

論文98-35D-3-11

Fe-LiNbO₃ 결정에서 광굴절격자의 비균일성에 의한 광학적 잡음의 영향 분석

(Analysis of optical noise influence due to inhomogeneity of photorefractive grating in Fe-LiNbO₃ Crystal)

安俊遠*, 崔連淑*, 金男*, 李權淵**, 姜錫烈***

(Jun-Won An, Yeon-Suk Choi, Nam Kim, Kwon-Yeon Lee, and Seok-Youl Kang)

요약

LiNbO₃ 결정은 과다한 에너지가 결정에 입사될 경우 결정내부의 비 균일성에 의해 회절되는 빔이 일그러지는 광학적 잡음이 존재한다. 본 논문에서는 Fe가 0.02Wt.% 도핑 되었고, 크기가 10mm×10mm×10mm인 LiNbO₃ 결정의 회절특성과 광 정보저장 응용시 잡음성분이 미치는 영향을 고찰했다. 단일 빔을 결정에 입사시켰을 경우 결정내부의 비 균일성에 의한 잡음의 영향을 분석함으로써, 이에 영향받지 않고 응용할 수 있는 에너지범위를 제시한다. 파장이 514.5nm이고, 세기가 10mW, 5mW, 1mW, 0.5mW인 아르곤 레이저 빔을 결정에 수직으로 입사시켰을 때 각각에 대한 광학적 잡음의 영향과 514.5nm 파장대에서 결정에 입사되는 빔의 방향에 따른 영향을 실험했다. 또한, 514.5nm 파장과 632.8nm 파장대에서 광굴절 결정이 광학잡음으로부터 영향받는 정도를 비교·분석하였다.

Abstract

In a LiNbO₃ crystal, optical noise is caused by the inhomogeneity of crystal inside if the excess energy is incident on the crystal. In this paper, we experiment the influence of optical noise when it is applied for beam diffraction and optical information storage. And it is proposed the energy threshold level which is not affected by optical noise in Fe-LiNbO₃ crystal(0.02Wt.% doped, 10mm×10mm×10mm). The optical noises of crystal were measured as a function of the incident beam intensity(10mw, 5mw, 1mw, 0.5mw), direction of incident(orthogonal, left rotation, right rotation) and wavelength(514.5nm, 632.8nm).

I. 서론

특수한 비선형 결정에서 일어나는 광굴절효과(photo-

refractive effect)는 코히어런트(coherent)한 두 빔 (beam)의 간섭에 의해 유도되는 공간전하장의 전기광학효과(electro-optic effect)에 의해 선형적인 굴절률 변화가 유기되는 현상이다. 이러한 효과를 갖는 광굴절결정으로는 LiNbO₃, LiTaO₃, KNbO₃, GaAs, InP, BaTiO₃, SBN, KNSBN, BSO, BSKNN 등이 있다. 광굴절효과를 이용한 응용은 높은 회절효율, 제작의 간편성, 소자의 소형화와 같은 이점으로 인해 광통신^[1], 광교환^{[2][3]}, 고밀도 광정보저장^{[4][5]}과 같은 분야에 실험실단위에서 활발히 연구되어왔고, 현재 실용화가 가능한 기술로 인식되어 향후 광소자 연구에서

* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科

(Dept. of Computer & Comm. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

** 正會員, 順天大學校 電子工學科

(Dept. of Elec., Suncheon Nat'l Univ.)

*** 正會員, 韓國電子通信研究院 ATM 技術研究部

(Dept. of ATM Tech., ETRI)

接受日字:1997年11月28日, 수정완료일:1998年2月28日

중심적 역할을 할 것으로 기대된다.

특히, LiNbO₃결정은 가시영역인 500nm 대에서 가장 감광도가 좋고 광굴절 특성이 우수한 매질중의 하나로 알려져 있다. 또한, 개량된 Czochralsky 방법을 이용해 양질의 결정을 크게 성장시킬 수 있고 고 해상도의 홀로그래프 저장에 적절한 매질을 얻을 수 있기 때문에 고밀도 광 정보저장^{[6] [7] [8]} 및 광통신 소자로서 응용하기 위한 활발한 연구가 진행 중에 있다. Fe, Mn과 같은 불순물을 도핑(doping)시켜 광굴절 민감도 및 전기 광학적 특성을 향상시킬 수 있기 때문에 일반적으로 불순물이 도핑된 결정을 이용한다.^[9] 이렇게 다양한 방식으로 활발히 연구되고 있는 LiNbO₃ 결정을 이용한 2광파 결합 실험 중 과도한 양의 에너지가 결정에 입사될 경우 빔 경로(beam path)를 따라 결정 내부의 배열이 비균일적(inhomogeneity)으로 일그러진 형태의 내부 손상을 입는 현상을 발견하였다.

이러한 결정내부의 일그러짐으로 인해 결정을 투과한 빔의 모양이 심하게 퍼질 뿐 아니라 세기도 급격하게 감소하는 현상이 일어났고, 시간이 지날수록 점차 그 정도가 심해졌다. 결과적으로 광소자 및 광 메모리 소자로서 응용시 적용할 수 있는 범위에 상당한 제약으로 작용함을 알 수 있었다. 따라서, 본 결정을 응용시 이러한 광학 잡음 성분에 영향받지 않는 범위에서 사용되어야 한다.

본 논문에서는 Fe가 0.02Wt.% 도핑 되었고 크기가 10mm×10mm×10mm인 Fe-LiNbO₃ 결정을 이용해 회절특성과 광정보저장 실험에서 광학적 잡음이 존재하는 결과를 제시함으로써, 과도한 에너지 입사에 따른 광학적 잡음에 대한 문제점을 제기하였다. 또한, 단일빔 입사를 통한 광학 잡음 분석 실험의 결과로써 이에 영향받지 않는 에너지 범위를 제시하였다. 첫 번째로 결정에 수직으로 입사되는 514.5nm의 아르곤 레이저(argon laser) 세기를 10mw, 5mw, 1mw, 0.5mw로 조절해 입사빔의 세기에 따른 잡음의 정도 및 이에 영향받지 않는 범위를 측정하고, 세기가 0.5mw인 경우 결정에 입사되는 빔의 방향에 따른 잡음의 영향을 조사했다. 또한, 입사되는 빔 세기가 5mw 일때 632.8nm의 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser)에 의한 실험을 통해 514.5nm의 아르곤 레이저에 의해 나타나는 광학적 잡음성분을 비교·분석하였다.

II. LiNbO₃ 결정에서 광학 잡음의 영향

그림 1(a)는 광학 잡음의 영향을 받기 이전에 결정을 통과한 빔 모양이고, 그림 1(b)는 결정 내에 과도한 에너지의 입사에 의해 광학 잡음의 영향을 받은 후 결정 뒷단에 나타나는 빔 모양을 보인 것이다. 그림에서 보인 것 같은 현상은 몇 mw정도의 약한 세기의 레이저 빔이 결정에 입사되면 입사되는 빔 크기나 편광상태에 상관없이 쉽게 생성되고, 이러한 비 균일성에 의한 광학잡음의 영향으로 인해 결정 뒷단에 나오는 빔의 모양이 그림 1(b)와 같이 옆으로 퍼져 심각한 잡음으로 작용할 뿐 아니라 그 세기도 점차 감소한다. 따라서, 최근 가장 활발히 연구되고 있는 광굴절 매질중의 하나인 LiNbO₃ 결정을 고밀도 광정보저장, 광통신소자, 광교환소자 등과 같은 분야에 보다 효과적으로 응용하기 위해서는 그림 1에서 보인 광학 잡음의 영향을 받지 않는 에너지 범위에서 사용되어야 한다. 이 현상은 결정에 입사되는 에너지량에 비례하고 빔 방향(path)을 따라 형성되는데 가시영역(visible region)과 자외선영역(ultraviolet region)에서 쉽게 형성되고 1000nm 이상의 긴 파장대에서는 수 일(day) 정도의 오랜 시간동안 빔을 입사시키지 않는 한 별 영향을 받지 않는다. 본 절에서는 2광파 결합에 의한 회절 특성 실험과 광정보저장 응용실험을 통해 광학 잡음 성분에 대한 문제점을 제시하였다.

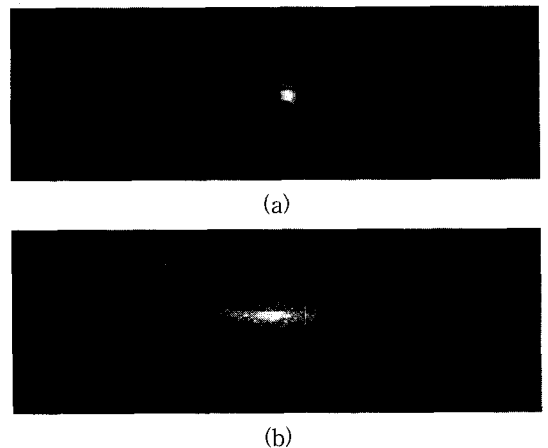


그림 1. 광학잡음에 의한 결정 뒷단의 빔 모양 (a) 광학잡음의 영향을 받기 이전의 빔 모양 (b) 광학잡음의 영향을 받은 이후의 빔 모양

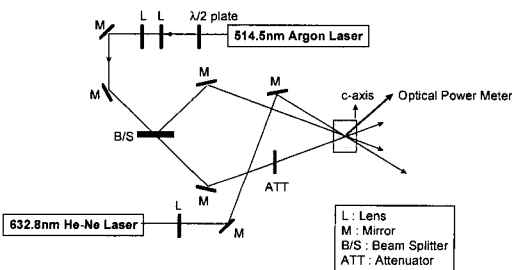
Fig. 1. Beam appearance behind the crystal by optical noise (a) beam appearance before optical noise influence (b) beam appearance after optical noise influence

1. 광학잡음이 회절빔에 미치는 영향

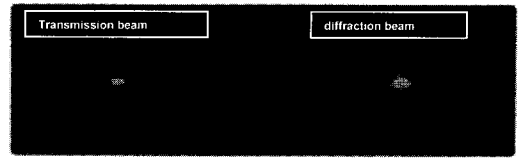
그림 2(a)는 2광파 결합(TWM: two-wave mixing)을 통해 Fe-LiNbO₃ 결정 내에 광굴절 부피격자를 기록하고 결정 내에 생성된 격자의 회절특성에 대한 광학잡음의 영향을 알아보기 위한 실험 구성도이다. 기록빔으로 이용된 514.5nm의 아르곤레이저는 빔분할기(B/S)를 통해 두 빔으로 나누어 결합계수가 6.9cm⁻¹로 최대의 값을 갖는 6°의 반각으로 결정에 입사시켰다. 또한, 판독빔으로 이용된 632.8nm의 헬륨-네온 레이저는 기록빔의 파장, 기록빔의 입사각, 판독빔의 파장에 의해 결정되는 브래그각 7.38°로 입사시켰고 광축 방향으로 회절된 빔과 투과된 빔의 모양을 CCD 카메라를 통해 모니터에 디스플레이 시켰다.

그림 2(b),(c)는 그림 2(a)의 실험구성도에서 헬륨-네온 레이저가 결정을 통과한 빔과 회절된빔이 광학잡음의 영향을 받기 이전과 이후의 빔 모양을 나타낸 것이다. 그림 2(b)의 결과는 기준빔(reference beam)의 세기가 10mw, 신호빔의 세기가 1mw 인 조건에서 2초간 기록시켰을 때 결정을 투과한 빔 모양이며, 이때 결정에 입사된 에너지량은 22mJ 이다. 또한, 그림 2(c)의 결과는 동일한 빔세기 조건에서 기록시간이 20초인 경우에 대한 결과로 220mJ 의 에너지를 통해 회절격자를 기록한 경우이다.

그림의 실험결과에서 보면 본 실험에 이용한 결정은 입사되는 빔의 과다한 에너지에 의한 광학잡음으로 인해 투과되는 빔과 회절되는 빔의 모양이 일그러지는 현상을 볼 수 있고 빔의 세기도 점차 감소하였다. 따라서, 광편향기(optical deflector), 광필터(optical filter), 광교환(optical interconnection), 광컴퓨팅(optical computing), 광메모리(optical memory)시스템 등과 같은 응용분야에 적용시 심각한 문제로 작용할 수 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 회절빔에 대한 광학잡음의 영향

(a) 실험 구성도 (b) 광학잡음의 영향을 받기 이전의 빔모양 (c) 광학잡음의 영향을 받은 후의 빔모양

Fig. 2. Optical noise influence for diffraction beam. (a) optical setup (b) beam appearance before optical noise influence (c) beam appearance after optical noise influence.

2. 광정보저장 실험을 통한 광손상의 영향

그림 3(a)는 실시간 광학소자인 LCD(liquid crystal device)를 이용해 Fe-LiNbO₃ 결정 내에 영상정보를 기록하고 재생하기 위한 실험 구성도이다. B/S에 의해 나뉘어진 두 빔 중 LCD를 통과하는 물체빔(object beam)은 spatial filter와 pinhole을 이용해 균일한 분포의 평행광으로 조절한 후 렌즈를 이용해 집속(focusing)시켰으며, 참조빔(reference beam)과의 입사각은 12°이다. 결정 내에 홀로그램을 기록한 후 재생되어 스크린(screen)에 비친 결과를 CCD(charge coupled device) 카메라를 사용해 컴퓨터 모니터에 디스플레이 시켰다.

그림 3(b), (c), (d), (e)는 그림 3(a)의 광정보저장 실험 구성도에서 얻은 결과로 광학잡음에 의한 영향이 없을 경우와 영향이 있는 경우를 비교한 것이다. 그림 3(b), (d)는 집모양의 영상과 1과 0으로 표현된 디지털 데이터가 광학 잡음의 영향을 받기 이전에 재생된 결과이고, 그림 3(c), (e)는 광학 잡음의 영향을 받은 이후에 각 영상을 재생시킨 것이다. 이때의 빔세기 및 기록시간은 2-1절에서 실험한 조건과 동일하며, 입사되는 에너지 역시 각각 22mJ, 220mJ이다. 그림의 결과에서 보면, 기록 에너지 량이 22mJ 인 경우 완벽하게 원 영상을 재생해낼 수 있지만, 220mJ 인 경

우에는 광학잡음의 영향으로 인해 재생된 영상의 품질이 상당히 저하됨을 알 수 있다. 따라서, Fe-LiNbO₃ 결정을 광 정보저장 소자로 적용시 광학 잡음은 심각한 문제로 대두될 수 있으며, 반드시 고려되어야 할 사항 중의 하나로 인식된다.

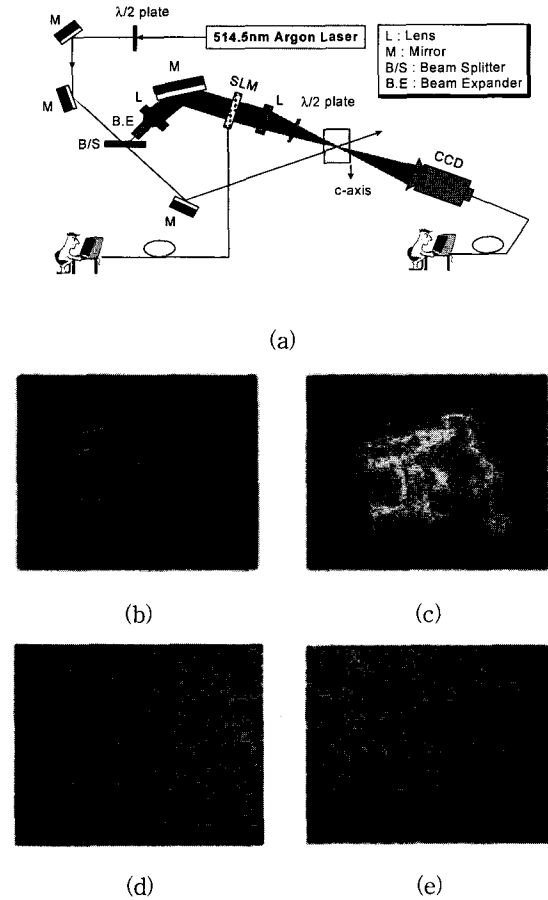


그림 3. 광정보저장 응용시 광학잡음의 영향 (a) 실험 구성도 (b), (d) 광학잡음의 영향을 받기 이전에 재생된 영상 (c), (e) 광학잡음의 영향을 받은 이후에 재생된 영상

Fig. 3. Optical noise influence in optical information storage application. (a) optical setup (b), (d) reconstructed image before optical noise influence (c), (e) reconstructed image after optical noise influence.

III. 광학잡음의 영향 실험 및 분석

광굴절결정은 입사되는 빔세기에 따라 격자형성 시간 및 정도에 차이가 있고, 전기광학적 특성 실험시

가장 중요한 요소로서 작용할 수 있다. 또한, 입사되는 각도에 따라 격자의 배열방향이 광축과 이루는 각도가 달라지기 때문에 에너지 전달 특성 및 회절특성에 차이를 보이고, 파장에 따른 감광도가 다르기 때문에 결정의 특성이 달라진다. 따라서, 본 논문에서는 광학잡음에 대한 영향을 입사되는 빔세기 및 입사방향 그리고 빔의 파장에 따른 함수로 측정하였다. 그림 4는 Fe-LiNbO₃ 결정에 입사되는 에너지에 의한 광학잡음의 영향을 조사하기 위한 실험 구성도이다. 그림 4(a)는 514.5nm 영역에서 감쇄기(attenuator)를 이용해 결정에 입사되는 빔 세기를 10mw, 5mw, 1mw, 0.5mw로 조절하여 입사되는 빔의 세기에 따른 잡음의 영향을 측정하기 위한 실험도이고, 그림 4(b)는 결정에 입사되는 빔의 방향에 대한 잡음의 의존성을 실험하기 것이며, 그림 4(c)는 514.5nm 파장영역과 632.8nm 파장에서 영향을 비교실험하기 위한 구성도이다. 각 실험후 결정 내부에 생긴 비 균일성은 결정의 온도를 약 100도 정도로 가열시키면 없어진다. 따라서, 각각의 실험 후 온도에 의해 비 균일성을 없앤 후 반복 실험을 행하였다.

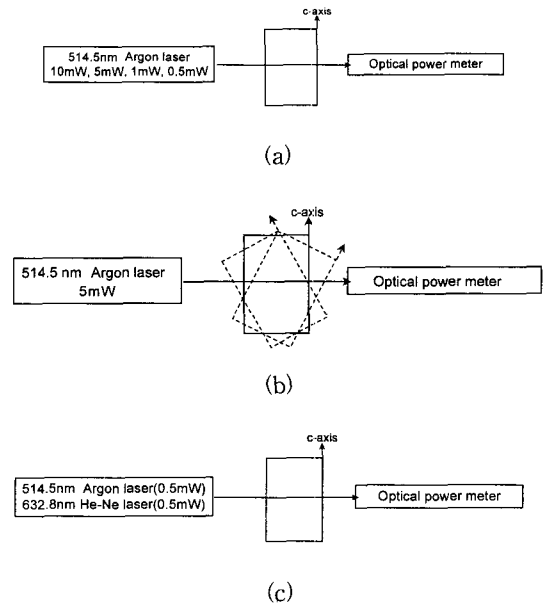


그림 4. 광학잡음 실험 구성도 Fig. 4. Experimental setup for optical noise.

그림 5는 그림 4(a)의 실험 구성도에서 측정된 실험결과이다. 그림에서 나타낸 에너지량은 결정내의 한 점(point)에 입사되는 양을 나타내며, 이는 빔 세기와

입사된 시간의 곱으로 계산된 것이다. 또한, 광학잡음의 영향을 받지 않는 에너지범위는 결정을 통과한 빔의 세기가 감소하지 않고 일정하게 유지되는 범위로 한정했고, 실험 측정값은 동일한 실험을 3회 반복해 얻은 값의 평균값으로 표현한 것이다. 그림 5의 결과에서 보면 결정에 입사되는 빔 세기가 10mW일 때 잡음의 영향을 받지 않고 빔 세기가 유지되는 범위는 약 10mJ이고, 이후 계속적으로 감소하며 160mJ의 에너지가 가해졌을 때 50%정도로 감소했다. 그리고, 빔 세기가 5mw, 1mw, 0.5mw일 때 광학잡음의 영향을 받지 않는 에너지 한계량은 각각 25mJ, 30mJ, 35mJ이고, 50%까지 감소하기까지 결정의 한 점에 입사되는 에너지량은 각각 175mJ, 180mJ, 190mJ 이다. 입사되는 에너지량에 따른 광학잡음의 정도를 측정한 결과는 빔 세기가 강할수록 더 적은 에너지에 의해 광학잡음의 영향을 많이 받고, 더욱 빠른 속도로 빔의 세기가 감소함을 보인다. 실험결과에서 보듯이 광굴절 결정 내부의 비균일성에 의한 광학 잡음은 급격하게 내부의 변화를 야기 시킬수록 잡음으로부터 많은 영향을 받는다는 것을 실험적으로 보여준다.

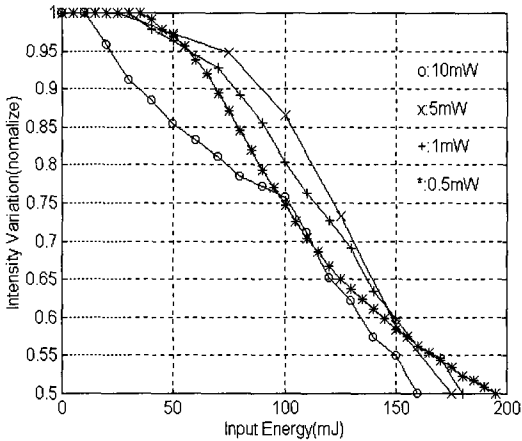


그림 5. 입사되는 빔세기에 따른 광학잡음의 영향
Fig. 5. Optical noise influence due to incident beam intensity.

광굴절결정은 에너지가 전달되는 광 축(optical axis)을 가지고 있기 때문에 결정에 입사되는 빔의 방향에 따라 전기광학적 특성 및 에너지 전달특성과 같은 성질이 틀려지고, 결과적으로 결정 내부의 비균일성에 의한 광학 잡음의 정도가 달라질 수 있다. 그림 6은 514.5nm 파장의 빔세기가 0.5mw 일때 결정에

입사되는 빔의 방향이 결정에 수직인 경우, 결정을 오른쪽과 왼쪽으로 회전시켜 입사시킨 경우 각각에 대한 광학잡음의 정도를 측정하여 비교한 것으로 그림 4(b)의 실험 구성도로 측정된 것이다. 실험 구성도의 ①은 결정에 수직으로 입사되는 경우이고, ②는 결정을 왼쪽으로 회전시킨 경우이며, ③은 결정을 오른쪽으로 회전시킨 경우이다. 그림 6의 실험결과에서 보면 세 경우 모두 잡음의 영향을 받지 않는 에너지 범위는 35mJ로 거의 같지만 그 이상의 에너지가 결정에 입사되었을 경우 빔세기가 50%까지 감소하는데 입사되는 에너지는 각각 ① 195mJ, ② 205mJ, ③ 220mJ로 광학잡음의 영향을 받는 정도에 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 다시 말해, 입사되는 방향에 따른 영향은 광학잡음의 영향을 받지 않는 에너지 한계량은 같지만 한계를 초과해 잡음의 영향을 받기 시작한 이후로는 결정을 오른쪽으로 회전시킨 후 빔을 입사시킨 경우에 가장 영향을 덜 받았고, 수직으로 입사될 경우 가장 많은 영향을 받았다.

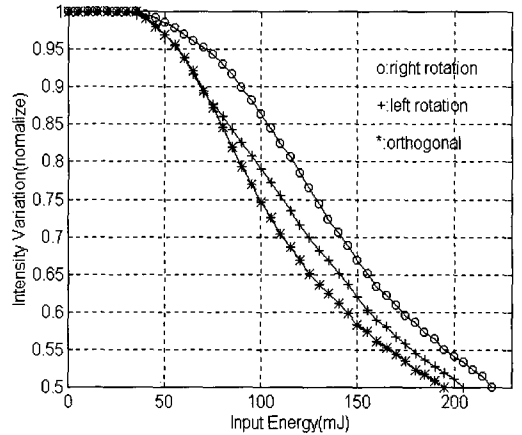


그림 6. 결정에 입사되는 방향에 따른 광학잡음의 영향

Fig. 6. Optical noise influence due to incident direction.

그림 7은 그림 4(c)의 실험 구성도에서 보인 것 같이 514.5nm의 아르곤레이저 영역과 632.8nm의 헬륨-네온 레이저영역의 빔을 결정에 수직으로 입사시켰을 경우에 대해 비교한 것이다. 이때, 결정에 입사되는 빔의 세기는 5mw이다. 그림 7의 실험결과에서 보면 헬륨-네온 레이저를 이용한 경우 아르곤레이저의 경우에 비해 잡음에 의한 영향을 입는 정도가 훨씬 덜하며 그

정도의 차이도 상당히 큼을 알 수 있다. 광학잡음의 영향을 받지 않는 에너지범위는 헬륨-네온 레이저 영역에서 300mJ이고, 아르곤레이저 영역에서는 25mJ이다. 또한, 결정을 통과한 빔의 세기가 50%까지 감소하는데 받는 에너지량도 각각 2000mJ, 175mJ로 10배 이상의 큰 차이를 보였다. 결국 514.5nm 영역에서 632.8nm 파장대에 비해 많은 잡음의 영향을 받음을 알 수 있다. 하지만, LiNbO₃결정의 경우 632.8nm 보다는 514.5nm 영역에서 훨씬 광굴절 민감도(photorefractive sensitivity)가 좋기 때문에 일반적으로 녹색(514.5nm) 및 청색(488nm)영역에서 이용된다. 따라서, 그림 5의 실험결과는 광학잡음의 정도가 광굴절 민감도에 의해 상당한 영향을 받는다는 것을 보여준다.

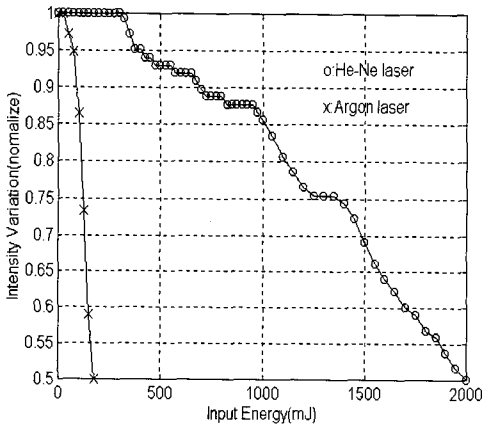


그림 7. 파장에 따른 광학잡음의 영향
Fig. 7. Optical noise influence due to beam wavelength.

IV. 결론

본 논문에서는 Fe가 0.02Wt.% 도핑된 LiNbO₃결정에서 보이는 광학잡음의 영향을 실험함으로써 광통신소자 및 고밀도 광메모리소자 등과 같은 응용분야에 적용시 우수한 품질 및 높은 회절효율을 갖는 에너지 범위 및 광학잡음에 영향을 받지 않는 에너지 한계를 제시하였다. 514.5nm 파장에서 입사되는 빔 세기에 따라 광학잡음의 영향을 측정할 결과 빔 세기가 강할수록 적은 에너지량에서 잡음의 영향을 받았으며 그 정도도 더욱 심했다. 또한, 입사되는 방향에 대해서는 광학잡음의 영향을 받지 않기 위한 에너지 한계량은

거의 같지만, 그 이상의 에너지가 가해졌을 경우에는 결정을 오른쪽으로 회전시킨 후 빔을 입사시킨 경우가 덜 영향을 받았고, 수직으로 입사되는 경우 가장 빠른 잡음의 영향을 받았다. 또한, 파장에 따른 잡음의 정도를 실험한 결과 514.5nm 파장보다 632.8nm 파장 영역에서의 정도가 10배 이상 덜 했으며, 이는 광학잡음이 광굴절 민감도와 밀접한 관련이 있음을 나타낸다. 또한, Fe-LiNbO₃결정을 이용해 회절특성 및 광정보 저장 응용실험을 통해 광학 잡음 성분이 심각한 문제로 작용한다는 것을 실험적으로 제시했다.

본 논문에서 제시한 실험결과는 현재 가장 많이 이용되고 있는 Fe-LiNbO₃결정을 사용시 유용하게 이용될 수 있는 데이터로 특히, 광필터, 광편향기, 광고환과 같은 광통신소자 및 현재 가장 주목받고 있는 광메모리 소자에 이용시 광학잡음의 영향을 받지 않고 응용할 수 있는 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] D. Herve, M. Chauvet, J. E. Viallet and M. J. Chawki, "First tunable narrowband 1.55 μ m optical drop filter using a dynamic photorefractive grating in iron doped indium phosphide," *Elec. Lett.*, vol. 30, no. 22, pp. 1883-1884, Oct. 1994.
- [2] S. Wu, Q. Song, A. Mayers, D. A. Gregory and F. T. S. Yu, "Reconfigurable interconnection using photorefractive holograms," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 8, pp. 1118-1125, Mar. 1990.
- [3] A. Chiou and P. Yeh, "Energy efficiency of optical interconnections using photorefractive holograms," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 8, pp. 1111-1117, Mar. 1990.
- [4] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian and E. G. Paek, "Volume holographic memory systems: techniques and architectures," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 8, pp. 2193-2203, Aug. 1995.
- [5] J. H. Hong and D. Psaltis, "Dense holographic storage promises fast access," *Laser Focus World*, vol. 32, no. 4, pp. 119-124, April 1996.
- [6] G. Barbastathis, M. Levene and D. Psaltis,

“Shift multiplexing with spherical reference waves,” *Appl. Opt.*, vol. 35, no. 14, pp. 2403-2417, May 1996.

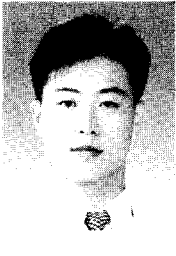
“Holographic storage promises high data density,” *Laser Focus World*, vol. 32, no. 11, pp. 81-93, Nov. 1996.

[7] D. Psaltis and F. Mok, “Holographic memories,” *Scientific American*, vol. 273, no. 5, pp. 70-76, Nov. 1995.

[9] P. Gunter and J. P. Huignard, “Photorefractive materials and their applications II,” *Topics in Applied Physics*, vol. 61, pp. 63-64, 1987.

[8] IBM holographic optical storage team,

저 자 소 개



安 俊 遠(正會員)

1973년 9월 5일생. 1996년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 1998년 3월 ~ 현재 충북대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정. 주관

심분야는 Photorefractive material, Optical signal processing, Optical component



崔 連 淑(正會員)

1975년 11월 11일생. 1996년 2월 호남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 주 관심분야는 Pattern recognition, Genetic Algorithm

金 男(正會員) 第 33卷 A編 第 3號 參照

현재 충북대학교 정보통신공학과 부 교수

李 權 淵(正會員) 第 33卷 第 5號 參照

현재 순천대학교 전자공학과 조교수

姜 錫 烈(正會員)

한국 전자통신연구원 교환기술연구단 ATM 기술연구부장