

PYS/IPES を用いた非晶質半導体の基礎吸収端特性の評価とその応用

日大生産工(院) ○菅田 知宏

日大生産工 清水 耕作

1. はじめに

今日、太陽電池は再生可能エネルギー利用技術として開発が進められている。現在普及している太陽電池のほとんどが結晶シリコン系太陽電池であり、発電に寄与できる太陽光は、400～1200 ナノメートルの光にほぼ限定されている。本研究室では分光感度の低下する紫から紫外に向かってのスペクトルで発電が可能な酸化物半導体を用いた透明太陽電池の作製及び性能向上を検討している。本研究では、IPES/PYS 及び KP により透明太陽電池の作製に適した材料を選択するためにバンドプロファイルのより正確な評価方法を検討している。

2. 目的

本研究では、透明太陽電池の材料に用いられる酸化物半導体の InGaZnO₄(n 型)と CuAlO₂(p 型)を PYS(Photoelectron Yield spectroscopy)及び IPES(Inverse Photoelectron Spectroscopy)[1]で価電子帯と伝導帯の基礎吸収端を観測する。内部標準サンプルとして金 (Au) を用いている。また、KP(Kelvin Probe)を用いて酸化物半導体のフェルミ準位を測定したものを組み合わせることにより真空準位からのエネルギー差を基準にしたバンドプロファイルを作成する。

3. 実験方法

3-1 KP(Kelvin Probe)

Fig. 1 がケルビン法についての模式図である。試料表面と、それに平行な参照電極(probe)を外部回路で接続し、コンデンサを作る。試料と参照電極の仕事関数 ϕ_S 、 ϕ_R に差があると電荷

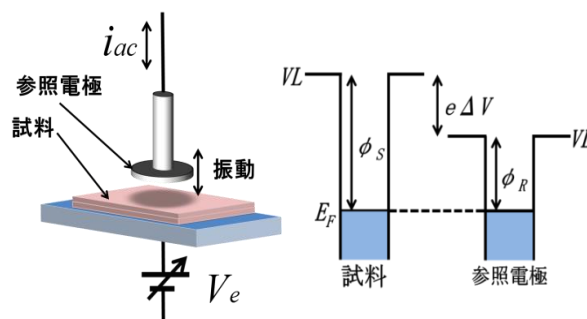


Fig. 1 Schematic diagram of the KP measurement system

$\pm Q$ が両極板に蓄積される。ここで

$$Q = C\Delta V \quad \dots(1)$$

で与えられ、 C : コンデンサ容量、ここで ΔV は

$$\Delta V \equiv (\phi_S - \phi_R)/e \quad \dots(2)$$

ΔV は両電極板の仕事関数差に相当する接触電位差で、 e は電荷素量である。外部からの電圧 V_e を印加し参照電極を試料に対して垂直に振動させると C は周期的に変動するため Q も増減し、

$$i_{ac} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dC}{dt}(\Delta V - V_e) \quad \dots(3)$$

が回路に流れる。 V_e を調節し

$$V_e = \Delta V \quad \dots(4)$$

となると、 i_{ac} が 0 となり、 V_e から ΔV が導かれる。また ϕ_R が既知の値であれば、 ϕ_S も

$$\phi_S = e\Delta V + \phi_R \quad \dots(5)$$

として求められる。また PYS, IPES 法の詳細については、参考文献[1]を参照願いたい。

4. 実験結果と考察

4-1 IPES/PYS による InGaZnO₄ 及び CuAlO₂ のバンドプロファイル

Evaluation and application of fundamental absorption edge properties in amorphous semiconductors using PYS / IPES analyses

Tomohiro SUGETA, Kousaku SHIMIZU

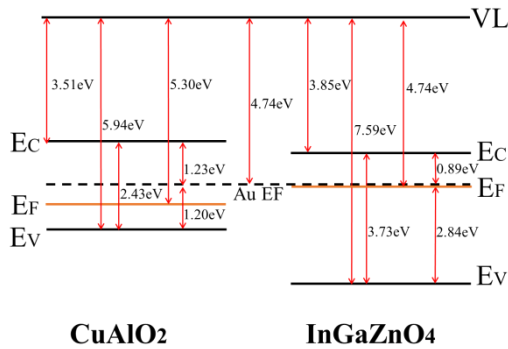


Fig. 2 Band profile diagram of InGaZnO₄ and CuAlO₂

Fig. 2 は非晶質半導体の IPES と PYS のスペクトルに、KP で測定したフェルミ準位を加えたものである。InGaZnO₄ のスペクトルでバンドギャップの値が 3.73 eV となった。また、KP によるフェルミ準位の値は Au のフェルミ準位とほぼ重複するエネルギーにあることが分かった。CuAlO₂ の場合バンドギャップの値が 2.43 eV となった。KP によるフェルミ準位は Au のフェルミ準位から価電子帯側に 0.56 eV の位置にあることが分かった。

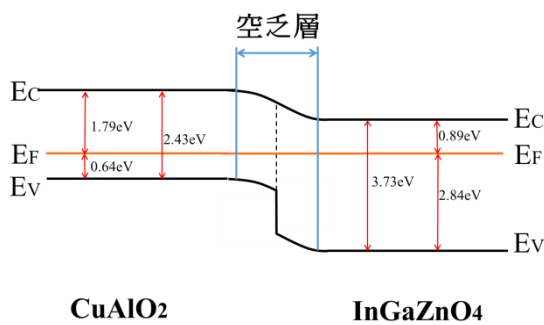


Fig. 3 Band diagram InGaZnO₄ and CuAlO₂ at junction

Fig. 3 は作成した InGaZnO₄ と CuAlO₂ のバンドプロファイルを元に、接合時のバンド図を表したものである。これらの材料ではこのようなバンドの曲りと空乏層ができると考えられる。

4-2 IPES/PYS スペクトルに対する水素化および酸素化の影響

Fig. 4 と Fig. 5 はそれぞれ IPES と PYS のスペクトルの傾きと立ち上がりのエネルギーシフト

ト量を表したものである。Fig. 4 を見ると伝導帯側の傾きと立ち上がりのエネルギーシフト量ともに、ほぼ変化がないことが分かる。Fig. 5 を見ると価電子帯側では堆積直後の状態から酸素化時間が増加するにつれて、傾きは減少する傾向にある。また立ち上がりのエネルギーは、堆積直後のサンプルのエネルギーを基準にすると負方向にシフトする傾向があることが分かった。つまり酸素化は InGaZnO₄ の伝導帯にはほぼ影響を与えることがなく、価電子帯にはバンドギャップが広がる方向にエネルギーがシフトする傾向があることが分かった。

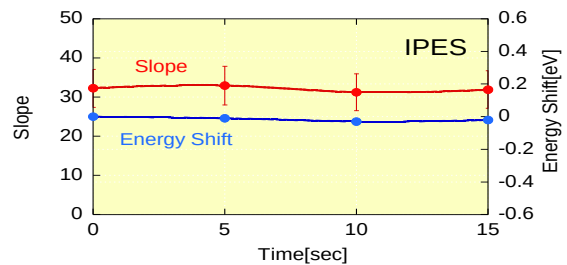


Fig. 4 IPES Slope-Energy Shift of InGaZnO₄ by Oxidation

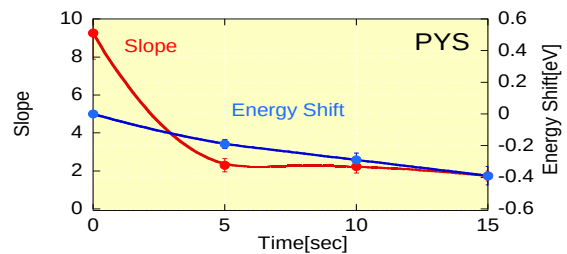


Fig. 5 PYS Slope-Energy Shift of InGaZnO₄ by Oxidation

5. まとめ

IPES/PYS 及び KP によるバンドプロファイルから InGaZnO₄ は n 型半導体、CuAlO₂ は p 型半導体になり太陽電池の材料として適していると言える。また、半導体試料に酸素化及び水素化することにより IPES/PYS スペクトルに影響を与えることが分かった。

6. 参考文献

[1]張帥澤、清水耕作:「PYS/IPES を用いた非晶質半導体の基礎吸収端特性の評価」(2016)