

## Ce-SBN:60결정에서 광굴절 부피격자를 이용한 광편향

안준원 · 김 남

충북대학교 정보통신공학과

이 권 연

순천대학교 전자공학과

김혜영 · 원용철

전자통신연구원 광교환연구실

(1997년 2월 12일 받음)

광편향은 광굴절결정내의 두 기록된 간섭에 의해 유도된 동적 광굴절 부피격자를 이용한다. 본 논문에서는 외부 전기장을 인가할 필요가 없으며, 낮은 광세기에서도 쉽게 광굴절 부피격자가 유도되는  $CeO_2$ 가 0.05Wt.% 도핑된  $Sr_{0.6}Ba_{0.4}Nb_2O_6$  (Ce-SBN:60) 결정의 동적 특성을 이용하여 광편향기를 구현하고 해석하였다. 그리고, Ce-SBN:60결정의 광파결합특성을 조사하기 위해 2광파 혼합을 통해 결정의 최대결합계수, 유효전하밀도, 기록비의 세기비에 따른 회절효율 및 회절효율의 시간응답특성을 측정하고 해석하였다.

### I. 서 론

$BaTiO_3$ ,  $LiNbO_3$ ,  $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO),  $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ (SBN) 등과 같은 광굴절매질(photorefractive material)은 동적 홀로그래프를 기록할 수 있는 가장 효과적인 매질로 인식되고 있다. 이러한 광굴절매질에서 광정보는 실시간으로 기록·재생이 가능하고 기록된 정보는 장기저장 및 소거가 가능한 특징을 갖는다. 또한, 광굴절매질의 홀로그래픽 성질 뿐만 아니라 2광파 혼합(TWM: Two-Wave Mixing)에 의한 비가역적인 에너지 교환 특성으로 인해 현재 광통신, 광컴퓨팅, 고밀도 광정보저장, 광정보처리, 광배선, 광 뉴로 컴퓨터 등과 같은 다양한 응용분야에 적용되고 있다. 이러한 응용분야중 본 논문에서는 광굴절 Ce-SBN:60 결정내에서 형성된 홀로그래픽 부피격자를 이용하여 재구성이 용이하고 비교적 큰 편향각을 갖는 광편향기로의 응용방법을 제안하고 광학적으로 구현한다.

Ce-SBN 결정은 빠른 반응시간과 큰 전기광학계수로 인해 지금까지 많은 관심을 끌어왔고, 양질의 재료를 성장하기 위한 노력과 홀로그래피를 이용한 광메모리응용에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 이 매질은 tungsten-bronze구조를 갖는 결정으로서 다른 광굴절결정에 비해 성장시키기가 쉽고 양질의 결정을 2~3 cm까지 Czochralski 방법에 의해 성장시킬 수 있다. 또한 최근에는 개량된 Czochralski방법에 의해 줄무늬(striation)가 없고 균일한 결정성장이 가능하여 비교적 최근에 와서야 전기광학 및 광굴절소자로 주목을 받고 있다. 이와 관련하여 Hesselink 등은 파이버 형태의 Ce:SBN 결정을 성장시켜 bulk 형태보다 적은 줄무늬, 두 빔의 긴 결합길이, 보다 큰 입사각의 허용범위와 같은 파이버의 장점을 이용한 응용결과를 보고한 바 있다.<sup>[1]</sup> 하지만, Ce-SBN결정에 대한 연구는 여전히 미

흡한 편이며, Ce의 역할에 대한 연구는 반응시간이 빨라졌다 는 것 이외에는 아직까지 밝혀진 특성이 미비한 실정이다.

빛의 진행방향을 제어하는 기술은 레이저 프린터, 광 메모리 장치, 팩시밀리, 광 스위칭소자 등과 같은 광 응용장치의 구현에 필수적인 기술이다. 그러나, 광빔은 자체나 전계를 걸면 용이하게 진행방향을 바꿀 수 있는 전자빔과는 달라서 광빔의 편향각을 고속으로 크게 변화시키는 것은 상당히 어렵다.

레이저 응용분야에서 적용되는 광편향기술에는 전기광학효과, 다면체 반사경, PZT거울, 음향광학효과 등을 이용하는 방법이 있으며 최근에는 광굴절효과를 적용하는 구조도 제안되고 있다. 이중 음향광학 및 광굴절효과를 이용하는 방식은 가변부피격자를 적용하여 광빔을 편향시키기 위한 가장 유력한 기법으로 알려지고 있다. 음향광학효과를 이용하는 음향광 편향기(acousto-optic deflector)는 음향파의 주파수를 변화시킴으로써 음향파에 의해 유도된 회절격자의 격자간격이 변하게 되고 브래그각(Bragg angle)이 변함으로써 결과적으로 광편향 각도를 바꿀 수 있다. 이러한 음향광효과를 이용하는 경우 빔경로의 전기적 제어가 가능하고 넓은 주파수대역에서 비교적 큰 편향각을 얻을 수 있어 현재 다양한 분야에 적용되고 있다.

광굴절효과를 이용한 광편향기는 구조적으로 광굴절 오실레이터(photorefractive oscillator) 및 TWM을 적용하는 기법이 제안되고 있다.<sup>[2-5]</sup> 이중 광굴절 오실레이터의 경우 각각 반대 방향에서 결정에 입사되는 두 빔의 패닝(fanning)효과에 의해 각각 독립된 두 개의 굴절을 격자가 형성되고 두 빔중 한빔의 파장을 변화시킴으로써 빔의 편향이 가능하다. 이 구조의 경우 브래그 조건이 자동으로 만족되고 비교적 큰 편향각을 얻을 수 있는 반면 일정한 빔 결합강도 이상에서 빔 패닝이 발생되며, 결정내에서 정밀한 빔 경로의 조정이 필요하다

기 때문에 비교적 재구성성 및 자유도 등이 좋지 않은 단점을 가지고 있다.

### II. 동적 광굴절 부피격자를 이용한 빔 편향원리

광 유기된 동적부피격자는 다른 파장의 광파를 편향 혹은 변조시키는데 이용될 수 있으며, 전광학적(all-optical) 편향기 및 변조기는 음향광소자의 동작원리와 매우 유사하다. 그러나, 이러한 음향광소자의 동작속도는 음파의 속도에 의해 제한되지만 음향파 대신에 광굴절결정에서 광유도된 굴절을 부피격자를 적용하면 더 빠른 반응시간(response time) 및 큰 편향각을 얻을 수 있음이 보고되었다. 이러한 방식의 경우 전기적인 구동 트랜스듀서(transducer)가 필요치 않기 때문에 전광학적인 시스템의 구성이 가능해지고 광통신 및 광배선등의 스위칭에 적용가능하리라 예상되고 있다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이 굴절률이  $n$ 인 광굴절결정에  $\lambda_w$ 의 파장을 갖는 두 빔이  $\theta_1, \theta_2$ 의 각으로 입사된다고 가정하면 결정내에서 두 빔은 굴절되어  $\phi_1, \phi_2$ 의 각으로 교차된다. 교차된 두 빔은 광굴절효과에 의해 부피격자를 만들고 격자간격  $\Lambda$ 는 다음과 같이 표시된다.<sup>[2,6,7]</sup>

$$2\pi \Lambda \sin\left(\frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right) = \lambda_w \quad (1)$$

이와 같이 형성된 동적 광굴절 부피격자에 그림 2에서와 같이 다른 파장의 빔  $\lambda_R$ 이 입사되면 부피격자에 의해 회절하게 되는데 회절빔의 진행방향은 기록빔의 파장  $\lambda_w$ , 읽기빔의 파장  $\lambda_R$  및 격자간격  $\Lambda$ 를 변화시킴으로써 조절할 수 있다. 그러나, 광굴절결정에서 기록빔의 입사각을 변화시켜 격자간격  $\Lambda$ 를 변화시킬 수 있지만 이 방식의 경우 브래그 조건을 만족시키는데 어려움이 있기 때문에 일반적으로 기록빔의 파장을 변화시킴으로써  $\Lambda$ 를 변화시키는 효과를 얻는다.

그림 2에서 기록빔의 파장을  $\Delta\lambda_w$ 만큼 변화시키면 결정내에서 생성되는 격자의 간격은 마찬가지로  $\Delta\Lambda$ 만큼 변하고, 간격이 변한 격자에 읽기빔을 입사시키면 회절되는 각의 변화  $\Delta\theta_R$ 은 다음과 같이 표현된다.<sup>[2]</sup>

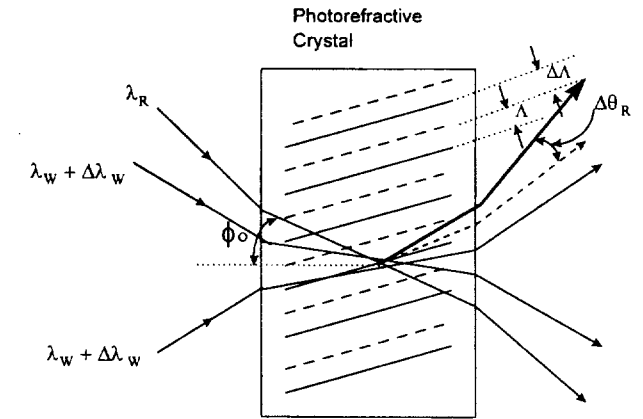


그림 2. 기록빔의 파장변화에 따른 회절각의 변화

$$\Delta\theta_R = -2\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right) \tan \phi_0 \quad (2)$$

즉, 연속적인 편향은 파장가변레이저(wavelength tunable laser)의 파장을 변화시킴으로써 격자간격이 변화하고 결론적으로 다른 회절각으로 빔을 회절시키게 된다. 또한, 마찬가지로 기록빔의 파장을 고정시키고 읽기빔으로 파장을 변화시키면 같은 효과를 얻을 수 있다.

### III. Ce-SBN:60결정의 회절효율 측정 및 빔편향 실험

#### 3.1. 회절효율 특성 측정

결정이나 액체에 전기장을 인가하면 특수한 비선형물질에서는 굴절률의 변화가 일어나고 결정의 광학적 성질이 변하게 되는데 이를 전기광학효과(electro-optic effect)라고 한다. 특히, 비선형 결정에 두개의 빔을 교차시키면 주기적인 공간섭태편에 의해 전하가 재배열되어 공간전하장이 유도되고, 이 공간전하장의 전기광학효과에 의해 전장의 세기에 비례해서 선형적으로 굴절률의 변화가 유도되는 현상을 광굴절효과(photorefractive effect)라고 한다. 그림 3에서 결정에  $2\theta$ 의 각으로 입사되는 두 개의 기록빔  $I_{1w}, I_{2w}$ 의 간섭에 의해 결정내에 형성되는 공간변조된 광의 세기분포를<sup>[3,8]</sup>

$$I = I_0 [1 + m \cos(K_g x)] \quad (3)$$

이라고 가정하자. 여기서  $K_g = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 는 격자의 파수벡터 (grating wave vector),  $m = 2[(I_{1w} \cdot I_{2w})^{1/2}]/I_0$ 는 공간섭태편의 변조지수,  $I_0 = I_{1w} + I_{2w}$ 는 기록빔의 전체 광세기,  $\Lambda$ 는 격자간격이고,  $x$ 는 격자벡터 방향의 공간적인 좌표계를 나타낸다. 만약, 균일한 굴절률 변조 홀로그래를 가정하면<sup>[9]</sup>,

$$n(x) = \Delta n \cos(K_g x) \quad (4)$$

이고, 여기서  $\Delta n$ 은 굴절률 변조의 크기이다.

기록빔의 상호작용길이가  $d$ , 파장이  $\lambda_R$ 인 읽기빔(reading beam)이 브래그각  $\theta_R$ 로 입사되는 경우 정착된 부피 홀로그래의 회절특성은 H. Kogelnik의 결합파동이론(coupled-wave

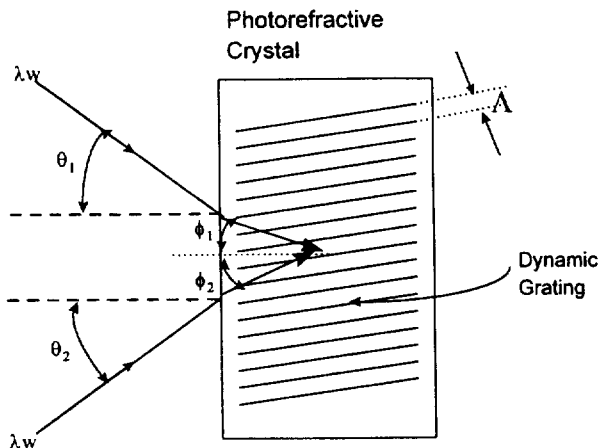


그림 1. 두 빔의 간섭에 의한 광굴절 부피격자의 생성

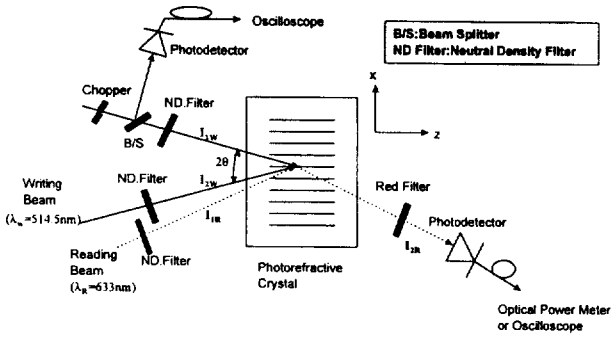


그림 3. 광굴절 부피격자에서 회절효율 측정 실험 구성도

theory)으로 간단하게 해석되고, 결정내에서의 흡수를 무시하면 전형적인 회절효율에 관한 표현식은 다음과 같다.<sup>[10]</sup>

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n d}{\lambda_R \cos \theta_R}\right) \quad (5)$$

그러나, 광굴절 결정내에서 두 기록빔의 결합에 의해 유도된 굴절률 변조는 두 빔사이의 에너지 교환 특성으로 인해 더 이상 균일하지 않게된다. 만약 결정에 외부에서 전기장이 인가되지 않으면 BaTiO<sub>3</sub> 또는 SBN등과 같은 결정의 경우 공간 전하장은 오직 확산에 의해서만 유도되고 굴절률격자의 비균일성으로부터 굴절률변조는 입력빔의 세기비  $r = I_{1w}(0)/I_{2w}(0)$ 와 빔의 결합계수(coupling coefficient)  $\Gamma$ 의 함수로 다음과 같이 표시된다.<sup>[9]</sup>

$$\Delta n(z) = \frac{2\Delta n_s}{[(1+re^{\Gamma z})(1+\frac{e^{-\Gamma z}}{r})]^{1/2}} \quad (6)$$

여기서  $\Delta n_s$ 는 광 유기된 굴절률 변조의 최대크기이고, 공간섭패턴과 굴절률 변조사이의 위상차가  $\pi/2$ 인 경우 결합계수  $\Gamma$ 는  $4\pi\Delta n_s/\lambda_w \cos\theta$ 로 표시된다. 그리고  $\Gamma$ 는 일반적으로 undepleted pump beam approximation 조건에서 2광파 결합 실험으로부터 결정되며, 신호빔의 이득(gain)을  $G$ 라고 하면  $\Gamma(1/d)\ln G$ 로 정의된다.<sup>[11]</sup>

그림 4는  $\Gamma=10 \text{ cm}^{-1}$ 일 때 입력기록빔의 세기비  $r$ 에 대한 광굴절격자의 비균일 진폭곡선이다. 그림에서 두 기록빔의 세기가 같은 경우( $r=1$ ) 입력평면에서 격자크기는 최대가 된다. 반면  $r=0.01$ 일때는 결정내로 일정한 거리만큼 진행한 후 최대가 되고, 이때 약한 신호빔은 증폭된다. 신호빔이 펌프빔보다 큰  $r=100$ 인 경우 신호빔은 TWM에 의해 매질내에서 증폭되고 격자크기는 그림 4에서 처럼 매질내에서 단순하게 감소한다.

이러한 비균일 광굴절격자로부터 약한 읽기빔이 브래그 조건을 만족하는 각으로 정렬되어 입사된다고 가정하고, 읽기빔  $I_{1R}$ 과 회절빔  $I_{2R}$ 의 진폭에 대한 slowly varying approximation 및 경계조건  $I_{1R}(0) = I_{10}$ ,  $I_{2R}(0) = 0$ 을 사용하면 결합파동방정식으로부터 광굴절 부피 홀로그래프의 회절효율은 N. V. Kukhtarev 표현식에 의해 다음과 같이 정의된다.<sup>[12]</sup>

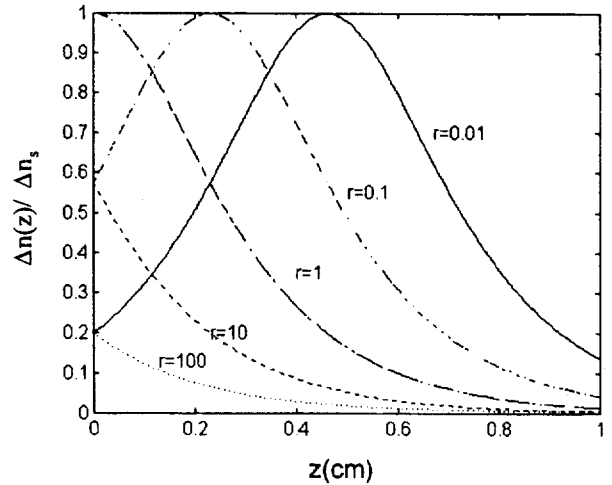


그림 4.  $\Gamma=10 \text{ cm}^{-1}$ 일 때 입력기록빔의 세기비  $r$ 에 따른 비균일 광굴절격자의 진폭

$$\eta = \frac{I_{2R}(d)}{I_{10}} = \frac{r [\exp(\Gamma d/2) - 1]^2}{(1+r)[1+r \exp(\Gamma d)]} \quad (7)$$

그림 5는 그림 1의 실험구성도에서 기록빔( $\lambda_w=514.5 \text{ nm}$ )과 읽기빔( $\lambda_r=633 \text{ nm}$ )이 각각 이상편광(extraordinary polarization)되었을 때 기록빔의 세기비  $r$ 에 따른 회절효율 측정 곡선이다.

본 논문에서 사용된 Ce-SBN:60(6 mm×5 mm×5 mm) 광굴절결정의 경우 결정내에서 기록빔의 상호작용길이가  $d=0.5 \text{ cm}$ 일 때, TWM실험으로부터 측정된 결합계수  $\Gamma$ 는  $10.45 \text{ cm}^{-1}$ 이고, 유효전하밀도(effective charge density)  $N_{eff}$ 는  $1.59 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 그리고, 그림 5에서 기록빔의 전체 광세기  $I_0$ 는  $84 \text{ mW/cm}^2$ 이고, 기록빔의 세기비  $r$ 은 ND(neutral density)필터를 이용하여 조정하였다. 또한, 격자간격  $\Lambda$ 는  $0.93 \mu\text{m}$ 이고 약한 읽기빔의 세기는 ND 필터를 사용하여  $0.578 \text{ mW/cm}^2$ 로 조정하였다. 광굴절결정에서 회절효율은 그림 5에 나타낸바와 같이 기록빔의 세기비에 따라 큰 폭으로 변하며, 두 기록빔의

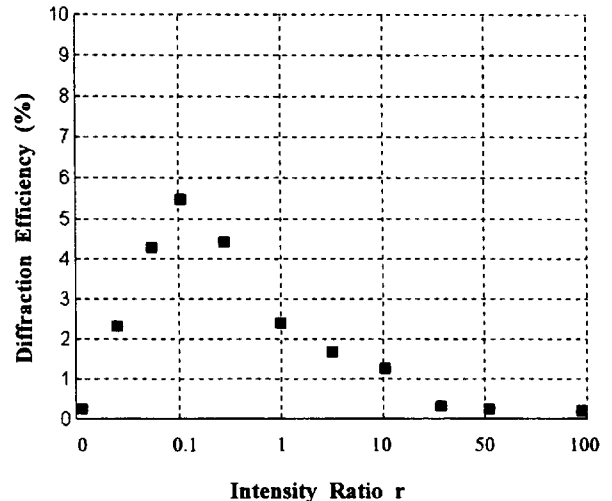


그림 5. 기록빔의 세기비  $r$ 에 따른 회절효율

세기비가 0.1일 때 최대효율특성을 볼 수 있다.

### 3.2. Ce-SBN:60결정의 시간응답특성 측정

그림 6은 그림 3의 실험구성도에서  $I_w$ 의 경로에 초파(chopper)를 위치시키고, 두 기록빔의 외부 입사각도를  $14^\circ$ ,  $I_{1w}=30 \text{ mW/cm}^2$ ,  $I_{2w}=21.68 \text{ mW/cm}^2$ ,  $I_{1R}=0.3 \text{ mW/cm}^2$ 일때의 시간에 대한 회절효율을 측정 한 곡형이다. 본 논문에서 사용된 Ce-SBN:60결정의 경우 이 조건에서 정상상태 회절효율은 4.7%이고, 111 ms에서 회절효율이 포화됨을 알 수 있다. 그리고, 초파가 닫힌 상태에서 격자소거시간은 157 ms이며, 회절효율의 이러한 시간의존성은 광 유기된 공간전하장 크기 및 결정의 응답시간 등에 관계되고 이미 잘 이해되고있는 BSO, BaTiO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub> 등과 같은 결정에서 얻은 실험결과와 일치함을 알 수 있으며, 일반적으로 광굴절결정에서 회절효율은 불순물의 농도 및 외부 인가전기장에 의해 향상시킬 수 있다.

### 3.3. Ce-SBN:60결정을 이용한 빔편향기 구성 및 고찰

그림 7은 광굴절 Ce-SBN:60 결정에서 TWM에 의해 광 유

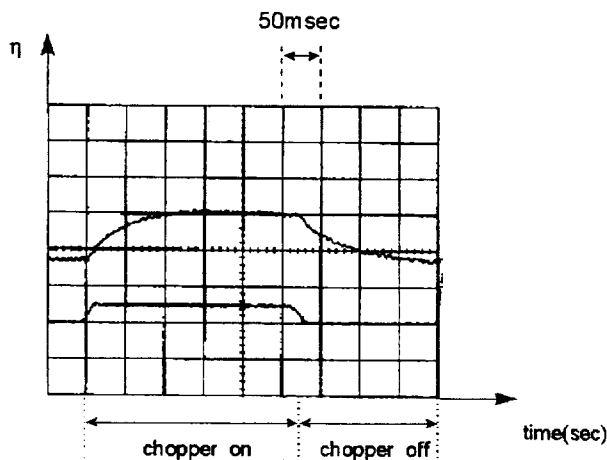


그림 6. 광굴절결정의 시간응답 특성

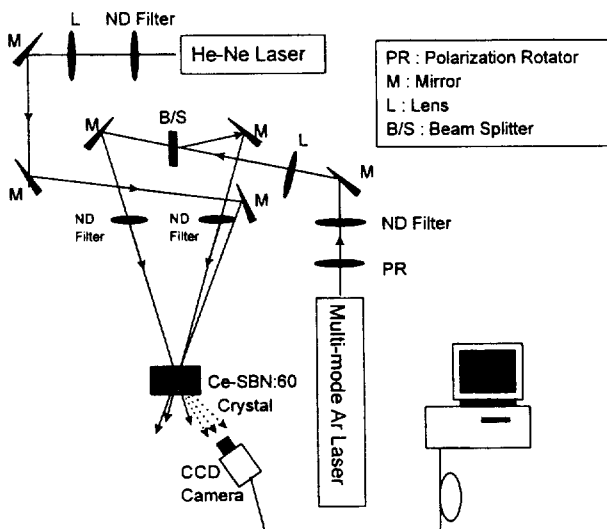


그림 7. 광굴절 광편향기 실험 구성도

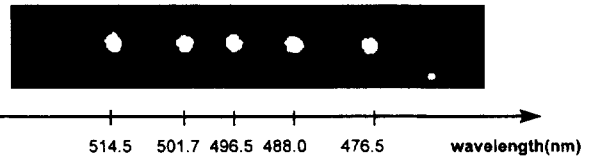


그림 8. 빔편향 실험결과

표 1. 회절각의 이론값과 실험값의 비교

Writing Beam Wavelength(nm)	Deflecting Beam Angle(degree) (Reading Beam Wavelength : 633 nm)	
	calculated	measured
514.5	4.93	4.94
501.7	5.05	5.02
496.5	5.09	5.08
488.0	5.20	5.20
476.5	5.30	5.31

기된 광굴절 부피격자를 적용한 광편향기의 실험구성도이다. 기록빔으로는 514 nm의 녹색과 488 nm의 청색광을 중심으로 9개 파장대를 동시에 출력하는 다파장 아르곤 레이저 (multi-wavelength Ar laser)에서 강한 빔세기를 갖는 5개 파장대(514.5, 501.7, 496.5, 488.0, 476.5 nm)를 이용하였고, ND 필터를 이용하여 두 기록빔의 세기비를 최대효율을 갖는 0.1로 조정하였다. 또한, 읽기빔으로는 633 nm의 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser)를 사용하였고, 최종적으로 결정에 입사되는 읽기빔의 세기는  $1.7 \text{ mW/cm}^2$ 이다. 기록빔으로 이용된 아르곤 레이저는 편광회전기(PR:Polarization Rotator)를 통해 이상편광으로 맞추었고, 아르곤 레이저의 두 간섭광 사이의 각도는  $4^\circ$ 이다. 출력단에 빨강색 필터(red filter)를 위치하여 633 nm 파장영역만 통과시킨후 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 통해 컴퓨터 모니터 상에서 회절된 빔을 관찰하였다. 5개의 파장에 대해 각각의 회절격자를 동시에 생성하고, 이 격자에 입사된 He-Ne 레이저 빔은 각 격자에 대해 5개의 각으로 각각 동시에 회절된다. 하지만, 다파장 레이저빔을 이용해 광굴절격자를 기록시킬 경우 상호 소거에 의해 각 파장에 대한 회절효율이 상당히 낮아진다는 단점이 있기 때문에, 회절효율이 높은 광편향을 이루기 위해서는 동적 부피격자를 이용하여 특정 파장의 한 각도에 대한 빔편향을 구현하는 것이 바람직하다. 그림 8은 그림 7의 실험구성도에서 얻은 실험결과 사진이고, 표 1은 결정 입사면의 법선에 대한 이론상의 회절각과 측정값을 비교한 것으로 이론값과 실험값이 거의 일치함을 알 수 있다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 외부전기장을 인가할 필요가 없고 낮은 광세기에서도 쉽게 광굴절 효과를 얻을 수 있는 Ce-SBN:60결정의 광파혼합 특성 및 광 유기된 광굴절 부피격자의 홀로그래픽 회절효율 특성을 해석하고 실험하였다. 먼저 Ce-SBN:60결정의 빔 결합특성을 조사하기 위해 TWM실험을 통해 결

합이득의 입사각 의존성 및 광세기 의존성을 측정하였으며, 측정된 최대 결합계수  $\Gamma$ 는  $10.45 \text{ cm}^{-1}$ 이고, 이론식 및 측정값으로부터 계산된 유효전하밀도는  $1.59 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 본 결정의 경우 회절효율은 광간섭패턴의 최대 변조지수와 일치하지 않으며 기록빔의 세기비가 0.1일 때 최대효율을 갖으나 정착된 홀로그래프에서 예측되는 회절효율에 비해 상당히 미약함을 알 수 있었다. 또한, TWM에 의해 형성된 동적 광굴절 부피격자를 이용하여 광 편향기를 구현하고 해석하였다. 이때 기록빔으로는 9개의 파장대를 동시에 출력하는 다중모드 아르곤 레이저를 이용하였고, 읽기빔으로는 633 nm의 헬륨-네온 레이저를 이용하였다.

실험결과 기존의 광 편향기에 비해 재구성이 용이하고 비교적 큰 편향각을 얻을 수 있었고 가변파장 레이저 다이오드 및 SBN 결정을 이용하면 높은 회절효율을 갖는 광필터 및 공간스위칭 소자로 응용이 가능할 것으로 예상된다.

**참 고 문 헌**

[1] L. Hesselink, *Int. J. Optoelec.*, **5**(2), 103-124 (1990).  
 [2] G. T. Sincerbox and G. Roosen, *Appl. Opt.*, **22**(5), 690-

697 (1983).  
 [3] G. Pauliat, J. P. Herriau, A. Delboulbe, G. Roosen, and J. P. Huignard, *J. Opt. Soc. Am. B.*, **3**(2), 306-314 (1986).  
 [4] S. Sternklar and B. Fischer, *Opt. Lett.*, **12**(9), 711-713 (1987).  
 [5] B. Fischer and S. Sternklar, *Appl. Phys. Lett.*, **51**(13), 74-75, (1987).  
 [6] T. G. Pencheva, M. P. Petrov, and S. I. Stepanov, *Opt. Comm.*, **40**(3), 175-178 (1982).  
 [7] Robert T. B. James, C. Wah, K. Lizuka and H. Shimotahira, *Appl. Opt.*, **34**(35), 8230-8235 (1995).  
 [8] L. Hesselink and M. C. Bashaw, *Optical and Quantum Elec.*, **25**, S611-S661 (1993).  
 [9] J. H. Hong and R. Saxena, *Opt. Lett.*, **16**(3), 180-182 (1991).  
 [10] H. Kogelnik, *Bell Syst. Tech. J.*, **48**, 2909-2947 (1969).  
 [11] J. Zhang and D. K. McMillen, *Appl. Opt.*, **35**(14), 2355-2359 (1996).  
 [12] N. V. Kukhtarev, V. B. Markov, S. G. Odulov, M. S. Soskim, and V. I. Vinetskii, *Ferroelectrics*, **22**, 949-960 (1979).

**Beam deflection using photorefractive volume grating in Ce-SBN:60 crystal**

Jun-Won Ahn and Nam Kim

*Dept. of Computer & Comm. Eng., Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju 361-763, Korea*

Kwon-Yeon Lee

*Dept. of Elec. Eng., Sunchon Nat'l Univ., Suncheon 540-742, Korea*

Hye-Young Kim and Yong-Hyup Won

*Optical Switching Lab., ETRI, Taejeon 305-350, Korea*

(Received : February 12, 1997)

In photorefractive crystals, light deflection is achieved by dynamic photorefractive volume grating, which is induced by the interference of two writing beams. In this paper, we implemented and analyzed the light deflector using Ce-SBN:60 crystal, which is doped with CeO<sub>2</sub> and photorefractive effect is induced by low intensity. And we measured maximum coupling coefficient, effective charge density, diffraction efficiency as the intensity ratio and response time.