

非晶質酸化物半導体の吸収端特性評価

日大生産工(院) ○張 帥澤

日大生産工(院) 小松 大介 日大生産工 清水 耕作

1. はじめに

現在、非晶質 InGaZnO_4 (以降 a-IGZO) は液晶駆動用薄膜トランジスタの半導体材料として広く用いられている。しかし、光照射下でのゲートバイアスストレスや熱ストレスに対して特性が変化することが知られている^[1]。信頼性及び性能の向上にはその原因の解明や適切な対策を取ることが重要である。本研究では、不安定性が生じる原因、また、抑止するための方法について検討を行っている。

2. 目的

本研究では PYS(Photoelectron Yield Spectroscopy)^[2]及び IPES(Inverse Photoelectron Spectroscopy)^[3-4]を用いて、a-IGZO 薄膜を酸化化及び水素化処理し、スペクトルの変化を観測することを目的とした。また非晶質シリコンや結晶シリコンのシグナルとも対照することで信号が意味するものを考察した。

3. 実験方法

3-1 試料作製

Table 1 Amorphous InGaZnO_4 Deposition conditions

Ar Flow Rate[sccm]	100
O ₂ Flow Rate[sccm]	3.0
Gas Pressure[Pa]	0.5
Incident Power[W]	250(RF)
Growth temp.[°C]	27
Growth time[min]	60

Table 1 に a-IGZO の成膜条件を示す。スパッタリング法を用いてガラス (イーグル 2000) の上に試料を作製した。試料作製後、30s、60s、90s、120s で水素化処理、30s、60s、90s で酸化化処理を行った。

3-2 PYS (光電子分光法)

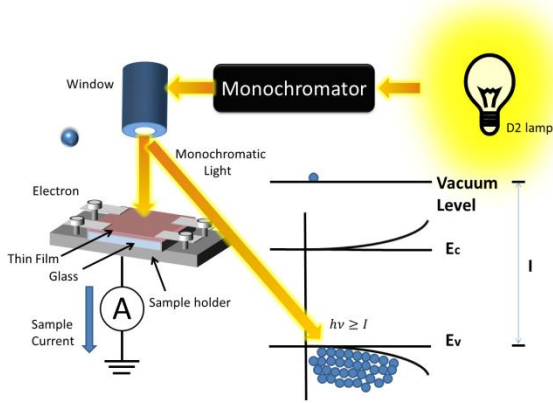


Fig. 1 Schematic description for PYS

D2 ランプから光を出して、モノクロメーターで分光された単色光を試料に照射する。真空準位までに相当するエネルギーが照射されると、光電子が放出される。エネルギー依存性を評価することで、価電子帯の状態密度を検討することができる^[2]。

3-3 IPES (逆光電子分光法)

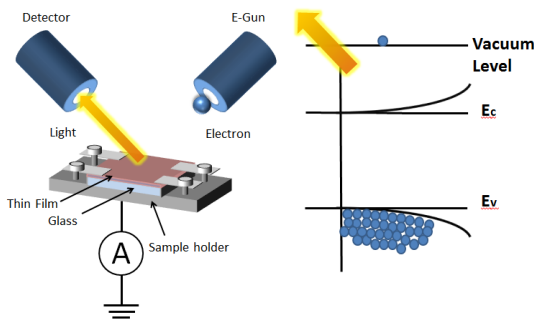


Fig. 2 Schematic description for IPES

逆光電子分光法では、試料に電子線を照射する。照射された電子は高いエネルギー状態にあり、安定な状態になるために、電子は、非占有準位に捕獲される。その際に捕られた電子から放出する光を検出する。この光子の数をカウントすることで、半導体の非占有状態、すなわち伝導

帯の状態密度を評価することができる[3-4]。

4. 実験結果と考察

4-1 c-Si/a-Si、a-IGZO のシグナルの比較

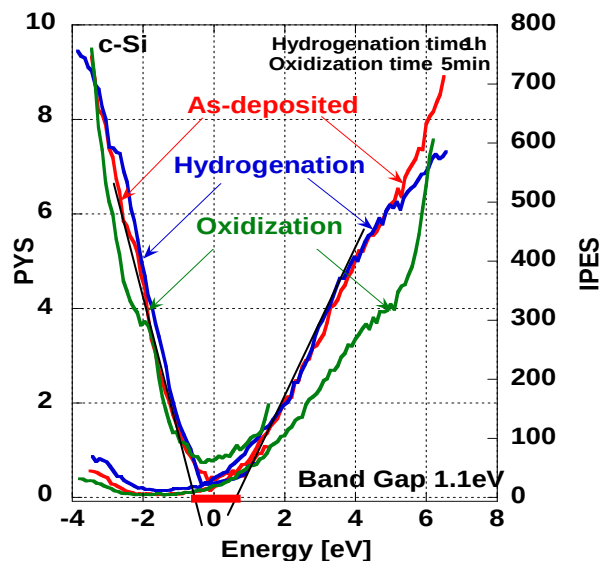


Fig. 3 PYS/IPES spectra for c-Si by Hydrogenation and Oxidization

Fig. 3 に水素化または酸素化した c-Si の PYS/IPES 測定データを示す。初めに光学バンドギャップを測定する。

PYS/IPES 両方のエネルギーはいずれも相対的な値となるので、光学的なバンドギャップと合うように左右にシフトさせた。この時金(Au)の仕事関数を 4.8eV とし、標準物質として使用した。

酸素化、および水素化処理によってシグナルは立ち上がりエネルギーと傾きの変化として現れた。シリコンの場合は酸素化をすると伝導帯及び価電子帯の傾きが小さくなって、両方とも外側にシフトした。見かけ上ではバンドギャップは広がったように見える。しかし、水素化するとこの傾向は、逆になり、傾きが大きくなった。このときは、スペクトルのシフトはほとんど観測されなかった。

Fig. 4にa-Siのシグナルを示している。酸素化及び水素化による変化はc-Siと同じであるが、シグナル強度が低いことがわかった。この原因は、主として表面の凹凸によるものと推測している。

Fig. 5はa-IGZOのPYS/IPESスペクトルを示している。価電子帯側は酸素化すると成膜直後に比べ、スペクトルがスムーズになり、外側

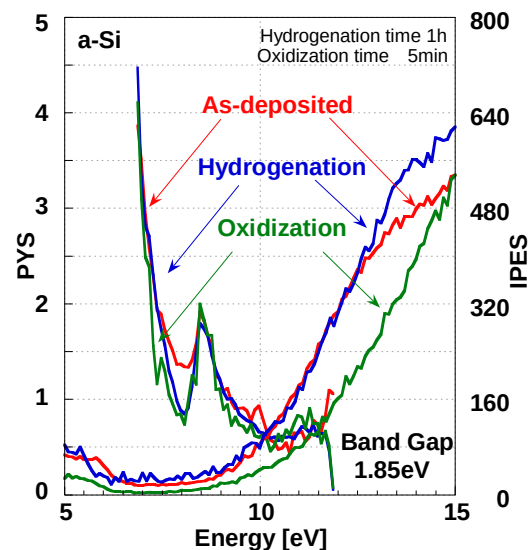


Fig. 4 PYS/IPES spectra for a-Si by Hydrogenation and Oxidization

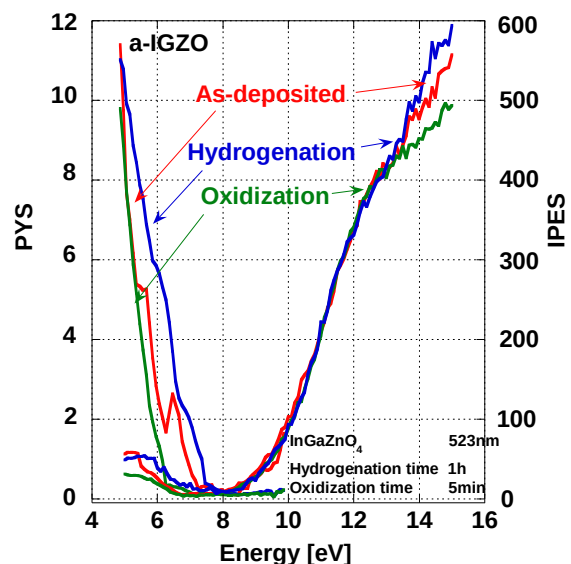


Fig. 5 PYS/IPES spectra for a-IGZO by Hydrogenation and Oxidization

にシフトした。逆に水素化をすると内側にシフトした。またこの時バンドギャップは見かけ上広がったように見える。

4-2 a-IGZO における酸素化及び水素化の時間依存性

Fig. 7及びFig. 8はa-IGZOにおける水素化の時間依存性を示している。水素化時間を30s、60s、90s、120sとした。PYS側は内側にシフトした。Fig. 8では、PYS/ IPES両方ともスペクトルの傾きは時間に応じて小さくなることがわかった。

Fig. 9及びFig. 10は酸素化の時間依存性のグラフを示している。As-depositedに対して伝導帯、価電子帯はわずかに外側にシフトし、Fig. 9に示したように、傾きは時間に応じて大きくなった。ここで、a-IGZOのシグナルの傾きは水素化すると小さく、酸素化すると大きくなることがわかった。c-Si/a-Siの傾きの変化と比較すると、逆の傾向になったことがわかった。

a-IGZOの伝導帯と価電子帯が同時に外側にシフトすることで、見かけ上のバンドギャップ

は広がった。しかし、光学的なバンドギャップでは酸素化及び水素化しても影響がないことがわかった。この事実から酸素化及び水素化処理により表面の薄い層が信号のシフトに影響を与えていることが考察される。つまりPYS/IPESの評価は、表面に敏感であり、バンドギャップの評価には注意を要することがわかった。

Fig. 11はa-IGZO バンドギャップ幅の酸素化及び水素化による時間依存性を示している。

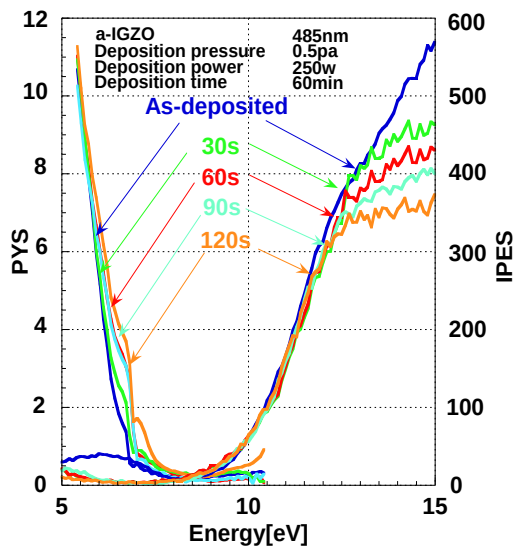


Fig. 7 PYS/IPES spectra for Time dependence of a-IGZO by Hydrogenation

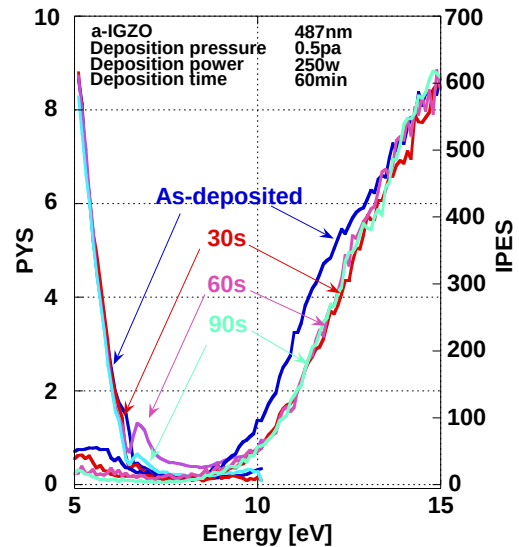


Fig. 9 PYS/IPES spectra for Time dependence of a-IGZO by Oxidization

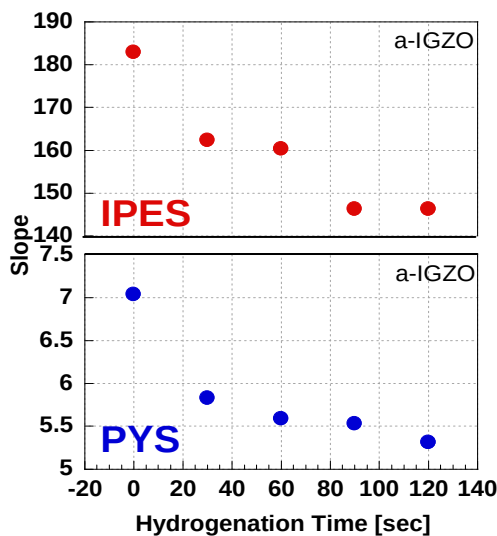


Fig. 8 Slope for Time dependence of a-IGZO by Hydrogenation

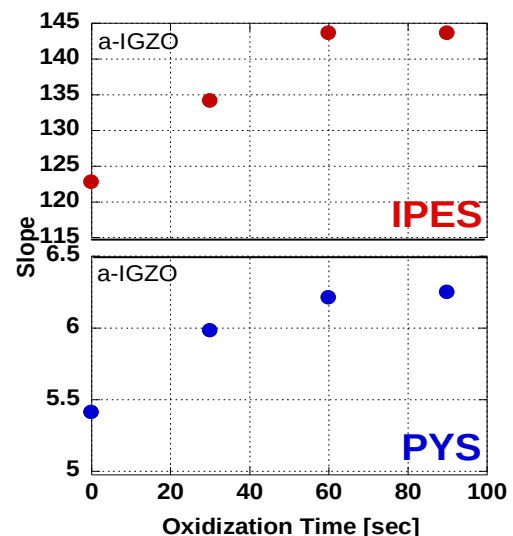


Fig. 10 Slope for Time dependence of a-IGZO by Oxidization

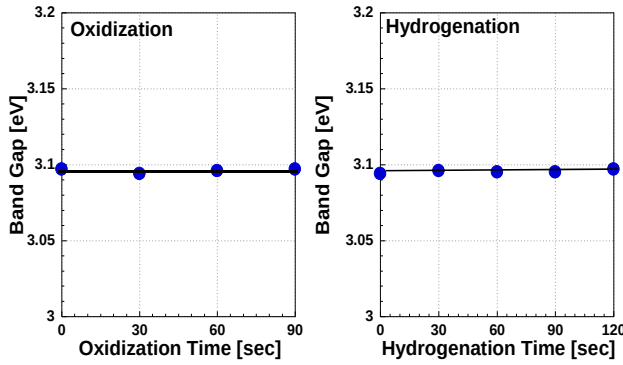


Fig. 11 Slope for Time dependence of a-IGZO by Hydrogenation and Oxidization

4-3 Quality Factor B と PYS/IPES シグナルの傾き

Tauc プロット法は

$$\sqrt{\alpha h\nu} = \sqrt{B(h\nu - E_g)}$$

上記の式で表せる。

ここで、光吸収スペクトルで Tauc プロットとの関係を調べる。Fig. 12 及び Fig. 13 には、B 値と PYS/IPES の傾きの関係を示している。酸化化及び水素化後、PYS/IPES の傾きは B 値の上昇に伴い大きくなっている。これらは互いに相関のあることがわかった。また光吸収法では、伝導帯、価電子帯は結合状態密度としてしか評価できないのに対して、本評価方法はそれぞれを個別に判断することが可能であることがわかった。

5. まとめ

c-Si/a-Si、a-IGZO を水素化及び酸化化し、PYS/IPES を用いて吸収端のところを調べた。酸化化及び水素化すると、シグナルはシフトした。しかし、光学的なバンドギャップには変化がないことから酸化化及び水素化により表面の薄い層が大きな影響を受け、PYS/IPES は表面の状態に敏感に反映することがわかった。酸化化及び水素化すると、シグナルの傾きが変わった。その傾きは TaucPlot の B 値と良い相関をもつことがわかった。そして、PYS/IPES は表面の情報だけではなくバルクの情報も含まれていることがわかった。

PYS/IPES でバンドギャップを評価には難しいが、伝導帯、価電子帯の情報を個別に判断することが可能だと考えられる。

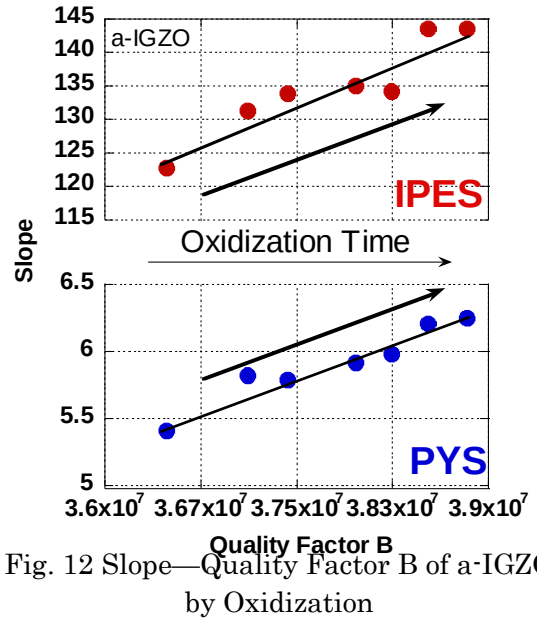


Fig. 12 Slope—Quality Factor B of a-IGZO by Oxidization

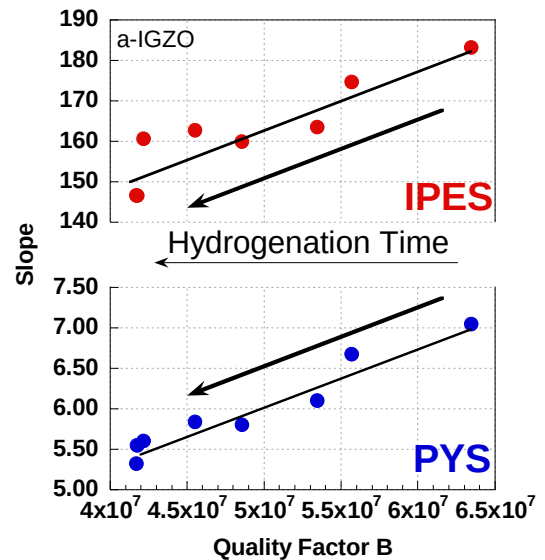


Fig. 13 Slope—Quality Factor B of a-IGZO by Hydrogenation

6. 参考文献

- [1] A. Suresh and J. F. Muth, Appl. Phys. Lett. 92, 033502 (2008).
- [2] C. Bandis and B. B. Pate, Phys. Rev. Lett. 74, 777 (1995).
- [3] P. D. Johnson and S. L. Hulbert, Rev. Sci. Instrum. 61, 2277 (1990).
- [4] D. P. Woodruff, P. D. Johnson, and N. V. Smith, Vac. Sci. Technol. A, 1, 1104 (1983).