

金屬-絶緣體-金屬다이오드의 電氣의 特性에 관한 研究

論 文
31~3~4

Study on Electrical Characteristics of Metal-Insulator-Metal Diodes

張 在 明* · 白 壽 鉉** · 閔 南 基***
(Jae-Muyong Chang · Soo-Hyun Baek · Nam-Ki Min)

Abstract

Metal-Oxide-Metal thin film diodes have been fabricated on the glass substrates by conventional vacuum evaporation method, and the electrical properties, primarily current-voltage characteristics of diodes, have been discussed in the light of various conduction theories presented so far.

The experimental results were plotted in the different figures according to the assumed theory, and the characteristic coefficients peculiar to these theories were estimated from the function dependence of current (I) upon voltage (V), temperature (T) and oxide film thickness (d).

1. 序 論

현재 각종 絶緣體薄膜은 다이오드, 트라이오드, 스위칭素子, 광전지등과 같은 小型固體電子素子에 使用되고 있을 뿐만 아니라 機能的 部品으로서의 應用이 점점 확대되어 가는 추세에 있다. 이와같은 傾向에 자극되어 십여년전 부터 絶緣體薄膜의 誘電의 特性, 絶緣破壞메카니즘, 에너지밴드구조, 電位障壁, 케리어수송메카니즘 등과 같은 物理的 및 電氣의 特性이 연구되어 왔으나, 絶緣體薄膜의 電氣의 性質은 絶緣體의 종류와 薄膜의 製造方法에 의해 크게 좌우되기 때문에 絶緣體薄膜能動素子の 電氣의 特性에 있어서 再現性 및 信賴性 문제가 아직도 해결되지 않은 狀態에 있으며, 최근에는 이의 해결을 위해 絶緣體薄膜을 통한 電氣傳導현상 및 스위칭현상의 實驗的 究明과 理論的 체계화에 주력하고 있다. 그러나 우리나라에 있어서 絶緣體薄膜에 관한 基礎研究 내지는 그 應用研究는 불모상태라 해도 過言이 아닐 정도이며 그에 관한 研究가 절실히 요망되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 筆者

들은 현재 각종 電子素子에 이용되고 있을 뿐만 아니라, 尙차 應用 가능한 絶緣體薄膜(MgO, Al₂O₃, SiO₂, Bi₂O₃)을 使用한 金屬(M)-絶緣體(O)-金屬(M) 다이오드를 시작하여 直流高電界 電氣傳導메카니즘을 中心으로 다이오드의 電氣의 特性을 考察하고자 한다.

2. 試料製作

Mg-MgO-M, Al-Al₂O₃-M, M-Bi₂O₃-M 다이오드 시료는 종래의 眞空蒸着方法에 의해 그림 1로 나타낸 順序에 따라 製作 하였다.

먼저 下部 電極材料 [Mg(순도 : 99.99%), Al (99.999%), Bi(99.999%)]를 tungsten basket에 넣고, Bell Jar內를 1.6×10⁻⁶Torr의 高眞空으로 만든 다음, 金屬 마스크를 통해서 슬라이드유리基板(76×26mm) 위에 그림 1-(a)와 같이 폭 1~3mm의 strip狀으로 蒸着하였다. 시료基板으로 사용된 슬라이드유리는 isopropylalcohol속에서 超音波 세척한 것을 흐르는 건조 질소로 완전히 건조시켜 사용하였다.

유리基板上에 蒸着된 金屬薄膜을 표-1에 주어진 條件에 따라 電氣爐內에서 열산화시켜 소정의 두께를 갖는 산화막을 形成하였다. (그림 1-(b))

마지막으로 上部電極을 下部電極과 서로 수직으로

* 正會員: 東國大 工大 電氣工學科 副敎授
** 正會員: 東國大 工大 電氣工學科 助敎授
*** 正會員: 東國大 工大 電氣工學科 助敎授
接受日字: 1982年 2月 1日

交叉하도록 蒸着하여 金屬(M)-산화막(O)-金屬(M) 샌드위치 구조를 만들었다. (그림 1-(c))

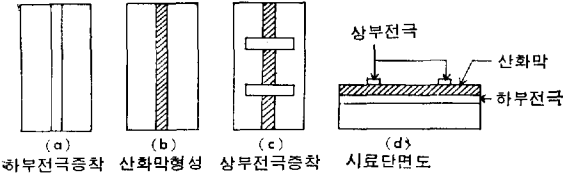


그림 1 試料製作

Fig. 1. Sample preparation

한편 Al-SiO-M다이오드는 Al下部電極위에 SiO를 直接 眞空蒸着한 후 이어서 上部電極을 蒸着하여 製作하였다. 완성된 MOM薄膜다이오드의 구조를 나타내면 그림 1-(d)와 같다. 산화막 두께는 靜電容量測定法에 의하여 決定하였다. 다이오드의 電流-電壓特性 測定時 시료의 接觸抵抗을 最小化시키기 위하여 4端子法 (four-terminal method)을 使用하였으며 電流와 電壓은 각각 디지털 Pico電流計와 디지털電壓計를 使用하여 測定하였다.

표 1. 酸化溫도와 酸化時間

Table 1. Oxidizing temperature and oxidizing time

酸化膜種類	酸化溫度	酸化時間
MgO	95°C~130°C	30~60分
Al ₂ O ₃	250°C~350°C	수時間
Bi ₂ O ₃	300°C~350°C	20~60分
	大氣中에서 自然酸化(40~120時間)	

3. 實驗結果 및 檢討

3-1 Mg-MgO-Mg다이오드

그림 2는 酸化膜 두께가 280Å인 Mg-MgO-Mg다이오드에 대한 代表的인 電流(I)-電壓(V) 特性曲線이다. 低電壓領域에서 電流는 電壓에 比例하여 直線의 으로 增加하고 오옴의 法則을 만족하였으나 印加電壓이 增加함에 따라 電流는 급격히 增加하기 시작하여 현저한 非直線性을 나타내었다. 또한 溫度上昇에 따라, 電流가 增加함을 알 수 있다.

電流-電壓特性的 강한 溫度依存性에 비추어 볼 때 MgO絶緣體薄膜을 통해 흐르는 電流는 溫度에 무관한 터널효과보다 Schottky 효과에 起因하는 것으로 생각되며, 그 電流는 式(1)과 같다.

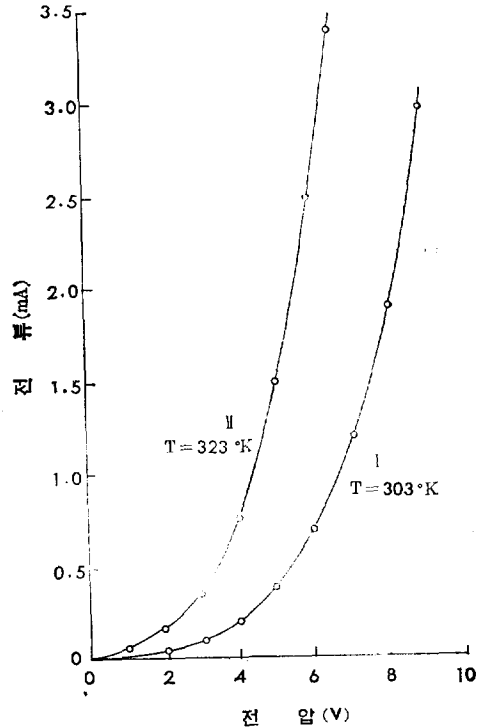


그림 2. Mg-MgO-Mg 다이오드의 전류-전압특성
Fig. 2. Current-voltage characteristics of Mg-MgO-Mg diode

$$I = AT^2 \exp\left(\frac{-\phi}{kT}\right) \exp\left\{\frac{\beta_e}{kT} \left(\frac{V}{d}\right)^{1/2}\right\} \quad (1)$$

여기서 A : Richardson常數, T : 絶對溫度
k : Boltzmann常數, d : 絶緣膜두께
φ : 電位障壁

$$\beta_e = \left(\frac{e^3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}\right)^{1/2}$$

ε₀ : 眞空의 誘電率

ε_r : MgO의 比誘電率

e : 電子의 電荷量

그림 3은 實測한 電流-電壓特性을 Schottky plot으로 나타낸 것으로 $\log I - V^{1/2}$ 관계가 直線으로 됨을 알 수 있으며, 이는 MgO薄膜을 통한 電流가 Schottky放出에 기인됨을 강력히 시사한다.

그러나 Mead⁽²⁾는 $\log I - V^{1/2}$ plot의 直線관계가 반드시 Schottky메카니즘을 意味하지는 않으며, 유사한 電流-電壓特性이 Poole-Frenkel效果^{(3),(4)}에 의해서도 나타날 수 있음을指摘하였다. Poole-Frenkel放出에 있어서 電流-電壓特性은 다음과 같다.

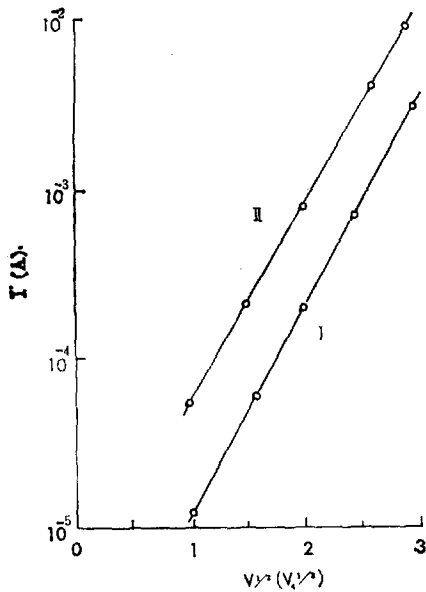


그림 3. 전류-전압특성의 Schottky plot
 Fig. 3. Schottky plot of current-voltage characteristics

$$J = B \exp\left(\frac{-E_t}{kT}\right) \exp\left\{\frac{\beta_{PF}}{kT}\left(\frac{V}{d}\right)^{1/2}\right\} \quad (2)$$

여기서 B : 常數
 E_t : 트랩準位
 $\beta_{PF} = \left(\frac{e^3}{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}\right)^{1/2}$

式(1)과 (2)를 비교해 보면, 電流의 電壓依存性에 있어서 Schottky常數 β_s 는 Poole-Frenkel常數 β_{PF} 의 1/2인 반면, 溫度依存性의 경우는 Schottky放出이 Poole-Frenkel放出보다 溫度변화에 훨씬 더 민감함을 알 수 있다. 그림 3에서 直線의 기울기는 약 1.18(I), 1.12(II)이며, 이로부터 β 를 추정하면 약 $1.19 \times 10^{-4} eV \sqrt{cm/V}$ 이다. 이 값은 MgO의 比誘電率을 $\epsilon_r = 9.8$ 로 취할 경우의 理論值 $1.21 \times 10^{-4} eV \sqrt{cm/V}$ 와 잘 一致한다. 이와같이 Mg-MgO-Mg다이오드의 電流傳導 메커니즘이 Schottky放出이라고 가정한다면 式(1)에서 $\log(I/T^2) - (1/T)$ 관계는 直線으로 될 것이다. 그림 4는 $\log(I/T^2) - 1/T$ 특성을 나타낸 것으로, 약 283°K 이상의 溫度에서는 直線近似가 되나 그 이하에서는 直線으로부터 벗어나고 있다.

이것은 온도가 낮아 질 수록 Schottky방출이 더욱 占領해지기 때문에 전체전류에서 式(1)로 기술되는 Schottky전류가 차지하는 비율이 작아지므로 온도에 무관한 일정한 크기의 터널전류가 지배적으로 되는 것에 기인

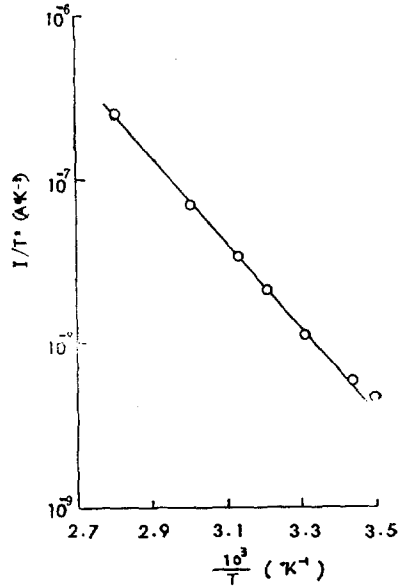


그림 4. $\log(I/T^2) - 1/T$ 특성
 Fig. 4. $\log(I/T^2) - 1/T$ characteristic

한다고 생각된다.

그림 3과 4에 나타난 電流-電壓特性的 直線性은 金屬-絶緣體 界面의 電位障壁을 評價하는 2가지 方法을 提供한다.

첫째 方法은 式(1)과 그림 4의 直線의 기울기로부터 음극계면의 金屬-絶緣體 일함수를 구할 수 있다. $\log(I/T^2) - 1/T$ plot의 直線의 기울기는 式(1)에서

$$S = \left[\left\{ \beta_s \left(\frac{V}{d}\right)^{1/2} - \phi \right\} / 2.3k \right] \quad (3)$$

이므로, 따라서 ϕ 는 다음式으로 된다.

$$\phi = -2.3kS + \beta_s \left(\frac{V}{d}\right)^{1/2} \quad (4)$$

그림 4에서 구한 기울기 S는 -2.67×10^3 이고, 式(4)에 제 정수를 代入하면 ϕ 는 0.72eV이다. 또 다른 方法은 $V=0$ 에서의 電流를 I_0 라고 하면 式(1)에서 電位障壁은

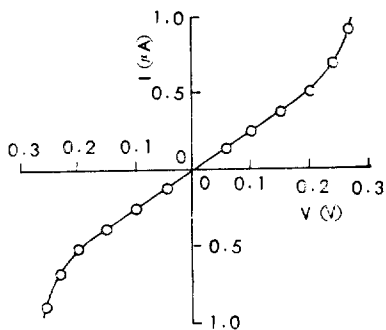
$$\phi = 2.3kT \log\left(\frac{AT^2}{I_0}\right) \quad (5)$$

로 된다. 이 관계로부터 얻어진 ϕ 의 값은 0.70eV에서 0.75eV사이에 있다. 위 두가지 方法으로 부터 推定된 ϕ 는 Mg의 일함수 (ϕ_m)와 MgO의 電子親和力(χ)의 差

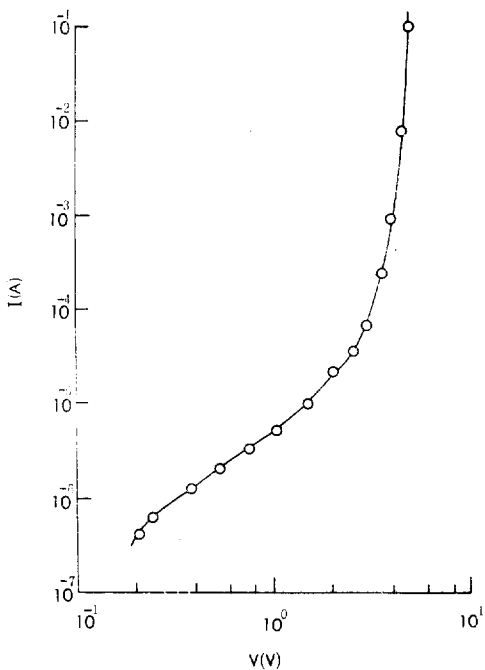
$$\phi = \phi_m - \chi \quad (6)$$

로서 解析할 수는 없다. 왜냐하면 MgO에 대해 일함수 및 電子親和力을 각각 $\phi_m = 3.46e$, $\chi = 1.0eV$ 라고 한다

면 電位障壁의 높이는 $\phi=2.46\text{eV}$ 로 되어 Schottky 電流의 電壓 및 溫度依存性으로부터 計算된 ϕ 보다 상당히 크다. 이와 같은 差異는 다음과 같은 原因에 의해 일어난다고 생각된다. 첫째는 Mg를 熱酸化시키는 경우 Mg와 그위에 形成된 MgO사이에는 半導體의인 特性을 갖는 遷移領域이 存在하게 되어 이것이 障壁의 形態를 變形시킨다고 생각된다. 둘째는 金屬-絶縁體 境界面에 存在하는 影像作用에 의해 에너지밴드의 가장 자리가 둥글게 되어 障壁이 낮아진다고 볼 수 있으며,



(a) 저전압 영역



(b) 고전압 영역

그림 5. Al-Al₂O₃-Al 다이오드의 전류-전압 특성
Fig 5. Current-voltage characteristics of Al-Al₂O₃-Al diode

이 效果는 金屬-絶縁體界面에서 나타나는 一般의인 現象이다. 셋째는 正의 空間電荷가 陰極 근처의 絶縁體 內에 形成되어 陰極에서의 有效電界를 增加시키고 이것이 絶縁體의 일함수를 減少시키는 原因이 될 수 있다. 正의 空間電荷의 源泉으로서 Mg이온이 MgO格子 內에 存在하는 이웃의 空格子點으로 移動하여 形成된다고 생각된다.

3.2 Al-Al₂O₃-Al 다이오드

그림5는 上部電極을 正(+)으로 하여 電壓을 인가하고 測定한 電流-電壓特性의 一例를 나타낸 것이다. 低電壓領域에서 電流는 完만히 增加하고 抵抗은 오믹인을 나타내었으나 電壓이 높아짐에 따라 급격히 지수함수적으로 增加하였다. 이와 같은 傳導特性은 Al₂O₃막 두께가 100~300Å인 範圍에서 대체적으로 동일한 傾向을 보였다. 종래 Al₂O₃薄膜의 電氣傳導에 관한 研究는 비교적 膜두께가 두꺼운 領域(수천Å) 혹은 100Å 이하의 극히 얇은 領域에서 대부분 행해진 바 있지만^{(5)~(9)} 우리와 같은 膜두께 領域에 대한 檢討는 거의 없다. 그래서 우리의 實驗結果를 根據로 하여 電流傳導메카니즘을 檢討하고자 한다. 그림 5에서 電流의 電壓依存性을 보면 高電界에서 몇개의 傳導메카니즘이 複合되어 있다고 생각되며 그리고 界面狀態가 電氣傳導를 支配하는 電極制限形에 속하는 것으로 보인다. 그림 6은 電流-電壓特性을 Schottky Plot으로 나타낸 것이다. 實驗結果중에는 이것에 맞지 않는 것도 있었지만 대부분 0.25~2.3V의 電壓領域에서 式(1)에 나타낸 $\log I \propto \sqrt{V}$ 의 관계로 되었으며, 그림에서 구한 기울기는 1.6으로 理論值와 대체적으로 일치하고, Al-Al₂O₃ 界面에서의 障壁높이는 약 1.1eV로 推定된다.

한편 약 2.3V이상의 높은 바이어스電壓에서 電流는 直線으로부터 벗어나 Schottky電流 이상으로 되며, 이에 대한 메카니즘으로는 電界放出과 空間電荷效果를 고려할 수 있다. 그러나 본 實驗에서는 電流-電壓관계가 $I \propto V^2$ 로 되지 않으며, 또한 電流值도 絶縁膜두께에 대하여 그다지 依存性을 갖지 않았기 때문에 電流가 空間電荷에 의해 制限되기 보다는 電界放出에 起因하는 것으로 보인다. 높은 인가電壓($V \gg \phi/e$)에서 電界放出에 대한 電流는 잘 알려진 Fowler-Nordheim 관계식으로 주어진다.^{(1), (4)}

$$I = AV^2 \exp(-2\alpha\phi^{3/2} d/3eV) \quad (7)$$

여기서 A: 常數 m: 電子의 質量

$$\alpha = 2(2m)^{1/2}/\hbar, \hbar = (\text{플랑크常數})/\pi 2$$

윗式은 電流-電壓관계를 $\log(I/V^2) - 1/V$ 으로 構成하면, 그 기울기가 $(-2/6.9 \alpha d\phi^{3/2})$ 인 直線으로 됨을 暗示한다. 그림 7은 Al-Al₂O₃-Al다이오드의 Fowl-

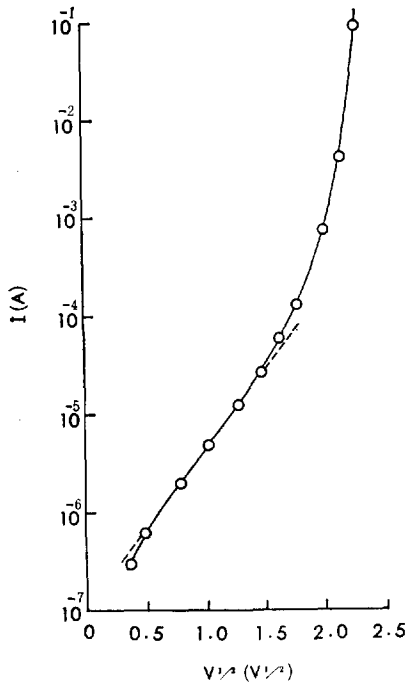


그림 6. 전류-전압특성의 Schottky plot

Fig 6. Schottky plot of current-voltage characteristic

er-Nordheim plot을 나타낸 것으로豫想한 바와 같이 4V이상의 高電壓에서 直線이 얻어지며 그 기울기에서 구한 $\alpha\phi^{3/2}$ 의 값은 $0.87\text{\AA}^{-1}(\text{eV})$ 이다. 電子質量的 값을 眞空의 俾質量으로 假定하고 計算하면 α 는 $1.025\text{\AA}^{-1}(\text{eV})^{-1/2}$ 이고, 이것을 使用하여 ϕ 를 推定하면 $\phi=1.90\text{eV}$ 이다.

그러나 이값은 $\log I - \sqrt{V}$ 特性에서 구한 ϕ 의 값보다 훨씬 작다. 그 원인으로는 電子質量的의 選擇이다. Basavaiah⁽¹⁰⁾등은 Pb-PbO-Pb다이오드에 있어서 Fowler-Nordheim電流의 實驗値와 理論値를 正確히 一致시키기 위해서는 自由電子質量大 대신에 터널링有效質量(tunneling effective mass) m^* ($=0.5m$)을 정의하는 것이 필요함을 제안하였다. 또한 Lenzlinger⁽¹¹⁾ 등은 Si-SiO₂-M구조에 대한 Fowler-Nordheim의 기울기로부터 $m^*/m=0.48(\text{Mg}), 0.39(\text{Al}), 0.42(\text{Si})$ 를 얻었다. 만약 本論文에서 電子의 질량을 $m^*=0.54m$ 으로 취하여 ϕ 의 값을 계산하면 Schottky plot에서 구한 實驗値와 一致한다. 이상과 같이 高電界領域에서 Fowler-Nordheim形 電界放出의 可能性을 檢討하였으나 또한 電極으로부터 트랩 또는 不純物準位로의 電子移動을 考慮할 수도 있으며, 더욱 詳細한 檢討를

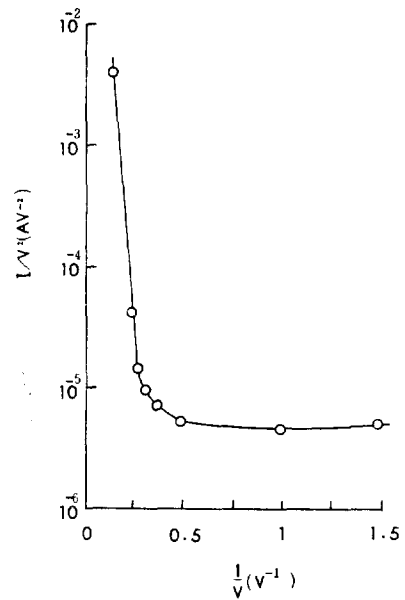


그림 7. Al-Al₂O₃-Al다이오드의 Fowler-Nordheim plot

Fig 7. Fowler-Nordheim plot for Al-Al₂O₃-Al diode

하기 위해서는 트랩이나 不純物準位の 實態를 明確히 把握할 必要가 있기 때문에 現在로서는 이 以上の 檢討가 困難하다.

3.3 Al-SiO-M 다이오드

그림 8은 Al-SiO-M다이오드의 電流(I)-電界(E)特性을 나타낸 것으로 初期의 다른 實驗結果^{(12),(13)}와 마찬가지로 $\log I - E^{1/2}$ 特性이 直線으로 되었으며 式(1)의 Poole-Frenkel效果에 의해 定性的으로 說明할 수 있다. 여러개의 다이오드에 대해 實測한 $\log I - E^{1/2}$ 曲線의 기울기로부터 구한 Poole-Frenkel常數 β_{PF} 와 比誘電率 ϵ_r 의 값은 대략 $\beta_{PF}=2.38\sim 2.93\times 10^{-4}\text{eV}(\text{cm}/\text{V})^{1/2}$, $\epsilon_r=6.7\sim 10.2$ 範圍에 있다. 一般적으로 光學的方法에 의해 測定된 SiO의 比誘電率값은 약 4로 알려져 있으며, 이에 대한 β_{PF} 의 理論値는 $3.8\times 10^{-4}\text{eV}(\text{cm}/\text{V})^{1/2}$ 이다. 따라서 그림 8로부터 구한 β_{PF} 의 값은 Schottky常數 β_s 의 理論値보다는 크고 β_{PF} 의 理論値보다는 작다. 그러나 Al-SiO-M의 電氣傳導가 電極制限形인 Schottky메카니즘은 아니다. Mead⁽²⁾는 絶緣體膜의 電氣傳導메카니즘이 벌크制限過程인 경우는 試料에 順方向 및 逆方向으로 각각 同一한 電流를 흘려주었을때 試料에서의 順方向電壓降下(V_F)對 逆方向電壓降下(V_R) 特性의 기울기가 1이 되어야 함을

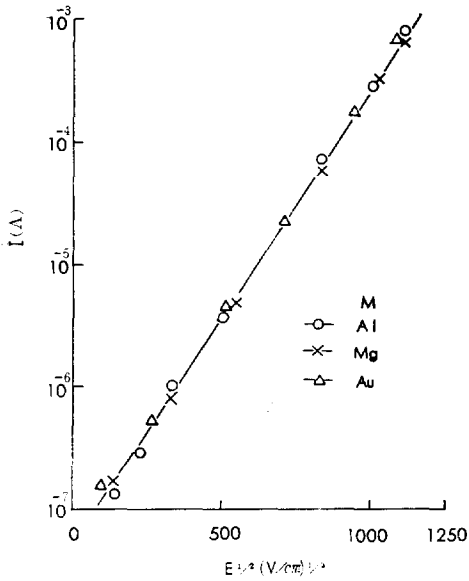


그림 8. Al-SiO-M다이오드에 대한 $\log I - E^{1/2}$ 특성
 Fig 8. $\log I - E^{1/2}$ characteristics for Al-SiO-M diode

強調하였다. 그림 9는 上部電極을 각각 Al, Mg, Au로 하여 實測한 結果이며, 本論文의 實測範圍에서 $V_F - V_R$ 특성은 電極材料의 種類에 관계없이 완전히 대칭적 임을 알 수 있다. 이 結果는 Schottky메카니즘과 같은 電極制限形과는 一致하지 않는 現象으로, SiO의 電

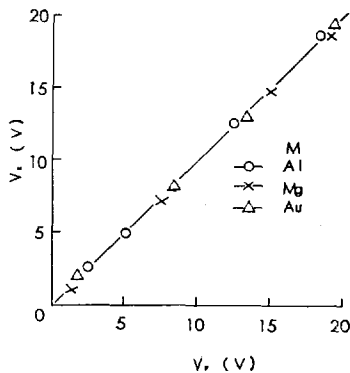


그림 9. 순방향 전압강하 (V_F)-역방향 전압강하 (V_R) 특성
 Fig 9. Plot of the negative (V_R) vs. positive voltage drop (V_F) across samples to give the same magnitude of current

氣傳導에카니즘이 Poole-Frenkel 효과와 같은 벌크制限過程임을 뒷받침한다.

Poole-Frenkel 특성으로 부터 實驗的으로 決定된 β_{PF} (ϵ_r)와 理論值 $\beta_{PF}(\epsilon_r)$ 사이의 不一致는 몇몇 著者들에 의해 檢討된바 있으며 여러 理論的 모델이 提示되었다. (14)-(17)

Simmon⁽¹⁴⁾은 얇은 中性트랩과 깊은 도우너를 갖는 에너지밴드構造를 假定하고 이와같은 不完全 絶緣體 모델의 電氣傳導메카니즘으로서 異常 Poole-Frenkel 효과가 存在함을 誘導하였으며, 이때 $\log I - \sqrt{E}$ 특성의 기울기는 β_{PF} 보다는 오히려 β_s 와 더 잘 一致함을 보였다. Hill⁽¹⁵⁾은 인접한 이온화된 도우너사이의 電位障壁을 통한 熱的放出 또는 터널링의 結果에 기인하여 β_{PF} 가 $1/2\beta_{PF} \sim \beta_{PF}$ 사이의 값으로 減少한다고 提案하였다. Adachi⁽¹⁶⁾는 占有된 Poole-Frenkel 中心에서 빈 Poole-Frenkel 中心으로 캐리어가 跳躍하여 移動하는 모델로서 計算한 結果 實驗值과 理論值가 더 잘 一致하였다. 필자들은 式(2)의 正常 Poole-Frenkel 式과 實驗值를 檢討하는데 있어서 이상의 여러 理論的 모델 이외에 追加로 고려해야 할 인자는 SiO膜의 化學的 組成과 物理的 構造가 蒸着條件(蒸着速度, 基板加熱等)에 따라 변화될 수 있다는 점을 지적하고자 한다. York⁽¹⁷⁾는 SiO 蒸着時 蒸着速度가 減少함에 따라 더 많은 SiO가 산화되기 때문에, SiO膜의 組成이 Si와 SiO₂가 混合된 形態인 Si_xO_y와 같이 어느 정도 中間酸化狀態로 存存하게 되고, 따라서 ϵ_r 의 값도 SiO₂의 比誘電率(3.8)과 Si의 比誘電率(11.6) 사이의 범위에 있음을 實測하였으며, 우리의 實驗에서도 거의 동일한 結果가 確認되었다. 또한 Si組成의 變化는 트랩 또는 도우너密度的 變化를 가져온다. 따라서 Poole-Frenkel 公式로 부터 決定되는 β_{PF} 는 蒸着條件에 따라 달라질 수 있으며 式(2)의 理論值와 正確하게 一致하지 않는다고 생각된다.

3.4 Al-Bi₂O₃-Al다이오드

Al-Bi₂O₃-Al다이오드의 電流(I)-電壓(V) 특성은 그림 10에서 보는 바와 같이 처음에는 오믹領域($I \propto V$)이 있고 다음에 $I \propto V^2$ 인 領域을 거쳐, 어느 임계電壓($V_{TH} = 6V$)에서 갑자기 電壓이 減少하고 電流가 급증하는 電流制御形 負性抵抗(CNR)現象이 나타난다. V_{TH} 이하의 電壓領域에서는 電流의 電壓依存性으로 미루어 볼 때 다이오드의 電流傳導메카니즘은 트랩이 存在하는 絶緣體에 있어서의 空間電荷制限傳導임을 나타낸다. 低바이어스에서 $I - V$ 특성은 熱的으로 發生된 캐리어로 인하여 오믹으로 된다. 電壓이 增加함에 따라 電極으로 부터 注入되는 캐리어密度가 熱發生 캐리

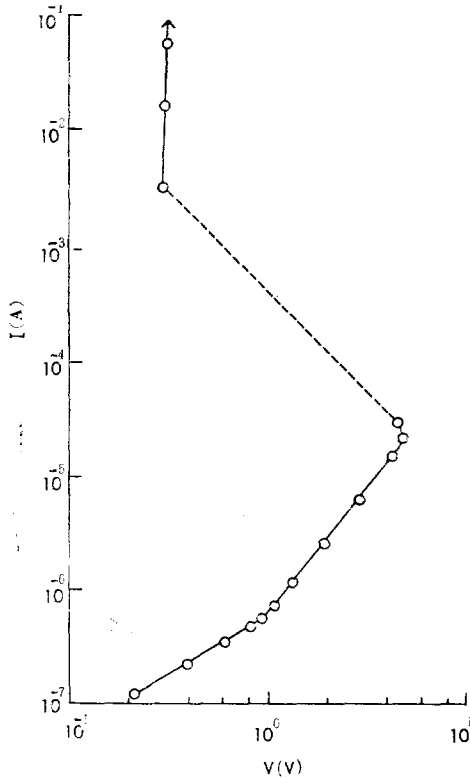


그림 10. Al-Bi₂O₃-Al 다이오드의 전류-전압특성
 Fig 10. Current-voltage characteristic of Al-Bi₂O₃-Al diode

어 밀도를 초과하게 되면 공간전하가 형성되고, 전류는 공간전하와 트랩의 영향에 의해 제한된다. 이때 흐르는 전류는 다음식과 같다.^{(18), (19)}

$$I = \frac{q}{8} \epsilon \mu \frac{V^2}{d^3} \theta$$

여기서 θ : 자유캐리어 밀도와 트랩된 캐리어 밀도의 비
 μ : 이동도

만약 Al-Bi₂O₃-Al 다이오드의 전류가 공간전하 제한 전류라는推論이 타당하다면 공간전하 제한 전류의 특정한 막 두께 의존성이 나타날 것이豫想된다. 식(2)가 만족되는 영역에서 Bi₂O₃ 막 두께에 따른 전류의 변화를 나타내면 그림 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 負의 기울기를 갖는 직線 관계가 얻어지며 實測한 직線의 기울기는 (-2.9)로 식(2)의 $J \propto d^{-3}$ 法則과 잘一致한다. 이러한 結果는 Bi₂O₃ 다이오드의 電氣傳導 메커니즘이 공간전하 제한傳導임을 더욱 확고히 뒷받침 해 준다.

한편 電流制御形 負性抵抗現象은 現在까지 여러 絶緣體薄膜에서⁽²⁰⁾⁻⁽²⁴⁾ 발견되고 있으며, 그 발생원인을

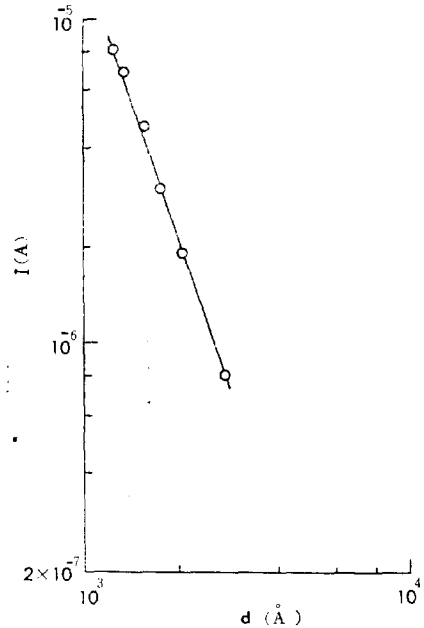


그림 11. 공간전하제한전류의 막두께의존성
 Fig 11. Dependence of SCL current on Bi₂O₃ film thickness

說明하기 위해서 몇가지 理論이 提示되고 있다.

Geppert⁽²⁰⁾는 Nb-Nb₂O₅-M 構造에서 CCNR을 관측하고 그것을 캐리어의 이중주입 메커니즘에 기초를 두고 說明하였다. 그러나 그림 10의 電流-電壓特性에서 부성저항領域이후에 電流急增現象이 나타나는 것으로 보아 二重注入理論은 생각할 수 없다고 본다. Chopra⁽²¹⁾는 金屬電極 사이에 샌드위치된 Ti, Nb 및 Ta 酸化膜에서 觀測된 CCNR이 캐리어의 愛別란시增倍現象에 起因함을 보였다.

본 論文에서는 부성저항이 나타나기 以前에 空間電荷電流가 存在하는 것을 고려한다면 空間電荷制限電流와 愛別란시增倍가 동시에 CCNR의 發生에 기여하는 것으로 보인다. 즉 어느 임계電壓 以上에서 絶緣體에 注入된 空間電荷의 增加는 絶緣膜의 두께가 얇은 特定領域에 집중되도록 電界를 재분포시키고, 이것이 캐리어의 發生과 注入를 增加시키거나 愛別란시를 일으켜, 결국 브레이크다운에 이른다고 생각된다. 또 臨界電壓 (V_{TH})이 溫度에 따라 약간씩 變化함을 관측하였으며, 이것은 熱的 效果가 CCNR特性에 部分的으로 關여하고 있음을 암시한다. Bi₂O₃ 薄膜다이오드의 CCNR 현상에 대해서는 앞으로 좀 더 많은 研究가 요망된다.

4. 結 論

眞空蒸着法에 의해 制作된 Mg—MgO—M, Al—Al₂O₃—M, Al—SiO—M다이오드의 電氣傳導特性을 調査하고 從來에 提示된 각종 傳導理論에 立脚하여 電流의 電壓, 溫度 및 膜두께 依存性등을 檢討하였다.

각 다이오드의 電氣傳導메카니즘에 대해 그 妥當性을 완전히 識別하는 데는 問題가 있으나 우리의 實驗범위내에서 다이오드의 支配的인 高電界傳導메카니즘으로 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) Mg—MgO—M다이오드의 電流는 주로 Schottky 放出에 起因한다고 생각된다.

(2) Al—Al₂O₃—M다이오드의 電流傳導메카니즘은 Schottky放出(0.25~2.3V범위)과 Fowler-Nordheim形 터널(2.3V이상)이 支配的이다.

(3) Al—SiO—M다이오드의 電流는 트랩된 電子가 電界의 도움에 의해 傳導帶속으로 熱勵起되는 Poole-Frenkel形 電壓依存性을 갖는다.

(4) Al—Bi₂O₃—Al다이오드에 흐르는 電流는 臨界電壓(=6V)이하에서 空間電荷에 의해 制限되고 그 이상에서는 CCNR이 나타난다.

그러나 薄膜研究를 해보면 薄膜의 特性은 그 製作法 및 履歷에 의해 예민하게 영향을 받으므로 같은 材料로 實驗을 하더라도 實驗者에 따라 상당히 다른 結果가 얻어지는 경우가 많으며, 또한 說明이 어려운 기묘한 現象이 자주 나타나기도 한다. 現任 發表되고 있는 報告들을 보면 大部分 비교적 理論과 대응시키기 쉬운 部分에 대해서만 여러각도에서 論議되고 있다. 필자들의 實驗에서도 說明하기 곤란한 現象들이 觀測되었다. 그 一例로 Al—Al₂O₃—Ag 및 Ag—SiO—Ag(Au)다이오드에 있어서 인가電壓을 높여가면 負性抵抗性이 나타난다. 그러나 測定結果의 再現性이 부족하여 메카니즘의 正確한 解明이 대단히 곤란하였기 때문에 여기서는 재현성이 어느정도 保障되는 범위에 국한시켜 考察하였다.

本 研究는 1981年度 文敎部學術研究助成費로 이루어진 것임.

參 考 文 獻

[1] J.J. O'Dwyer; "The theory of electrical conduction and breakdown in solid dielectrics," Clarendon Press, Oxford, 1973
 [2] C.A. Mead; Phys. Rev., Vol. 128, 2088(1962)
 [3] J. Frenkel; J. Exptl. Theoret. Phys. (USSR), Vol. 8, 1893 (1938)

[4] F.G. Simmons; J. Phys. D; Appl. Phys., Vol. 4, 613 (1971)
 [5] S.R. Pollack; J. Appl. Phys., Vol. 35, 1503 (1964)
 [6] A. Roy Bardhan; Int. J. Electronics, Vol. 39, 343 (1975)
 [7] H.M. Vodenicharov; Solid-St. Electronics, Vol. 15 933 (1972)
 [8] P. Kerkides; Solid-st. Electronics, Vol. 19, 1009 (1976)
 [9] M. Tomixawa; Trans. IECE. Japan, E60, 634 (1977)
 [10] Basavaiah; Bull. Am. Phys. Soc., Vol. 18, 462 (1973)
 [11] Lenzlinger; J. Appl. Phys., Vol. 40, 278(1969)
 [12] T.E. Hartman; J. Appl. Phys. Vol. 37, 2468 (1966)
 [13] M. Stuart; Brit. J. Appl. Phys., Vol. 18, 1637 (1967)
 [14] J.G. Simmon; Phys. Rev., Vol. 166, 12 (1968)
 [15] R.D. Gould; Int. J. Electronics, Vol. 38, 577 (1975)
 [16] H. Adachi; J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 4, 988 (1971)
 [17] D.B. York; J. Electrochem. Soc., Vol. 110, 271 (1963)
 [18] M.A. Lampert; J. Phys. Chem. Solids, Vol. 8, 464 (1959)
 [19] M.A. Lampert; "Current injection in Solids", Academic Press, New York and London, 1970
 [20] D.V. Geppert; Proc. IEEE., Vol. 51, 223 (1963)
 [21] K.L. Chopra; J. Appl. Phys., Vol. 36, 184 (1965)
 [22] R.J. Soukup; J. Appl. Phys., Vol. 43, 431 (1972)
 [23] K. Komorita; Japan. J. Appl. Phys., Vol. 14, 913 (1975)
 [24] M.I. Khan; Int. J. Electronics, Vol. 46, 215 (1979)