

# Se와 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 이용한 光導電膜의 제작과 그 特性

## (Fabrication and Properties of Photoconductive Multilayer Using Se and Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)

吳 相 洸\*, 朴 基 徹\*, 李 健 一\*, 金 基 完\*

(Sang-Kwang Oh, Ki-Chul Park, Kuhn-Il Lee and Ki-Wan Kim)

### 要 約

비디콘용 光導電膜을 제작하기 위해 Se와 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 진공증착시켜 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. 본 光導電膜은 網密膜, 多孔膜, 그리고 微粒膜의 구조를 가진다. 膜의 제작조건은 다음과 같다. 먼저 網密膜을 250 Å/sec의 증착율로 6500 Å의 두께로 증착하였다. 좋은 광감도( $\gamma=1$ )를 얻었으나 높은 유전상수가 단점이었다. 따라서 多孔膜을 첨가하여 유전상수를 낮추었다. 多孔膜은  $7 \times 10^{-2}$  torr의 아르곤가스 분위기에서 7500 Å의 두께로 증착하였다. 그리고 좋은 해상도를 얻고 2 차전자의 방출을 방지하기 위해 微粒膜을 증착하였다. 이러한 비디콘용 光導電膜은 25V의 인가전압에서 0.8의 광전변환율( $\gamma = \Delta \ln(\rho) / \Delta \ln(\text{lux})$ )을 가졌으며 分光感度特性을 구한 결과 사람의 視感도와 유사하였다.

### Abstract

The photoconductive multilayer composed of glassy, porous, and fine-grained layers was fabricated with Se and Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> by vacuum evaporation in order to be used as vidicon target. And its electrical, optical properties were investigated. The fabrication conditions were as follows; the glassy layer was first deposited to have the thickness of 6500 Å at the deposition rate of 250 Å/sec. High photosensitivity ( $\gamma=1$ ) was obtained but its shortcoming was high dielectric constant. Therefore, the porous layer was added to lower dielectric constant and had 7500 Å thick in the argon gas ambient of  $7 \times 10^{-2}$ . And the fine-grained layer was formed to prevent secondary electron emission and obtain good resolution. Its thickness was about 1700 Å. For the given vidicon target, the light transfer characteristic, that is, photosensitivity ( $\gamma$ ) was measured to be 0.8 at the applied voltage of 25 V. The spectral sensitivity was quite similar to that of the human eyes.

### I. 序 論

W. Smith<sup>1)</sup>가 Se의 光導電性을 發表한 以來로 많은 연구자들에 의해 光導電效果의 기본 메카니즘이 끊임 없이 연구되어 왔다.<sup>1)2)3)4)</sup> 1950년대 부터는 이 기본물

성들을 응용하는 시도로 영상감지소자의 개발에 박차를 가하여 왔으며<sup>3)4)5)</sup> 지금도 더 좋은 畫像을 얻기 위해 新素材開發과 공정개선에 노력을 기울이고 있다.<sup>1)6)</sup> 이러한 추세에 맞추어 Se, As, P, 그리고 Sb등의 조합으로 이루어진 칼코게나이드(chalcogenide)류 반도체와 非晶質 실리콘이 각광을 받아 晝상관용 광도전막에 이용되고 있다.<sup>1)2)7)8)9)</sup>

칼코게나이드류 반도체는 대개 P형 반도체이며, 熱電力, 光起電力, 그리고 光導電性이 뛰어난 특징을 갖고 있다.<sup>1)6)</sup> 이들 요소의 조성비에 따라 전도도의 변화

\*正會員, 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)  
接受日字: 1987年 3月 16日  
(本 論文은 韓國科學財團의 도움으로 이루어졌음)

는  $10^{-2} \sim 10^{-16} / \Omega \cdot \text{cm}$  정도의 넓은 범위를 가지고 있으며 위의 성질에 큰 영향을 미친다.<sup>110)</sup>

비정질 반도체는 단거리질서(short range order)를 가지는 것으로 해석된다. 결정질구조가 가지는 에너지 밴드구조의 갭내에 局部상태가 존재하기 때문에 전기 전도는 캐리어가 밴드間을 이동하기 보다는 밴드內의 hopping 메카니즘으로 설명된다. 따라서 캐리어의 이동도는 낮게 된다.<sup>111)</sup>

최초의 光導電膜은 비정질 Se를 사용하였으나 시간이 경과함에 따라 비저항의 감소와 光感度の 저하를 나타내어 성공을 거두지 못하였다.<sup>112)</sup> 따라서  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  증착막으로 교체하여 개발하게 되었다. 현재 사용되고 있는 비디콘은 주로  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  광도전막으로 되어 있으며 감시용과 시청각 교육용에 이용되고 있다.<sup>113)</sup> 본 연구에서는 光導電性이 뛰어난 Se에  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 를 첨가하였다. 이는 Se의 經時效果도 막고  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 만으로 된 광도전막보다 더 좋은 특성을 가지도록 하였다. 이들 물질을 이용하여 치밀막, 다공막 그리고 미립막의 구조를 갖는 다층막을 제작하여 電氣的 및 光學的 特性을 조사하였다.

II. 光導電形 攝像管의 개요

1. 촬상관용 광도전막의 동작원리

촬상관은 전자비임을 매개체로 하여 광학적인 신호를 전기적신호로 변화시키는 장치이다. 촬상관은 광전자방출형(orthicon)과 광도전형(vidicon)으로 크게 구분된다.<sup>114)</sup> 光導電效果를 이용하여 촬상관의 연구가 구체화 된 것은 1951年 RCA의 P. K. Weimer등에 의해서다. 높은 비저항을 가진 광도전막을 低速度의 전자비임으로 走査하여 신호를 끄집어내는 구조를 가진 비디콘은 구조가 간단하며 크기가 작고 취급이 용이하기 때문에 여러 연구자들의 관심을 집중시켰다.

그림 1은 촬상관과 광도전막의 등가회로를 나타낸 것이다.

투명전극 I. T. O.는 n형으로 축퇴된 반도체로 전극의 역할과 光에 대하여 反反射層으로 작용한다. 광도전막은  $r_p$ 와  $c_p$ 가 하나의 畫素를 이루는 行列구조로 볼 수 있다. 이는 固體攝像素의 1個 세포에 해당하며  $r_p \cdot c_p$ 가 1/30초의 조건을 만족해야 한다. 진공층착된 광도전막은 P형 반도체로서 투명전극과 pn 접합을 이루며 투명전극은 음극에 대하여 n으로 바이어스 되어 있다. 低速度의 走査비임이 광도전막의 표면에 닿으면 표면의 전위는 음극전위로 된다. 이는 광도전막의 有效低抗이 전자비임의 유효저항 보다 훨씬 크기 때문에 표면전위가 음극과 같게 되기 때문이다. 빛이 照射될 때 광도전막의  $r_p$ 는 光으로 생성된 반송자에 의해 감

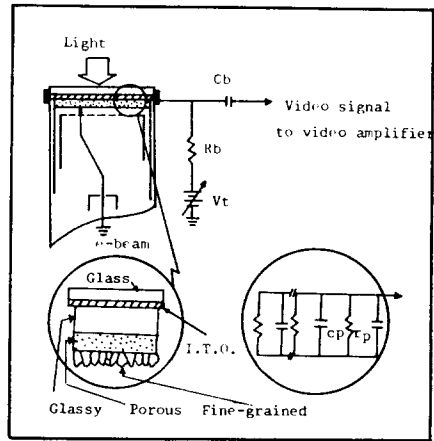


그림 1. 光導電膜의 개략도와 等價回路  
Fig. 1. Schematic Configuration of Photoconductive Target and Its Equivalent Circuit.

소하며 표면전위는 증가된다. 走査비임이 어느 畫素에 닿아 閉回路를 형성시켜 음극전위로 충전하게 된다. 이때 出力電流는 입사광에 비례하며 이 신호전류가 부하저항  $R_b$ 를 통해 감지된다. 임의의 畫素를 지난 비임이 다시 그 畫素에 도착될 때까지 그 화소는 입사광에 비례하는 신호를 출력한다.

2. 촬상관용 광도전막의 요구조건

(1) 光電變換特性이 커야 한다.<sup>115)</sup>

광전변환특성은 照度의 변화에 대한 신호전류의 변화로 표현되며 이것을 광감도라 한다. 낮은 광감도는 흑백의 구별이 모호하며 해상도특성이 나빠진다. 상업용으로 사용되는 촬상관용 광도전막의 광감도는 0.7 이상이어야 한다.

(2) 比抵抗  $\rho$ 는  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  이상이어야 한다.<sup>116)</sup>

높은 비저항은 전자축적소자에서 필수적이며, 낮은 畫素들 間에 캐리어의 흐름이 생겨 화상이 퍼지게 된다.

(3) 膜이 균질해야 한다.

균일한 화상을 얻기 위해서는 광도전막 전체에 걸쳐 感度 및 전기적특성이 동일해야 한다.

(4) 적당한 시정수  $\tau = r_p \cdot c_p \geq 1/30$ 초를 만족시켜야 한다.<sup>117)</sup>

$r_p$ 는 대개  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 이고  $c_p$ 가 주된 변수가 된다.  $c_p$ 가 너무 작으면 광도전막의 표면전위가 走査시간 內에 투명전극의 전위로 증가되어 그 지점에서 신호축적은 중단된다. 또한  $c_p$ 가 너무 크면 전하를 읽어 내는데 시간이 길어져 殘像이 커지게 된다.

(5) 暗電流가 작아야 한다.<sup>118)</sup>

암전류는 잡음으로 작용하므로 가능한 작을수록 좋

다. S/N比가 크면 잡음의 영향이 적은 양호한 화상을 얻는다.

(6) 長時間 사용해도 신호전류가 안정되어야<sup>11</sup> 하며 分光感度특성이 목적에 부합되어야 한다.<sup>12</sup> 단색 촬영관은 視感度和 일치하면 좋다.

### III. 實 驗

#### 1. 光도전막의 제작

##### (1) 치밀막의 증착

유리기판(corning 7056) 위에 I. T. O.를 전자선가열 증착법을 사용하여 증착하였으며 증착된 부면전극의 두께는 1000 Å이었다. 이 때 가시광영역에서의 투과율은 92~96%였고 面抵抗은 12Ω/□였다.<sup>13</sup> 이 위에 증착된 치밀막은 전자와 정공을 발생시키는 주도적인 역할을 하므로 광감도가 좋아야 하며 막이 균일해야 한다. 이를 위해 적당한 두께와 증착률을 가지고 고진공에서 제조하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 Se 치밀막을 제조하여 전기적 및 광학적특성을 조사했다. 또 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 광도전특성<sup>14</sup>을 바탕으로 Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 치밀막을 저항성 가열증착법을 사용하여 초기 진공도 10<sup>-5</sup> torr에서 증착률을 변화시켜 膜을 제조하고 여러특성을 조사하였다. 이 때 가열원으로는 dimpled boat(tungsten;W)를 사용하였다.

##### (2) 多孔膜과 微粒膜의 증착

제작된 치밀막은 비유전율( $\epsilon_r \approx 11$ )이 크므로 정전용량이 커지게 된다. 따라서 시정수가 크게되어 잔상특성이 나빠진다. 이를 위해 다공막을 형성시켜 낮은 유전상수를 얻도록 하였다. 막의 형성시 불활성가스인 아르곤가스를 주입하였으며 가열원으로는 막을 균일하게 하기 위해 굴뚝형(chimney) 보우트를 사용하였다. 본 연구에서는 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 다공막과 Se와 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>가 혼합된 Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 다공막을 형성하였다. 이후 미립막을 10<sup>-5</sup> torr에서 증착하였다. 이층들의 구분은 SEM 촬영으로 확연히 구별되며 나타난 구조는 그림 1 과 같다.

#### 2. 光도전막의 측정

증착된 막의 두께와 증착률은 각각 Å-scope (varian 980-4000)와 두께조절용 모니터(sloan MDC 9000)를 사용하였으며 조도에 따른 소자의 광도전특성은 고저항미터기(high resistance meter H. P. 4320)를 사용하여 조사하였다. 비저항은  $R = \rho \cdot l / s$ 을 이용하여 구하였고 비유전율은 H. P. 4332A LCR meter로 정전용량을 구한 후  $c = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot s / l$ 을 이용하여 구하였다. 특히 다공막과 미립막의 두께 측정은 SEM사진으로 측정하였다. 분광감도와 흡수계수는 spex monochrometer와 u·v/visible spectrophotometer 8800을 각각

사용하여 측정하였다.

### IV. 結果 및 考察

#### 1. Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 치밀막의 특성

Se의 結晶化현상의 방지는 As, P, Sb 그리고 Si 등을 소량 첨가하면 해결 가능하다.<sup>15</sup> 본 연구에서는 Sb가 함유된 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 사용하였다.

그림 2는 진공증착된 Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 막막의 증착률에 따른 상대광감도를 나타낸 것이다. 제작된 膜은 250 Å/sec의 증착률에서 최대의 감도를 가졌다. 이 이상의 증착률에서는 빠른 성장으로 인한 결함의 증가로 암저항율이 증가하였으며 이에 따라 재결합률이 커져 광감도가 감소하였다.

그림 3은 Se를 주성분으로 하여 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 첨가량에 따른 광감도를 나타낸 것이다. 非晶質상태는 結晶質상태와는 대조적으로 열역학적인 평형상태에 있지 않으며

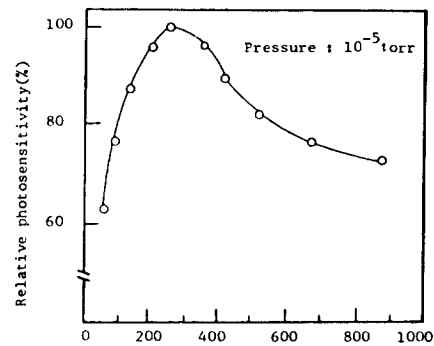


그림 2. 증착률의 변화에 따른 치밀막의 상대광감도  
그림 2. Deposition Rate Vs. Relative Photosensitivity of Glassy Layer.

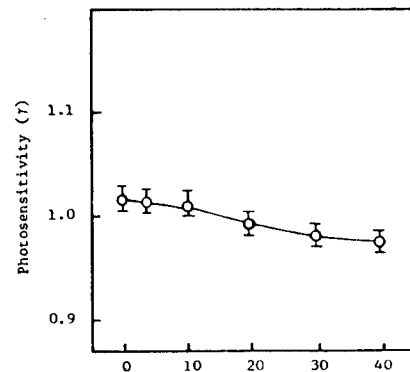


그림 3. Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 중량비에 따른 치밀막의 광감도  
Fig. 3. Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Weight Vs. Photosensitivity of Amorphous Glass Layer.

결정질 상태로의 천이는 상당한 에너지의 방출을 동반한다. 그러나 만약 결정질 상태로의 천이에 필요한 에너지 장벽의 높이가 열적인 運動에너지에 비하여 크다면 그 非晶質상태는 안정하다고 말할 수 있다.<sup>17)</sup> Se에 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 첨가는 열적안정도를 개선시킨다. 그러나 동시에 광감도( $r = \Delta \ln(\rho) / \Delta \ln(\text{lux})$ )도 만족시켜야 한다. 이 조건은 뒤에 형성될 다공막에서 0.2~0.3 정도의 감도의 저하를 고려한 것이다.

본 연구에서 만족된 조건은 중량비로 10%의 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 첨가한 膜이었다.

그림 4는 Se에 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 중량비로 10% 첨가된 膜의 光電變換特性이다.

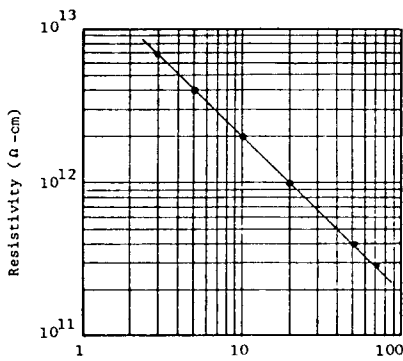


그림 4. 상온에서 측정된 치밀막의 광전 변환특성  
Fig. 4. Light-Transfer Characteristic of Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Glassy Layer at Room Temperature.

본 연구에서는 膜을 晝상관에 장착시켜 면조도의 변화에 대한 신호전류를 구하는 動特性을 구하는 방법은 다음 연구에서 언급된다. 여기서는 광감도를 面照度の 변화에 대한 저항율의 변화로 나타내었다. 이때 사용된 光源은 백열전등이었으며 照度の 변화는 암상자를 사용하여 조리개로 조절하였다. 치밀막은 약 1 정도의 뛰어난 광전변환율을 나타내었다. 증착률은 250 Å/sec였으며 두께는 6500 Å이었다. 晝상관용 광도전막에서는 비저항이 사용하고저 하는 面照度에서 10<sup>12</sup> Ω·cm 이하가 되지 않아야 한다. 만약 낮으면 晝素間에 전하의 이동이 생겨 像이 퍼지기 때문이다. 본 연구에서는 면조도가 20lux 이상에서는 10<sup>12</sup> Ω·cm 이하로 나타났다.

光이 시편에 입사할 때 연속성으로부터  $\phi(x) = \phi_0 e^{-\alpha x}$ 의 관계식을 얻는다. 여기서  $\phi_0$ 는 입사광의 光京,  $\alpha$ 는 흡수계수, 그리고 x는 시편에서 입사하는 光의 방향으로 나타낸 거리이다. 시편의 두께가 d라면 투과율 T

는  $T = \phi(d) / \phi_0 = e^{-\alpha d}$ 이고 각 파장에 따른 광흡수계수  $\alpha$ 는  $\alpha = 1/n \cdot 1/T/d$ 로 주어진다. 光이 수직으로 입사한다고 가정할 때 반사율은  $R = (n - 1/n + 1)^2$ 으로 주어지며 굴절률 n에 따라 변하게 된다. 기관으로는 가시광영역에서 투과성인 corning7056 유리를 사용하였고 이 위에 증착된 I. T. O.는 反反射膜으로 작용하므로 반사율은 증착된 막의 영향만이 관계된다. 시편의 굴절률 n은 ellipsometer로 측정된 결과 3.46이었고 반사율은 30%였다. 이때 측정온도는 상온이었다. 이 반사율은 무시할 수 없는 정도의 값이나 가시광영역에서 대략의 흡수정도를 측정하여 膜의 제작시 두께설정을 위한 것이다.

그림 5는 Se 치밀막과 Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 치밀막의 光吸收係數를 나타낸 것이다.

그림 6은 J.auc의  $(\alpha \cdot E_{ph})^{1/2} = c(E_{ph} - E_{opt})^{1/2}$ 으로부터 증착된 치밀막의 광학적 밴드갭을 구한것이다. 측정된 광학적 밴드갭은 1.75(eV)였다.

2. 다공막과 미립막의 특성

6500 Å 정도에서 좋은 광감도를 가지는 치밀막으로만 光導電膜을 제작하면 비유전율도 크고 두께도 얇기 때문에 정전용량이 커진다. 이로 인해 잔상이 커진다. 본 연구에서는 치밀막의 좋은 광감도를 유지시키고 유전율문제를 해결하기 위하여 다공막을 증착시켰다. 치밀막 위에 다공막을 증착시키면 광감도는 다소 감소한다. 그러나 유전특성과 보상되는 범위에서 膜을 증착시켜 신호전류가 0.2μA 이상이고 광감도가 0.7 이상으로 하면된다.

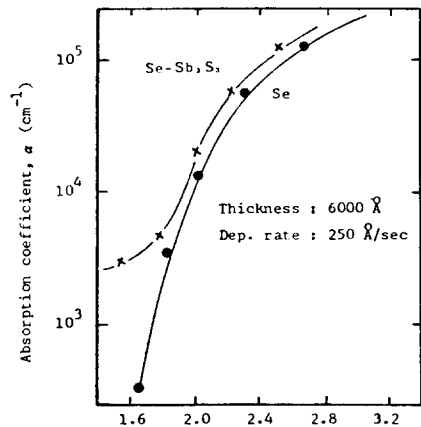


그림 5. Se 치밀막과 Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 치밀막의 흡수계수 비교도

Fig. 5. Absorption Edges of Photoconductive Se and Se-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Glassy Layer.

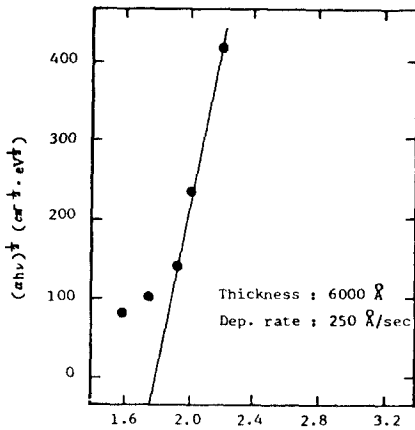


그림 6.  $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 과 입사광에너지와의 관계  
 Fig. 6.  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  Vs. Photon Energy. Optical band gap is Determined by Extrapolation,  $\alpha h\nu=0$ .

그림 7은 아르곤가스 압력에 따른 다공막의 비유전율과 다층막을 형성하였을 때 상대광감도를 나타낸 것이다. 이때 치밀막은 6500 Å 정도 증착하였으며 다공막은 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>로 7500 Å 정도 증착하였다.

상대적인 광감도는 저하되지 않고 유전상수가 감소되는 경우는  $7 \times 10^{-2}$  torr였다. 다공막의 다공율보다는 해상도특성에 관계되는 미립막의 크기가 중요하다. 미립막은 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 사용하여 1700 Å 정도 증착하였고 알갱이의 크기는 SEM 측정결과 0.3~0.4 (μm)였다.

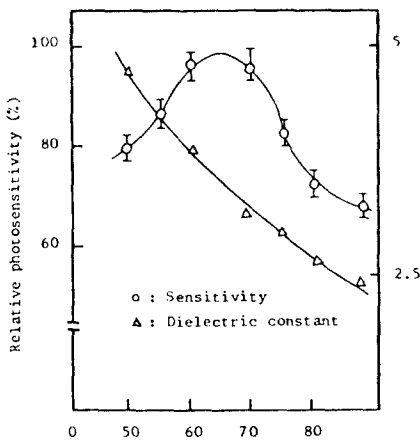


그림 7. 아르곤가스 분위기압에 따른 상대광감도와 비유전율특성  
 Fig. 7. Argon Pressure Vs. Relative Photosensitivity and Dielectric Constant of Porous Layer.

3. 다층막의 특성

그림 8은 치밀막 6500 Å, 다공막 7500 Å, 그리고 미립막 1700 Å 정도로 증착된 다층막에 대한 광감도특성과 그 때의 인가전압을 나타낸 것이다.

인가전압을 10V, 25V, 그리고 50V에서 광감도를 측정한 결과 각각 0.6, 0.7, 그리고 0.8로 나타냈다. 이는 광감도가 인가전압에 의존하므로 비디콘으로 작동시킬 때 가장 좋은 광감도를 가지는 인가전압에서 작동시키는 것이 좋다.

그림 9는 제작된 다층막의 분광감도특성을 나타낸 것이다. 측정된 결과 550 (nm) 정도에서 가장 감도가 좋았다. 이것은 사람의 시감도와 거의 일치하며 단색 촬상관용 광도전막에 적합한 특성이다. 장파장에서 感度の 감소는 광에너지의 吸收係數가 작아 자유반송자가 적기 때문이며 단파장에서 감도의 감소는 光이 表面에 흡수되어 표면의 트랩과 재결합하기 때문이다.<sup>19)</sup>

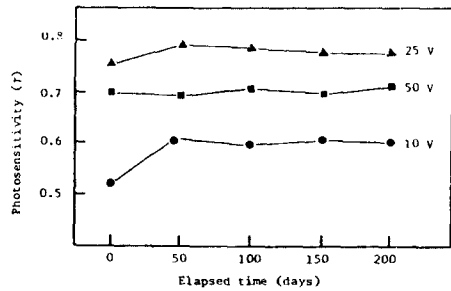


그림 8. 제작된 다층막의 경시효과  
 Fig. 8. Aging Effect of Multilayer.

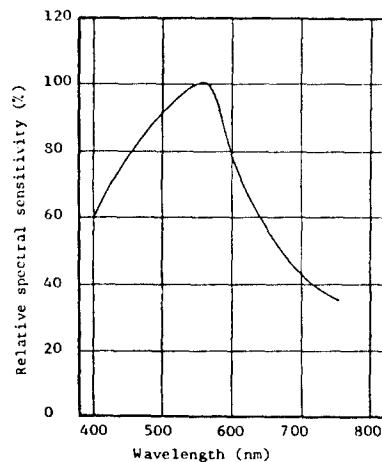


그림 9. 제작된 다층막의 분광감도 특성  
 Fig. 9. Spectral Sensitivity of Multilayer.

## V. 結 論

비디콘용 광도전막을 제작하기 위해 Se와  $Sb_2S_3$ 를 진공증착시켰다. 광도전막은 치밀막, 다공막 그리고 미립막의 구조로 되어 있다. 막의 제작조건은 치밀막을  $250 \text{ \AA}/\text{sec}$ 의 증착률로  $6500 \text{ \AA}$  정도 증착한 후 다공막을  $7 \times 10^{-2} \text{ torr}$ 의 아르곤가스 분위기에서  $7500 \text{ \AA}$  정도 증착하였다. 이후  $1700 \text{ \AA}$  정도의 미립막을 증착하였다. 이렇게 제작된 광도전막의 광감도는  $25V$ 의 인가전압에서  $0.8$ 이었으며 분광감도특성은 사람의 시각도와 일치하였다. 지금까지는 靜特性을 언급하였다. 다음 연구논문에서 비디콘의 動特性이 투고될 예정이다.

## 參 考 文 獻

- [1] Richard H. Bube, "Photoconductivity of solids." *Krieger Publ. Co.*, New York, pp. 1-3, 1978.
- [2] H.B.D. Lanyon, "Optical and electrical properties of Se-Te alloys," *J. Appl. Phys.*, vol. 35, pp. 1516-1523, 1964.
- [3] P.K. Weimer, S.V. Forge, and R.R. Goodrich, "The vidicon photoconductive camera tubes," *Electronics*, vol. 23, pp. 70, 1951.
- [4] A.D. Cope, "A miniature vidicon of high photosensitivity," *RCA Review*, vol. 17, pp. 4625, 1956.
- [5] P.H. Keck, "The electrical properties of selenium coating," *Phys. Rev.*, vol. 41, pp. 53-55, 1951.
- [6] Z.U. Borisova, *Glassy Semiconductors*. Plenum Press, New York, pp. 1, 1981.
- [7] W. Beyer, "Photoconductivity and dark conductivity of hydrogenated amorphous silicon," *Solid State Communications*, vol. 47, pp. 573-576, 1983.
- [8] I. Simizu, S. Oda, K. Saito and E. Inoue, "Vidicon target of a p-i-n structure using a-Si:H," *J. Appl. Phys.*, vol. 51, pp. 6422-6423, 1981.
- [9] 谷岡 健吉, 畫間 榮久, 設樂 圭一, 河村 達郎, "Se-As-Te系 ターゲットにおける 焼付特性の改善," *テレビジョン學會 全國大會*, pp. 25-26, 1986.
- [10] Z.U. Borisova, *Glassy Semiconductors*. Plenum Press, New York, pp. 1-4, 1981.
- [11] K.L. Chopra and I. Kaur, *Thin film device Applications*. Plenum press, New York and London, pp. 111-114, 1983.
- [12] S. Ishioka, *Semiconductor and semimetal*. Academic Press Inc., vol. 21 (D), pp. 75-88, 1984.
- [13] K. Shidara, N. Goto, E. Maruyama, T. Hirai and Y. Nonaka, "The advanced composition of SATICON photoconductive target," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-2, pp. 662-666, 1974.
- [14] 이동훈, 박기철, 박창배, 김기완, "I. T. O. 투명도전막의 전기, 광학적 특성 및 그 응용," 전자공학회지, 제23권 제4호, pp. 80-87, 1986.
- [15] 윤영훈, 박기철, 최규만, 김기완, " $Sb_2S_3$  박막의 광도전특성 및 그응용," 전자공학회지, 제23권 제5호, pp 109-115, 1986.
- [16] 대한민국 특허청 특허공보," 광도전성 활상관 타겟," 제376호, pp. 149-154.
- [17] G.D. Cody et al., "Optical characterization of amorphous silicon hydride films," *Solar cell*, vol. 2, pp. 227-243, 1980.
- [18] S.P. Keller, *Handbook on Semiconductors*. North-holland, vol. 3, pp. 767-786, 1980.
- [19] L.L. Kazmerski, *Polycrystalline and amorphous thin films and devices*. Academic Press, pp. 186-207, 1980.