

광섬유 수동정렬을 위한 단일 모드 대형 코어 폴리머 광도파로

조수홍 · 백유진 · 오민철*

부산대학교 전자공학과 집적광학연구실
☎ 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

(2004년 8월 18일 받음, 2004년 11월 8일 수정본 받음)

정렬 오차 허용 범위를 증가 시켜서 효과적인 수동정렬이 가능토록 하기 위한 단일 모드 대형 코어 폴리머 광도파로를 구현하였다. 대형 코어 광도파로는 TEC(thermally expanded core) 광섬유의 모드와 일치하는 큰 도파모드를 가진다. 이로 인해 광섬유와 도파로의 정렬오차로 인한 모드 결합 손실을 줄일 수 있게 된다. 코어와 클래딩의 굴절률 차이가 5×10^{-4} 인 폴리머 재료를 이용하여 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ 크기의 정사각형 광도파로를 제작하였으며 도파모드 관측결과 단일모드로 동작함을 확인하였다. 이와 같이 두꺼운 형태의 광도파로 구조 제작을 위하여 자외선 경화를 이용한 인젝션 몰딩(injection molding) 공정을 사용하였다. 제작된 광도파로 소자를 TEC 광섬유와 정렬연결을 할 때 정렬오차가 $4.5 \mu\text{m}$ 까지 증가하더라도 삽입손실 증가는 0.5 dB 이하로 유지됨을 확인하였다.

주제어 : passive alignment, large core waveguide, TEC fiber, polymer waveguide, PDMS mold.

I. 서 론

광신호의 특성을 열광학 효과를 이용하여 제어하기 위한 폴리머 광소자에 관한 연구는 지난 10여 년에 걸쳐 폭넓은 기술개발이 이루어 졌으며, 최근에 이르러 소자의 신뢰성 확보와 함께 다양한 상용 시스템에 적용되는 단계에 이르렀다.^[1] MEMS 기반의 광소자와 달리 안정된 소자 구조로 인해 장시간 사용시에도 안정성이 뛰어나고 낮은 전압으로 소자 구동이 가능한 장점으로 인해 폴리머 광소자는 향후 그 응용 범위를 지속적으로 확장해 나갈 것으로 기대된다. 본 논문에서는 광도파로 소자의 제작 과정에서 항상 문제시 되고 있는 복잡한 광섬유 정렬 과정을 단순화 시키기 위한 방안으로서 대형 광도파로를 이용하는 방법을 제안한다. 일반적인 광도파로의 크기는 $8 \times 8 \mu\text{m}^2$ 정도의 단면을 가지며 $9.5 \mu\text{m}$ 직경의 광섬유와 연결이 용이하도록 제작된다. 이로 인해 광섬유와 광도파로의 연결과정에서 허용되는 정렬 오차는 $0.5 \mu\text{m}$ 이하가 된다. 이러한 정밀한 광섬유 정렬 접착을 실제로 수행하기 위해서는 고가의 광섬유 정렬 장비를 이용하여 숙련된 연구원이 30분 이상의 시간을 소요하여야 한 개의 광소자에 대한 광섬유 접속을 완수 할 수 있게 된다.

본 논문에서 제안된 대형 코어 광도파로는 단일모드 조건을 만족시켜 지금까지 연구되어온 다중모드 대형 코어 광도파로 결과^[2,3]와 차별성을 가지며, 기존 단일모드 광섬유에 비하여 3배 이상 큰 도파 모드를 가지게 된다. 그러므로 일반적인 광섬유를 연결할 때 매우 큰 모드 부정합 손실을 발생시키게 되며, 이를 피하기 위해 모드 크기를 키운 열확장 코어(Thermally Expanded Core : TEC) 광섬유의 사용이 필

수적이다. 또한 TEC 광섬유와 대형코어 폴리머 광도파로를 서로 연결하게 되면 정렬 오차로 인한 손실을 줄일 수 있는 이점이 있다. 나아가 이러한 연결 구조를 이용하면 광섬유 수동 정렬 과정에서 반드시 발생하는 정렬 오차에 따른 손실을 대폭 개선할 수 있다. 그러므로 본 구조는 광소자 생산 과정에서 병목 현상을 일으키고 광소자의 대량 생산을 어렵게 하는 광섬유 정렬 과정을 대폭 개선 시킬 수 있는 광도파로 구조가 될 것이다.

본 논문에서는 유한요소법 수치 해석을 이용한 대형코어 광도파로의 도파 모드 분석 디자인, 자외선 경화 몰딩 공정을 이용한 광도파로 제작 공정, 제작된 광도파로의 도파 모드 측정 및 정렬 오차에 따른 삽입 손실 변화 측정 결과에 관하여 다루고자 한다.

II. 설 계

제안된 대형 코어 광도파로는 광섬유 연결을 용이하게 하기 위하여 필요하며, 광섬유로부터 대형 코어 광도파로 부위로 넘어온 광신호는 그림 1에서 보인 바와 같이 광도파로 모드 변환기를 통하여 고밀도 광도파로로 진행하게 된다. 이와 같은 모드 크기 변환기에 관한 연구는 현재 다양한 각도에서 진행 중이며 본 연구 그룹에서도 고밀도 광도파로와 대형 코어 광도파로를 연결하기 위한 모드크기 변환기에 관한 연구를 수행하고 있다.^[4,5]

코어의 크기가 $25 \mu\text{m}$ 이상인 구조에서 단일 모드 조건을 만족 시키는 광도파로를 디자인하기 위해서 본 연구에서는 유한요소법(finite element method : FEM)을 기반으로 한 광도파로 모드 해석 프로그램을 작성하였다.^[6] 이와 같이 코어 크기가 큰 단일 모드 광도파로를 만들기 위해서는 립 광도파로 형태를 이용하는 방법^[7]과 코어-클래딩 굴절률 차이를 매

* E-mail: mincheoloh@pusan.ac.kr

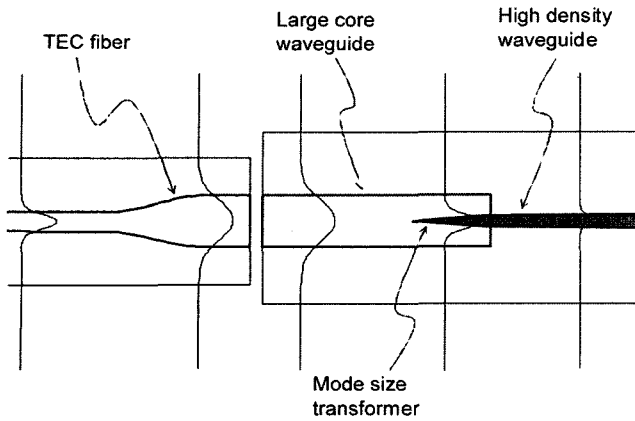


그림 1. 수동정렬에서 필요한 정렬 오차 허용범위를 향상을 목적으로 대형코어 광도파로를 이용하여 고밀도 광도파로와 TEC 광섬유를 연결시키는 구조의 개략도.

우 작게 만드는 방법이 있다. 본 연구에서는 폴리머 재료의 혼합에 따른 굴절률 조절 특성을 이용하여 코어-클래딩의 굴절률을 매우 작게 조절하여 단일 모드 광도파로를 디자인하고 제작하였다.

단일모드 광소자간의 수동정렬을 위한 V-groove 제작공정의 오차는 1~2 μm 수준이며 여기에 광섬유를 수동 접착 시킬 때 2~3 μm 정도의 오차가 쉽게 추가로 발생 할 수 있다. 그러므로 실제적인 수동 정렬에 있어서 4~5 μm 정도의 오차 발생 경우 손실 증가가 0.5 dB 미만으로 유지 시킬 수 있어야 한다. FEM 디자인을 이용하여 도파로의 모드 분포를 구하고 정렬 오차에 따른 모드 결합 손실을 계산하였으며 그 결과를 그림 2에서 보이고 있다. 실선의 경우는 코어 직경이 25 μm 인 TEC 광섬유^[8]와 코어 크기가 25 x 25 μm^2 인 대형 코어 광도파로간의 정렬 오차에 따른 손실 계산 결과를

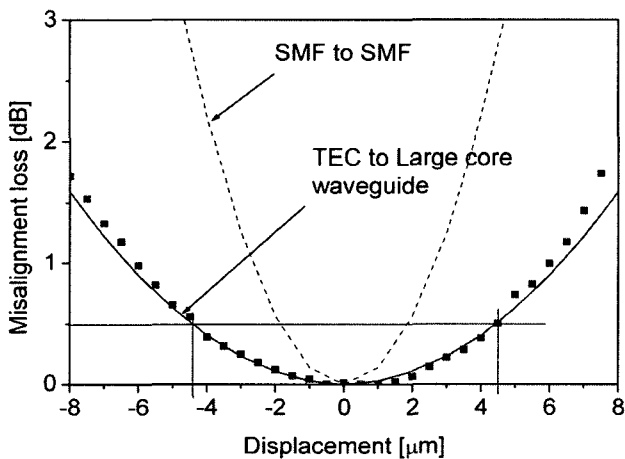


그림 2. 광섬유와 광도파로의 정렬 오차에 따른 손실 증가 특성 : 실선의 경우 대형코어 광도파로와 TEC 광섬유 연결에 대한 FEM 계산 결과이며 점선은 단일모드 광섬유 두 개를 연결하는 경우에 대한 계산 결과임, 그리고 사각형 점으로 나타낸 값은 제작된 소자로부터 측정된 결과임.

비교하여 나타내고 있으며, 점선의 경우는 단일모드 광섬유 두 개를 정렬하는 경우에 대한 결과이다. 도파모드의 크기가 큰 TEC 광섬유와 대형 코어 광도파로를 정렬하는 경우 정렬 오차에 따른 손실 증가가 일반 광섬유의 경우 보다 매우 작게 되어 수동정렬이 가능함을 보여준다.

그림 3은 코어 크기가 25 x 25 μm^2 크기의 코어를 가지는 광도파로 구조에서 FEM을 이용하여 코어와 클래딩 간의 굴절률 차이에 따른 도파모드 유효 굴절률을 계산한 결과이다. 코어와 클래딩 간의 굴절률 차이가 1.3 x 10⁻³ 이상인 경우에 첫 번째 고차 모드가 존재할 수 있음을 보여준다. 그림 3의 결과로부터 대형 코어 광도파로에서 단일 모드만을 도파시키기 위해서는 코어와 클래딩 사이의 굴절률을 0.001 정도가 되도록 제작하여야 함을 알 수 있다.

이처럼 미소한 굴절률 차이를 가지는 광도파로를 제작하기 위해서는 정확한 굴절률 차이를 반복적으로 재현 할 수 있는 방법이 있어야 한다. 폴리머 재료를 이용하면 굴절률이 서로 다른 두 종류의 폴리머를 혼합하여 중간 굴절률 값을 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 그림 4에서는 굴절률이 각각 1.445, 1.475인 두 종류의 폴리머를 적절한 비율로 혼합하였을 때 구할 수 있는 굴절률의 값이 혼합비에 따라 선형적으로 변화함을 보이고 있다. 폴리머의 혼합비는 무게에 대한 혼합 비율로 나타내었다. 본 논문에서 구현하고자 하는 굴절률 차이가 작은 대형 코어 광도파로 제작을 위하여서는 그림 4의 세부도에서 보인 것과 같이 굴절률이 각각 1.475인 폴리머와 1.445인 폴리머를 74 wt%, 78 wt% 비율로 혼합하여 굴절률 차이 0.001이 되는 두 종류의 재료(굴절률 1.453, 1.452)를 준비하였다. 그리고 굴절률 차이 0.0005를 구현하기 위해서는 74 wt%(굴절률 1.453) 재료와 78 wt%(굴절률 1.452) 재료를 반반씩 섞어서 중간 굴절률을 갖는 재료를 준비하였다.

굴절률 측정은 프리즘 결합 방법을 이용하였으며, 두 개의 샘플을 동시에 제작하여 상대적인 굴절률을 측정하는 경우

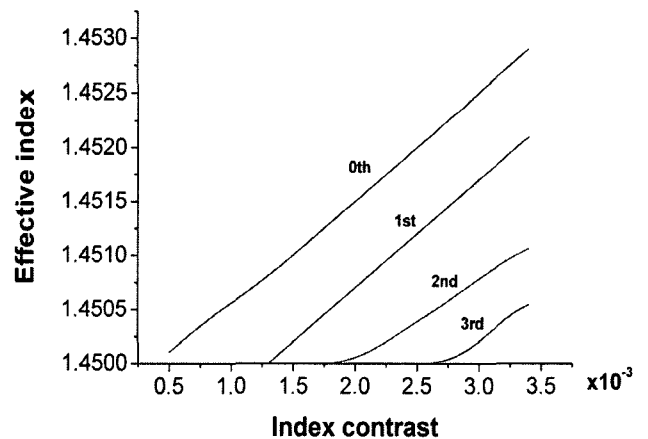


그림 3. FEM을 이용하여 굴절률 차이에 따른 모드 생성 조건을 계산한 결과로서 25 x 25 μm^2 크기의 단일모드 광도파로 제작을 위해서는 굴절률 차이가 1.3 x 10⁻³ 이하여야 함을 보이고 있음.

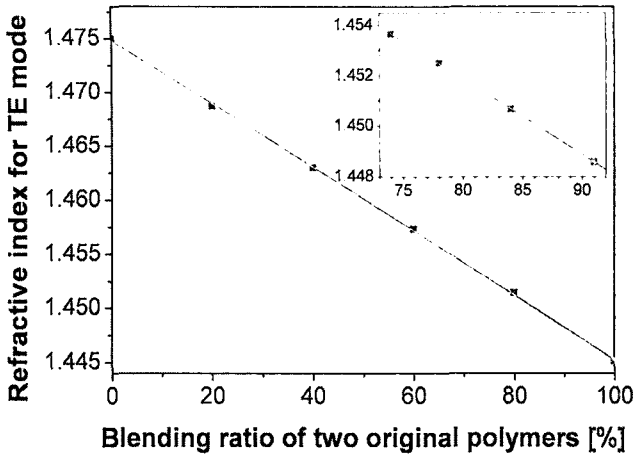


그림 4. 굴절률이 서로 다른 두 종류의 폴리머를 혼합하여 얻을 수 있는 굴절률 값을 보이고 있으며 세부도는 1×10^{-3} 의 굴절률 차이를 얻기 위해 74 wt%, 78 wt%의 혼합비가 필요함을 보이고 있음.

굴절률 측정의 정밀도는 0.0002이다.

III. 제작 및 측정

대형 코어 단일모드 폴리머 광도파로의 제작은 SU-8 패턴 제작, PDMS mold 제작, 폴리머 광도파로 제작의 3단계로 나뉘어지며 그림 5에서 개략적인 소자 제작공정을 보이고 있다.

3.1. SU-8 패턴 제작

실리콘 웨이퍼를 아세톤, IPA, DI water로 씻고 120°C에서 2분간 건조시킨 후 Buffered Oxide Etch(BOE) 용액에 1분간

담근다. BOE 처리를 하면 소수성(hydrophobic) 상태의 웨이퍼 표면이 친수성(hydrophilic) 상태로 변하게 되며 폴리머 재료와의 접착력이 향상된다.

본 논문에서 제안된 대형 코어 구조를 만들기 위해서 Micro-Chem사의 SU-8 negative photoresist를 사용하였다. SU-8은 수 μm 에서부터 100 μm 이상의 두꺼운 필름을 형성할 수 있고 UV lithography 공정을 통해 원하는 패턴을 정밀하게 만들 수 있는 photoresist이다. 25 μm 정도의 필름 두께를 얻기 위하여 점성도(viscosity) 1250 cSt를 가지는 SU-8 2015를 사용하여 1500 rpm에서 30초간 스핀 코팅하였다. SU-8은 65°C에서 2분간 그리고 95°C에서 5분간 연속하여 베이킹 한다. 두 단계로 나뉘어진 베이킹 과정은 solvent 증발 비율을 조절하여 보다 좋은 코팅 표면 형성과 표면 접착력 향상을 위해 필요하다.

광도파로 패턴 부분이 뚫려있는 크롬 mask(pattern clear)를 이용하여 8.0 mW/cm² 세기의 UV를 25초간 광도파로 패턴 부위에 조사한다. 노광된 부분의 선택적 cross-link를 위해 Post Expose Bake(PEB) 과정을 거친다. PEB는 65°C 2분, 95°C 5분 두 단계로 이루어지며, 이러한 두 단계 PEB 공정은 박막에 주어지는 stress, wafer의 휘어짐 그리고 필름의 균열을 최소화 시킨다.

SU-8은 microchem 사의 전용 현상액을 사용하여 현상한다. 두꺼운 필름의 구조와 정밀한 형상을 현상하기 위해서는 강한 애티메이션이 필요하다. 노광 되지 않은 부분의 SU-8이 완전히 사라질 때까지 약 3분간 현상한다. 현상이 끝난 패턴을 IPA로 rinse 한다. IPA rinse 후 DI water로 씻어 내고 질소를 이용하여 물기를 털어낸다. rinse 과정에서 하얀 잔류물이 확인되면 DI water로 씻어내고 물기를 제거한 후 다시 위의 과정을 반복한다.

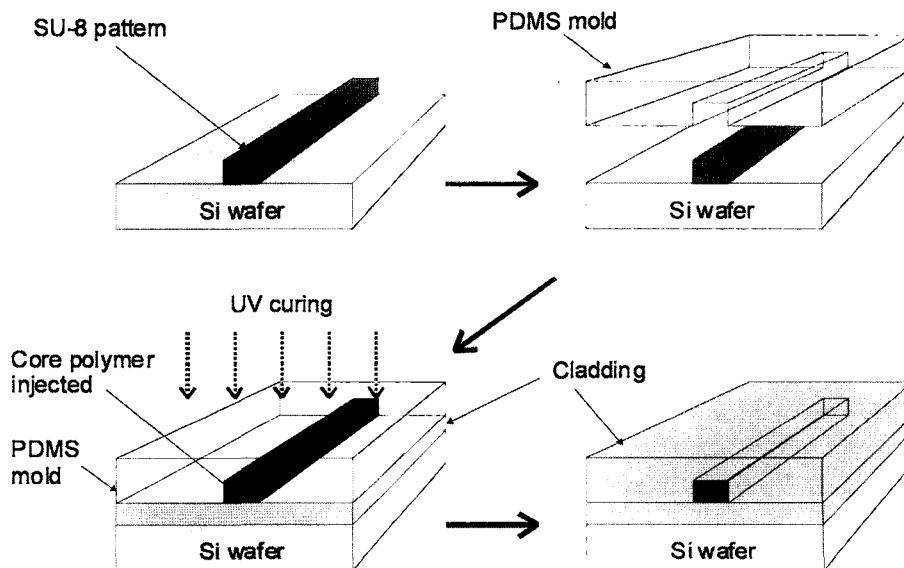


그림 5. 대형코어 광도파로 제작 공정 개략도: SU-8 pattern 제작, PDMS mold 제작, 코어 폴리머 주입, 광도파로 제작으로 이루어짐.

3.2. PDMS 몰드의 제작

SU-8으로 제작된 광도파로 패턴을 PDMS(polydimethylsiloxane)를 이용하여 복사하여 rubber mold를 만든다. PDMS란 액상으로 된 실리콘 합성고무와 화학적 반응으로 경화를 촉진시키는 촉매로 이루어져있다. 실리콘 합성고무와 촉매를 10:1.5 비율로 섞은 후 15분간 흔들어서 두 용액이 잘 섞이도록 한 뒤, 공기방울을 제거하기 위해 용기를 뒤집은 상태로 15분간 기다린다. PDMS용액을 SU-8패턴이 새겨진 샘플 위에 부을 때 용액이 밖으로 새어나가는 것을 방지하기 위해 알루미늄 호일을 이용하여 외곽에 벽 형태를 만들어준다. 알루미늄 호일로 둘러싸인 패턴 된 실리콘 웨이퍼 위에 섞어놓은 PDMS 용액을 붓고 55℃에서 3시간 동안 경화시킨다. PDMS mold의 경화가 완료되면 천천히 주의 깊게 관찰하며 몰드와 패턴을 분리한다. PDMS 몰드는 양각의 패턴을 음각으로 변화시키게 되어 광도파로를 만들 때 코어의 구조를 짚어내는 엠보싱 공정을 위해 사용된다.

3.3. 폴리머 광도파로의 제작

광도파로의 구성은 하부 클래딩, 광도파로 코어, 상부 클래딩으로 이루어진다. 우선 실리콘 웨이퍼를 120℃에서 3분간 건조시킨다. 건조된 웨이퍼의 표면에 접착력을 높이기 위해 adhesion promoter(ZAP 1020)를 4000 rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한다. 광도파로 하부 클래딩은 Zenphotonics사의 굴절률이 1.4525인 UV curable polymer(WIR 30)를 1000 rpm, 20초간 스핀 코팅한다. 경화과정에서 샘플의 주변에 산소가 존재하면 광경화 현상을 방해하게 되어 충분한 UV경화가 일어날 수 없게 되며 박막의 경도가 떨어지는 현상을 보인다. 이러한 문제점을 방지하기 위하여 샘플을 질소상태에서 보존하면서 UV를 조사할 수 있는 질소 컨테이너를 준비하였다. UV경화 전에 3분간 질소를 흘려 보내면서 폴리머 표면에 존재하던 산소를 제거한다. 이후 질소 환경을 유지한 채 H-Lamp를 장착한 독일 Dr.K.Honle 사에서 제작된 UVASPOT 400/T라는 UV챔버에서 3분간 UV경화시킨다. UV 챔버 내에서 샘플에 조사되는 UV의 세기는 9 mW/cm² 정도이며 피크 파장은 370 nm 이다.

하부 클래딩이 형성되어 있는 샘플 위에 앞서 제작된 PDMS 몰드를 덮고 코어 폴리머를 삽입한다. 이때 광도파로 패턴

사이로 코어 폴리머의 자연적인 삼입이 쉽지 않기 때문에 진공 펌프를 이용하여 흡입하는 방법을 사용하였다. 코어 폴리머의 흡입을 위해 PDMS와 유리관을 이용하여 흡입보조 장치를 제작하였다. 제작된 장치와 진공 펌프를 이용하여 코어 폴리머를 삽입하였다. 삽입이 완료되면 산소영향을 줄이기 위해 질소 컨테이너에 샘플을 넣고 10분간 질소를 불어넣어 준다. 이후 5분간 질소환경을 유지하며 UV경화를 실시한다. 경화가 완료되면 몰드를 분리시키고 폴리머의 추가 경화를 위해 100℃, 30분 150℃, 1시간 동안 열처리를 한다.

코어 형성 후 상부 클래딩 코팅 전에 표면 접착력 향상을 위해 산소 플라즈마 처리를 5초간 한다. 상부 클래딩은 하부 클래딩과 같은 폴리머를 이용하여 광도파로 코어를 충분히 덮을 수 있도록 2회에 걸쳐 코팅한다. 상부 클래딩 층은 1000 rpm으로 20초 동안 스핀 코팅하여 첫 번째 층을 형성하고 질소 컨테이너를 이용하여 하부 클래딩 층과 같은 조건으로 폴리머 재료를 경화시킨다. 동일한 방법으로 두 번째 층을 코팅하고 UV 경화시킨 후 폴리머 재료의 충분한 경화를 위해 100℃, 30분 그리고 150℃, 1시간의 열처리를 한다.

3.4. 측정

대형 코어 폴리머 광도파로의 모드 특성을 알기 위해 1550 nm DFB(Distributed-Feedback) 레이저 광원을 광섬유와 편광 조절기를 통해 소자에 결합 하였다. 입력부의 광섬유는 코어 직경이 25 μm이고 코어 확장영역이 4 mm인 TEC 광섬유를 사용하였다. 소자를 통과한 빛의 모드 형상을 IR-CCD 카메라를 이용하여 관측하였다. 그림 6(a)는 굴절률 차이가 5 x 10⁻⁴ 이고 25 x 25 μm² 크기를 가지는 제작된 광도파로의 단면을 보여준다. 그림 6(b)는 CCD 카메라와 PC를 이용하여 제작된 광도파로를 통과하여 나온 도파 모드의 이미지를 보여준다. 그림 6(c)는 도파 모드 이미지의 등고선 형상을 나타내고 있으며, 이론적인 계산 결과와 비교를 위해 그림 6(d)에서는 FEM 방법으로 계산된 모드의 형상을 나타내었다. 이와 같은 모드 형상 관측으로부터 제작된 폴리머 광도파로가 단일모드 조건을 만족시킴을 확인하였다.

제작된 광도파로의 삼입손실을 측정하기 위하여 코어 직경이 25 μm 인 TEC 광섬유를 소자의 입력과 출력 부에 정렬 연결하여 출력 광 파워를 측정하였다. 1 cm 길이의 도파로

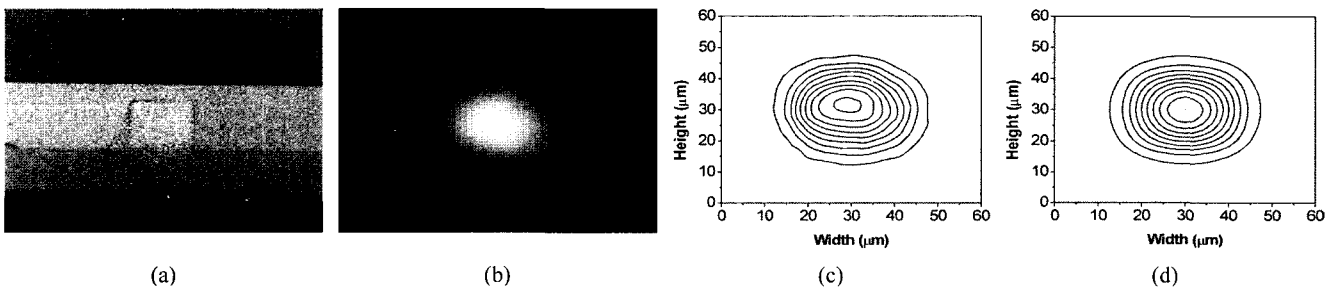


그림 6. (a) 코어 크기가 25 x 25 mm²이고 5 x 10⁻⁴의 굴절률 차이를 가지는 제작된 광도파로의 단면 사진 (b) 측정된 도파 모드의 CCD 이미지 (c) 측정된 도파 모드의 등고선 형상 (d) FEM을 이용하여 계산된 도파 모드 등고선 형상.

소자에서 총 삽입 손실은 소자 양단의 단면에서 발생하는 0.4 dB의 Fresnel reflection 손실과 도파로 재료에 의한 흡수 손실 0.4 dB 를 포함하여 1.5 dB 정도로 측정되었다. 소자의 손실을 측정할 때 불완전한 클리빙(cleaving)으로 인한 끝 단면에서 빛의 산란은 추가적인 손실의 원인이 될 수 있다. 광도파로의 편광 의존성을 확인하기 위하여 입력부에 광섬유 편광조절기를 넣어서 입력광의 편광을 조절할 수 있도록 하고, 출력광의 도파모드를 IR-CCD를 이용하여 관찰하였다. 이때 TE, TM 입력편광에 따른 출력 도파모드 분포의 변화가 미미하게 나타남을 확인하였다. 또한 광섬유 연결 후 측정된 삽입손실도 두 편광에 대해 측정오차(0.3 dB) 미만의 차이만 확인되었다.

제작된 폴리머 광도파로의 정렬오차 허용범위 측정을 위해 광소자 자동 정렬 장치를 사용하여 0.5 μm 간격으로 정렬 오차에 따른 손실을 측정하였다. 측정된 결과는 그림 2에서 사각형 점으로 보이고 있다. 이러한 결과는 4.5 μm 의 정렬 오차에 대한 손실이 0.5 dB 이하로 이론적인 예상 치와 적절하게 일치함을 보이고 있다.

IV. 결 론

광도파로 소자 제작과정에서 문제시 되고 있는 복잡한 광섬유 정렬 과정을 단순화시키기 위한 방법으로 대형 코어 광도파로를 이용하는 방법을 제안하였다. 일반 광섬유의 도파모드 보다 큰 도파 모드로 인해 대형 코어 광도파로에는 TEC 광섬유의 연결이 필요하다. 이와 같이 큰 도파모드를 가지는 광도파로와 TEC 광섬유의 연결을 이용하여 정렬오차 허용범위를 향상시켰다.

폴리머 재료의 혼합공정을 이용하여 굴절률 차이가 5×10^{-4} 정도로 작은 코어-클래딩용 폴리머 재료를 얻을 수 있었다. 제작된 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ 크기의 대형 코어 광도파로에서 1550 nm 파장의 광원을 코어 직경이 25 μm 인 TEC 광섬유를 통하여 소자에 입력하였다. 소자에서 나온 출력광을 IR-CCD를 이용하여 도파모드를 관측하였다. 도파모드의 형태가 계산된 단일모드 도파모드와 유사하게 나타남을 확인하였다. 광소자 자동 정렬 장치를 이용하여 정렬오차 허용범위를 측정하였으며 4.5 μm 의 정렬 오차가 발생하더라도 삽입 손실 증가가 0.5 dB에 불과함을 확인하였다.

감사의 글

소자의 제작과 측정을 위해 도움을 주신 ETRI 광대역 광소자팀 이명현 박사님과 주정진 박사님께 감사드립니다. 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 부분적인 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-002-D00254).

참고문헌

- [1] Min-Cheol Oh, Wol-Yon Hwang, Young-Ouk Noh, Hyung-Jong Lee, and Seon-Gyu Han, "Reliable low-cost polymeric optical waveguide device," *OECC/COIN2004*, Yokkohama Japan, 14F2-3, pp. 558-559, July 2004.
- [2] Byung-Tak Lee, Min-Suk Kwon, Jun-Bo Yoon, and Sang-Yung Shin, "Fabrication of polymeric large-core waveguides for optical interconnects using a rubber molding process," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 1, pp. 62-64, Jan. 2000.
- [3] Choon-Gi Choi, Sang-Pil Han, Byeong-Cheol Kim, Seung-Ho Ahn, and Myung-Yung Jeong, "Fabrication of large-core 1 X 16 optical power splitters in polymers using hot-embossing process," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 15, no. 6, pp. 825-827, June 2003.
- [4] Naoaki Yamaguchi, Yasuo Kokubun, K. Sato, "Low-loss spot-size transformer by dual tapered waveguides (DTW-SST)," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 8, no. 4, pp. 587-594, April 1990.
- [5] Min-Cheol Oh, Cheng Zhang, Hyung-Jong Lee, William H. Steier, and Harold R. Fetterman, "Low-loss interconnection between electrooptic and passive polymer waveguide with a vertical taper," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, no. 8, pp. 1121-1123, Aug. 2002.
- [6] Katsunari Okamoto, *Fundamentals of Optical Waveguides*, ACADEMIC PRESS, USA, 2000.
- [7] Richard A. Soref, Joachim Schmidtchen, and Klaus Petermann, "Large single-mode rib waveguides in GeSi-Si and Si-on-SiO₂," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 27, no. 8, pp. 1971-1974, Aug. 1991.
- [8] Yasuo Ohtera, Osamu Hanaizumi, "Numerical analysis of eigenmodes and splice loss of thermally diffused expanded core fibers," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 17, no. 12, pp. 2675-2682, Dec. 1999.

Large core polymeric single mode waveguide for passive fiber alignment

Su-Hong Cho, Yu-Jin Beak, and Min-Choel Oh[†]

Integrated Photonics Lab Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

[†]*E-mail: mincheoloh@pusan.ac.kr*

(Received August 18 2004, Revised manuscript November 8, 2004)

To increase the tolerance for passive fiber alignment, a single mode polymer waveguide with a large core structure is demonstrated. The large core waveguide is designed to have a mode profile comparable to that of a thermally expanded core (TEC) fiber, and it can be connected to a high-contrast waveguide through an adiabatic transition taper structure. From a waveguide with a rectangular core of $25 \times 25 \mu\text{m}^2$, a single mode propagation is observed when the index contrast is as low as 0.0005. A UV-cured injection molding method is used to fabricate the thick core structure. Due to the large mode size, the insertion loss of the device is below 0.5 dB until the lateral displacement of the TEC fiber is $4.5 \mu\text{m}$. The low insertion loss is important for reproducible passive alignment.

OCIS Codes : 130.0130, 130.3120, 130.0250.