

논문 2009-4-22

편광모드 회전을 이용한 WDM 광 네트워크용 Ti:PPLN Šolc-형 집적광학 파장필터에 관한 연구

Ti:PPLN Šolc-type Integrated Optical wavelength filters utilizing polarization-mode conversion for WDM optical networks

정홍식*

Hong-Sik Jung

요 약 16.6 μm 주기로 리튬나오베이트 Ti 확산 채널광도파로를 분극반전 시킨 Ti:PPLN을 이용해서 편광모드 변환을 기반으로 하는 Šolc-형 파장필터를 구현하여, 실험적으로 투과 광 스펙트럼을 측정하였다. 중심파장 1272.49nm에서 투과 스펙트럼이 관찰되었으며, 투과 스펙트럼의 선폭(FWHM)과 부모드 레벨이 각각 0.23nm and 7dB로 측정되었다.

Abstract We demonstrated Šolc-type wavelength filters in periodically poled Ti-diffused lithium-niobate channel optical waveguide (Ti:PPLN). A Šolc-type transmission spectrum based on the polarization-mode conversion was observed experimentally in PPLN with period 16.6 μm . A reasonable explanation of such a phenomenon was presented. A polarization-mode converted transmission peak was observed at wavelength 1272.49nm. The FWHM and sidelobe of spectrum are about 0.23nm and 7 dB, respectively.

Key Words : 광 네트워크, Šolc-형 광 파장필터, Ti:PPLN 채널 광도파로, 분극반전(폴링), 편광모드 변환

I. 서 론

Šolc-형 광 필터는 복굴절(birefringent) 결정을 이용하는 편광 간섭필터를 의미하며, 약 50년 전에 관련 이론적인 원리가 제안되었지만 수천 개 정도의 복굴절 플레이트를 적층할 수 있는 제조기술 부재로 인해 오래 동안 구현, 활용되지 못하였다.^[1] 그러나 90년 초부터 매우 우수한 ferroelectric 계열의 비선형광학 물질인 LiNbO₃(lithium niobate, 리튬나오베이트)에 강한 전계를 인가하여 ~수 μm 주기로 도메인을 분극 반전시킬 수 있는 공정기술이 고안되었으며, 이 기술을 Ti:LiNbO₃ 채널 광도파로에 적용시켜 Ti:PPLN(periodic poled lithium niobate)을 제작할 수 있게 되었다.^[2-3]

리튬나오베이트는 높은 전기광학계수(electro-optic coefficient) 뿐만 아니라, 비선형(nonlinear) 광학특성을 보유하고 있으며 대형 단결정 성장이 가능하고 그리고 화학적으로 안정하기 때문에 주기적으로 분극 반전된 Ti:PPLN을 기반으로 하는 비선형 전광 광 집적소자들에 대한 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 특히 2차 고조파 발생기(SHG: second harmonic generator)^[4], 광 매개변수 발진기(OPO: optical parametric oscillator)^[5], 광 매개변수 증폭기(OPA: optical parametric amplifier)^[6], 광 시분할 다중화기(OTDM: optical time-division multiplexer)^[7], 파장 변환기(wavelength converter)^[8] 등들에 대한 연구들이 대표적이다. 한편 리튬나오베이트와 같은 비선형 결정들의 굴절률은 파장 분산 특성이 있기 때문에 기본파와 고조파의 유효굴절률이 같지 않아서 위상속도 차가 발생된다. 따라서 비선형 광학효과를 효과

*정회원, 홍익대학교 전자전기공학과
접수일자 2009.7.22, 수정완료 2009.8.13

적으로 활용하기 위해서는 위상속도 분산(dispersion)을 보상해주는 것이 반드시 필요하다.

비선형 결정에서 분극(polarization)의 방향을 주기적으로 180° 반전시킨 구조에 의한 의사위상정합(QPM: quasi phase matching)법은 교번 주기의 길이로 동작과장 영역을 설정할 수 있기 때문에 의사위상정합을 비선형 결정에 적용하려는 시도는 비선형 광학 분야에서 중요한 주제로 발전 되어왔다. 특히 리튬나오베이트에 주기적으로 분극 반전된 교번구조를 적용시키기 위한 많은 방법들이 시도되었으며, 특히 근래에 제안된 방법으로 리튬나오베이트 z 축면에 사진식각(photolithography) 공정을 이용하여 전극을 형성하고, 강한 펄스 전계를 인가시키는 분극반전 공정에 연구가 집중되고 있다. 이 원리는 1962년에 암스트롱에 의해 제안된 것이지만^[9], 결정 내에 수 μm 정도 크기의 분극반전 주기를 형성 하는 적절한 기술이 없었기 때문에 90년대 초까지 활용되지 못하고 있다가, Ti:LiNbO₃ 광 도파로 제작 공정이 성숙해진 이후에, QPM 방법으로 사용하기 시작하였다.

2000년 초 QPM이 형성된 벌크(bulk) PPLN를 직교 편광기(polarizer)들 사이에 배열시킨 시스템에서, 입사 직교 편광모드가 회전되는 현상 즉 TE↔TM 편광모드 변환(polarization-mode conversion)이 관찰되었으며, 이 현상이 왜 일어나는지 이론적 규명과 이 현상을 WDM 광전송시스템에 파장필터로서 적용가능한지 다양한 검토가 여러 그룹에서 시도되었다.^[10] 특히 고등광기술연구소의 비선형광학 그룹은 Ti를 확산시켜서 제작된 Ti:LiNbO₃ 채널광도파로에 전계분극 방법으로 QPM을 적용시킨 Ti:PPLN 채널 광도파로에서 편광모드 변환 현상을 확인하였으며, 편광모드 변환 파장필터로서 활용 가능성을 제시하였다.^[11] 또한 온도와 UV를 활용하여 파장에 따른 위상정합조건을 변경시켜서 파장가변 광 필터로서 활용할 수 있음을 실험을 통해서 발표하였다.^[12-13]

본 논문에서는 지금 발표된 관련 논문 등을 체계적으로 검토해서 Ti:PPLN 채널 광도파로에서 나타나는 편광모드 변환 현상에 대한 원인을 정성적, 정량적으로 검토해보고, 전계분극 방법으로 제작된 Ti:PPLN 채널 광도파로에서 편광모드변환 현상을 관찰, 측정하였다.

II. Ti:PPLN 구조에서 편광모드 변환의 이론적 고찰

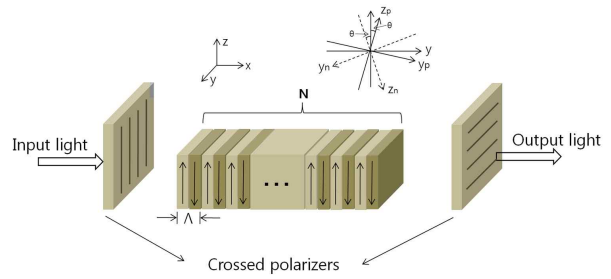


그림 1. Λ 주기로 분극된 Ti:PPLN을 입출력 교차 편광기 사이에 배열시킨 파장필터 시스템

Fig. 1. Setup for a PPLN Solc wavelength filter with domain inversion period Λ . A PPLN crystal is placed between two crossed polarizers.

그림 1은 리튬나오베이트 채널 광도파로를 주기적으로 180° 반전시킨 Ti:PPLN 구조이며, 서로 인접된 도메인들은 결정축(crystal-axis)에 대해서 $+\theta$, $-\theta$ 각도로 틀어져서 분극 반전(poled inversion)된 구조이다. 각 도메인의 두께가 아래 식 (1)을 만족하는 주기(= Λ)의 1/2과 같을 경우 그림 1의 분극 반전된 도메인 구조는 half-wave 플레이트들이 $+\theta$, $-\theta$ 각도로 회전되어 교번으로 중첩되어있는 Solc 필터의 구조를 구현할 수가 있다.

$$\lambda_o = \frac{(n_o - n_e) \cdot \Lambda}{(2m + 1)} \quad (1)$$

여기서 n_o , n_e 는 정상파(ordinary)와 이상파(extraordinary)의 유효굴절률, Λ 는 분극반전의 주기이며, m 은 통과되는 파장의 차수로서 $m=0$ 에 해당된다. 이럴 경우에 입사된 TM 직교 편광(또는 TE)은 한 개의 도메인을 통과할 때 마다 θ 각도로 회전하게 되며, θ 각도를 회전시키는 편광기(polarizer)의 Jones 매트릭스를 활용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin 2\theta \\ \cos 2\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서 좌변항의 좌측의 두 매트릭스는 두 도메인(즉 편광기)의 연속적인 배열을 의미하며, 출력된 광파는 2θ 회전된 선형 편광모드이다. 즉 입력 TM(또는 TE) 편광모드가 인접된 두 도메인을 통과하면 2θ 회전되며, N

개 도메인을 통과하면 NO 회전하게 되어, 궁극적으로 $N\theta=90^\circ$ 조건에서 입력 TM(또는 TE) 편광모드는 90° 회전하여 TE(또는 TM) 편광모드로 변환되어 출력된다. 따라서 PPLN을 그림 1과 같이 서로 직교(90°)되게 배열된 입출력 편광기(polarizer) 사이에 위치할 경우 식 (1)을 만족하는 특정 파장 성분의 광파는 출력 편광기를 통과하게 되고, 그 이외의 성분들은 차단되어서 광 파장 필터의 기능을 수행할 수 있게 된다. 이 경우에 통과되는 Ti:PPLN Šolc 필터의 중심파장 λ_0 는 식 (1)과 같이 정의된다. 필터를 통과된 광파의 FWHM(full width half maximum), $\Delta\lambda_{1/2}$ 은 Ti:PPLN 소자의 길이(즉 분극된 도메인 개수 N)에 반비례하며, 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta\lambda_{1/2} = 1.60 \frac{\lambda_0}{N} \quad (3)$$

현재까지 리튬나오베이트를 분극 반전시킬 경우 결정축에 대해서 분극된 도메인 축이 $\pm\theta$ 각도 틀어지는 원인에 대해서는 명확하게 알려지지 않고 있지만, 분극공정 과정에서 인가된 전계방향과 결정축 방향이 정확하게 일치되지 않아서 분극 반전된 결정의 축이 틀어지게 된다는 학설에 관련 많은 전문가들이 동의하고 있지만, 실험적으로 증명된 논문은 확인되지 않고 있다.

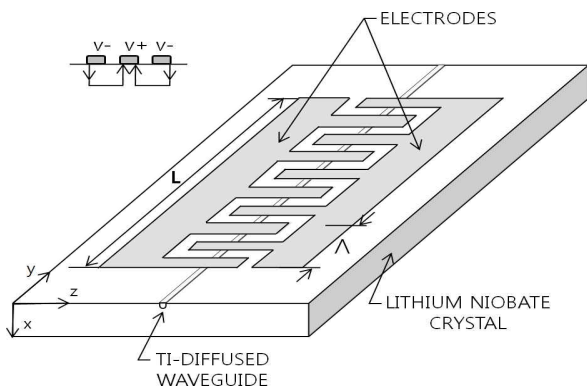


그림 2. 전기광학효과를 기반으로 하는 편광모드 변환기 구조
Fig. 2. Schematic layout of polarization mode converter utilizing electro-optic-effect

그림 2와 같이 전기광학효과(electro-optic effect) 기반의 TE \leftrightarrow TM 편광모드 변환기는 전기광학계수 텐서(tensor)에서 γ_{51} 계수를 이용할 수 있도록 전계 E_y 를 결정축 y 방향으로 인가시켜서 나타나는 편광모드 결합/회

전을 이용하고 있으며, 이때 회전각도 θ 는 다음과 같이 유도된다.^[14]

$$\theta \approx \frac{\gamma_{51} E_y}{\left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_o^2}\right)} \quad (4)$$

이 경우에도 편광모드 결합효율을 높이기 위해서는 리튬나오베이트의 복굴절로 인해서 나타나는 위상부정합 보상이 필요하며, Bragg 위상정합 이론에 기반된 IDT(inter-digital transducer) 전극구조를 적용하고 있다. 길이가 L인 편광모드 변환기의 변환효율(conversion efficiency)은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_o(L) = |\kappa|^2 L^2 \text{sinc}^2(\sqrt{|\kappa|^2 + (\Delta\beta)^2} L) \quad (5)$$

여기서 κ 는 결합계수(coupling coefficient)이며, $\Delta\beta = (\beta_o - \beta_e) - 2m\pi/\Lambda$ 로 정의되어 두 편광모드 간에 위상속도 부정합을 의미한다. $2m\pi/\Lambda$ 는 주기적으로 섭동되는 구조의 Bragg 벡터이다. $\Delta\beta = 0$ 가 되는 완전 위상정합 구조에서 식 (5)의 변환효율은 아래와 같게 된다.

$$\eta_o(L) = \sin^2(|\kappa|L) \quad (6)$$

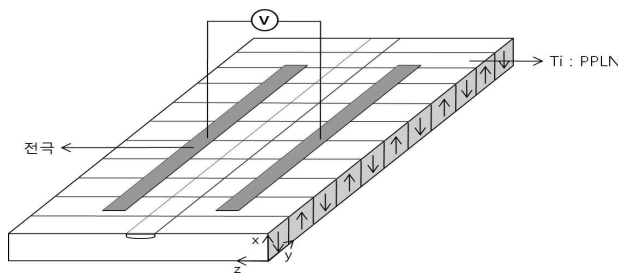


그림 3. 전기광학 편광모드 변환을 활용하는 Ti:PPLN 구조
Fig. 3. Schematic layout of Ti:PPLN utilizing electro-optic polarization mode conversion

전기광학효과를 이용하는 편광모드 변환기에서는 위상정합 조건이 만족될 경우, 전계크기를 조절하여 변환효율을 극대화시킬 수 있으나, Ti:PPLN Šolc 필터에서도 위상정합 조건을 만족할 경우 변환효율의 profile은 식 (2)와 유사할 것으로 예견되나, 변환효율을 추가적으로 증가시킬 수 있는 방법이 없기 때문에 변환효율을 예측

하기가 어렵고, 또한 일반적으로 작은 효율 값을 나타낸다. 따라서 그림 3과 같이 Ti:PPLN에 채널광도파로 양옆으로 전극을 배열할 경우, 추가적으로 전계를 인가시켜서 편광모드효율을 극대화시킬 수 있으며, 기존의 전기광학 편광모드 변환기에서와 같이 복잡한 IDT 전극구조를 사용하지 않아도 된다는 장점이 있다.

III. Ti:PPLN 채널 광도파로 제작

PPLN 제작공정은 Ti 확산에 의한 채널광도파로 제작, 감광액을 이용한 전해액 전극 패턴 형성, 그리고 높은 고전압을 통한 분극반전, 그리고 광파의 입출력을 위한 연마(polishing) 등 여러 단계들로 이루어지고 있다. 두께 0.5mm의 z-cut LiNbO₃ 시편을 12mm×50~60mm(폭×길이) 크기로 준비하였다. 이때 스크포팅 시 균일한 감광액 두께를 얻기 위해 시편의 가장자리 부분을 연마하였다. 광도파로는 리튬나오베이트 시편 표면 아래에 제작되기 때문에 표면 상태를 청결하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 화학약품에 의한 표면 오염 또는 손상은 PPLN 채널 광도파로의 전파손실을 증가시키거나 원치 않는 위상부정합의 요소로 작용할 수 있게 된다.

-z-축 LiNbO₃ 표면에 e-beam 증착기를 이용하여 증착된 ~1000Å 두께의 Ti를 사진식각 공정과 습식 식각 공정으로 ~7μm 폭의 Ti 채널 패턴을 형성한 다음, 1060°C 온도에서 8 시간 동안 확산하여 1.55μm 파장 대역에서 동작하는 단일모드 채널 광도파로를 제작하였다. 고온의 확산 과정에서 Li⁺ 원소의 외부확산(out-diffusion) 현상 때문에 나타나는 평면형 기생(parasite) 광도파로를 억제하기 위해서 샘플들을 플라티늄(platinum) 박스에 넣어, 습식산소(wet-O₂) 분위기에서 확산을 수행하였다.

1000°C 이상의 고온에서 열처리를 할 경우 LiNbO₃의 +z 축 표면이 -z 축으로 도메인 반전이 일어나기 때문에 분극 반전된 표면을 40~50μm 정도로 연마하여 -z 축 표면을 제거하였다. 따라서 광도파로를 +z 축 표면 위에 만들지 않은 이유가 여기에 있으며, 연마 후 샘플들의 두께는 ~450μm 정도로 측정되었다.

주기 분극반전 공정을 시행하기 전에 -z 축 표면을 +z 축으로 반전시키기 위해서 분극지그(zig)와 분극반전 장치를 이용하여 -z 축 표면 전체를 반전시키는 공정을 수행하였다. 분극지그의 구조는 LiNbO₃ 시편을 경계로 양

쪽에 LiCl(lithium chloride) 전해질 용액을 채우고, 전해 용액의 누설을 막기 위해 오링을 사용하였다. 그리고 고전압이 인가되었을 때 스파크가 생기는 것을 방지하기 위해 오링 바깥쪽으로 diffusion pump 오일을 채웠다. 분극반전을 수행하기 위해서 0.5mm 두께의 시편에 분극반전에 필요한 임계 전압 이상의 10.5~11.5kV 고전압을 인가하였으며, 고전압 인가 직후 수 mA의 전류가 2~3초 흐르다가 분극반전이 완료되면 갑자기 전류가 매우 작아지는 현상이 발생된다. 자발분극의 방향을 바꿔주기 위한 최소의 외부전압을 분극반전 임계 전압이라 한다.

주기적인 분극반전을 수행하기 위해서 감광액 AZ4533을 사용해서 사진식각 공정을 통해 주기적인 형태로 감광액 패턴을 +z 축면에 형성하였다. 감광액 AZ4533은 높은 절연성을 가지고 있기 때문에 140°C 이상의 온도에서 hard-baking 되었을 때 절연체로서 좋은 특성을 보이고 있다. 감광액 주기 패턴의 선폭은 이론적으로 필요로 하는 선폭보다 약 0.75μm 정도 더 좁게 제작하였다. 높은 온도의 hard-baking 과정에서 감광액은 수축되며, 이러한 작용으로 이론적인 패턴 폭과 실제 공정 후 감광액 패턴 폭간에 오차가 발생되기 때문이다. 그리고 분극반전을 수행하기 전에 원하지 않는 초전효과(pyro-electric effect)를 피하기 위해서 감광액의 열처리 온도상승을 약 20~30°C/h 정도로 하였다. 본 제작과정에서는 100, 120, 140°C 온도에서 1시간씩 단계적으로 hard-baking을 수행하였다. 분극반전 시스템에서 고전압 펄스가 인가되는 동안 예상되는 전류 및 전하량에 도달하게 되면 자동적으로 고전압 인가가 중단되도록 하였다. 그림 4는 분극반전 후 관찰된 시편의 표면 사진이다. 분극반전 샘플을 HF 용액에서 2분 동안 식각시킨 후 +z 면에서 관찰된 표면으로 매우 뚜렷하게 주기 패턴을 보여주고 있다.



그림 4. HF 식각을 통해서 분극반전 공정 후 Ti:PPLN 표면 사진

Fig. 4. HF-etched Ti:PPLN surface photograph after domain inversion

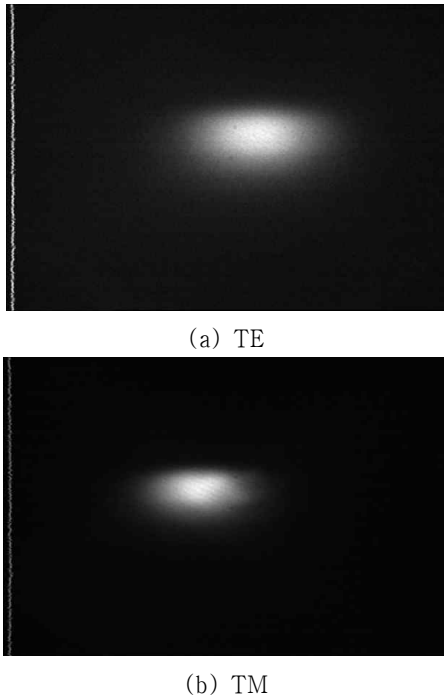


그림 5. 제작된 Ti:PPLN에서 측정된 near-field 모드 패턴
 Fig. 5. Measured near-field mode patterns of fabricated Ti:PPLN

제작된 Ti:PPLN의 소자길이는 52mm, 주기는 $\Lambda=16.6\mu\text{m}$ 로 분극반전이 되었으며, TE, TM 모드에 대해서 ~0.01 dB 전파손실(propagation loss)이 측정되었다. 그림 5는 end-fire 결합시스템을 이용하여 측정된 Ti:PPLN의 near-field 모드 패턴들이며, TE, TM 모드 각각에 대해서 FWHM 기준으로 측정된 모드크기(수평/수직, μm)는 6.83/4.69, 4.77/3.47로 측정되었다.

오염이나 표면의 손상은 전극 패턴을 준비하는 과정이나 분극반전 공정 동안에 주로 발생된다. 감광액 박막은 분극반전 과정에서 높은 전압이 인가되었을 때 예상하지 못한 spark와 반응하여 웨이퍼 표면에 손상을 줄 수 있다. Ti:PPLN 성능에 영향을 미치는 또 다른 요소는 소자의 전 길이에 걸쳐서 위상정합이 유지되어야 하기 때문에 광도파로의 전파특성을 균일하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 분극반전은 고전압을 인가하여 강유전체의 자발분극의 방향을 바꾸어 주는 것으로 높은 전압을 시편에 인가할수록 분극 반전은 쉽게 일어나게 되지만 시편 자체가 고전압을 견디지 못하고 깨지는 현상, 즉 절연 파괴(breakdown) 현상이 발생하기 쉽다. 이런 현상은 시편을 다루는 과정에서 생길지도 모르는 표면 손상, 세척 과정 중에서 화학약품으로 인한 표면 오염, 리튬나오베

이트 조성비의 불 균일 등에 의해 매우 민감하게 영향을 받는다. 또한 강유전체 고유의 성질인 초전현상으로 인해서 시편 내부의 전하분포가 틀려지게 되는데, 이러한 전하분포의 불균형은 고전압을 인가했을 때 절연파괴가 일어나는 주요인이 된다.

IV. Ti:PPLN Šolc 필터의 편광모드변환 측정 및 검토

제작된 Ti:PPLN에서 편광모드변환 현상을 관찰하기 위해서 그림 1과 유사한 end-fire 결합 시스템을 구성해서 그림 6과 같이 1270~1350nm 스펙트럼을 갖는 스위핑 광은 광섬유 편광기를 통과한 후, 첫 번째 편광자에 의해 TE 편광모드만이 선택되어 대물렌즈를 통하여 Ti:PPLN 광도파로에 입사된다. Ti:PPLN 광도파로를 통과한 광파는 첫 번째 편광자의 방향과 직교되게 배치된 두 번째 편광자를 통과한 후, 대물렌즈에 의해 광섬유에 다시 집속하여, 광 스펙트럼 분석기(OSA)에 의해 분석되었다.

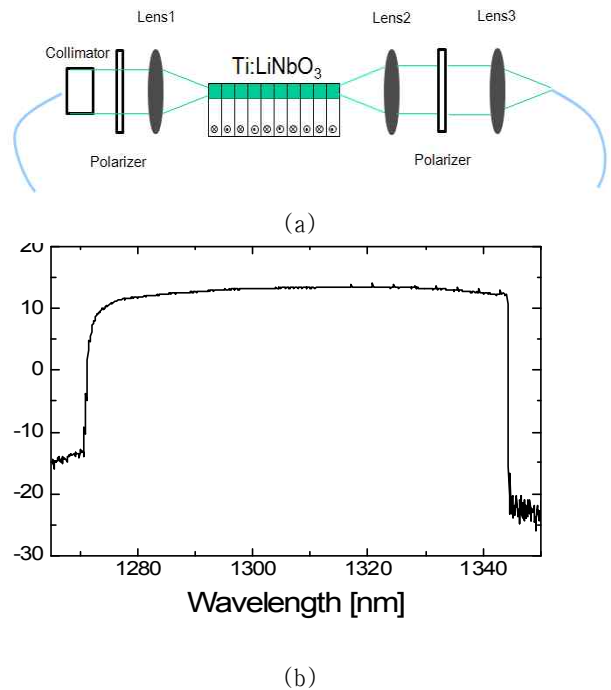
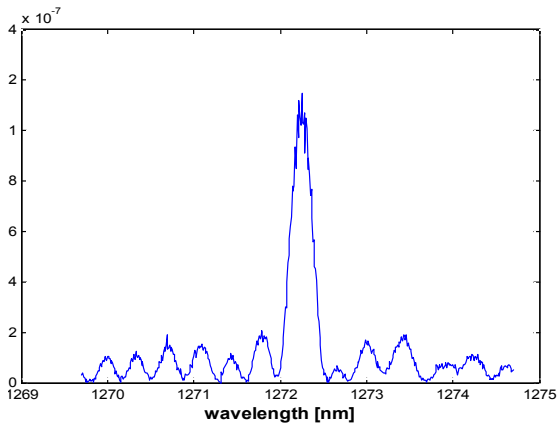
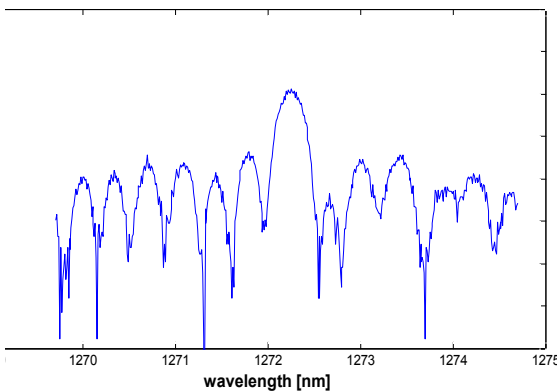


그림 6. (a) Ti:PPLN 파장 필터의 측정장치와 (b) 입사 광원의 스위핑 광 스펙트럼
 Fig. 6. (a) Measurement setup of Ti:PPLN wavelength filter and (b) sweeping optical spectrum of incident optical source



(a)



(b)

그림 7. Ti:PPLN 편광모드변환 필터에 대해서 측정된 투과 광 파워: (a) 선형스케일, (b) 로그스케일

Fig. 7. Measured transmission optical power versus wavelength of Ti:PPLN Šolc filter: (a) linear scale, (b) log scale

그림 7은 측정 온도를 상온 23°C에 유지시키면서 측정된 스펙트럼으로 식 (6)과 같이 sinc 함수와 매우 유사한 분포를 나타내고 있으며, 이때 출력된 광의 중심파장은 1272.49 nm, 선폭은 ~0.23nm, 그리고 부 모드(sidelobe) 레벨은 ~7dB로 측정되었다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 필터의 선폭은 Ti:PPLN 소자 길이에 반비례하는 특성이 있다. 따라서 Ti:PPLN 소자 길이를 조절함으로써 적절한 필터의 선폭을 결정할 수 있다. 그림 7과 같은 좁은 선폭은 많은 수의 분극 반전된 마이크로 도메인에 의해 얻어진 결과이며, 이때 사용된 Ti:PPLN의 마이크로 도메인 수는 약 6000개였다.

한편 필터의 투과율은 식 (6)과 같이 주어지기 때문에, Ti:PPLN Šolc 필터의 길이나 마이크로 도메인 축의 회전각 θ 를 조절함으로써 필터의 투과율을 조절할 수 있

다. 소자 제작과정에서 결정되는 결정축 회전 θ 는 제작 후에는 조절할 수가 없기 때문에 능동적인 투과율 조절을 위해서는 식 (4)와 그림 3과 같이 외부 전기장 인가를 통한 θ 조절 방법이 유일하다. 이와 같이 외부 전기장 인가를 통한 필터의 투과도 조절에 대한 연구는 이미 여러 연구들에 의해 보고되었다. 일반적으로 외부 전기장 없이는 회전각 θ 가 0도를 가진다고 알려져 있으나, 거의 모든 PPLN Šolc 필터 실험에서 외부 전기장 없이 필터링이 일어남이 확인되었다. 이러한 현상은 마이크로 도메인의 축이 앞서 언급했듯이 분극공정 과정에서 축이 약간의 회전각을 갖게 됐을 거라는 추론과 주기적으로 분극 반전된 마이크로 도메인들의 상호작용으로 인하여 굴절을 타원체의 뒤틀림이 존재하는 것으로 설명할 수 있을 것이다.

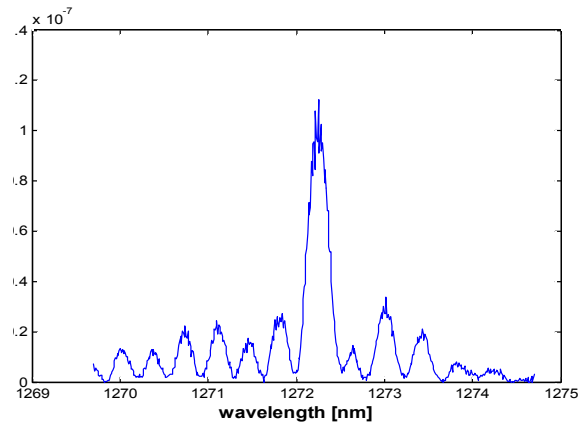


그림 8. Ti:PPLN 편광모드변환 필터에 대해서 측정된 투과 광 파워

Fig. 8. Measured transmission optical power versus wavelength of Ti:PPLN Šolc filter

그림 8은 제작된 샘플의 다른 Ti:PPLN 광도파로를 측정한 스펙트럼이며, 그림 7과 매우 유사한 특성을 나타내고 있다. 출력된 광파가 편광자를 통해서 다시 광섬유로 결합되는 파워가 매우 적기 때문에 변환효율(conversion efficiency)을 정확하게 측정할 수 없었으나, 높지 않을 것으로 추론하고 있다.

Ti:PPLN Šolc 필터의 중심파장을 제어하는 방법은 구동 온도를 변화시키는 방법과 자외선(UV) 광을 조사하는 방법이 있다. 두 방법 모두 Ti:PPLN Šolc 필터의 굴절률을 변화에 근거하고 있다. 소자의 구동 온도를 변화시키면 굴절률과 OPM 격자의 길이가 변화하게 된다. 이에 따라 필터의 중심 파장이 움직이게 된다. PPLN에서 온

도 변화가 있을 경우, 중심 파장의 변화는 열팽창에 의한 QPM 격자 주기 변화보다 굴절률 변화에 의해서 발생하며, 이때 굴절률 변화 값이 중심파장에 변화에 미치는 영향이 열팽창에 의한 QPM 격자 주기 변화 값 보다 약 100 배 이상 높은 것으로 알려져 있다.

V. 결론

본 논문에서는 현재 발표된 관련 논문 등을 체계적으로 검토해서 Ti:PPLN 채널 광도파로에서 나타나는 편광모드 변환 현상에 대한 원인을 정성적, 정량적으로 검토해보고, 전계분극 방법으로 제작된 Ti:PPLN 채널 광도파로에서 편광모드변환 현상을 관찰, 측정하였다. 그림 7은 측정 온도를 상온 23°C에 유지시키면서 측정된 스펙트럼으로 식 (6)과 같이 sinc 함수와 매우 유사한 분포를 나타내고 있으며, 이때 출력된 광의 중심파장은 1272.49 nm, 선폭은 ~0.23nm, 그리고 부 모드(sidelobe) 레벨은 ~7dB로 측정되었다.

구동 온도를 변화시키는 방법과 자외선(UV) 광을 조사하는 방법을 이용해서 Ti:PPLN Šolc 필터의 중심파장을 제어와 그림 3과 같이 Ti:PPLN 주위에 전극을 배열하여 투과율을 향상시키는 후속 연구와 실험을 계획하고 있으며, 관련된 연구 결과들을 곧 발표할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Ivan Šolc, "Birefringent Chain Filters," J. Optical Society of America, Vol. 55, No. 6, pp. 621-625, 1965.

[2] G. Schreiber, et al, "Efficient cascaded difference frequency conversion in periodically poled Ti:LiNbO₃ waveguides using pulsed and cw pumping," Appl. Phys. B 73, pp. 501-504, 2001.

[3] Yun-Lin Chen, Jing-Jun Xu, and Xiao-Jun Chen, "Domain reversion process in near-stoichiometric LiNbO₃ crystals", Optics Communications 188, pp. 359-364, 2001.

[4] W .K. Burns, W. McElhanon, and L. Goldberg, "Second Harmonic Generation in Filed Poled,

quasi-Phase-Matched, Bulk LiNbO₃," IEEE Photon. Technol. Lett. 6, pp. 252-254, 1994.

[5] L.. E. Myers, et al, "Quasi-phase matched 1.064- μ m-pumped optical parametric oscillator in bulk periodically poled LiNbO₃," Optics Letter, Vol. 20, NO. 1, pp. 52-54, 1995.

[6] G. Galvanauskas, et al, "Amplification in 1.2-1.7 μ m communication window using OPA in PPLN waveguides," Electronics Letters Vol. 35, No. 9, pp. 731-733, 1999.

[7] G. S. Kanter, et al, "Wavelength-selective pulsed all-optical switching based on cascaded second-order nonlinearity in a periodically poled lithium-niobate waveguide," IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 13, No. 4, pp. 341-343, 2001.

[8] M. H. Chou, et al, "1.5- μ m-band wavelength conversion based on cascaded second-order nonlinearity in LiNbO₃ waveguides," IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 11, No. 6, pp. 653-655, 1999.

[9] J. A. Armstrong, et al, Phys. Rev., 127, pp. 1918, 1962.

[10] Jianhong Shi, et al, "Observation of Šolc-like filter in periodically poled lithium niobate," Electronics Letters Vol. 39, No. 2, pp. 224-225, 2003.

[11] Y. L. Lee, "Wavelength filtering characteristics of Šolc filter based on Ti:PPLN channel waveguide," Optics Letters, Vol. 32, No. 19, pp. 2813-2815, 2007.

[12] Y. L. Lee, "Waveguide-type wavelength-tunable Šolc filter in a periodically poled Ti:LiNbO₃ waveguide," IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 19, No. 19, pp. 1505-1507, 2007.

[13] Y. L. Lee, "All-optical wavelength tuning in Šolc filter based on Ti:PPLN waveguide," Electronics Letters Vol. 44, No. 1, pp. 224-225, 2008.

[14] R. C. Alferness and L. L. Buhl, "Electro-optic waveguide TE-TM mode converter with low drive voltage," Optics Letters, Vol. 5, No. 11, pp. 473-475, 1980.

※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단(KRF-2008-D00305)의 지원과 2009학년도 홍익대학교 학술연구진흥비의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 소자 측정에 많은 도움을 주신 고등광기술연구원(APRI)의 이영락 박사님께 감사드립니다.

저자 소개

정 홍 식(정회원)



- 1982년 서강대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1984년 서강대학교 전자공학과 대학원 석사 졸업.
- 1988년 Texas A&M University 전기공학과 박사학위
- 1989년 일본 신기술사업단(ERATO)

연구원

- 1990년-현재 홍익대학교 전자전기공학과 정교수
- 1998년 Texas A&M University, CEMDAS 연구교수

<주관심분야 : 광통신 네트워크, 광통신 부품소자, 광전자공학>