

공간 광변조기를 이용한 임의의 빔 패턴 발생장치 구현

正會員 李得周*, 尹秉浩*, 金 男*, 全石熙**

Implementation of Arbitrary Beam Pattern Generator using Spatial Light Modulator

Deug-Ju Lee*, Byeong-Ho Yoon*, Nam Kim*, Seok-Hee Jeon** Regular Members

본 연구는 한국과학재단 '94특정연구과제 지원에 의해 이루어짐

要 約

광학 연결용 소자인 위상격자를 비분리, 줄무늬 형태로 설계하고 공간 광변조기를 이용하여 실시간 광연결을 실험하였다. 격자의 발생패턴은 규칙적인 간격의 5×5 배열, OIP 문자열 그리고 자동차 모양으로 회절효율은 약 60% 이상이다. 공간 광변조기는 Philips 뷰파인더에 부착된 LCD를 사용하였으며, 컴퓨터에 의해 고속으로 위상정보를 전송받아 임의의 빔 배열에 의한 공간 광연결을 실현시켰다. LC-SLM을 이용한 빔 패턴 발생 결과는 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 정성적으로 일치하였으며 실시간 광연결의 가능성을 보여주었다.

ABSTRACT

We designed the nonseparable, stripe geometry phase gratings for real-time optical interconnection using spatial light modulator. This gratings generated $5^\circ \times 5$ spot array, OIP, and car-shaped spot patterns which have their diffraction efficiencies over 60%. Spatial light modulator is the liquid-crystal device of Philips viewfinder whose phase delay is controlled by a computer at high speed. Experimental results showed that the liquid-crystal spatial light modulator has a qualitative diffraction characteristics same as computer simulations and real-time interconnection is possible in free space.

*충북대학교 공과대학 정보통신공학과
Dept. of Computer & Communication Eng.,
Chungbuk National Univ.

**인천대학교 공과대학 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Univ. of Incheon
論文番號 : 95080-0221
接受日字 : 1995年 2月 21日

I. 서 론

반도체 기술을 이용하여 제작된 표면양각(surface-relief) 형태의 격자는 일차원이나 이차원의 균일한 광 세기를 갖는 빔 배열을 발생시킬 수 있다. 이진 위상격자는 제작이 간단하며 대개 1×2 부터 128×128 정도 까지 다양한 크기의 빔 배열 발생을 위해 사용된다. 대부분의 병렬 디지털 광 시스템(parallel digital optical systems)에는 격자를 이용한 배열 발생기가 필수적이며 자유공간 광 스위칭(free-space optical switching)과 자유공간 광 연결(free-space optical interconnection)등의 응용분야에서도 이진 위상격자가 효과적으로 사용된다^(1,2,3,4).

Dammann 격자는 위상격자 중 가장 간단한 형태로서 좌우가 대칭인 일차원 구조를 이차원으로 확장시킴으로 설계와 제작이 간편하다⁽⁵⁾. Dammann 격자는 대칭적인 구조로 인해 위상형 회절격자의 높은 이론적 효율을 제공하지 못한다는 단점을 가지지만 위상을 다양하게 변화시킴으로 회절효율을 개선시킬 수 있다. 위상변화가 0과 π 로 이루어지도록 설계된 격자보다 0과 임의의 위상 θ 로 설계된 격자는 1×5 빔 배열 발생에서 4%의 효율 향상을 가져올 수 있으며, 연속적인 위상변화를 갖도록 설계된 격자는 14%의 효율 증가를 가져올 수 있다. 위상격자는 위상의 변화 뿐만 아니라 격자의 구조에 따라 또한 효율의 차이를 보인다. 위상을 0과 π 로 두었을 때 비대칭적 구조로 설계된 비분리형은 대칭적 구조의 분리형보다 10% 이상 높은 효율을 나타낸다. 따라서 격자는 비분리형이며 위상이 임의의 여러 단계를 가지는 것이 이상적이다^(6,7,8).

주소를 지정하여 각 화소를 제어할 수 있는 액정 공간광변조기(addressable liquid-crystal spatial light modulator)는 광 정보처리와 디스플레이 장치에 많이 사용된다. Fresnel 렌즈의 이차원 배열로도 실현 가능한 공간광변조기(SLM)는 광학적으로 어드레스를 제어하는 방식과 전기적인 신호로 어드레스를 제어하는 방식이 있다. LCLV(liquid-crystal light valve)는 광학적으로 어드레스가 제어되는 방식이고, 화소형 액정 디스플레이 소자와 Fresnel 렌즈 형태의 전극 소자는 전기적으로 어드레스를 제어하는 방식이다. 전기적으로 어드레스를 제어하는 액정 공간광변조기는 컴퓨터에 의해 쉽게 제어될 수 있어 임의의 위상변화 정보를

빠른 속도로 직접 전송받을 수 있는 장점이 있다^(9,10).

컴퓨터 생성 홀로그램(computer-generated hologram : CGH)을 이용한 광 패턴인식 시스템에 주로 사용되어온 SLM은 다중 빔 배열 발생을 위한 격자로도 사용될 수 있다. 반도체 기술을 이용한 석판화술(lithography)에만 의존되어온 빔 배열 발생용 위상형 회절 격자에서는 높은 효율과 균일한 빔 세기가 중요한 요소이다. 그러나 LCD 제조기술은 지금까지 만족할만한 광 투과 효율과 우수한 회절특성을 갖는 충분한 해상도의 소자를 만들지 못해왔다. 최근 반도체 기술의 발달로 높은 해상도를 갖는 행렬 어드레스를 이용한 화소형 박막 트랜지스터(TFT : thin-film transistor) 디스플레이가 등장하였다. TFT를 이용한 디스플레이는 화상을 NTSC 신호형태의 전기적인 신호로 전환하여 전송함으로써 원하는 위상을 직접 LCD 패널에 표시할 수 있으며 수 밀리초 이하의 빠른 응답시간을 갖는다⁽¹¹⁾.

공간광변조기는 컴퓨터를 이용하여 자유로이 조절할 수 있다는 특징 이외에도, 다위상(multi-phase) 격자가 석판화 기법을 이용하여 제작될 때 각 위상을 제대로 구현하기가 어려운데 반해 다위상의 표현이 간단하다. 또한 비분리형 격자는 이차원 임의의 다중빔을 높은 효율로 발생시킬 수 있다^(12,13,14). 본 논문은 반도체 공정을 통해 제작된 격자에 의한 다중 빔 배열 발생에서의 시간적 한계를 극복하고 컴퓨터와 SLM의 특징을 이용하여 능동소자로서 다중 빔 발생기를 구현한다. 그리고 SLM과 설계된 격자를 이용한 자유공간 광연결 장치를 제안한다. 이러한 연구는 최근까지 이루어지지 않았던 방법으로 SLM 제조기술의 발전속도로 보아 가까운 미래에 실제적인 적용이 가능하리라 예측된다.

II. 이진 위상격자 이론

위상격자는 박막이고 주기적이며 이차원 위상 양자 구조를 가지는 것으로 정의될 수 있다. 그림 1은 비대칭적인 구조를 갖는 이진 위상격자의 일례를 보여주고 있다. 그림 1은 비대칭적인 일차원 격자가 수직으로 연결되어 있는 형태로 위상격자의 복소진폭 투과함수는 식(1)과 같은 특성을 갖는다.

$$g(x, y) = \exp [i\theta(x, y)] \quad (1)$$

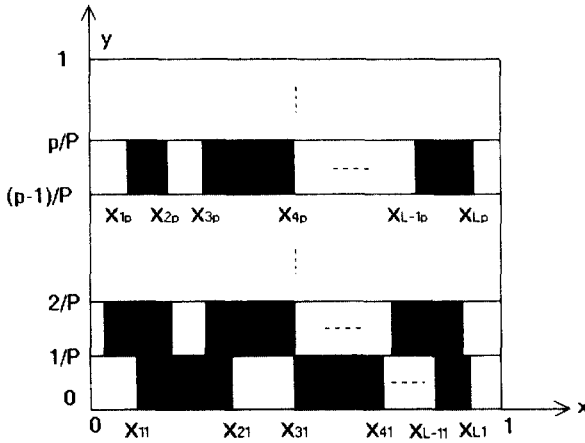


그림 1. 줄무늬형 격자의 주기 구조
Fig. 1. The structure of one period of stripe-geometry gratings

$\theta(x, y)$ 는 격자의 각 위치에서의 위상을 의미하며 x, y 방향으로 격자의 한 주기 T 를 1로 할 때 $\theta(x+T, y+T) = \theta(x, y)$ 가 된다. $\theta(x, y)$ 는 0과 2π 사이의 값을 갖는 θ_{lp} 로 표현할 수 있고 l 과 p 는 정수이다.

$$\begin{aligned} x &\in \left(\frac{l-1}{L}, \frac{l}{L} \right), & l &= 1, \dots, L \\ y &\in \left(\frac{p-1}{P}, \frac{p}{P} \right), & p &= 1, \dots, P \end{aligned} \quad (2)$$

위상격자에 진폭이 일정한 평면파가 조사(照射)되면 Fraunhofer 회절이론에 의해 일정한 간격의 회절차(diffraction order)로 전환된다. 투과함수가 다수의 회절차들로 전환되는 과정은 위상격자를 무한히 확장하면 Fourier 시리즈로 전개 가능하며 식(3)과 같이 된다.

$$g(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(m, n) \exp[-i2\pi(mx + ny)] \quad (3)$$

위의 식(3)에서 $G(m, n)$ 은 회절차들의 진폭함수를 나타내며 식(4)와 같이 표현된다.

$$G(m, n) = \int_0^1 \int_0^1 g(x, y) \exp[-i2\pi(mx + ny)] dx dy \quad (4)$$

위의 식(4)에 식(1)과 식(2)를 치환하면 식(5)와 같

은 수식을 얻을 수 있다.

$$G(m, n) = \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \int_{(l-1)/L}^{l/L} \int_{(p-1)/P}^{p/P} \exp[i\theta_{lp} - i2\pi(mx + ny)] dx dy \quad (5)$$

P, L 은 각각 한 격자주기에서 x 와 y 방향으로의 전이점(transition point) 수를 나타낸다. 이상과 같은 수식에서 전이점의 위치를 결정한 후 격자를 설계하여 Fourier 변환하면 원하는 크기의 스폿 패턴을 얻을 수 있다. 진폭함수 $G(m, n)$ 을 제공하면 광학적인 세기가 되고 각각의 회절차들은 위상이 두 개인 이진 위상격자의 경우에는 역대칭의 패턴을 이루며 kinoform과 같은 다위상 격자는 역대칭이 아닌 특정 패턴을 형성한다. 이진 위상격자는 원하는 패턴이 역대칭이 아닌 임의의 형태라면 효율면에서 다위상 격자의 1/2 정도가 되지만 설계와 제작이 간단하다는 장점이 있다.

III. SLM을 이용한 빔 패턴 발생기

균일한 세기의 빔 패턴을 발생시키는 장치는 그림 2에서 보는 바와 같이 위상격자에 단색 평행광을 입사시킴으로 구성된다. 위상격자는 Fraunhofer 회절격자에서 구형 개구(rectangular aperture)를 통과한 것과 같은 결과를 만든다. 따라서 중앙부의 균일한 세기를 갖는 회절차 외에도 사방으로 주기적인 고차 회절빔들이 존재하게 된다. 그림 2와 같은 장치에서 위상격자를 제거하고 SLM을 삽입하면 그림 3과 같은 장치를 구현할 수 있다. SLM은 컴퓨터와 연결되어 있어 컴퓨터에서 설계된 격자가 SLM 제어기를 통해 화소 하나당 1바이트 정보로 전송되어 SLM에 위상변화로 나타나게 된다. 이 때 컴퓨터에서 설계된 격자는 컴퓨터 그래픽 카드가 지원하는 해상도로 표현되지만 SLM 제어기로 전달될 때 NTSC나 PAL 방식의 신호로 변환되어 SLM이 제공하는 해상도로 전환된다. 대부분 SLM이 제공하는 해상도는 컴퓨터가 제공하는 해상도보다 낮기 때문에 SLM에 의해 표현된 격자패턴은 컴퓨터에서 전송된 정보와 정확히 일치하지는 않는다.

구현된 시스템은 그림 3과 같이 SLM의 좌우에 볼록 렌즈가 두 개 필요하다. 앞단의 렌즈는 평행광을 만들기 위한 것이고 뒷단의 렌즈는 Fourier 변환을 수행하며 초점거리만큼 떨어진 위치에 스크린을 놓고 회절빔들을

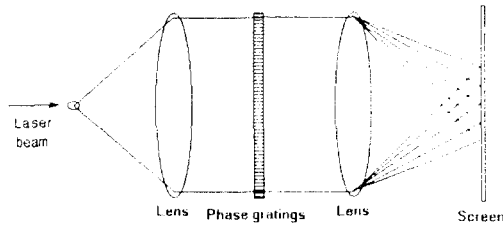


그림 2. 스폿 발생을 위한 광학장치도
Fig. 2. The optical setup for spot generation using the gratings

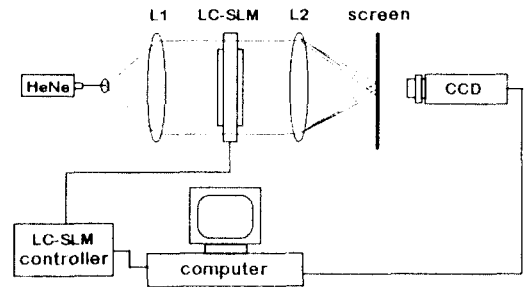


그림 3. SLM을 이용한 빔 패턴 발생장치
Fig. 3. Beam pattern generation system using SLM

카메라로 찍기 위해 필수적이다. 그림 3과 같은 장치에서, 편광자(polarizer)가 추가될 수 있으며 중앙(DC) 스폿을 차단하기 위한 방법이 도입될 수 있다. SLM은 그 자체의 구조 특성상 정해진 회절패턴을 발생시키기 때문에 SLM의 위상변화는 무관하게 회절패턴의 중앙에 강한 회절빔이 남게 된다. DC 스폿은 전체 패턴의 균일도를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 다른 회절차들의 효율을 감소시키는 효과를 낳는다. 따라서 DC 스폿은 제거되는 것이 바람직하며 편광자는 DC 스폿의 세기를 상대적으로 크게 감소시키는 효과를 낳는다. 편광자는 DC 스폿의 영향을 상대적으로 크게 줄여주는 반면 전체적인 효율을 감소시키기도 한다.

실험에 사용된 SLM은 Philips사의 전자 비디오 카메라 뷰파인더(electronic video camera viewfinder)용으로 설계된 0.7" 액정판넬이다. 이 LCD는 그림 4에서 보는 바와 같이 3원색을 나타낼 수 있는 3개의 화소가 삼각형 구조로 배치되어 있다. 그림 4와 같은 배치의 화소를 행렬로 연결하면 3가지 화소가 각각 대각선으로 일정한 간격을 유지하고 배치된 구조가 된다. 따라서 이 SLM은 제어를 위해 입력되는 전압과는 무관하게 그림 5와 같은 회절패턴을 발생시킨다. 그림 5에서 중앙부에 균일한 세기를 보이며 발생된 회절빔들은 제거할 수 없는 SLM 자체의 회절패턴으로 전체 회절빔의 효율을 분할하여 소유하고 있다. 실험에 필요한 회절패턴은 그림 5에서 중앙의 회절빔을 이용하기 때문에 실험에서 얻을 수 있는 효율 또한 적을 수밖에 없게 된다.

SLM에 입력되는 신호는 컴퓨터 그래픽 신호를 NTSC 신호형태로 전환하여 출력하는 NTSC 부호화기로 제공된다. 실험에 사용된 SLM의 입력 신호에 대한 응답시간은 섭씨 25°에서 40ms 정도 필요하다. LCD의 화소수는 수직으로 230개, 수평으로 420개이며, 하나의 화소가 차지하는 크기는 $34\mu\text{m} \times 46\mu\text{m}$ 이다. 하나의 화소가 차지하는 면적 중 빛이 투과하는 면적은 신호선이 지나가는 부분을 뺀 크기만큼으로 $20\mu\text{m} \times 28\mu\text{m}$ 이다. HeNe 레이저를 사용하므로 전체 화소 중 1/3 만을 사용하는 결과가 되고 전체적인 빛 투과량이 현저히 줄어 든다.

원하는 빔 패턴을 발생시키기 위한 격자는 대칭형과 비대칭형으로 설계할 수 있다. 대칭형은 비대칭형보다 설계를 위한 계산이 간단하므로 빔 배열의 크기가 큰 경우에 적합하다. 비대칭형은 대칭형보다 회절 효율이 높지만 계산의 복잡도로 인하여 빔 배열 크기가 20×20 이하의 경우에 좀 더 높은 효율을 기대하기 위해 사용된다. 계산에 의해 설계된 격자를 SLM을 이용한 실험에 적용할 때 SLM의 해상도가 컴퓨터 그래픽 카드의 지원 해상도에 미치지 못하므로 격자의 정확한 표시가 어려우며 이 때 미세한 오차가 발생한다. 대칭형보다 비대칭형은 재구성 에러가 적다는 장점이 있기 때문에 본 실험에서는 비대칭형 격자를 설계하여 임의의 빔 패턴 발생시킨다. 규칙적인 패턴과 불규칙적인 패턴을 통해 능동 광 연결 시스템으로서의 가능성을 판단하고 편광자를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 결과를 비교한다.

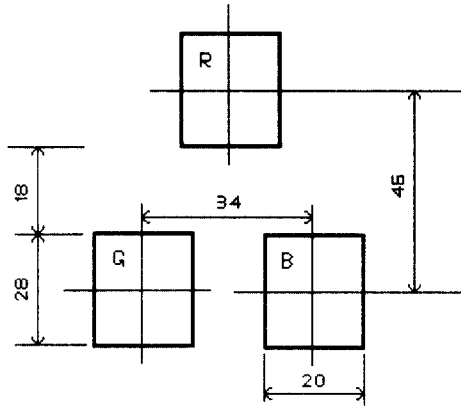


그림 4. Philips LCD 화소 배치 및 크기(단위: μm)
Fig. 4. The pixel placement and size of Philips LCD

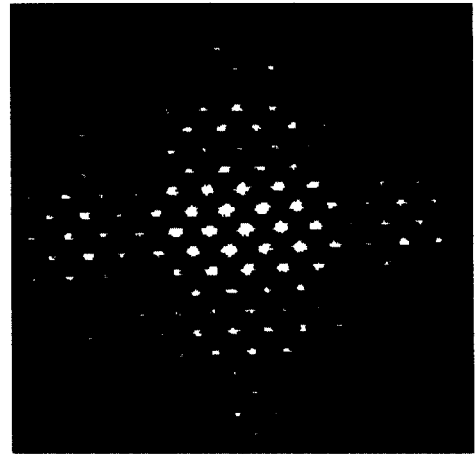


그림 5. Philips LCD 자체의 회절패턴
Fig. 5. The diffraction pattern of Philips LCD

IV. 실험 결과 및 분석

그림 5에서의 중앙 회절빔 부분에 규칙적인 회절 패턴을 발생시켜 얻은 결과가 그림 6에 나타나 있다. 그림 6은 스폿의 수가 5×5 인 규칙적인 패턴을 발생시키는 격자를 이진 위상으로 설계하여 실험한 결과이다. 5×5 빔 배열을 위한 격자는 PC586-60MHz에서 3초 만에 설계가 이루어졌으며 줄의 수는 4개이고 각 줄당 4개의 전이점을 갖는다. 그림 6(a)는 그림 3과 같은 실험장치에서 스크린과 Fourier 렌즈 사이에 오목렌즈를 삽입하여 발생패턴을 확장시켜 CCD로 찍은 결과로서 중앙 스폿을 제외한 각 빔들의 세기가 균일함을 볼 수 있다. 중앙의 스폿이 다른 스폿들에 비해 큰 이유는 SLM의 위상변화가 설계시에 사용된 0과 π 위상을 정확히 표현하지 못하는 요인과 SLM 자체의 진폭형 회절특성 때문인 것으로 분석된다. 중앙 스폿 이외의 스폿들의 빔 세기는 비교적 균일함을 그림 6(c)를 통해 확인할 수 있다. 그림 6(c)는 (b)의 두번째 줄을 빔 세기를 그레이레벨로 나타낸 것이다. DC 스폿은 SLM의 위상 변화만으로 제거할 수 없기 때문에 DC 스폿의 세기를 상대적으로 감소시키기 위해 편광자를 사용하여 실험한 결과가 그림 6(b)에 주어져 있다. 편광자를 사용한 그림 6(b)의 결과는 그림 6(a)에 비해 전체적인 스폿의 세기가 줄어들

었음을 스폿의 크기로 비교하여 볼 수 있다. 특히 DC 스폿의 세기는 다른 스폿들의 세기 변화에 비해 아주 커다란 세기의 변화가 있음을 확인할 수 있다. 그림 6의 결과는 격자의 한 주기를 컴퓨터에서 80×80 화소로 도안되어 SLM에 이차원으로 48회 반복 배치된 형태로 전송한 것이다. 같은 실험방법으로 격자의 주기를 200×200 화소 이상으로 증가시키고 10회 미만의 반복 배치된 형태로 전송하면 회절효과가 현저히 떨어짐을 발견할 수 있었다. 따라서 SLM을 이용하는 경우에는 격자를 얼마만한 주기로 몇회 반복 배치하여 실험할 것인가가 미리 결정되어야 한다.

불규칙적인 임의의 회절패턴을 발생시키기 위해 그림 7과 같은 자동차 모양의 빔 패턴 발생용 격자를 설계하였다. 자동차 모양의 패턴은 규칙적인 17×13 빔 배열에서 특정 회절빔을 제거함으로써 얻어진다. 임의의 빔 패턴은 원하는 부분의 회절빔 세기를 증가시키는 방법으로 구해진다. 그림 7은 한 주기가 98×98 화소로 표현된 경우로서 각 스폿은 약간의 세기 차를 보이고 있으나 발생시키고자 했던 부분에만 회절빔이 존재함을 볼 수 있다. 이 결과는 반도체 공정의 정밀한 제작과정을 거치지 않고 하나의 빔으로부터 다양한 빔 패턴을 연속하여 발생시킬 수 있음을 확인시킨다. 주어진 그림은 이진 위상격자를 사용했으므로 역대칭의 형태로 나타난 것을 역

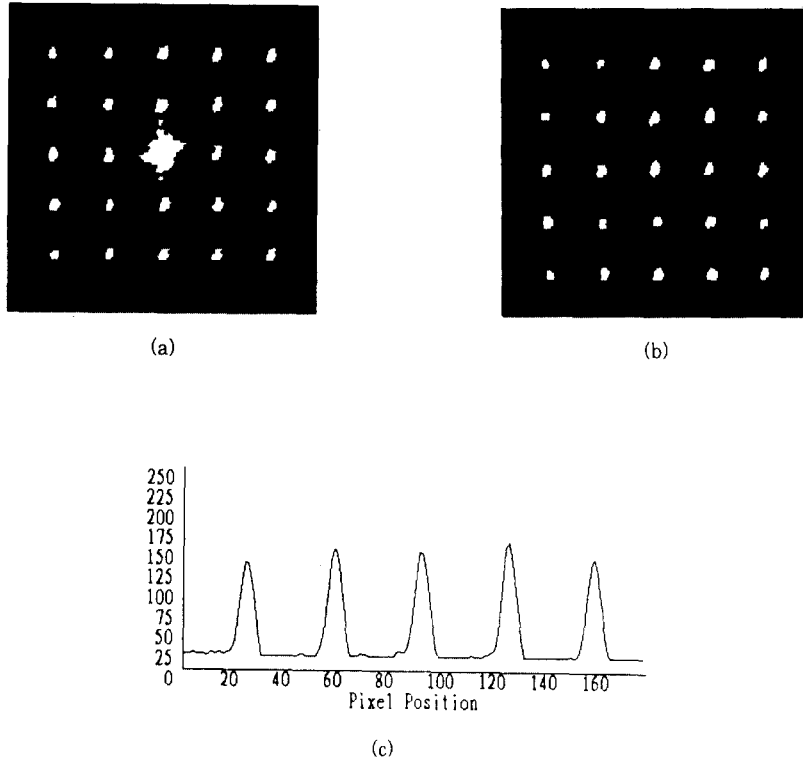


그림 6. (a) 실험에 의해 얻어진 5×5 스폿 배열
 (b) DC 스폿을 줄이기 위해 편광자를 사용한 결과
 (c) (b)에서 두번째 줄의 세기 단면도
 Fig. 6. (a) 5×5 spot arrays obtained by an experiment
 (b) The result using a polarizer for diminishing the DC spot
 (c) Intensity profile of the second line in (b)

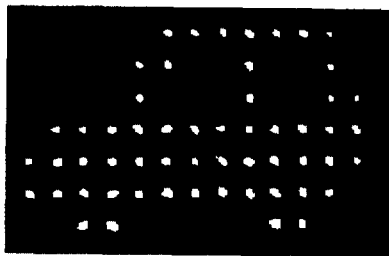


그림 7. 자동차 모양의 패턴 발생 실험결과(격자주기 98μm)
 Fig. 7. The experimental result of car-shaped pattern generation(one period is 98μm)

대칭의 한쪽 부분만 잘라 붙인 것이다.

SLM을 이용하여 발생된 빔 패턴에서 DC 스폿은 주위의 회절빔에 부정적인 영향을 미치므로 치명적이다. 그림 6에서와 같이 회절빔의 간격이 DC 스폿의 크기보다 큰 경우에는 그 영향이 줄어들지만 그림 8과 같이 회절빔들 간의 간격이 작은 경우에는 주위의 회절빔에 직접적인 변화를 가져온다. 그림 8(a)는 문자열 OIP를 구성한 것인데 DC 스폿의 세기가 편광자를 사용하여 감쇄되었지만 다른 회절빔보다 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다. 그리고 DC 스폿 주위의 회절빔들이 DC 스폿에서 많이 떨어져 있는 회절빔들보다 세기가 크게 나타

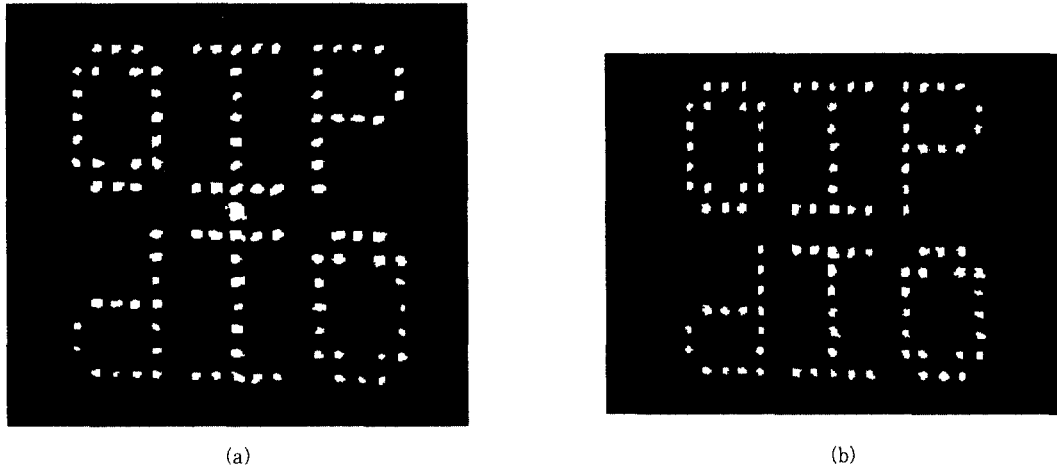


그림 8. (a) 편광자를 사용한 OIP 문자열 발생 실험 결과
 (b) Fourier 평면에서 DC를 제거한 결과
 Fig. 8. (a) The result of OIP character string generation using a polarizer
 (b) The result of eliminating DC spot in the Fourier plane

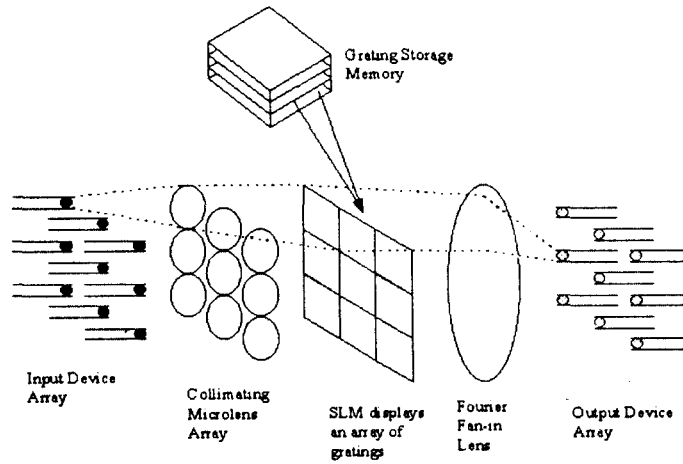


그림 9. SLM과 격자를 이용한 자유공간 광연결 장치
 Fig. 9. Setup for free-space optical interconnection using SLM and gratings

난다. 그러므로 DC 스폿을 제거하는 것이 불규칙적인 패턴 발생에서는 중요한 문제로 등장한다. 그림 8(b)는 스폿이 발생되고 난 후 Fourier 평면에서 중앙 스폿을 차단하고 얻어진 결과이다. DC 스폿은 강제로 완전히 제거되었으나 주위의 스폿들의 세기는 여전히 다른 스폿들보다 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다.

실험에 사용된 뷰파인더용 SLM은 높은 효율과 정밀한 회절특성을 얻기에는 적당하지 못하다. 각 화소가 갖는 광 투과량이 30%에도 미치지 못하고 컬러용으로 제작된 것이기 때문에 격자의 모양을 정확히 표현하지 못한다. 신호선이 지나는 부분은 빛이 통과하지 못하므로 진폭형의 특성을 띄기도 한다. 이진 위상격자는 60% 이상의 효율특성을 갖지만 실험에 의한 효율은 1/20에도 미치지 못한다. 하지만 현재의 기술은 90% 이상의 광투과율과 화소폭이 20 μ m 이하의 높은 해상도를 갖는 SLM을 제작하고 있기 때문에 격자가 지나는 회절특성을 손쉽게 빠르게 구현할 수 있다. 이와같은 결과로부터 SLM과 격자를 격자를 이용한 자유공간 광연결 장치를 구현할 수 있다. 그림 9에 제시된 장치도에서 SLM은 모든 입력단을 하나의 출력단과 연결시킬 수 있으며, 비대칭형 격자를 이용하면 임의의 출력단으로 멀티캐스트할 수 있다. 그리고 그림 9에서 입력단이 하나인 경우에는 원하는 출력단 모두에 대해 경로를 제공할 수 있을 것이다.

V. 결 론

기존의 반도체 기법으로만 제작되어온 위상형 다중 빔 발생격자를 공간 광변조기를 이용하여 구현하였다. 공간 광변조기는 전자 비디오 뷰파인더로 사용하기 위한 TFT-LCD를 사용하였다. 사용된 SLM은 반도체 기술을 이용한 석판화 기법으로 제작된 격자보다 효율이나 회절특성면에서 비교되지 못할만큼 미흡하나 정성적인 회절특성은 컴퓨터 시뮬레이션과 거의 일치하였다. 격자의 주기는 100 \times 100 화소 내외로 설계하여 격자의 구조를 이진 위상값으로 SLM에 전송함으로써 격자가 지닌 회절패턴을 재구성하였다. SLM을 이용한 빔 패턴 발생 장치는 컴퓨터를 통해 고속으로 격자의 위상정보를 전송할 수 있다는 장점이 있다. SLM의 DC 스폿을 위상의 변화로 완전히 제어할 수 없다는 단점을 가지고 있으나 저주파 필터나 빔의 차단방법 등을 사용하여 균일도를

증가시킬 수 있다. 실험에서는 편광자를 이용함으로써 DC 스폿의 세기를 상대적으로 감쇄시켰으며 Fourier 평면에서의 차단으로 DC 스폿을 제거하기도 하였다. 그러나 무엇보다 SLM을 이용한 빔패턴 발생 실험에서 중요한 요소는 SLM의 해상도와 각 화소마다 빛이 투과할 수 있는 면적의 비율이다. 따라서 화소의 크기가 수 μ m인 고해상도의 SLM은 광학 시스템에서 사용되는 격자를 대체할 수 있을 것이다. 이러한 SLM을 이용한 다중빔 발생 실험격자는 현재의 반도체 기술의 발전속도로 보아 수년내에 자유공간 광연결 시스템 등에 적용가능할 것이다.

참고문헌

1. R. L. Morrison and S. L. Walker, "Progress in diffractive phase gratings used for spot array generation," *Optical Computing '91, Technical Digest Series*, vol. 6, pp.144-147, 1991.
2. R. L. Morrison, S. L. Walker and T. J. Cloonan, "Beam array generation and holographic interconnections in a free-space optical network," *Appl. Opt.*, vol. 32, no. 14, pp.2512-2518, 1993.
3. A. Vasara, M. R. Taghizadeh, J. Turunen et al., "Binary surface-relief gratings for array illumination in digital optics," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 17, pp.3320-3336, 1992.
4. H. P. Herzig, D. Prongue and R. Dändliker, "Design and fabrication of highly efficient fan-out elements," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 29, pp.1307-1309, 1990.
5. H. Dammann and K. Görtler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase holograms," *Opt. Comm.*, vol. 3, pp.312-315, 1971.
6. U. Killat, G. Rabe and W. Rave, "Binary phase gratings for star couplers with high splitting ratio," *Fiber and Integrated Optics*, vol. 4, no. 2, pp.159-167, 1982.
7. U. Krackhardt and N. Streibl, "Design of Dammann-grating for array generation," *Opt.*

- Comm.*, vol. 74, no. 1, 2, pp.31-36, 1989.
8. N. Streibl, "Beam shaping with optical array generators." *J. Modern Optics*, vol. 36, no. 12, pp.1559-1573, 1989.
 9. M. Ekberg, M. Larsson, S. Hard et al., "Multilevel grating array illuminators manufactured by electron-beam lithography." *Opt. Comm.*, vol. 88, no. 1, pp.37-41, 1992.
 10. E. G. S. Paige and R. H. Scarbough, "Generation of binary, phase-only holograms by on-line feedback of output plane intensity," *Diffractive Optics: 1994 Technical Digest Series*, vol. 11, pp.247-250, 1994.
 11. S. F. Habiby, A. Marrakchi, J. R. Wullert II, J. S. Patel and J. T. Meyer, "Programmable coherent source arrays generated by spatial light modulators," *Appl Opt.*, vol. 31, no. 20, pp.3991-3998, 1992.
 12. J. N. Mait, "Designs for two-dimensional non-separable array generators," *SPIE*, vol. 1555, pp.43-52, 1991.
 13. J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Stripe-geometry two-dimensional Damman gratings," *Opt. Comm.*, vol. 74, no. 3, 4, pp.245-252, 1989.
 14. J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Kinoform phase relief synthesis: a stochastic method," *Opt. Eng.*, vol. 28, no. 11, pp.1162-1167, 1989.



李 得 周 (Deug-Ju Lee) 학생회원

1969년 6월 6일생
 1993년 2월 : 충북대학교 정보통신 공학과 졸업(공학사)
 1994년 3월~현재 : 충북대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정

*주관심 분야 : Diffraction graings, Free space Optical interconnection, 3D display

尹 秉 浩 (Byeong-Ho Yoon)

정회원

1947년 9월 27일생
 1975년 2월 : 충남대학교 화학공학과 졸업(공학사)
 1992년 8월 : 충북대학교 산업대학원 전기전자공학과 정보통신공학전공(공학석사)
 1995년 8월 : 충북대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정 수료
 현재 : 충북 부강공고 재직(교사)

*주관심 분야 : Applications of holography, 3D image display



金 男 (Nam Kim) 정회원

1959년 3월 30일생
 1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1989년 2월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 재직(부교수)
 *주관심 분야 : Applications of holography, Diffractive optics, Optical interconnection

金 石 熙 (Seok-Hee Jeon)

정회원

현재 : 인천대학교 전자공학과 교수
 한국통신학회 논문지 제19권 제4호 참조