

두께에 따른 비정질 칼코게나이드 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막의 홀로그래피 데이터 격자형성

論 文
55C-8-2

The Formation of Holographic Data Grating on Amorphous Chalcogenide Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ Thin Films with Various Thickness

余 哲 浩* · 鄭 鴻 倍†
(Chul-Ho Yeo · Hong-Bay Chung)

Abstract - The Ag photodoping effect in amorphous As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ chalcogenide thin films for holographic recording has been investigated using a He-Ne laser ($\lambda=632.8$ nm). The chalcogenide films thickness prepared in the present work were thinner in comparison with the penetration depth of recording light ($d_p=1.66$ μm). It exhibits a tendency of the variation of the diffraction efficiency (η) in amorphous chalcogenide films, independently of the Ag photodoping. That is, η increases rapidly at the beginning of the recording process and reaches the maximum (η_{max}) and slowly decreases slowly with the exposed time. In addition, the value of η_{max} depends strongly on chalcogenide film thickness(d) and its maximum peak among the films with $d = 40, 80, 150, 300,$ and 633 nm is observed 0.083% at $d = 150$ nm (approximately $1/2 \Delta n$), where Δn is the refractive index of chalcogenide thin film ($\Delta n=2.0$). The η is largely enhanced by Ag photodoping into the chalcogenides. In particular, the value of η_{max} in a bilayer of 10-nm-thick Ag/150-nm-thick As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ film is about 1.6%, which corresponds to ~ 20 times larger than that of the single-layer As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ thin film (without Ag). And we obtained the diffraction pattern according to the formation of (P:P) polarization holographic grating using Mask pattern and SLM.

Key Words : Chalcogenide Thin Film, Polarization Holographic Data Grating, Diffraction Efficiency, Q Factor

1. 서 론

광통신을 비롯한 통신의 발달로 현재의 산업사회가 고도의 정보화 산업사회로 발전함으로써 인터넷 수요의 폭발적 증가, 입체감과 현실감이 느껴지는 3차원 TV 등 정보 이용자의 양질의 정보 요구에 따라 다양한 욕구를 충족시키기 위한 정보저장기술, 고밀도의 정보저장재료 등의 새로운 개발이 필요하게 되었다. 이러한 대용량의 정보를 저장하고 데이터를 처리하는 속도에 있어서 기존의 방법으로는 한계가 있어 holographic storage라는 새로운 개념의 광 기록 방식을 도입하게 되었다[1-4]. 이러한 기록방법은 이론적으로 1Tbit 이상의 기록이 가능할 것으로 예측되고 있다. 이러한 기록 방법은 새로운 광기록 매질인 광굴절 재료의 개발을 요구하게 되었으며, 현재 결정계인 리튬니오베이트와 광폴리머의 개발로 많은 진전을 보았다. 그러나 결정계의 경우 광품질은 뛰어나나 광감도가 떨어지는 단점이 있으며, 광폴리머의 경우는 체적 변화에 따른 광품질의 저하가 문제점으로 지적되어 이들의 한계점 개선을 위한 연구가 진행되고 있다. 따라서 이러한 단점의 개선 및 새로운 재료의 개발이 시급한 과제라고 할 수 있다 [5]. 비정질 As-Ge-Se-S 계 박막

은 매질이 빛에 노출될 경우 굴절률이 달라지는 광굴절 효과와 광원의 편광 방향에 따라 우수한 광학적 이방성 특성을 나타내는 물질로 보고된 후 [6-8], 홀로그래피 매질로서 가능성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으며, 광감도가 우수하고, 박막화, 저장정보의 소거특성, 제작의 용이성 및 안정성이 우수하여 차세대 광기록 매질로 크게 기대되고 있다. 또한 As-Ge-Se-S 박막 위에 Ag, Cu, In 등의 금속막을 형성시킨 후 광을 조사시키면 금속 원자 또는 이온이 박막 내로 도핑, 확산되어 구조적, 광학적, 전기적 특성 변화와 이에 상응하는 물리적 화학적 변화를 일으키고 광기록 저장능력을 향상시킨다. 일반적으로 홀로그래피 회절격자는 홀로그램 두께에 따라 박막형(thin phase diffraction)과 체적형(thick phase diffraction)으로 구분된다. 체적형 홀로그램의 경우는 높은 저장 밀도를 갖고 있으나 홀로그램의 중첩에 의한 노이즈문제가 발생하여 데이터의 완벽한 저장이 어려운 문제점을 수반하게 된다.

본 논문에서는 홀로그래피 데이터 기록 매질로서 연구가 진행되고 있는 칼코게나이드 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막[9-10]에 박막형 회절격자를 형성하기 위하여 기록빔파장이 박막내의 침투깊이보다 얇은 칼코게나이드 박막을 기록빔의 파장의 $d=\lambda, \lambda/2, \lambda/4, \lambda/8$ 및 $\lambda/16$ 의 두께로 제작하여 박막형 홀로그램에서의 홀로그래피 격자 형성의 유무를 확인하고 또한 Ag(10nm)층을 가진 이중층 박막을 제작하여, 홀로그래피 격자 효율을 관찰하고 칼코게나이드 박막의 두께와 간섭무늬 비인 Q 팩터(Q factor)[11]에 의해 다양한 형태의 홀로그램에서의 특성을 분석하고자 한다. 또한 마스크와 SLM

† 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

* 正會員 : 光云大 工大 電子材料工學科 時間講師
接受日字 : 2006年 5月 22日
最終完了 : 2006年 7月 19日

을 사용하여 Ag/AsGeSeS 박막에 데이터 이미지를 기록하여 홀로그래픽 기록 매질 및 광소자 제작의 응용성을 찾고자 한다.

2. 실험

본 연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 $As_{40}Ge_{10}Se_{50-x}S_x$ ($x = 0, 25, 35$ at.%) 중 최대 가역적광구조적변화를 갖는 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 의 박막을 선택하였다 [10]. As-Ge-Se-S계 비정질 벌크는 진공 봉입하여 전기로에서 충분히 반응하도록 한 후 Water quenching 방법을 사용하여 제작하였다 [11]. 칼코게나이드 박막층과 Ag층은 corning glass 위에 열진공증착기를 이용하여 약 2×10^{-6} torr의 진공도에서 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막과 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$ (10nm) 이중층 박막을 제작하였다. 이때 기록광원으로 He-Ne 레이저 (633 nm, $E_{opt} \sim 1.94$ eV) 를 이용하였으며 기록빔의 칼코게나이드 박막의 침투깊이가 $d_p = 1.66 \mu m$ 이므로, 본 실험에서는 침투깊이보다 얇은 칼코게나이드 박막을 기록빔의 파장의 $d = \lambda, \lambda/2, \lambda/4, \lambda/8$ 및 $\lambda/16$ 의 두께로 제작하기 위하여, 입사빔의 침투깊이 ($d_p = 1.66 \mu m$)를 고려하여 각각 $d = 40, 80, 150, 300,$ and 633 nm 과 Ag 층을 10nm의 두께로 박막을 제작하였다. 박막의 두께는 수정 발전 실시간 박막 두께 측정기로 확인하였다.

홀로그래픽 격자 형성은 단색 광원의 간섭에 의한 간섭 무늬를 기록 매질에 기록하므로써 격자를 형성하는 방법이다. 그림 1은 홀로그래픽 격자 형성을 위한 장치도를 나타내고 있다. 격자 형성은 He-Ne Laser($\lambda=632.8nm$)를 사용하였다. 빔은 선형 편광 Beamsplitter(BS)를 지나 두 개의 기록빔으로 나누어지고, mirror로부터 반사된 후 홀로그래픽

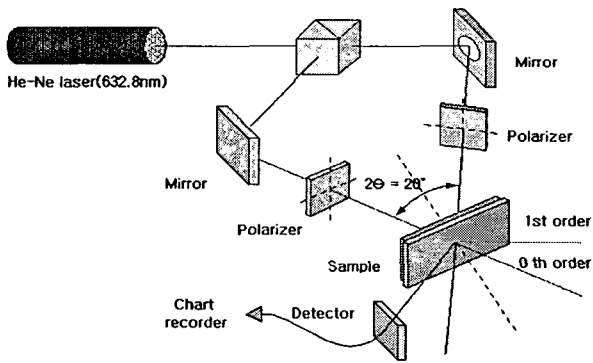


그림 1. 편광홀로그래픽 격자 형성을 위한 장치도
Fig 1. Schematic diagram of polarization holography setup

격자 형성을 위하여 샘플에서 간섭된다. (P:P) 편광상태로 격자를 형성하기 위해 두 개의 polarizer를 사용하였다. 격자 형성에 의하여 발생하는 회절빔의 세기는 광 검출기를 이용하여 실시간으로 측정, 기록하였다. 회절 빔의 세기는 +1st의 회절빔 세기를 측정하였다. 두 기록빔이 샘플에 입사시 이루는 각은 $2\theta = 20^\circ$ 를 유지하게 하였으며, 비정질 박막에 형성되는 격자 주기는 식 (1)에 의하여 얻을 수 있었다.

$$\Lambda \approx \lambda / 2 \sin(\theta) \tag{1}$$

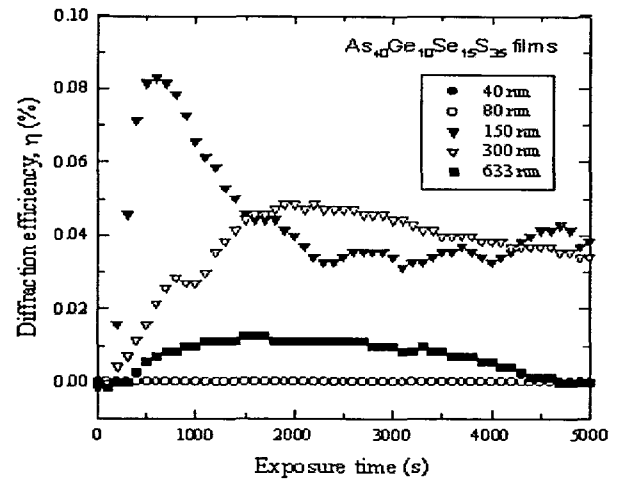
회절효율은 이와 같은 격자간격으로 형성된 격자에 의해 초기 입사빔 (I_{input}) 이 회절 되어 나타나게 된다. 이중 첫 번째 회절 되어 나타난 빔의 세기 ($I_{1st-order}$) 를 측정하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 편광 홀로그래픽에서의 격자 형성에 의한 회절효율 (diffraction efficiency: η) 을 나타낸다.

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

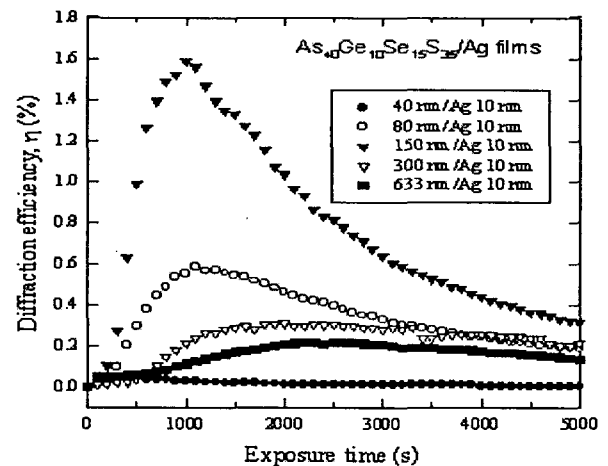
이때 기록 빔의 세기는 2.5 mW/cm^2 였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 두께별



(a) Chalcogenide $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ single-layer thin film



(b) Chalcogenide $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$ (10nm)double-layer thin film

그림 2. 홀로그래픽 격자 형성에 따른 회절효율
Fig. 2. Diffraction efficiency with the formation of holographic grating

회절효율의 특성을 나타내고 있다. 그림 2(a)는 단일 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 두 기록빔이 (P:P) 편광 상태일 때 시간에 따른 회절 효율은 두께에 따라 다양한 형태로 나타나고 있다. 단일 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 경우 두께가 150 nm일 때 최대 회절효율 0.083 %로 나타났으며 다른 박막 두께에서도 격자형성이 용이하게 형성 되었다. 이때 최대 회절효율까지 도달한 광반응 시간은 약 500초였으며, 실제 눈으로 확인 시 30초 이내에 격자가 확연히 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 박막의 두께가 300 nm와 633 nm의 경우 150 nm의 박막보다는 비교적 낮은 회절효율 값인 0.1~0.5 %를 보였으나 비교적 안정된 포화현상을 나타내었고, 두께가 극히 얇은 40 nm와 80 nm의 경우는 회절효율 값이 0.01 % 미만의 적은 값을 나타내었다.

그림 2(b)는 Ag층을 가진 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$ (10 nm) 박막의 두께별 회절효율의 특성을 나타내고 있다. Ag 두께를 10 nm로 하였을 시 이때 회절효율은 그림 2(a)와 비교할 때 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 칼코게나이드 단일 박막보다 우수한 회절효율을 보임을 확인할 수 있었다. 이때 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ (150 nm)/Ag (10 nm) 박막의 경우 최대 회절효율이 약 1.6 %로 동일한 두께의 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일 박막에 비하여 그 효율이 20배가량 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 박막의 두께가 300 nm와 633 nm의 경우도 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일 박막과 비교할 때 같은 증가현상을 나타내었다. 특히 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일 박막에서 두께가 40 nm와 80 nm의 경우는 회절효율 값이 0.01 % 미만이었으나 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag$ (10 nm) 박막에서는 각각 0.1~0.2 % 까지 회절효율이 증가하여 매우 높은 광특성을 보였다. 이상의

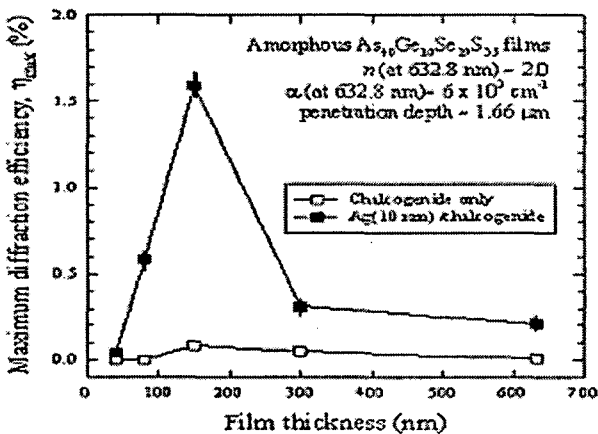


그림 3 다양한 두께의 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막 및 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층 박막의 회절효율변화

Fig. 3 Variations of the diffraction efficiency for single $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ and $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ double layer films as a function of the film thickness.

결과는 두 경우 모두 시간이 지남에 따라 유기되는 빛의 양이 많아지면서 Ag가 유기광의 광 에너지를 흡수하여 박막 내부로 도핑되며 표면의 Ag가 박막내부에서 재배치하게 된다. Ag이온의 재배치과정에서 Ag이온과 칼코게나이드 결합

이 발생하여 새로운 형태의 VAP's가 형성되어 박막내의 광 굴절을 변화가 형성 되고 이로 인해 회절효율이 점점 증가 되게 되는 것으로 해석할 수 있다.

그림 3은 칼코게나이드 단일 박막과 칼코게나이드/Ag (10 nm) 박막두께에 따른 회절효율을 비교 분석한 결과이다. 그림 3에서 가장 높은 회절효율을 나타내는 박막은 칼코게나이드 홀로그래프의 두께가 150 nm일 때 가장 높게 나타났으며, 이러한 결과는 두께 $d = \lambda/2n_0$ 에서 높게 나타남을 알 수 있었다.

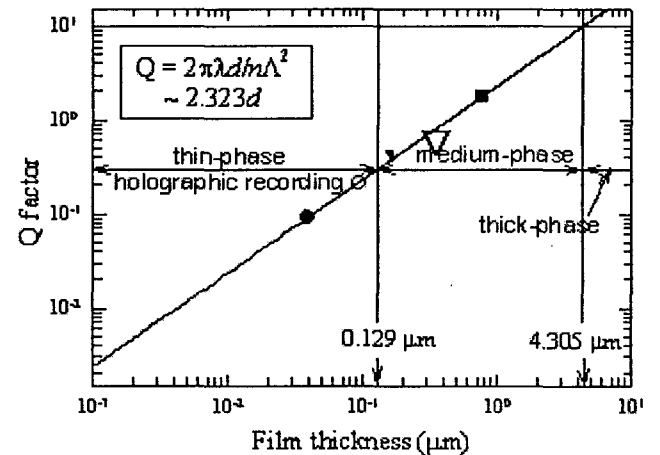


그림 4. 칼코게나이드 박막의 두께에 따른 Q팩터와 3가지 홀로그래프 두께의 관계도.

Fig. 4. Three types of holographic recordings divided by Q factor with the thickness of chalcogenide thin film

그림 4는 칼코게나이드 박막의 두께에 따른 홀로그래프와 Q팩터와 관계를 나타낸다. 일반적으로 $Q > 10$ 이면 thick-phase 홀로그래프라 하며, $Q < 0.3$ 이면 thin-phase 홀로그래프라 하고, 또 $0.3 < Q < 10$ 이면 medium-phase 홀로그래프라 한다. 본 실험에서 사용된 박막의 경우 150 nm를 기준으로 $d > 150$ nm 박막은 $Q < 0.3$ 이 되어 박막형 홀로그래프의 특성을 나타냈으며, 이 경우 회절격자의 형성이 비교적 어렵지만 선명한 광기록 특성을 나타내었다. 반면 칼코게나이드 박막의 두께를 침투깊이 $dp = 1.66 \mu m$ 에 근접한 박막의 경우는 $Q > 10$ 은 값으로써 체적형 홀로그래프의 특성을 나타내었으며, 이 경우 회절효율은 우수하지만 기록된 저장 데이터가 서로 중첩되어 노이즈에 의해 선명도가 떨어지는 특성을 나타내었다. 또한 본 실험에서 사용된 $d = 150 \sim 633$ nm 두께의 박막은 $0.3 < Q < 10$ 상태로 medium phase 홀로그래프 특성을 보였다. 이 경우는 비록 체적형 홀로그래프보다 회절효율 면에서는 그 값이 적으나 응용면에서는 비교적 높은 회절효율을 나타내었으며, 특히 광품질 측면에서는 노이즈가 없는 가장 우수한 특성을 나타내었다.

그림 5는 마스크와 SLM을 사용하여 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에 데이터 이미지를 기록한 사진이다.

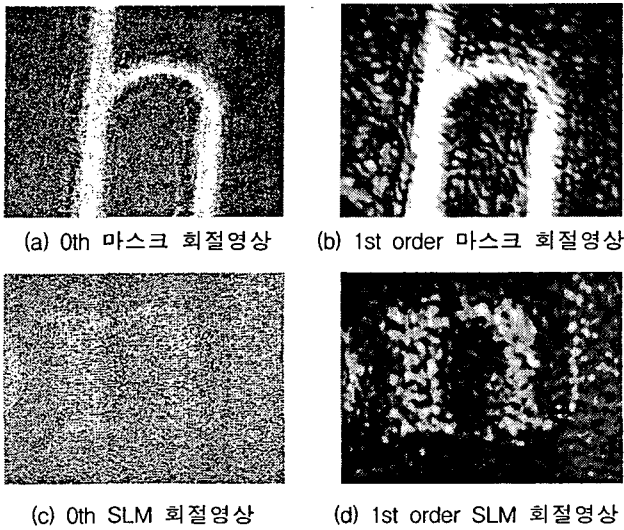


그림 5. (P:P) 편광 홀로그래픽 격자형성에 의한 박막의 회절영상

Fig. 5. Diffraction pattern according to the formation of (P:P) polarization holographic grating

그림 5 (a)는 마스크 패턴에 He-Ne 레이저($\lambda=633$ nm) 빔을 조사한 상태에서 CCD 카메라를 이용하여 촬영한 사진이다. 홀로그래픽 기록시 신호빔의 세기는 0.4 mW/cm^2 이었으며 기준빔의 세기는 0.5 mW/cm^2 이었다. 그림 5(b)는 마스크 패턴을 30초간 기록 후 재생된 이미지를 CCD를 통하여 촬영된 이미지이다. 그림 5(c)와 (d)는 컴퓨터에서 전기적 신호를 SLM에 전달하므로써 SLM이 생성한 패턴을 CCD 카메라를 이용하여 촬영한 이미지이다. 이때 사용된 칼코게나이드 박막은 최대 효율을 보이지 않지만 안정된 medium phase 홀로그램을 보이는 $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$ (300 nm)/Ag (10 nm)박막을 사용하였다. 또한 사용된 SLM은 XGA급이며 786,432 픽셀로 구성되어 있다. 이러한 픽셀들은 홀로그래픽 메모리에 이용될 경우 CD크기의 박막으로 제작시에 동일한 면적에서 약 0.5 byte의 정보량을 저장할 수 있을 것으로 판단되며 재생시 정보저장을 디지털화하여 저장하는 홀로그래픽 디지털 데이터 저장방법(Holographic Digital Data Storage, HDDS)[12]을 이용하면 더 좋은 영상을 재현할 수 있으리라 사료된다.

4. 결 론

지금까지의 비정질 AsGeSeS계 물질을 이용한 편광 홀로그래픽 격자 형성은 매질 자체가 갖는 우수한 광유기 이방성 현상에도 불구하고 1% 미만의 낮은 회절효율을 보여왔다. 더구나 매우 얇은 박막의 경우 거의 회절격자를 얻기가 어려웠다. 본 연구에서는 매우 얇은 단일박막 ($d_0=1.66 \mu\text{m}$)에서 홀로그래픽 회절격자를 형성하였고 단일박막에서의 낮은 효율보다 높은 회절 효율을 얻기 위해 Ag와 같은 금속을 도핑함으로써 광유기 이방성 현상의 원인이 되는 VAPs를 증가시켜 이로 인해 높은 회절효율을 얻을 수 있었다. AsGeSeS 단일 박막($d=150\text{nm}$)에서 최대 회절효율 0.083%, Ag/AsGeSeS 박막($d=150\text{nm}$, Ag=10nm)는 1.6%의

최대회절효율로 20배의 높은 효율을 얻었다. 또한 마스크와 SLM을 이용하여 영상을 재현해 보았다. 따라서 편광법에 의한 Ag 도핑 효과를 이용하여 매우 얇은 박막에서도 광 메모리 밀도의 향상과 대용량 저장 매질 및 광소자로서 응용이 가능할 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 정보통신부 대학 ITRC 육성 지원사업(IITA-2005-C1090-0502-0038)의 3DRC 연구지원으로 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 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", KIEEME, Vol. 13(6), pp. 533-537, 2000
- [2] T. Todorov, N. Tomova and L. Nikolova, "High sensitivity material with reversible photoinduced anisotropy", Opt. Commun, Vol. 47, pp. 123-127, 1983
- [3] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park, H. Y. Lee, and H. B. Chung, "The measurement on diffraction efficiency in polarization holography using amorphous chalcogenide thin films", KIEEME., Vol. 12, pp. 1192-1197, 1999.
- [4] L. Nikolova, T. Todorov, M. Ivanov, F. Andruzzi, S. Hvilsted, and P. S. Ramanujam, "Polarization holographic gratings in side-chain azobenzene polyesters with linear and circular photoanisotropy", Appl. Opt., Vol. 35(20), pp. 3835-3840, 1996
- [5] H. Fritzsche, "The origin of photo-induced optical anisotropies in chalcogenide glasses", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 164-166, pp. 1169-1172 1993.
- [6] H. Y. Lee, J. K. Kim and H. B. Chung, "On Ag-doping in amorphous Sb2S3 thin film by He-Ne and He-Cd laser exposures and its optical characteristics", J. Non-Cryst. Solid, Vol. 279, pp. 209-214, 2001.
- [7] H. B. Chung, H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun, "Structural and optical properties of obliquely deposited amorphous As40Ge10Se15S35 thin films as an anisotropic materials" The International conference on electrical engineering (ICEE'98), Vol. 2, pp. 927-930, July 21-25, 1998
- [8] H. Fritzsche, "Toward understanding the photoinduced change in chalcogenide glasses", Semiconductors, Vol. 32, No. 8, pp. 850-854, 1998.
- [9] H. Y. Lee, M. S. Kim, and H. B. Chung, "The analysis of Ag doping mechanism by photo-exposure" J. of KIEEME., Vol. 8, No. 4, pp. 472-477, 2000

- [10] H. B. Chung, H. Y. Lee, and S. H. Park, "Vectoral photo-induced effects in amorphous (Se, S)-based thin film" Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, (PRICM-3), Vol. 2, pp. 2701-2706, 1998
- [11] J. Teteris, "Holographic recording in amorphous chalcogenide thin films", Current Opinions in Solid state & Material Science. Vol. 7. pp. 127-134. 2003
- [12] C. Poga, P. M. Lundquist, V. Lee, R. M. Shelby, R. J. Twieg, and D. M. Burland, "Polysiloxane-based photorefractive polymers for digital holographic data storage" Appl. Phys. Lett. Vol. 69, No. 19, pp. 1047-1049, 1996

저 자 소 개



여 철 호 (余 哲 浩)

1973년 2월 18일생. 1998년 광운대 전자재료공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(공학)

Tel : 02-940-5165

Fax : 02-943-3590

E-mail : sam75@kw.ac.kr



정 흥 배 (鄭 鴻 倍)

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

Tel : 02-940-5165

Fax : 02-943-3590

E-mail : hbchung@kw.ac.kr