

論文2000-37SD-4-6

양자 교환된 리튬나오베이트를 이용한 광 픽업용 $\lambda/2$ 파장판 제작

(Fabrication of $\lambda/2$ Phase Plates for Optical Pickup Using a Proton Exchanged LiNbO₃)

孫慶洛*, 金光鐸*, 金映助*, 宋在元*,
朴景燦**, 金進鏞**

(Kyung Rak Sohn, Kwang Taek Kim, Young Jo Kim, Jae Won Song,
Kyung Chan Park, and Jin Yong Kim)

요 약

본 논문에서는 리튬나오베이트 기판 상에 벤젠산으로 양자 교환 후 습식 식각하는 방법을 이용하여 청색 레이저 다이오드를 광원으로 사용하고자 하는 광 픽업을 위한 $\lambda/2$ 파장판을 제작하였으며 소자의 기능과 제작과정에 대해서 상세히 서술하였다. 그리고, 소자제작을 위한 최적의 조건을 실험을 통하여 확립하였다. 제작된 소자의 위상 특성은 광학계로 마하젠더 간섭계를 구성하여 파장이 632.8nm인 헬륨-네온 레이저로 측정하였다. 측정 결과 위상오차는 $+5^\circ \sim -6^\circ$ (3% 이내)로 측정되었다. 본 연구에서 제작한 파장판은 청색 레이저 다이오드를 광원으로 사용하는 광 픽업 시스템의 해상도와 안정도를 향상시키는 유용한 소자로 응용될 수 있다.

Abstract

In this paper, we have been fabricated $\lambda/2$ phase plates for an optical pick-up using a blue violet laser diode by employing proton exchange and wet etching in LiNbO₃. Their functions and fabrication processes are described in detail. It is established the optimal fabrication conditions through the experimental results. The device characteristics are measured by the Mach-zender interferometer which is composed of the optical components and 632.8nm He-Ne laser. The measured phase error was $+5^\circ \sim -6^\circ$ (within 3%). This phase plate could be applied an useful device to improve the resolution and the stability of the optical pick-up which has a blue violet laser diode as an optical source.

I. 서 론

최근 광 디스크의 기억 용량을 극대화하기 위한 연

구의 일환으로 파장이 짧은 광원을 광 픽업 시스템에 적용하고 있다. 광원의 파장이 짧아짐으로써 광 디스크에 집속되는 빔 스폿(spot)의 크기를 작게 할 수 있고 그 만큼 디스크의 기억용량을 크게 할 수 있기 때문이다.^[1] 그러나 광원의 파장이 짧아짐에 따라 디스크에 집속되는 광의 초점 길이의 감소로 인하여 디스크 표면층의 편평도와 디스크 두께의 균일도 유지는 매우 중요해진다. 즉, 광원의 파장을 짧게 하여 동일 광 디스크의 단위 면적당 기억용량 밀도를 높일 수 있지만, 초점길이의 감소로 시스템 제작에 높은 정밀도를 요구하게 되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 초

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electric, Kyungpook National University)

** 正會員, LG電子 디지털미디어연구소

(Digital Media Research Lab., LG Electronics)

接受日字:1999年10月1日, 수정완료일:2000年2月23日

점을 정확하게 제어할 수 있는 전기-광학 셀(Cell)^[2]이나 빔의 해상도를 향상시키는 방법이 제안^[3]되었으나 효율이 떨어지고, 사이드로브가 크며, 초점깊이가 향상되지 않는 단점을 가지고 있었다. 최근에 G. Yang는 0 또는 π 의 위상차가 나는 2진 파장판의 일종인 DOE (Diffractive Optical Element)를 사용한 시스템을 제안하여 동일 광원에 대해 200%이상 향상된 초점깊이를 얻을 수 있음을 발표하였다.^[4] 그러나 DOE로 FLC SLM (Ferroelectric liquid crystal spatial light modulator)을 사용했기 때문에 실제의 광 픽업시스템에 장착하기 어려운 문제점이 있었다.

본 연구에서 제작한 $\lambda/2$ 파장판은 광원의 파장이 짧아짐에 따른 문제점^[1]을 극복하기 위한 DOE의 일종으로 청색 레이저 다이오드를 적용한 광 픽업 시스템에 직접 적용할 수 있으며 혼신(Crosstalk) 검출용 소자^[5]로 사용될 수 있다. 소자는 양자 교환^[6]과 습식식각 기법^[7]을 적용하여 리튬나오베이트상에 구현하였으며, 청색 레이저 파장대 광원의 편광 상태와 제작된 소자의 조건에 따라 위상차가 0 또는 π 가 난다. 양자교환은 상대적으로 낮은 온도에서 간단한 방법으로 큰 굴절률 변화를 얻을 수 있기 때문에 티타늄을 내부 확산시키는 방법보다 유리하고, 불산(HF)과 질산(HNO₃)을 1:2 비율로 섞은 식각 용액을 사용하는 습식 식각법은 양자교환된 부위를 순수 리튬나오베이트의 기판에 비해 1000배 이상 빠른 속도로 식각시키므로 소자 제작의 중요공정으로 적용하였다. 완성된 파장판은 마하젠더 간섭계로 위상 특성을 측정하여 신뢰성을 검증하였다.

II. $\lambda/2$ 파장판의 동작 이론

광 픽업용 $\lambda/2$ 파장판은 수직으로 입사된 청색 레이저 광원의 편광 상태와 위치에 따라 위상차를 0 또는 π 만큼 발생시키는 소자로서 그림 1과 같은 기본적인 셀이 동일 기판위에 여러개가 형성된 소자이다.

그림 2는 설계된 파장판의 구조를 보여준다. 양자 교환된 영역과 양자교환 되지 않은 영역의 기본 셀이 교대로 배열된 구조로 좌우 대칭적이며 양자교환 여부에 따라 0와 π 의 위상차가 교대로 나타나게 된다. 그림 2에서 A와 C 부분은 보호막에 의해 양자 교환되지 않는 영역이고, B와 D 영역은 양자교환 후 적당한 길이로 식각되는 영역이다. 요구되는 파장판의 동작 특성으로는 그림 1의 기본 셀 구조에서 비정상파는 영역 A와

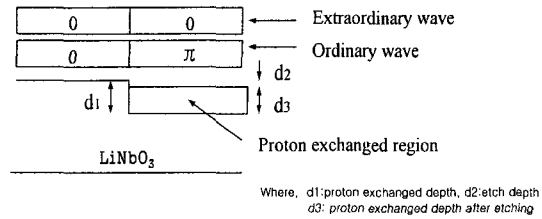


그림 1. 광 픽업용 $\lambda/2$ 파장판을 구성하는 기본 셀의 개략도 및 정상파와 비정상파의 위상변화
Fig. 1. Geometry of the unit cell of the $\lambda/2$ phase plates. The phase plates have got π out of phase for ordinary wave and in phase for the extraordinary wave.

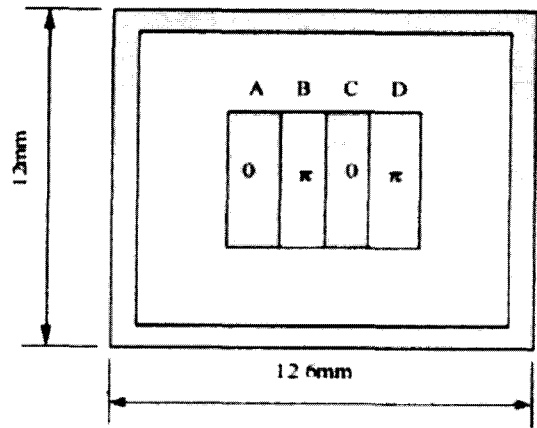


그림 2. 파장판의 구조
Fig. 2. Schematic of phase plates.

영역 B를 통과하면서 동일한 위상 변화를 가져야 하며, 정상파는 영역 A에 대해서 영역 B가 π 의 위상차를 가져야 한다. 이러한 위상 변화를 만족하기 위해서는 정확한 양자교환 깊이와 식각 깊이가 주어져야 하며 다음과 같은 관계식으로부터 유도할 수 있다.

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(\Delta n_e d_3 + (1 - n_e) d_2) = 0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(\Delta n_o d_3 + (1 - n_o) d_2) = -\pi \quad (2)$$

여기서 n_o 와 n_e 는 각각 정상파와 비정상파의 굴절률이며 Δn_o 와 Δn_e 는 양자교환에 의한 정상파와 비정상파의 굴절률 변화량이다.

양자원으로는 벤젠산(Benzoic acid)^[6], 톨루익 산(Toluic acid)^[8], 이인산(Pyrophosphoric acid)^[9] 등이 사용될 수 있다. 순수 벤젠산을 이용하여 양자 교환을

하면 양자 교환된 영역의 Δn_0 는 0.04 감소하며, Δn_e 는 0.12 증가한다. 이인산에 대해서 Δn_e 는 0.145, 엠-톨루익산(m-toluic acid)은 0.14, 피-톨루익산(p-toluic acid)은 0.1336 증가한다. 광원의 파장이 632.8nm일 경우 리튬나오베이트의 정상과 굴절률 n_0 는 2.286, 비정상과 굴절률 n_e 는 2.200이다. 측정 광원의 파장이 404.64nm라면 n_0 는 2.4317, n_e 는 2.3260이다.^[10] 청색 레이저 다이오드의 파장은 400nm대이므로 404.64nm에서 측정된 굴절률을 식(3)과 (4)에 적용하여 양자교환 깊이와 식각 깊이를 계산할 수 있다. 청색 레이저 다이오드에 대한 광 픽업용 파장판으로 제작하기 위해서는 d_1 은 1.286 μm , d_2 는 1067Å이 되어야 하며 식각 후의 양자교환된 영역의 두께인 d_3 는 1.169 μm 가 되어야 한다.

III. 파장판 제작

소자의 기판은 집적 광학 분야에서 폭 넓게 사용되는 X-cut 리튬나오베이트를 사용하였다. 리튬나오베이트를 이용한 광소자 제작시 도파로의 굴절률을 변화시키기 위한 방법은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 첫째는 티타늄을 1000°C 이상의 높은 온도에서 내부 확산시키는 방법이다. 이 방법은 고온이 요구되며 소자제작 공정이 간단하지 않는 단점이 있다. 둘째는 상대적으로 낮은 온도에서 적절한 양자원으로 양자 교환하는 방법인데 티타늄 내부확산 공정보다 간단하며 비용면에서도 유리한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 파장판 제작을 위해서 양자교환 기법을 적용하였다. 몇 가지 양자원에 대한 양자교환 깊이 d 를 구하면 아래의 식과 같이 양자교환 시간과 온도의 함수로 표현이 된다.^[8]

$$d = 8.58 \times 10^4 \times \sqrt{t} \times e^{(-5.65 \times 10^3/T)} \quad \text{for Benzoic acid} \quad (3)$$

$$d = 1.01 \times 10^5 \times \sqrt{t} \times e^{(-5.72 \times 10^3/T)} \quad \text{for Pyrophosphoric acid} \quad (4)$$

$$d = 1.53 \times 10^4 \times \sqrt{t} \times e^{(-4.55 \times 10^3/T)} \quad \text{for m-Toluic acid} \quad (5)$$

$$d = 6.68 \times 10^3 \times \sqrt{t} \times e^{(-4.18 \times 10^3/T)} \quad \text{for p-Toluic acid} \quad (6)$$

여기서, t 는 양자교환 시간이고 T 는 절대온도이다. 식 (5)~(8)로부터 양자원이 결정이 되면 적절한 양자교환

온도를 설정함으로써 양자교환 시간을 계산할 수 있고 양자 교환된 깊이 조절이 가능해진다. 벤젠산은 양자원으로 가장 오랫동안 연구되고 사용되어진 물질로 양자 교환된 부분의 굴절률의 변화는 계단모양에 가까워 이 영역의 굴절률의 변화가 상대적으로 적으므로 파장판 제작에 유리하다. 이인산과 톨루익산의 경우 굴절률의 변화는 상대적으로 완만한 언덕형의 분포를 나타내게 된다.^[8-9] 따라서, 본 연구에서는 양자원으로 벤젠산을 사용하였다. 양자 교환에 사용되는 보호막은 금속류의 물질을 증착하여 사용하는데 크롬, 니켈크롬, 알루미늄, 티타늄등은 벤젠산과 톨루익산에 대한 보호막으로 주로 이용한다. 이인산의 경우 크롬이나 알루미늄 등은 양자 교환시 양자원에 의해 식각되므로 탄탈륨 또는 금을 사용하는데 금은 접착성이 좋지 않으므로 니켈크롬을 증착한 후 그 위에 금을 증착하여 사용한다. 파장판 제작에 적합한 보호막을 선정하기 위하여 리튬나오베이트에 여러 금속막막을 형성시켜 소자 제작을 해 본 결과 양자원으로 벤젠산을 이용할 경우 탄탈륨이 접착성이 우수하고 식각후 표면 상태가 가장 양호하였다. RF 스퍼터링으로 1000Å이상의 탄탈륨 막막을 올리기 위해서 120W의 RF 전력으로 15mTorr 아르곤 분위기에서 60분간 증착시킨다. 이때 주의해야 할 사항은 탄탈륨이 금속류임에도 불구하고 챔버(chamber)내의 온도를 실온 상태로 두고 증착해야지만 최종 과정에서 탄탈륨을 깨끗하게 제거할 수 있다. 파장판 제작 조건에 적합한 양자 교환 깊이를 얻기 위한 온도와 시간은 식 (5)로부터 계산할 수 있다. 먼저, 200°C와 245°C의 양자 교환 온도에 대해서 순수 벤젠산으로 양자교환 후, 열처리를 하지 않은 상태에서 1HF : 2HNO₃ 용액

표 1. 열처리하지 않은 샘플의 양자교환 온도와 시간에 대한 양자교환 깊이 측정 (양자원:벤젠산, 식각시간:15시간)

Table 1. Etch depth as function of proton exchange temp. and time for unannealed samples. (Proton source: pure benzoic acid, Etch time: 15hr).

Proton exchange temp./time	Calculated [μm]	Measured [μm]
200°C / 240min	1.12	1.27 ~ 1.23
245°C / 80min	1.82	1.80 ~ 1.68

에 15시간 식각하여 깊이를 측정해 본 결과 식 (5)로부터 계산된 양자교환 깊이와 근접한 결과를 얻었다. 표 1에 양자 교환된 깊이의 계산된 결과와 제작된 소자의 측정치를 제시하였다.

양자교환 온도가 높을수록 양자교환 시간이 짧지만 벤젠산의 끓는점이 250°C이므로 더 이상의 높은 온도에서는 주의를 요한다. 그림 3은 양자 교환된 소자의 열처리의 유무에 따른 식각 경향성을 나타낸 것이다. 열처리를 하지 않은 경우 매우 빠른 식각율을 보이며 일정 시간이 지난 후 양자 교환된 깊이만큼 완전히 식각됨을 알 수 있다. 즉, 양자 교환된 깊이를 측정하기 위해서는 열처리를 하지 않고 식각을 해야하며 15시간 이상 식각용액에 담귀야 함을 알 수 있다.

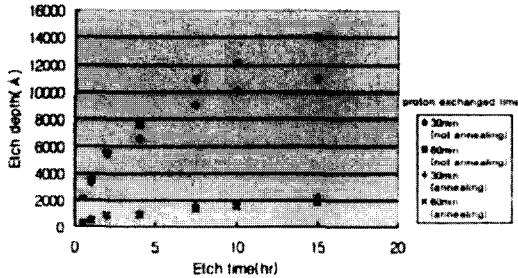


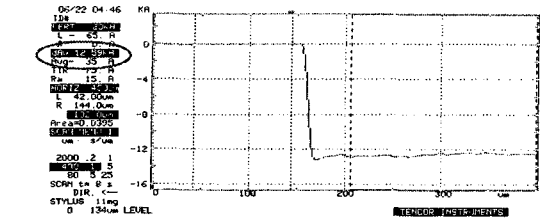
그림 3. 양자 교환된 샘플의 식각 시간에 따른 식각 깊이의 변화 (양자원:벤젠산, 양자교환시간:245°C)

Fig. 3. Etch depth of proton exchanged region as function of etch time for annealed and unannealed samples. (Proton source: pure benzoic acid, Proton exchange temp.: 245°C)

식 (5)로부터 파장판의 설계사양에 맞는 양자교환 깊이를 얻기 위한 양자 교환 시간은 245°C일 경우 50분이며 이것은 그림 3의 식각 경향성을 통해서 오차 범위내에 들어감을 확인할 수 있다. 위의 조건으로 소자를 제작하여 습식식각 시킨 후 양자 교환된 깊이를 α-step (장비명: Tencor 200)으로 측정된 결과의 단면도를 그림 4에서 보여준다. 열처리를 하지 않은 소자이며 식각시간은 18시간이다. 양자 교환된 전체 깊이 d1은 1.259µm로 요구 사양을 만족함을 알 수 있다.

파장판의 제작은 사진 석판술 방법으로 보호막이 증착된 기판위에 패턴을 형성한 후 준비된 앰플에 99.5% 순도의 순수 벤젠산과 소자를 넣고 밀봉한 후 245°C에서 50분간 양자교환을 수행한다. 보호막으로 사용한 탈

탈림막은 식각 용액인 1HF : 2HNO₃에 수 초내에 에칭 된다. 양자교환 후 표면 손상을 없애고 광학 효과를 회복시키며 치환된 이온의 균일한 재배열을 위해 300°C에서 60분간 열처리를 한다. 열처리를 마친 후 양자 교



Proton source : pure benzoic acid
Temperature : 245°C
Time : 50min

Etchant : 1HF:2HNO₃
Room Temperature
Etch time : 18hr
Etch depth : 1.259µm

그림 4. 열처리하지 않은 양자 교환된 샘플의 습식 식각 후 단면도

Fig. 4. Profile of etched region for unannealed sample (α-step model: Tencor200).

환된 부분을 1067Å정도 식각을 해야하는데 습식 식각법을 이용하여 1HF : 2HNO₃ 식각 용액에 350분간 담가둔다. 양자교환 되지 않은 영역의 식각율은 양자 교환된 영역에 비해서 매우 낮으므로(~1/1000 정도) 거

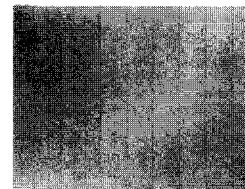


그림 5. 제작된 파장판의 표면 확대 사진(×200)

Fig. 5. Micrograph showing the surface of phase plates (×200).

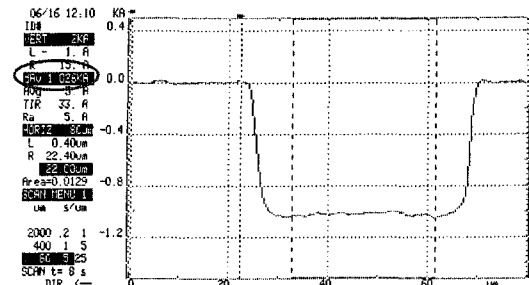


그림 6. 양자교환 후 열처리된 소자의 부분 식각된 단면도

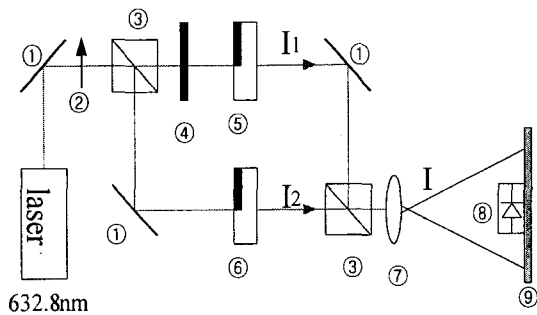
Fig. 6. Profile of the etching region for the annealed sample.

의 무시할 수 있다.^[7] 제작이 완료된 소자는 α -step으로 두께를 측정하여 식각 깊이를 확인 후 위상 특성을 측정한다. 그림 5는 제작된 파장판의 표면 사진을 보여준다. 파장판의 위상은 정상파와 비정상파에 대해 각각 $\pm 5^\circ$ 의 오차범위를 가짐을 허용하므로 소자제작 과정에서 발생하는 오차를 어느 정도 수용한다.

그림 6은 완성된 소자의 식각된 깊이에 대한 단면도를 보여준다. 양자 교환된 부위가 1026Å 정도 식각되었음을 볼 수 있으며, 식각된 면의 거칠기는 60Å이하로 양호함을 알 수 있다

IV. 위상 특성 측정 및 고찰

제작된 소자의 위상 특성은 광학계로 마하젠더 간섭계를 구성하여 간섭 무늬의 광 강도를 측정함으로써 위상 오차를 구할 수 있다.^[11] 그림 7은 파장판의 위상 특성을 측정하기 위한 광학 장치도 이다. 광원은 632.8nm의 He-Ne 레이저를 사용하였으며 편광기(polarizer)를 통과시킨 빛을 빔 스플리트를 사용하여 두 개의 광 경로로 만든다. 한쪽 경로에는 제작된 소자를 두고 다른 쪽 경로에는 동일한 조건에서 제작된 소자의 양자 교환되지 않은 부분으로 광이 지나가게 하여 광 경로차를 동일하게 하며 위상차 측정을 위한 기준 소자로 사용한다. 다시 광을 빔 스플리트로 합치고 렌즈를 통과한 빛이 측정에 적당한 간섭무늬로 확대되는 곳에 광 검출기를 위치시켜서 상쇄 간섭과 보강간



① Flat mirror ② Polarizer ③ Beam splitter
④ Attenuator ⑤ Phase plate(DUT)
⑥ Phase plate(reference) ⑦ Objective lens
⑧ PIN photo detector ⑨ Screen
그림 7. 제작된 파장판의 위상 특성을 측정하기 위한 광학 장치도

Fig. 7. Experimental set-up to measure the phase properties of fabricated phase plates.

섭의 광 강도를 측정한다. 간섭 무늬의 간격은 두 개의 평판 반사거울의 위치와 각을 조종함으로써 변화시킬 수 있고 간섭 무늬의 폭 및 강도는 검출기의 위치를 조정함으로써 가능하다. 그림 8은 제작된 소자를 마하젠더 간섭계로 구성한 실험 장치를 통해 생긴 간섭무늬를 보여준다.

두 개의 광 경로에 의해서 보강 간섭과 상쇄 간섭이 주기적으로 반복되는 선형적인 무늬를 만든다.

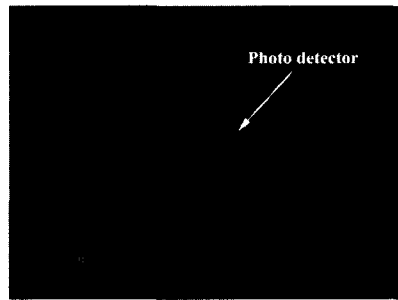


그림 8. 파장판의 위상특성을 측정하기 위한 마하젠더 간섭계의 실험장치에 의해서 생긴 간섭무늬
Fig. 8. Fringes formed by fabricated phase plate in the Mach-zehnder interference with 632.8nm He-Ne laser.

간섭 무늬의 광강도(I)는 다음 식으로 표현이 되며 두 광의 위상차(δ)의 함수임을 알 수 있다.^[11]

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \tag{7}$$

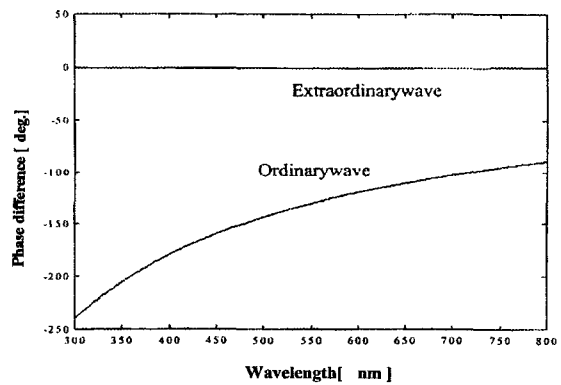


그림 9. LiNbO₃의 분산특성으로 인해 400nm에서 제작된 $\lambda/2$ 파장판이 광원의 파장이 변함에 따라 보이는 위상차 변화
Fig. 9. Phase difference as function of wavelength due to dispersion of LiNbO₃. The device is designed at 400nm wavelength.

여기서 I_1 , I_2 는 분리된 두 광의 세기이며 δ 는 두 광의 위상차이다. 그림 9는 LiNbO_3 의 분산특성으로 인해 400nm에서 제작된 $\lambda/2$ 파장판이 광원의 파장이 변함에 따라 보이는 정상파와 비정상파의 위상차의 변화를 보여 준다. 실험에서는 632.8nm 광원을 이용했으므로 이 파장대에서는 정상파에 대해서 105° 의 위상차가 나타나야 함을 알 수 있다. 400nm의 광원에서는 소자의 양자교환 부분과 양자교환 되지 않은 부분의 위상차가 정상파에 대해서 π 가 되게 설계하였으므로 간섭 무늬의 최대 강도와 최소 강도의 차는 $4\sqrt{I_1 I_2}$ 로 주어지며, 632.8nm의 광원에서는 동일한 소자에 대해서 광 강도의 차는 $2.5\sqrt{I_1 I_2}$ 로 주어진다.

기준소자와 측정소자는 지그로 고정하여 양자교환이 되지 않은 부위가 입사광에 대해서 수직이 되도록 조정하고 광 검출기는 보강간섭 무늬가 있는 곳에 위치시킨다. 이때 검출되는 광은 최대 강도가 될 것이다. 다음에는 측정 소자의 양자 교환된 부위로 광이 지나가도록 위치를 조정하면 식각두께와 굴절률의 변화에 의해 위상차가 발생하여 간섭무늬가 위상차 만큼 이동한다. 이때의 광강도를 측정하여 위상 차를 식(4)로부터 계산한다. 632.8nm 광원으로 측정된 소자의 위상 오차는 $-6^\circ \sim +5^\circ$ 로 나타났다.

V. 결론

양자교환 기법과 습식 식각법을 사용하여 400nm의 광원에 대해서 정상파는 π 의 위상차가 나고 비정상파는 위상차가 0인 광 픽업용 파장판을 리튬나오베이트 기판 상에 구현하였다. 양자 교환된 전체 깊이 측정은 제작된 소자를 열처리하지 않고 $1\text{HF}:2\text{HNO}_3$ 식각 용액을 이용하여 충분히(15시간 이상) 식각할 경우 비교적 정확한 값을 얻을 수 있음을 확인하였다. 양자 교환된 영역의 부분 식각은 열처리하기 전보다 열처리 후에 하는 것이 식각 깊이를 미세하게 조정 할 수 있으며 표면 손상을 없앨 수 있었다. 제작된 소자의 위상 특성은 광학계를 이용한 마하젠더 간섭 계를 구성하여 측정하였다. 측정 광원은 632.8nm의 He-Ne 레이저를 사용하였으며 광원이 400nm 파장대인 청색 레이저에서의 위상특성은 측정된 위상으로부터 계산되어질 수 있는데 정상파는 π , 비정상파는 0의 위상 차를 가진다. 632.8nm의 He-Ne 레이저로 측정된 위상 오차는 $+5^\circ \sim$

-6° (3%이내)이다.

파장이 짧은 레이저 광원의 개발과 더불어 이를 적용하여 광 디스크의 기억 용량을 극대화시키려는 연구가 매우 활발하게 진행 중이므로 본 연구에서 개발된 파장판은 광원의 파장이 짧아짐에 따라 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 중요 부품으로 응용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. C. Park, H. N. Kim, S. Y. Jung, S. K. Ahn, T. S. Lee, S. W. Lee, D. C. Lee, and J. Y. Kim, "High density optical disc readout using a blue violet laser diode," in *Joint ISOM and ODS 1999, SPIE*, vol. 3864, Postdeadline paper TuD27, 1999.
- [2] K. Osata, G. S. Kino, and S. Kubota, "Electro-optic focusing system for a high-density optical disk," *Opt. Lett.*, vol. 18, no. 15, pp. 1244-1246, August, 1993.
- [3] Y. Yamanaka, Y. Hirose, H. Fijii, and K. Kubota, "High density recording by superresolution in an optical disk memory system," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 20, pp. 3046-3051, July, 1990.
- [4] G. Yang, "An optical pickup using a diffractive optical element for a high density optical disc," *Opt. Commun.*, 159, pp. 19-22, January, 1999.
- [5] LG Electronics, Patent pending.
- [6] J. M. Cabrera, J. Olivares, M. Carrascosa, J. Rams, R. Muller, and E. Dieguez, "Hydrogen in lithium niobate," *Advances in Physics*, vol. 34, no. 5, pp. 349-392, January, 1996.
- [7] F. Laurell, J. Webjorn, G. Arvidsson, and J. Holmberg, "Wet etching of proton-exchange lithium niobate -A novel processing technique," *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, no. 11, pp. 1606-1609, November, 1992.
- [8] C. Y. Shen, R. C. Chu, C. H. Liou, and S. T. Wang, "Proton-exchanged LiNbO_3 optical

- waveguides using Toluic acid," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. 3A, pp.1073-1076, March, 1997.
- [9] K. Yamamoto, T. Taniuchi, "Characteristics of pyrophosphoric acid proton-exchanged waveguides in LiNbO_3 ," *J. Appl. Phys.*, vol. 70, no. 11, pp.December 6663-6668, 1991.
- [10] C. J. G. Kirkby, *Properties of lithium niobate*, INSPEC, London, p. 140, 1989.
- [11] E. Hecht, *Optics*, Addison-Wesley Publishing company, p. 336, 1987.

저 자 소 개



孫慶洛(正會員)

1992년 경북대학교 전자공학과 (학사). 1992년~1993년 현대전자 산업 전자연구소. 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과(석사). 1995년~1999년 현대자동차 울산연구소

1999년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 <주관심분야:광통신소자>



金映助(正會員)

1999년 경북대학교 전자공학과 (학사). 1999년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정 <주관심분야:광통신소자>

金光鐸(正會員) 第36卷 D編 第9號 參照

2000년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사). 2000년 3월~현재 호남대학교 전기전자컴퓨터공학부 전임강사

宋在元(正會員) 第36卷 D編 第9號 參照

朴景燦(正會員)

현재 LG전자 디지털미디어 연구소 선임연구원. <주관심분야:광 Storage>

金進鏞(正會員)

1983년 2월 서울대학교 전자공학과 (학사). 1985년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사). 1992년 IOWA 주립대 전기공학과 (공학박사). 1985년~1989년 삼성전자 주임연구원. 1992년~1993년 Ames Lab. PostDoc. 1993년~현재 LG전자 디지털미디어 연구소 책임연구원 <주관심분야:광 Storage>