視して一般に

$$I_{\text{ph}} = eN(E)(1-R)\{1-\exp(-\alpha d)\} \eta \mu \tau E \quad (1)$$

と書くことができる。ここに、 e : 電荷素量、 $N(E)$: フォトン束、 R : 反射率、 α : 光吸収係数、 d : 膜厚、 η : 量子効率、 μ : 移動度、 τ : キャリア寿命、 E : 印加電場である。

特に印加電場を一定にした条件下で、 αd が十分に小さいとき($\alpha d \ll 1$)、式(1)は、

$$I_{\text{ph}} = eN(E)(1-R) \alpha d \eta \mu \tau E \quad (2)$$

と近似される。しかも反射率、量子効率、移動度キャリア寿命が一定であり、しかも、光電流を一定にすることで、キャリア寿命を一定にすると、式(2)は、

$$\alpha = \text{const.} / N(E) \quad (3)$$

のように、簡単に書くことができる。すなわち光照射パワーが、

$$P = N(E)h\nu \quad (4)$$

であることから、光電流を一定にするためのフォトン束の変化が欠陥が吸収する密度の変化に対応することが理解される。

このときの、評価素子の構造をFigure 1に示す。

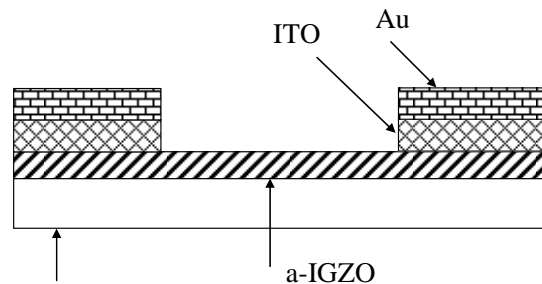


Figure 1 Cross-sectional view of a-IGZO sample with coplaner electrodes

Figure 2は、製膜に用いるパルスレーザのエネルギー密度の依存性をCPM評価したものである。それぞれ $1\text{ J}/\text{cm}^2$ 、と $2\text{ J}/\text{cm}^2$ のときの光学吸収スペクトルとあわせて示している。図中のそれぞれの直線は、光学吸収端が指数関数的に減衰していると仮定して描いたものである。図より 2.4 eV 付近には、エネルギー密度に依存せず、準位の存在が確認される。また、低エネルギー製膜条件では、 1.7 eV 付近にも特徴的に現れ

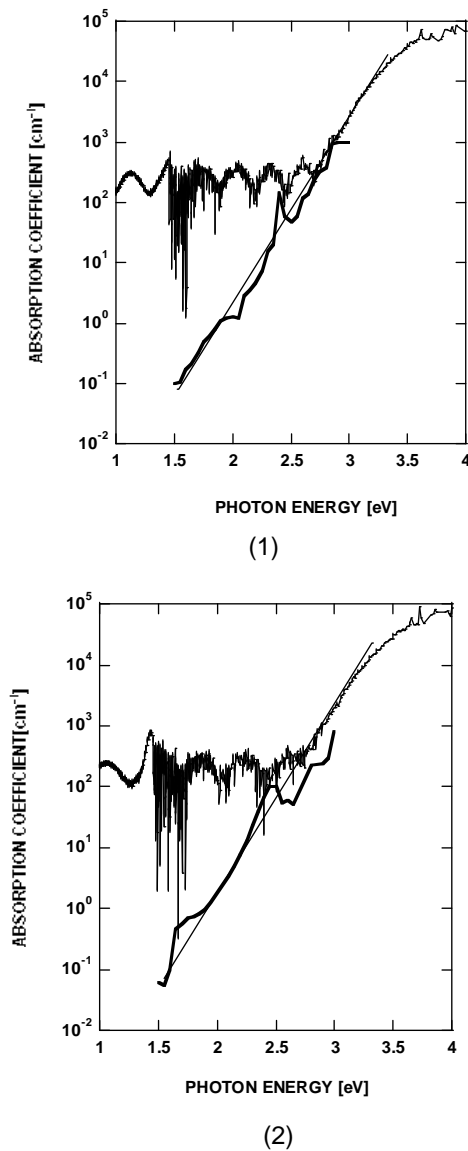


Figure 2 Absorption spectra by optical transmission and subgap absorption spectra as a function of a-IGZO deposition conditions (1) 9 mJ/cm², (2) 2 mJ/cm².

る準位が確認される。これまでの検討より¹⁾、ギャップ内の吸収は、伝導帯側よりもむしろ価電子帯側の裾状態を反映していることがわかってきた。この結果より、Figure3に示すような、サブバンドプロファイルが考えられる。また更なる詳細な検討により、これらの他にも価電子帯には、準位が存在しており価電子帯直上の比較的広い裾状態は、複数の準位が重畳している可能性のあることがわかってきた。

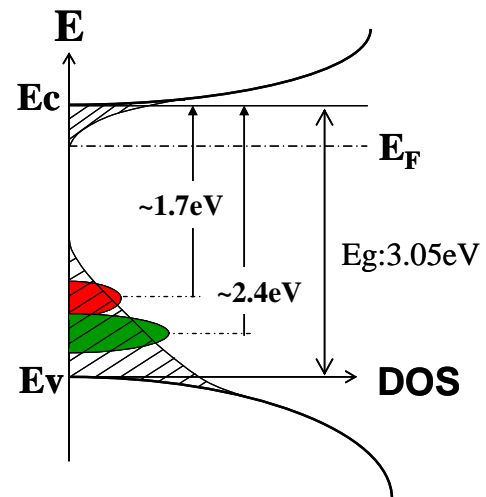


Figure 3. Schematic illustration of Sub band gap profile. A localized state below round 2.4 eV from the conduction band edge has been observed without regards of deposition conditions. A localized state around 1.7 eV is only observed in low energy deposition conditions.

4 まとめ

サブギャップ光吸収を評価することにより、ギャップ内の局在準位の存在を確認した。伝導帯下2.4eVの準位は、製膜条件によらず存在している。また、1.7eVの準位は、低いエネルギー密度で作製したときに特徴的に現れることがわかった。さらにバンド吸収端における光学吸収端は、酸素欠損による準位である可能性が高く、裾状態の広がりやむしろ数種の欠損準位の重畳によるものであることがわかった。

今後は、伝導帯側の裾の状態を詳細に評価することによって、デバイスの信頼性、特性の再現性、および作製条件の依存性を検討することでギャップ内準位との関連性を詳細に検討する。

参考文献

- 1) K.Nomura, T. Kamiya, H. Yanagi, E. Ikenaga, K. Yang, K. Kobayashi, M. Hirano, and H. Hosono, APL 92 202117 (2008)
- 2) J. Kocka, M. Vanecek, and A. Triska : "Amorphous Silicon and Related Materials" ed. H. Fritzsche, p.297 (World Scientific Singapore 1988)