

論文99-36D-6-10

광굴절결정에서 파장 선택 필터의 특성 분석 및 다중 기록을 통한 역다중화기 구현

(Properties Analysis of Wavelength Selective Filter and
Implementation of Demultiplexer using Multiple Writing in
Photorefractive Crystal)

李權淵*, 安俊遠**, 金男**

(Kwon-Yeon Lee, Jun-Won An, and Nam Kim)

요약

Fe 가 0.015wt.% 도핑된 LiNbO₃ 결정에서 형성된 홀로그래픽 부피격자 필터의 각 선택성 및 역다중화 특성을 이용하여 WDM 통신 시스템에 적용하기 위한 새로운 광굴절 역다중화기를 제안하였다. 결정에 입사 되는 두 기록빔의 교차각, 판독빔의 입사각 및 기록빔의 크기에 따른 광굴절 필터의 파장 선택 특성을 해석 하고 실험하였으며, 동일한 회절효율을 갖는 다중-노출 필터 기록을 위한 다중화 기법을 적용하여 DMUX 소자로 활용하기 위한 예비 실험 결과를 제시했다.

Abstract

We propose a new photorefractive demultiplexer(DMUX) for WDM communication system using a wavelength selectivity and demultiplexing properties of a volume holographic grating filters formed in LiNbO₃ crystal doped with 0.015wt.% Fe. The wavelength selectivity properties of the filter are analyzed and experimentally investigated as a function of the following parameters : the crossing angle of the two writing beams, the reading-beam angle and writing-beam size. In addition, applying these wavelength selectivity properties and the multiplexing technique for recording multiple-exposure filters with equal diffraction efficiency, some preliminary experimental results are presented for use as DMUX.

I. 서론

* 正會員, 順天大學校 電子工學科

(Department of Electronics Engineering, Sunchon National University)

** 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科

(Department of Computer & Communication Engineering, Chungbuk National University)

※ 본 논문은 1998년도 순천대학교 공과대학 학술재단 연구비에 의해 연구되었음

接受日字:1998年10月19日, 수정완료일:1999年5月20日

고속 광대역 서비스가 등장하고 사용자의 정보량이 급증함에 따라 전송 시스템 및 전송망은 점차 고속화 대용량화되고 있다. 단일 파장을 이용하는 기존의 광 전송기술에서는 전기적 신호를 시분할 다중(TDM : time division multiplexing)화 하는 방법으로 전송 용량을 늘려 왔으나 전자소자 및 광소자의 스위칭 속도 및 색분산으로 인한 제약으로 인해 10GHz 급 이상의 광전송 시스템에 적용하기에는 어려울 것으로 예측하고 있으며, 그 대안으로 파장 분할 다중(WDM :

wavelength division multiplexing) 방식이 고려되고 있다. WDM 방식은 파장이 서로 다른 여러 채널의 신호를 한 기어의 광섬유를 통해 동시에 전송하는 기술로서 미래의 고속, 대용량 서비스를 수용하기 위한 필수적인 방식으로 간주되고 있다. 이러한 WDM 시스템의 상용화를 위한 핵심 광소자 기술로는 파장 가변 범위가 충분히 넓고 발전 파장이 장시간 동안 안정화된 파장 가변성 광원과 광대역 광증폭기 및 광결합기 등과 같은 광소자의 개발이 필요하고, 특히 수신단에서는 각 파장 별로 신호를 추출하기 위한 광필터(optical filter) 및 역다중화기(DMUX : demultiplexer)의 구현이 필요하다. 일반적으로 광필터 소자와 결합된 DMUX는 프리즘(prism), 회절격자(diffraction grating), 간섭 필터, 파이버 방향성 결합기(fiber directional coupler), 공진기 필터 및 집적 광 도파로(optical integrated waveguide) 구조 등이 실현되고 있지만, WDM에 적용하기 위한 광파장의 다중화·역다중화의 요구 조건인 파장 선택도(스펙트럼 대역폭), 누화(crosstalk), 삽입 손실(inserting loss), 채널수 등과 같은 고유한 문제점을 안고 있다. 최근에는 매우 작은 삽입 손실과 높은 파장 선택도를 갖는 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating)형^[1-3] 과 광굴절(PR : photorefractive) 결정에서 형성된 홀로그래픽 부피격자(holographic volume gratings)의 각·파장 선택성 및 고 회절효율 특성을 적용한 PR 필터 등이 연구되고 있다.^[4-8] PR 필터를 이용한 DMUX의 경우 벌크형 PR 매질(LiNbO₃, BaTiO₃, SBN,...)에 의해 쉽게 구현이 가능하고, 소형화, 높은 S/N 비, 협대역 특성, 높은 회절효율(반사율), 재구성성, 다채널화, 역다중성 등과 같은 특성을 갖기 때문에 기존 필터 기술의 문제점을 보완할 수 있는 대안을 제공할 것으로 예상하고 있다.

본 논문에서는 Fe가 0.015wt.% 도핑된 LiNbO₃ 결정에서 형성된 홀로그래픽 부피격자의 각·파장 선택성, 다 채널화 및 역다중화 특성을 이용하여 여러 채널의 파장을 분리·선택해 낼 수 있는 DMUX로의 적용을 제안하고 광학적으로 구현하였다. 특히, 기존 간섭 필터를 DMUX로 사용하는 경우 분리하고자 하는 파장이나 대역폭을 자유롭게 설정할 수 있는 이점이 있지만 투과 특성이 좋지 않고 구성이 복잡하며 다 채널로 갈수록 잡음 성분 및 광손실이 누적되는 문제점이 있는데, 본 논문에서는 PR 결정을 적용하여 다

채널화가 용이하고 소형화 및 협대역 특성을 갖는 새로운 DMUX 소자를 제안하고 실험적으로 입증한다.

2. 광굴절 결정을 이용한 파장선택 필터의 원리 및 특성

일반적으로 PR 결정 내에서 두 개의 코히어런트(coherent)한 빔을 교차시키면 주기적인 공간섭 패턴에 의해 전하가 재배열되어 공간 전하장이 유도되고 이 공간 전하장의 전기 광학 효과에 의해 전장의 세기에 비례해서 선형으로 굴절을 변화가 유기되어 결정내에서 홀로그램과 동일한 원리의 굴절을 부피격자가 형성된다. 이러한 부피격자에서 1차 브래그 회절(Bragg diffraction)에 관한 공식은 두 기록빔(writing beams)의 파장을 λ_w , 브래그 각을 θ_B , 매질의 굴절률을 n , 주기적인 굴절을 부피격자의 간격을 Λ 라고 하면 다음과 같이 표현된다.^{[9]-[10]}

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

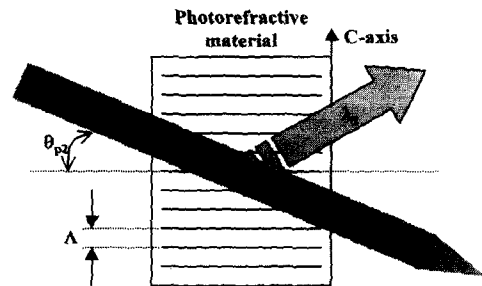


그림 1. 광굴절 결정을 이용한 파장선택필터의 기본원리

Fig. 1. Basic principle of wavelength selective filter using photorefractive crystal.

즉 두 빔의 결합에 의해 형성된 부피격자는 홀로그램과 마찬가지로 특정한 입사각에서 브래그 조건을 만족하는 임의의 파장만을 회절 시키고, 나머지 파장의 빔은 투과되기 때문에 이러한 원리를 이용하면 PR 결정을 광필터 소자로 적용할 수 있다. 만약 결정 내에서 형성된 회절 격자가 광원의 파장이 λ_w , 두 빔의 외부 입사 반각(external half-crossing angle)이 θ_w 인 조건에서 기록되고 그림 1에 나타난 바와 같이 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 의 파장으로 다중화된 빔이 λ_2 에 대한 브래그 각 θ_{B2} 로 결정 내에 입사된다고 가정하면, 회절격자는 λ_2 만을 회절 시키고 이외의 파장은 그대로 투과된다.

이때 필터링 되는 빔에 대한 브래그 조건은 결정 내부에서 두 기록빔의 교차 반각(internal half-crossing angle) θ_{wi} , 기록빔의 파장(λ_w) 및 필터링 빔의 파장(λ_{pn})에 의해 결정되며 다음과 같이 쓸 수 있다.^[8]

$$\theta_{pin} = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda_{pn}}{\lambda_w} \sin \theta_{wi} \right) \quad n=1,2,3\dots \quad (2)$$

그리고 그림 1과 같은 투과형 부피격자의 경우 필터의 통과 대역은 필터링 하고자 하는 빔의 파장 λ_{pn} 및 결정 내부에서의 입사각 θ_{pin} , 매질의 굴절률 n , 기록빔의 상호 작용 길이(interaction length) a 에 의해 결정되며 다음과 같이 표시 된다.^[8]

$$BW = \frac{\lambda_{pn}^2 \cos(\theta_{pin})}{2nd \sin^2(\theta_{pin})} \quad (3)$$

따라서, 식 (3)에서 필터링 하고자 하는 빔의 입사각 θ_{pin} 및 상호작용 길이 a 가 고정되었을 경우 필터링 하려는 빔의 중심 파장 λ_{pn} 이 증가하면 반대로 통과대역은 넓어지고, λ_{pn} 이 고정되었을 경우에는 θ_{pin} 이 증가할수록 좁아짐을 알 수 있다.

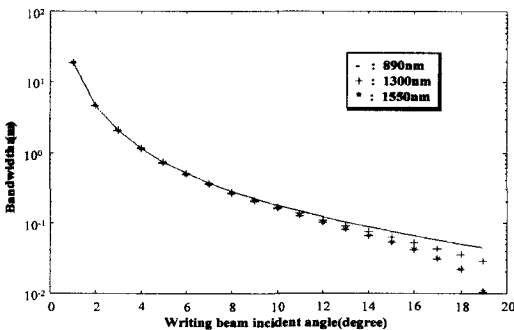


그림 2. 기록빔의 입사각에 따른 통과대역의 변화
Fig. 2. Variation of bandwidth vs. incident angle of writing beam.

그림 2는 기록빔의 파장이 514.5nm이고, λ_{pn} 이 각각 1550nm, 1300nm, 890nm, 상호 작용 길이가 5mm 일때 기록빔의 내부 교차 반각(θ_{wi})에 따른 통과 대역의 변화를 계산한 결과이다. 그림에서 보면, 기록빔의 입사각이 넓어질수록 PR 필터의 통과 대역이 지수 함수적으로 좁아지며, 필터링 하고자 하는 파장에 대해서는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 결

국 상호 작용 길이가 일정하다고 가정했을 때, PR 필터의 통과 대역을 조절할 수 있는 지배적인 파라미터(parameter)는 기록빔의 입사각이며 선택하고자 하는 파장에 대해서는 거의 영향을 받지 않는다.

그림 3은 기록빔의 내부 교차 반각이 10°, 7.5°, 5°, 3° 인 경우 빔 직경(beam diameter)이 1~10mm 사이의 값에서 변화할 때, 각각의 경우에 대한 통과 대역의 변화를 계산한 결과이다. 그림에서 보면, 식 (3)에서 예측한 바와 같이 기록빔의 입사각이 넓을 수록 통과 대역은 상대적으로 좁아지며, 빔의 직경이 작을수록 통과대역이 넓어지는 특성을 볼 수 있다.

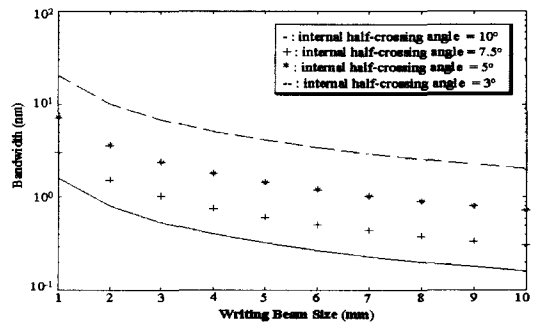


그림 3. 기록빔의 크기에 따른 통과대역의 변화
Fig. 3. Variation of bandwidth vs. writing beam size.

3. 파장 선택 필터와 DMUX의 설계 및 광학적 구현

제 2장에서 살펴 본 바와 같이 코히어런트한 두빔의 간섭에 의해 PR 결정 내에서 형성된 부피형 회절 격자를 파장 선택용 광필터로 적용하는 경우 중심 파장을 튜닝(tuning)하는 방법은 먼저, 판독빔(reading beam)의 입사각을 고정하고 기록빔의 입사각 및 파장을 변화시킴으로써 튜닝하는 방법과 기록빔의 파장 및 입사각을 고정하고 판독빔의 입사각을 원하는 파장대에 맞게 변화시킴으로써 구현할 수 있다. 그리고 PR 파장 선택 필터의 통과 대역을 조절할 수 있는 지배적 파라미터는 식 (2) 및 식 (3)에서 나타낸바와 같이 기록빔의 입사각 및 상호 작용 길이를 고려하여 조정할 수 있다. 본 절에서는 이와 같은 이론적 예측과 실험을 통해 필터 특성에 영향을 미치는 결정 요소들을 분석한다. 또한 본 논문에서는 중심 파장과 통과 대역의 조정을 위해 기록빔 및 판독빔의 입사각을 변화시켜 관찰하였으며, 상호 작용 길이는 고정된 상태로 적용하였다. 위와 같은 방법으로 설계하고 구현된 PR 광

필터의 파장 선택 특성과 PR 결정의 다중 기록 특성을 이용하여 WDM용 광굴절 DMUX를 제안하고 실험적으로 입증한다.

1) 광굴절 파장 선택 필터의 특성 실험

먼저 PR 부피격자에서 두 기록빔의 입사각에 따른 통과 대역폭 및 판독빔의 입사각 조건에 따른 중심 파장의 튜닝을 조사하기 위해 표 1에 나타낸 바와 같이 중심 파장을 1550nm와 1530nm가 되도록 실험 조건을 설계하였다. 식 (2)로부터 중심 파장이 1550nm이고 기록빔의 외부 입사 반각이 각각 5°, 6.5° 일 때 판독빔의 외부 입사각은 각각 15.2225°, 19.9402° 이 되고 이때 예측되는 광필터의 통과 대역폭은 식 (3)에 의해 각각 5.7689nm, 3.4045nm 이 된다. 그리고 기록빔의 외부 입사 반각을 각각 5°, 5.0655° 로 조정하여 광필터를 제작하고, 판독빔의 외부 입사각을 15.222° 로 하였을 경우 필터링 되는 중심파장은 각각 1550nm, 1530nm가 된다.

표 1. 설계된 파장 선택 필터
Table 1. Designed wavelength selective filter.

중심파장	기록빔의 외부입사반각	판독빔의 외부입사각	통과대역폭
1550nm	6.5°	19.9402°	3.4045nm
	5°	15.2225°	5.7689nm
1530nm	5.0655°		5.6211nm

그림 4는 표 1에서 설계된 파장 선택 필터를 실험적으로 입증하고 특성을 조사하기 위한 실험 구성도이다. 기록빔으로는 514.5nm의 아르곤 레이저를 사용하였고, 렌즈 L1과 L2를 이용하여 결정에 입사되는 빔의 직경을 약 4mm 정도로 조정하였다. 그리고 결정에 입사되는 두 기록빔의 편광은 반파장기($\lambda/2$ plate)를 사용해 정상편광(ordinary polarization)으로 고정하였고, 두 기록빔 중 신호빔의 광경로에 ND 필터를 삽입하여 기준빔(reference beam)과 신호빔(signal beam)의 세기를 각각 20.02mW/cm², 10.1 mW/cm² 조정하였다. 결정에 입사되는 기록빔의 외부 입사 반각은 표 1에서 설계한 바와 같이 5°, 5.0655°, 6.5° 이고, 기록빔의 미세한 입사각 조정을 위해 정밀한 수평 이동이 가능한 평행 이동 스테이지(translation stage)와 볼록렌즈의 조합을 이용하였다. 판독빔으로 사용된 광대역 광원(broadband source)

은 그림 5와 같이 1520nm~1570nm의 파장대역을 갖으며, 단일 모드 파이버(single mode fiber)와 콜리메이터(collimator)를 통해 기록빔의 입사각에 대해 1550nm의 파장을 선택해 내기 위한 각도인 15.2225°, 19.9402° 로 입사된다. 판독빔의 세기는 1.155 mW/cm²이며, 광원의 편광상태는 랜덤(random)하다. 그리고 회절 격자로부터 회절된 빔은 광파워 미터(optical power meter)와 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer)를 사용해 회절 효율과 회절된 빔의 스펙트럼 분포를 측정하였다. 실험에 사용된 PR 결정은 Fe 이온이 0.015wt.% 도핑된 LiNbO₃ 이고, 결정의 크기는 10mm×10mm×10mm 이다. 그리고 스펙트럼 분석기는 Anritsu사의 MS9710B 모델을 사용하였다.

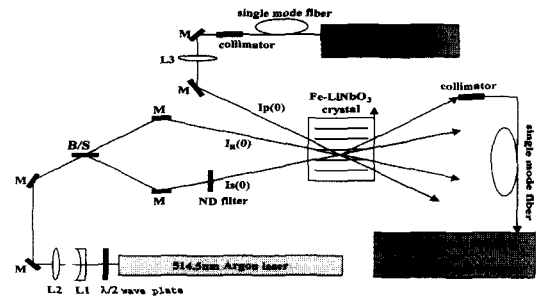


그림 4. 파장선택필터 구현을 위한 실험 구성도
Fig. 4. Optical setup for wavelength selective filter implementation : M, mirror ; L, lens ; B/S, beam splitter ; ND filter, neutral density filter ; I_R(0), reference beam ; I_S(0), signal beam ; I_P(0), reading beam intensity.

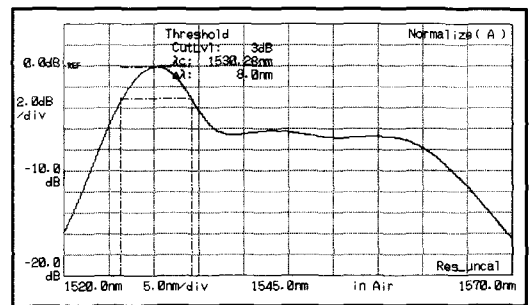


그림 5. 판독빔 광원의 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of reading beam source.

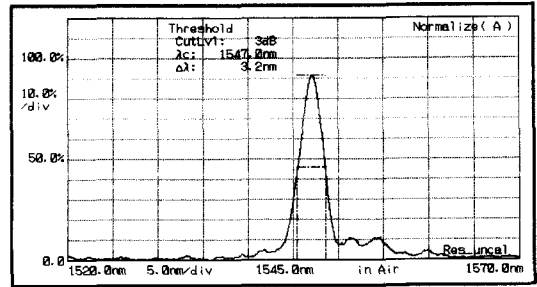
그림 6은 그림 4의 실험 구성도 및 표 1의 설계 사양을 적용하여 얻은 실험 결과이다.

그림 6(a)는 기록빔의 외부 입사 반각이 5° 이고

선택하고자 하는 중심 파장을 1550nm로 설계한 경우 이고, 그림 6(b)는 그림 6(a)와 동일한 기록 조건에서 판독빔의 입사각을 미소하게 변화시켜 중심 파장을 1530nm로 바꾼 경우이다. 그림 6(a)의 경우는 중심 파장이 1552.1nm이고, 통과 대역은 5.6nm 이다.

그리고 그림 6(b)의 경우는 중심 파장이 1531.4nm 이고 통과 대역은 5.8nm로 표 1에서 이론적으로 예측한 값과 비교해 거의 일치한다. 따라서 기록빔 및 판독빔의 입사각을 변화시킴으로써 선택하고자 하는 중심 파장을 임의로 변화시킬 수 있음을 알 수 있다.

또한, 그림 6(c)는 기록빔의 외부 입사 반각을 6.5°로 변화시키고, 중심 파장을 1550nm로 설계했을 경우에 대한 실험 결과로써, 이때는 중심 파장이 1547.0nm 이고, 통과 대역이 3.2nm로 측정되었다. 이는 표 1의 이론적 예측값과 거의 일치하며, 기록빔의 입사각을 넓힘으로써 필터의 통과 대역이 좁아지는 특성을 보여준다. 여기서 실험 결과와 이론적 예측값 사이에 존재하는 오차 성분 중 중심파장의 변화는 실험시 판독빔의 입사각 불일치로 인해 발생된 오차이며, 통과 대역에서의 차이는 기록빔의 입사각 불일치에 의한 결과로 인식된다.



(c) 기록빔의 외부입사반각=6.5°, 중심파장=1550nm

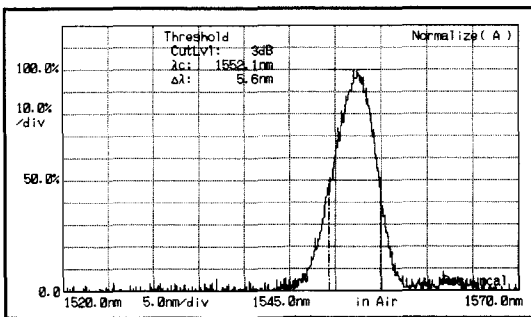
그림 6. 파장선택필터 실험결과

Fig. 6. Experimental results of wavelength selective filter.

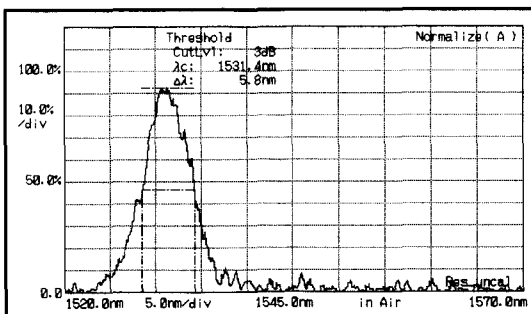
2) 광굴절 결정을 이용한 DMUX 설계 및 실험

일반적으로 여러개의 간섭 필터를 직렬로 연결하여 DMUX를 구현할 경우 채널수가 많을수록 광손실 및 잡음 성분이 누적되며 구성 자체가 상당히 복잡한 특성을 갖는다. 본 논문에서는 PR 부피격자가 갖는 협대역 특성이 확보되면서 다채널화로 인한 기존 간섭필터의 구조적 문제를 해결할 수 있는 새로운 광굴절 DMUX를 제안하고 실험적으로 증명한다. 일반적으로 PR 결정에 하나의 광필터를 기록하고 동일한 위치에 다수의 광필터를 기록하게 되면 나중에 기록되는 광필터에 의해 앞서 기록된 광필터가 지워지는데 이러한 문제는 현재 홀로그래픽 광 메모리 시스템에서 보편적으로 적용하고 있는 노출시간 계획(exposure time schedule)을 통해 각각의 기록시간을 조정함으로써 해결할 수 있고, 이렇게 기록된 DMUX의 출력은 거의 동일한 광세기를 갖기 때문에 부수적인 광소자의 결합 없이도 결정의 미소한 영역 안에 다수의 채널을 효과적 기록할 수 있고 콤팩트한 DMUX를 설계할 수 있다는 장점이 있다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 PR 결정이 갖는 재구성성, 협대역성, 높은 회절효율, 반영구적 수명 등과 같은 특성을 활용한다면, WDM 시스템에 적용 가능한 협대역 필터 및 DMUX로 적용이 가능할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 PR결정의 DMUX로의 적용가능성을 실험적으로 입증하기 위해 두 개 및 세 개의 격자(광필터)를 기록하여 그 특성을 살펴보았다.

두 개의 격자를 기록시킬 경우 선택하고자 하는 중심파장은 각각 1550nm, 1530nm이며, 이때 기록빔의 외부 입사 반각은 각각 6.5°, 6.5853°, 판독빔의 외부 입사각은 19.9402°, 예측되는 통과대역은 각각



(a) 기록빔의 외부입사반각=5°, 중심파장=1550nm



(b) 기록빔의 외부입사반각=5°, 중심파장=1530nm

3.4045nm, 3.3172nm 이 된다. 세 개의 파장을 선택해 내기 위한 DMUX는 1560nm, 1555nm, 1530nm를 중심 파장으로 설계하였다. 기록빔의 외부 입사 반각이 6.5° 일 때, 1560nm를 선택하기 위한 판독빔의 외부 입사각은 20.0743°이며, 예측되는 통과 대역은 3.404nm이다. 이 때, 동일한 판독빔의 입사각에서 선택되는 중심 파장을 1555nm와 1530nm로 변화시키기 위한 한쪽 기록빔의 외부 입사 반각은 각각 6.5209°, 6.628°이며, 3.3822nm, 3.2743nm의 통과 대역이 예측된다. 표 2에 DMUX의 설계요소를 나타내었다.

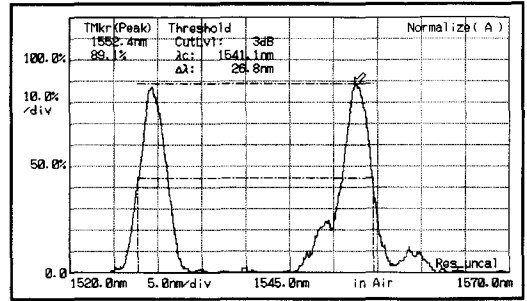
표 2. 설계된 역다중화기
Table 2. Designed DMUX.

필터기 특성수	기록빔의 외부입사반각	중심 파장	판독빔의 외부입사각	통과대역폭
2	6.5°	1550nm	19.9402°	3.4045nm
	6.5853°	1530nm		3.3172nm
3	6.5°	1560nm	20.0743°	3.404nm
	6.5209°	1555nm		3.3822nm
	6.628°	1530nm		3.2743nm

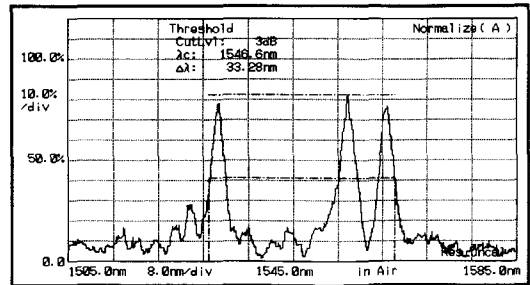
또한 DMUX 구현을 위한 기록빔의 세기 및 결정에 입사되는 빔의 크기, 편광상태는 그림 4에서 보인 실험 조건과 동일하며, 판독빔의 입사각을 고정시키고 기록하기 위한 입사각은 6.5°를 기준으로 표 2에서 설계된 조건에 따라 신호빔의 입사각을 조정하였다. 판독빔의 입사각은 위에서 설계한 바와 같이 결정 내에 두 개의 격자를 기록시켰을 경우에는 19.9402°로, 세 개의 격자를 기록한 경우에는 20.074°로 입사시켰고, 이외의 조건은 필터 실험시와 동일하게 적용하였다. 그리고 각 필터의 다중 기록을 위해 첫 번째 광 필터 기록 시간은 본 결정의 경우 그림 4의 기록빔 세기비 조건에서 100% 회절효율을 갖는 105초로 기록하고 두 번째, 세 번째 필터는 편이상 회절되는 빔의 세기 및 스펙트럼을 관찰하면서 동일한 세기를 갖는 시간으로 기록하였다.

그림 7(a)는 두 개의 격자를 기록시킨 후 회절되는 빔의 스펙트럼 분포로써, 선택된 중심 파장은 각각 1529.45nm, 1552.7nm이고, 통과 대역은 3.5nm, 3.6nm이다. 그리고 그림 8(b)는 세 개의 격자를 기록시킨 후의 스펙트럼 분포를 보인 것으로, 중심 파장은 1531.56nm, 1554.76nm, 1561.72nm, 통과 대역은

3.2nm, 3.52nm, 3.36nm이다. 이상의 실험 결과를 분석하면 다중 격자의 회절효율이 일정한 특성을 가짐을 알 수 있으나, 표 2에서 예측한 중심파장 및 통과대역은 약간 차이가 생기는데 이는 기록빔 및 판독빔의 입사각이 선택되는 중심 파장을 매우 민감하게 변화시킨 결과로 발생하며, 한 예로, 표 2에서 나타낸바와 같이 30nm의 중심파장 튜닝을 위해 요구되는 기록빔의 입사각 변화는 단지 0.128°에 불과하다. 따라서 정확한 각도 조정을 위한 장비가 필터 기록시 필수적으로 필요하게 되며, 현재 상용화되고 있는 전기적 이동 스테이지(motorized translation stage)의 경우 0.001° 이하의 해상도를 갖기 때문에 이러한 장비를 도입하면 정확한 중심파장 및 대역폭을 갖는 DMUX를 구현할 수 있을 것으로 예상된다.



(a) 두 개의 필터를 기록시킨 경우



(b) 세개의 필터를 기록시킨 경우

그림 7. 역다중화기의 실험결과
Fig. 7. Experimental results of DMUX.

그리고 그림 7의 실험결과와 같이 다수의 격자를 기록하여 DMUX로 적용하는 경우 중심파장에서의 회절성분이 다수의 회절 격자를 기록할수록 상대적으로 감소하는 특성을 볼 수 있고, 본 실험 조건에서 절대 회절효율 값은 약 5% 정도이다. 이는 판독빔으로 사용된 광대역 광원의 편광 상태가 랜덤하기 때문에 회

절효율이 떨어지는 것으로, 편광 조절기 및 편광 유지 광섬유를 이용하여 기록빔과 동일한 편광 상태를 유지 시키거나 필터 기록시 반사형 구조를 취한다면 본 실험의 결과보다 훨씬 높은 회절효율을 갖는 DMUX를 구현할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 구성된 필터 및 DMUX의 통과대역이 WDM 방식에서 요구되는 대역폭(1nm 이하)에 미치지 못하는데, 이는 2장에서 살펴본 바와 같이 격자 기록시 기록빔의 입사각을 넓힘으로써 조절할 수 있다. 또한, 그림 2의 이론적 예측값과 그림 7의 실증 실험 결과에서 보듯이 PR 부피 격자를 이용한 파장 선택 필터의 통과 대역은 기록빔의 입사각 조건에 절대적으로 의존하는 특성을 볼 수 있다. 따라서 격자 구성 시 기록빔의 입사각을 넓게 조정하면 WDM에 적용할 수 있는 필터 구현이 가능할 것으로 생각되며, 반사형 구조를 취할 경우에는 이보다 더 협대역인 $\sim 0.05\text{nm}$ 정도가 얻어 질 수 있음이 보고된바 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Fe 이온이 0.015Wt.% 도핑된 LiNbO_3 결정 내에 형성된 홀로그래픽 부피격자의 각·파장 선택성, 다 채널화 및 역다중화 특성을 이용하여 여러 채널의 파장을 분리·선택해 낼 수 있는 DMUX로의 적용을 제안하고 광학적으로 구현하였다. 특히, 기존 간섭 필터를 DMUX로 적용하는 경우 분리하고자 하는 파장이나 대역폭을 자유롭게 설정할 수 있는 이점이 있지만 투과 특성이 좋지 않고 구성이 복잡하며 다채널로 갈수록 잡음 성분 및 광손실이 누적되는 문제점을 가지고 있는 반면, 본 논문에서 제시한 광굴절 DMUX는 다채널화가 용이하고 소형화 및 협대역화가 가능한 이점이 있다. 광굴절 DMUX의 설계를 위해 PR 부피격자에서 두 기록빔의 입사각에 따른 통과 대역폭 및 중심파장의 튜닝 특성을 조사하였다. 실험결과 기록빔의 입사 반각이 5° 인 경우 중심파장 1552.1nm, 통과대역 5.6nm의 특성을 얻었으며, 기록빔의 입사각을 5.0655° 로 변화시킨 경우 중심파장 1531.4nm, 통과대역 5.8nm로 중심파장이 변화되는 결과를 볼 수 있었다. 또한, 기록빔의 입사각을 6.5° 로 변화시켰을 경우 중심파장 1547.0nm, 통과대역 3.2nm인 필터 특성을 통해 기록빔의 입사각이 통과 대역 조절의 지배적 파라미터임을 광학적으로 증명하

였다. 위와 같은 광굴절 파장 선택 필터의 특성 및 광굴절 결정의 다중기록 특성을 적용한 광굴절 DMUX로의 응용을 위해 두 개 및 세 개의 광필터를 동일한 위치에 기록하여 그 특성을 조사하였다. 두 개의 격자를 기록시켰을 경우 중심파장은 입사각 조건에 따라 각각 1529.45nm, 1552.7nm 이고, 통과대역은 각각 3.5nm, 3.6nm로 관측되었다. 또한, 세 개의 격자를 기록시켰을 경우 중심파장은 각각 1531.56nm, 1554.76nm, 1561.72nm, 통과대역은 각각 3.2nm, 3.52nm, 3.36nm의 특성을 나타내었다. 이상의 실험결과에서 볼 때, 격자기록 시 기록빔의 입사각 변화를 위해 정밀한 각 조정이 가능한 전기적 구동 장치를 이용하여 WDM에서 요구되는 필터의 통과 대역폭으로 조정한다면 WDM 통신 시스템에 직접 적용 가능한 DMUX로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Taunay, "Bragg grating inscription within strained monimode high NA germania-doped fiber," J. Phys., vol. 30, pp. 40-52, 1997.
- [2] W. F. Liu, "Complex decay behavior of fiber Bragg gratings," Optical Fiber Communication conference 97, pp. 287-288, 1997.
- [3] W. W. Morey, G. A. Ball and G. Meltz, "Photoinduced Bragg gratings in optical fibers," Optics & Photonics News, pp. 8-14, Feb. 1994.
- [4] F. T. S. Yu, S. Wu, A. W. Mayers and S. Rajan, "Wavelength multiplexed reflection matched filters using LiNbO_3 ," Opt. Comm., vol. 81, no. 6, pp. 343-347, Mar. 1991.
- [5] V. Leyva, G. A. Rakuljic and B. O'Conner, "Narrow bandwidth volume holographic optical filter operating at the Kr transition at 1547.82nm," Appl. Phys. Lett., vol. 65, no. 9, pp. 1079-1081, Aug. 1994.
- [6] 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.
- [7] R. Hofmeister, A. Yariv and S. Yagi, "Spectral response of fixed photo-refractive grating interference filters," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 11, no. 4, pp. 1342-1351, April 1994.
- [8] R. T. B. James, C. Wah, K. Iizuka and H. Shimotahira, "Optically tunable optical filter," Appl. Opt., vol. 34, no. 35, pp. 8230-8235, Dec. 1995.
- [9] G. T. Sincerbox and G. Roosen, "Opto-optical light deflection," Appl. Opt., vol. 22, no. 5, pp. 690-697, Mar. 1983.
- [10] G. Pauliat, J. P. Herriau, A. Delboulbe, G. Roosen and J. P. Huignard, "Dynamic beam deflection using photorefractive gratings in Bi₁₂SiO₂₀ crystals," J. Opt. Soc. Am. B, vol. 3, no. 2, pp. 306-314, Feb. 1986.

 저 자 소 개

李 權 淵(正會員) 第 33卷 D編 第 5號 參照

金 男(正會員) 第 33卷 A編 第 3號 參照

安 俊 遠(正會員) 第 33卷 D編 第 3號 參照