

무편광 Hybrid Sol-Gel 배열도파로 격자 소자의 설계 및 제작

Polarization-Insensitive Design and Fabrication of Hybrid Sol-Gel Arrayed Waveguide Gratings

박순룡 · 정재완 · 오범환 · 이승걸 · 이일항

(Soon Ryong Park, Jawan Jeong, Beom hoan O, Seung Gol Lee and EL Hang Lee)

Abstract

We report on the polarization-insensitive design and fabrication of an arrayed waveguide gratings (AWG's) using sol-gel derived silica glass films formed on fused silica substrates to provide cheap and stable tools for better design. An arrayed-waveguide grating multiplexer with raised structure is fabricated in order to effect polarization sensitivity. Since polarization is usually not known after propagation in an optical fiber, passive WDM components such as monolithic wavelength demultiplexer have to be polarization insensitive. Here, we observed that polarization have effect on crosstalk of output spectrum in arrayed-waveguide grating.

Key Words : Waveguide, Solgel, Polarization, Arrayed Waveguide Grating

1. 서론¹⁾

광통신의 장점이 널리 인식되고, 보다 빠르고 안정된 광통신용 실리카 도파로 소자의 연구가 활발히 진행되고 있다.[1,2] 대부분 실리카 도파로의 제작하기 위해서는 ion exchange, plasma deposition, 그리고 flame hydrolysis techniques 방법들이 사용하고 있지만, 이러한 방법들은 일반적으로 설치장비에 의존하고 많은 공정 단계가 요구된다. 이와 달리 졸겔 공정은 versatile, flexible, 그리고 cost-effective 공정이라는 장점을 가지고 많은 영역에서 응용할 수 있다. 크랙없이 두꺼운 박막을 형성하는데 다소 어렵게 하는 다층 코팅, 높은 온도 공정수행, 그리고 dry etching 등과 같은 졸겔의 일부 단점들은 Najafi에 의해서 제안된 졸겔법으로 해결된다[5]. 졸겔박막

의 광학적 성질에 대한 분석은 참고문헌[5]에 자세히 기술되었다. 흔히 편광(polarization)은 광섬유를 진행한 후에는 그 방향을 알 수 없기 때문에, 수동 도파로 소자의 경우는 편광에 매우 민감하게 반응하게 된다.[3,4] 편광효과는 TE와 TM파가 도파로 내를 진행하면서 서로 다른 유효 굴절률값을 가짐으로서 발생하는데, 특히 배열도파로 격자 소자의 경우는 TE와 TM 모드에 대해서 grating order값이 서로 다른 값을 각각 가지게 된다. 이로 인해 TE와 TM파에 각각 서로 다른 위상차이를 가지게 된다. 이것은 소자의 출력특성에서 noise level의 증가로 소자의 성능을 저하시키게 된다. 하지만 이러한 편광효과가 배열도파로격자 소자의 crosstalk에 미치는 효과는 잘 알려져 있지 않다. 우리는 세가지 종류의 광개시제를 사용하여 광도파로 패턴모양을 최적화 시켰으며, 이를 응용하여 처음으로 편광 독립구조를 가지는 5채널 배열 도파로 소자를 설계하고 제작하여 그 특성을 살펴보았다.

인하대학교 정보통신공학부
(인천광역시 남구 용현동 인하대학교)
Fax: 032-875-5882
Email: obh@inha.ac.kr)

2. 본문

2.1 Solgel 박막의 물성 특성 및 광도파로 최적화

Solgel 박막은 n-propanol이 희석된 용액에 0.2 마이크로 필터를 통해 조제되었다. 이 용액으로 30초 동안 fused silica 기판에 spin 코팅을 하고, 이후에 겔 박막은 30분 동안 110°C에서 prebake 한다. 그리고 AWG-소자를 광리소하기 위해서 2.5분 동안 12mW/cm²인 UV에 노출한다. 노출을 준 후 박막은 develop하기 위해서 몇 초간 에탄올에 담근다. 그림 1은 광개시제의 종류와 자외선 노광량에 따른 굴절률의 변화를 나타낸 그래프이다. 광개시제는 겔 박막이 빛에 의한 중합반응을 일으키도록 하는 물질로 그 종류에 따라 박막의 제작공정과 박막의 굴절률에 많은 영향을 준다. 실험에 사용한 광개시제는 1-hydroxycyclohexylphenylketone (Irgacure184C), hydroxymethylpropiophenone (HMPP), Bis(2,4,6-trimethylbenzoyl) phenylphosphineoxide (Irgacure 819) 세 가지이다. 이것을 지르코늄이 20mol% 인 용액에 각각 4mol%씩 첨가하고, 숙성과정을 거쳐 용액을 fused silica 기판에 회전코팅하고, 전기오븐에서 prebake를 60°C에서 30분간하고 난 후 자외선을 2분 5분 10분 15분 20분씩 각각 노광하였다. 그리고 postbake를 150°C 1시간동안 수행하고 프리즘 커플러로 굴절률을 측정하였다. 그림1에서 보듯이 Irgacure 184C가 HMPP나 Irgacure 819보다 노출시간에 대한 굴절률의 변화가 큰 것으로 나타났다. 그리고 자외선에 일정시간 이상 노출되면 굴절률이 증가하는 정도가 현저히 줄어들어 포화 되는 경향을 보이고 있다. 이것은 광개시제가 자외선에 반응하여 용액 속의 methacrylate 계와 반응하여 교

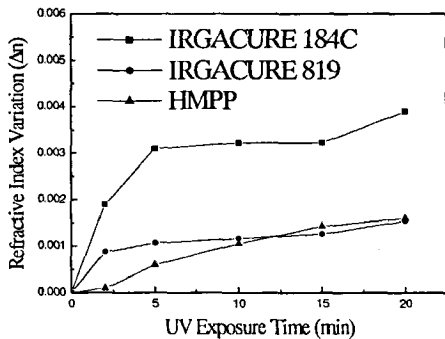


그림1. 광개시제 종류별 UV 조사량에 따른 졸겔박막의 굴절률 변화

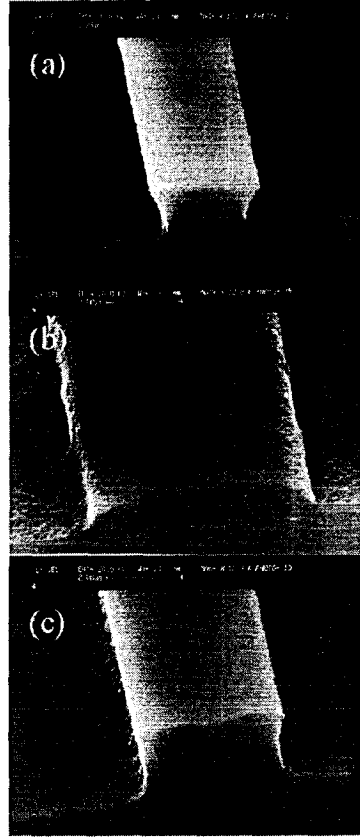


그림 2. 세가지 광개시제에 따른 광도파로 패턴 모양 : (a) HMPP, (b) IRGACURE 819, and (c) IRGACURE 184C

차결합을 하게 되는데 충분한 에너지를 받으면 더 이상 반응이 계속되지 않아 굴절률의 증가가 멈추게 되는 것이다. 우리는 위의 결과를 기초로 그림 2에 광개시제 종류에 따른 도파로 패턴을 각각 보였다. 그림 1에서 언급된 것처럼 일정한 범위 내에서 굴절률 변화도 거의 없는 영역을 선택한 뒤, 광도파로 패턴 형성한 결과, Irgacure 184C가 가장 좋은 패턴 형성을 보였다. 우리는 최적의 광도파로 형태와 굴절률 조절을 효율적으로 구현하기 위해서 광 개시제를 적절히 사용하여 소자의 제작에 응용하였다.

2.2 졸겔 AWG 소자의 설계 및 제작

우리는 배열도파로 수를 49개, 채널 간격이 2nm로

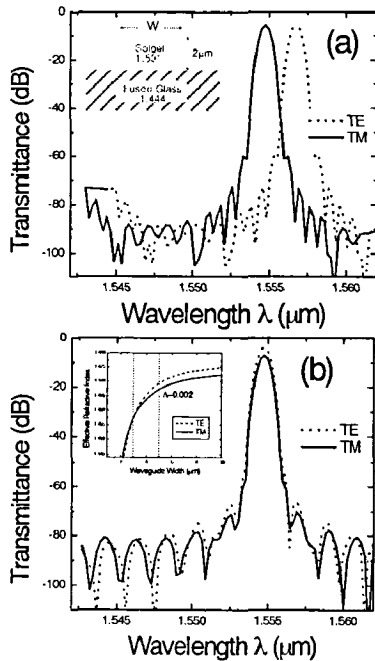


그림 3. 배열도파로 격자소자의 투과특성 (a) 도파로 폭이 5 μm , (b) 도파로 폭이 3 μm

도파로 폭(w)이 3과 5 μm 인 두개의 ridge 형태인 5채널인 AWG 소자들을 설계하였다. 또한 두 AWG의 FSR은 TM모드에 대해서 각각 13.41nm(w=5 μm)와 16.46nm(w=3 μm)로 설계되었다. 두 소자의 FSR이 다른 이유는 도파로 폭의 변화로 인해 유효굴절률과 설계된 grating order 값이 다르기 때문이다. 편광 독립구조를 만들기 위해서는 여러 가지 방법들이 있으나 우리는 도파로 폭을 변화시키면서 TE와 TM 모드에서의 유효굴절률을 서로 맞추는 방법을 시도하였다. 그림 3은 AWG 소자의 파장별 투과특성을 계산한 결과이다. 그림 3(a)는 도파로 폭이 5 μm 인 경우의 파장별 투과특성으로, 그림 3b에 삽입된 그림에서 도파로 폭에 따른 TE와 TM 유효굴절률 차이 ($\Delta = 0.002$)에서 알 수 있듯이 도파로 구조적인 원인으로 인해 TE와 TM의 투과 특성이 다른 양상을 보였다. 폭이 3 μm 에서는 도파로 폭에 대한 TE와 TM의 유효굴절률이 서로 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 도파로 폭이 바뀌에 따라 광구속력과 전파상수의 변화로 인해 유효굴절률이 일치할 수 있었다.

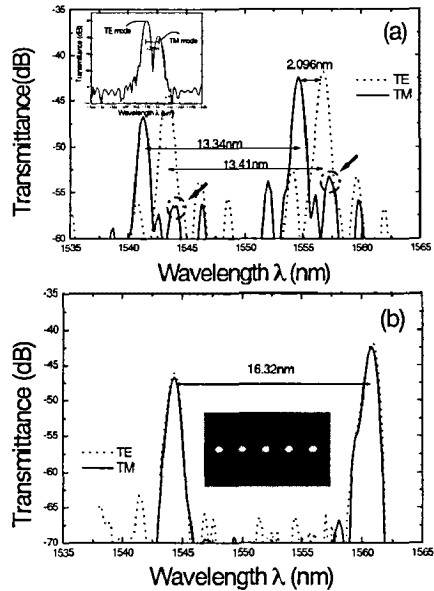


그림 4. 배열도파로의 투과특성 측정결과 (a) 도파로 폭이 5 μm , (b) 도파로 폭이 3 μm

수치적으로 도파로 폭이 5 μm 에서는 도파로 구조적 영향으로 인해서 편광으로 인한 파장 이동도가 2nm 보다 크게 나타났으며, 이와 대조적으로 편광들에 대한 유효굴절률을 같아짐으로 인해서 도파로 폭이 3 μm 인 경우는 거의 이동되지 않았다. 우리는 명백하게 도파로의 폭의 조절을 통해서 얻어진 도파로 구조적 변화에 의해서 최적설계를 하였다. 우리는 앞서 계산된 최적 설계 조건을 바탕으로 Solgel-5채널 AWG를 제작하였다. 여기서 제작된 Solgel AWG소자는 EDFA broadband source(JDS Fitel)를 사용하여 측정되었다. 편광기는 TE와 TM 편광을 구분하기 위해서 사용되었으며, 현미경과 single mode lensed fiber를 사용함으로써 입력부와 출력부 도파로에 광을 효율적으로 결합시켰다. 최종적으로 OSA(Anitsu)를 통해 소자의 성능을 분석하였다. 우선 Solgel의 전파 손실량을 살펴보면 5 μm 폭의 양쪽 편광에 대해서 NSOM장치를 통해서 측정된 결과 1.39dB/cm였다. 예상밖에 큰 전파손실을 보여 주지만 이는 도파로 구조가 ridge형태이기 때문이다. 만일 도파로 구조가 buried 형태로 설계하면 1dB이하로 줄일 수 있을 것으로 여겨진다. 그림 4는 편광상태에 따른 출력단에서의 단 하나의 채널에서 파장별

부과특성을 측정한 결과이다. 그림 4 (a)는 도파로 폭이 $5\mu\text{m}$ 으로 제작된 경우로 편광의존성은 도파로 폭의 변화에 따른 두 편광의 굴절률차이로 인해 야기되었다. 또한 crosstalk이 약10dB로 그림 4 (b)에서 보여준 약20dB에 비해서 나쁜 특성을 가지는 이유는 제작 공정상에서 도파로의 표면 및 옆면의 거칠기의 증가로 인해 TE와 TM mode 사이의 에너지 전의가 발생되는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 편광 조절기를 통해서 TM의 첫번째 side peak가 TE mode main peak가 됨을 확인하였다. 우리는 이런 효과를 설명하기 위해서 AWG 전산시뮬에 TE를 중심으로 grating order를 110로 고정하고, TM의 유효굴절률 값을 대입하여 전산시뮬을 시도하였다. 이러한 결과를 그림 4(a)에 삽입된 그림에 보였다. TM파의 크기의 반을 TE파가 결합된다고 가정하고 전산시뮬을 한결과, 파장 이동도는 2.1nm 였으며, crosstalk은 약 20 dB로 계산되었으며, 이결과는 앞에서 측정된 결과와 매우 흡사한 결과를 보였다. 한편, 편광 독립구조를 가지는 도파로폭이 $3\mu\text{m}$ 인 경우는 TE와 TM의 유효 굴절률이 거의 같기 때문에 전의가 일어나도 crosstalk에 영향을 주지않고 있음을 그림 4 (b)를 통해서 확인할 수 있었다. 또한 우리는 FSR를 살펴보면 계산된 값(16.31nm)과 측정값(16.32nm)이 거의 흡사하다. 하지만 도파로 폭이 $5\mu\text{m}$ 인 경우는 TE와 TM의 유효굴절률과 group index값의 차이로 약 0.07nm 의 차이를 보였다.

3. 결론

우리는 Solgel 박막을 이용하여 처음으로 AWG 소자에 적용하였다. 최적의 광도파로를 형성하기 위해서 세가지 광개시제 종류에 따른 광도파로의 굴절률 변화와 광도파로 패턴 모양을 살펴 보았으며, 우리가 원하는 굴절률과 광도파로 패턴양상을 얻었다. 이를 편광독립구조를 가지는 5채널 AWG소자 설계 및 제작하였다. 설계의 최적화를 위해서 도파로 폭에 따른 유효굴절률의 변화와 grating order를 적절히 선택하는 방법을 사용하였다. 편광의존경향을 살펴보기 위해서는 도파로 폭이 다른 두 종류를 사용하여 그 특성을 계산하고, 제작한 결과, 편광으로 인한 AWG의 영향과 우리가 원하는 설계된 특성과 제작된 결과가 매우 흡사한 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 정보 통신부의 우수 대학원지원 사업에 연계된 인하대학교 교내 연구비의 지원과 교육부의

두뇌 한국 21 지원과 한국과학재단 특정기초연구 사업의 연구 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1]. S. J. Garth, "Mode behaviour on bent planar dielectric waveguides" IEEE Proc. Opto electron, 142, 2, pp115, 1995.
- [2]. Yoshihisa Yamamoto, "Characteristics of Optical Guided Modes in Multilayer", IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-11, 9, pp 729, 1975.
- [3]. H. Bissessur, P. Pagnod- Rossiux, R. Mestric, and B. Martin, "Extremely Small Polarization Independent Phased-Array Demultiplexers on InP" IEEE Photonics Technology letters, Vol. 8, NO. 4, pp. 554, 1996.
- [4]. S. Suzuki, Y. Inoue and Y. Ohmori, "Polarisation -insensitive arrayed waveguide grating multiplexer with SiO₂-on-SiO₂ structure", Electronics Letters Vol. 30, NO. 8, pp. 642, 1994.
- [5] Jaewan Jeong, Seung Gol Lee, Beom Hoan O, El-Hang Lee. Fifth Optoelectronics and Communication Conference Technical Digest pp250-251 2000[5].