

논문  
25~1~4

# As-Te-Si-Ge 非晶質薄膜 스위칭素子の 電極影響에 關한 研究

## A Study on the Electrode Effect of As-Te-Si-Ge Non-crystalline Thin film Switching Devices

朴昌燁\* · 鄭鴻倍\*\*

(Chang Yud Park, Hong Bay Chung)

### Abstract

The switching characteristics of Non-crystalline As-Te-Si-Ge thin film device using Ag, In and Al metal for electrode, has been investigated. Threshold voltage and holding current of each sandwich type device varied due the to formation of the potential barrier in between non crystalline solid and electrode interface.

### 1. 序 論

結晶質半導體 보다는 比較的 간단한 形成過程을 거쳐 만들어진 非晶質半導體 또는 構造的으로 매우 無秩序한 이 試料는 低電界에서 V-I 特性이 熱的인 勵起로 인해 線型的인 特性이 나타나며  $10^4\text{v/cm}$  以上の 高電界에서는 非線型的인 特性을 나타내고 傳導는 매우 不安定하다. 非晶質薄膜의 傳導가 不安함에 따라 薄膜層에 상당한 變化가 생기게 된다. 마일 薄膜으로된 無秩序 試料가 金屬電極 사이에 샌드위치型으로 끼여 있는 薄膜素子에 낮은 電界가 가해질때 V-I 特性은 可逆的이며 再現性이 있으나  $10^4\text{V/cm}$  以上の 電界에서는 非可逆的인 과거가 이루어졌다. 따라서 이러한 V-I 特性에 接解電極材料가 스위칭動作에 重要な 役割을 한다는 문제가 대두되었다. 前에는 C, Mo, W 등이 接解電極으로 적당하다고 생각해 왔지만 1970年 Bosnel et al<sup>1)</sup>에 의하면 Ag, Au Cu 등의 金屬接觸은 非晶質薄膜의 結晶化溫度를 減少시키고 非溶解性金屬接觸은 結晶化溫度를 增加시킨다고 報告하였다. 또한 1973年 Manhart<sup>2)</sup>는 電氣的特性이 類似한 金属材料를 電極으로 사용하면 SiO 薄膜에서도 스위칭動作이 可態하지만 Al金屬을 한쪽 電極으로만 사용하면 스위칭 現象이 나타나지 않는다고 報告하였다. 現在 非晶質半導體素子에서 關心의 焦點이 되고 있는 것은 素子の 耐久性을 增進시키고 安定度와 再現性을 높이는 點에 있다. 이러한 추

세에 맞추어 本 論文에서는 여러가지 條件下에서 接觸電極材料가 스위칭動作에 어떠한 影響을 미치는가에 대하여 金屬-非晶質薄膜-金屬接觸系統을 모델화시켜 薄膜形成時에 생기는 不安定에 대하여 考察하고, 이것을 토대로 As-Te-Si-Ge 非晶質半導體를 택하여 박막스위칭 소자를 만들고 金屬電極材料가 V-I特性에 미치는 影響을 實驗的으로 관찰하고 各 Ag, In 및 Al 金屬을 사용한 스위칭素子の 문턱電壓  $V_{th}$ 와 維持電流  $I_h$ 를 測定하여 再現性 및 安定性에 對한 動作特性을 추적하고 外部回路抵抗에 따른 ON狀態의 電流  $I_{ON}$ 의 變化에 對해 조사코저 한다.

### 2. 實 驗

#### (1) 스위칭薄膜素子の 製造

非晶質半導體中에서 스위칭特性이 比較的 安定된 As-Te-Si-Ge 칼코게나이드系를 택하였다. 純도가 높은 (99.999%) 元素를 正確히 秤量한 成分元素를 질산용액으로 세척한 석영관에 넣고  $3 \times 10^{-5}$  Torr까지 배기시킨후 봉입하였다. 이 봉입석영용기를 브릿지면 전기로에 수평으로 넣고  $200^\circ\text{C}$ 로 5時間 程度 서서히 반응시킨후  $1100^\circ\text{C}$ 까지 溫度를 올려 50時間 둔 다음 공기중에서 冷却시켰다. 이렇게 만든 試料는 회절분석 결과 非晶質體임을 확인하였으며 示差熱分析 結果 傳移溫度  $T_g$ 는  $232^\circ\text{C}$ 로 나타 났으며 As와 Te의 比率이 As:Te = 38.46 : 61.54 일때 비교적 安定된 비정질이 形成되었다. 또한 室溫에서 比抵抗을 測定한 結果  $1.5 \times 10^7 \Omega/\text{cm}$ 이었고 溫度에 따라 급격한 比抵抗의 減少를 볼 수

\* 正會員 · 延世大 理工大教授(工博) · 當學會編修理事

\*\* " · 延世大 理工大講師

接受日字: 75年 12月 4日

있었다. 이 試料의 活性化 에너지는  $E=0.66eV$ 였다. 이런 性質을 갖는 非晶質試料과 各 屬電極을 薄膜化 하기 위해 Al, In, Ag 金屬을 電極材料로 택하여 真空 증착법으로 증착시켰다. 電極材料의 純度는 Al 金屬 (99.9999%) In (99.999%) Ag (99%)인 것을 사용했으며 基板으로는 Micro slide glass를 使用했다. 蒸着時 電極材料를 基板全體에 蒸着시킨후 非晶質試料를 直徑 8.3mm, 두께  $100\mu m$ 로 蒸着시켰으며 그 위에 1 드워치형으로 電極을 直徑 2.9~7mm까지 變化시켜 蒸着시켰다. 이에 사용된 蒸着裝置의 斷面과 完成된 스위칭 素子の 모양은 그림 2 와 같다.

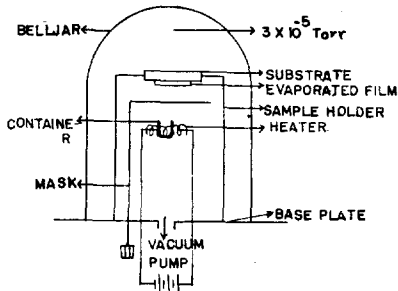


그림 1. 真空증착기의 단면도  
Fig. 1. Vacuum evaporator system

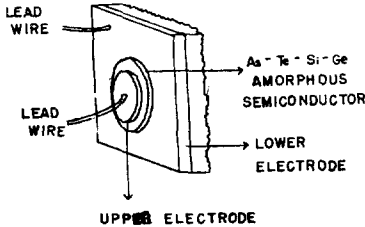


그림 2. 샌드위치 구조로 된 스위칭 소자  
Fig. 2. Switching device with sandwich structure

蒸着過程에서 투사되는 粒子와 이미 蒸着되어 있는 粒子사이의 힘은 모두 固體에 끌리는 結合力으로 부터 일어난다고 볼 수 있다. 이러한 現象은 吸引力이 作用 하기 때문이며 이 힘은 매우 強하지만 단거리에 한정 된다. 그러므로 투사되는 粒子와 試料間의 거리를 7cm 로 하여 蒸着시켰다.

蒸着時 거칠은 表面을 形成하는 電界強度影響을 알아보면 薄膜의 平均두께을  $h_0$ 는 Shevchik<sup>3)</sup>가 誘導해 낸 式에서

$$h_0 = Dt$$

$D$ : source面에 남아있는 粒子의 투사 유출량 여기서 나타난 不安定에 의한 두께  $h_0'$ 는 薄膜두께와 같은 程度의 두께로 생기며 數式으로 表現해 보면

$$h_0' = \frac{T_0}{A^2 K^2 V(k)}$$

$$T_0 = \frac{1}{2} m_0 V_0^2$$

$A$ : 相互 포텐셜의 범위

$V_0$ : 粒子의 平均투사 速度

즉 Shevchik에 依하면 이러한 두께는  $T_0=0.05eV$ 일때  $h_0'=10\text{\AA}$  程度이며  $T_0=1eV$ 일때  $h_0'\cong 200\text{\AA}$ 이다. 實驗 結果 非晶質薄膜形成時 誘導되는 蒸着條件下에서 表面이 不規則하여 表面形成이 매우 不安全하다는 것을 試料表面에서 관찰할 수 있었으며 不規則이 되는 Void가 생기는 것을 알 수 있었다. 이러한 效果를 없애기 위해서는 粒子의 透射速度가 되도록 커야 하며 7cm인 거리에서 發生되는 heater의 熱로 Micro slide glass의 溫度를 증가시켜 比較的 表面이 매끈하게 形成시킬 수 있었다. 또한 스위칭素子が 샌드위치형으로 만들기 위해 같은 金屬材料를 兩側に 蒸着시켰고 또 다른 것은 서로 다른 金屬材料를 電極으로 蒸着시켜 이들의 特性을 觀察하였다.

제조된 스위칭素子は 표 1과 같다.

표 1. 스위칭 소자의 분류

| 구 조   | 전 극 종 류     | 저항(실온) |
|-------|-------------|--------|
| 대칭구조  | Al-glass-Al | 76.5Ω  |
| "     | In-glass-In | 115 "  |
| "     | Ag-glass-Ag | 176 "  |
| 비대칭구조 | Al-glass-In | 160 "  |
| "     | In-glass-Ag | 221 "  |

(2) 電壓—電流特性

非晶質半導體에서 문턱電壓 以上の 電界가 걸리면, 케리어의 急速한 增加로 스위칭 素子の 電力損失은 減少한다. 이때 非晶質體의 抵抗 $R_s$ 는 外部回路 全抵抗  $R$ . 보다 작게 되며 外部抵抗은 回路에 흐르는 電流를 제한하게 된다. 一般的으로 스위칭時 試料抵抗의 變化量은 약  $10^5\Omega$ 程度가 된다.

또한 채널과 電極과의 接觸面에서 電荷의 移動度  $\mu$ 가  $10^{-1}cm^2/v.s$  보다 작을 때 非晶質半導體의 스위칭 效果가 比較的 安定하며 接觸電位障壁 $eV_b$ 가 생기면 V-I 特性이 다르게 나타난다. 즉 種類가 다른 金屬 電極은 높이가 다른 障壁을 形成하기 때문이다. 그림 3과 같은 回路를 構成하여 ON 狀態에 電壓과 電流와 의 關係를 조사하였고 스위칭 素子和 直列로 連結시킨 外部回路抵抗 $R_0$ 의 加變으로서 維持電流의 變化를 測定 하였다.

그림 3에서  $R_0=100K\Omega$ 의 外部抵抗은 스위칭時 薄膜素子の 파괴를 방지하며 抵抗變化에 따른 V-I 特性을 알기 위해 連結한 것이다. 이와 같은 方法으로 V-I 特性을 추적해 본 결과 그림 4와 같음을 알았다. 이 曲線은 문턱전압  $V_{th}$ 와 스위칭電流  $I_{ON}$ 이 比較的 安定된 In-비정질체 In 素子에서 求한 特性이다. 이 曲線에서 電壓과 電流는 逆比例하여  $I_{ON}$ 을 크게 하려면 外部抵抗이 작아야 하고  $V_{ON}$ 을 작게 하면 된다.

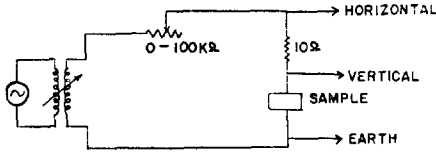


그림 3. 電壓—電流 特性 측정 회로  
Fig. 3. Measuring circuit for V-I characteristics

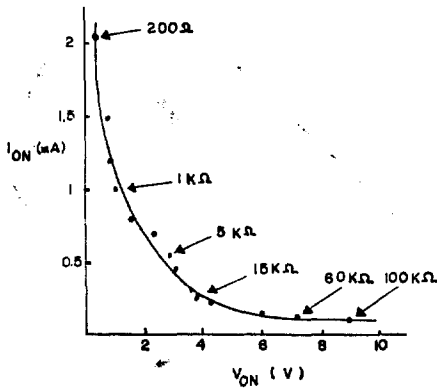


그림 4. 스위칭소자의 ON 상태의 V-I 특성  
Fig. 4. V-I Curve for ON state of switching device

이때 電力損失은  $I(V - V_{ON}) = P$ 의 曲線과 一致한다. 이 중에서 特히  $V_{ON} = 1.6 \text{ Volt}$ ,  $P = 618\mu W$  일 때 電力損失이 가장 적고 좋은 結果가 나타난다. 또한 外部回路抵抗  $R_0$ 와 維持電流  $I_{ON}$ 도 逆比例함을 알 수 있다. 즉 그림 4에 나타낸 바와 같이 抵抗이  $200\Omega$ 일 때 電流는  $2.05\text{mA}$ 로 높지만  $100K\Omega$  일 때는  $90\mu A$  程度로 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 關係를 다시 維持電流  $I_{ON}$ 과 回路抵

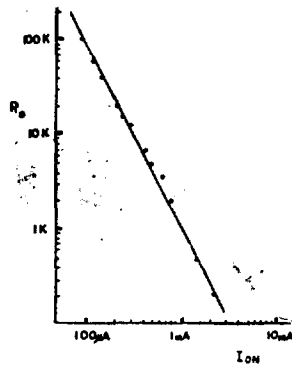


그림 5. ON 상태때의  $R_0 - I_{ON}$  관계  
Fig. 5.  $R_0 - I_{ON}$  Curve on ON state

抗  $R_0$ 의 關係로 그려 보면 그림 5와 같다.  $I_{ON}$ 과  $R_0$ 는 直線의 形式으로 變化하게 되며 이러한 抵抗  $R_0$ 의 效果는

$$R_0 \geq \frac{\partial V_{ON}}{\partial I}$$

과 一致한다. 즉 維持電流의 값을 낮게 하려면 直列로 連結한 抵抗  $R_0$ 를 크게 해야 한다.

(3) 스위칭電壓과 安定度

大部分의 金屬性薄膜은 스위칭時 印加되는 電界에 依해 그 構造의 變化를 이루며 非晶質薄膜은 그 電界에서 전이 現象을 나타낸다. 이는 局部的인 熱로서 하나의 필라멘트를 이루는 채널이 形成된다. 스위칭 回數가 계속된 후에  $V_{th}$ 가 安定되려는 傾向은 電極材料의 電氣的, 物理的 性質에 따른 것으로 그림 3과 같은 回路에서 문턱電壓,  $V_{th}$ 와 維持電流  $I_{th}$ , 維持電壓  $V_{ON}$ 을 求해본 結果 表 2와 같고 스위칭 回數에 따른  $V_{th}$ ,  $V_{ON}$ ,  $I_{ON}$ 을 求하여 再現性和 연속성을 알아 보면 그림 6과 같다.

표 2. 대칭 및 비대칭구조 박막소자의  $V_{th}$ ,  $V_N$ ,  $I_H$  (20번 측정)

|             | 평균 $V_{th}$ | 평균 $V_H$ | 평균 $I_H$ |
|-------------|-------------|----------|----------|
| Al-glass-Al | 25.5 V      | 0.524V   | 2.42mA   |
| In-glass-In | 24.5 "      | 0.412 "  | 2.05 "   |
| Ag-glass-Ag | 42.85 "     | 0.722 "  | 3.77 "   |
| Al-glass-In | 26.6 "      | 0.301 "  | 1.35 "   |
| In-glass-Ag | memory      | 0.15 "   | 3.43 "   |

<주: 초기의 불안정한 data는 생략>

一般的인 스위칭素子の 경우는 처음 문턱電壓보다 점차 減少되는데 反해 Al-glass-Al構造와 Ag-glass-Ag構造에서는 문턱電壓이 增加한다. 이러한 增加는 처음 材料의 抵抗보다 더 높은 抵抗이 接觸斷面に 생기므로 增加하여 문턱電壓이 不安定해지고 再現性이 比較

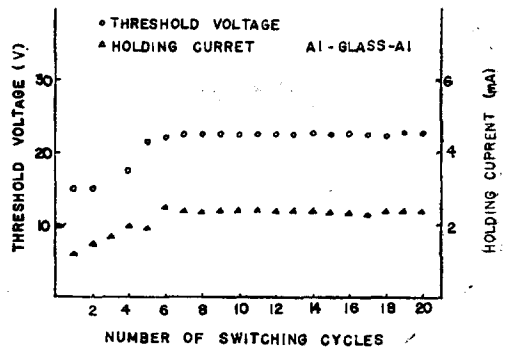


그림 6-(a) Al-비정질체-Al

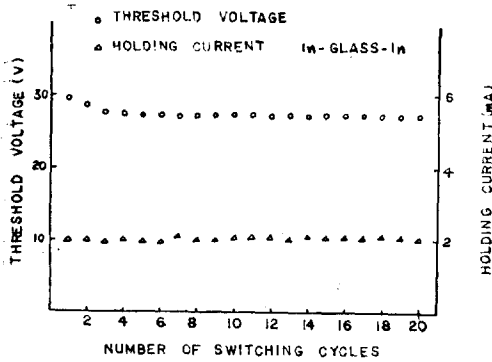


그림 6-(b) In-비정질체-In

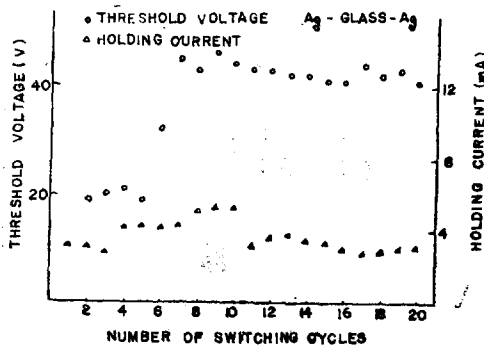


그림 6-(c) Ag-비정질체-Ag

그림 6. 스위칭 회수에 따른  $V_{th}$  Ion

Fig. 6.  $V_{th}$  and  $I_{on}$  as function of the number of switching cycle

의 낮게 나타나는 것으로 여겨진다. 이와는 對照的으로 In-glass-In 構造에서는 채널이 좁은 영역에서 形成되어 比較的 安定된 電流를 흘리게 하므로써 스위칭特性이 安定되며 再現性이 높은 것으로 나타난다.

또한 Ag-glass-In 構造는 構造的인 變化를 거쳐 기억現象이 나타난다. 이러한 現象은 金屬電極에서 스위칭動作의 結果와 마찬가지로 局在化(localized)된 영역에서만 變化하기 때문이며, 印加된 電界가 In電極表面위에서 局在化된 通路를 통해 흐르므로써 電流의 흐름이 不連續的이 된다. 結果的으로 非晶質半導體의 反對面 Ag金屬電極에서는 少數영역, 즉 局在化된 영역만이 스위칭動作에 關여하게 된다. 이러한 기억現象은 채널을 통해 金屬과 In金屬의 혼합물이 나타나므로써 非晶質體의 結晶化傾向을 높게 되는데 기억現象을 제거하려면 짧은 電流펄스를 印加시켜, 冷却에 따라 스위칭채널이 생길지도 모르는 영구적인 結晶化를 파괴시키므로써 제거시킬 수 있다. 이상에서 문턱전압의 재현성이 생기는 경우는 비정질체의 전이온도와 전극재료의 용융점이 비슷한 경우라고 볼 수 있다.

### 3. 結 論

이제까지의 實驗結果와 考察로 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

1) 非晶質半導體와 金屬電極과의 接觸斷面に 나타나는 電位障壁의 높이를 각 金屬이 다르게 形成하므로써 스위칭薄膜素子の 스위칭特性은 모두 接觸電極材料에 크게 依存한다.

2) 스위칭薄膜素子제조시 매끄러운 表面을 얻으려면 가능한한 粒子의 투사속도를 크게 해야한다.

3) Ag金屬과 Al金屬을 接觸電極으로 使用한 非晶質薄膜스위칭素子は 문턱電壓 및 유지電流 등이 약간 不安定하며 신뢰도가 저다.

4) In金屬은 使用한 素子は 유지電流와 문턱電壓이 比較的 安定되어 耐久性 및 신뢰도가 높다.

5) 實際 動作스위칭素子로서 Ag-As<sub>30</sub>Te<sub>48</sub>Si<sub>12</sub>Ge-In 構造素子は 기억特性을 나타낸다.

6) 스위칭薄膜素子の 스위치-ON상태에서 유지電流를 낮게 할려면 回路에 抵抗을 直列로 連結하여 抵抗의 값을 크게 하면 된다. 本 實驗에서는 10KΩ을 넣었을때 유지電流,  $I_{on}$ 를 90 $\mu$ A까지 낮출수 있었다.

그러므로 接觸電極에 對한 材料선택은 安定되고 견고하며 신뢰도가 높은 스위칭素子を 제조하는데 매우 重要하다.

### 參 考 文 獻

- 1) J.R. Bosnell and V.C. Veisey Thin Solid Films, 6 (1970) 161
- 2) S. Manhart, J. of Non-crystalline Solids, 11(1973) 293
- 3) N.T. Shevchik. Growth Instabilities in the Deposition of Amorphous Films' J. of Non-crystalline Solids, 12 (1973) 141
- 4) A.J. Hughes, P.A. Holland and A.H. Lettington, 'Control of Holding Currents in Amorphous Threshold Switches' J. of Non-crystalline Solids, 17 (1975) 89
- 5) D.D. Thornburg, 'The Influence of Device Geometry on Instability in Current Controlled Negative Resistance' J. of Non-crystalline Solids, 17 (1975) 9
- 6) J. Krempasky J. Cervenak, 'The Influence of Contacts on the VA-Characteristics of Thin-Layer Systems with Amorphous Semiconductors' Czech. J. Phys. B 21 (1971)