

## LiNbO<sub>3</sub> crystal에서의 각 변환 방식과 회전형 방식을 결합한 다중 홀로그램 저장

### Holographic angle multiplexing combined with peristrophic multiplexing in a photorefractive LiNbO<sub>3</sub> crystal

신현권, 이명규

연세대학교 신소재공학부

[sslack@yonsei.ac.kr](mailto:sslack@yonsei.ac.kr)

홀로그램 정보 저장(HDS)은 높은 저장 밀도, 짧은 access time 및 빠른 transfer rate를 갖는 차세대 정보 저장 방식으로 저장 매체의 한 지점에 많은 수의 홀로그램을 중복하여 저장할 수 있고 개별적인 재생이 가능하다<sup>(1,2)</sup>. 현재까지 다양한 다중 홀로그램 저장 방식이 제안, 발전되어 왔고 일반적으로 각 변환 다중 홀로그램 정보 저장 방식이 사용되고 있다. 그러나 저장 가능한 다중 홀로그램의 수는 저장 매체의 dynamic range와 HDS 시스템의 optical bandwidth에 의해 결정된다. Dynamic range를 개선하기 위한 저장 매체의 연구와 별도로 bandwidth limitation에 의한 저장 밀도의 한계를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔고<sup>(3)</sup> 본 연구에서는 원통 모양의 photorefractive LiNbO<sub>3</sub> 결정안에 각 변환 방식과 회전형 방식을 결합하여 다중 홀로그램을 저장하였다. 두 다중 홀로그램 저장 방식을 결합한 방법은 reference beam의 각도가 변화하는 동시에 저장 매체를 회전시킴으로서 수행하였다. 이 같은 저장 매체의 회전과 결합한 각 변환 다중 홀로그램 저장은 연속적인 저장과 재생이 가능하였고 저장된 홀로그램은 각각 다른 각도와 peristrophic position에 저장되었다. 이 두 방법을 결합한 방식으로 저장된 다중 홀로그램은 단지 각 변환 방식만을 이용하여 저장된 다중 홀로그램과 비교하여 매우 좋은 angular selectivity를 보였다. 각 변환 방식과 회전형 방식을 결합한 다중 홀로그램 저장의 이론적인 angular selectivity를 유도하였고 이를 실험적인 결과와 비교하였다. 실험에 사용된 결정은 Fe(100ppm) 도핑된 일반적인 congruent LiNbO<sub>3</sub>(지름=1 in., 두께=12mm)이고 c-axis는 결정의 높이 방향으로 하였다. 레이저 소스로는 514nm 파장(지름=4mm)의 Ar ion laser를 사용하였고 두 빔은 동등한 세기로 나누어 reflection-hologram geometry로 정보 저장을 하였다. 두 다중 홀로그램 저장 방식을 결합한 시스템의 angular selectivity는 아래와 같이 유도되었다.

$$\Delta\theta_{R0} = \frac{4L\cos^2\left(\frac{\theta_R + \theta_S}{2}\right)(\cos\Delta\psi - 1) + 2\lambda\cos\theta_R}{L\sin(\theta_R + \theta_S)\cos\Delta\psi} \frac{n\cos\theta_R}{\cos\theta_{R0}}$$

( $\lambda$  = 파장,  $L$  = 샘플두께,  $\Delta\psi$  = 샘플의 회전각도)

$\theta_R$ 과  $\theta_S$ 는 결정 내에서의 reference beam과 signal beam의 입사각이고  $\theta_{R0}$ 는 실험시 실제 결정에 조사된 reference beam의 입사각이다. 그림 2에 위 식을 이용하여  $\Delta\psi$  함수로서 나타낸 reference beam의 angular selectivity( $\Delta\theta_{R0}$ )에 대한 simulation graph가 나타나 있다( $L = 12\text{mm}$ ,  $\lambda_0 = 514.5\text{nm}$ ,  $n = 2.3$ ,  $\theta_{R0} = 40^\circ$ ,  $\theta_S \approx 0^\circ$ ). 그림 1은 샘플의 회전 없이 reference beam의 각 변환만을 이용해 다

중 홀로그램을 저장한 결과이다.  $0.01^\circ$ 의 차이로 저장된 홀로그램은 단지 저장된 정보를 보여주지 못하고 노이즈만을 나타나고 있으며  $0.06^\circ$ 의 차이로 저장된 홀로그램은 완전히 구분된 개별적인 홀로그램을 재생할 수 있었다. 따라서 정의에 의해 실험적으로 구해진 angular selectivity는 angular separation의 절반인  $0.03^\circ$  정도가 되고 이 값은 이론적으로 구해진  $0.021^\circ$ 보다 크다. 이는 레이저의 유한한 coherent length와 실험적 에러를 고려할 때 비교적 정확한 값이다. 그림 3은 reference beam의 각도 변화 없이 결정을  $5.4^\circ$ 의 간격으로 회전시키며 다중 홀로그램을 저장한 결과이다. 결정을  $5.4^\circ$  간격으로 회전시킬 경우 본 시스템에서 실제 grating의 간격은  $\Delta\psi = 2.7^\circ \times \sin(\frac{\theta_R}{2}) = 0.38^\circ$  변화한다. 따라서 이론값인  $0.25^\circ$ 와 매우 근접한 결과이다. 이 두 가지 방법을 결합하여 reference beam의 각도 변화와 동시에 결정을 회전시키며 다중 홀로그램을 저장하였다. 그림 4에 50개의 홀로그램을 reference beam의 각도 변화는  $0.015^\circ$ , 샘플 회전은  $5.4^\circ$  변화시키며 저장한 결과가 reference beam의 각도에 따른 그래프로 나타나 있다. 그림 1(b)와 비교하여 볼 때 샘플의 회전은 angular selectivity를 매우 크게 향상시키는 것을 알 수 있고 angular selectivity는 약  $0.0075^\circ$ 보다 작을 것으로 예상된다. 실제 각도 변화 없이  $5.4^\circ$ 의 샘플 회전만으로 다중 홀로그램이 저장 가능하므로 angular selectivity는 거의 제로에 가까울 것이다. 저장된 다중 홀로그램은 각각 다른 reference beam의 angle과 peristrophic position을 지니고 있으므로 다중 홀로그램 저장시 샘플을  $360^\circ$  이상 회전시키며 저장할 수 있다. 따라서 이 같은 방법은 optical bandwidth limitation을 개선시키는데 매우 유용하게 사용될 것이다.

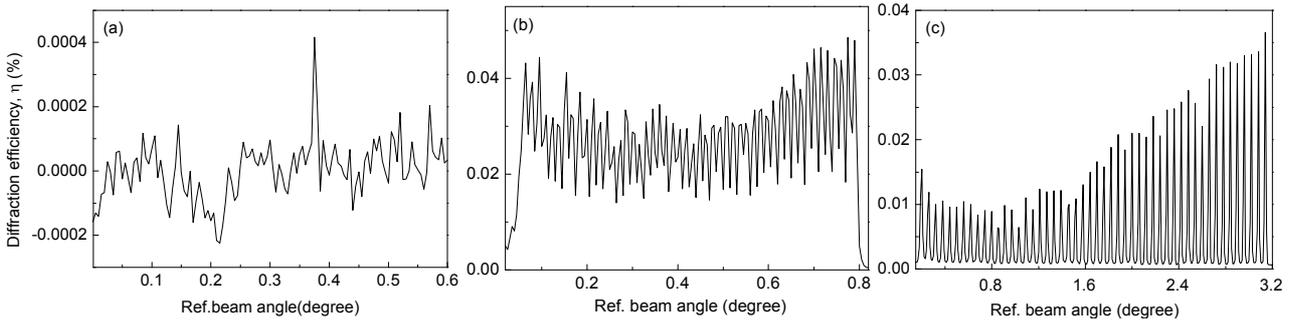


그림 1. Fifty angle-multiplexed holograms stored with an angular separation of (a)  $0.01^\circ$  (b)  $0.015^\circ$ , and (c)  $0.06^\circ$ . The total recording intensity is  $1\text{W}/\text{cm}^2$ .

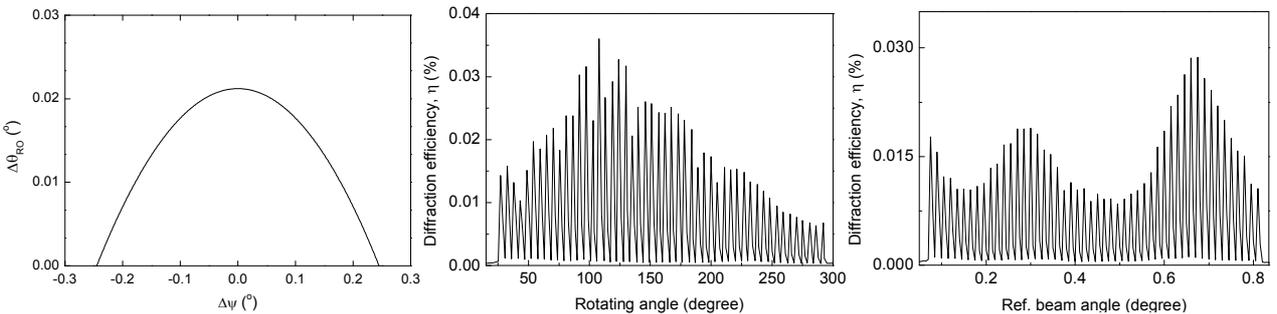


그림 2. Theoretical relation of  $\Delta\theta_{RO}$  vs.  $\Delta\psi$

그림 3. Holograms stored by peristrophic multiplexing.

그림 4. Holograms stored by combined multiplexing.

참고 문헌

- 1) J. Heanue, M. Bashaw, L. Hesselink, Science 265 (1994) 749.
- 2) D. Psaltis, F. Mok, Sci. Am. 273 (1995) 70.
- 3) K. Curtis, A. Pu, D. Psaltis, Opt. Lett. 19 (1994) 993.