

다중 영상처리용 홀로그래피 광학소자에 관한 연구

正會員 金 男*

A Study on the Holographic Optical Element for Multiple Image Processing

Nam Kim* *Regular Member*

要 約

가볍고 박막이며 자유공간 상호연결이 가능한 홀로그래피 광학소자 (HOE)를 제작하였다. 특히 광연결 및 다중영상처리를 위해서는 고효율이어야 하며 같은 파워의 스폿빔이 형성되어야 한다. 2차원 2진 위상 구조를 갖는 위상격자를 찾기위해 modified Newton 방식을 기초로 컴퓨터 시뮬레이션하여 비선형 방정식의 해를 구하였다. 플로터를 이용하여 원화를 그린다음 축소하여 마이크로 필름에 정보를 옮겼다. 마이크로 필름과 은염 홀로그램 필름을 접촉복사시켜 위상형 회절격자를 만들어 5×5 다중 스폿빔을 형성시켰다. 중앙 0차빔을 제외하고는 균일한 세기를 가졌으며 표백처리된 홀로그래피 광학소자는 고효율을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Holographic optical element(HOE) is fabricated with the properties of lightweight, thin thickness and interconnectivity for free space. Particularly, HOE for optical interconnection and multiple image processing should have a high efficiency and equal spot intensity. Nonlinear equations for 2-dimensional binary phase grating(BPG) structure is solved by computer simulation based on modified Newton method. Computer-generated pattern drawn by plotter is scaled down and translated into the microfilm. After contact printing between the microfilm and silver halide hologram film, phase diffraction grating produces the 5×5 multiple spots. Experimental results are shown that bleached phase grating has a high efficiency and equal focused beams except central zero order.

I. 서 론

*忠北大學校 情報通信工學科
Dept. of Information Telecommunication Eng., Choongbuk
University
論文番號 : 92-134 (接受1992. 4. 13)

산업사회에서 정보화시대로 발전하면서 대용량의 정보를 고속으로 처리할 수 있는 정보처리 시스템이 요구되고 있다. 현재 가장 많이 쓰이는 전자(elec-

tron)만을 이용한 정보처리에는 한계가 있음이 이미 알려져 있는데 예를들면 구리선을 통한 전자전송의 속도와 용량의 한계, 실리콘 반도체내에서의 전자속도의 한계등이다. 새로운 방식의 모색으로 기술적인 혁신이 요구되어 기계에서 전기, 전자에 이어 광자(photon)를 이용한 광정보처리에 많은 연구가 되고 있다.

광정보처리(optical information processing)는 속도가 빛의 속도로 행해지며 빛의 고유한 성질인 병렬성(parallelism), 직진성(directivity) 및 가간섭성(coherence) 등에 그 매력이 있다고 하겠다. 광파 및 광학기술에 있어서 기본이 되는 것은 광소재(optical materials)와 광소자(optical device)이며 홀로그래피를 이용하여 제작한 광학소자를 홀로그래피 광학소자(holographic optical element : HOE)라 부른다.

HOE는 얇은 필름에 기록되는 소자이므로 상대적으로 얇고 가벼우며 소형이다. 또한 결합렌즈(combined lens), 정합필터(matched filter), 빔 결합기/분파기(beam combiner / splitter)등 여러기능을 나타낼수 있어 복합적인 함수를 하나의 소자에 결합할 수 있다. HOE의 제작 및 재생은 절삭, 연마, 코팅에 의한 기계적 처리 보다는 현상, 정착, 표백등의 사진술 처리과정을 거치므로 상대적으로 간단하며 쉽게 복사가 가능하다. 이와같은 HOE가 많은 장점을 가지고 있으나 HOE의 성능은 기본적으로 기하학적인 수치와 회절효율로 평가되므로 실제적인 응용이 가능하기 위해서는 고효율 HOE가 되어야 한다.^[1]

최근에 다중 영상용 HOE(multiple-image HOE)는 다중영상을 생성시키거나 패턴인식(pattern recognition)에 사용되고 있으며 특히, 광학적 연결(optical interconnection)에 강력한 도구로 떠오르고 있다. 광 컴퓨팅(optical computing) 및 광 신경회로망(optical neural network) 분야에서 가장 문제가 되는 것이 광연결인데 이에 대한 연구가 절실해지고 있다. 광파의 병렬처리 성질을 살리기 위해서는 같은 세기(intensity)를 갖는 회절빔이 다중으로 나와야 하는데 이와같은 광 연결에 다중 영상용 홀로그래피 광학소자가 가장 적합하다고 하겠다.

II. 다중 영상처리용 HOE의 성질

광자(photon)는 전자에 비해 고속이며 넓은 대역폭을 갖고 전자파의 영향을 적게 받는다는 장점을 가

지고 있다. 이러한 광자의 장점을 이용하여 여러분야에 걸쳐 연구가 계속되고 있으며 광정보처리 기술은 각 응용분야에서 요구되는 각 소자의 발전을 통해서만이 이루어 질 수 있다.

최근에 다중 영상용 HOE는 가볍고, 박막인 물질로서 상호연결이 가능하므로 유용한 광연결(optical interconnection) 소자로 제시되고 있다. 다중영상 HOE를 광연결소자로 사용하기 위해서는 다음과 같은 성질을 가져야 한다.

- (1) 광입력 파워를 최소한 줄이는 고효율
- (2) 정확한 위치에의 영상 형성
- (3) 같은 파워의 빔형성
- (4) 가볍고 간단함

이러한 성질들은 만족하기 위한 기록물질과 기록기술에 대한 연구가 행해지고 있으며 현재까지 몇가지 방법들이 알려져 있다. 연속적으로 기록된 홀로그램은 한스택 한스택 반복과정을 따르는 것으로 각 스택마다 각각의 다른격자가 형성되는 것이다. 연속적으로 기록하는 방법에는 두가지가 있는데 첫째는 기준빔(reference beam)과 물체빔(object beam)의 각도를 달리하여 단일 홀로그램에 기록하는데 이 방법은 격자간의 변조가 없기때문에 높은 S/N비를 얻을 수 있으나 굴절률 변조의 한계로 다중영상을 넣을 수 있는 수가 제한된다. 둘째로는 홀로그램 영역을 N개의 facet으로 나뉘 각 facet마다 격자를 기록시키는 방식으로 이 경우는 facet 경계면 처리가 문제가 된다. 또다른 방식으로 Fresnel zone 플레이트를 겹쳐서 형성된 정보를 컴퓨터로 계산하여 플로터로 그려내는 전자계산기 생성 홀로그램(computer generated hologram : CGH)이 다중영상을 나타낼 수 있다. 이러한 CGH 패턴은 복잡하여 계산하는데 많은 시간이 소요되며 특히 광학적연결에 응용하기 위해서는 같은 크기의 출력이 나오도록 설계되어야 한다.

일반적으로 널리 상용되는 홀로그래피 감광물질로는 은염(silver halide), 중크롬산 젤라틴(DCG), 포토 리지스트(PR), 포토크롬, 열감응 플라스틱등이 있다.^[2,6] 또한 광굴절 매질(photorefractive crystal)로는 LiNbO₃, BSO, BGO, BTO 등이 있으며 이는 기록된 영상을 광에 의해 판독과 소거를 할 수 있어 재사용이 가능한 특징이 있으나, 효율이 낮고 가격이 비싼 단점이 있다. 그림 1은 노출량에 따른 여러 감광물질의 회절 효율이며, 표1은 기록형태, 처리과정, 감광도, 분해능, 효율등에 따른 특성등이다.

표 1. 홀로그래피용 기록물질

Table 1. Recording materials for holography

매질	재사용	처리과정	홀로그래피 형태	노출량 (J/m ²)	주파수 영역	해 상 도 (lines/mm)	최대 회절 효 율
Photographic emulsions	No	Wet chemical	Amplitude Phase	5 × 10 ⁻³ -5 × 10 ⁻¹	400-700	1000-10 000	0.05 0.60
Dichromated gelatin	No	Wet chemical	Phase	10 ²	350-580	>10 000	0.90
Photoresists	No	Wet chemical	Phase	10 ²	uv - 500	3000	0.30
Photopolymers	No	Post exposure	Phase	10 - 10 ⁴	uv - 650	200-1500	0.90
Photochromics	Yes	None	Amplitude	10 ² -10 ³	300-700	>5000	0.02
Photothermoplastics	Yes	Charge and heat	Phase	10 ⁻¹	400-650	500-1200 (bandpass)	0.30
Photorefractive							
LiNbO ₃	Yes	None	Phase	10 ⁴	350-500	>1500	0.20
Bi ₁₂ SiO ₂₀	Yes	None	Phase	10	350-550	>10 000	0.25

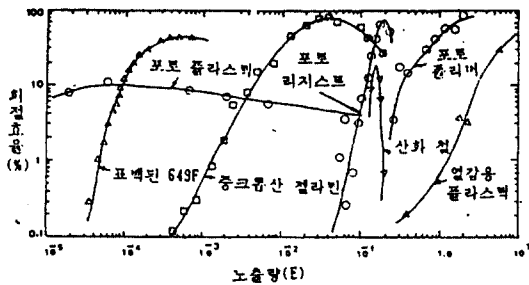


그림 1. 노출량에 따른 감광 물질의 회절효율
Fig. 1. Diffraction efficiencies of recording materials as a function of exposure

본 논문에서는 그림1과 표1에서 보듯이 다른물질에 비해 고감도이며 다루기가 용이한 은염 홀로그래피 기록매질인 Agfa 8E75HD를 사용한다.

III. 2진 위상격자(BPG) 이론

일반적인 2진 위상격자(binary phase grating)의 구조는 다음과 같다.

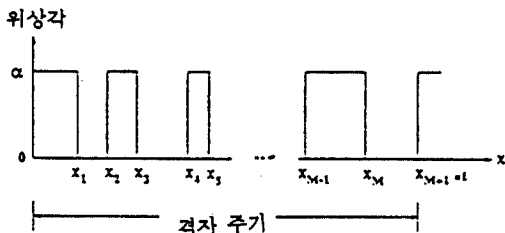


그림 2 2진 위상격자의 구조
Fig. 2. Structure of binary phase grating

2진 위상격자는 주기적인 구조이며, 위상은 2개의 값만 갖는다. 그림2의 1차원적인 것을 2차원으로 확대할 수 있으며 수식적으로 표현하면 다음과 같다.^[7,8]

$$f(x) = \sum_{i=1}^{(M-1)/2} \frac{x - (x_{2i} + x_{2i-1})/2}{x_{2i} - x_{2i-1}} \quad (1)$$

$x_0 = 0, x_{M+1} = 1, x \in [0, 1], M$: 홀수
투영함수(transparency function) $g(x)$ 는 다음과 같다.

$$g(x) = [2f(x) - 1] \sin\phi + i \cos\phi \quad (2)$$

이 식을 Fourier 변환하여, 2진 위상격자의 주파수 분포를 얻으면 다음과 같다.

$$G(k) = F\{g(x)\}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \quad (3)$$

0차와 0차 아닌 경우를 분리하면 다음과 같다.

$$G(0) = (1 - \sum_{m=1}^{M+1} (-1)^m x_m) \exp(i\phi) + \sum_{m=1}^{M+1} (-1)^m x_m \quad (4)$$

$$G(k) = \frac{\sin(\phi/2)}{i2\pi k} \sum_{i=1}^{(M+1)/2} [(\sin 2\pi k x_{2i} - \sin 2\pi k x_{2i-1}) + i(\cos 2\pi k x_{2i} - \cos 2\pi k x_{2i-1})] \quad (5)$$

파워 스펙트럼 $I_k(x, \phi)$ 는 $|G(k)|^2$ 이므로, 0차 회절파의 세기와 k 차 회절파의 세기는 다음과 같다.

$$I_0(x, \phi) = 1 + 4\sin^2(\phi/2) \times \left(\sum_{i=1}^{M+1} (-1)^m x_m \right) \left(\sum_{m=1}^M (-1)^m x_m \right) \quad (6)$$

$$I_k(x, \phi) = \frac{2\sin^2(\phi/2)}{\pi^2 k^2} \times \left(\sum_{m=2}^{M+1} \sum_{j=1}^{m-1} (-1)^{m+j} \cos[2\pi k(x_m - x_j)] \right) \quad (7)$$

위식에서는 $-N$ 차부터 N 차까지 모든 회절파의 세기가 균일한 값을 갖는 2진구조를 찾는 것이다. 갑작스럽게 천이하는 점들의 집합 $\{x_i\}$, $i=0, 1, 2, \dots, M, M+1$ 로 표현되는 x_i 값과 위상천이 ϕ 를 유도하여야 한다. 이러한 조건을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$I_{-N} = I_{-N+1} = \dots = I_{-1} = I_0 = I_1 = \dots = I_N \quad (8)$$

0차 회절파를 제외하고는 대칭이므로 $I_k(x, \phi) = I_{-k}(x, \phi)$ 이고 위식은 반으로 줄어든다. 일반적으로 대부분의 에너지가 중앙으로 집중되고 가능한한 회절효율이 최대가 되어야하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I_0(x, \phi) = I_1(x, \phi) = \dots = I_{N-1}(x, \phi) = I_N(x, \phi) = \text{최대} \quad (9)$$

위식으로부터 다음과 같은 비선형 방정식(nonlinear equation)이 세워진다.

$$I_k(x, \phi) = p \hat{I}_k(x, \phi), \quad k=0, \pm 1, \dots, \pm N \quad (10)$$

p 는 회절효율을 뜻하고 \hat{I}_k 는 이상적인 스펙트럼 분포의 경우를 나타낸다. $\hat{I}_k = 1/(2N+1)$ 이고, 이것은 0차부터 $\pm N$ 차까지 균일하게 분포됨을 의미한다. 표준 비선형 방정식은 다음과 같다.

$$F_k(X, \phi) = I_k(X, \phi) - P/(2N+1) = 0 \quad (11)$$

최근에 컴퓨터 과학의 발달로 이러한 비선형 문제를 푸는 방법들이 많이 개발되었는데 특히 steepest descent method, Newton-Raphson method, simulated annealing 등과 같은 수치해석 방법이 있다. [9-14] 그러나 현재 사용되는 것 중 가장 기본적이고 중요한 방법이 Newton 방법(Newton's method)인데, 이 방식은 일반적으로 근에 가까운 곳에서 반복(iter-

ation)이 시작되어야만 수렴한다. 수렴영역을 넓히기 위해 Newton 방법을 적당히 개조한 방식들이 나와 있는데, Newton 방식을 이용하기 위해 적당한 시작점을 찾는 방식들이 주류를 이루고 있다.

Newton 방법에 기초를 두고 앞식을 풀기 위한 새로운 개선책으로 automatic homotopy changing method가 있다.

$$H(X, t, X^0) \equiv F(X) + (1-t)F(X^0) \quad (12)$$

$$H(X, t, A, X^0) \equiv F(X) - (1-t)F(X^0) - (1-t^3)A(X - X^0) \quad (13)$$

$$H(X^0, 0, A, X^0) \equiv 0 \quad (14)$$

$$H(X, 1, A, X^0) \equiv F(X) \quad (15)$$

반복과정을 거쳐 $x(t)$ 에 대한 추적을 할 때 다음과 같은 법칙에 따른다. [13]

$$\text{sign}(a_i) = \text{sign}(\partial f_i / \partial x_i) \quad (16)$$

$$|(1-t_k^3)a_i + \partial f_i / \partial x_i| > \sum_{j=1}^n |\partial f_i / \partial x_j|, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (17)$$

컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 위 식들을 만족하는 정확한 해를 구한다. 해를 구하기 위한 수렴조건으로는 앞에서 언급한대로 균일한 회절효율을 가져 표준편차(standard deviation)가 0.1 보다 작고 전체 회절효율이 60% 이상을 갖도록 설정하였다. 또한 마스크를 실제 제작하는데 있어 분해능을 고려하여야 함으로 인접한 천이점(transition points) 간격에 제한을 두었다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 패턴 제작

일반적으로 회절효율 p 가 최대인 가장 좋은 해를 구한다. 예를 들어 $N=2$ 일 때를 구하면 $\{x_i\}$ 값과 각 차수의 회절효율은 다음과 같다.

$$x_1 = 0.019369$$

$$x_2 = 0.367536$$

$$0\text{차 회절파 효율} = 0.154188$$

$$\pm 1\text{차 회절파 효율} = 0.154829$$

$$\pm 2\text{차 회절파 효율} = 0.154939$$

소수점 3자리까지 회절효율이 같음을 알 수 있으며 전체 회절효율은 77.43% 이다. N이 3인 경우는 다음과 같다.

$$x_1 = 0.104582$$

$$x_2 = 0.155199$$

$$x_3 = 0.377115$$

$$0\text{차 회절과 효율} = 0.093630$$

$$\pm 1\text{차 회절과 효율} = 0.093649$$

$$\pm 2\text{차 회절과 효율} = 0.093619$$

$$\pm 3\text{차 회절과 효율} = 0.093519$$

전체 회절효율은 65.5% 이다. 회절격자는 좌우 대칭이므로 $2N+1$ 차 회절과가 1차원적으로 나타나고 2차원 배열의 경우는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 회절과가 나타난다. N이 3인 경우는 7×7 배열이 된다. N이 4인 경우는 다음과 같다.

$$x_1 = 0.099245$$

$$x_2 = 0.159442$$

$$x_3 = 0.368859$$

$$x_4 = 0.491857$$

$$0\text{차 회절과 효율} = 0.071409$$

$$\pm 1\text{차 회절과 효율} = 0.072933$$

$$\pm 2\text{차 회절과 효율} = 0.073995$$

$$\pm 3\text{차 회절과 효율} = 0.074636$$

$$\pm 4\text{차 회절과 효율} = 0.075066$$

전체 회절효율은 66.5% 이다. N이 4이므로 앞의 경우 처럼 계산하면 9×9 배열이 된다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구한 $\{x_i\}$ 에 의해 대형 plotter를 이용하여 최대한 크게 그린 다음 축소된 그림이 다음과 같다.

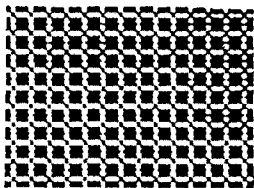


그림 3. 2진 위상격자의 2차원 패턴

Fig. 3. 2-dimensional pattern of binary phase grating

그림 3을 마이크로 필름에 담아 은염 홀로그래피 필름(silver halide hologram film)에 접촉복사(contact printing)를 하여 다중 영상처리용 홀로그래피 광학소자를 제작한다. 은염 홀로그래피에 접촉복사를 할때 고효율을 얻기 위해 노출량을 변화시켜 가며 실험을 하였다. 홀로그래피를 제작하기 위해 본 실험에서 이용한 화학적 처리방식과 용액 조성비는 참고문헌 [15]을 인용하였다. 현상 및 정착을 거친후 상용표백(conventional bleaching) 방식을 통해 진폭형(amplitude type) 회절격자에서 위상형(phase type) 회절격자로 전환하였다.

V. 실험 및 결과고찰

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구한 격자간격을 2차원적으로 그려 마이크로 필름에 축소한 2진 위상격자(BPG)를 다음과 같은 광학장치를 통해 각 차수의 회절과를 측정한다.

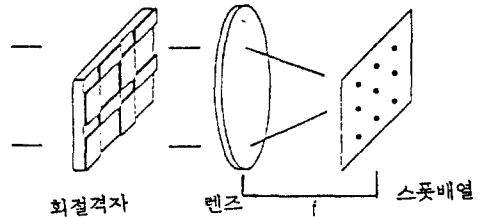


그림 4. 2진 회절격자를 이용한 스팟배열 광학장치

Fig. 4. Optical setup for spot array using binary phase grating

균일한 세기를 갖는 레이저 평행광을 2진 회절격자에 조사하고 뒤에 촛점길이가 긴 렌즈를 놓아 Fraunhoff 회절패턴이 나타나도록 한다. 사진1은 2진 위상정보가 들어있는 마이크로 필름을 놓았을때 촛점평면에 나타나는 5×5 다중 스팟배열이다. 표2은 각 차수의 회절과를 광파워미터를 사용해 측정한 광세기이다.

마이크로 필름은 플로터로 그린 원화를 축소된 필름으로 명암(white & black)으로 2진 상태가 기록된 진폭형(amplitude), 박막형(thin) 회절격자이므로 회절효율이 6%을 넘을수 없어 효율이 좋지않다. 표2에서 보듯이 가운데 회절과는 주변의 회절과에 비

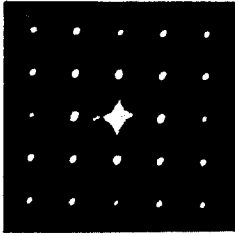


사진 1. 5×5 다중 스폿배열(마이크로 필름을 회절격자로 사용한 경우)

Photo 1. 5×5 multiple spot array using the grating in microfilm

표 2. 5×5 다중 스폿빔의 광세기 분포 (마이크로 필름을 회절격자로 사용한 경우)

Table 2. Beam intensity distribution of 5×5 multiple spot array using the grating in microfilm

2.39	2.89	3.79	2.86	2.37
2.80	3.19	7.58	3.13	2.76
2.64	4.05	61.40	3.94	2.74
2.85	3.18	7.60	3.31	2.81
2.40	2.82	2.80	2.90	2.38

해 상대적으로 상당히 큼을 알 수 있다. 이것은 진폭형, 박막형 회절격자이므로 모든 차수로 끌고루 회절시키지 못하고 통과하는 0차 투과파(transmitted wave)의 영향 때문이다. 그러나 가운데 파를 제외하고는 상당히 균일한 회절과 배열을 얻을 수 있다. 광학적 연결을 위해서는 회절효율이 좋아야 하므로 진폭형 회절격자를 위상형 회절격자로 바꿔야 한다. 이론적으로 위상형 회절격자는 회절효율이 100%를 가질 수 있으나 실제적으로는 홀로그램 기록매질의 종류에 따라 매우 다양하다. 은염(silver halide)이나 중크롬산 젤라틴(dichromated gelatin : DCG) 감광물질의 경우는 표백(bleaching) 과정을 통해 진폭형에서 위상형으로 전환할 수 있다. 포토 리지스트(photoresist)을 사용할 경우는 표면양각(surface relief)에 의해 진폭형 정보가 위상형으로 바뀌게 되는데 표면에서부터의 깊이와 격자간격과의 함수관계에 따라 효율이 결정된다. 최근에는 반도체 VLSI 제조과정에서 사용하는 화학적 부식방법(chemical etching)을 이용하는 이온빔 부식방법(ion beam etching)을 사용하기도 한다.

본 논문에서는 홀로그램 감광물질로는 은염필름을 사용하고 상용표백처리 과정을 거쳐 위상형 회절격자(phase diffraction grating)로 바꾸었다. 마이크로 필름과 은염 감광물질을 밀착시켜 접촉복사(contact printing) 시키는 방법을 통해 정보를 천이시킨 후 측정된 5×5 회절빔의 세기는 표3와 같다.

표 3. 5×5 다중 스폿빔의 광세기 분포-노광세기 1.5 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$](위상형 회절 격자의 경우)

Table 3. Beam intensity distribution of 5×5 multiple spot array using phase grating in silver halide-exposure 1.5 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

.255	.279	.279	.281	.263
.282	.311	.370	.309	.276
.274	.356	2.870	.352	.272
.282	.310	.366	.310	.279
.271	.283	.283	.288	.268

접촉복사를 통해 위상형으로 전환시 노출량(exposure intensity)에 따라 변조도(modulation index)가 변하기 때문에 노출시간 값을 조절하여 노출량을 변화시켜 가면서 제작하였다. 표4는 노광량이 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]일때이며 표5는 노출량이 3 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]이다.

표 3,4,5의 경우 표준편차가 0.5, 0.49, 0.32이나 중앙의 빔을 제외하고 표준편차를 구하면 0.032, 0.029, 0.044로 중앙빔을 제외한 모든 차수의 회절빔들은 균일함을 알 수 있다. 사진2는 위상형 회절격자의 경우 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]의 노광량을 조사했을때의 다중 스폿빔이다.

표 4. 5×5 다중 스폿빔의 강세기 분포-노광세기 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$](위상형 회절격자의 경우)

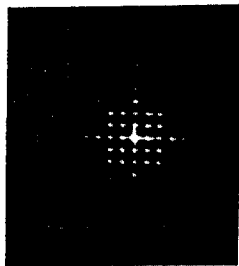
Table 4. Beam intensity distribution of 5×5 multiple spot array using phase grating in silver halide-exposure 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

.277	.297	.277	.298	.282
.294	.315	.372	.320	.292
.277	.358	2.830	.355	.275
.291	.319	.366	.315	.291
.282	.297	.280	.297	.277

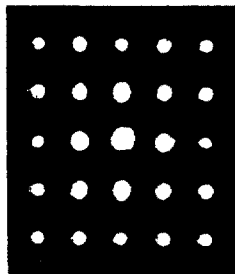
표 5. 5×5 다중 스폿빔의 광세기 분포-노광세기 3.0 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] (위상형 회절격자의 경우)

Table 5. Beam intensity distribution of 5×5 multiple spot array using phase grating in silver halide-exposure 3.0 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

.264	.271	.276	.270	.250
.279	.306	.391	.307	.269
.279	.381	1.920	.381	.270
.273	.308	.389	.305	.267
.256	.269	.271	.266	.251



(a)



(b)

사진 2. 5×5 다중 스폿빔 분포-노광세기 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

Photo 2. 5×5 multiple spot beam distribution-exposure 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

0차빔을 제외한 평균세기는 0.3043 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]이고 각 차수들의 표준편차(standard deviation)는 0.05 이하이다. 노광량이 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]일때 표준편차가 가장 적고 노출량이 3 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]일때 중앙 0차빔이 가장 작음을 알 수 있어 회절 효율이 노출량의 함수임을 알 수 있다.

표4의 실험 측정값을 회절효율로 나타내면 표6과 같다. 각 행(low)별로 회절효율을 구하면 0차 회절과

표 6. 5×5 다중 스폿빔의 회절효율-노광세기 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] (위상형 회절격자의 경우)

Table 6. Diffraction Efficiency of 5×5 multiple spot array using phase grating in silver halide-exposure 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

0.027	0.029	0.027	0.029	0.027	+2차	0.1412
0.029	0.031	0.036	0.031	0.028	+1차	0.1571
0.027	0.035	0.279	0.035	0.027	0차	0.4041
0.028	0.031	0.036	0.031	0.028	-1차	0.1561
0.027	0.029	0.027	0.029	0.027	-2차	0.1414

효율은 0.404, ±1차 회절과 효율은 0.1571, ±2차 회절과 효율은 0.1412이다. 이 회절효율 변환값은 ±1차, ±2차 회절과의 경우 앞절의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 볼 수 있다. 0차 회절과의 경우는 중앙의 0차빔이 상대적으로 크기 때문에 많은 오차가 나타나 중앙의 0차빔을 제외한 다른 0차 회절과 효율은 0.1248로서 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 일치함을 볼 수 있다.

0차빔이 세기가 큰것은 중앙으로 집중된 빔을 제대로 회절을 시키지 못함을 뜻하며 plotter로 그린 원화를 축소하는 과정에서 계속해서 실험한 결과, 축소율이 높을수록 중앙의 0차빔이 감소함을 알 수 있었다. 즉, 격자간격이 박막형(thin type)과 부피형(volume type)을 결정하는 Q값에 지대한 영향을 미쳐 축소를 충분히 하여야 Q값이 10보다 커 부피형이 된다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 원화를 1/50 축소한 것으로 더 축소를 하면 중앙의 0차빔이 균일하게 퍼질 것으로 기대되나, 더이상 줄이면 크기가 너무 적어 실험하는데 어려움이 있었다. 원화를 1/250 축소한것을 실험한 결과 중앙의 0차빔이 노광량이 1.8 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]일때의 표4의 중앙 0차값의 반으로 줄어드는 것을 확인하였다. 그러나 2진 회절격자의 셀(cell) 크기가 너무 작어져 회절격자가 하나의 개구면(aperture)로 회절을 일으켜 전반적으로 스폿빔이 명확하지 않고 흐려지는 현상이 일어났다. 앞으로 더 큰 plotter를 사용하거나 아니면 더 분해능이 좋은 레이저 프린터를 사용하여 원화를 그린 후 축소한다면 원하는 격자간격을 얻을 수 있을 것이다.

VI. 결 론

다중 영상용 홀로그래피 광학소자(HOE)는 최근

에 각광을 받고 있는 광 컴퓨팅과 광 신경회로망의 광학적 연결에 유용하게 사용될 것이다. 이와같이 응용되기 위해서는 소형, 경량이며 같은 빔 세기를 가지도록 계속적인 연구가 요구되고 있다. 현재 사용하고 있는 기존의 다중 초점 렌즈나 광도파관 방식보다 고효율이고, 제작과정이 간편하며 자유공간 광배선이 가능한 다중 영상용 홀로그래피 광학소자를 제작 실험하였다.

2차원 2진 위상구조를 갖는 위상격자를 찾기위해 modified Newton 방식을 기초로 컴퓨터 시뮬레이션 하여 비선형 방정식의 해를 구하였다. 플로터를 이용하여 원화를 그린다음 축소하여 마이크로 필름에 정보를 옮겼다. 마이크로 필름과 은염 홀로그램 필름을 접촉복사시켜 노광량에 따른 회절효율을 측정하였다. 노광량이 180 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]일때 표백처리된 고효율 위상형 회절격자를 얻을 수 있었으며, 5×5 다중 시뮬빔을 형성시켰다.

광학적 연결을 위해 특히 균일한 빔세기를 갖는 것이 요구되는데 중앙의 0차빔을 제외한 다른차수의 빔의 세기는 매우 균일하고 대칭적이며 표준편차가 0.1 이하로 나타났다. ±1차, ±2차 회절파의 효율은 0.1572, 0.1412로 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 보였고 0차 회절파는 오차가 있어 보이나 중앙의 0차 회절파를 제외한 회절효율은 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 매우 근접하였다. 0차 빔이 세기가 상대적으로 큰것은 중앙의 빔이 아직도 분산 회절되지 못한 양이 있다는 것을 뜻한다. 격자 간격이 μm 단위로 작아지도록 축소하거나 lithography기술을 사용한 화학적 부식방법(chemical etching)을 이용하면 이 문제를 어느 정도 해결할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. B.J. Chang and C.D. Leonard, "Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements," Appl. Opt., vol.18, pp.2407-2417, July 1979.
2. R.C. Enger and S.K. Case, "High frequency holographic transmission gratings in photoresist," JOSA, vol.73, no.9, pp.1113-1118, Sep. 1984.
3. D.J. Cooke and A.A. Ward, "Reflection hologram processing for high efficiency in silver

- halide emulsions," Appl. Opt., vol.23, pp.934-941, March 1984.
4. M.G. Moharam and T.K. Gaylord, "Diffraction analysis of dielectric surface-relief gratings," JOSA, vol.72, no.10, pp.1385-1392, Oct. 1982.
5. T.A. Shankoff, "Phase holograms in dichromated gelatin," Appl. Opt., vol.7, pp.2101-2105, Oct. 1968.
6. P. Hariharan, "Bleached photographic phase holograms," Opt. Comm., vol.56, pp.318-320, Jan. 1986.
7. H. Dammann and K. Gortler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase holograms," Opt. Commun. vol.3, pp.312-315, 1971.
8. H. Dammann and E. Klotz, "Coherent optical generation and inspection of two-dimensional periodic structures," OPTICA ACTA, vol.24, no.4, pp.505-515, 1977.
9. J.Jahns, M. M.Downs, M. E. Prise, N. Streibl and S. J, Walker, "Dammann gratings for laser beam shaping," Opt. Eng., vol.28, no.12, pp. 1267-1275, Dec. 1989.
10. U. Krackhardt and N. Streibl, "Design of Dammann-grating for array generation," Opt. Comm, vol.74, no.12, pp.31-36, Dec. 1989.
11. N. Streibl, "Beam shaping with optical array generators," Journal of modern optics, vol.36, no.12, pp.1559-1573, 1989.
12. M.R. Taghizadeh, J.I.B. Wilson, J. Turunen, A. Vasara, and J. Westerholm, "Optimization and fabrication of grating beamsplitters in silicon nitride," Appl. Phys. Lett., vol.54, No.16, pp.1492-1494, April 1989.
13. F. B. McCormick, "Generation of large spot arrays from a single laser beam by multiple imaging with binary phase gratings," Opt. Eng., vol.28, no.4, pp.299-304, April 1989.
14. J. C. Kirsch, D. A. Gregory, T. D. Hudson and D.J.Lanteigne, "Design of photopolymer holograms for optical interconnect applications," Opt. Eng., vol.27, no.4, pp.301-308, April 1988.
15. 김남, 길상근, 박한규, "은염에 형성된 위상형 회

절격자의 고효율에 관한 연구,” 대한전자공학회
논문지, 제26권, 제3호, pp.145-152, 3월, 1989년.

金 男(Nam Kim)

正會員

1959년 3월 30일생

1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학사

1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학석사

1988년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학박사

1989년~현재 : 충북대학교 조교수