

논문 2014-51-2-3

액정을 이용한 반사형 가변 광 감쇠기

(Reflective Variable Optical Attenuator using Liquid Crystals)

이 용 민*

(Yong-Min Lee[Ⓢ])

요 약

본 논문은 광스위치등에 사용되는 가변 광감쇠기를 위해 반사형 액정셀을 채용한 광감쇠기 구조를 제안하고 특성을 검토한다. 본 제안의 가변 광감쇠기는 반사형구조로 소형화가 가능하고 저전압구동이 가능하다. 광통신용 파장에 적합한 액정셀의 설계방법, 주변온도에 따른 동작특성, 광감쇠기의 응답특성 등을 검토하여 본 제안 구조의 유용성을 검증한다.

Abstract

This work studies a variable optical attenuator using a reflective type liquid crystal cell for optical switches. The proposed architecture is capable of comprising a compact and low voltage driving variable optical attenuator. The usefulness of the proposed architecture is demonstrated by showing characterization of the liquid crystal cell, temperature effects, and response characteristics of the architecture.

Keywords : variable optical attenuator, liquid crystal, wavelength selective switch

I. 서 론

최근에 통신 네트워크의 발달에 따라 높은 데이터 전송률을 갖춘 통신장비들이 요구되어 지고 있으며, 이에 따라 spatial light modulator, 파장 필터, 가변 광감쇠기, 광스위치와 같은 광통신용 소자에서도 광대역, 저가격, 저소비전력 기능을 갖춘 소자가 요구되어 지고 있다.

가변 광감쇠기(Variable Optical Attenuator: VOA)는 파장 다중 분할 방식의 시스템에 필요한 소자로서 파장별로 각 채널의 광의 세기를 제어하는 역할을 한다. 가변 광감쇠기용으로 적용되는 기술로는 Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)^[1, 7], microfluidic^[2], Planar Lightwave Circuit(PLC)^[3], 자기광학효과^[8], 액정

기술^[4~5] 등이 있다. 그 중에 액정기술을 사용한 가변 광감쇠기는 움직이는 부품이 없고 저전압구동, 저소비 전력, 제조의 용이성 등의 장점을 갖고 있는데 액정셀에 가하는 전압의 크기를 조절하여 통과하는 빔의 편광 상태를 조절하여 원하는 광의 세기를 얻도록 한다.

이러한 가변 광감쇠기는 파장선택스위치 등에 사용시 일반적으로 여러 채널이 동시에 필요하므로 채널수만큼 감쇠기가 필요하므로 컴팩트한 구조의 감쇠기가 요구된다. 그러나 기존의 액정셀을 이용한 가변 광감쇠기 기술로 대응하기에는 다음과 같은 문제점들이 있다. 우선 Chrom Technologies에서 제안한 감쇠기^[4]는 Nematic 액정을 이용한 투과형구조로 저전압구동은 가능하나 응답속도가 35 ms로 늦고 모듈 길이가 80 mm로 사이즈가 큰 단점이 있다. 또한 NTT Photonics Lab.에서 제안한 Polymer Network 액정을 이용한 광감쇠기^[5] 기술은 투과형으로 모듈의 길이가 30 mm정도 되어 큰 사이즈이고 구동전압이 20 V로 높은 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 반사형 가변 광감쇠기 구조를 제안하여 컴팩트한 사이즈, 빠른 응답속도, 낮은 구동전압을 실현하고자 한다.

* 정회원, 선문대학교 정보디스플레이학과
(Dept. of Information Display, SunMoon University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: ymlee@sunmoon.ac.kr)

※ 본 논문은 산업통상자원부의 소재부품기술개발사업으로 지원된 과제를 통해 수행되었습니다.

접수일자: 2013년10월1일, 수정완료일: 2014년1월27일

II. 반사형 가변 광감쇠기 구조 및 동작원리

본 논문에서 제안하는 반사형 가변 광감쇠기의 기본 구조는 그림 1과 같이 광의 입력부분에는 Polarization Beam Splitter(PBS)가 양쪽으로 1개씩 있으며 그 사이에 반파장판(Half wave plate), 중간층에 액정 셀(LC cell), 맨 아래층에 반사판(Mirror)으로 구성된다.

그림 1의 PBS의 왼쪽면으로 입력된 광은 PBS의 대각선의 경계면에서 P파(수평편광)와 S파(수직편광)로 분리되어 S파는 아래쪽으로 직각으로 굴절되고 P파는 그대로 직진하여 가운데 위치한 반파장판을 통과하면서 편광방향이 직각으로 회전하고 두 번째 PBS에서 아래쪽으로 굴절된다. 액정 셀은 두장의 유리기판사이에 액정이 채워져 있으며 1/4파장판 역할을 한다. 맨 아래층의 반사판은 액정셀을 통과한 광을 반사시켜 되돌려 주는 역할을 한다.

그림 2는 구체적인 동작원리를 나타내었는데 먼저 왼쪽부분의 액정셀이 on상태일 경우 PBS로 입사되는 광의 S파는 굴절되어 액정셀로 입사되며 P파는 직진하여 반파장판을 통과하면 편광방향이 90° 회전하여 S파로 바뀌게 된다. 이 S파는 두 번째 PBS에서 직각으로 굴절되어 액정셀로 입사된다. 액정셀은 인가되는 전압 크기에 따라 통과되는 광의 편광상태가 바뀌게 되는데 1/4파장판의 역할을 하도록 액정셀의 두께가 설정되어 있다. 따라서 입사되는 S파는 직선편광이므로 액정셀을 통과하면 좌원편광(Left-Circular Polarization: LCP)이 되며 반사판에서 반사되면 우원편광(Right-Circular Polarization: RCP)으로 바뀌게 된다. 반사된 우원편광이 액정셀을 다시 통과하게 되면 P파인 수평편광으로 바뀌게 되어 PBS에서 굴절되지 않고 그대로 통과시켜 입사된 광을 감쇠시켜 제어하도록 한다.

반면에 그림 2의 오른쪽과 같이 액정셀이 off되어 있는 경우 입력되는 광이 PBS를 거치는 동안의 편광상태

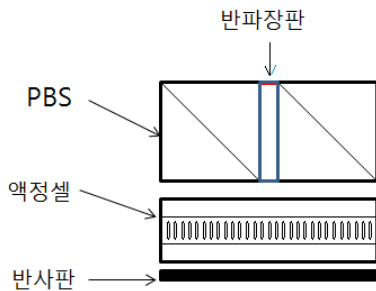


그림 1. 본 제안의 반사형 광감쇠기 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed reflective VOA.

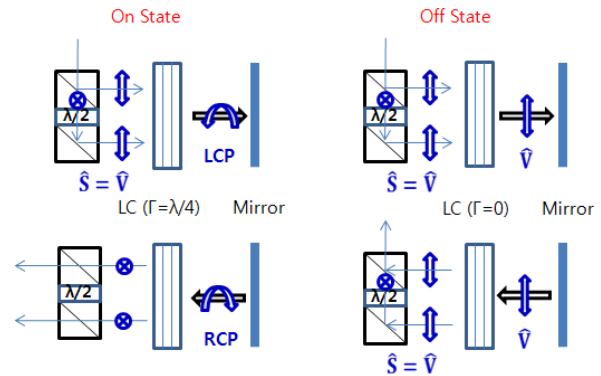


그림 2. 본제안의 가변 광감쇠기의 동작 원리
Fig. 2. Operation principle of the proposed VOA.

는 on일 경우와 같아 액정셀에 S파가 입사하게 된다. 액정셀이 off되어 있을 경우 액정층을 통과하는 동안 위상지연이 없으므로 직선편광인 S파가 그대로 통과하여 반사판에서 반사되어 다시 액정셀을 거쳐 되돌아 오면 S파가 유지된 상태가 된다. 이 S파가 PBS에서 수직으로 굴절되어 원래 입력되었던 부분으로 되돌아가 출력으로 사용된다. 이때 되돌아가는 광의 세기는 액정셀에 인가되는 전압에 따라 제어 가능하여 적절한 광의 세기로 감쇠시킬수 있게 되어 가변 광감쇠기의 기능을 갖게 된다.

III. 반사형 가변 광감쇠기 설계

반사형 가변 광감쇠기 구조에서 액정셀의 역할은 1/4 파장판 역할을 하는 것으로 본 제안의 핵심부분이다. 액정셀의 구조를 반사판을 포함한 반사형 구조로 설계 하면 광학적으로 컴팩트한 설계가 가능하고 액정셀의 두께가 투과형 액정셀에 비해 반으로 줄어들기 때문에 액정의 구동전압도 낮아지고 응답속도도 빨라지게 된다. 그림 3과 같이 반사형 액정셀의 제작은 두장의 ITO 코팅된 유리판사이에 액정을 채워넣어 만들게 된다. 액정을 컨트롤하기 위해서는 액정을 일정한 방향으로 정렬시켜주는 역할을 하는 배향막이 필요한데 SiO막을 ITO기판위에 증착공정을 통해 형성시킨다. 액정의 수직배향을 위해 SiO증착공정에서 pretilt각을 85.5°가 되게 증착한다. 수직배양용 액정으로 Merck의 MAT-03-27액정을 사용하였으며 액정셀 두께를 3 um 가 되도록 설계하였다. 반사층은 유전체 코팅으로 99.7%의 반사율을 갖도록 하였다. E-beam증착방법으로 multi-layer 코팅을 하였으며 SiO₂와 Ta₂O₅를 교대로 적층하여 6.5 μm 두께로 코팅하였다.

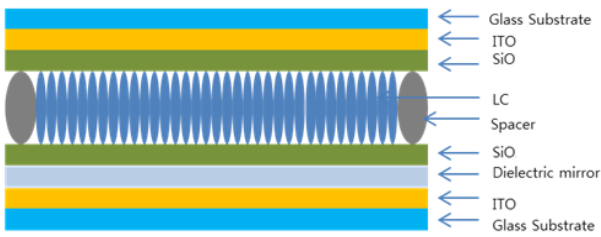


그림 3. 반사형 액정셀의 구조
Fig. 3. Configuration of the reflective LC cell.

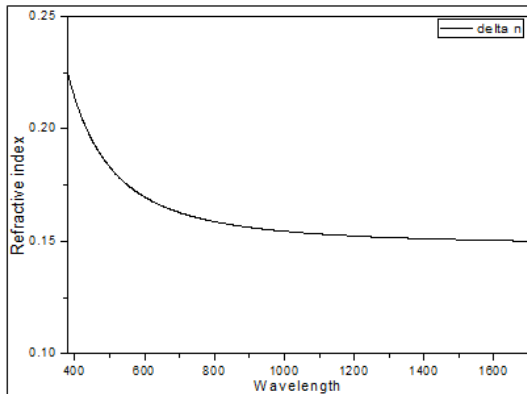


그림 4. 액정의 유전율이방성 산출값
Fig. 4. Dielectric anisotropy calculation of the liquid crystal.

액정셀의 두께를 결정하기 위해 먼저 1550 nm 파장에서 액정의 유전율이방성 값(Δn)을 알아야 한다. 일반적으로 액정 회사에서 제공하는 데이터에는 유전율이방성의 값이 가시광영역의 데이터이다. 그림 4는 본 연구에서 사용한 MAT-03-27액정의 가시광 영역에서의 유전율이방성 값을 이용하여 Cauchy's equation^[6]을 사용하여 400 nm에서 1600 nm 영역까지의 Δn 값을 계산하여 나타낸 그래프이다. 그림 4의 그래프에서 1550 nm에서의 액정의 유전율이방성 값을 0.1506 으로 산출하였고 이에 따라 제작하려는 1/4파장판 역할을 하는 액정셀의 두께를 3 μm 로 결정하였다.

가변 광감쇠기의 사용환경은 온도변화가 심한 외부 환경이며 밀폐되어 있어 상온보다 높을 것으로 예상되어 액정셀의 특성에도 영향을 줄 수 있다. 그림 5는 상온에서 60 °C까지의 온도변화에 따른 액정셀의 동작특성 변화에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 온도가 증가하면 액정의 유전율이방성은 감소하므로 온도증가에 따라 액정셀의 응답특성이 변화됨을 알 수 있다. 그러나 가변광감쇠기의 동작에 크게 영향을 줄 정도는 아니며 인가전압도 모두 10 V미만에서 동작함을 확인 할 수 있다.

그림 6은 본제안의 반사형 구조로 제작된 가변광감

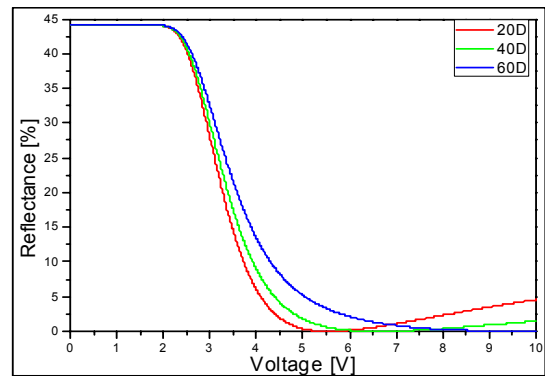
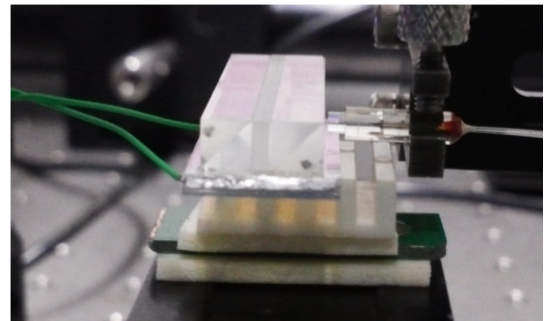
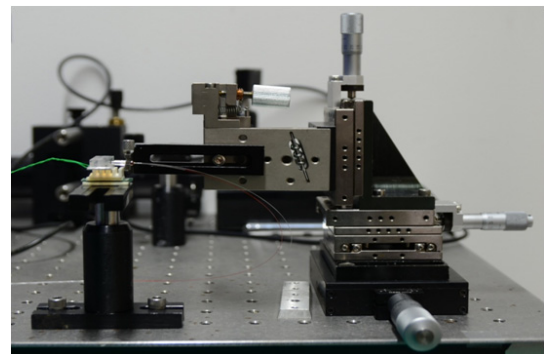


그림 5. 온도변화에 따른 액정셀의 동작특성 시뮬레이션
Fig. 5. Simulation of the LC cell's characteristics, showing effects of temperature.



(a)



(b)

그림 6. 본제안의 가변 광 감쇠기 및 측정셋업:
(a) 제작된 가변 광감쇠기
(b) 응답특성 측정시스템

Fig. 6. Proposed VOA and measurement setup:
(a) prototype VOA
(b) response measurement system.

쇠기와 응답특성 측정셋업을 보여준다. 그림6 (a)는 본제안의 구조로 2개의 PBS와 반파장판, 제작된 반사형 액정셀로 구성된 가변 광감쇠기를 테스트를 위해 여러 개 동시에 붙여 놓은 모습이며 단품의 실제 크기는 가로 12 mm, 세로 5 mm, 높이 5 mm 이다. 그림6 (b)는 광감쇠기의 응답특성을 측정하기 위해 제작된 VOA와

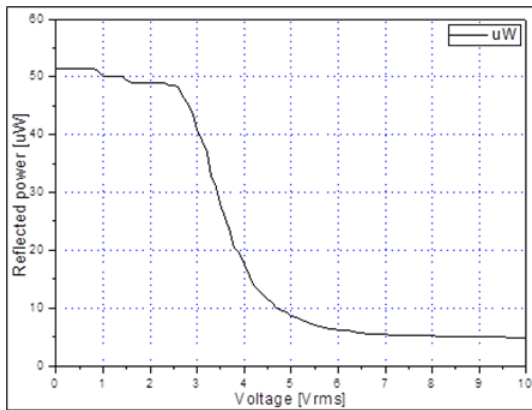


그림 7. 본제안의 가변 광감쇠기의 응답특성
Fig. 7. Respose characteristic of the proposed VOA.

dual fiber collimator를 광학테이블 위에 설치한 사진을 보여준다.

그림 7은 본제안의 구조로 제작된 반사형 가변 광감쇠기의 응답특성을 보여준다. 액정셀에 인가전압이 없을 때는 51.5 uW의 입력광의 에너지가 통과되었으며 10 V의 전압을 인가할 경우는 4.9 uW로 광 에너지가 감쇠됨을 알 수 있다. 따라서 통과되는 광에너지의 최대 감쇠비는 10.5 : 1 이 되어 가변 광감쇠기의 역할을 충분히 할 수 있다.

본 감쇠기의 최대 응답속도는 15 ms 이내에서 동작 가능하며, 전체 감쇠기 구조의 크기는 가로 12 mm, 세로 5 mm, 높이 5 mm 이다. 본 구조를 이용하여 멀티 채널용 가변 광감쇠기를 설계하려면 본 감쇠기를 일렬로 배열하도록 하고 액정셀부분은 큰사이즈로 1개의 액정셀을 제작하고 채널수 만큼 개별 ITO 전극으로 구성하여 구동하면 소형화된 멀티채널용 광감쇠기 설계가 가능하다.

IV. 결 론

반사형 액정셀을 이용한 가변 광감쇠기 구조를 제안하고 특성을 검토하였다. 액정셀을 1550 nm 광에서 사용가능토록 액정의 유전율이방성 값을 산출하여 액정셀 두께를 3 um로 결정하였으며 외부 동작온도 변화에 따른 동작 시뮬레이션을 통해 액정셀의 응답특성에 미치는 영향을 사전에 확인하여 강건한 설계가 되도록 하였다. 본제안의 구조로 제작된 가변 광감쇠기는 10 V이내의 동작전압 범위내에서 광에너지 감쇠비율이 10.5 : 1 로서 충분한 감쇠성능이 있음을 확인하였다. 따라서 본제안의 반사형 액정셀을 채용한 구조는 저전압구동 및

소형의 가변 광감쇠기 설계를 위한 좋은 해결수단이 될 것임을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] K. Isamoto, K. Kato, A. Morosawa, C. Chong, H. Fujita, and H. Toshiyoshi, "A 5-v operated mems variable optical attenuator by soi bulk micromachining," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 10, no. 3, pp. 570-578, May/Jun. 2004.
- [2] L. Zhu, Y. Huang, and A. Yariv, "Integrated microfluidic variable optical attenuator," Opt. Exp., vol. 13, no. 24, pp. 9916-9921, 2005.
- [3] Y. Xu, M. Uddin, and P. Chung, "Fabrication of a polymer based variable optical attenuator using liquid crystal cladding on inverted channel waveguide structure," in Proc. Opto-Electron. Commun. Conf., pp. 1-2, Jul. 2008.
- [4] C. Mao, M. Xu, W. Feng, T. Huang, K. Wu, and J. Wu, "Liquid crystal applications in optical telecommunication," in Liquid Crystal Materials, Devices, and Applications IX, L. C. Chien, ed., Proc. SPIE 5003, pp. 121-129, 2003.
- [5] K. Hirabayashi, M. Wada, and C. Amano, "Optical-fiber variable-attenuator arrays using polymer-network liquid crystal," IEEE Photon. Technol. Lett. 13, pp. 487-489, 2001.
- [6] F.A. Jenkins and H.E. White, "Fundamentals of Optics", 4th ed., McGraw-Hill, Inc., 1981
- [7] C. Lee and R. Huang, "Advances in MEMS based Planar VOA," J. Semiconductor Technology and Science, vol. 7, no. 3, pp. 183-195, 2007.
- [8] D. I. Kim and S. M. Chung, "Development of Integrated Optical Adjustable Attenuator Using Magneto-Optic Effects", IEEK J., 126('87.11) pp.1025-1033, 1987.

— 저 자 소 개 —



이 용 민(정회원)

1986년 인하대학교 전자공학과 학사졸업.

2005년 Univ. of Edinburgh 전자공학과 석박사졸업.

2014년 현재 선문대학교 정보디스플레이학과 부교수.

<주관심분야 : 디스플레이, 광통신소자, 터치패널 구동기술>