

광굴절결정의 파장선택성을 이용한 투과형 대역통과필터

正會員 안 준 원*, 김 남*, 이 권 연**, 안 주 현***

Transmission type bandpass filter using wavelength selectivity of photorefractive crystal

Jun-Won An*, Nam Kim*, Kwon-Yeon Lee**, Ju-Heon An*** *Regular Members*

요 약

광굴절결정에서 두 기록빔의 입사각에 따른 파장선택성을 이용해 원하는 통과대역과 중심파장을 갖는 대역통과필터로의 응용을 제안하였다. 2광파결합을 통해 Fe가 0.02Wt.% 도핑된 LiNbO₃ 결정의 회절특성을 실험함으로써, 가장 우수한 회절효율을 갖는 조건을 도출하고, 이러한 조건에서 원하는 대역 및 파장을 선택해낼 수 있는 대역통과필터를 전광학적으로 구현하였다. 또한, 기록빔의 입사각을 변화시킴으로써, 임의의 원하는 필터 특성을 얻을 수 있음을 실험적으로 증명하였다.

ABSTRACT

We propose a bandpass filter using wavelength selectivity as variation of writing beam incident angle in photorefractive crystal. From TWM(Two-Wave Mixing) experiment, optimal diffraction properties are induced, and bandpass filter for selection wavelength band is implemented. Also, it is demonstrated that important filter properties such as center wavelength, transmission bandwidth are taken by change of writing beam incident angle

Keyword: LiNbO₃, photorefractive, optical filter, center wavelength, bandwidth, diffraction efficiency

I. 서 론

광통신 기술의 가장 매력적인 특징 중 하나는 거의 무한한 대역폭을 활용할 수 있는 것으로, 광섬유의 저손실 영역인 1.2~1.5 μ m에서 이용 가능한 광 대역폭은 주파수로 환산하면 30THz 이상이다. 이러한 파장대를 직접 사용함으로써 파장분할다중(WDM: Wavelength Division Multiplexing)전송은 전자회로의 동작속도에 의해 부과되는 어떠한 제한 없이도 전송

*충북대학교 공과대학 정보통신공학과
 **순천대학교 공과대학 전자공학과
 ***전자통신연구원 광교환연구실
 論文番號:98026-0115
 接受日字:1998年 1月 15日

능력을 증가시킬 수 있으며, 대규모 광 스위칭 네트워크를 구현하는데 있어서 바람직한 다중화 방식으로 고려되고 있다. 또한, WDM 스위칭 네트워크는 파장분할 채널의 bit rate가 독립적이기 때문에 각기 다른 속도의 광대역 신호들을 큰 어려움 없이 교환할 수 있으며, 스위칭 제어회로의 고속동작이 필요치 않는 이점 때문에 WDM 전송 시스템과 결합되어 차세대 B-ISDN으로 확장될 수 있는 가능성이 많은 기술로 예측되고 있다.

WDM 기술을 이용하는 경우 입력신호에서 특정한 파장의 신호를 추출하는 파장선택필터(wavelength selective filter)의 구현이 필수적이다. 수동 파장선택소자의 경우 프리즘, 회절격자, 간섭필터 등을 이용하는 형태와 광도파로에 마이크로 그레이팅 필터-포토다이오드 어레이를 결합한 집적 광 도파로 구조 등이 실현되고 있으며, 최근에는 브래그효과에 기초한 파이버 브래그격자(fiber bragg grating)형 필터도 연구되고 있다. 또한 가변파장필터(tunable wavelength filter)로는 반도체 증폭기(semiconductor amplifier), Fabry-Perot Filter(FPF), Waveguide Interferometer & Directional Coupler Filters, Brillouin Optical Amplifier, AO Filter(AOF), EO Filter(EOF) 등이 연구되고 있으며, 최근에는 광굴절 결정의 부피격자 홀로그래프 및 광파 혼합특성을 이용한 광굴절필터(photorefractive filter; PRF)도 연구되고 있다.^{[1][2]}

이 중에서 광굴절결정의 파장 선택성을 이용한 광굴절필터는 투과형 및 반사형 구조를 통해 구현될 수 있다. 이러한 두가지 구조 중에서 반사형 구조를 취할 경우 예민해지는 파장 선택성으로 인해 협대역 파장선택필터로서의 응용에 대한 연구가 진행되고 있으며, 약 0.2nm의 통과대역을 갖는 협대역 광필터가 보고된 바 있다.^{[3][4]} 반면, 투과형 구조를 취할 경우 파장 선택성이 둔감해지기 때문에 통과대역이 넓어지므로 협대역 광필터로서의 응용보다는 임의의 넓은 대역을 선택해내기 위한 대역통과필터(bandpass filter)로서의 응용에 보다 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

따라서, 본 논문에서는 파장 선택성이 둔감한 투과형 구조를 이용해 비교적 넓은 범위의 파장대를 분리·선택해 내기 위한 대역통과필터를 광학적으로 구현하였다. 실험에 이용한 광굴절 매질은 Fe가 0.02Wt.% 도핑되었고, 크기가 10mm×10mm×10mm인 LiNbO₃

결정이다. 우수한 회절효율을 갖는 필터를 구현하기 위해 2광파 결합을 통한 기록빔의 입사각도에 따른 결합계수 및 두 기록빔의 세기비에 따른 회절효율을 측정하였고, 이를 바탕으로 높은 효율을 갖는 대역통과필터를 구현하였다. 또한, 기록빔의 입사각을 변화시켜 통과시키고자 하는 대역폭을 임의로 조절할 수 있음을 실험적으로 증명하였다.

II. Fe-LiNbO₃ 결정의 2광파결합 특성

LiNbO₃ 결정은 ABO₃구조의 대표적인 예로써, 산소원자의 8번째 배열에 전이금속이 혼합된 형태이다. 이러한 ABO₃ 구조에서 A와 B 금속의 도판트(dopant) 원자가의 차이는 산소의 원자간에 의해 보상되며, 크롬(Cr), 니켈(Ni), 구리(Cu), 망간(Mn), 로듐(Rh), 우라늄(U), 코발트(Co), 세륨(Ce)등과 같은 물질이 도판트로 이용되지만, 철(Fe)이 가장 많이 이용된다. LiNbO₃ 결정의 경우 광굴절 민감도는 망간(Mn), 철(Fe), 구리(Cu) 등에 의해 향상되고, 세륨(Ce)이나 구리(Cu)와 같은것에 의해서는 미약한 영향을 받는다고 보고되고 있다.^[5]

광굴절결정 내에서 교차하는 두 빔은 광굴절효과를 일으켜 굴절률 변조를 일으키고 한쪽 빔에서 다른 쪽 빔으로 강한 비가역적인 에너지 교환이 일어나게 된다. 즉, 두 빔의 간섭에 의해 생성된 광굴절 격자는 각 빔을 브래그 회절(Bragg diffraction) 시키게 되는데 한쪽 빔에서는 회절된 빔과 투과된 빔 사이에 보강 간섭이 일어나고, 다른 방향에서는 상쇄간섭이 일어나 한 빔에서 다른 빔으로 에너지교환이 이루어진다. 코히어런트한 두 빔이 결정 내에서 결합될 경우 식(1)에서 보는 것 같이 간격이 Λ 인 간섭패턴을 만들며, 기록파장(λ_w), 기록빔의 외부 입사 반각(θ_w), 매질의 굴절률(n)에 의해 결정된다.^[6]

$$\Lambda = \frac{\lambda_w}{2n \sin \theta_w} \quad (1)$$

식(1)에 의해 결정되는 간섭패턴을 만들기 위해 결정에 $2\theta_w$ 의 각으로 입사되는 두 개의 기록빔 I_{1w} , I_{2w} 의 간섭에 의해 결정 내에 형성되는 공간 변조된 광의 세기분포는 식(2)와 같이 표현될 수 있으며, $K_g = 2\pi/\Lambda$ 는 격자의 파수벡터(grating wave vector),

$m=2\sqrt{I_{1w}I_{2w}}/(I_{1w}+I_{2w})$ 은 광간섭 패턴의 변조지수, $I_o=I_{1w}+I_{2w}$ 는 전체 광세기이고, x 는 격자 벡터방향의 공간 좌표계이다.^[7]

$$I=I_o[1+m\cos(K_R x)] \quad (2)$$

광굴절결정에 기록빔의 상호작용길이 d , 파장이 λ_R 인 판독빔(reading beam)이 브래그각 θ_R 로 입사되는 경우 정착된 부피 홀로그래프의 회절특성은 H. Kogelnik의 결합파동이론(coupled-wave theory)으로 간단하게 해석되고, 결정 내에서의 흡수를 무시하면 전형적인 회절효율에 관한 표현식은 다음과 같다.^[8]

$$\eta = \sin^2 \left(\frac{\pi \Delta n d}{\lambda_R \cos \theta_R} \right) \quad (3)$$

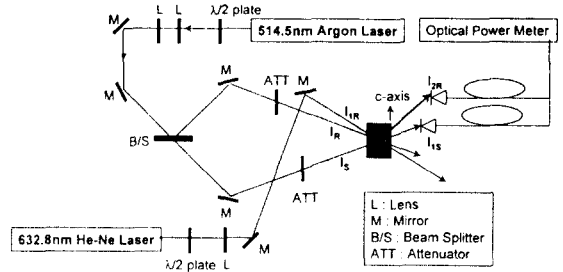
그러나, 광굴절 결정 내에서 두 기록빔의 결합에 의해 유도된 굴절을 변조는 두 빔사이의 에너지 교환 특성으로 인해 더 이상 균일하지 않게된다. 만약 결정에 외부에서 전기장이 인가하지 않으면 굴절률격자의 비균일성으로부터 굴절률변조는 입력빔의 세기비 $\beta=I_{1w}/I_{2w}$ 와 빔의 결합계수(coupling coefficient) Γ 의 함수로 다음과 같이 표현되며, Δn_s 는 광 유기된 굴절률 변조의 최대크기이다.^[8]

$$\Delta n(z) = \frac{2\Delta n_s}{[(1 + \beta e^{\Gamma z})(1 + \frac{e^{-\Gamma z}}{\beta})]^{1/2}} \quad (4)$$

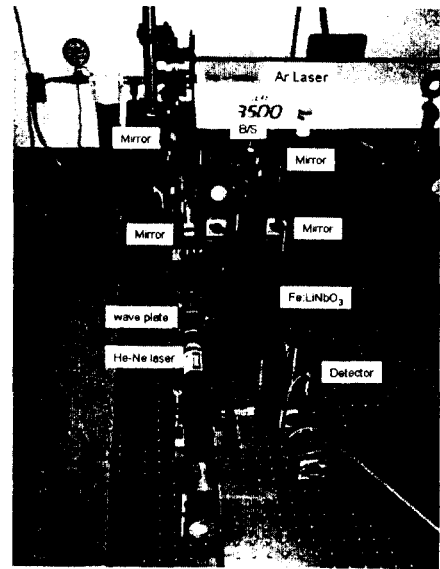
이러한 비균일 광굴절격자로부터 약한 판독빔이 브래그 조건을 만족하는 각으로 정렬되어 입사된다고 가정하고, 판독빔과 회절빔의 진폭에 대한 slowly varying approximation 및 경계조건을 이용하면 결합 파동방정식으로부터 광굴절 부피 홀로그래프의 회절효율은 N. V. Kukhtarev 표현식에 의해 식(5)와 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{\beta[\exp(\Gamma d/2)-1]^2}{(1+\beta)[1+\beta\exp(\Gamma d)]} \quad (5)$$

그림 1은 Fe-LiNbO₃ 광굴절결정을 이용해 가장 우수한 결합특성을 갖는 기록빔의 입사각도 및 가장 큰 회절효율을 갖는 두 빔의 세기비를 결정하기 위한 2광파 결합 실험구성도 및 사진이다. 기록빔으로 이용



(a) 실험 구성도



(b) 실험도 사진

그림 1. 2광파결합 실험구성도 및 사진

Fig. 1. Optical setup and photograph of Two-Wave Mixing

된 514.5nm의 아르곤 레이저(Argon laser)는 LEXEL 3500 모델이며, $\lambda/2$ wave plate를 이용해 수직편광으로 조절하였고, 두 기록빔의 세기비($\beta=I_S/I_R$)는 감쇄기(attenuator)를 사용해 0.005로 고정하였다. 광굴절결정에 입사되는 빔의 방향은 광축의 법선 방향에 대해 같은 각으로 입사시켜 결정 내에 기록되는 격자의 방향이 광축과 평행하도록 하였다. 이러한 조건에서 두 기록빔의 입사각을 $4^\circ \sim 50^\circ$ 범위에서 2° 의 간격으로 변화시켜가면서 결정의 결합계수(Γ)를 측정하였다. 결정의 결합계수(coupling coefficient)는 undepleted

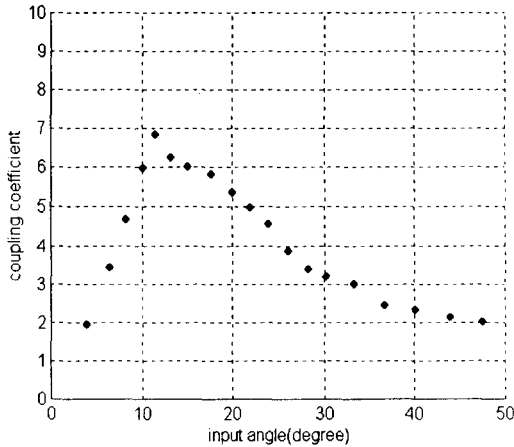


그림 2. 외부입사각에 따른 결합계수 Γ
 Fig. 2. Coupling coefficients Γ as a function of external crossing angle

pump beam approximation 조건하에서 2광파결합 실험으로부터 결정되며, 참조빔(reference beam) I_R 의 세기가 신호빔(signal beam) I_S 의 세기보다 훨씬 크다고 가정했을 때, $(1/d)\ln G$ 로 근사화된다. 여기서, d 는 상호작용길이(interaction length), G 는 이득(gain)을 나타내며, 이득은 일반적으로 식(6)과 같이 표현된다.

$$G = \frac{I_s(\text{with reference beam})}{I_s(\text{without reference beam})} = \frac{(1 + \beta)\exp\Gamma L}{1 + \beta\exp\Gamma L} \quad (6)$$

그림 2는 그림 1의 실험구성도에서 두 기록빔의 입사각에 따른 결합계수를 측정된 결과이다. 실험결과에서 보면 BaTiO₃, SBN, KNSBN과 같은 광굴절매질과 같이 최대의 결합계수를 가질 때 까지 지수함수적으로 증가하다가 이후 감소하는 특성을 볼 수 있으며, 두 기록빔의 입사각에 따라 결합되는 정도의 차이가 상당히 크다. 본 실험에서는 12°의 외부 입사각에서 가장 큰 결합계수 6.9cm⁻¹를 얻었다.

회절효율을 측정하기 위해 판독빔(reading beam I_{1R})으로 이용된 632.8nm의 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser)는 $\lambda/2$ wave plate를 이용해 수직편광으로 조절했으며, 빔 세기는 0.95mw/cm²이다. 입사각은 기록빔의 입사각 및 파장, 판독빔의 파장에 의해 결정되는 브래그 각(Bragg angle)인 7.39°로 입사시켰다. 회절효율은 결정 자체의 손실을 고려해 측정된 것으로 그림 1

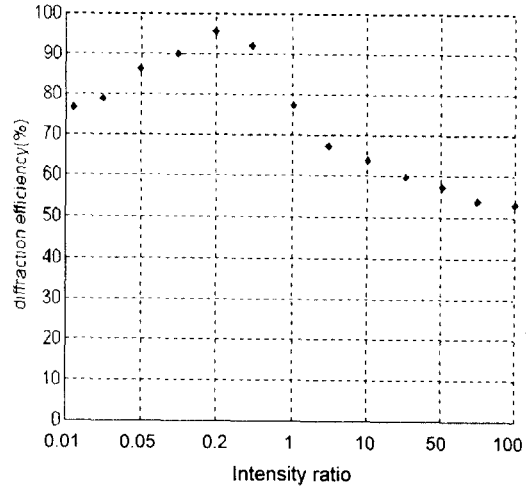


그림 3. 기록빔의 세기비에 따른 회절효율 η
 Fig. 3. Diffraction efficiency η as a function of writing beam intensity ratio β

의 실험도에서 광굴절결정내에 격자를 기록시키기 이전에 판독빔 I_{1R} 이 결정을 투과한 빔의 세기와 격자를 기록시킨 이후에 회절된 빔의 세기 I_{2R} 의 비로 나타내었다. 그림 3의 실험결과는 기록빔의 입사각을 결합계수가 가장 큰 12°로 고정시키고, 두 기록빔의 세기비에 따른 회절효율을 측정된 결과이다. 그림에서 보면 두 기록빔의 세기비 β 가 0.2일 때, 97%의 높은 회절효율을 갖고 포화되고, 이후 감소하는 특성을 볼 수 있으며, 전반적으로 높은 회절특성을 보인다. 이상의 2광파 결합 실험을 통해 본 논문에서 이용한 Fe-LiNbO₃ 결정이 가장 우수한 회절특성을 갖는 조건(기록빔의 외부입사각=12°, 두 기록빔의 세기비=0.2)을 도출하였다. 이러한 광굴절 결정의 회절효율은 광소자로 적용시 가장 중요하게 고려해야 할 파라미터이며, 국내외적으로 실험결과를 제시한 연구결과가 보고된 바 있다.^{[4][5][6]} 그림 3에 나타난 실험결과와 기존에 연구된 결과를 비교해 보면, 효율값이 상당히 개선된 결과이고, 이는 결정에 입사되는 기록빔의 적절한 크기와 정확한 브래그 조건의 만족으로부터 얻은 결과로 생각된다.

III. Fe-LiNbO₃ 결정을 이용한 대역통과필터

광굴절결정의 파장 선택성은 기록빔의 입사각이 넓어질수록 예민해지고, 입사각이 좁아지면 둔감해진다. 결국, 투과형 구조는 둔해지는 파장 선택성으로 인해 협대역 필터로서의 응용보다는 임의의 넓은 대역을 분리·선택해내기 위한 대역통과필터로서의 응용에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 광굴절결정을 이용한 광필터의 통과대역폭(BW)은 식(7)에 의해 결정되며,^[11] n 은 광굴절매질의 굴절률(refractive index), d 는 상호작용길이이다. 식에서 보면, 필터링 하고자 하는 빔의 입사각 θ_p 가 고정되었을 경우 필터링하려는 중심파장 λ_p 가 증가할수록 통과대역이 넓어지고, λ_p 가 고정되었을 경우에는 θ_p 가 증가할수록 좁아진다. 그림 4는 기록빔의 파장이 514.5nm, λ_p 가 각각 1550nm, 1300nm, 890nm일 경우, 기록빔의 입사각에 따른 통과대역의 변화를 계산한 결과이다. 그림에서 보면, 기록빔의 입사각이 넓어질수록 광굴절필터의 통과대역이 지수 함수적으로 좁아지며, 필터링 하고자하는 파장대에 의해서는 거의 영향이 없음을 볼 수 있다. 결국 광굴절필터의 통과대역을 조절할 수 있는 지배적인 파라미터(parameter)는 기록빔의 입사각임을 나타낸다.

$$BW = \frac{\lambda_p^2 \cos(\theta_p)}{2nd \sin^2(\theta_p)} \quad (7)$$

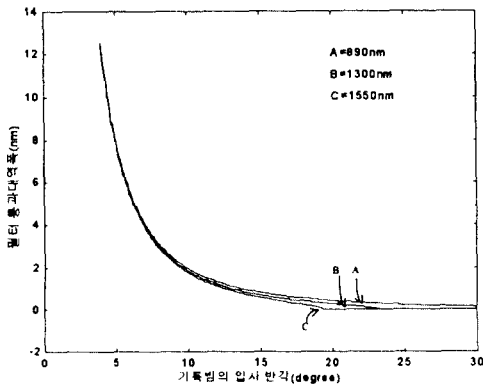


그림 4. 기록빔의 입사각에 따른 통과대역의 변화
Fig. 4. Variation of bandwidth vs. writing beam incident angle

그림 4에서 보면 기록빔의 입사각이 90°에 가까워질수록 통과 대역폭이 거의 0nm에 가까워진다. 하지만, 투과형 구조를 취할 경우 광굴절결정의 한 면으로 입사시킬 수 있는 각이 제한되기 때문에 대역폭을 조절하는 데는 한계가 있을 것으로 예측된다. 광굴절 결정 내에 격자를 기록시키기 위한 두 빔의 외부 입사 반각(half angle)을 θ_w , 기록빔의 파장을 λ_w 이라고 할 때, 필터링 하고자 하는 빔의 외부 입사각 θ_p 는 식(8)에 의해 결정되며,^[11] λ_p 가 각각 890nm, 1300nm, 1550nm일 경우 기록빔의 외부 입사반각 변화에 따른 θ_p 의 계산값을 그림 5에 나타내었다. 그림의 결과에서 보면 필터링 하고자하는 파장이 작은 파장일수록 기록할 수 있는 각도가 더욱 넓어짐을 알 수 있으며, 이는 광굴절필터의 통과대역을 좀 더 넓은 범위에서 변화시킬 수 있음을 나타낸다. 본 논문에서 사용한 10mm×10mm×10mm 크기의 Fe-LiNbO₃ 결정의 경우 결정의 반대 벽면에 부딪히지 않고 빔을 입사시킬 수 있는 각도 범위는 약 30°였다. 따라서, 필터링 하고자하는 파장이 각각 890nm, 1300nm, 1550nm인 경우 514.5nm의 빔으로 격자를 기록시킬 수 있는 범위는 각각 ~9.5°, ~11.4°, ~16.7°로 제한될 것이며, 통과대역을 조절할 수 있는 범위에도 제한을 줄 것이다. 이상에서 서술한 식(7), 식(8)로부터 임의의 원하는 중심파장과 통과대역을 갖는 광필터의 설계가 가능하다. 즉, 중심파장 λ_p 와 통과시키고자하는 대역 BW

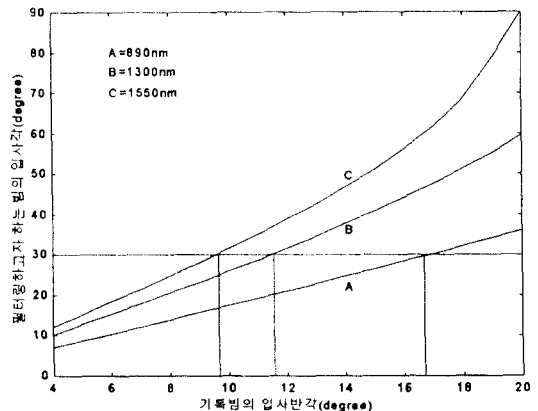


그림 5. 기록빔의 입사각에 따른 필터링 빔의 입사각
Fig. 5. Incident angle of filtering beam vs. writing beam incident angle

가 결정되면, 식(7)로부터 θ_p 를 결정할 수 있다. 그리고, 결정 내에 광필터를 구성할 때 이용되는 기록빔의 파장 λ_w 가 선택되면, 식(8)에서 조건을 만족시키는 θ_w 를 구할 수 있고, 실험시 선택된 파라미터 $\theta_w, \theta_p, \lambda_w$ 를 이용하면 원하는 중심파장과 통과대역을 갖는 필터를 구현할 수 있다.

$$\theta_p = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_w} \sin \theta_w \right) \quad (8)$$

그림 6은 Fe-LiNbO₃ 결정을 이용해 1550nm대역을 분리·선택해내기 위한 대역통과필터의 구현 실험도이다. 결정 내에 회절격자를 기록하기 위한 조건은 2광파결합 실험으로부터 얻은 최적의 조건인 $\theta_w = 6^\circ$, $\beta = 0.2$ 이다. 이와 같은 조건에서 상호작용길이 d 가 0.1cm일 때, BW 와 θ_p 는 식 (7)과 식 (8)에서 예측할 수 있으며, 각각에 대한 예측값은 18.36°, 5.35nm이다. 광필터의 회절효율 및 통과대역 특성을 조사하기 위해 tunable LD의 파장을 1530nm~1570nm영역에서 0.001nm씩 바꾸어가며 각각에 대한 회절빔의 세기를 측정하였다. 그리고, 이용된 tunable LD는 Anritsu사의 HG9637A 모델이며, 광굴절격자로 입사되는 빔의 세기는 1mw/cm²이다. 또한, 원하는 통과대역에 따라 필터를 설계해 응용할 수 있음을 광학적으로 증명하기 위해 기록빔의 입사각 θ_w 를 8.5°로 변화시켰을 경우 결정 내에 기록된 광필터의 변화되는 특성을 실험하였다. 이 경우 1550nm를 중심 파장으로 할 때 이론적으로는 $\theta_p = 26.44^\circ$,

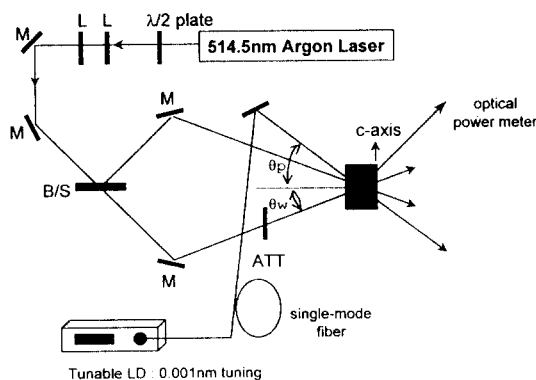
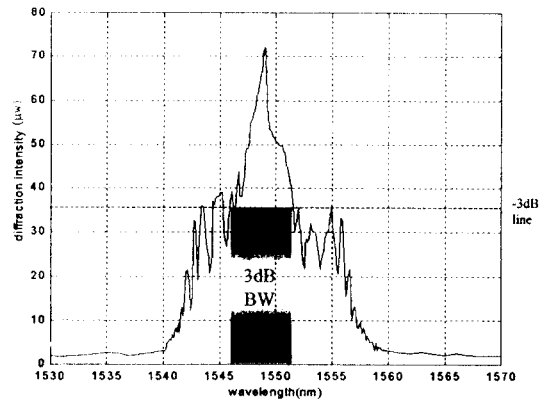


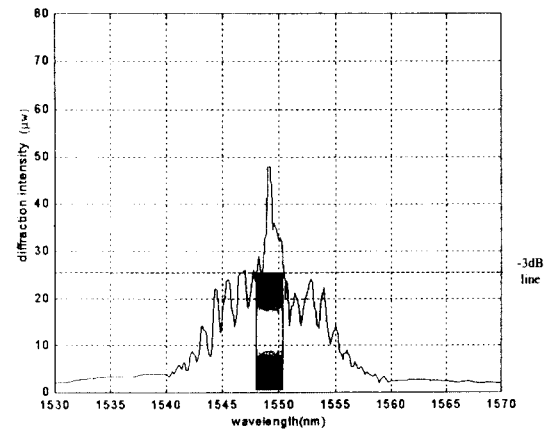
그림 6. 광굴절 대역통과필터 실험 구성도
Fig. 6. Optical setup of photorefractive bandpass filter

$BW = 2.53$ nm 정도의 특성을 갖는 대역통과필터가 예측된다.

그림 6에서 $\theta_w = 6^\circ$ 일 때 구현된 필터의 특성을 그림 7(a)에 나타내었고, $\theta_w = 8.5^\circ$ 인 경우의 특성을 그림 7(b)에 나타내었다. 실험결과에서 보면 전자의 경우 중심파장 1549.029nm, 회절효율 7.2%, 통과대역이 약 10.2nm인 대역통과필터의 특성을 볼 수 있으며, 후자의 경우 중심파장 1549.34nm, 회절효율 4.9%, 통과대역 5.2nm인 필터가 구성되었다. 또한, 기록 조건이 다른 두 경우에 대한 실험을 통해 기록빔의 입사각을 조절함으로써 원하는 정도의 대역만을 통과시



(a) $\theta_w = 6^\circ$ 인 경우



(b) $\theta_w = 8.5^\circ$ 인 경우

그림 7. 구현된 대역통과필터 특성
Fig. 7. Optical characteristics of implemented bandpass filter

표 1. 구현된 광필터 특성의 이론값과 실험값의 비교

Table 1. Comparison of theory values and experimental values for implemented optical filter

실험조건		실험값과 이론값의 비교				
기록빔의 외부 입사 반각(θ_w)	반동빔의 외부 입사 반각(θ_p)	BW		center wavelength		efficiency
		이론값	실험값	이론값	실험값	
6°	18.56°	5.35nm	10.2nm	1550nm	1549.029nm	7.2%
8.5°	26.44°	2.53nm	5.2nm	1550nm	1549.34nm	4.9%

킬 수 있는 대역통과필터의 구현이 가능함을 광학적 실험으로써 증명하였다. 그러나, 제시된 실험결과는 이론적으로 예측한 값과 비교해 중심 파장 및 통과대역과 같은 광필터의 중요한 파라미터에 약간의 차이를 보인다. 이러한 두 가지의 오차 중에서 중심 파장에서의 차이는 실험시 필터링 하고자하는 빔의 입사각이 정확하게 18.36° 및 26.44°로 맞추어지지 못했기 때문이며, 통과대역이 예상보다 넓어진 것은 결정의 외부입사각과 결정 내부에서 두 빔이 교차되는 실제 입사각의 차에 의해 발생된 것으로 예측된다. 따라서, 미세한 전기적 혹은 기계적 제어를 통해 정확한 조건으로 실험한다면 이론값에 정확히 부합되는 대역통과필터의 구현이 가능할 것이다. 표 1은 본 논문에서 설계한 조건에 따라 예측되는 광필터의 이론적 특성과 광학적으로 구현된 특성을 비교한 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Fe가 0.02Wt.%도핑된 LiNbO₃ 결정을 이용해 WDM기술을 적용하는 광통신 시스템에서 원하는 임의의 대역만을 분리·선택해내기 위한 대역통과필터의 특성을 이론적으로 예측하고, 광학적으로 구현하였다. 가장 우수한 회절효율 특성을 갖는 조건 도출을 위해 2광파결합 실험을 통한 각도에 따른 결합계수 Γ 를 측정 한 결과 6°의 외부 입사 반각에서 최대 결합계수 $\Gamma_{max} = 6.9\text{cm}^{-1}$ 을 얻었으며, 두 기록빔의 세기비를 조절해 각각에 대한 회절효율 측정 결과 $\beta = 0.2$ 에서 97%의 높은 효율을 얻었다. 또한, 기록빔의 입사각을 변화시켜 원하는 정도의 통과대역을 갖는 대역통과필터의 구현이 가능함을 실험적으로 증명하기 위해 대역통과필터 구현시 기록빔의

입사각을 6°, 8.5°로 변화시켜 각 조건에 대한 대역통과필터를 구현하고, 특성을 제시하였다. 실험결과 두 경우에 대해 각각 중심 파장이 1549.029nm, 1549.34nm 이고, 통과대역이 10.2nm, 5.2nm인 대역통과필터를 구현하였다.

참 고 문 헌

1. J. Zhang, F. T. S. Yu, and D. K. Mcmillen, "Coupling kinetics of the photorefractive hologram," Appl. Opt., vol. 35, no. 14, pp. 2355-2359, May 1996.
2. F. Heismann, R. C. Alterness, L. L. Buhl, G. Einstein, S. K. Korotky, J. J. Veselka, L. W. Stulz, and C. A. Burrus, "Narrow-linewidth, electro-optically tunable InGaAsP-Ti:LiNbO₃ extended cavity laser," Appl. Phys. Lett., vol. 51, no. 3, pp. 164-166, July 1987.
3. D. Herve, M. Chauvet, J. E. Viallet, and M. J. Chawki, "First tunable narrowband 1.55 μm optical drop filter using a dynamic photorefractive grating in iron doped indium phosphide," Elec. Lett., vol. 30, no. 22, pp. 1883-1884, Oct. 1994.
4. V. Leyva, G. A. Rakuljic, and B. O'Conner, "Narrow bandwidth volume holographic optical filter at the Kr transition at 1547.82nm," Appl. Phys. Lett., vol. 65, no. 9, pp. 1079-1081, Aug. 1994.
5. P. Gunter, and J. P. Huignard, "Photorefractive materials and their applications I," Topics in Applied Physics, vol. 61, pp. 63-64, 1988.
6. G. T. Sincerbox, and G. Roosen, "Opto-optical

light deflection," Appl. Opt., vol. 22, no. 5, pp. 690-697, Mar. 1983.

7. G. Pauliat, J. P. Herriau, A. Delboulbe, G. Roosen, and J. P. Huignard, "Dynamic beam deflection using photorefractive grating in Bi12SiO20 crystals," J. Opt. Soc. Am. B, vol. 3, no. 2, pp. 306-314, Feb. 1986.
8. J. H. Hong, and R. Saxena, "Diffraction efficiency of volume holograms written by coupling beams," Opt. Lett., vol. 16, no. 3, pp. 180-182, Feb. 1991.
9. 정태혁, 강기형, 정석문, 윤탠훈, 김재창, "빔세기에 따른 Fe:LiNbO3 결정의 회절효율," 한국광학회지, 제4권 제3호, pp. 323-329, 1993년 9월.
10. 강기형, 정태혁, 정석문, 윤탠훈, 김재창, "Fe:LiNbO3 도파로의 제작 및 광굴절특성," 한국광학회지, 제4권 제1호, pp. 108-113, 1993년 3월.
11. R. T. B. James, C. Wah, K. Lizuka, and H. Shimotahra, "Optically tunable optical filter," Appl. Opt., vol. 34, no. 35, pp. 8230-8235, Dec. 1995.



안 준 원(Jun-Won An) 정회원
 1973년 9월 5일생
 1996년 2월:충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 1998년 2월:충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)
 1998년 3월~현재:충북대학교 대

학원 정보통신공학과 박사과정
 ※주관심분야:Photorefractive material, Optical information processing, Optical data storage Nonlinear optics

김 남(Nam Kim)

정회원

1998년 제23권 제1호 참조

1998년 4월~현재:충북대학교 정보통신공학과 정교수



이 권 연(Kwon-Yeon Lee) 정회원

1959년 11월 19일생

1986년 2월:연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 8월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 8월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1990년 3월~1996년 1월:서남대학교 전자공학과 조교수

1996년 3월~현재:순천대학교 전자공학과 조교수

※주관심분야:Optical information processing, Optical computing, Optical data storage, Photonic switching, Nonlinear optical device

안 주 현(Ju-Heon An)

정회원

1961년 7월 26일생

1984년 2월:전남대 금속공학과 졸업(공학사)

1986년 2월:전남대 대학원 금속공학과 졸업(공학석사)

1994년 2월:전남대 대학원 금속공학과 졸업(공학박사)

1994년 2월~1996년 6월:한국전자통신연구원(Post Doc.)

1996년 7월~현재:한국전자통신연구원 선임연구원

※주관심분야:광스위칭 소자, 광집적소자