

# Ag가 도핑된 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 광분해, 광확산특성 및 홀로그래픽 격자형성

論 文

55C-10-1

## Photodissolution, photodiffusion characteristics and holographic grating formation on Ag-doped $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ chalcogenide thin film

鄭 鴻 倍<sup>†</sup>  
(Hong-Bay Chung)

**Abstract** - In the present work, we investigated the photodissolution and photodiffusion effect on the interface of Ag/chalcogenide  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin film by measuring the absorption coefficient, the optical density, the resistance change of Ag layer. It was found that the photodissolution/photodiffusion ratio depends on the magnitude of photon energy absorbed in the chalcogenide thin film and the depth of photodiffusion was proportional to the square root of the exposed time. Also, we have investigated the holographic grating formation with P-polarization states on chalcogenide  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin film and  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$  double layer structure thin film. Holographic gratings have been formed using He-Ne laser (632.8 nm) which have a smaller energy than the optical energy gap,  $E_{g, opt}$  of the film, i. e., an exposure of sub-bandgap light ( $h\nu < E_{g, opt}$ ) under P-polarization. As the results, we found that the diffraction efficiency on  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$  double layer structure thin film was more higher than that on single  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin film. Also, we obtained that the maximum diffraction efficiency was 0.27 %, 1,000 sec on  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  (1  $\mu m$ )/Ag (10 nm) double layer structure thin film by (P: P) polarized recording beam. It will offer lots of information for the photodoping mechanism and the analyses of chalcogenide thin films.

**Key Words** : Photodissolution, Photodiffusion, VAPs, Ag Polarized-Photodoping, Holographic Grating

### 1. 서 론

최근 멀티미디어, 나노테크놀로지 기술의 급속한 발전이 이루어져 막대한 양의 정보를 효과적으로 기록, 저장, 재생하기 위한 새로운 초고밀도, 초고속 정보저장 장치의 개발이 필요하게 되었다. 이러한 정보저장 장치 중 상용화 가능성과 응용성으로 많은 흥미를 끌고 있는 기술중의 하나가 홀로그래픽 정보저장기술이다. 비정질 칼코게나이드 As-Ge-Se-S 박막은 매질에 광 에너지를 인가하는 경우 굴절률이 달라지는 광굴절 효과와 광원의 편광방향에 따라 우수한 광학적 이방성 특성을 나타내는 물질로 보고된 후 [1-3], 홀로그래피 매질로써 가능성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으며 광 감도가 우수하고 저장정보의 소거특성 및 제작의 용이성 및 안정성이 우수하여 차세대 광 기록 매질로 크게 기대되고 있다. 본인 등은 이러한 홀로그래피 매질로서 회절격자의 효율을 증진시키는 연구를 하기위하여 칼코게나이드 매질에 대한 연구 및 금속이온인 Ag박막을 형성시킨 이중층 구조의 박막을 연구하여 왔으나 [4-5] 그 기본적인 Ag 금속이온의 역할에 대하여 이해하고 그로 인하여 나타나는 광확산현상에 대하여 세밀한 분석을 할 필요성을 느껴왔다. 비정질 칼코게나이드 박막위에 금속(Ag, Cu) 박막을 형성한

후, 그 경계면에 광 에너지를 인가하면 금속이 일단 광분해를 한 후 칼코게나이드 박막내로 확산하여 새로운 고용체가 형성되는 광 도핑현상이 일어나게 된다 [6]. 이와 같이 금속이 광 도핑된 칼코게나이드 물질은 전기적, 광학적 특성이 변화하며 이에 따른 동작기구 및 그 응용가능성에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히, 금속과 칼코게나이드 박막의 경계면에서 화학반응에 의한 장벽이 형성되어 트랩된 전자들과 국재화된 결합들의 상호작용에 의해 금속이온이 칼코게나이드 박막내로 확산되어 새로운 구조변화를 생성하게 된다고 보고하였으며 [7], 칼코게나이드 박막에 광 에너지뿐만 아니라 열에너지 또는 전기에너지를 인가하여도 확산현상이 일어나게 된다 [8].

비정질 칼코게나이드 재료는 내부의 불규칙한 구조로 인하여 광학적 등방성을 갖는 것으로 알려져 왔으나 칼코게나이드 박막에 편광-광을 조사하는 경우, 광유기 이방성(photoinduced anisotropy: PA)이 생성된다는 결과가 보고된 이후, 많은 연구자들에 의하여 금속이온의 확산에 의한 광유기특성 및 응용에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 Ag 광 도핑현상에 영향을 미치는 인자들은 Ag층의 두께, 칼코게나이드 박막의 두께, 입사 빔의 세기 및 파장, 경계면에서의 빛 흡수량 등으로 이들의 특성조사방법으로는 광학밀도변화, 투과율변화, 저항의 변화, 굴절을 변화에 의한 회절효율을 측정하여 분석할 수 있다. 특히, 칼코게나이드 박막위에 광 에너지 값 이상( $h\nu > E_{gOPT}$ ) 또는 이하( $h\nu < E_{gOPT}$ )의 편광-광과 편광 되지 않은 자연광을 박막에 조사하는 경우에도 복굴절 및 이색성과 같은 광유기 이방성특성

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 光云大 工大 電子材料工學科 教授 · 工博

E-mail : hbchung@kw.ac.kr

接受日字 : 2006年 6月 22日

最終完了 : 2006年 8月 21日

이 나타난다고 보고되었다 [9]. 이러한 칼코게나이드 박막에서의 광유기 현상의 메커니즘은 많은 연구가 되었으나, 아직 현재까지 명확한 동작기구는 밝혀지지 않고 있다. 현재까지 광유기 이방성은 내부 원자적인 결합 시스템의 형태적인 결합인 VAPs (valence alternation pairs :  $C^{\delta-}C^{\delta+}$ )의 광-구조 변환의 형태로 접근하여 해석되고 있다 [10]. 이러한 광유기 이방성현상에 의해 일어나는 광유기 복굴절현상은 벡터적인 현상으로 광의 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 미시적 관점에서의 마이크로 체적변화 즉, IVAPs (intimate valance alternation pairs)가 광흡수를 달리함에 따라 광 구조변환이 국부적으로 발생하는 현상이다. 따라서 이방성의 근원이 되는 IVAPs를 박막 내에 증가시킨다면 복굴절 량의 두드러진 증가를 기대할 수 있다.

본 논문에서는 칼코게나이드 박막 내에서 일어나는 광유기 현상의 근원을 이해하는 방법으로, 광 에너지 인가 시 Ag 금속이온에 의한 광분해와 확산현상에 대한 동작기구를 Ag의 광 분해율을 통한 광학밀도변화, 투과율변화, 저항의 변화로 분석하고자 한다. 또한 이에 따른 홀로그래픽 격자형성에 대한 특성을 분석하기 위해 칼코젠 화합물  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  단일 박막과 Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  편광-광 도핑 된 이중층박막에 의한 광유기 특성에 대하여 비교 조사하고자 한다. 이러한 Ag층의 역할분석을 통하여 Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  편광-광 도핑 된 이중층박막에서 회절효율 변화를 분석하므로써 Ag/ $AsGeSeS$  박막에서의 홀로그래픽 기록 매질 및 광소자 제작의 응용성을 찾고자 한다.

## 2. 실험

사용된 비정질 칼코게나이드 박막은  $As_{40}Ge_{10}Se_{50-x}S_x$  ( $x = 0, 25, 35$  at. %) 중 최대 가역적 광구조적 변화를 갖는  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막을 선택하였다 [5]. 사용된 박막은 coming glass (#2948) 위에 열 진공증착기를 이용하여 약  $2 \times 10^{-6}$  torr의 진공도에서 1  $\mu m$ 의 두께를 갖도록 제작한 칼코게나이드 박막과 이들 박막 위에 Ag층을 같은 방법으로 약 10 nm의 두께로 2중층 박막을 제작하였다. 이때 증착 속도는 구조적으로 균일한 표면을 얻기 위해  $\sim 2 \text{ \AA}/\text{sec}$ 를 유지하였으며 두께 및 광학상수는 N&K Analyzer (NKT-1200)를 사용하여 측정하였다. 광학밀도를 이용한 광 확산 깊이를 측정하기 위하여 He-Ne laser로 일정시간 광을 조사한 후  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  층위에 남아 있는 Ag층을  $HNO_3+3HCl$  용액으로 제거하였으며, Ag가 광 도핑 된 부분은  $H_2SO_4+H_2O_2$  용액으로 제거하고 입사광 및 투과광의 세기는 광 검출기 (Melles Griot, 30W, max)로 측정하였다.

그림 1은 광유기 현상과 홀로그래픽 격자형성을 측정하기 위한 실험 장치도이며 박막내부의 구조적 변화를 유도하기 위해 사용된 유기광은 자연광 He-Ne 레이저 ( $\lambda=632.8 \text{ nm}$  :  $23.2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ )를 사용하였으며, 선형 편광-광은 선형 편광기를 이용하여 만들었다. 박막표면에서의 유기광과 측정광의 편광각도는  $\pm 45^\circ$ 를 유지하였다. 또한 Ag 박막의 광분해비 변화 측정은 선형편광 된 He-Ne 레이저를 이용하여 검광자를 지나는 투과된 광의 세기를 측정하였다. 격자 형성에 의하여 발생하는 회절 빔의 세기는 광 검출기를 이용하여 실

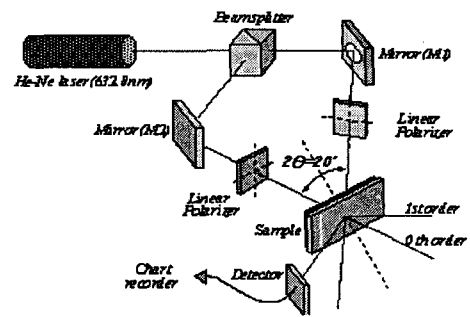


그림 1 광유기 현상 및 격자형성을 위한 실험장치도  
Fig. 1 Schematic experimental setup for the photoinduced phenomena and the diffraction grating formation

시간으로 측정, 기록하였다. 회절 빔의 세기는 +1st의 회절 빔 세기를 측정하였다. 두 기록 빔이 박막에 입사 시 이루는 각은  $2\theta=20^\circ$ 를 유지하게 하였으며, 칼코게나이드 박막에 형성되는 격자 주기는 아래 식에 의하여 얻을 수 있었다.

$$\Lambda \approx \lambda / 2 \sin(\theta) \quad (1)$$

회절효율은 이와 같은 격자간격으로 형성된 격자에 의해 초기 입사 빔 ( $I_{input}$ ) 이 회절 되어 나타나게 된다. 이중 첫 번째 회절 되어 나타난 빔의 세기( $I_{1st-order}$ )를 측정하여 아래와 같이 나타낼 수 있으며, 편광 홀로그래픽에서의 격자 형성에 의한 회절효율(diffraction efficiency :  $\eta$ )을 나타낸다.

$$\eta = \frac{I_{1st-order}}{I_{input}} \times 100\% \quad (2)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 광분해 특성

Ag 와 칼코게나이드 박막의 경계면에서 광 에너지조사에 의해 Ag가 광분해 되면 순수한 Ag 층의 두께가 감소하므로 본 실험에서는 전기적 저항변화 측정방법으로 광 분해된 Ag층 두께를 구하여 광분해특성을 조사하였다. 그림 2는 He-Ne laser로 조사하면서 Ag 층의 저항변화를 시간에 따른 변화로 측정한 그래프이다. 이때 입사광의 세기는 0.32 mW 로 하였다.

Ag 박막은 두께감소에 따라 저항이 증가하며 칼코게나이드 박막과 Ag가 광 분해된 칼코게나이드 박막의 비저항이 순수한 Ag층보다 매우 크기 때문에 측정된 그림 2의 저항 변화는 광 에너지조사에 의해 경계면에서 칼코게나이드 박막 내에 광 분해된 Ag가 증가함에 따라 남아있는 순수한 Ag 층의 두께가 감소에 의해 나타나는 것이므로 그림 2의 변화곡선은 경계면에서의 광분해 특성변화로 해석할 수 있다. 그림 2에서 곡선의 기울기가 거의 0에 가까운 지점인 약 80 분까지는 광분해가 일어나기까지의 유도시간이다. 이러한 유도시간은 Ag와 칼코게나이드 박막의 경계면에 어떠한 형성과정과는 무관하며 칼코게나이드 박막 내에서 전하

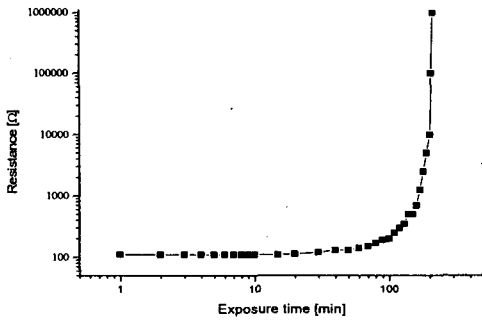


그림 2 노출시간에 따른 Ag 층의 저항변화 (632 nm)  
 Fig. 2 The Ag layer resistance change with the exposure time (632 nm)

트랩의 형성과 구조변화를 일으키는 방사손상의 축적과정이라고 볼 수 있다 [11]. 저항의 변화량,  $\Delta R$  과 광 분해된 Ag 층 두께의 변화량,  $\Delta d$  와의 관계는

$$\Delta R = \frac{L}{W} \left[ \frac{\rho_{Ag}(d_0 - \Delta d)}{d_0 - \Delta d} - \frac{\rho_{Ag}(d_0)}{d_0} \right] \quad (3)$$

로 표시되며 [12], 여기서  $d_0$  는 Ag층의 두께,  $\rho_{Ag}$  는 Ag 층의 비저항, 그리고  $L$  과  $W$  는 각각 광이 조사된 영역의 길이와 폭이다. 또한 광 분해된 두께,  $\Delta d$  와 광 분해된 Ag 량,  $P$  와의 관계는  $\Delta d = \frac{PM}{A\rho}$  로 표시되며, 여기서  $M$  은 Ag의 원자량,  $A$ 는 Avogadro 수,  $\rho$  는 Ag의 밀도이다. 따라서 그림 2의 결과로부터 Ag층의 관계식을 이용하여 광 분해된 Ag 량으로 환산하여 결과를 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3에서 알 수 있듯이 초기에는 광분해가 서서히 진행되다가 일정한 광 노출량에 이르면 선형적으로 일정한 비율로 증가하며 이후에 서서히 감소되며 포화상태가 된다.

광분해량의 비율이 점차 증가하는 단계에서는 앞서 논의되었던 방사손상이 계속 지속되는 것을 의미하며 비율이 일정한 단계에서는 경계면에서 광분해가 일정하게 진행되는 것을 의미한다. 또한 비율이 감소하는 원인은 광분해가 포화되면서 확산이 시작되거나 혹은 광 분해된 Ag 층의 증가로 인하여 경계면에서 광흡수가 증가하여 칼코게나이드 박막 내에 도달하는 광량이 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 그러므로 광 분해비를 결정할 수 있는 영역은 일정한 비율로 광분해가 진행되는 단계이므로 이 영역에서의 기울기를 광분해비로 구하면 He-Ne laser 파장의 경우,  $8.9 \times 10^{-19}$  (A.quanta<sup>-1</sup>cm<sup>2</sup>) 임을 알았다.

### 3-2 광확산 특성

Ag의 광분해가 일어난 후 광 확산이 일어나게 되므로 광 확산의 과정을 분석하기 위하여 칼코게나이드 단일박막과 Ag층이 있는 Ag/칼코게나이드 박막에서의 투과도의 세기를 이용한  $\log(I_0/I)$  의 관계식으로부터 광확밀도를 구하여 광 확산 깊이를 측정하였다. 여기서,  $I_0$  는 입사 전의 광의 세기,  $I$  는 흡수된 뒤의 광의 세기이다.

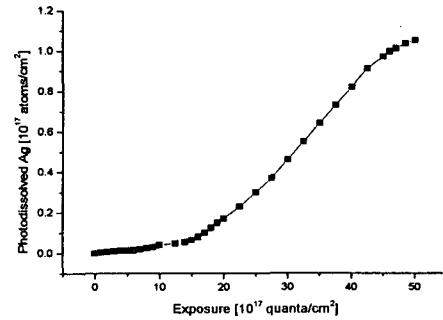


그림 3 광 분해된 Ag 량의 노출의존성 (632 nm)  
 Fig. 3 Photodissolved Ag amount change with the exposure (632 nm)

그림 4는 광 노출시간에 따른 광학밀도를 나타낸 그래프이다.

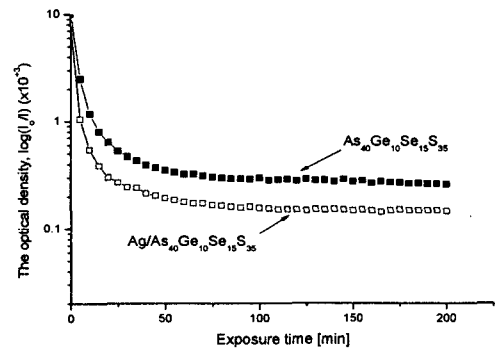


그림 4 단일 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막과 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 이중 층 박막에서의 노출시간에 따른 광학밀도,  $\log(I_0/I)$   
 Fig. 4 The optical density,  $\log(I_0/I)$  as a function of exposure time in single As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> thin film and double-layer of Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> thin film

그림 4에서 구한 결과 단일 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 층의 경우는 광학밀도는 264.6이었으며 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 의 경우는 147.1이었다. 이러한 광학밀도의 변화는 Ag가 경계면에서 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막내로 확산되어 들어가 박막내에 결합인 C<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> 을 증가시키므로서 광학밀도가 감소된다고 생각된다. 그림 4에서 구한 광학밀도를 이용하여 다음과 같은 관계식으로 확산깊이  $d_x$  를 구하였다.

$$d_x = d(1 - D_2/D_1) \quad (4)$$

여기서,  $d$  는 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 층의 두께,  $D_1$  는 두께  $d$  일 때의 광학밀도,  $D_2$  는 광확산된 부분,  $d_x$  를 제거한 후에 남아있는 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 층의 광학밀도이다. 이와 같은 방법으로 구한 결과를 나타내면 그림 5와 같다.

그림 5에서 보면 광 확산 깊이는 그림 3의 광분해량 변화와 약간 유사하지만 노출시간에 따라 빠르게 광 확산이 진행되며 거의 선형적으로 증가됨을 알 수 있다.

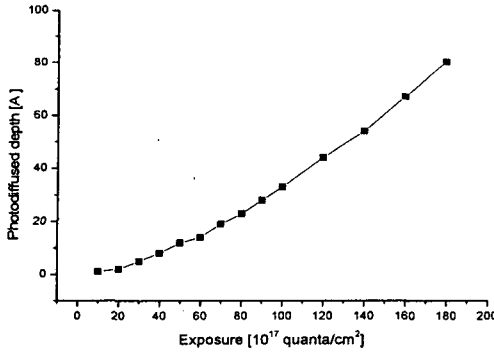


그림 5 노출시간에 따른 Ag 광확산 깊이 (632nm)  
 Fig. 5 The depth of Ag photodiffusion with the exposure (632nm)

시간에 따른 광 도핑과정은 다음과 같이 표현 된다 [6].

$$\frac{dx}{dt} = kI_{abs} + \left(\frac{k'}{x}\right)I_{abs} \quad (5)$$

여기서  $I_{abs}$ 는 단위시간당 흡수된 photon 수이며,  $k$ 와  $k'$ 은 상수이다. 첫째항은 단거리 영향으로 광 유기된 화학 반응이며, 둘째 항은 확산을 유도하는 광 생성 이온사이의 coulomb 인력을 나타내는 항이다. 그러므로 광이 노출되어 광 도핑과정이 시작하면 광분해가 일어나게 되므로 둘째 항은 무시가 되며 어느 정도 광 도핑이 진행되면 경계면 부근에서 화학반응에 의한 active site 들의 빠른 소모로 인하여 첫째항이 무시된다. 따라서 광 도핑이 어느 정도 진행된 후 광 도핑의 깊이  $x$ 는 광 확산 깊이  $d_x$ 를 의미하게 되며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$d_x = (2k'I_{abs}t)^{1/2} \quad (6)$$

본 연구결과 식 (5)의 첫째항은 광 분해과정으로, 둘째 항은 광 확산과정으로 볼 수 있다. 따라서 그림 5에서 비율이 서서히 증가하는 영역은 광 분해과정에서 일어나는 광 확산 현상이며 광 조사에 의해 높은 이동도를 갖는 Ag 이온들이 발생하는 단계이다. 또한 증가율이 일정한 영역은 Ag 이온들이 방사손상에 의해 일정하게 이동하는 단계이며, 식 (3)에서와 같이 광조사시간의 제곱근에 비례하였다. 증가율이 감소하는 영역은 Ag의 광 확산이 점차 포화되는 단계로 보인다. 초기 Ag층의 빛의 산란 효과에 의해 투과도가 낮으나 유기되는 빛의 양이 많아지면서 2중층 박막의 Ag가 유기광의 광 에너지를 흡수하여 박막 내부로 확산되고 Ag이온과 칼코게나이드와 결합이 새로운 형태의 VAPs가 형성되어 투과도가 점점 증가되게 된다. 그리고 Ag 와 칼코게나이드 박막 경계면에서 광의 흡수에 따른 광학적 특성을 해석하기 위하여 photon energy 에 따른 Ag,  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  그리고  $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  이중층박막의 흡수계수 스펙트럼을 나타내 보면 그림 6과 같다.

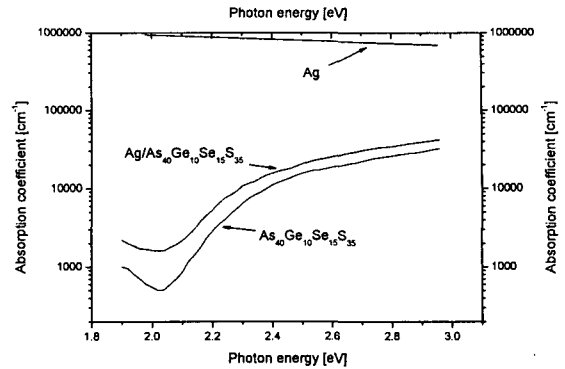


그림 6 photon energy 에 따른 흡수계수 변화  
 Fig. 6 The absorption coefficient change with the photon energy

그림 6에서 보면 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막보다  $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 흡수계수가 크게 나타났는데 이러한 현상은 Ag 원자들이 광 확산과정을 통하여 칼코게나이드  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막 내에서 무질서한 구조를 증가시키므로서 에너지 갭내의 상태밀도가 증가되어 흡수계수도 증가되기 때문이라고 생각된다. 또한 Ag 광도핑에 의한  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 에너지 갭의 변화를 관찰하기 위하여 광 에너지에 따른 광흡수량,  $(\alpha \hbar \omega)^{1/2}$ 의 변화를 나타내면 그림 7과 같다.

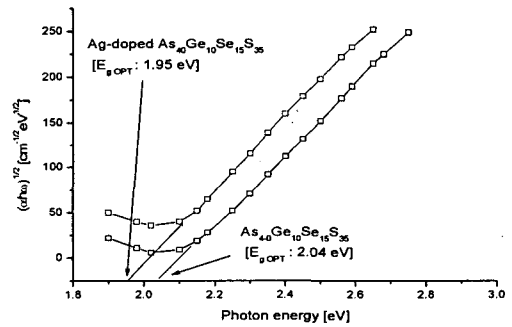


그림 7 photon energy에 따른 흡수량,  $(\alpha \hbar \omega)^{1/2}$  변화  
 Fig. 7 Absorption amount,  $(\alpha \hbar \omega)^{1/2}$  change with photon energy

그림 6에서 알 수 있듯이 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 광학적 에너지 갭,  $E_{g,OPT}$ 은 2.04 eV 이며 Ag-doped  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 광학적 에너지 갭,  $E_{g,OPT}$ 은 1.95 eV 로 약간 감소되었는데 이러한 현상은 앞서 설명한 Ag 의 광분해와 광 확산현상에 의한 것으로 생각된다.

### 3-3 회절격자 형성

비정질 칼코게나이드 박막 2중층에서 일반적으로 편광-광 도핑 현상은 편광된 유기광을 조사함으로써 Ag이온 또는 중성원자가 칼코게나이드 박막 내부의 도핑영역과 도핑

되지 않은 영역의 경계면에서 확산에 의한 유입으로 설명할 수 있다 [4].

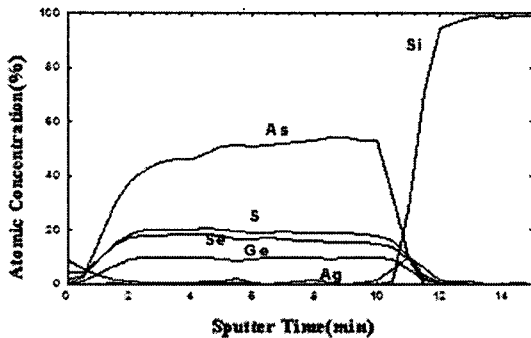


그림 8 He-Ne 레이저 조사에 의한 Ag 도핑된  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 AES 분석

Fig. 8 AES analysis of Ag-doped  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin film by exposing He-Ne laser

그림 7은 편광된 He-Ne 레이저가 조사된 2중층 박막의 AES 분석 결과를 나타내고 있다. 편광된 He-Ne 레이저의 조사시간을 각각 1분으로 하였으며 짧은 시간 동안 유기된 광에 의해 Ag가 Si기판의 경계까지 빠르게 도핑 됨을 확인할 수 있었다. 또 유기된 광에 의해 칼코게나이드와 Si의 경계면에서 다량의 Ag가 확인되고 있다. 이와 같은 Ag의 편광-광도핑으로 인하여 비정질 박막의 구조적 변화를 유발하며 칼코게나이드 박막에서의 이방성의 근원이 되는 VAPs의 인위적 증가를 일으킨다 [9]. 그림 8과 9은 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)$  박막과  $Ag(10nm)/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)$  박막의 홀로그래픽 격자 형성에 따른 회절 효율의 변화를 나타내고 있다. 이때 사용된 기록광은 He-Ne 레이저( $\lambda=633\text{ nm}$ )의 선형 편광 빔이었으며, 격자 형성에 따른 회절효율을 고찰하였다. 기준빔과 신호빔의 입사각은  $20^\circ$ 로 하였고, 기록빔의 세기는  $2.7\text{ mW}/\text{cm}^2$  이었다.

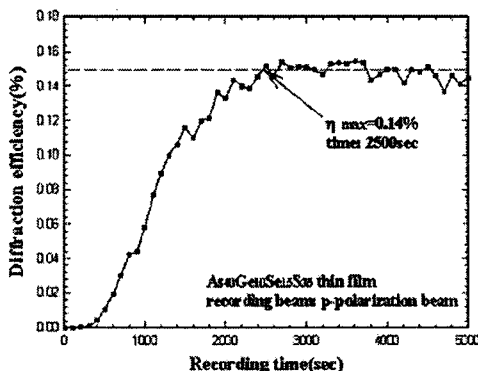


그림 9 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)$  박막에서 (P:P) 편광상태의 기록빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 9 Diffraction grating efficiency change by (P:P) polarization state of recording beam with exposure time on  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)$  thin film

그림 8은 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 홀로그래픽 격자 형성에 따른 1차 회절 빔의 회절 효율 변화를 나타내고 있다. 최대 회절효율은 약 2500초에서 0.14 %를 얻을 수 있었으며 이와 같은 값이 장시간 포화상태를 유지함으로써 비교적 큰 안정성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 9는 Ag층을 10nm로 형성한  $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막 기록매질의 홀로그래픽 격자 형성에 따른 회절 효율의 변화를 나타내며 최대 회절효율은 약 1000초에서 0.27 %를 얻을 수 있었으며 단일박막과 마찬가지로 장시간 포화상태를 유지함으로써 비교적 큰 안정성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 그림 8과 9를 비교해보면 최대회절효율은 Ag층의 역할로 단일박막보다 2배정도의 크며 반응속도 또한 빠르게 나타나는데 이러한 현상은  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  층위에 Ag층을 증착한 이중층  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)/Ag(10nm)$  박막에서 Ag층이 mirror역할에 의한 칼코게나이드 층에서 광량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

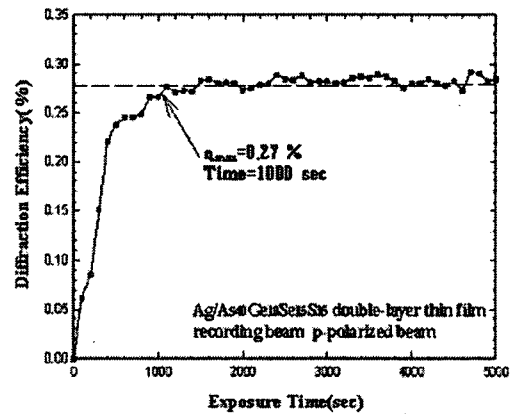


그림 10 이중층  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)/Ag(10nm)$  박막에서 (P:P) 편광상태의 기록빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 10 Diffraction grating efficiency change by (P:P) polarization state of recording beam with exposure time on  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)/Ag(10nm)$

### 3. 결 론

본 논문에서는 우수한 광유기 이방성을 보이는 칼코게나이드  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막 내에서 일어나는 특이한 광유기 현상의 근원을 이해하는 방법으로서 광 에너지인가 시 Ag 금속이온에 의한 광분해와 확산현상에 대한 동작기구를 Ag의 광 분해율을 광학밀도변화, 투과율변화, 저항의 변화에 의한 방법으로 측정하였으며 이에 따른 홀로그래픽 격자형성에 대한 특성을 분석하였다.

실험결과, 초기 Ag층의 빛의 산란효과에 의해 투과도가 낮으나 유기되는 빛의 양이 많아지면서 2중층 박막의 Ag가 유기광의 광 에너지를 흡수하여 박막 내부로 확산되고 Ag 이온과 칼코게나이드와 결합이 새로운 형태의 VAPs가 형성되어 투과도가 점점 증가되는 것을 볼 수 있었다. 또한 단일  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 광학적 에너지 갭,  $E_{gOPT}$  은 2.04

eV, Ag-doped  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막의 광학적 에너지 갭,  $E_{gOPT}$  은 1.95 eV로 약간 감소되었는데 이러한 현상은 Ag의 광분해와 광 확산현상에 의한 것으로 박막내의 구조적 변화를 유도하여 칼코게나이드 박막에서의 이방성의 근원이 되는 VAPs의 인위적 증가를 일으키게 된다고 생각된다.

또한  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}(1\mu m)/Ag(1nm)$  박막에서 최대 회절효율은 약 1000초에서 0.27 %를 얻었으며 장시간 포화상태를 유지함으로써 비교적 큰 안정성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  층위에 Ag층을 증착한 박막에서 Ag층이 mirror역할에 의한 칼코게나이드 층에서 광량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

따라서 Ag층을 이용하여  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막에서의 회절효율을 증진시키려면 입사광의 세기를 크게 하고 단파장을 가진 DPSS(532nm), Ar+(534.1nm), 또는 He-Cd(441.6nm) 등의 laser를 사용하여 광분해비의 증가를 시키므로서 Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  이중층박막에서의 홀로그래픽 기록 매질을 이용하여 광소자 제작 시 응용성이 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] V. K Tikhomirov and S. R. Elliott, "Vectorial and scalar photoinduced effects in chalcogenide glasses", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 669, pp. 198-200, 1996

[2] S. J Jang, C. H. Yeo, J. I. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, "The photoinduced anisotropy(PA) by Ag polarized-photodoping in amorphous chalcogenide thin films ", J. KIEEME, Vol. 13, No. 6, pp. 533-537, 2000

[3] H. Y. Lee, J. Y. Chun, C. H. Yeo, and H. B. Chung, "Photoinduced dichroism and its low-temperature characteristics in obliquely deposited amorphous As-Ge-Se-S thin films", J. of Vac. Sci. Tech. A. Vol. 18, pp. 485-491, 2000

[4] H. Y. Lee, M. S. Kim and H. B. Chung, "The analysis of Ag doping mechanism by photo-exposure", J. KIEEME, Vol. 8, No. 4, pp. 472-477, 1995

[5] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park and H. B. Chung, "The measurement on diffraction efficiency in polarization holography using amorphous chalcogenide thin films", J. KIEEME, Vol. 12, No. 12, pp. 1192-1197, 1999

[6] M. Yamaguchi and S. Ban, "Diffusion of Ag associated with photodoping into amorphous chalcogenides", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 47, pp. 341-354, 1982.

[7] H. Kokado, et al., "Discussion on the mechanism of photodoping", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 21, pp. 131-139, 1976.

[8] E. Inoue, et al., "Imaging in ternary chalcogenide sensors by photo and thermal doping", Photogr. Sci. Eng., Vol. 21, pp. 142-145, 1977.

[9] H. Fritzsche, "The origin of photo-induced optical anisotropies in chalcogenide glasses" J. Non-Cryst. Solids, Vol. 164-166, pp. 1169-1172, 1993

[10] M. Kastner, D. Adler, H. Fritzsche, "Valence-alternation model for localized gap states in lone-pair semiconductors", Phys. Rev. Lett, Vol. 37, pp. 1504-1296, 1976

[11] A. V. Kolobov, S. R. Elliott, "On the mechanism of photodoping in vitreous chalcogenides", Philos. Mag. B, Vol. 61, No. 5, pp. 859-865, 1990

[12] T. Yagi and S. Kurita, "Photodoping sensitivity of Ag into amorphous  $As_2S_3$  films", J. Appl. Phys., Vol. 54, pp. 647-651, 1983.

[13] K. N. Lee and H. B. Chung, "2-dimensional embossing type hologram fabrication in amorphous As-Ge-Se-S with the selective etching", Trans. KIEE, Vol. 55C, No. 7, pp. 354-358, 2006

[14] C. H. Yeo and H. B. Chung, "The formation of holographic data grating on amorphous chalcogenide Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin films with various thickness" Trans. KIEE, Vol. 55C, No. 8, pp. 387-390, 2006

저 자 소 개



정 홍 배 (鄭 鴻 倍)

1951년 1월 19일생. 1973년 연세대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 1978년~현재 광운대 전자재료공학과 교수.

Tel : 02-940-5165

Fax : 02-943-3590

E-mail : hbchung@kw.ac.kr