

# Ag/비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 경계면에서의 광도핑 특성

## The Properties of Photodoping on the Interface of Ag/Amorphous As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

李榮鍾\* · 文東繼\*\* · 鄭鴻倍\*\*\*

(Young-Jong Lee · Dong-Chan Moon · Hong-Bay Chung)

### Abstract

In this paper, the photodoping effect on the interface of Ag-amorphous As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin film has been investigated by measuring the resistance change of the Ag layer, the absorption coefficient of the As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, the optical density of As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> layer and the short-circuit photocurrents under light irradiation. As the experimental results, the photodissolution rate and the photodiffusion rate depends on the magnitude of photon energy absorbed in the As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. The sensitivity limit of the photodissolution rate at Ag layer was about 630 (nm) and the sensitivity limit of the photodiffusion rate at the Ag-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> interface was about 680 (nm). Also, it was found that the depth of photodiffusion was proportional to the square root of exposing time.

### 1. 서 론

비정질 칼코게나이드 반도체 위에 금속(Ag, Cu) 박막을 형성시킨 후, 그 경계면에 빛을 조사하면 금속이 칼코게나이드 반도체 내로 확산하여 고용체가 형성되는 현상을 광도핑 현상이라고 한다. 이와 같이 금속이 광도핑된 칼코게나이드 물질은 전기적, 화학적, 광학적 특성이 변화하며, 이에 따른 동작기구 해석이 많은 연구가들에 의해 진행되어 왔다. 즉 DeNeufville<sup>1)</sup>은 금속과 칼코게나이드 반도체 경계면에 암상태에서 화학반응에 의한 운동장벽이 형성되며, 이러한 화학반응 과정에는 트랩된 전하들과 국재화된 전자 결합들이 관련되어 있는 것을 암시하였다.

Kokado<sup>2)</sup> 등은 광전기 효과 실험으로 부터 금속과

칼코게나이드 사이의 전위장벽이 광도핑에 중요한 역할을 하며, 이와 관련된 가상적인 광도핑 동작기구 모델을 제안하였다. 또한 Maruno 등<sup>3)</sup>은 Ag/a-Ge<sub>30</sub>S<sub>10</sub> 계에서 광도핑은 광분해 과정과 광화산 과정으로 진행되는 것을 보고하였으며, Yamaguchi 등<sup>4)</sup>은 Ag/a-As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 계에서 광도핑된 Ag는 Se 원자와 공유결합하여 Ag<sub>2</sub>Se를 형성하는 것을 보고하였다. 또한 Ag 광도핑에 영향을 미치는 인자들은 Ag층의 두께, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층 두께, 입사 빛의 세기, 경계면에서의 빛 흡수량등이 있으며, 이들의 특성 조사 방법에는 광학밀도 변화,<sup>5)</sup> 투과율 변화<sup>6)</sup>, 저항변화<sup>7)</sup>, 굴절율 변화에 의한 회절효율<sup>8)</sup>, ion backscattering<sup>9)</sup> 측정방법 등이 있으나 여러가지 실험을 토대로 한 가상적인 모델들이 제시되고 있을 뿐, 아직 명확한 광도핑 동작기구는 규명되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 칼코게나이드 재료 중 광유기 특성이 우수한 비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>와 광도핑 물질로 금속 Ag를 사용하여, Ag층의 전기적 저항변화 측정으로 광분해 특성을 조사하였으며, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 광학밀도 변화를 측정하여 광화산 특성을 조사하였다. 그리고 경계면에

\* 正會員: 光云大 大學院 電子材料工學科 博士課程  
 \*\* 正會員: 光云大 電子材料工學科 教授 · 理博  
 \*\*\* 正會員: 光云大 電子材料 工學科 教授 · 工博  
 接受日字: 1985年 8月 16日

서 빛 흡수에 따른 광학적 특성을 해석하기 위하여 Ag, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Ag가 광도핑된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 흡수계수와 에너지 갭을 조사하였다. 또한 Ag/a-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Al 구조에서 단락회로 광전류를 관찰하므로써 광도핑 특성에 관한 동작기구를 분석해 보고저 한다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 시료의 제조과정은 본인 등<sup>8)</sup>이 보고한 바와 같으며, 광도핑 진행과정을 관찰하기 위한 Ag/a-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Al 구조와 단락회로 광전류를 관찰하기 위한 Ag/a-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 구조의 소자를 세척된 현미경용 유리를 기판으로 사용하여 다음과 같은 방법으로 제작하였다.

1. 기판 위에 하부전극으로 Al(99.999%, Yamanaka Co.)을 270[Å] 두께로 진공증착 하였다.

2. 증착된 Al박막 위에 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 1430[Å] 두께로 증착하였으며, 광도핑 진행과정을 관찰하기 위한 소자는 별도의 기판 위에 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 910[Å] 두께로 증착하였다.

3. Ag(99.999%, Yamanaka Co.)를 증착한 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>박막 위에 260[Å] 두께로 증착하였다.

4. 제작된 소자는 TR Header에 부착하고 양쪽 전극에 Al 리드선을 도전성 접착제로 부착하였다.

이와같은 방법으로 제작된 소자의 구조를 그림 1에 나타내었으며, (a, a')은 단락회로 광전류, (b, b')은 광도핑 진행과정을 관찰하기 위한 것이다. 빛이 조사되는 부분의 면적은 각각 4.8[mm<sup>2</sup>], 1.6[mm<sup>2</sup>]로 하였다. 또한 제작된 소자의 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>박막은 X-선 회절분석 측정으로 비정질화 되었음을 확인하였으며, 모든 실험은 실온, 암상태에서 행하였다.

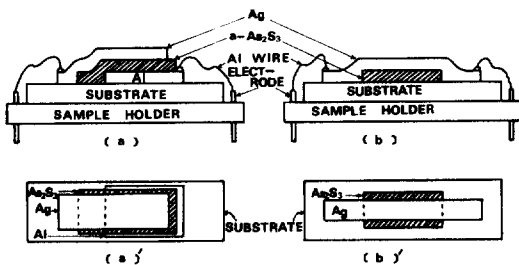


그림 1. 제작된 소자의 구조

Fig. 1. Schematic structure of the fabricated sample.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 광분해 특성

Ag와 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 경계면에서 빛 조사에 의해 Ag가 광분해 되면 순수한 Ag층의 두께가 감소하며, 이와 같은 특성을 조사하는 방법에는 광학밀도 변화<sup>9)</sup>, Ag층의 전기적 저항변화 측정<sup>10)</sup> 방법 등이 있다. 따라서 본 실험에서는 Ag층의 전기적 저항변화 측정방법으로 광분해된 Ag층 두께 및 량을 구하여 광분해 특성을 조사하였다.

그림 2에는 monochrometer (Jarrel-Ash, 1/2[m])로 조사한 빛의 파장에 따른 Ag층의 저항변화를 저항계 (Fluke, 8012A)로 측정하여 빛 조사시간의 함수로 나타내었다. 이때 입사 빛의 세기는  $3.2 \times 10^{-4}$  [W/cm<sup>2</sup>]로 하였다.

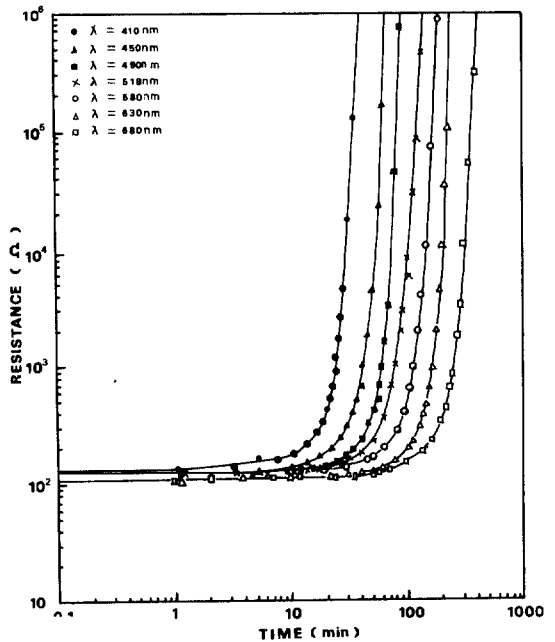


그림 2. 파장에 따른 Ag층 저항의 시간 의존성

Fig. 2. Time dependence of the Ag layer resistance for various wavelengths.

Ag박막은 두께감소에 따라 저항이 증가하며, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>와 Ag가 광분해된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 비저항은 Ag보다 매우 크기 때문에<sup>8)</sup>, 측정된 그림 2의 저항변화는 빛 조사에 의해 경계면에서 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>내에 광분해된 Ag가 증가함에 따라 남아있는 순수한 Ag층의 두께가 감소하는 것이므로 그림 2의 변화곡선은 경계면에서

의 광분해 특성변화로 해석할 수 있다.

즉, 그림 2에서 곡선의 기울기가 0인 지점까지는 광분해가 일어나기 까지의 유도시간이다. 그리고 빛이 계속 조사되는 동안 유도시간 없이 완만한 경사로 진행된 후 포화상태를 나타내었다. 따라서 유도시간은 Ag와 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 경계면에서 어떤 형성과정에는 무관하며, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>내에서 전하 트랩의 형성과 구조변화를 일으키는 방사손상 (radiation damage)의 축적이라고 볼 수 있다.

변화된 저항 ΔR과 광분해된 Ag층 두께 Δd와의 관계는

$$\Delta R = \frac{1}{W} \left[ \frac{\rho_{Ag}(d_0 - \Delta d)}{d_0 - \Delta d} - \frac{\rho_{Ag}(d_0)}{d_0} \right] \quad (1)$$

로 표시되며<sup>5)</sup>, 여기에서 d<sub>0</sub>는 Ag층 두께, ρ<sub>Ag</sub>는 Ag층의 비저항, 그리고 l과 W는 각각 빛이 조사된 영역의 길이와 폭이다. 또한 광분해된 두께 Δd와 광분해된 Ag량 P와의 관계는

$$\Delta d = PM/A\rho \quad (2)$$

로 표시되며<sup>6)</sup>, 여기에서 M은 Ag원자량, A는 Avogadro 수, 그리고 ρ는 Ag의 밀도이다.

따라서 그림 2의 측정된 저항변화 ΔR과 Goldsmith 등<sup>5)</sup>의 실험결과로부터 Ag층의 비저항을 식 (1)에 적용하여 광분해된 Ag층 두께를 구하였으며, 이 두께를 식 (2)에 적용하여 광분해된 Ag량을 구

하였다. 그리고 그 결과를 그림 3에 노출(입사 빛의 세기×시간)의 함수로 나타내었다.

광분해된 Ag량은 입사 빛의 세기 즉 입사된 광량자에 의존하였으며, 각각의 모든 파장에 대해서 비율이 점차 증가, 일정, 감소하는 단계로 진행되었다. 비율이 점차 증가하는 단계에서는 앞서 논하였던 방사손상이 계속 지속되는 것을 의미하며, 비율이 일정한 단계는 경계면에서 광분해가 일정하게 진행되는 것을 의미한다. 또한 비율이 감소하는 원인은 광분해가 포화되면서 확산이 시작되거나 혹은 광분해된 Ag층 두께의 증가에 따라 경계면에서 빛 흡수가 증가하여 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층 내에 도달하는 빛이 감소하기 때문으로 생각된다. 따라서 광분해 비를 결정할 수 있는 영역은 일정한 비율로 광분해가 진행되는 단계이므로 각각의 파장에서 이 영역의 기울기를 광분해 비로 하여 그림 4에 나타내었다. 그리고 Ag와 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 경계면에서 빛 흡수에 따른 광특성을 해석하기 위하여 U. V. Spectrometer (U. V. - 240, Shimidzu Co.)로 측정한 Ag, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 그리고 Ag가 광도핑된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 흡수계수 스펙트럼을 그림 5에 나타내었으며, Ag가 광도핑된 경우 사진식각 장치를 사용하여 수은등 (H33GL - 400W)으로 Ag층에 수직하게 5분 동안 빛을 조사하여 광도핑 시켰다. As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 빛 흡수는 파장의 증가에 따라 현저히 감소하였으며, 약 600(nm) 이상의 파장에서는 빛 흡수가 거의 없는 것을 관찰하였다. Ag가 광도핑된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>는 흡수계수 스펙트럼이 증가하였으며, Ag의 경우는 전체적으로 거의 변화가 없이 매우 큰 것을 관찰하였다.

또한 Ag의 광도핑에 의한 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 에너지 갭의 변화를 관찰하기 위하여 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>와 Ag가 광도핑된 As<sub>2</sub>

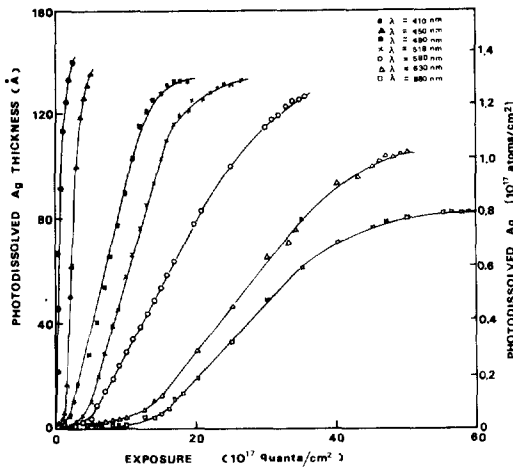


그림 3. 광분해된 Ag층 두께의 노출의존성  
**Fig. 3.** Dependence of photodissolved Ag thickness on exposure.

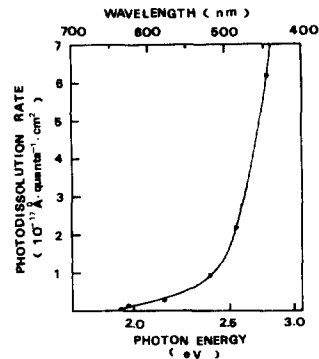


그림 4. 광분해비의 스펙트럼 의존성  
**Fig. 4.** Spectral response of the photodissolution rate.

S<sub>3</sub>에 대한  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ 를 광양자 에너지의 함수로 그림 6에 나타내었으며, 광학 에너지 갭(optical energy gap; E<sub>og</sub>)은  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2} = 0$  일때 이다. As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 E<sub>og</sub>는 2.32[eV]였으며, Yaji 등<sup>10)</sup>이 보고한 E<sub>og</sub> = 2.34 [eV]와 거의 일치하였다. Ag가 광도핑된 경우의 E<sub>og</sub>는 2.25[eV] 정도로 감소하였으며, 이러한 현상은 Ag 원자들이 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>내에서 무질서한 구조를 증가시켜 갭내의 상태밀도가 증가하여 흡수계수가 증가하기 때문으로 생각된다.

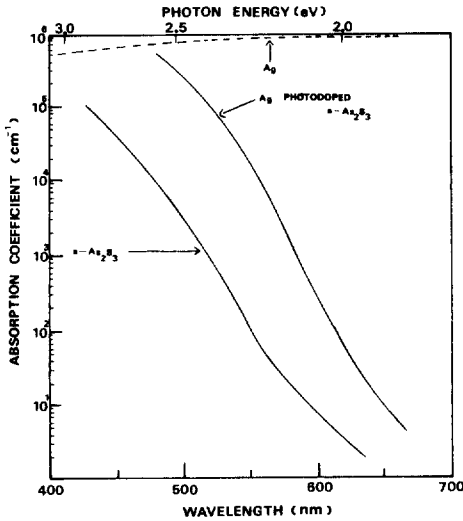


그림 5. 흡수계수 스펙트럼 응답  
Fig. 5. Spectral response of the absorption coefficient.

그림 4에서 광분해 비 스펙트럼 응답 곡선은 그림 5의 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 흡수계수 스펙트럼과 유사하였으며, 특히 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 흡수단(E<sub>og</sub> = 2.32[eV]) 이상에서 매우 큰 것을 관찰할 수 있었다. 약 600[nm] 이상의 장파장 영역에서는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층에서 빛 흡수가 거의 없으며, 단지 Ag층에서 빛 흡수가 일어나므로 그림 4에 나타낸 장파장 영역의 광분해 비는 단지 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>내에 광전자들을 방출하는 데에만 기인하는 것으로 추정된다. 또한 광분해 비의 감도한계는 630[nm] 정도에서 관찰되었다. 일반적으로 광분해 비의 칼코게나이드 층 두께 의존성은 다음과 같다.<sup>5)</sup>

$$\text{광분해 비} \propto \alpha I_0 \exp(-\alpha d)$$

여기에서  $\alpha$ 는 흡수계수,  $I_0$ 는 칼코게나이드 층에서 흡수된 빛의 세기, 그리고  $d$ 는 칼코게나이드 층 두

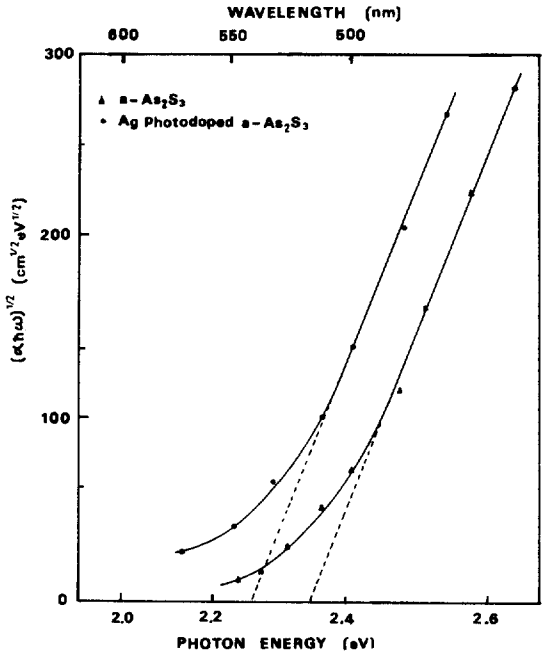


그림 6. 광양자 에너지에 따른  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$   
Fig. 6.  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$  versus photon energy.

께이다. 따라서 단지 Ag 층에서 빛 흡수가 일어나는 장파장 영역에서의 광분해 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 상수 C<sub>1</sub>은 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 층에서 빛 흡수가 거

$$\left. \begin{aligned} \text{광분해 비} &\propto \alpha_{Ag} \exp(-\alpha d)_{As_2S_3} \\ &\approx C_1 \exp(-\alpha d)_{As_2S_3} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

의 없는 장파장 영역의 광분해 비를 적용하여 구할 수 있으며, 그림 4에서 파장 630[nm]의 광분해 비를 적용하여  $0.4 \times 10^{14}$  [원자수/cm<sup>2</sup>·sec]를 구하였다. 만약 Ag/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 경계면 부근에서 광분해 비가 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 층에서 흡수된 광양자 에너지에 비례한다면 그때의 광분해 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 상

$$\text{광분해 비} \approx C_2 \alpha_{As_2S_3} \exp(-\alpha d)_{As_2S_3} \quad (5)$$

수 C<sub>2</sub>는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층에서 빛 흡수가 큰 단파장 영역의 광분해 비를 적용하여 구할 수 있으며, 그림 4의 곡선으로부터 490[nm]의 광분해 비를 적용하여  $2.5 \times 10^{10}$  [원자수/cm<sup>2</sup>·sec]를 구하였다. 따라서 그림 4에 나타난 광분해 비 곡선은 다음과 같이 식 (4)와 (5)의 합으로 나타낸다.

$$\text{광분해 비} \approx (C_1 + C_2 \alpha_{As_2S_3}) \exp(-\alpha d)_{As_2S_3} \quad (6)$$

이와같은 관계로 부터 광분해 비는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 층에서의 빛 흡수에 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다.

3.2 광확산 특성

광확산에 영향을 미치는 인자 및 조사방법은 서론에서 논한 바와 같이 여러가지 방법이 있으나, 본 실험에서는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층의 광학밀도를 측정하여 다음과 같은 관계식으로 광확산 깊이 d<sub>x</sub>를 구하였다.<sup>11)</sup>

$$d_x = d(1 - D_2/D_1) \tag{7}$$

여기에서 d는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층 두께, D<sub>1</sub>은 두께 d일때의 광학밀도, 그리고 D<sub>2</sub>는 광확산된 부분 d<sub>x</sub>를 제거한 후 남아있는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층의 광학밀도 이다. 그리고 광확산 깊이의 변화로 부터 광확산 비의 스펙트럼 응답을 구하여 경계면에서의 빛 흡수 의존성을 조사하였다. 광학밀도는 monochrometer로 일정시간 빛 조사한 후에 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>층 위에 남아있는 Ag를 HNO<sub>3</sub>+3HCl 용액으로 제거하였고, Ag가 광도핑된 부분은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액으로 제거하여 Si 수광 다이오드 (Koclenshi Co., SP-2K)로 측정하였다.

이와같은 방법으로 구한 각각의 파장에 대한 Ag의 광확산 깊이를 그림 7에 노출의 함수로 나타내었다. 광확산 깊이는 각각의 파장에서 그림 3의 광분해량 변화와 유사하게 비율이 점차 증가, 일정 그리고 감소하는 단계로 진행되었다.

일반적인 광도핑 비는 다음과 같이 표현된다.<sup>2)</sup> 여기서 I<sub>abs</sub>는 단위시간에 흡수된 광량자 수이며,

$$d_x/dt = kI_{abs} + (k'/x)I_{abs} \tag{8}$$

k와 k'은 상수이다. 첫째항은 단거리 영향으로 광유기된 화학반응을 나타내며, 둘째항은 확산을 유도하는 광생성 이온들 사이의 Coulomb 인력을 나타내는 것이다. 또한 광도핑이 바로 시작될 때 둘째항은 무시되며, 광도핑이 어느정도 진행된 후 첫째항은 경계면 부근에서 화학반응에 의한 active site들의 빠른 소모 때문에 무시할 수 있다. 따라서 광도핑이 어느정도 진행된 후 광도핑된 깊이 X는 광확산된 깊이 d<sub>x</sub>를 의미하며, (8) 식으로 부터 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$d_x = (2k'I_{abs}t)^{1/2} \tag{9}$$

본 실험에서 관찰된 결과로는 식(8)의 첫째항은 광분해 과정, 둘째항은 광확산 과정으로 볼 수 있다. 따라서 그림 7에서 비율이 점차 증가하는 영역은 광분해 과정 중 일어나는 확산이며, 빛 조사에 의해 높은 이동도를 갖는 Ag이온들이 발생하는 단계이다. 비율이 일정하게 증가하는 영역은 Ag이온들이 방사 손상에 의해 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>내에 트랩된 전자들과 Coulomb 인력에 의해 일정하게 이동하는 단계이며, (9) 식에서와 같이 빛 조사시간의 제곱근에 비례하였다. 따라서 이 영역의 기울기를 광확산 비로 결정할 수 있다. 비율이 감소하는 영역은 Ag의 광확산이 점차 포화상태로 되는 단계이다.

그림 8에는 각각의 파장에서 비율이 일정하게 증가하는 영역의 기울기를 광확산 비로 결정하여 광양자 에너지 함수로 나타내었다. 광확산 비의 스펙트럼 응답곡선은 그림 5의 Ag가 광도핑된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 흡수계수 스펙트럼과 유사하게 단파장 영역에서는 광확산 비가 크며, 장파장 영역에서는 매우 적게 나타났다. 특히 E<sub>OG</sub> = 2.25[eV] 이상에서 매우 크므로

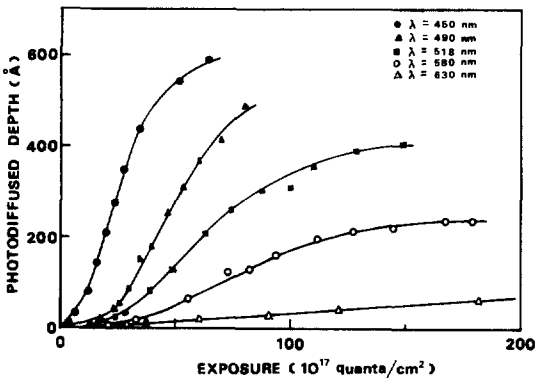


그림 7. 파장에 따른 Ag 광확산 깊이의 노출 의존성

Fig. 7. Dependence on exposure of the depth of Ag photodiffusion for various wavelengths.

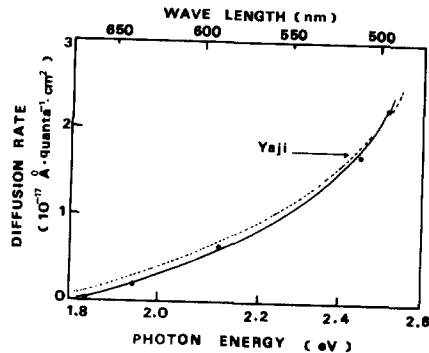


그림 8. 광확산 비의 스펙트럼 의존성

Fig. 8. Spectral response of photodiffusion rate.

광화산 비는  $As_2S_3$ 층에서의 빛 흡수에 의존함을 알 수 있었다. 또한 광분해 비와는 달리 600(nm) 이상의 장파장 영역에서도 광화산 비가 나타나는 것은 Ag가 확산됨에 따라  $As_2S_3$ 의 빛 흡수가 증가하는 데에 기인하는 것으로 생각되며, 또한 광화산 비의 감도한계는 광분해 비의 감도한계 보다 더 긴 680(nm) 정도에서 관찰되었다. 그림 8에서 점선으로 나타낸 곡선은 Yaji<sup>6)</sup> 등이 굴절을 변화 측정방법으로 구한 광화산 비의 스펙트럼 응답이며, 본 실험에서 측정된 결과와의 오차는 기울기의 계산 상에서 나타난 것으로 생각된다.

이와같은 광분해 비와 광화산 비의 관찰로부터 광도핑 비는 경계면에서  $As_2S_3$ 층에서의 빛 흡수에 의존함을 알 수 있었다.

### 3.3 단락회로 광전류 특성

Ag와  $As_2S_3$  경계면에서 광캐리어들의 발생에 의한 광전류의 스펙트럼 응답을 관찰하기 위하여 그림 1의 (a, a') 구조를 갖는 소자에 monochrometer로 빛을 조사하여 Electrometer (Kiohtety, 610C)로 측정된 단락회로 광전류의 스펙트럼 응답을 그림 9에 나타내었으며, Ag가 광도핑된 경우는 흡수계수 측정시와 같은 방법으로 광도핑 시켰다.

$As_2S_3$ 층에서 빛 흡수가 일어나는 영역에서는 일반적인 정의 광전류가 관찰되었으며, 특히  $As_2S_3$ 의 흡수단 영역에서는  $3.8 \times 10^{-11}$  [A], 광도핑된 경우  $16.5 \times 10^{-11}$  [A] 정도의 peak가 나타났다. 이때의 광캐리어들은  $As_2S_3$ 에서 발생되며, 정공들이 전도에 기여할 것이다<sup>12)</sup>. 또한 Ag가 광도핑된 경우 광전류

가 증가하는 것은  $As_2S_3$ 내에 확산된 Ag 원자들의 트랩형성과 그림 6에서와 같이 금지대 폭이 감소하는 데에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 그림 9에 나타내지 않은 암상태에서도 매우 적은 전류가 나타나는 것을 관찰하였다. Ag는 실온에서 도핑이 일어나지 않으며, 하부전극으로 사용한 Al은 열이나 빛에 의해 도핑이 일어나지 않으므로 암상태에서 나타나는 전류는 단지 Ag와  $As_2S_3$  경계면에서 화학적 반응에 기인하는 것으로 생각된다. 즉 경계면에서 국재화된 Ag 원자들로부터 전자들이 발생하며, 그들은 농도 기울기에 따라  $As_2S_3$ 내로 짧은 거리를 이동한 후 금지대 내에 트랩을 형성하는 것으로 생각된다. 파장 650(nm)에서는 부의 spiky 광전류가 관찰되었으며, 이는 파장 650(nm) 부근에서는 그림 5에서와 같이 Ag층에서만 빛 흡수가 일어나므로 단지 Ag층에서 광전자들의 방출에만 기인할 것이다. 따라서 이것은 장벽용량의 방전 혹은 충전이 경계면에서 생성된 광캐리어들에 의해 일어나거나, 혹은 가피른 장벽전위에 의해 일어나는 것으로 추정된다. 만약 이와 같이 경계면에서 화학반응에 의한 국재화 상태와 전위장벽이 형성된다면, 다음과 같은 가상적인 광도핑 동작기구 모델을 제안 할 수 있다. 즉 광양자 에너지  $h\nu \geq E_{og}$ 인 빛 조사에 의해  $As_2S_3$ 에서 생성된 전자-정공 쌍들은 경계면 부근에서 전계에 의해 분할된다. 이러한 분할과정을 그림10(a)에 나타내었다. 이때 정공들은 Ag에 의해 포획되고, 전자들은 집합전위에 의해  $As_2S_3$  내에 트랩을 형성한다. 계속적인 빛 조사에 의해  $As_2S_3$ 내에서는 구조변화가 일어나며, 이때 약하게 결합된 칼코겐 원자, 즉 S 원자가 트랩을 형성하여 Ag이온들에 대한 친화력을 증가시킨다. 그리고 경계면 부근에서 정공으로 대전된 Ag이온들과 트랩된 부의 S원자들 사이의 Coulomb 인력은 운동장벽을 감소시켜 Ag원자들이  $As_2S_3$ 내로 이동하여 경계면 부근에서  $Ag_2S$ 를 형성할 것이다. 이러한 Ag이온들의 이동과정을 그림10(b)에 나타내었다. Dzharov<sup>13)</sup>는 이와 같은  $Ag_2S$ 가 새로운 조성층을 형성하여  $As_2S_3$ 와 이중접합을 형성하며, 감도한계가 장파장 영역으로 이동한다고 하였다. 본 실험에서는 그림 4에서 광분해 비의 감도한계 630(nm)와 그림 8에서 광화산 비의 감도한계 680(nm)로 부터 감도한계가 50(nm) 정도 장파장 영역으로 이동한 것을 확인하였다.

이상의 광도핑 동작기구는 경계면에서 국재화 상태와 전위장벽의 형성을 전제로 하여 가상적인 모델을 제안한 것이다. 그러나 이들에 대한 명확한 해석을 하기 위하여 서론에서 논한 광도핑에 영향을

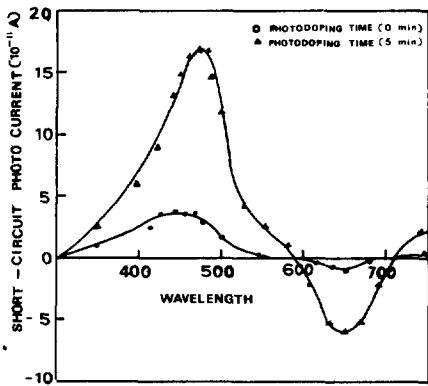


그림 9. 단락회로 광전류의 스펙트럼 의존성  
Fig. 9. Spectral dependence of short-circuit photocurrent.

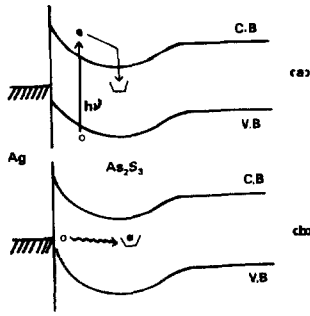


그림 10. Ag- $As_2S_3$  구조에서의 에너지대 모형  
 Fig. 10. Energy band diagram for an Ag- $As_2S_3$  structure.

미치는 여러가지 인자들의 특성조사, 경계면에서 carrier들의 운동상태, 그리고 TSC, DLTS 측정등에 의한 trap에 관한 실험 및 해석이 계속 진행 중에 있다.

#### 4. 결 론

이상의 실험결과 및 고찰로 다음 결론을 내릴 수 있다.

1. 광도핑은 Ag이온들이 생성되는 광분해 과정과 분해된 Ag이온들이  $As_2S_3$ 내에 확산되는 광확산 과정으로 진행된다.
  2. 광분해 비와 광확산 비는  $As_2S_3$ 층에서 흡수된 광양자 에너지에 의존하였으며, 감도한계는 각각 630(nm), 680(nm) 정도였다.
  3. 광확산 깊이는 빛 조사시간의 제곱근( $t^{1/2}$ )에 비례하였다.
  4. Ag와  $As_2S_3$  경계면에서 국재화 상태와 전위장벽이 형성되는 것을 가정하여 가상적인 광도핑 모델을 제안할 수 있었다.
- 이상의 결론을 바탕으로 광도핑 동작기구 해석이 계속 검토되어야 할 것이며, 특히 경계면에서 국재화 상태와  $As_2S_3$ 내에서의 트랩형성 등에 관한 고찰로 에너지 대 구조에 관한 모델의 확립이 중요한 과제로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1) J. P. DeNeufville, "Optical Information Stor-

age" in Amorphous & Liquid Semiconductor, ed. J. Stake & W. Brening, Plenum, New York, pp. 1351-1360, 1974.

2) H. Kokado, et al., "Discussion on the Mechanism of Photodoping", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 21, pp. 131-139, 1976.

3) S. Maruno and S. Ban, "Photodoping Sensitivity of Ag into a- $Ge_{30}S_{70}$  Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 19, pp. 97-101, 1980.

4) M. Yamaguchi, et al., "Diffusion of Ag Associated with Photodoping into Amorphous Chalcogenides", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 47, pp. 341-354, 1982.

6) T. Yaji & S. Kurita, "Photodoping Sensitivity of Ag into Amorphous  $As_2S_3$  Films", J. Appl. Phys., Vol. 54, pp. 647-651, 1983.

7) Y. Yamamoto, et al., "Backscattering Measurements on Ag Photodoping Effect in  $As_2S_3$  Glass", J. Appl. Physics, Vol. 47, pp. 3603-3608, 1976.

8) 정홍배, 김영호, 신병규, "광도핑 방법을 이용한 비정질  $As_2S_3$  박막의 불휘발성 기억 효과에 관한 연구", 전기학회논문집, 제34권, 제6호, pp. 26-31, 1985.

9) M. T. Kostyshin and Y. V. Ushenin, "Diffusion-Controlled Sensitivity of the  $As_2S_3$ -Ag System to Illumination through the Metal Layer", Sov. Phys. Semicond., Vol. 16, pp. 11-12, 1982.

10) T. Yagi and S. Kurita, "Influence of Ag Photoinduced Changes in  $As_2S_3$  Glass Films", Japan J. Appl. Phys., Vol. 22, pp. 400-403, 1983.

11) E. Inoue, et al., "Imaging in Ternary Chalcogenide Sensors by Photo and Thermal Doping", Photogr. Sci. Eng., Vol. 21, pp. 142-145, 1977.

12) H. Kokado, et al., "A Photoelectric Study on the Interface between Metallic Silver and Vitreous  $As_2S_3$ ", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 21, pp. 225-232, 1976.

13) T. D. Dzhanfarov, "Photostimulated Diffusion in Semiconductors", Phys. Stat. Sol. (a), Vol. 79, pp. 11-45, 1983.