

Ag 편광-광도핑에 의한 칼코게나이드 박막의 광유기 복굴절

장선주, 박종화, 여철호, 이영종*, 정홍배
 광운대학교 공과대학 전자재료공학과, 여주대학 전자과*

**The photoinduced birefringence of chalcogenide thin film
 by the Ag polarized-photodoping**

Sun-Joo Jang, Hwa-Jong Park, Cheol-Ho Yeo, Young-Jong Lee*, Hong-Bay Chung
 Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon University, Dept. of Electronic. Yeojoo college*

Abstract - In this study, we observed the photoinduced birefringence of Ag polarized-photodoping in chalcogenide thin film and the double-layer of Ag doped chalcogenide thin film using the irradiation with the polarized He-Ne laser light. The photoinduced birefringence of Ag polarized-photodoping results in increasing the sensitivity of linearly anisotropy intensity and birefringence(Δn). The Ag polarized-photodoping shows improvement of the photoinduced anisotropy property, in polarized photodoping of the chalcogenide thin film. It will offer lots of information for the photodoping mechanism and analysis of chalcogenide thin film.

비결정성 As-Ge-Se-S은 본 연구에서의 광유기 이방성(PA) 측정을 위해 유용한 좋은 광굴절물 효과를 나타낸다. 순도 5N의 As, Ge, Se, S를 원자량 비 40 : 10 : 15 : 35를 갖도록 평판, 직경 10mm의 석영판에 약 2×10^{-5} Torr로 진공 봉입, 전기로에서 220, 600, 870°C로 순차적으로 가열하여 벌크 시료를 제작하였다. 박막은 corning glass(#2948)와 Si 기판 위에 열진공증착방법을 사용하여 1.1 μ m의 두께를 갖도록 제작한 박막과 이를 박막 위에 Ag를 같은 방법으로 약 100Å 두께로 증착한 2중층 박막을 제작하였다. 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 각각 2Å/s와 1Å/s로 유지하였고 두께 및 광학상수는 N&K Analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다.

1. 서 론

본래 광학적 등방성의 형태인 칼코게나이드 유리질에서의 광유기 이방성(photoinduced anisotropy : PA)이 보고된 이후, 많은 연구원들의 관심의 대상이 되어왔다.^{1,2)} 특히 칼코게나이드 유리질에 광에너지값 이상 ($h\nu > E_{op}$) 또는 이하 ($h\nu < E_{op}$)의 편광 광과 심지어 비편광 광을 노출 시에도 복굴절(birefringence) 및 이색성(dichroism)과 같은 광유기 이방성(PA)의 특성이 보고되었다.^{3,4)}

비록 칼코게나이드 유리질에서의 광유기 이방성(PA)의 메커니즘은 많은 연구원들에 의해 연구되었으나, 현재까지 명확한 메커니즘은 밝혀지지 않았다. 현재까지 광유기 이방성(PA)의 현상들은 내부 원자적인 결합 시스템의 형태적인 결합인 VAPs⁵⁾(valence alternation pairs : $C_3^+ - C_1^-$)의 광-구조 변환의 형태로 접근하여 해석되고 있다. 이러한 광유기 이방성(PA)현상에 의해 일어나는 광유기 복굴절(photoinduced birefringence : PB)은 백터적인 현상으로 광의 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 미시적 관점에서의 마이크로볼륨 즉, IVAPs(intimate valance alternation pairs)가 광흡수를 달리함에 따라 광구조 변환이 국부적으로 발생하는 현상이다. 이러한 광유기 복굴절(PB)은 이방성의 근원이 되는 IVAPs를 증가시킨다. 먼 크기의 두드러진 증가를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 광유기 이방성(PA) 현상의 근원을 이해하는 방법으로서, 칼코젠 화합물 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅(광학 에너지 갭: $E_{op} \sim 2.04\text{eV}$) 박막들에 광유기 복굴절(PB)과 더불어 광유기 이색성(photoinduced dichroism: PD)의 재방향성에 대해서 조사하였다. 이를 통해 칼코게나이드 유리질 박막에서의 광유기 이방성(PA)의 메커니즘과 해석에 보다 구체적인 정보를 제공하고자 한다.

2. 실험방법

Ag 편광-광 도핑 현상 확인은 Si 기판에 제작된 2중층 박막과 AES 측정을 통해서 확인하였고, 선형 이색성 및 광유기 복굴절 실험은 corning glass 기판에 제작된 단층(a-As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅)과 2중층(a-As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅-Ag)을 사용하여 확인하였다.

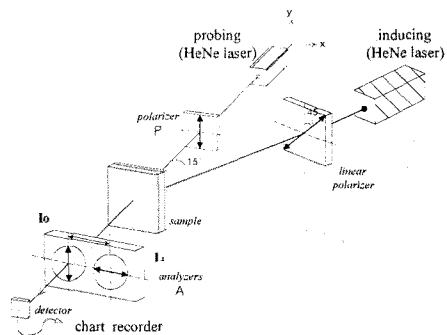


그림 1. 광유기 복굴절 측정을 위한 실험장치도.

그림 1은 광유기 복굴절 측정을 위한 실험 장치도이며 박막내부의 구조적 변화를 유도하기 위해 사용된 유기광은 편광되지 않은 He-Ne 레이저($\lambda=633\text{nm}; 23.2\text{mW}/\text{cm}^2$)를 사용하였으며, 선형 편광-광은 선형 편광기를 이용하여 만들었다. 샘플 표면에서의 유기광의 세기는 $7.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 였으며, 유기광과 측정광의 편광각도는 $\pm 45^\circ$ 를 유지하였다. 또한, 박막의 복굴절변화 측정은 선형 편광된 He-Ne 레이저($\lambda=633\text{nm}; 13.0\text{mW}/\text{cm}^2$)를 이용하여 검광자(analyzer)를 지나는 투과도 세기를 측정하였다. 측정광은 박막에 영향을 주지 않는 범위 내에서 $0.1\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 고정하였다. 먼저 광유기 이색성의 측정은 각각의 샘플에서 각 편광 방향에 대한 투과도를 측정하여 이색성의 정도를 나타내는 파라미터 $D[D=2(I_{11}-I_{22})/(I_{11}+I_{22})]$ 를 사용하여 구하였다. 여기서, I_1 과 I_2 는 각각 샘플을 투과한 광이 유기광의 편광방향에 대해 수평 및 수직하게 투과된 빛의 세기를 나타낸다. I_0 과 I_1 에 상응하는 수평과

수직 성분의 측정광인 흡수 계수, α_{\parallel} 과 α_{\perp} 은 방정식 $T_{\parallel, \perp} \approx \exp(-\alpha_{\parallel, \perp} d)$ 으로부터 얻을 수 있다. 여기서 d는 샘플의 두께이다. 따라서, 이색성 D는 흡수계수의 이방성을 다음과 같이 $D=(\alpha_{\perp}-\alpha_{\parallel})=\Delta\alpha d$ 를 사용하여 표현될 수 있다.⁶⁾

또한, 광유기 복굴절(Δn)은 상변환(phase difference) 식인 $\Delta\varphi=2\pi\Delta n d/\lambda$ 의 관계식으로부터 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, 식(1)로부터 유도된 식(2)에 의해 구했다.⁷⁾

$$I_{\perp} = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi\Delta n d}{\lambda}\right) \quad (1)$$

$$\Delta n = \frac{\lambda}{\pi d} \times \arcsin\sqrt{\frac{I_{\perp}}{I_0}} \quad (2)$$

여기서, I_0 과 I_{\perp} 은 각각 샘플과 검광자(analyzer)를 투과한 광이 측정광의 선평 편광 방향에 대해 수평 및 수직하게 투과된 빛의 세기이며, d는 박막의 두께, λ 는 측정광의 파장이다.

3. 결과 및 고찰

Ag와 비정질 칼코게나이드 박막 2중층에서 일반적으로 편광-광도핑 현상은 편광된 유기광을 조사함으로써 Ag이온 또는 중성원자가 칼코게나이드 박막 내부의 도핑 영역과 도핑 되지 않은 영역의 경계면에서 확산에 의한 유입으로 설명하고 있다.⁸⁾

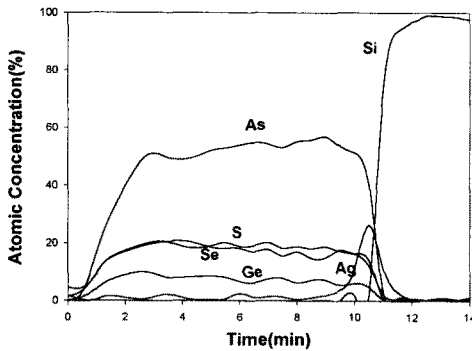


그림 2. He-Ne 레이저를 5분 조사후에 Ag 편광-광도핑된 박막의 AES 분석결과

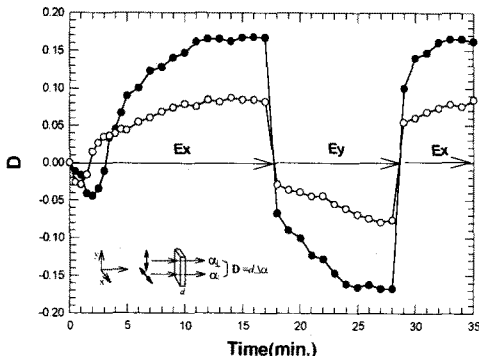


그림 3. 칼코게나이드 단일박막(○)과 Ag 편광-광도핑된 박막의(●) 광유기 이색성(PD)

그림 2는 편광된 He-Ne 레이저로 5분간 조사후의 2중층 박막의 AES 분석 결과를 나타내고 있다. AES 분석 결과, 조사전 박막내부에서 Ag피크가 관찰되는데 이는 진공열증착시 발생된 빛에 의한 결과로 농도값에 비해 매우 작은 값을 나타내었다. 유기광에 의해 칼코게나이드와 Si의 경계면에서 다량의 Ag가 확인되고 있다. 이러한 현상은 칼코게나이드 박막과 Ag사이의 도핑영역이 편광된 유기광에 의해 Ag원자나 이온이 Si기판 경계까지 빠르게 확산되고 이때, Ag가 칼코게나이드와 Si의 경계면에서 다량 유입되고 있음을 확인 할 수 있다. 이와 같은 편광된 He-Ne 레이저 조사에 의한 Ag의 편광-광도핑으로 인하여 비정질 박막의 구조적 변화를 유발하여, 칼코게나이드 박막에서의 이방성의 근원이 되는 VAPs의 인위적 증가를 일으킨다.⁹⁾

그림 3은 칼코게나이드 단일박막과 Ag와 칼코게나이드의 2중층 박막을 사용하여 선형 이색성(linearly dichroism) D의 재방향을 측정 한 결과이다. 재방향성은 칼코게나이드에서 벡터 현상을 규명하는 현상으로 각각의 유기광을 수평과 수직 편광으로 유기 하였을 때 이들의 이색성의 크기는 변하지 않고 그 방향성을 변화하는 특성이다. Ag와 칼코게나이드 2중층인 박막에서는 시간이 경과함에 따라서 그 크기도 증가함을 알 수 있다. 단일박막의 이색성 최대값은 $D=8.7\%$ 이나, Ag 편광-광도핑된 박막에서는 이색성 최대값은 $D=16\%$ 로 증가하였다. 이것은 Ag의 편광-광도핑으로 인하여 유기광이 증가함에 따라서 도핑된 박막내부의 Ag이온에 의해서 Ag이온이 유기된 편광빔에 따라 쉽게 방향성 변화를 시도되며 재방향성 특성이 더욱 빠르게 향상됨을 보인다.¹⁰⁾

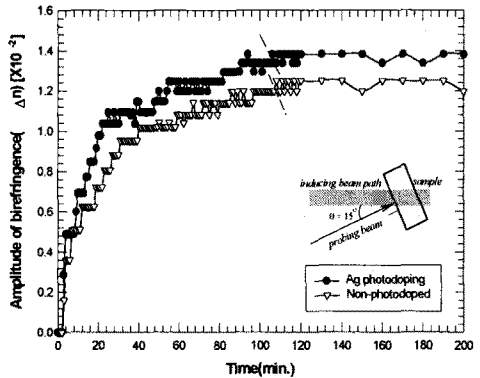


그림 4. 칼코게나이드 단일박막(▽)과 Ag 편광-광도핑된 박막(●)에서의 광유기 복굴절(Δn)

그림 4는 칼코게나이드 단일박막과 Ag 편광-광도핑된 박막에서의 광유기 복굴절을 나타낸다. 광유기 복굴절은 측정된 투과도 비를 식(2)에 의해 얻었다. 단일박막의 광유기 복굴절의 최대값은 약 $\Delta n=1.2 \times 10^{-2}$ 을 나타내었고, Ag의 편광-광도핑에 의한 광유기 복굴절의 최대값은 약 $\Delta n=1.4 \times 10^{-2}$ 을 나타내었다. 역시 Ag의 편광-광도핑으로 인하여 광유기 복굴절에서도 유기광이 증가함에 따라서 도핑된 박막내부의 Ag이온에 의해, 투과도의 편광방향에 따른 박막내에서 흡수도 차를 증가시킨 결과이다.

Ag를 포함한 2중층 박막이 재방향성과 복굴절의 증가 특성을 갖는 것으로 볼 때 Ag 편광-광도핑 현상이 이전의 광도핑 현상과는 다른 것으로 Ag가 유기광의 편광빔에 의존하여 도핑되며, 이것은 Ag도핑 메커니즘 해석에 중요한 현상으로 여겨진다. 이와 같은 편광된 He-Ne 레이저 조사에 의한 Ag의 편광-광도핑으로 인하여 비정질 박막의 구조적 변화를 유발하여, 칼코게나이드 박막에서의 이방성의 근원이 되는 VAPs의 인위적

증가를 일으키는 것으로 사료된다.¹¹⁾

3. 결 론

본 연구에서는 우수한 광유기 이방성을 보이는 비정질 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 Ag 편광-광도평에 의한 광유기 복굴절(PB)과 광유기 이색성(PD)을 조사하였다. 광유기 복굴절(PB)의 측정과 유기는 He-Ne 레이저(633nm)를 사용하였다.¹²⁾ 단일박막에서의 복굴절과 Ag 편광-광도평에 의한 복굴절을 비교하였으며, Ag 편광-광도평에 의한 약 16%의 복굴절 증가를 확인 할 수 있었다. 또한, Ag 편광-광도평에 의한 광유기 이색성의 증가도 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 칼코게나이드 박막에 편광된 빔을 조사하고 Ag 편광-광도평 방법을 시도하여 현재까지 연구되어온 단일박막에 대한 백터현상과 비교분석을 함으로서, 이들의 광도평 메커니즘과 칼코게나이드 박막의 해석에 대한 많은 정보를 제공하고자 한다. 또한, 이러한 광유기 복굴절 Δn 의 변수는 최근 광전자분야와 광통신 분야, 3D 영상 디스플레이 및 광메모리와 광스위치 분야에 응용이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 선도연구자 지원사업 연구비(과제번호 : 8001-117)에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. G. Zhdanov, B. T. Lolomiets, V. M. Lyubin, V. K. Malinovsky, Phys. Stat. A52 621(1979)
- [2] V. Lyubin and M. Klebanov, Phys. Rev. B 53 (18), pp.11924-11926 (1996)
- [3] V. K. Tikhomirov and S. R. Elliott, J. Non-Cryst. Solids, 669, pp.198-200 (1996)
- [4] H. Fritzsche, J. Non-Cryst. Solid, 1169, 164-166 (1993)
- [5] M. Kastner, D. Adler & H. Fritzsche, Phys. Rev. Lett., Vol. 37, pp.1504-1296, 1976
- [6] V.K. Tikhomirov, and S.R. Elliott, Phys. Rev. B, 49, 17476-17479, (1994)
- [7] C. Whang, H. Fei, Y. Yang, Z. Wei, Y. Qiu, Y. Chen, Optics Comm. 159, 58-62, 1999
- [8] A. V. Kolobov, S. R. Elliott, Philos. Mag. B, Vol. 61, No. 5, 859-865, 1990
- [9] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park et al, J. Korean Institute of Electrical & Material Eng, Vol. 12, No. 12, pp.1192-1197, (1999)
- [10] S. J. Jang, C. H. Yeo, J. I. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, J. of Korean Institute of Electrical & Material Eng, Vol. 13, No. 6, pp.533-537 (2000)
- [11] H. Y. Lee, M. S. Kim, and H. B. Chung, J. of Korean Institute of Electrical & Material Eng, Vol. 8, No. 4, pp.472-477, 1995
- [12] H. Y. Lee, J. Y. Chun, C. H. Yeo, H. B. Chung, J. of Vac. Sci. Tech. A, 18, pp.485-491, 2000