

## 비정질 칼코게나이드 박막에서의 편광 홀로그래피의 회절효율 특성

논문  
12-12-14

### The Measurement on Diffraction Efficiency in Polarization Holography using Amorphous Chalcogenide Thin Films

여철호\*, 장선주\*, 박정일\*, 이현용\*\*, 정홍배\*

(Cheol-Ho Yeo\*, Sun-Joo Jang\*, Jeong-Il Park\*, Hyun-Yong Lee\*\*, Hong-Bay Chung\*)

#### Abstract

We have investigated to obtain the high diffraction efficiency in the polarized holographic grating of the thin films. In this study, holographic gratings on amorphous As-Ge-Se-S thin films have been formed using linearly polarized He-Ne laser light(632.8nm). The dependence of diffraction efficiency as a function of film thickness and incident angle has been investigated in amorphous chalcogenide thin films, which act as a polarized holographic material. We could obtain the optimum condition to get a high diffraction efficiency. For the Bragg condition satisfied in the polarized holographic grating, we obtained the diffraction efficiency of 0.13% and the stable grating with the better resolution. In addition, we proved the capability that the device possess high storage density in the type of thin film below 1 $\mu$ m thickness.

**Key Words(중요용어)** : Photo-induced phenomena(광유기 현상), Intensity Polarization holography(세기편광홀로그래피), Phase polarization holography(위상편광홀로그래피) Holographic grating(홀로그래픽 격자), Diffraction efficiency(회절 효율)

#### 1. 서 론

오늘날 전자산업의 근간이 되어온 컴퓨터 및 반도체 기술 등과 더불어 정보통신분야의 급격한 발달은 대용량 정보를 처리, 저장, 표시할 수 있는 기능성 재료의 개발 연구를 촉진시키고 있으며, 21세기 초고속 정보화 시대의 새로운 서비스를 이용하기 위해선 특히 저장매체의 대용량화가 필수적이다.

현재 대용량 정보 저장을 위해 수 천억 바이트의 대용량을 저장하기 위한 새로운 방식의 기록매체를 개발하기 위한 연구가 진행되어 왔으며, 그 중의 하나가 매질이 빛에 노출될 경우 굴절률이 달라지는 광굴

절효과(Photorefraction effect)를 이용하는 홀로그램 데이터 저장법이다.

일반적으로 홀로그램의 두께에 대한 간섭무늬 간격과의 비가 10 이상이면 체적형 홀로그램(Volume Hologram)이라 하며 그 이하이면 박막형 홀로그램(Surface Hologram)이라 분류한다. 또 기록 및 재생 빔의 편광상태에 따라 크게 비편광 홀로그래피(Non-Polarization Holography)와 편광 홀로그래피(Polarization Holography)로 구분된다<sup>1, 2)</sup>. 일반적으로 이용되어온 비편광 체적형 홀로그래피는 비교적 고효율과 매질의 체적 전체에 걸쳐 높은 데이터 저장밀도를 갖고 있지만 저장매체로서 노이즈가 수반되는 가장 큰 단점이 있다. 이와 달리 박막형 편광 홀로그래피는 편광된 입사빔을 사용하여 빔의 세기 및 편광상태에 대한 기록형식을 모두 포함하며 박막 내에서도 비편광-체적형 홀로그래피와 같은 높은 저장밀도를 가질 수 있고 편광 홀로그래피는 체적형 홀로그래피가 갖는 홀로그램의 중첩에 의한 노이즈 문제를 개개의 편광상태로 저장함으로써 해결 할 수 있는 장점이 있다<sup>3)</sup>.

\* : 광운대학교 공대 전자재료공학과  
(서울특별시 노원구 월계동 447-1, Tel : 02-940-5165, Fax : 02-943-3590 E-mail : hbchung@daisy.kwangwoon.ac.kr)

\*\* : 포항공과대학교 테라헤르츠연구단  
1999년 7월 15일 접수, 1999년 11월 19일 심사완료  
<'99 춘계학술대회에서 추천된 논문임>

두 편광-광의 간섭에 의해 형성되는 편광 홀로그래피는 두 입사빔이 평행하게 편광된 광을 이용하는 세기 홀로그래피(intensity holography)와 서로 수직하게 편광된 광을 사용하는 위상 홀로그래피(phase holography)로 구분할 수 있다. 일반적으로 세기 홀로그래피는 체적 홀로그래피(volume holography)와 같이 입사빔의 세기에 의해 격자를 형성하므로 비교적 높은 회절효율을 갖는 것이 특징이다. 반면에 위상 홀로그래피는 입사빔의 세기와 함께 편광상태가 각각 수직한 형태로 입사되므로 다양한 저장격자를 형성할 수 있으며 선명한 데이터 재생이 그 특징이다. 특히 편광 홀로그래피는 위상 홀로그래피가 갖는 장점을 활용하여 고 집적, 고선명의 차세대 저장 방법이다. 이는 현재까지 주로 체적형 홀로그래피에 이용되어온 벌크형태의 재료를 평면화 및 고 집적화로 대체할 수 있는 박막화가 가능한 방법으로 크게 기대되고 있다.

일반적으로 편광 홀로그래피는 사용되는 매질에서 입사되는 광원의 편광방향에 따라 광학적 이방성의 형성이 가장 중요하다<sup>4, 5)</sup>. 그러나 지금까지 편광 홀로그래피에 연구된 물질들은 비교적 약한 광유기 이방성(photo-induced anisotropy, PA)을 나타내었기 때문에 낮은 기록 효율을 나타내어 그 연구가 다소 지연되어 왔다. 그러나 광학적 이방성의 형성이 우수한 물질에 편광 홀로그래피방법으로 홀로그래피를 형성시킨다면 그간 사용되어오던 비편광 홀로그래피 방법보다 우수한 특성을 나타낼 것으로 기대된다.

따라서, 본 논문에서는 본 연구진이 그간 연구해 오던 광학 매질 중에서 우수한 광유기 이방성 현상을 나타내고 있는 비정질 As-Ge-Se-S계 칼코게나이드박막<sup>5, 6, 7)</sup>을 박막형 편광 홀로그래피 물질로 사용하여 세기 및 위상 편광 홀로그래피 방법으로 각각 격자를 형성시키고 입사각과 박막두께에 따라 격자형성의 조건을 고려하여 회절효율(diffraction efficiency)을 구함으로써 세기 및 위상 편광 홀로그래피 방법에 대한 비교 분석을 통하여 매질의 특성을 최대한 활용한 기억 및 소거가 가능한 새로운 차세대 박막형 편광 홀로그래피의 응용성과 실용화 방안을 검토하고자 한다.

## 2. 실험방법

시료의 조성은 이미 본 연구진에 의해 보고<sup>5, 7)</sup>된 가장 큰 광유기 이방성을 갖는 As, Ge, Se, S를 원자량 비 40 : 10 : 15 : 35의 조성을 형성하여 사용하였으며, 이를 평량하여 직경 10mm의 석영관에 약  $2 \times 10^{-5}$  Torr로 진공 봉입한 후, 전기로에서 220, 600,

870℃로 순차적으로 가열하여 벌크 시료를 제작하였다. 또한 박막은 각각 corning glass위에 열진공증착방법을 사용하여 약 0.88, 1.222, 1.6, 3.5 $\mu$ m의 두께를 갖도록 제작하였다. 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 약 2Å/s로 유지하였고 두께 및 광학상수는 N&K Analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다.

편광 홀로그래피 격자 형성을 위해 선형 편광된 He-Ne Laser( $\lambda=6328\text{\AA}$ )를 사용하였으며 그림 1은 편광 홀로그래피 격자 형성과 회절 효율 측정을 위한 장치도를 나타내고 있다<sup>8)</sup>. 편광 홀로그래피 격자 형성을 위해 선형 편광된 He-Ne Laser( $\lambda=6328\text{\AA}$ )를 사용하였으며 시편의 입사면에서 빔 세기를 0.7 mW/cm<sup>2</sup>와 0.75 mW/cm<sup>2</sup>로 조정하였다. 또 최적의 회절 효율 조건 측정을 위해 시편의 두께와 입사각  $\theta$ 를 변화시켜 +1st Order의 실시간 회절 효율 측정을 수행하였다.

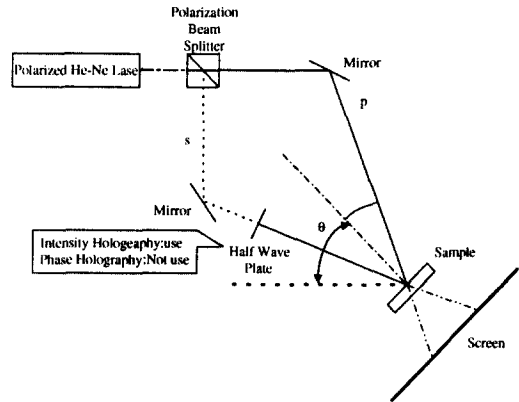


그림 1. 편광 홀로그래피 격자형성 장치도  
Fig. 1. Schematic diagram of polarization holography setup

## 3. 결과 및 고찰

사진 1은 그림 1의 편광 홀로그래피 격자 형성에 따라 발생된 회절패턴을 나타내고 있다. 입사되는 편광상태는 각각 s파(입사면에 수직인 파)로 세기 편광 홀로그래피를 사용한 결과이다. 이때 사용된 박막은 두께 3.5 $\mu$ m이고 두 빔의 입사각은 약 5°로 하였으며 입사빔의 세기는 0.7 mW/cm<sup>2</sup>이다. 사진의 오른쪽 부분에 +1st order의 상이 명확히 나타남으로서

박막 내에서 격자형성을 확인 할 수 있었다.

그래피의 경우 박막 내에서 빔의 편광상태는 항상 일정한 방향을 향하는 선형 편광빔이 되고 그 중첩빔의 세기는 일반적인 홀로그래피와 유사하게 그 위상차에 따라 공간변조가 되고, 비정질 칼코게나이드 박막의 독특한 특성에 의해 초기 유기 빔의 세기가 강하게 작용하는 영역에서 일정한 방향성을 가지고 격자의 형성을 이루다가 시간이 경과된 후 박막의 모든 부분, 특히 격자간격사이에서 약한 빔의 장시간 유기에 의해 포화를 이루게 되며 이로 인하여 새로운 격자가 형성되어 이들의 중첩 효과에 의해 회절효율이 감소되는 것으로 판단된다<sup>9)</sup>. 이때 입사빔의 세기는 0.7mW/cm<sup>2</sup> 이며 두께 3.5 $\mu$ m의 경우 1st order에 의한 최대 회절효율( $\eta$ =1st order의 세기/입사빔의 세기)은 약  $2.23 \times 10^{-3}$  이었다.

사진 1. 편광 홀로그래피 격자 형성에 의해 발생된 회절패턴

Photo. 1. Diffraction pattern with the formation of polarization holography

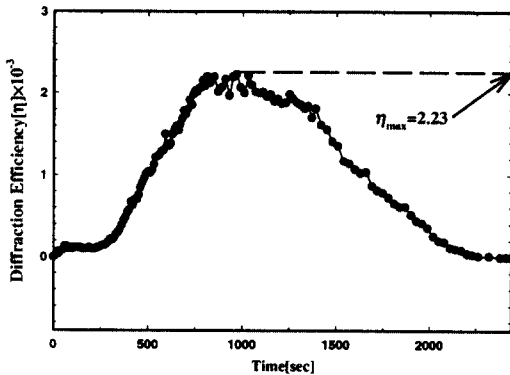


그림 2. 3.5 $\mu$ m 박막의 세기 편광 홀로그래피 격자와 시간에 따른 회절효율

Fig. 2. Diffraction efficiency with the time in the intensity polarization holography of 3.5 $\mu$ m thin film

그림 2는 세기 편광 홀로그래피 격자형성방법으로 시간에 따른 회절 효율의 변화를 측정한 그래프이다. 시간이 경과함에 따라 격자의 형성이 약 200 sec 까지는 잘 이루어지지 않다가 200 sec 이후에는 회절효율이 급격히 증가하며 약 760sec후에 최대로 포화값을 이룬 후 다시 서서히 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 최대치에서 감소하는 원인은 세기 편광 홀로

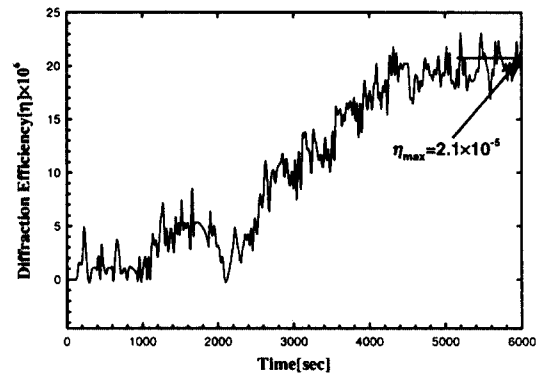


그림 3. 3.5 $\mu$ m 박막의 위상 편광 홀로그래피 격자와 시간에 따른 회절효율

Fig. 3. Diffraction efficiency with the time in the phase polarization holography of 3.5 $\mu$ m film

그림 3은 세기편광방법과 비교하기 위하여 위상 편광 홀로그래피 격자형성 방법에 의한 시간에 따른 회절 효율의 변화를 측정한 그래프이다. 세기 편광 홀로그래피와는 다르게 격자형성이 쉽게 이루어지지 않지만 일단 생성된 격자는 사라지지 않고 시간이 지나면 일정한 포화값을 유지하는 것을 알 수 있다. 위상 편광 홀로그래피의 경우에는 두 빔에 의한 간섭 패턴이 세기는 같으나 편광상태가 각각 수직으로 입사되므로 각각의 편광상태에 따라 칼코게나이드 박막에서 서로 다른 방향성을 가지게 되고 이러한 방법으로 형성된 격자들은 서로 다른 기준광의 편광상태와 공간상의 경로차에 따라 다르게 작용하게 되므로 그 값이 일정

하게 유지되는 것으로 판단된다. 이때 입사빔의 세기는  $0.7 \text{ mW/cm}^2$ 이며  $3.5 \mu\text{m}$  박막에서 최대 회절 효율은  $\eta_{\text{max}} = 2.1 \times 10^{-4}$ 로 그 값이 세기 편광 홀로그래피에 비해 적게 나타남이 관찰되었다. 이와 같이 그림 2와 3을 통해 편광 홀로그래피의 두 가지 형태의 격자를 확인 할 수 있었으며 위상 편광방법보다는 세기 편광방법이 회절 효율 면에서는 우수하나 포화되어 각 위상에 따라 많은 정보를 저장하는 안정적인 저장방식으로 보면 위상형 편광방법이 우수하리라 판단된다.

일반적으로 평면 광의 입사에 따른 홀로그래피 격자 간격( $\Lambda$ )은 두 입사빔이 이루는 각도와 입사빔의 파장에 따라 다음 식으로 근사 될 수 있다<sup>9)</sup>.

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

여기에서  $\lambda$ 는 입사빔의 파장이고  $2\theta$ 는 두 입사빔이 이루는 입사각을 나타낸다. 대부분의 홀로그래피 물질에서 격자는 식 (1)의 조건을 만족해야 하므로 회절효율에 크게 영향을 미치는 격자 형성의 변수를 예측해보면 입사각의 변화에 의한 물질 내에서의 격자형성과 홀로그래피 물질의 분해능으로 인한 회절된 빔의 효율의 변화와 박막 두께변화에 따른 회절효율의 변화를 들 수 있다.

따라서 앞서 비교한 방법에서 안정된 저장방식인 위상형 홀로그래피 방법으로 격자형성의 변수를 고찰해 보기 위해, 우선 칼코게나이드 박막 위에 조사되는 빔의 입사각변화에 따른 투과도<sup>8)</sup>의 변화를 조사하였다. 입사빔의 각을 약  $5^\circ \sim 40^\circ$ 까지 변화시키면서 투과도 변화를 조사한 후 회절효율을 측정된 결과 그림 4와 같다. 박막의 두께는  $0.888 \mu\text{m}$ 로 입사각이 증가함에 따라 회절효율이 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 입사각이 증가함에 따라 투과형 홀로그래피 격자의 경우, 격자간격이 좁아지는 결과를 초래하게 되어 결과적으로 칼코게나이드 유리질의 분해능에 제한을 받아 회절효율이 감소되는 것으로 나타났다. 그림 4에서 나타난 결과를 분석하여 두께  $0.888 \mu\text{m}$ 에서 입사각에 따른 최대 회절효율과 식 (1)을 토대로 비정질  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  박막의 분해능을 나타낸 결과 표 1과 같다. 표 1에서 보면 입사각  $40^\circ$ 에서 최대 2033 Lines/mm까지의 격자 간격을 유지할 수 있음을 확인하였지만 오히려 회절효율은 감소되므로 본 연구에서 사용한  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  박막의 경우, 약  $25^\circ$ 의 입사각에서 1336 Lines/mm 정도의 높은 분해능을 가지며 재현성이 수월한 장점을 가지고 비교적 안정된 격자형성을 이룰 수 있으리라 판단된다. 이때 측정된 회절효율의 결과는 두 입사빔의 세기와 편

광상태는 각각  $0.75 \text{ mW}$ 와 s파(입사면에 수직인 파)와 p파(입사면에 평행인 면)로 위상 편광 홀로그래피를 사용한 결과이다.

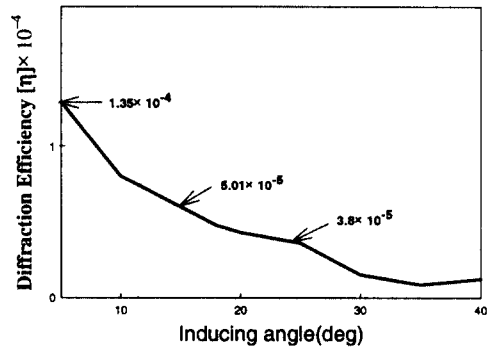


그림 4. 입사각에 따른 비정질  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  박막의 회절효율

Fig. 4. The diffraction efficiency of chalcogenide  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  thin films with the inducing angle

표 1. 입사각에 따른 비정질  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  박막의 분해능과 최대회절효율

Table 1. The resolution and maximum diffraction efficiency of chalcogenide  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  thin films with the inducing angle

입사각	$\eta_{\text{max}}$	분해능(계산값)
$5^\circ$	$1.35 \times 10^{-4}$	275 Lines/mm
$10^\circ$	$8.4 \times 10^{-5}$	550 Lines/mm
$15^\circ$	$5.01 \times 10^{-5}$	820 Lines/mm
$20^\circ$	$4.5 \times 10^{-5}$	1081 Lines/mm
$25^\circ$	$3.8 \times 10^{-5}$	1336 Lines/mm
$30^\circ$	$1.6 \times 10^{-5}$	1582 Lines/mm
$35^\circ$	$9.1 \times 10^{-6}$	1814 Lines/mm
$40^\circ$	$1.3 \times 10^{-5}$	2033 Lines/mm

그림 5는 박막의 두께를 변화시켰을 때 나타나는 비정질  $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$  박막의 위상 편광 홀로그래피의 회절효율의 변화를 측정된 그래프이다. 앞서 고찰에서  $25^\circ$ 의 입사각에서 가장 안정되고 좋은 결과를 얻을 수 있으리라고 판단되었으나 본 실험에서는 실험상의 어려움으로 입사각을  $5^\circ$ 으로 하여 측정하였

다. 두 빔의 입사각은 약 5°와 그 세기는 0.7 mW/cm<sup>2</sup>였으며, 두께의 변화에 대한 이들의 최대 회절효율인  $\eta_{max}$ 는 회절 효율의 증진을 위한 한가지 방법으로 Bragg 조건을 선택하였다. 따라서 Bragg 조건  $m\lambda = 2d\sin(90-\theta)$ 에 근사적으로 만족하는 두께 0.848 $\mu$ m와 0.888 $\mu$ m의 경우는 입사각과 두께의 함수가 입사빔 파장의 가장 낮은 정수배에 가깝게 이루어지고, 격자형성이 용이해져 높은 회절효율을 나타냈으며 또한 이때 회절효율이 각각  $1.35 \times 10^{-4}$ 로 나타났다. 반면에 Bragg 조건에 높은 정수배에 가깝게 만족하는 두께 1.223 $\mu$ m과 1.600 $\mu$ m 박막은 박막 두께의 증가로 인한 내부 반사등에 의해 이들의 회절효율이 각각 1.223 $\mu$ m의 경우는  $3.6 \times 10^{-5}$ 와 1.600 $\mu$ m의 경우는  $5.6 \times 10^{-5}$ 로 측정되었다. 따라서 Bragg 조건의 낮은 정수배를 만족하는 박막의 두께일 경우 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

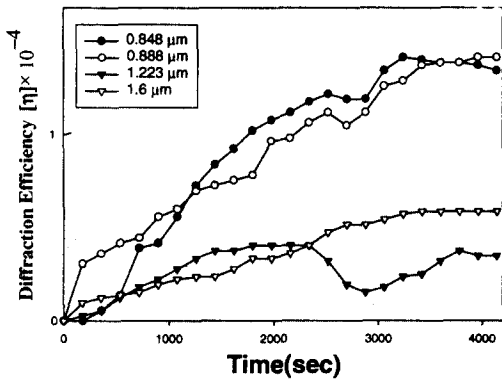


그림 5. 입사각에 따른 비정질 As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> 박막의 회절효율

Fig. 5. The diffraction efficiency of chalcogenide As<sub>40</sub>Ge<sub>10</sub>Se<sub>15</sub>S<sub>35</sub> thin films with the inducing angle

일반적으로 체적형 홀로그래피는 비교적 높은 회절효율을 갖고 있지만 높은 저장밀도를 위해서는 홀로그램 물질의 체적에 의존적이었다. 이와 비교할 때 박막형 편광 홀로그래피는 박막의 두께를 Bragg 조건을 만족하는 범위에서 1 $\mu$ m 이하의 얇은 박막으로도 비교적 높은 회절효율을 나타낼 수 있었고 체적형 홀로그래피와는 다른 세기 편광 홀로그래피나 위상 편광 홀로그래피형태로 정보를 박막형태의 매질에 입사광의 세기나 위상을 변화시키면서 저장시킬 수 있음을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우수한 광학적 이방성 성질을 나타내는 비정질 As-Ge-Se-S 박막의 광유기에 따른 편광 홀로그래피 특성을 고찰하였다. 세기 편광 홀로그래피의 경우 회절패턴이 초기에는 급격히 증가하다가 회절효율이 포화를 이룬 후 다시 서서히 감소하는 형태를 나타내었는데 이는 칼코게나이드 물질의 특이한 광학적 결합의 특성에 의한 결과<sup>9)</sup>로 판단된다. 본 실험을 통해 위상 편광 홀로그래피의 회절효율( $\eta_{max} = 2.1 \times 10^{-5}$ )이 세기 편광 홀로그래피의 회절효율( $\eta_{max} = 2.23 \times 10^{-3}$ )에 비해 다소 작으나 그 값이 일정하게 유지되는 특성을 나타내었다.

또한 칼코게나이드 박막에서 위상 편광 홀로그래피의 회절효율의 특성은 입사각과 두께에 따라 Bragg의 격자형성 조건을 만족할 때, 특히 입사각이 적을수록 약 5°에서 최대회절효율이  $\eta_{max} = 1.35 \times 10^{-4}$ 로 이들의 회절효율이 비교적 크게 나타남을 관찰할 수 있었다. 그러나 이들의 분해능은 계산된 값에 의해 실제 입사각이 증가할수록 증가하고 있으므로 입사각과 두께에 따라 높은 분해능과 회절효율을 동시에 기대하기 위해서는 Bragg 조건을 만족하는 범위에서 최적의 조건을 찾는 것이 바람직하며 본 연구의 결과에서는 25°에서 비교적 높은 회절효율  $\eta_{max} = 3.8 \times 10^{-5}$ 과 1336 Line/mm의 분해능을 보였다. 실용화를 위해서는 비교적 안정적인 격자를 형성하는 입사각 25°가 최적의 조건으로 판단된다.

이상의 결과로 볼 때 As-Ge-Se-S 박막을 이용한 편광 홀로그래피 격자는 칼코게나이드 비정질의 광학적 이방성을 활용한 박막형 편광 홀로그래피로서 그 개발 가능성을 확인하였다. 또한 대용량 저장 밀도를 갖는 저장매체로서 그 응용이 가능하고 다른 편광 홀로그래피 물질보다 비교적 우수한 회절효율을 보유하고 있음을 확인하였다. 박막형 홀로그래피에서 실용화의 필수가 되는 높은 회절 효율을 개선하기 위해서는 2000 Lines/mm 이상의 높은 분해능을 갖는 재료의 개발과 보다 효율이 좋은 재료의 개발을 위해 많은 연구가 집중되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 1999년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Todorov, L. Nikolova and N. Tomova, "A new high-efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence", *Appl. Opt.*, Vol. **23(23)**, pp. 4309-4312, 1984.
- [2] P. Hariharan. "Optical Holography". Cambridge Univ. Press, pp. 162-164, 1984.
- [3] 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.
- [4] T. Todorov, N. Tomova and L. Nikolova, "High sensitivity material with reversible photoinduced anisotropy", *Opt. Commun.*, Vol. **47**, pp. 123-127, 1983.
- [5] H. B. Chung, H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun., "Photo-induced transformation in amorphous  $Se_{75}Ge_{25}$  thin films by XeCl excimer laser exposure" *J. Appl. Phys.*, **83(10)**, pp. 5381-5383, May, 1998.
- [6] H. B. Chung, H. Y. Lee, 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, July 12-16, 1998.
- [7] H. B. Chung, H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun, "Structural and optical properties of obliquely deposited amorphous  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin films as an anisotropic materials" *The International conference on electrical engineering(ICEE '98)*, Vol. **2**, pp. 927-930, July 21-25, 1998.
- [8] Frank L. Pedrotti, S. J. Leno S. Pedrotti., "Introduction to Optics". Prentice Hall, **2nd**, p. 274. & pp. 411-423, 1984.
- [9] H. B. Chung, H. Y. Lee, J. Y. Chun, C. H. Yeo, "Photoinduced dichroism and its low-temperature characteristics in obliquely deposited amorphous As-Ge-Se-S thin films" *J. of Vac. Sci. Tech. A*, to be published, 1999.