

# Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au의 障壁 높이의 測定에 關한 研究

金奎用 · 尹志洪

## A Study on Barrier Height Measurement of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au

Kyu-yong Kim Ji-hong Yoon

### Summary

A modified Gundlach's method is applied to get the barrier height values of MIM (metal-insulator-meatal) sandwich structures.

Typical barrier height of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au is  $\approx 0.96$  eV.

An experimental result of this method is in good agreement conventional Fowler plot method.

### 緒 言

光電流의 測定은 barrier height를 결정하는 가장 적절하고, 직접적인 方法으로 金屬表面에 單色光이 입사했을 경우에 光電流가 生成된다.

기초적인 圖解는 Fig. 1과 같으며, 光이 前面에서 조사될 때 金屬內에서 여기된 電子가 生成되는 경우에 있어서는  $h\nu > \phi_{Bn}$  이면 반도체에 電子-正孔 쌍이 생기며, 金屬膜이 충분한 박막이면  $h\nu > E_g$  (energy band gap)가 된다. 또 이면에서 조사되면 光은 뒷면 반도체 表面에 강하게 흡수될 것이며, 光勵起된 電子-正孔 쌍은 금속-반도체 境界면에 아주 작게 도달하게 된다.

흡수된 photon R에 對한 光電流는 Fowler 理論에 依하여 photon energy  $h\nu$ 의 함수로 나타낸다.

즉  $x \geq 0$ 에 대해서

$$R \sim \frac{T^2}{\sqrt{E_s - h\nu}} \left[ \frac{x^2 + \pi^2}{2 + 6} - \left( \frac{e^{-x}}{4} + \frac{e^{-3x}}{9} - \dots \right) \right] \dots \quad (1)$$

여기서  $h\nu_0$ 는 장벽높이 즉  $q\phi_{Bn}$ 이며,  $E_s$ 는 금속 전도대의 하단에서 측정된 Fermi energy로  $h\nu_0$ 의 합이고,

$$x \equiv h(\nu - \nu_0) / kT \text{이다.}$$

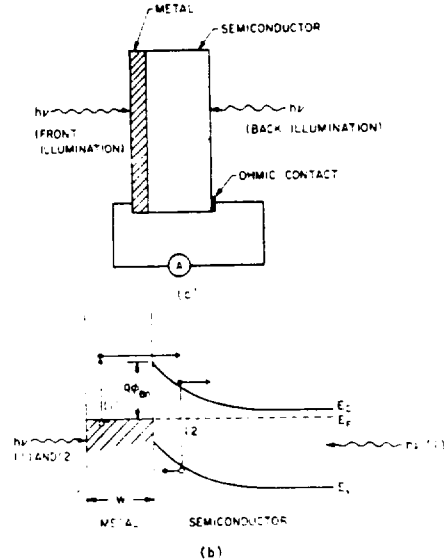


Fig. 1. (a) Schematic setup for photoelectric measurement. (b) Energy band diagram for photoexcitation processes.

$E_s \gg h\nu$ 와  $x > 3$ 일때 (1)식은  $h(\nu - \nu_0) \gg 3KT$ 에 대해서

$$R \sim (h\nu - h\nu_0)^2 \dots\dots\dots (2)$$

또는  $\sqrt{R} \sim h(\nu - \nu_0) \dots\dots\dots (2a)$

가 된다.

결국 금속과 절연체, 반도체와 절연체 또는 금속과 반도체 사이의 경계면에 생기는 energy 장벽높이는 일반적으로 光을 비추었을때 흐르는 光電流의 spectrum 依存性으로부터 결정되는데 그 관계는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} R &= A(h\nu) (h\nu - q\phi_{Bn})^n, & h\nu > q\phi_{Bn} \\ R &= 0, & h\nu < q\phi_{Bn} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $h\nu$ 는 photon의 energy이고,  $q\phi_{Bn}$ 은 전압의 존선의 장벽높이이며,  $n$ 는 보통 1, 2,  $\frac{3}{2}$  또는 3으로, 이 값은 energy band의 구조나 광학적 勵起의 方法 또는 emitter 內에서의 하전체의 수송양식에 따라 달라지는 값이다.  $A(h\nu)$ 는 emitter에 흡수되는 광양자의 energy에 依存하지만 장벽의 높이나 모양에는 관계 없는 양이다. 따라서 emitter와 collector 사이의 電壓을 變化시켜도  $A(h\nu)$ 의 값은 變하지 않는다.

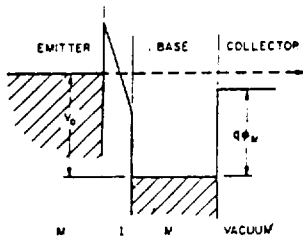


Fig. 2. Energy band diagram of a MIM tunnel emission structure.

### 方 法

本研究은 비대칭성의 장벽을 가진 금속-절연체-금속 구조체에 對한 것으로 製作한 시료는  $Al(1200\text{\AA}) - Al_2O_3(50\text{\AA}) - Au(100\text{\AA})$ 의 sandwich 구조를 만들었으며, Fig. 3은 實驗的인 圖解를 나타낸다.

만약 절연체-금속의 collector가 진공중이라면 간단하게 금속-절연체-금속 tunnel-emission diode를 얻게된다. 이 band diagram은 Fig.2와 같다. 이 구조는 금속 박막과 절연체 박막의 hot electron의 수송기구의 研究에 광범위하게 利用된다.

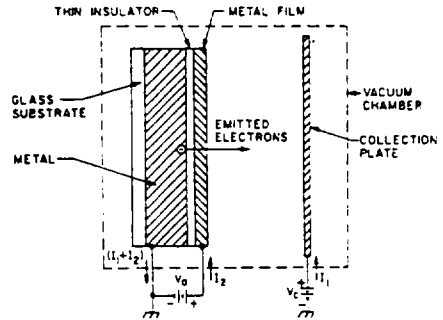


Fig. 3. Schematic experimental setup.

Fig. 4와 같이 金屬1을 金屬2에 對하여 高壓位로 해주고, 또  $q\psi < \phi_1 - \phi_2$ 라고 할 때 金屬2로부터의 電子放出에 對한 電壓依存的인 장벽의 높이는  $\phi_1$ 이 된다.

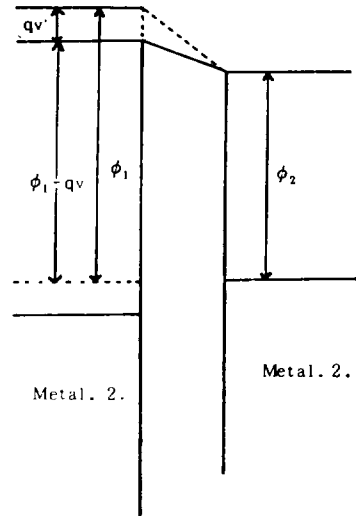


Fig. 4. Energy band diagrams of MIM structures with similar metal electrodes.

따라서 金屬2로부터의 電子放出에 因한 内部 光電流는

$$\left. \begin{aligned} R &= A(h\nu) [h\nu - (\phi_1 - q\psi)]^2, & h\nu \geq \phi_1 - q\psi, & 0 \leq q\psi \leq \phi_1 - \phi_2 \\ R &= 0, & h\nu \leq \phi_1 - q\psi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

로 주어진다.

여기서  $\phi$ 를 결정하는 보통방법은  $h\nu$ 의 함수로써  $[R/A(h\nu)]^{\frac{1}{2}}$ 을 그리고, 이 결과로 얻어지는 직선을 光

電流가 0인 點까지 연장한다. 그러면  $\phi$ 는 이 직선이  $h\nu$  축과 교차하는 點으로부터 얻어지는 것이다. 그러나 이 방법은  $A(h\nu)$ 에 관한 복잡한 理論이 必要하므로 곤란한 문제가 야기된다. 이와는 달리 光電流  $h\nu$ 를 因子로 하고, 인가전압의 함수로 측정하면  $A(h\nu)$ 에 대한 복잡한 문제는 해결될 수 있게 된다.

## 實驗 結果

(4)식에서 photon의 energy  $h\nu$ 를 因子로 하고 photocurrent  $I$ 의 제곱근과 外部電壓  $v$ 와의 關係를 plot 하면 일련의 직선군을 얻게 되는데, 만일  $h\nu > \phi$  이면 이들 직선은  $\sqrt{R}$  축에 양의 部分과 만날 것이고,  $h\nu < \phi$  이면 음의 部分과 만나게 된다. 따라서 原點을 지나는 직선에 해당하는  $h\nu$ 의 값이 곧  $h\nu = \phi$ 이 되는 것이다.

Fig. 5는 Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au 구조에 대한 실험결과를 表示하였는데, 시료의 제작과 光電流의 측정은 Gundlach 등의 方法을 利用하였다. 外部電壓이 0일 때의 장벽보다 상위 전극층의 장벽이 더 높은 사다리꼴 모양의 장벽모형이 成立되는 것을 알 수 있다.

원점을 지나는 직선은 외삽법에 의하여  $h\nu = 0.963\text{eV}$ , 따라서  $\phi_1 \approx 0.96\text{eV}$ 가 된다.

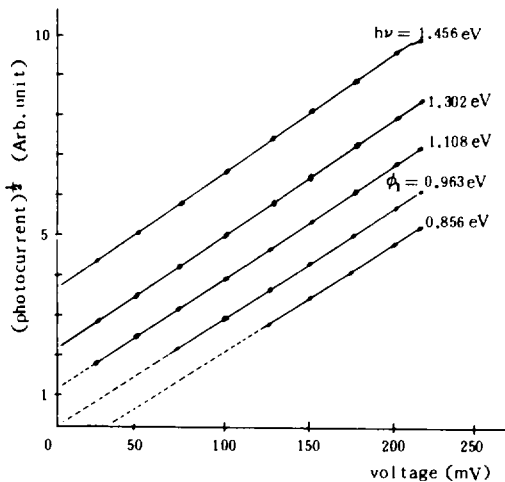


Fig. 5. Square root of the photocurrent versus applied voltage for various photon energy.

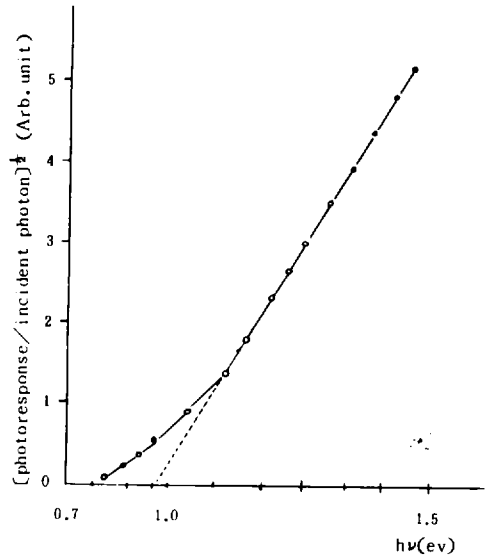


Fig. 6. Square root of the photoresponse per incident photon versus photon energy for Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au.

Fig. 6은 Fowler plot 方法으로, 이것은 입사하는 光量子 한개당의  $\sqrt{R}$ 과  $h\nu$  사이의 關係를 表示한 것이다.

그런데 이 方法의 단점은  $h\nu$ 가 작아짐에 따라 측정치가 직선에서 벗어나는 점이다. 이에 對하여 energy 장벽 높이를 정확히 定할 수가 없으므로 직선부분을 연장해서  $h\nu$  축과 만나는 點으로부터  $\phi_1$ 을 결정하든지, 또는 photoresponse가 0이 되는 광양자의 energy로부터  $\phi_1$ 을 구하여야 한다. 직선부분의 연장에서 얻어진  $\phi_1$ 의 값은  $\phi_1 \approx 0.96\text{eV}$ 이며, 후자의 경우는  $\phi_1 \approx 0.84\text{eV}$ 이다.

그러므로 本研究에서는 Gundlach 등의 方法이나 Fowler plot 方法이 거의 일치하였다.

## 結 論

금속-절연체-금속 구조체인 Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Au 구조에 對한 장벽높이를 Gundlach 등의 方法에 依하여 光電流의 電壓依存性을 利用하여 光電流를 측정할 값이 Fowler plot 方法에서 측정결과와 거의 일치하는 값 즉  $\phi_1 \approx 0.96\text{eV}$ 를 얻었다.

## 引用文獻

1. Crowell. C.R, Spitzer. W.G, Howarth. L.E, and Labate. E.E, (1962). "Attenuation Length Measurements of Hot Electrons in Metal Films", *Phy. Rev.* 127,(2006).
2. Gundlach. K.H and Hölzl. J,(1971), *Surf. Sci.*, 27 (125).
3. Harold. J. Hovel (1975). *Semiconductors and Semimetals*, volume 11.(Solar Cells).
4. Kadlec. J. and Gundlach. K.H.,(1972). *Thin Solid Films*, 11. (175).
5. Kasturi. L. Chopra (1969). *Thin Film Phenomena*.
6. 광성근 (1982). *物理電子工學*, 한국이공학사.
7. Parker. G. H, McGill. T.C, Mead.C.A and Hoffman 1), (1968). "Electric Field Dependence of GaAs Schottky Barriers", *Solid State Electron*, 11, (201).
8. Powell. R.J, (1970), *J. Appl. Phys*, 41 (2424).
9. 라병욱·허정연 (1977). "光電流의 電壓依存性을 이용한 장벽높이의 측정," 경북대학교 문리과대학 문리학총 제 4집.
10. Sze. S. M. (1969). *Physics of Semiconductor Devices*.