

굴절률변조형홀로그래피살창에서 브래그효과로 인한 효율변화특성

조천규, 최철규

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《모든 과학자, 기술자들이 과학기술발전의 추세에 맞게 첨단과학과 기초과학발전에 힘을 넣어 나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제20권 62페이지)

기복변조형HDG(holographic diffraction grating)에서의 변조구조와 그것에 따르는 효율변화특성이 여러가지 측면에서 연구[1-4]되었으나 굴절률변조형HDG 특히는 《R-10(KBr)》으로 처리한 위상살창에서 효율변화특성을 구체적으로 밝힌 자료는 제기된것이 없다.

우리는 홀로그래피방법으로 굴절률변조형HDG를 제작한데 기초하여 그것의 에돌이효율에 미치는 인자들의 영향을 분석하고 효율특성을 연구하였다.

살창시편준비를 위한 광학계는 쌍프리즘에 의한 파면분할식으로 구성하였고 광원으로서는 출력이 $P=2\text{mW}$ 인 He-Ne레이자를 리용하였다. 《GS-I》형고분해능건판으로 공간주파수가 $50 \sim 1\,600$ 선/mm에 이르는 진폭변조형살창시편들을 준비하였고 《R-10(KBr)》으로 처리하여 위상변조살창을 얻었다. 진폭변조살창을 얻기 위한 화학처리는 《KODAK D-19》, 《F-5》용액 등으로 하였다. 효율측정에서는 감도가 $1.6 \times 10^{-9}\text{A/mm}$ 인 검류계와 결합된 빛2극소자를 빛수감요소로 리용하였다.

공간주파수에 따르는 효율변화특성을 보기 위하여 공간주파수가 각이한($\nu=50, 100, 200, 400, 700, 800, 1\,000, 1\,300, 1\,600\text{mm}^{-1}$) 진폭살창과 그에 해당하는 위상변조살창을 준비하였다.

공간주파수에 따르는 두가지 살창의 에돌이효율변화를 조사한 결과는 그림 1과 같다.

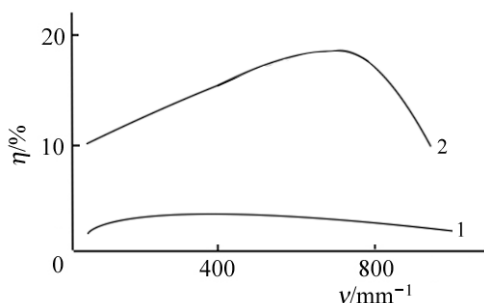


그림 1. 공간주파수에 따르는
에돌이효율의 변화
1—진폭변조, 2—위상변조

그림 1에서 보는바와 같이 진폭변조나 위상변조의 경우 모두 하나의 효율극대가 존재하였고 위상변조의 경우에는 진폭변조의 경우에 비하여 효율이 훨씬 높았다. 에돌이효율은 공간주파수가 커지는데 따라서 높아지다가 일정한 공간주파수구역에서 극대가 나타나고 다시 서서히 떨어졌다. 위상변조살창의 경우에 효율극대는 700mm^{-1} 근방에서 얻어졌다.

그림 1과 같이 공간주파수에 따라서 효율이 변하고 하나의 효율극대가 존재하는 원인을 밝히기 위하여 위상살창의 변조특성을 보았다.

먼저 빛의 입사각에 따르는 살창의 변화특성을 조사한데 의하면 매 살창에는 최대에 돌이효율을 나타내는 브래그각이 존재하였다. 브래그각측정실험에서는 He-Ne레이자빛(632.8nm)을 리용하였다.

이로부터 위상살창에서의 브래그각변화를 공간주파수에 따라 조사하였다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 브래그각은 공간주파수에 따라서 서서히 증가(공간주파수가 50mm^{-1} 으로부터 1600mm^{-1} 까지 커질 때 브래그각은 1° 로부터 32° 까지 증가)하였으며 이러한 측정결과는 식 $2\Lambda \sin \theta_B = \lambda$ 에 의하여 이론적으로 계산한 값들과 잘 일치하였다. 여기서 Λ 는 살창의 공간주기이고 λ 는 빛의 파장이다. 진폭살창의 경우에도 그림 2와 유사한 경향성을 나타내었다.

다음 위상변조살창의 경우에 브래그효과를 특징짓는 체적효과파라미터의 값을 평가(그림 3)해보면 공간주파수가 높아짐에 따라 Q 값이 커지고 이에 따라 체적효과가 커진다.(여기서 유제층두께에 대한 측정은 측정정확도가 0.001mm 인 옴찌미터 《IKB》로 하였는데 결과 $d_{\text{위상}} = 10\mu\text{m}$, $d_{\text{진폭}} = 9\mu\text{m}$ 였다.) 특히 $\nu = 700\text{mm}^{-1}$ 일 때 $Q=12.8$ 로서 $Q \geq 10$ 인 조건을 만족시키게 되며 따라서 체적효과는 $\nu \geq 700\text{mm}^{-1}$ 인 공간주파수구역에서 뚜렷이 나타나게 되는것은 합법칙적이라는것을 알수 있다.

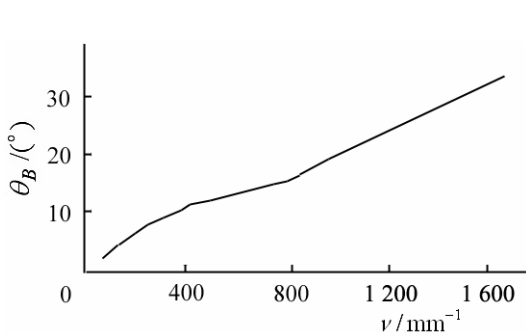


그림 2. 살창의 공간주파수에 따르는 브래그각의 변화특성

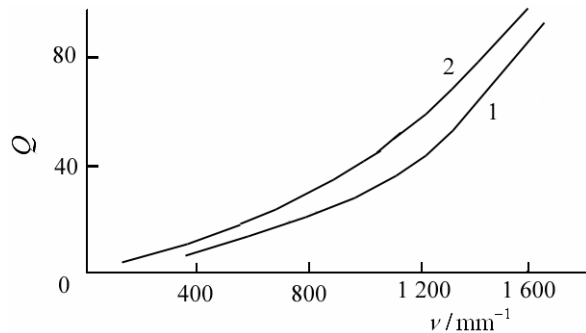


그림 3. 공간주파수에 따르는 체적효과파라미터의 변화
1-진폭살창, 2-위상살창

약 1000mm^{-1} 이상의 높은 공간주파수구역에서 $Q \geq 26.2$ 로서 체적효과가 더 커짐(그림 3)에도 불구하고 효율이 떨어지는 현상은 《R-10(KBr)》으로 처리한 살창의 경우 낮은 공간주파수구역에서와는 달리 높은 공간주파수구역에서 굴절률변조가 기본변조형식으로 되는 반면에 기복변조는 산란잡음의 원인으로 될수 있고 감광유제의 분해능에 한계가 있다는 사실과 관련시켜 설명할수 있다.

위상변조형에돌이살창에서 나타나는 체적효과를 더 구체적으로 밝히기 위하여 브래그각과 입사각사이의 편차에 대한 효율의 변화특성(에돌이효율의 각감도)을 공간주파수에 따라서 조사하였다.

각이한 공간주파수의 위상살창에 대하여 He-Ne레이자빛의 입사각을 변화시키면서 상대효율값의 변화를 측정하고 대표적인 몇가지 공간주파수의 경우에 대하여 표시한 결과는 그림 4와 같다.

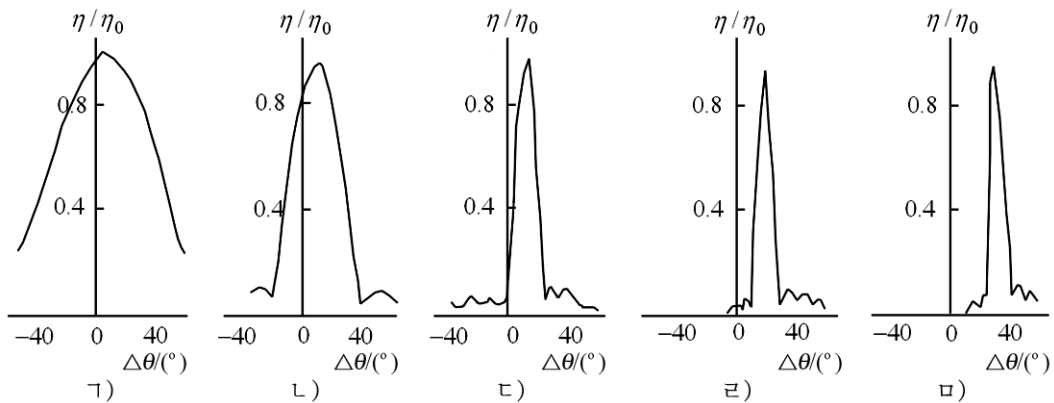


그림 4. 브래그각으로부터의 각편차에 따르는 효율의 변화

㉠)－㉡)는 공간주파수와 θ_0 이 각각 100mm^{-1} , 2° , 200mm^{-1} , 4° , 700mm^{-1} , 12° ,
 $1\,000\text{mm}^{-1}$, 19.5° , $1\,600\text{mm}^{-1}$, 32° 인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 효율곡선에서는 브래그각근방에 중심극대가 놓이고 그 좌우에 대칭적으로 극소와 부극대들이 번갈아놓이였다.

100mm^{-1} 이하의 낮은 공간주파수구역(그림 4의 ㉠))에서는 효율의 극대, 극소가 뚜렷하지 않고 완만한 중심극대만이 나타났으며 체적효과가 그리 크지 않았다. 그러나 100mm^{-1} 이상의 비교적 높은 공간주파수구역에 대하여서는 중심극대와 극소, 부극대들이 뚜렷하며 공간주파수가 커지는데 따라서 점차 예리해졌다.

효율의 각감도를 정량적으로 구하기 위하여 그림 4에서 중심극대의 각너비를 1차극소에 해당하는 각거리($\Delta\theta_{1/2}$)로 보고 공간주파수에 따르는 $\Delta\theta_{1/2}$ 의 변화를 측정 한 결과는 그림 5와 같다.

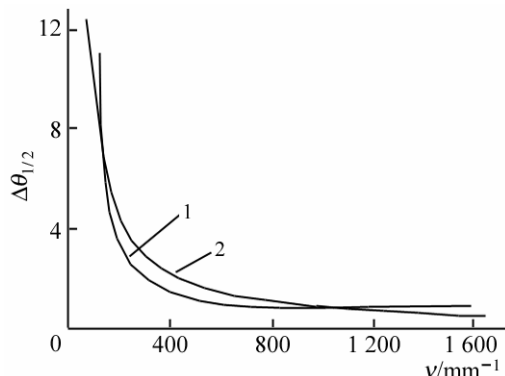


그림 5. 공간주파수에 따르는 중심극대의 각너비의 변화

1－진폭변조, 2－위상변조

그림 5에서 보는바와 같이 중심극대의 각너비는 공간주파수가 높아지는데 따라 처음에는 급격히 그다음에는 서서히 작아졌는데 약 $1\,000\text{mm}^{-1}$ 이상의 구역에서는 $\Delta\theta_{1/2} \approx 1^\circ$ 정도로 되었다. 즉 효율의 각감도는 공간주파수가 높아지는데 따라서 커진다. 이와 같은 경향성은 해당한 진폭살창의 경우에 대해서도 유사하게 나타났다.(그림 5의 곡선 2) 이러한 각감도특성은 그 살창의 변조구조와 관련시켜 설명할수 있는데 영상의 다중기록 및 정보축적홀로그래피기술에서와 위상투과살창을 분광학적요소로 리용하는 경우에 반드시 고려하여야 한다.

마지막으로 빛을 살창에 대하여 수직으로 입사시키는 경우 효율특성을 공간주파수에 따라서 연구한데 의하면 그림 6에서와 같이 낮은 공간주파수구역에서는 높은 효율이 관측되지만 공간주파수가 높아짐에 따라서 낮아지다가 약 700mm^{-1} 이상의 구역에서는 거의 영으로 떨어졌다.

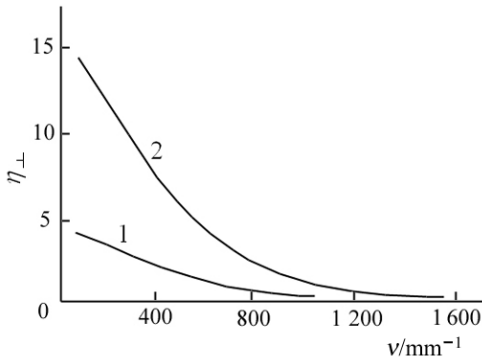


그림 6. 수직입사조건에서 공간주파수에 따르는 효율의 변화

700 mm^{-1} 근방에서 효율이 급격히 떨어지는 현상(그림 6의 곡선 2)은 바로 이 공간주파수구역에서 $Q=12.8$ 로서 브래그효과가 뚜렷이 나타나기 시작한다는 사실과 밀접히 관계된다는것을 명백히 확증하여준다. 이것은 HDG를 공간러파기와 같은 정보처리소자로 리용하는 경우에 저주파수구역의 살창으로 쓰는것이 합리적이라는것을 보여준다.

맺 는 말

1) 고분해능건판 《GS-I》형을 《R-10(KBr)》처리하여 얻은 HDG의 각감도특성을 조사하고 브래그효과가 뚜렷이 나타나는 공간주파수구역을 확정하였다.

2) 수직입사조건에서 최대에돌이효율은 낮은 공간주파수구역에서 얻어지며 따라서 공간러파용정보처리소자로서 HDG를 쓰는 경우 영상밝음도의 견지에서 저주파수구역의 HDG를 리용하는것이 합리적이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Hendricks; Physics for Engineering, Springer, 130~167, 2008.
- [2] Shunquan Wang et al.; Appl. Opt., **44**, 21, 4424, 2005.
- [3] N. Banyasz; Optics Communications, **267**, 356, 2006.
- [4] A. Migukin et al.; Appl. Opt., **52**, 1, 269, 2013.

주체104(2015)년 9월 5일 원고접수

Efficiency Variance Characteristics by Bragg Effect in Refractive-Index Modulation Type HDG

Jo Chon Gyu, Choe Chol Gyu

First, we have investigated the angle sensitivity characteristics of a HDG obtained by processing a high resolution plate of the type “GS-I” with “R-10(KBr)” and found the spatial frequency region where the Bragg effect is protruding.

Next, we have proved that the maximum diffraction efficiency at vertical incidence is found within the low spatial frequency region, and therefore that if we use HDG as a spatial filtering information processing unit it is advisable to use a HDG of the low spatial frequency region.

Key words: HDG, Bragg effect