

論文99-36D-9-9

혼합 편광빔과 원주면렌즈를 사용한 SPPCM의 성능 개선

(Improvement of the performance of SPPCM using mixed polarized beam and cylindrical lens)

李垠姬*, 金星完*, 金喆洙**, 金鍾允*, 李承熙***, 金秀重*

(Eun Hyeong Yi, Seong Wan Kim, Cheol Su Kim, Jong Yun Kim, Seung Hee Lee, and Soo Joong Kim)

요 약

Cat형 SPPCM(self-pumped phase conjugate mirror)의 응답시간을 개선시키기 위한 기존의 방법은 원주면 렌즈를 사용하여 패닝 (fanning) 빔을 증가시키는 방법이었다. 그러나, 이 경우에 SPPCM의 시간 불안정도가 증가하고, 패닝빔이 잡음 역할을 하게되어 반사율을 감소시킨다. 따라서, SPPCM의 특성들을 개선시키기 위해서는 패닝빔을 제어해 주어야 한다.

본 논문에서는 원주면 렌즈를 사용하여 입력빔을 선형으로 광굴절 결정에 집속시켜 SPPCM의 반사율을 증가시키고 응답시간을 감소시키며, 순수한 이상 편광빔 대신 혼합 편광빔을 입사시킴으로써 출력빔의 시간 불안정도를 감소시키는 방법을 제안하였다. 광실험을 통하여 제안한 SPPCM의 반사율이 2배로 증가하고 응답시간은 1/15로 감소함을 확인하였다. 또한, 혼합 편광빔의 편광 각을 10° 에서 30° 사이의 각도로 하였을 때 시간 불안정도가 감소함을 확인하였다. 광실험에서 전기광학 계수가 매우 큰 45° -cut BaTiO₃ 결정을 사용하였다.

Abstract

Conventional method to improve the response time of the Cat-SPPCM was to increase fanning beam using cylindrical lens. But, in this case the temporal instability of this SPPCM is increased, and fanning beam plays a role as noise, so that it decreases the reflectivity. Thus, fanning beam must be controlled to improve the properties of SPPCM.

In this paper, we propose the method to increase the reflectivity of SPPCM and decrease the response time by focusing line-shaped input beam into photorefractive crystal using cylindrical lens and decrease the temporal instability of output beam by using mixed-polarized beam instead of simple extraordinary polarized beam. Optical experiments show that the reflectivity of proposed SPPCM is increased twice and the response time is reduced by 15 times. Also, we observed that the temporal instability of SPPCM is reduced when the polarization angle of the mixed-polarized beam is between 10° and 30° . We used a 45° -cut BaTiO₃ crystal which has high electro-optical coefficients in optical experiments.

(Keyword : self-pumped phase conjugate mirror, photorefractive material, four wave mixing)

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronics & Electrical Eng., Kyungpook National University)

** 正會員, 慶州大學校 情報通信工學部
(Dept. of Electronics Information & Communication

Sciences, Kyongju University)

*** 正會員, 大慶大學 情報通信科

(Dept. of Information Communication, Taekyung C&D College.)

接受日字:1999年4月2日, 수정완료일:1999年8월11日

I. 서 론

위상공액경(phase conjugate mirror; PCM)은 일반거울과는 달리 빔의 진행 경로 중 임의의 매질에 의해 파의 왜곡이 생겼을 때, 그 매질의 특성에 대한 정보가 없이도 파의 왜곡을 보상해 줄 수 있다. 이러한 왜곡 보상의 특성 때문에 많은 연구가 되어왔으며, 주로 광 신호 처리, 광통신, 광학적 신경 회로망 등의 분야에서 응용되고 있다.

위상공액빔에 관한 연구는 1972년 Zeldovich등^[1]이 유도 브리유안 산란(stimulated Brillouin scattering)에 의하여 후방으로 산란된 빔이 입사빔의 위상공액빔(phase conjugated beam)이며, 이 빔이 위상이 왜곡된 입력 빔의 왜곡을 보상해 줄 수 있다는 것이 실험적으로 확인되면서 시작되었다. Zeldovich에 이어 1977년에 Hellwarth^[2]와 Yariv등^[3]이 제 3차 비선형 분극을 이용한 DFWM(degenerate four wave mixing)으로도 위상공액빔의 발생이 가능하다는 것이 제안한 후, DFWM을 이용하여 여러 가지 비선형 매질(BaTiO₃, BGO, As₂S₃ 등)에서 위상공액빔이 발생됨이 확인되었다^[1,2].

여러 비선형 매질 중 특히 BaTiO₃와 같은 매질의 위상공액빔의 발생은 매질의 광굴절 효과에 기인한다. 특수한 결정이나 액체에 전기장을 가해주면 이들 매질에서 굴절률의 변화가 일어나며, 이를 전기 광학 효과(electro-optic effect)라 한다. 특히 이러한 매질의 외부에서 전기장을 가하지 않고 강한 레이저 광을 입사시켜 매질 내에 유도된 공간전하장에 의해 생긴 전기 광학 효과를 광굴절 효과(photorefractive effect)라 한다. 광굴절 효과를 나타내는 물질로는 LiNbO₃, LiTaO₃, BaTiO₃, KNbO₃ 등이 있다. 이러한 광굴절 매질을 이용해 구현된 위상공액경에는 두 개의 입사빔을 이용하는 SPPCM(self-pumped phase conjugate mirror)이 있다. SPPCM은 하나의 입사빔을 사용하여 위상공액경을 구현할 수 있는 장점이 있어 많은 연구가 이루어졌다. SPPCM에는 Linear-SPPCM, Semi-Linear SPPCM, Cat-SPPCM, Ring-SPPCM, Backscatter SPPCM 등^[4]이 있다. 이 중 가장 획기적인 것은 1982년에 Feinberg^[5]에 의해서 처음으로 제안된 Cat-SPPCM이다. Cat-SPPCM은 광굴절 매질 이외에 하나

이상의 거울(mirror)들이 필요한 다른 SPPCM들과는 달리 결정에 대해 적절한 방향의 편광을 갖는 1개의 입사빔만으로 위상공액빔을 얻을 수 있어 구현이 쉬우며, 다양한 응용이 가능하다는 장점이 있다.

Cat-SPPCM이 제안된 후 이 SPPCM의 메카니즘을 설명하기 위한 많은 연구들이 진행되었는데, 1983년 MacDonald와 Feinberg^[6]에 의해서 제안된 모델이 가장 타당한 것으로 받아들여져 왔다. 이 모델은 FWM-TIR(total internal reflection)이라고도 하는데, 입사빔과 이 빔이 결정의 반대편 면에서 전반사된 빔이 결정 내의 두 간섭 영역에서 FWM을 일으켜, 결과적으로 위상공액빔이 생성된다.

최근에 Pochi Yeh 등^[7]이 레이저 파장에 따른 SPPCM 현상을 관찰하여 FWM-SPB(stimulated photorefractive back-scattering) 모델을 새롭게 제안하였는데, 이 모델은 패닝(fanning)빔이 결정의 표면이나 결정 내의 산란 중심에서 SPB에 의해서 간섭 영역으로 되돌아와서 위상공액빔이 형성되, 이 패닝빔은 입사빔이 매질 내에서 산란되어 발생된다는 것이다. 따라서 주로 도핑이 많이 된 매질이나 입사빔의 주파수가 높은 경우에는 매질 내에서 산란이 많이 일어나므로 FWM-TIR 모델보다 FWM-SPB 모델이 SPPCM현상을 설명하는데 더 적합하며,^[8,9] Yingw Lian 등^[10]은 FWM-SPB 모델이 적용되는 경우에는 입사빔의 편광방향으로 패닝 패턴을 제어할 수 있음을 보였다.

본 논문에서는 제안된 SPPCM을 설명하는 모델들을 고찰하여 Cat-SPPCM의 성능을 개선하고자 하였다. 기존의 Cat-SPPCM은 다른 SPPCM에 비해 낮은 반사율과 긴 응답 시간, 높은 불안정성 등의 문제점이 있었다. Cat-SPPCM의 성능을 개선시키기 위해서는 반사율을 증가시키고 동시에 긴 응답 시간을 줄이고, 불안정성을 감소시켜야 한다. 응답 시간을 줄여 주기 위해 제안된 방법에는 원주면 렌즈를 사용하여 패닝을 증가시키는 방법,^[11] 입사빔의 세기를 증가시켜 주는 방법, 열을 가하는 방법, 전자장을 인가해 주는 방법 등이 있다. 그러나 응답 시간을 줄이기 위해 패닝만을 증가시킬 경우에는 SPPCM의 불안정성이 가중되고, 패닝이 노이즈로 작용하게 되어서 결과적으로 반사율이 낮아지게 되므로 패닝을 제어해 줄 필요가 있다.

본 논문에서는 원주면 렌즈를 사용하여 입력 빔을 광굴절 결정에 선형으로 집속시켜 SPPCM의 반사율을 증가시키고 응답 시간을 감소시켰으며, 순수한 이상

편광빔(pure extraordinary polarized beam) 대신 편광 각도를 0° 에서 90° 사이의 각도로 설정하여, 이상 편광빔(extraordinary polarized beam)과 정상 편광빔(ordinary polarized beam)을 혼합한 혼합 편광빔(mixed polarized beam)을 입사시킴으로써 출력 위상공액빔의 불안정도를 감소시키는 방법을 제안하였다. 광 실험을 통하여 제안한 SPPCM의 성능이 개선됨을 확인하였으며, 매질은 광굴절 결정 중 전기광학 계수가 매우 큰 BaTiO3를 사용하였다.

II. 광굴절 효과에 의한 위상공액경

1. 위상공액빔의 성질

z 축 방향으로 진행하는 입의의 가간섭성 광파(coherent wave)는

$$\vec{E} = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y) e^{i\phi(x, y)} e^{i(\omega t - kz)} + c.c] \quad (1)$$

와 같이 표현된다. 여기서 $\phi(x, y)$ 는 광파의 공간 위상이고, $A(x, y)$ 는 진폭이다. 이 광파의 위상공액빔은

$$\vec{E}_{pc} = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y)^* e^{-i\phi(x, y)} e^{i(\omega t + kz)} + c.c] \quad (2)$$

와 같다. 식 (1)과 식 (2)를 비교해 보면 두 식은 시간 t의 부호만 서로 바꾼 결과와 일치한다. 따라서 위상공액빔을 시간반전파(time-reverse wave)라고 부르기도 한다. 다음 식과 같이 표현되는 광파가 있을 때,

$$\vec{E} = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y) e^{i(\omega t - kz)} + c.c] \quad (3)$$

위상 왜곡판(phase distortor)을 통과할 때 생기는 공간 위상의 변화를 $\phi(x, y)$ 로 표시하면 위상 왜곡판을 통과한 후의 광파는 식 (1)과 같이 된다. 이 빔이 위상공액빔을 발생시키는 비선형매질인, 위상공액경에 입사빔으로 들어가게 되면 식 (2)와 같이 표현되는 위상공액빔이 발생된다. 이 빔이 다시 위상 왜곡판을 통과하게 되면 공간위상변화를 다시 받게 되어

$$\vec{E} = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y)^* e^{i(\omega t + kz)} + c.c]$$

와 같이 표현된다. 즉 위상공액빔은 왜곡을 일으키는 매질을 다시 통과하게 되면 위상 왜곡판을 통과하기 전의 원 신호로 복원되는 성질을 가지고 있음을 알 수

있다. 만약 위상 왜곡판을 통과한 후의 빔이 일반 거울에 의해 반사되면 진행방향만 바뀌게 되므로

$$\vec{E} = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y) e^{i\phi(x, y)} e^{i(\omega t + kz)} + c.c] \quad (5)$$

와 같이 표현되고, 다시 위상 왜곡판을 통과하면

$$\vec{E}_R = \frac{1}{2} [\vec{A}(x, y) e^{2i\phi(x, y)} e^{i(\omega t + kz)} + c.c] \quad (6)$$

와 같이 표현된다. 식 (6)으로부터 반사된 빔의 위상왜곡이 입사빔의 2배로 증가했음을 알 수 있다.

그림 1에서는 위의 결과를 도식적으로 나타내었다. 그림 1(a)는 일반 거울을 사용한 경우에 반사된 빔이 방향과 위상이 모두 반전되어 위상 왜곡판을 한번 더 통과하면 위상의 왜곡이 2배로 증가함을 보여주고 있다. 그림 1(b)는 위상공액경을 사용한 경우이다. 이 경우에는 일반 거울의 경우와는 달리 반사파가 입사파와 위상은 동일하고 방향만 반전되어서 반사파가 위상왜곡판을 다시 한번 통과하면 위상 왜곡 부분이 서로 상쇄되어 왜곡이 없어진다. 또한 각도를 가지고 발산하는 광파인 경우에 일반 거울에서는 같은 각도로 반사되어 더 큰 폭으로 발산하게 되지만, 위상공액경은 입사경로와 동일한 경로로 반사 파가 진행된다.

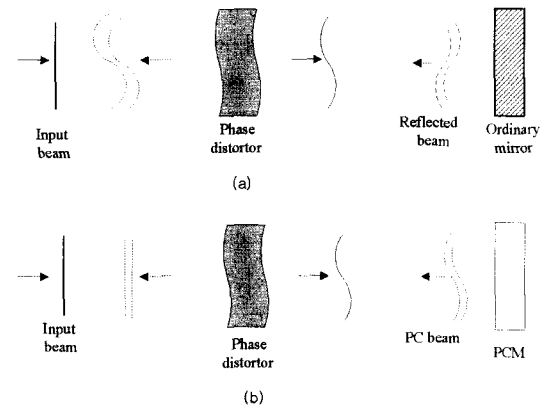


그림 1. 위상 왜곡판을 통과한 빔의 파두의 변화 (a) 일반 거울을 사용한 경우 (b) 위상공액경을 사용하였을때

Fig. 1. Evolution of the wave front of a beam passing through the distorting medium back and forth, when (a) an ordinary mirror is used and (b) a PCM is used.

2. SPPCM의 종류

광굴절 매질을 이용한 위상공액경의 종류는 그림 2와 같다. 그림 2(a), (b) 그리고 (d)의 경우는 결정과 결정으로 빔을 되돌려주는 거울들간의 각도가 브래그 조건 (Bragg condition)을 만족할 수 있도록 정확하게 조절해야 하므로 구현이 어렵다. 그림 2(c)와 (e)의 위상공액경은 결정 하나로 위상공액빔을 발생시킬 수 있어 구현이 간단하고 응용이 용이하다. 그림 2(e)와 같은 형태는 유도 브리유앵 산란(stimulated Brillouin scattering)과 비슷한 형태이지만 유도 브리유앵 산란에 비해서 높은 입력이 요구되지는 않는다. 그러나 다른 SPPCM에 비해서 반사율이 낮다. 그림 2(c)의 위상공액경은 발생된 위상공액빔의 불안정성이 다른 형태보다 비교적 높은 단점이 있으나 구현이 쉽고 입사빔의 세기가 작아도 된다는 장점이 있어 크게 주목받고 있는 형태이다. 이러한 형태의 위상공액경을 Cat-SPPCM 또는 SPPCM이라고 한다. 본 논문에서는 이러한 SPPCM의 성능 개선에 대해서 연구하였다.

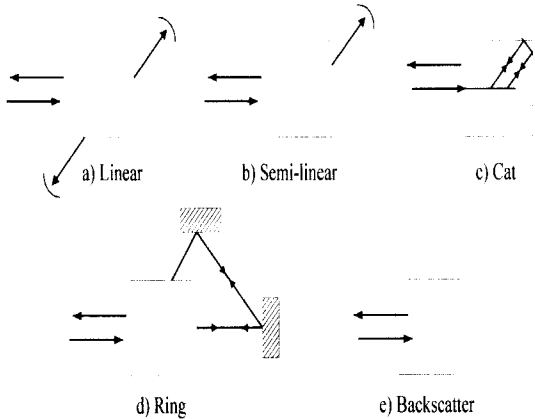


그림 2. 광굴절 매질을 사용한 다양한 SPPCM (a) Linear SPPCM, (b) Semi-linear SPPCM, (c) Cat-SPPCM, (d) Ring SPPCM, (e) Backscatter-SPPCM

Fig. 2. Various self-pumped phase conjugate mirrors using a photorefractive crystal. (a) Linear SPPCM, (b) Semi-linear SPPCM, (c) Cat-SPPCM, (d) Ring SPPCM, and (e) Backscatter-SPPCM.

III. SPPCM의 메카니즘과 성능개선

SPPC 현상에 대하여 제안된 모델 중 FWM-TIR 모델에서는 결정의 한 모서리에서 반사되어 돌아온 빔에

의해 결정 내에 두 개의 간섭 영역이 생성된다고 설명하고 있는 반면, FWM-SPB 모델에서는 패닝 빔이 결정의 표면이나 결정 내의 산란 중심에서 SPB에 의해서 간섭 영역으로 되돌아 와서, 위상공액빔이 형성된다고 설명하고 있다. 도핑에 의해서 매질에 주입된 불순물이나 결정내의 디펙트(defect)등이 산란중심으로 작용할 수 있다. 동일한 매질의 경우에는 주파수가 높은 빔은 주파수가 낮은 경우보다 반사율이 높아지는 특성 때문에 입사빔의 주파수가 높은 경우에 산란이 더 잘 일어난다. 따라서 사용되는 매질이 도핑이 많이 되어 있고 입사빔의 주파수가 높을 때는 FWM-TIR 모델보다 FWM-SPB 모델이 잘 적용된다. 그림 3은 FWM-TIR 모델을 설명하고 있다. 입사빔 1이 매질 내에서 굴절된 빔 2와 2'가 매질의 모서리에서 반사된 빔 3과 3'와 a, b 두 지점에서 FWM을 발생시켜 위상공액빔 4가 생성됨을 보여주고 있다. 그림 4는 FWM-SPB 모델을 설명하고 있는데, 매질 내에서 무수히 일어나는 산란들 중 간략하게 하나의 빔만을 예를 들어 그린 것이다. 광굴절 매질의 한 면으로 빔이 입사되면 매질 내에서 굴절된 빔 3과 매질내의 산란 중심들에 의해 후방 산란된 빔 2와 입사빔 1이 FWM을 일으켜 위상공액빔 4를 생성하는 과정을 도식적으로 나타내고 있다. 빔 근처 부분은 산란중심을 나타낸다. 그림 3과 그림 4를 비교하면, FWM-TIR 모델의 경우보다 FWM-SPB 모델의 경우에 산란에 더 큰 영향을 받음을 확인 할 수 있다. 따라서, 산란이 많이 일어나지 않는 경우에는 FWM-TIR이 위상공액빔 생성의 주원인이 되며, 산란이 많이 일어나는 경우에는 FWM-SPB 모델이 SPPCM현상을 설명하는데 더 적합한 것으로 생각된다. 실제로, 도핑된 결정에서는 주로 FWM-SPB에 의해서 위상공액빔이 생성되며, 도핑이 되지 않은 경우는 주로 FWM-TIR에 의해서 위상공액빔이 생성된다. 그리고 파장이 짧을수록 FWM-SPB 모델이 적합해 진다는 것이 관찰되었다.

SPPCM현상은 사용되는 매질의 비선형적 특성에 의해서 매질의 특성과 파장 이외에도 입력빔의 모양과 편광 방향에도 영향을 받는다. BaTiO₃ 결정의 전기 광학적 텐서를 보면, 텐서의 요소 값들 중에서 r₄₂값이 가장 크므로 yz면(c축과 평행한 면)에서의 굴절률이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 입사되는 빔 중 c축 방향의 빔 성분이 주로 패닝에 기여하므로, 이상 편광 빔이 주로 패닝을 일으키는데 기여하며, 정상 편광빔은

이상 편광빔에 의해 기록된 격자와 위상정합(phase matching)이 되지 않기 때문에 이상 편광빔에 의해 기록된 격자를 지우는 역할을 한다. FWM-SPB 모델을 따르는 경우에는 빔의 산란이 FWM영역생성의 주요인으로 작용하므로, 입력 빔의 편광 각도의 변화에 따라 패닝 패턴이 민감하게 변화한다.

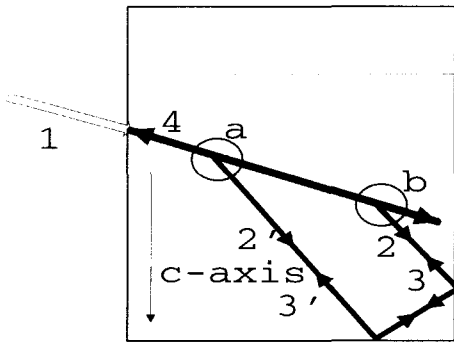


그림 3. FWM-TIR 모델
Fig. 3. FWM-TIR model.

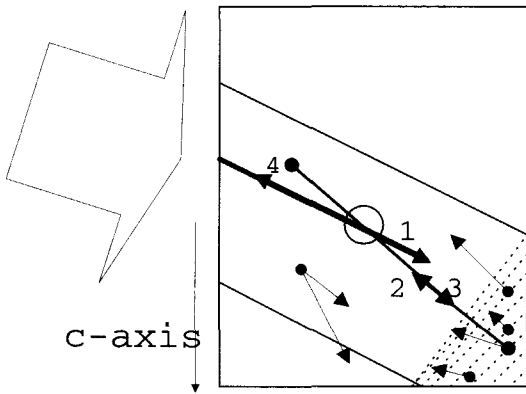


그림 4. FWM-SPB 모델
Fig. 4. FWM-SPB model.

입사빔의 세기가 일정 할 때 입사되는 빔의 형태에 따른 패닝의 변화는, 구면 렌즈를 사용하여 점 모양으로 초점을 맞추었을 경우보다 렌즈를 사용하지 않거나 구면 렌즈의 초점을 맞추지 않고 입사빔의 크기를 크게 했을 경우에 패닝이 더 잘 일어나고, 원주면 렌즈를 사용하면 패닝이 가장 잘 일어난다. 입사빔의 모양을 선형으로 결정에 입사시키면 c축으로 빔의 세기가 집중되어 c축과 평행한 면 전체에 산란 중심이 생성되므로 패닝이 많이 일어나게 되고, 따라서 SPB가 강하게 발생하므로 FWM이 일어나는 영역이 더 빨리 형성되어

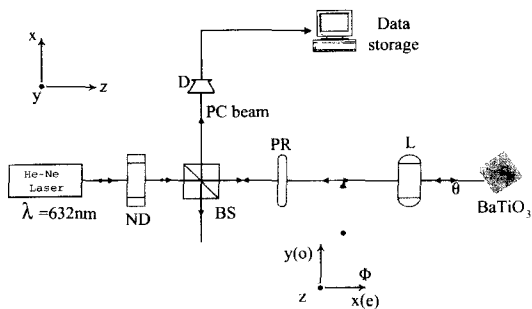
SPPCM의 응답 시간이 줄어들 것으로 기대된다. 그러나 이 경우에 일단 FWM영역이 생성된 이후에 패닝빔은 FWM에 의해 생성된 위상공액빔과 위상정합이 이루어지지 않는 빔이므로 서로 상쇄 간섭을 일으켜 반사율을 낮추고, 입사빔에 대하여 잡음으로 작용하여 위상공액경에서 반사된 위상공액빔의 세기를 시간에 따라 불규칙적으로 변화하게 하는 주요 원인으로 작용할 것이다. 패닝빔은 입사 빔의 편광방향에 대해 민감하게 변화하므로 편광방향을 조절해 줌으로써 패닝 패턴을 제어 할 수 있다. 이상 편광빔과 정상 편광빔을 혼합한 혼합 편광빔을 사용하면 편광각도를 변화시켜 패닝을 제어할 수 있다. 따라서, 입사되는 혼합 편광빔의 편광 방향을 조절하여 패닝을 적절하게 제어함으로써 원주면 렌즈를 사용하여 선형으로 빔을 입사시킨 결과로 개선된 반사율과 응답시간을 그대로 유지함과 동시에 불안정성을 감소시킬수 있을 것으로 기대된다.

패닝을 강하게 일으켜 응답시간을 줄여주기 위한 방법으로 원주면 렌즈를 사용해서 c축과 평행한 선형빔을 입사 시켰을 경우에는 결정 내에 산란 중심이 증가하여, FWM-SPB 모델이 타당하게 된다. 따라서 이 경우에 입사빔의 편광 각도를 변화시켜 주면 위상공액빔의 반사율과 응답 시간, 그리고 불안정성을 동시에 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 실험을 통해서 제안한 방법을 확인하였다.

IV. 실험 및 결과 고찰

제안한 SPPCM의 성능개선을 확인하기 위한 실험구성도는 그림 5와 같다. 본 실험에서는 파장이 632nm이고 광굴절 결정에 대해서 이상 편광된 He-Ne 레이저를 사용하였다. 레이저에서 출력되는 빔의 세기는 25mW이며, PR(polarization rotator)를 사용하여 입사빔의 편광방향을 조절하였다. PR의 각도가 0° 일 때가 순수한 이상 편광빔이며 90° 일 때가 순수한 정상 편광빔이 된다. PR을 0° 에서 40° 까지 변화시켜, 순수한 이상 편광빔과 혼합 편광빔의 편광각도를 변화시키에 따른 변화를 관찰하였다. 혼합 편광빔의 크기는 이상 편광빔과 정상 편광빔의 벡터 합이 되므로 편광각도를 변화시키에 따라 전체 광의 세기가 변하게 된다. 편광각도에 관계없이 5.5mW로 일정하게 입사빔의 세기를 유지하기 위해서 ND(neutral density) 필터를 사용하였

다. SPPCM을 구현하는데 사용된 광굴절 매질은 45° cutting된 BaTiO₃ 결정이고 BaTiO₃와 입사빔간의 각도는 30° 이다. 입사빔의 형태에 따른 SPPCM의 성능 변화를 관찰하기 위해서 실험 구성도의 L위치에 각각 구면 렌즈, 원주면 렌즈를 놓거나 렌즈를 놓지 않는 경우에 대해서 실험하였고, PR을 이용하여 편광 각도 ϕ 의 변화에 따른 SPPCM의 성능 변화를 관찰하였다. 투과율과 반사율의 비가 65:35인 빔 분할기(beam splitter; BS)를 사용하여 SPPCM에서 반사되는 위상공액빔의 35%를 검출기(detector)로 측정하였다. 측정된 데이터는 검출기에 연결된 컴퓨터에 저장하여 각 실험에 대한 결과를 서로 비교하였다.



- D : detector, ND : neutral density filter,
- BS : beam splitter (65 : 35),
- PR : polarization rotator,
- L : lens (spherical lens , cylindrical or no lens)
- ϕ : polarizer angle,
- θ : BaTiO₃ angle(=30°)

그림 5. 실험 구성도

Fig. 5. Schematic diagram of the experimental system.

그림 6은 L의 위치에 구면 렌즈를 놓고 초점을 맞추어서 점 형태로 빔을 입사시킨 결과이다. 구면 렌즈를 이용하여 점 형태의 빔을 입사했을 때는 편광 각도의 변화에 관계없이 동일한 결과를 보였다. 그림 6의 결과에서 점 형태로 입사시켰을 경우에는 응답 시간이 지나치게 길어서 실제로 응용에 부적합하다. 점 형태로 빔을 입사시킨 경우는 산란이 많이 일어나지 않는 경우이므로 주로 결정 내에서의 전반사에 의해 FWM 영역이 형성되는 FWM-TIR 모델을 적용할 수 있다. FWM-TIR 모델일 경우에는 입사빔의 편광 각도의 변화에 거의 영향을 받지 않았고, 입사빔의 세기가 세어질 수록 응답 시간이 짧아졌다.

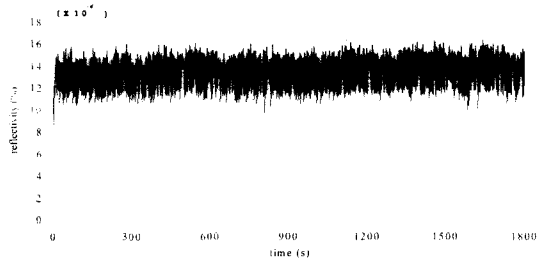


그림 6. 구면 렌즈를 초점을 맞추어서 점 모양의 빔을 입사시켰을 경우 SPPCM의 시간에 대한 반사율 변화

Fig. 6. Launching the point shape beam using focused spherical lens, the variations of SPPCM reflectivity.

그림 7은 편광 각도 ϕ 를 10° 로 둔 경우 원주면 렌즈를 L에 놓고 초점을 맞추어 선형으로 빔을 입사한 경우와 렌즈를 사용하지 않은 경우의 SPPCM의 반사율을 비교하였다.

렌즈를 사용하지 않은 경우는 혼합 편광빔의 편광 각도가 변함에 따라 SPPCM에서 반사되는 위상공액파의 변화가 적었던 반면, 원주면 렌즈를 사용한 경우는 혼합 편광빔의 각도에 민감하게 변화하였다. 렌즈를 사용하지 않고 구형으로 결정에 빔을 입사한 경우보다 원주면 렌즈를 사용하여 선형으로 빔을 입사한 경우가 응답 시간이 약 1/15로 감소되었고 반사율도 2배정도 증가했다. 이는 입사 면적이 넓어 산란 영역이 증가하게 되어 패닝이 빠르게 발생하기 때문이다. 입사빔이 c축과 평행한 선형일 경우에는 결정 내의 산란 중심이 증가하여 응답 시간이 단축된다. 원주면 렌즈로 입사빔의 형태를 선형으로 한 경우에는 산란이 많이 일어나는 경우이므로 주로 산란에 의해 FWM 영역이 형성되는 FWM-SPB 모델로 설명 할 수 있다.

입사빔의 형태를 c축에 평행한 선형으로 한 경우에 편광의 각도 변화에 따른 결과를 그림 8에서 비교하였다. 편광 각도가 0° 에서 30° 로 증가함에 따라 시간에 대한 위상공액빔의 불안정도가 감소됨을 볼 수 있다. 편광 각도가 20° 이상으로 증가하면 불안정성은 줄어들지만 반사율은 점차 감소한다. 입사시킨 혼합 편광빔의 편광 각도가 10° 일 때 반사율은 가장 크게 나타났으며 순수한 이상 편광빔을 입사한 경우보다 불안정성이 상당히 감소되었음을 볼 수 있다. 그러나 편광 각도가 20° 일 때나 30° 일 때 보다는 더 불안정한 결과를 보여준다.

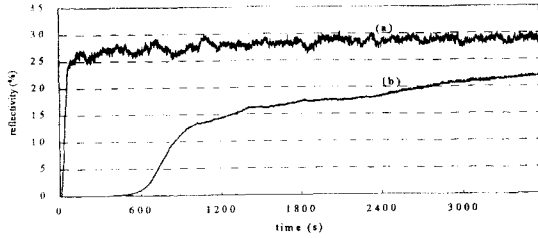


그림 7. (a) 원주면 렌즈를 이용하여 c축에 평행한 선형으로 빔을 입사한 경우 시간에 대한 반사율의 변화($\theta=10^\circ$) (b) 렌즈를 사용하지 않은 경우 반사율의 변화 : 빔의 직경 = $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ ($\theta=10^\circ$)

Fig. 7. (a) Launching the linear beam parallel to c-axis using cylindrical lens, the variations of reflectivity ($\theta=10^\circ$) and (b) using no lens, the variations of reflectivity. : beam diameter = $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ ($\theta=10^\circ$).

편광 각도가 40° 일 때는 입사되는 혼합 편광빔의 성분 중 정상 편광빔과 이상편광빔 성분의 크기가 비슷해져서 이상 편광빔에 의해서 기록된 격자가 시간이 흐름에 따라 정상 편광빔에 의해서 지워지고, 다시 이상 편광빔에 의해서 기록되는 과정이 반복되어 그림 8(e)와 같은 결과를 보인다. 그림 8의 결과에서 반사율과 안정성 사이에 trade-off가 존재함을 알 수 있는데, 10° 에서 30° 사이의 θ 값에서 높은 반사율을 가짐과 동시에 안정된 형태의 출력을 얻을 수 있는 최적의 값을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

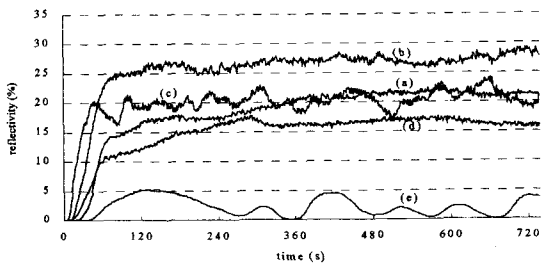


그림 8. 원주면 렌즈를 사용한 경우, 편광 각도의 변화에 따른 시간에 대한 반사율의 변화
편광 각도 : (a) $\theta=0^\circ$, (b) $\theta=10^\circ$, (c) $\theta=20^\circ$, (d) $\theta=30^\circ$, (e) $\theta=40^\circ$

Fig. 8. Using cylindrical lens, the variations of SPPCM reflectivity according to the variations of polarization angle. Polarization angle : (a) $\theta=0^\circ$, (b) $\theta=10^\circ$, (c) $\theta=20^\circ$, (d) $\theta=30^\circ$, and (e) $\theta=40^\circ$.

이 외에도 본 논문에서 제안한 방법과 같이 원주면 렌즈를 사용하여 선형의 빔을 입사시킬 때 입사빔에 대한 BaTiO_3 의 각도를 변화시킨 결과와 원주면 렌즈와 BaTiO_3 와의 거리를 조절하여 입사빔의 크기와 모양을 변화시킨 경우 위상공액경에서 반사된 위상공액파를 관찰함으로써 SPPCM의 성능을 더욱 개선할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

위상공액경의 응답시간을 줄이기 위한 방법으로 원주면 렌즈를 사용해서 c축과 평행한 방향의 선형으로 빔을 입사 시켰을 경우에는 결정 내에 산란 중심이 증가하여, 주로 FWM-SPB에 의해서 위상공액빔이 발생한다. 따라서 입사빔의 편광 각도를 조절함으로써 위상공액경의 반사율과 응답 시간, 그리고 불안정성을 개선할 수 있다.

본 논문에서는 SPPCM이 입사빔의 형태와 편광 각도 모두에 영향을 받는다는 것을 실험적으로 증명하였고, 그 이론에 따라 SPPCM의 성능을 개선하였다.

구면 렌즈를 사용하여 점 형태로 빔을 입사시키는 기존의 방법은 지나치게 긴 응답 시간 때문에 실제로 응용하는데 문제가 있었다. 렌즈를 사용하지 않고 구형으로 입사했을 경우에는 점 형태로 입사했을 경우보다는 응답 시간이 상당히 개선되었으나 원주면 렌즈를 사용하여 c축에 평행한 방향의 선형 빔을 입사했을 경우 보다는 성능이 좋지 않았다. 선형 빔을 입사했을 경우에는 구형 빔의 경우보다 응답 시간이 1/15로 감소되었고, 반사율도 2배정도 증가하였다. 그러나 순수한 이상 편광빔을 선형으로 입사하였을 경우에는 응답 시간과 반사율이 개선되는 반면, 불안정성이 상당히 증가하는데, 이러한 불안정성은 혼합 편광빔의 편광각도를 조절함으로써 제어 할 수 있었다. 혼합 편광빔의 편광각도를 변화 시키면서 실험을 수행한 결과 편광각도가 10° 에서 30° 사이에서 빠른 응답시간과 낮은 불안정성, 그리고 높은 반사율을 가지는 위상공액경을 구현 할 수 있었다. 도핑된 매질과 높은 주파수의 빔을 사용하면 FWM-SPB모델에 따라 패닝이 더 잘 일어나므로 응답시간을 더 줄일 수 있을 것으로 보인다.

앞으로 좀더 정밀한 실험과 고찰을 통해 낮은 불안정성을 가지는 동시에 높은 반사율을 가지는 SPPCM

을 구현하는 최적의 편광각도를 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] B. Ya. Zeldovich, V. I. Popovichev, V. V. Ragulskii, and F. S. Faizullov, "Connection between the wave fronts of the reflected and exciting light in stimulated Mandelshtam-Brillouin scattering," *sov. phys. JETP*, vol. 15, no. 2, pp. 109-112, 1972.

[2] R. W. Hellwarth, "Generation of time-reversed wave fronts by nonlinear refraction," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 67, no. 1, pp. 1-5, 1977

[3] J. O. White, M. Cronin-Golomb, B. Fisher, and A. Yariv, "Coherent oscillation by self-induced gratings in the photorefractive crystal BaTiO₃," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 40, no. 6, pp. 450-452, 1982

[4] P. Gunter and J.-P. Hüignard, "Photorefractive materials and their applications II : Survey of applications," Springer-Verlag, 1989.

[5] J. Feinberg, "Self-pumped, continuous-wave phase conjugator using internal reflection," *Opt. Lett.*, vol. 7, no. 10, pp. 486-488, 1982.

[6] K. R. MacDonald and J. Feinberg, "Theory of a self pumped phase conjugator with two coupled interaction regions," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 73, no. 5, pp. 548-553, 1982.

[7] Y. Lian, S. H. Lin, S. Campbell, K. Y. Hsu, and P. Yeh, and Y. Zhu, "Polarization-dependent mechanism transformation during self-pumped phase conjugation in BaTiO₃ : Ce," *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 16, pp. 1683-1685, 1995.

[8] S. X. Dou, H. Gao, Y. Lian, H. Wang, Y. Zhu, X. Wu, C. Yang, J. Zhang, and P. Ye, "Studies of formation mechanisms of self-pumped phase conjugation in BaTiO₃ : Ce crystal at wavelengths from 570 to 680 nm," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 12, no. 6, pp. 1048-1055, 1995.

[9] P. Xie, P.-Y. Wang, J.-H. Dai, H.-J. Zhang, "Backward beam fanning in photorefractive crystals," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 15, no. 5, pp. 1521-1527, 1998.

[10] Y. Lian, S. X. Dou, H. Gao, Y. Zhu, X. Wu, C. Yang, and P. Ye, "Mechanism transformation with wave length of self-pumped phase conjugation in BaTiO₃ : Ce," *Opt. Lett.*, vol. 19, no. 9, pp. 610-612, 1994.

[11] G. J. Salamo, B. D. Monson, G. L. Wood, E. J. Sharp, and R. R. Neurgaonkar, "Improved photorefractive time response using a cylindrical lens," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 14, pp. 1847-1854, 1991.

저 자 소 개



李 垠 姪(正會員)
 1974年 2月 2日生. 1996년 2월 :
 영남대학교 전자공학과 졸업 (공
 학사). 1999년 2월 : 경북대학교
 대학원 전자공학과 졸업 (공학석
 사). 주관심분야 : 광신호처리,
 위상공액경 및 비선형 광학

金 喆 洙(正會員) 第 35卷 D編 第3號 參照.
 경주대학교 컴퓨터 정보통신공학부
 전임강사

金 鍾 允(正會員) 第 35卷 D編 第3號 參照

李 承 熙(正會員) 第 35卷 D編 第3號 參照
 大慶大學 情報通信科 助教授

金 星 完(正會員) 第 35卷 D編 第3號 參照

金 秀 重(正會員) 第 35卷 D編 第3號 參照