

## 시누스변조형홀로그래피반사살창의 제작과 편광빛의 프라운호페르에돌이특성

최철규, 조천규

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학기술을 발전시키지 않고서는 경제를 발전시킬수 없으며 인민생활도 높일수 없습니다.》(《김일성전집》 제86권 309페이지)

AI를 진공증착하는 방법으로 제작한 홀로그래피반사살창에서 빛의 에돌이는 편극특성을 가지게 되므로 이러한 살창을 분광요소로 리용하는 경우 분광광학계설계에서 편극특성을 고려해야 한다. 현재 홀로그래피살창과 편광과의 호상관계문제가 여러 측면에서 연구[2, 3, 6]되고있으나 시누스변조형홀로그래피반사살창에서의 p 및 s편광의 에돌이효율특성을 연구한 자료는 제기된것이 없다.

우리는 AI를 진공증착하는 방법으로 홀로그래피반사살창을 제작하고 편극된 빛을 입사시켜 p편광 및 s편광에 대한 프라운호페르에돌이특성을 연구하였다.

### 1. 시누스형홀로그래피반사살창의 제작

홀로그래피반사살창을 제작하자면 그것에 해당하는 진폭변조형홀로그래피살창을 제작한 데 기초하여 그것을 기복형으로 위상변조시켜야 한다.

진폭변조형홀로그래피에돌이살창을 얻기 위한 광학계인 가변주파수홀로그래피진폭살창촬영광학계의 구성도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 가변주파수홀로그래피진폭살창촬영광학계에서 원기둥렌즈와 쌍프리즘 광학요소를 결합함으로써 외부진동의 영향을 적게 받으면서도 평행빛묶음들의 간섭이 아니라 발산원기둥파면들의 간섭을 실현할수 있게 하였다. 이렇게 얻어진 간섭마당속에서 간섭무늬의 공간주파수는 공간자리표에 따라 변하게 된다.

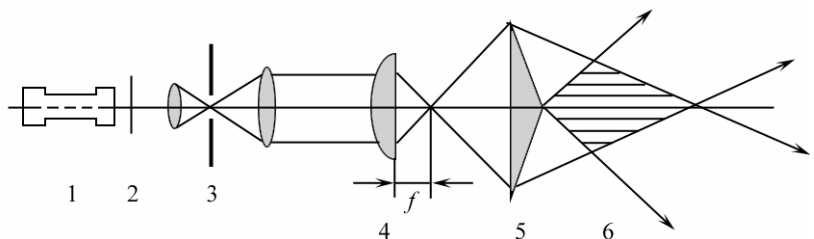


그림 1. 가변주파수홀로그래피진폭살창촬영광학계  
1-He-Ne레이자, 2-빛여닫개, 3-공간려파기를 설치한 시준광학계,  
4-원기둥형렌즈( $f=250\text{mm}$ ), 5-쌍프리즘, 6-빛의 간섭구역

따라서 고분해능건판의 설치위치에 따라 살창공간주파수의 값을 넓은 대역에서 각이하게 변화시킬수 있다.

다시말하여 간섭마당(그림 1의 6)속에서 두 빔뭉음의 사립각은 건판의 설치위치에 따라  $2\theta_1 \sim 2\theta_2$ 의 구간에서 변화시킬수 있으며 간섭무늬의 공간주파수계산식  $\nu = 2 \sin \theta_i / \lambda$ 를 고려하면 살창의 공간주파수도 기록매질의 설치위치를 조절하는 방법으로 간단히 변화시킬수 있다. 여기서  $\theta_i$ 는 건판에 대한 빔뭉음의 입사각이다.

또한 가변주파수홀로그래피진폭살창촬영광학계는 고유진동수가  $f_0 = 1 \sim 2\text{Hz}$ 인 진동방지대우에 설치하였다.

먼저 가변주파수홀로그래피진폭살창촬영광학계를 리용하여 로출을 준 고분해능건판 《ЛОИ-2》를 현상액 《D-19》와 고정액 《F-5》 등으로 처리하고 《R-10(KBr)》에 의한 표백처리과정[4]을 거쳐 기복변조형으로 전환시켰다. 이렇게 얻은 위상변조형홀로그래피살창의 변조특성을 보기 위하여 먼저 간섭현미경 《МИИ-4У4.2》를 리용하여 표면기복상태를 관측하였다.

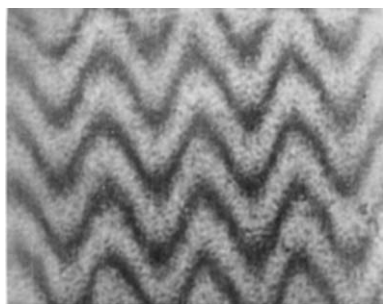


그림 2.  $56\text{ mm}^{-1}$  기복위상살창의 간섭현미경사진

공간주파수가  $\nu = 56\text{ mm}^{-1}$ 인 저주파구역의 살창에 대한 간섭현미경사진은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 기복변조는 시누스변조형으로 된다.

다음 현미경촬영에서 리용한  $\lambda = 590\text{ nm}$ 의 빛과장에 기초하여 기복변조높이를 평가하고 로출시간  $\tau$ 에 따르는 기복변조높이변화를 측정하면 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 기복변조높이는 로출시간과 공간주파수에 크게 관계되는데 공간주파수가  $\nu = 600\text{ mm}^{-1}$ 일 때 최대기복변조높이는  $\Delta d = 0.17\text{ }\mu\text{m}$ 였다.

이러한 기복변조에 의한 에돌이효율값은 이론적으로도 평가할수 있다. 즉 시누스기복변조형홀로그래피살창의 경우에 1차에돌이효율은  $\eta_1 = J_1^2(\Delta\psi/2)$ 로 된다.[1] 여기서  $\Delta\psi$ 는 위상변화량으로서 기복변조형홀로그래피살창의 경우에  $\Delta\psi_1 = \Delta d(n-1)2\pi/\lambda$ 이다.

주어진 실험조건에서 유제의 굴절률이  $n=1.52$ , 기복높이가  $\Delta d = 0.17\text{ }\mu\text{m}$ , 빛과장이  $\lambda = 0.6328\text{ }\mu\text{m}$ 임을 고려하여 1차에돌이효율을 평가하면  $\eta_1 = 4.6\%$  정도이다. 그러나 실지 측정된 1차에돌이효율은 30%정도였다.

이와 같이 이론값과 실험값이 차이나는 원인은 《R-10(KBr)》로 처리한 경우 순수기복변조만이 아니라 유제내부에서의 굴절률변조도 동시에 일어나기때문이라고 볼수 있다.

다음 제작한 기복변조형살창을 기관으로 하여 진폭변조형홀로그래피에돌이반사살창을 제작하였다. 그 제작공정은 기본적으로 Al증착금속거울을 제작하기 위한 공정과 같게 하였다.

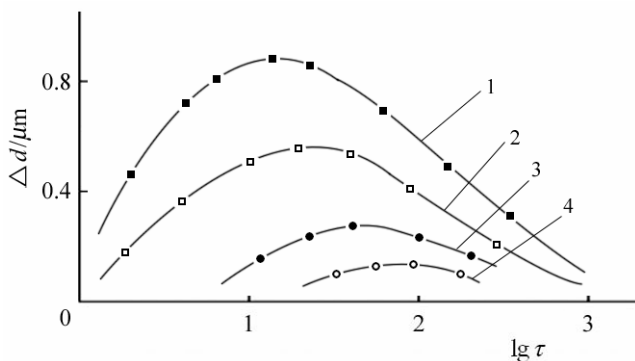


그림 3. 《R-10(KBr)》처리한 경우 기복변조높이변화  
1-4는 공간주파수가 각각 56, 100, 200,  $600\text{ mm}^{-1}$ 인 경우

진공증착에 앞서 기복변조형홀로그래피살창을 약  $120^\circ$ 까지의 온도분위기속에서 열처리하여 유제를 건조 및 경화시켰다.

기복변조형홀로그래피살창을 설치하기 전에 배기종안의 진공도는  $\sim 10^{-3}\text{Pa}$ 로 하였으며 고순도Al을 가열증착시키는 방법으로 홀로그래피반사살창을 제작하였다.

## 2. 홀로그래피반사살창에서 편극된 빛의 프라운호페르에돌이특성

Al증착홀로그래피반사살창에서 편극된 빛의 에돌이특성을 조사하기 위한 광학계는 그림 4와 같이 구성하였다.

그림 4에서 1은 광원으로서 출력이 2mW인 단일방식의 He-Ne레이자이다. 내부공진기형 He-Ne레이자빛 묶음(자연빛)으로 진동면이 서로 수직인 두 편광을 얻기 위한 편광자로는 윌라스턴프리즘을 리용하였다. 또한 5는 공간주파수가  $600\text{mm}^{-1}$ 인 시누스변조형홀로그래피반사살창이다.

이 반사살창에 의하여 에돌이된 빛의 세기분포는 분광감도가 그림 5와 같은 규소빛2극소자와 감도가  $10^{-9}\text{A/mm}$ 인 검류계를 연결한 검출체계를 리용하여 측정하였다.

홀로그래피반사살창에 He-Ne레이자빛(자연빛)을 수직입사( $\theta=0^\circ$ )시킨 조건에서 에돌이 빛의 세기분포는 그림 6과 같다.

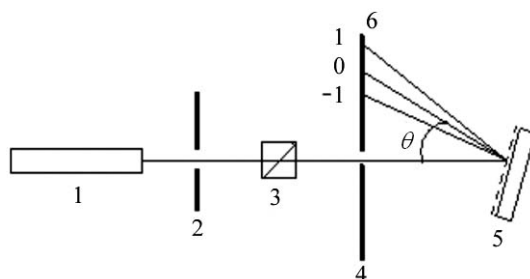


그림 4. 편극 및 에돌이특성을 측정하기 위한 광학계

1-He-Ne레이자(P=2mW), 2-빔어닫개,

3-윌라스턴프리즘, 4-구멍가림판,

5-반사형홀로그래피에돌이살창, 6-비침판

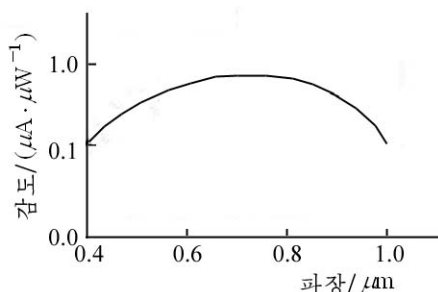


그림 5. 규소빛2극소자의 분광감도곡선

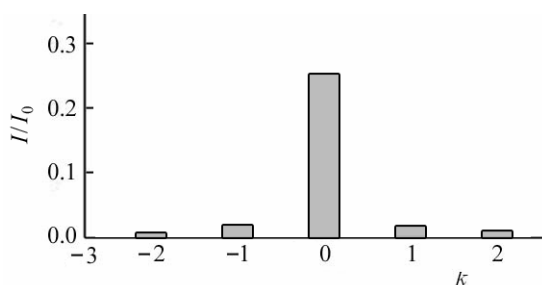


그림 6. 홀로그래피반사살창에 자연빛을 수직입사시켰을 때의 프라운호페르에돌이세기분포

이것은 시누스형변조구조에서 전형적인 세기분포이며 그림 2, 6의 실험결과는 주어진 살창이 분명히 시누스형변조구조를 가진다는것을 확증해준다.

다음 이 살창에 p편광, s편광을 입사시킬 때의 에돌이특성을 연구하였다.

윌라스턴프리즘을 통하여 나오는 p편광을 반사살창의 살창선방향과 수직으로, s편광은 살창선방향과 평행으로 살창에 입사시킨 조건에서 입사각  $\theta$ 에 따르는 1차에돌이효률( $\eta_1$ )을 측정한 결과는 그림 7과 같다.

그림 7에서 보는바와 같이 입사각을  $0\sim 30^\circ$ 의 범위에서  $5^\circ$  간격으로 변화시킬 때 입사각의 증가에 따라 p편광과 s편광의 에돌이효률은 서로 다르게 변화된다.

다시말하여 p편광은  $\theta$ 에 따라 효율이 크게 변하지 않지만 s편광은 감소하였다.

반사살창의 효율이 AI를 증착시킨 금속면의 반사결수에 관계되는가를 밝히기 위하여 이 실험결과를 선행연구[5]에 제시된 금속광학면에서의 입사각에 따르는 반사결수의 변화(그림 8)와 비교분석하였다.

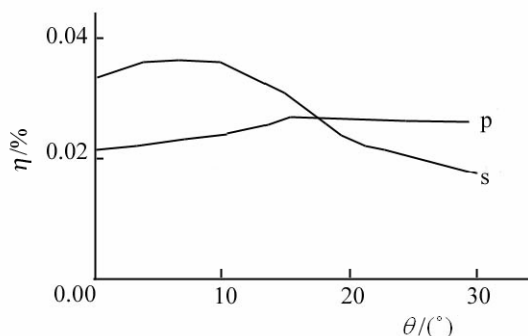


그림 7. 입사각  $\theta$ 에 따르는 홀로그래피반사살창에서의 1차에돌이효율의 변화  
p편광: 살창선과 수직, s편광: 살창선과 평행

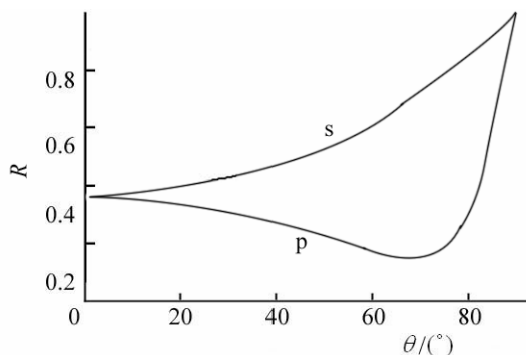


그림 8. 금속면에서 입사각에 따르는 반사결수의 변화

그림 8에서 보는바와 같이 금속광학면에서의 반사결수는 입사각이  $\theta=0^\circ$ 인 수직입사 조건에서 p편광과 s편광에 대하여 같은 값을 가지지만 입사각의 증가에 따라 s편광은 반사결수가 단조감소하는 반면에 p편광은 처음에 단조감소하다가 다시 증가한다. 그림 8과 입사각  $\theta=0\sim30^\circ$ 의 범위에서 측정한 우리의 실험자료(그림 7)를 비교하면 p 및 s편광에 대하여 입사각에 따르는 변화에서 서로 반대되는 경향이 나타난다.

따라서 반사살창에서의 에돌이효율은 반사결수에 무관계하며 입사빛의 진동면과 살창선과의 관계에만 의존한다고 말할 수 있다.

## 맺 는 말

- 1) 시누스변조형 홀로그래피반사살창에서 반사결수는 에돌이효율에 영향을 주지 않는다.
- 2) 수직입사조건에서 s편광의 효율값은 p편광의 경우에 비하여 높으며 입사각에 따르는 효율값은 p편광의 경우 큰 변화가 없으나 s편광의 경우에는 점차 감소한다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. W. Goodman; Introduction to Fourier Optics, McGraw Hill, 102~126, 1996.
- [2] B. Kilosanidze et al.; Applied Optics, 46, 1040, 2007.
- [3] G. Kakauridze et al.; J. Opt. Technol., 73, 188, 2006.
- [4] I. Banyasz; Optics Communications, 267, 356, 2006.
- [5] Roger A. Paquin; Handbook of Optics, 4, 242, 2010.
- [6] His-Fu Shih et al.; Applied Optics, 51, 5758, 2012.

주체104(2015)년 7월 4일 원고접수

## **Manufacturing of a Sin-Modulation Type Holographic Reflection Grating and Its Fraunhofer Diffraction Characteristics of Polarization Light**

*Choe Chol Gyu, Jo Chon Gyu*

This paper addresses the manufacturing process of the sin-modulation type holographic reflection grating and its Fraunhofer diffraction characteristics of polarization light.

Reflection coefficient of the metal face doesn't have any effect on the diffraction efficiency of the grating. Diffraction efficiency is affected by the correlativity between the grating line direction and the polarization direction of the incident light.

Key words: holographic reflection grating, sin-modulation