

## Ag/AsGeSeS 다층박막의 광유기 이방성(PA) 특성

### Characteristics of the Photoinduced Anisotropy(PA) in Ag/AsGeSeS Multilayer Thin Films

여철호, 나선웅, 신 경, 박정일, 정홍배

(Cheol-Ho Yeo, Sun-Woong Na, Kyung-Shin, Jeong-Il Park, and Hong-Bay Chung)

#### Abstract

The chalcogenide glasses of thin films have the superior property of photoinduced anisotropy(PA). In this study, we observed the linear dichroism using the irradiation with polarized He-Ne laser light in the Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> multi-layer. Multilayer structures were formed by alternating metal(Ag) and chalcogenide(As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub>) thin film. The Ag polarized photodoping result in reducing the time of saturation anisotropy and increasing the sensitivity of linearly anisotropy intensity. As the results, the Ag polarized photodoping will be have a capability of new method that suggests more improvement of photoinduced anisotropy property in the thin films of chalcogenide.

**Key Words** : Photoinduced anisotropy, Linear dichroism, Ag polarized-photodoping, Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> Multilayer(Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub>)

#### 1. 서론

최근에 칼코게나이드 유리질은 광조사에 의해 구조적, 광학적, 전기적, 화학적 유동성 재료로서 그 연구에 많은 관심이 증대되고 있다. 그 중 칼코게나이드 유리질의 광유기 이방성(photoinduced anisotropy) 현상은 광기록(optical data recording), 편광 홀로그래피(polarized holography), 자기집광(self-focusing of light beam), binary phase gratings(Damman grating) 등의 제작에 많은 관심이 집중되고 있으며 새로운 광전자 및 광통신 등의 분야에 응용되는 매우 중요한 현상으로 부각되고 있다.

현재까지는 칼코게나이드 유리질에서 구조적인

유연성(structural flexibility)과 독특한 전자배치로 인하여 여러 가지 형태의 광유기 현상(photoinduced phenomena:PA)이 나타난다고 알려져 왔다. 특히 광유기 특성은 유기광(inducing light)의 편광상태(polarization condition)와 전자전이형태에 따라 스칼라 현상과 벡터현상으로 나눌 수 있다[1]. 그 중 벡터현상은 광의 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 미시적 관점에서의 마이크로볼륨을 지칭하며 즉, IVAPs(intimate valence alternation pairs)가 광흡수를 달리함에 따라 광구조 변환이 국부적으로 발생하는 현상이다[2]. 따라서 이방성의 근원이 되는 IVAPs를 증가시킨다면 이색성의 크기를 크게 할 수 있으므로 벡터적 현상의 두드러진 증가를 기대할 수 있다. 특히 이러한 벡터현상은 편광 홀로그래피에 필수적 요소로 응용되며, 최근에는 비정질 칼코게나이드 박막에서 편광-광에 의해 나타나는 벡터적 광유기현상(vectoral photo-induced phenomena)에 대한 근원을 밝히려는 많은 노력이 이루어지고 있다[3,4].

광운대학교 전자재료공학과  
(서울시 노원구 월계동 447-1,  
Fax : 02-943-3590

Corresponding Author : sam75@explore.kw.ac.kr  
2002년 10월 21일 접수, 2002년 11월 18일 1차 심사완료,  
2003년 1월 10일 최종 심사완료

뿐만 아니라 칼코게나이드 매질에서 관찰되는 다양한 광유기 현상중 급속(Ag, Cu 등)의 광도핑 현상은 유리질의 물리적, 화학적 성질(광학상수, 에칭레이트) 등의 큰 변화를 일으키기 때문에 회절광학소자 등을 제작하는데 유용한 효과로 사용되고 있다[5].

본 연구에서는 지금까지 연구해온 칼코게나이드 박막의 Ag 이온의 광도핑 현상을 이용하여 AsGeSeS계 단일 박막과 Ag/AsGeSeS 다층박막의 광유기 이방성 현상을 고찰하고자 한다[6-10]. 특히 7층과 15층의 다층박막을 제작함으로써 이를 통하여 칼코게나이드 박막에서의 벡터 현상인 광유기 이방성 현상의 연구를 위하여 광유기 선형이색성(linear dichroism)을 시간(단시간, 장시간)에 따른 증가비를 조사하고, 또한 Ag의 구조적 배치에 따른 광유기 선형이색성 및 재방향성 현상을 통하여 Ag의 광도핑 메커니즘과 다층박막을 통한 광감도 증진에 대한 정보를 분석하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 다층 박막 제작

본 연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은  $As_{40}Ge_{10}Se_{70-x}S_x$  ( $x = 0, 25, 35$  at.%) 중 최대 가역적 광구조적변화(reversible photostructural transformation)를 갖는  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 의 박막을 선택하였다[11]. As-Ge-Se-S계 비정질 벌크는 진공 봉입하여 전기로에서 충분히 반응하도록 한 후 Water quenching 방법을 사용하여 제작하였다. 칼코게나이드 박막층과 Ag층은 corning glass 기판 위에 열진공증착기(thermal vacuum evaporator)를 이용하여 약  $2 \times 10^{-6}$  Torr의 진공도에서 a- $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막을  $1.1\mu m$ 의 두께를 갖도록 제작한 박막과 a- $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  전체 두께를  $1.1\mu m$ 으로 하고 Ag를 약  $100\text{\AA}$  두께로 증착한 2중층 박막, 그리고 a- $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  박막  $1582\text{\AA}$ 에 Ag를  $100\text{\AA}$ 으로 각각 7번과 15번 연속으로 증착한 다층 박막을 제작하였다. 특히 Ag의 두께가  $150\text{\AA}$  이하에서는 비균질의 과립형 상태를 유지하여 도핑효과에 크게 기여하므로 칼코게나이드 박막의 최적 도핑 두께인  $100\text{\AA}$ 을 유지하였다[11,12].

### 2.1 광유기 이방성 측정

Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  다층박막의 광유기 이방성과 광도핑에 의한 현상 확인을 위해 7층과 15층 박막

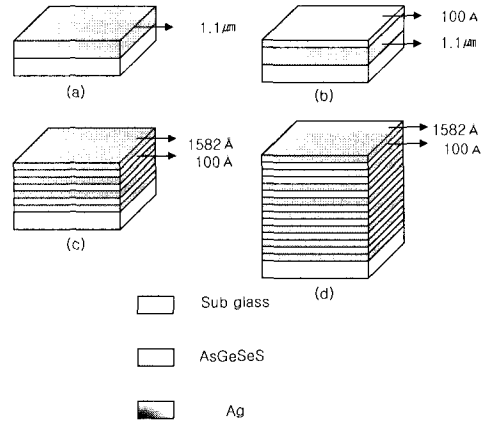


그림 1. 다층 박막 구조의 개략도.

- (a)  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  단일 박막
- (b) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  2층 박막
- (c) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  7층 박막
- (d) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  15층 박막

Fig. 1. Schematic view of multilayer sample structure.

- (a)  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ ,
- (b) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ - double layer,
- (c) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ - 7 layer,
- (d) Ag/ $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ - 15 layer

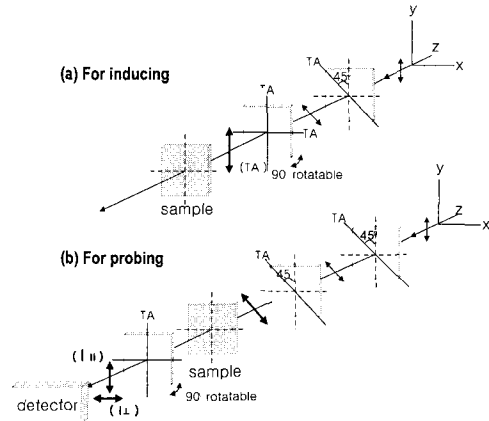


그림 2. 선형 이색성과 투과도 측정을 위한 실험 장치도.

Fig. 2. The schematic arrangement to estimate linear dichroism and transmittance intensity.

에서의 선형 이색성(linear Dichroism)과 이색성의 재방향성(reorientation of dichroism)을 측정 비교 분석하였다.

그림 2는 선형 이색성 실험의 장치도이며 유기광은 선형 편광된 He-Ne Laser( $\lambda=6328\text{\AA}$ )를 사용하였고, 샘플표면에서의 유기광의 세기는  $2.5\text{mW}/\text{cm}^2$ 이었다.

여러 샘플에서 각각의 편광 방향에 대한 투과도를 측정하여 이색성의 정도를 나타내는 파라미터 D를 구하였다[2].

$$D = 2 \frac{(I_{\parallel} - I_{\perp})}{(I_{\parallel} + I_{\perp})} \quad (1)$$

여기서,  $I_{\parallel}$  과  $I_{\perp}$  은 각각 샘플을 투과한 광이 유기광의 편광방향에 대해 수평 및 수직하게 투과된 빛의 세기를 나타낸다.

### 3. 결과 및 고찰

AsGeSeS계 칼코게나이드 박막에서의 광유기 이색성에 대한 본 연구진의 기존 연구결과를 정리하여 나타내 보면 다음 표1과 같다[7,9,11,13,14].

일반적으로  $1.1\mu\text{m}$  일정한 두께 a-As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막에 He Ne Laser( $\lambda=6328\text{\AA}$ )를 조사할 경우 최대 광유기 이색성(Dmax)은 박막의 상태에 따라 대략 10% 미만의 값을 나타내고, 그 포화값이 서서히 증가하여 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다. 그러나 Ag/As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 다층박막의 과거 구조별 결과에 따라 a-As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막에 비해

표 1. 칼코게나이드 As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막, Ag/As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 2층 박막, 7층 박막의 선형 이색성.

Table 1. The linear dichroism of As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub>, Ag/AsGeSeS double-layer and 7-layer.

	칼코게나이드 박막두께	D <sub>MAX</sub>	D <sub>SAT</sub>
a-As <sub>10</sub> Ge <sub>10</sub> Se <sub>15</sub> S <sub>35</sub>	1.1 $\mu\text{m}$	약8.7%	포화유지
Ag/As <sub>10</sub> Ge <sub>10</sub> Se <sub>15</sub> S <sub>35</sub> 2층	1.1 $\mu\text{m}$	약19.3%	급격한 감소
Ag/As <sub>10</sub> Ge <sub>10</sub> Se <sub>15</sub> S <sub>35</sub> 7층	1.1 $\mu\text{m}$	약14%	서서히 감소

최대 광유기 이색성(Dmax)이 대략 2배 이상의 결과값을 나타냈으며 시간이 지남에 따라 그 값이 감소함을 확인할 수 있었다. 이 같은 결과는 Ag가 칼코게나이드 유리질과 유기광에 의해 빠르게 반응하여 전체 박막의 광감도를 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 본 연구에서 제작한 칼코게나이드 두께 비율이 다른 Ag/As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 박막과 15층 박막을 사용하여 선형 이색성(linear dichroism) D를 측정할 결과이다. 칼코게나이드의 특이한 특성으로 편광된 유기빔을 조사하면 이들은 유기광을 흡수하고 내부적으로 편광방향에 대해 유기광의 투과를 달리하게 된다.

7층 박막의 경우 최대 포화 이색성의 값(D<sub>max</sub>)은 약 14%였으며, 15층 박막의 경우는 약 25%로 2배 정도 증가하였다. 이색성의 값은 7층의 경우 유기시간 10분에서 최대값을 보였으며, 15층 박막의 경우 16분에서 최대 이색성 값을 보였다. 두 박막에서 최대 포화 이색성을 나타내는 시간적 차이는 각 박막의 두께가 서로 달라 15층 박막의 경우 유기광의 조사에 의한 내부 반응 속도의 차이에 의해 형성되는 것으로 판단된다. 그 후 유기시간이 증가할수록 이색성의 값은 감소하는 경향을 보였다. 이는 Ag의 도핑으로 인하여 칼코게나이드 유리질의 체적의 증가와 Ag이온에 의해 형성된 새로운 VAPs(valence alternation pairs)가 편광방향에 따른 유기광의 투과도 차를 변화시킨 결과이다. 그

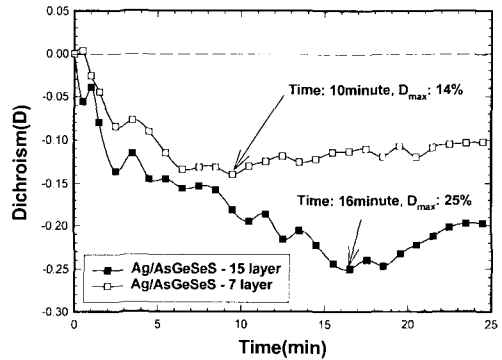


그림 3. Ag/As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 박막과(□) 15층 박막(■)의 선형 이색성(단시간 유기).

Fig. 3. The linear dichroism of Ag/AsGeSeS 7-layer(□) and 15 layer(■)(short time induced).

리나 두 경우에 일반적인 칼코게나이드 박막이나 Ag/AsGeSeS 이중층 박막의 이색성 결과와는 다른 현상을 보이고 있다. 일반적으로 유기빔의 편광 방향에 수평한 빔의 투과도를 증가시키는 방향으로 구조적인 재배열과 변화를 일으키는 것으로 알려져 있으나 이와는 반대로 본 연구에서의 결과는 음(-)의 이색성을 값을 나타내었다. 이러한 결과는 다음의 몇 가지 분석방법으로 추측해 볼 수 있다.

첫째, Ag층의 증가는 유기빔의 편광방향과 수평한 빔을 더 많이 흡수함으로써 수직인 방향의 빔의 투과를 증가시키는 것으로 볼 수 있다.

둘째, 칼코게나이드 층들 사이에 두고 Ag층을 겹층으로 쌓아놓은 형태의 박막구조를 고려해 볼 때, 유기빔이 Ag층의 계속적인 반사와 산란으로 인해 박막을 투과했을 시 위상이 변조되는 것으로 생각해 볼 수 있다. 이에 대한 분석은 아직 검증된 바는 없으나 여러 이론적 고찰[15]로 볼 때 후자에 더 큰 비중을 두고 있으며, 이와 같은 원인 규명에 여러 가지 형태의 다층박막과 다양한 분석을 통하여 계속 연구되어질 것으로 사료된다.

박막의 광감도 유지 안정성 및 이색성 감소의 경향을 알아보기 위하여 약 10시간 정도의 장시간 유기를 통해 이색성의 변화를 측정하였다. 그림 5는 장시간 유기시 이색성의 변화를 보여주고 있다. 20분내의 짧은 유기 시간동안 이색성의 최대값을 이룬 뒤 감소하는 경향을 보인 후 7층의 경우 1시간, 15층의 경우 1시간 30분후 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이는 Ag이온이 칼코게나이드 층

으로의 빠른 편광 광도핑에 의해 이색성을 나타낸 후 빔의 전파방향으로 도핑되던 Ag이온이 장시간 유기에 의해 에너지를 받아 전파방향의 수직방향, 즉 칼코게나이드 박막의 표면으로 이동하여 이색성을 감소시키는 것으로 판단된다. 장시간 유기동안에 유지되는 이색성의 값은 7층 박막에서 각각 2.6%와 15층 박막에서 3.8% 였다. 이 경우 장시간 조사된 유기광에 의하여 과잉 Ag<sup>+</sup> 이온이 칼코게나이드와 기판의 계면 착상에 의한 결과로 투과광의 산란현상을 유발하여 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 단일 박막의 이색성 보다 더 작게 나온 것으로 판단된다.

그림 5는 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 박막과 15층 박막의 선형 이색성 D의 재방향성을 측정한 결과이다. 이색성의 재방향성은 칼코게나이드에서 백터 현상을 규명하는 현상으로 각각의 유기광을 수평과 수직 편광으로 유기 하였을 때 이들의 이색성의 크기는 변하지 않고 그 방향성을 변화하는 특성이며, 그림에서 볼 수 있듯이 이색성은 초기에

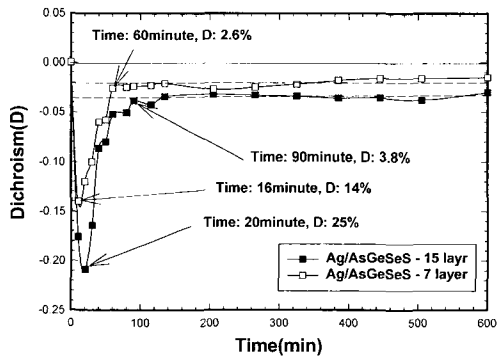
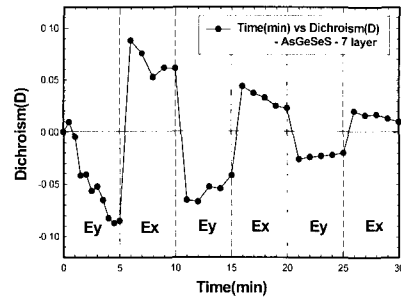
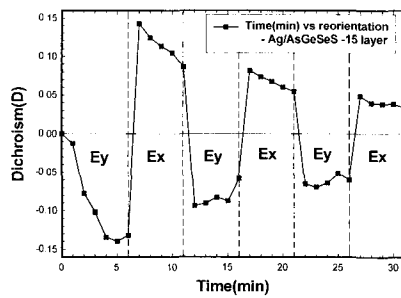


그림 4. Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 박막과(□) 15층 박막(■)의 선형 이색성(장시간 유기).  
Fig. 4. The linear dichroism of Ag/AsGeSeS 7-layer(□) and 15-layer(■)(long time induced).



(a)



(b)

그림 5. Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 박막(a)과 15층 박막(b)의 선형 이색성의 재방향성.  
Fig. 5. Reorientation of linear dichroism. Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7-layer(a) and 15 layer (b).

빠르게 생성되어 증가하며, 세방향성 특성을 나타낸다. 그러나 유기광의 편광방향을 변화할수록 그 크기는 감소함을 알 수 있다. 이것은 초기 Ag의 편광-광도핑의 영향으로 유기광이 증가함에 따라 도핑된 박막내부의 Ag이온이 유기된 편광빔에 따라 쉽게 방향성 변화를 시도하지만, 장시간 유기이색성 감소 현상에서 보았던 것처럼 계속적인 과잉 Ag도핑에 의한 편광방향의 변화는 이색성의 감소를 일으킨다. 이러한 모든 특성은 이전의 광도핑 현상과는 다른 것으로 판단되며, 칼코게나이드 박막 내에서 Ag 도핑 메커니즘 해석에 중요한 현상으로 사료된다

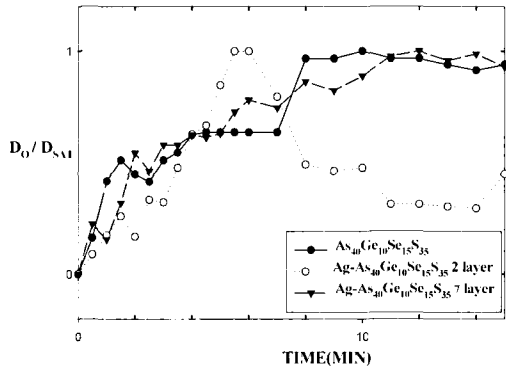


그림 6. 박막별 선형 이색성의 시간별 증가비 (D<sub>0</sub>/D<sub>SAT</sub>).

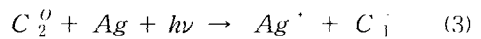
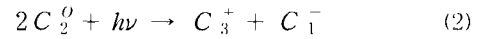
Fig. 6. The linear dichroism by D<sub>0</sub>/D<sub>SAT</sub>.

그림 6은 각각의 박막별 시간(15분)에 따른 선형 이색성의 포화비율을 측정된 결과이다. 이는 단일 박막과 7층 박막의 경우는 시간에 따른 포화이색성의 증가 비율이 거의 일치하고 오차 범위가 초기 유기 시간 2분을 제외한 포화유지 시간까지 ±10% 미만 값을 보였으며, 그 값이 일정시간 유지됨을 알 수 있었다. 반면 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 2층 구조는 앞서 두 박막에 비해 포화값이 약 6분내로 빠르게 도달하지만 이 값이 유지되지 않고 다른 두 박막과 비교할 때 서서히 감소되는 결과를 확인할 수 있었다. 또한 2층 박막과 7층 박막의 포화비율의 변화는 두 박막의 구조상 안정성의 차이에서 비롯되는 것으로 사료된다. 특히 7층 박막의 구조는 Ag를 샌드위치 형태의 구조로 형성하여 내부 반사도를 높여 초기 유기광의 공진 현상을 유도 하였으며, 또한 각각 박막의 이색성 포화시간을 비교하면 단일 박막의 경우 약 11분에 포화현상을

보이는 반면, 2층 박막의 경우 보다 빠른 6분에 이색성의 최대값을 보이나 그 값이 점차 감소하였으며, 7층 박막의 경우는 약 9분에 포화현상을 나타내었다. 이 같은 결과에서 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 7층 구조와 같은 다층구조에서 Ag이온과 칼코게나이드의 도핑현상에 의해 보다 안정된 VAPs를 형성하는 것으로 판단된다.

이상의 결과에 의해 IVAPs(intimate valence alternation pairs)를 갖는 칼코게나이드 박막에 광조사에 의한 포논(phonon)과 전자의 상호 작용을 고려한 광도핑 현상을 설명하면 다음과 같다.

일반적인 칼코게나이드는 편광광의 유기에 의해 IVAPs가 광흡수를 달리함에 따라 광구조 변환이 국부적으로 발생하게 된다.



일반적인 칼코게나이드 정상 원자 결합 C<sub>2</sub><sup>0</sup>는 유기광의 흡수에 의해 보다 안정한 형태의 결합 상태인 C<sub>3</sub><sup>+</sup>와 C<sub>1</sub><sup>-</sup>로 배치되어 광유기 VAPs를 형성하게 된다.[1-4] 또한 (3)식에서와 같이 광흡수에 새로운 Ag<sup>+</sup>와 C<sub>1</sub><sup>-</sup>형태의 광유기 VAPs 모델이 제시될 수 있다. 이 경우 유기광의 조사에 의해 칼코게나이드 박막 표면에 있던 Ag가 Ag<sup>+</sup>이온으로 칼코겐 내부로 도핑되고 또한 내부의 칼코게나이드 정상 원자 결합 C<sub>2</sub><sup>0</sup>가 광흡수에 의해 결합 상태인 C<sub>1</sub><sup>-</sup>로 변하게 되며 이들은 보다 안정한 상태 구축을 위해 서로 결합 배치되어 새로운 VAPs[11]를 형성하여 광유기 이색성(D)을 더욱 증가시키는 것으로 사료된다.

그러나 Ag/As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 다층박막의 경우 장시간 유기에 의해 광유기 이색성(D)의 값이 감소하는 것은 과도한 유기광의 유입에 의한 Ag<sup>+</sup>이온의 칼코게나이드와 기판의 계면 착상에 의한 결과로 투과광의 산란현상을 유발하는데 큰 비중을 두고 있으며,[11] 칼코게나이드 박막에서 Ag 광도핑 메커니즘 해석에 귀중한 자료로 활용될 전망이다.

#### 4. 결론

이상의 결과에서 칼코게나이드와 Ag의 단일 및

Ag/As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>15</sub> 다중층 박막에서 Ag이온의 광도핑을 이용하여 이들의 광감도와 이방성 현상을 증진시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 선형 이색성의 경우는 Ag의 박막구조 및 도핑 분포에 따라 Ag/AsGeSeS 2층 박막의 경우 19.3%의 최대 이색성(D<sub>MAX</sub>) 값을 나타내었으나 그 광유기 이방성 특성이 매우 불안정한 특성을 보였다. 반면 7층 박막과 15층 박막은 각각 최대 이색성(D<sub>MAX</sub>)이 14%와 25%를 갖는 특성을 보였고 이들은 박막 내에서 광유기 이방성 특성의 안정성을 확인하기 위하여 시간에 따른 측정 및 재방향성 결과에서 Ag의 도핑으로 인하여 칼코게나이드 유리질의 체적의 증가와 Ag이온에 의해 형성된 새로운 VAPs에 의해 기존 Ag/AsGeSeS 2층 박막보다 우수한 광유기 이방성과 안정성을 나타내었다. 따라서 Ag의 도핑으로 인하여 칼코게나이드 유리질의 체적의 증가와 Ag이온에 의해 형성된 새로운 VAPs가 편광방향에 따른 유기광의 투과도 차를 변화시킨 결과를 볼 때 Ag 층의 구조에 따라 광에 대하여 칼코게나이드 박막내 구조적인 변화를 일으키는데 큰 역할을 하며, 본 연구에서의 새로운 결과는 이전의 광도핑 메커니즘 해석에 대해 다양한 연구 방향을 제시할 것이라 생각한다.

### 감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2000 041-E00162)

### 참고 문헌

[1] H. Fritzsche, "The origin of photo-induced optical anisotropies in chalcogenide glasses", *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 164-166, p. 1169, 1993.  
 [2] M. Kastner, D. Adler and H. Fritzsche, "Valence alternation model for localized gap states in lone-pair semiconductors", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 37, p. 1504, 1976.  
 [3] V. Lyubin and M. Klebanov, "Photoinduced generation and reorientation of linear dichroism in AsSe glassy films", *Physical Review B*, Vol. 53, No. 18, p. 11924, 1996.  
 [4] V. K. Tikhomirov and S. R. Elliott, "Vectorial and scalar photoinduced effects in

chalcogenide glasses", *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 198-200, p. 669, 1996.  
 [5] T. Wagner, E. Marquez, J. Fernandez, and J. M. Gonzalez-Leal, *Philos. Mag. B*, 79, p. 223, 1999.  
 [6] H. Fritzsche, "Optical anisotropies in chalcogenide glasses induced by band gap light", *Physical Review B*, Vol. 52, No. 22, p. 15854, 1995.  
 [7] H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun, and H. B. Chung, "A study on the photoinduced dichroism in amorphous chalcogenides as the function of deposition angle and annealing conditions", *Proc. 1997 Autumn Conf. KIEEME*, p. 34, 1997.  
 [8] A. V. Kolobov, V. Lyubin, and V. K. Tikhomirov, "Polarized photodoping of As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> films by silver", *Philosophical Magazine Letters*, Vol. 65, No. 1, p. 67, 1992.  
 [9] H. Y. Lee, J. Y. Chun, and H. B. Chung, "Low temperature characteristics of linear dichroism in columnar structural a-As<sub>10</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>15</sub> thin film", *Proc. 1998 Summer Conf. KIEEME*, p. 1252, 1998.  
 [10] A. V. Kolobov and S. R. Elliott, "On the mechanism of photodoping in vitreous chalcogenides", *Philos. Mag. B*, Vol. 61, No. 5, p. 859, 1990.  
 [11] 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. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 13, No. 6, p. 533, 2000.  
 [12] G. Leftheriotis, P. Yianoulis, and D. Patrikios, "Deposition and optical properties of optimised ZnS/Ag/ZnS thin films for energy saving applications", *Thin Solid Films*, Vol. 306, p. 92, 1997.  
 [13] J. H. Park, S. W. Na, C. H. Yeo, J. I. Park, Y. J. Lee, and H. B. Chung, "Measurement of the photoinduced Dichroism in Ag/AsGeSeS multilayer thin films", *Proc. 2001 Autumn Conf. KIEEME*, p. 362, 2001.  
 [14] C. H. Yeo, S. W. Na, J. T. Lee, K. Shin, Y.

J. of KIEEME(in Korean), Vol. 16, No. 2, February 2003.

J. Lee, and H. B. Chung, "Effects of Ag-photodoping and photoinduced anisotropy in chalcogenide thin film", ICEE'2002, p. 1276, 2002.

[15] F. L. Pedrotti and L. S. Pedrotti, "Introduction to Optics", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, second edition, p. 414.