

광 연결을 위한 저가형 멀티모드 광 도파로의 제작

이 병 탁 (李 炳 卓), 권 민 석 (權 珉 奭), 윤 준 보 (尹 浚 寶), 신 상 영 (申 相 永)
한국과학기술원 전자과
전화: (042) 869-5420 / 팩스: (042) 869-8020

Low-Cost Fabrication of Multimode Optical Waveguides for Optical Interconnects

Byung-Tak Lee, Min-Suk Kwon, Jun-Bo Yoon, and Sang-Yung Shin
Korea Advanced Institute Science and Technology
E-mail: bytelee@eeinfo.kaist.ac.kr, syshin@ee.kaist.ac.kr

Abstract

As low-cost optical waveguides of optical interconnects, we fabricate multimode optical waveguides using a molding process. The core size of a optical waveguide is $47 \mu\text{m} \times 41 \mu\text{m}$. We use the photoresist AZ9260 as a master, polydimethylsiloxane (PDMS) as a mold. In transferring process to polymeric material, we employ a modified micro-transfer molding process. All processes are simple and low-cost.

I. 서론

시스템의 고속화, 대 용량화가 진행됨에 따라서 시스템 내부에서의 신호 전달이 병목현상을 초래하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 광 연결(optical interconnects) 기법이 대두되었으며, 보드들(boards) 사이의 광 연결, 보드 내에서 프로세서 간의 광 연결 [1], 프로세서들 사이의 광 클럭 분배 [2] 등을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 광 연결(optical interconnects)은 짧은 거리내에서 초고속, 대용량의 신호를 전달하기 위하여 광 신호를 이용하는 기법이다.

이때 사용하는 전송 매체는 주로 멀티모드 (multimode) 채널 광 도파로이다. 시스템 보드 정도의 짧은 거리내에서는 멀티모드 광 도파로를 전송 매체로 사용하여도 모드 분산(modal dispersion)으로 인한 전송 속도 제한이 그다지 크지 않기 때문이다. 또한 멀티모드 광 도파로는 도파로의 코어의 크기가 크기 때문에 제작이 쉽다는 점, 정렬이 쉽다는 점, 접합이 쉽다는 점을 장점으로 가지고 있다.

큰 코어 크기를 갖는 멀티모드 광 도파로를 만들기 위한 공정으로는 다음과 같은 방법들이 사용되고 있다. 반응이온식각 공정(reactive ion etching, RIE)을 이용하는 방법, 감광 폴리머 위에 직접 레이저를 이용하여 패턴을 그리는 방법, 감광 폴리머 위에 자외선을 조사하여 패턴을 복사하는 방법, 몰딩(molding) 기법을 이용하는 방법 [3][4] 등이다. 이 중에서 몰딩 기법을 이용하는 방법은 대량 생산에 적합하다는 점, 광학적 특성이 좋은 폴리머를 이용할 수 있다는 점, 경제적으로 제작할 수 있다는 점을 장점으로 가지고 있다.

저가로 광 연결용 광 도파로를 제작하기 위하여, 본 논문에서는 몰딩 기법을 이용한 멀티모드 광 도파로의 제작을 수행하였다. 몰딩 기법은 주로 원판의 제작, 몰드의 형성, 폴리머로의 천이 공정으로 구성된다. 원판의 제작은 두꺼운 포토레지스트 AZ9260을 사용하였고 [5], 몰드의 형성은 실리콘 고무의 일종인

polydimethylsiloxane (PDMS)을 사용하였으며[4], 폴리머의 천이 공정은 접착 방식을 이용하였다[4]. 위의 공정들은 재료와 장비들의 가격이 저렴하고 공정이 또한 간단하기 때문에, 광 연결용 멀티모드 광 도파로의 제작을 경제적으로 할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

II. 제작 및 측정

몰딩 기법을 사용하여 광 도파로를 제작하기 위해서는 그림 1과 같은 단계를 수행하여야 한다. 먼저 그림 1(a)와 같이 원판으로 사용되는 광 도파로의 패턴을 제작하여야 한다. 제작하고자 하는 광 도파로는 큰 코어 크기를 갖는 멀티모드 광 도파로이기 때문에, 두꺼운 두께를 가지며 동시에 미세한 패턴이 가능해야 한다. 두번째로 그림 1(b)와 같은 몰드를 떠야 한다. 미리 제작된 원판을 이용하여 원판의 모양을 상보적으로 복사하는 몰드를 제작하는 단계인데, 몰드 재료로는 금속이나 고무가 사용된다. 마지막으로 그림 1(c)와 같이 폴리머로의 천이 공정을 수행한다. 적절한 폴리머 물질을 선택하여 몰드에 폴리머를 적당량 채운 다음, 기판에 잘 붙인 후 폴리머의 경화(curing)를 수행한다. 그러한 뒤, 몰드를 조심스럽게 떼어내면 최종적으로 그림 1(d)와 같이 폴리머 광 도파로가 만들어진다.

다음 각 절은 본 실험에서 사용한 각 단계에 대한 세부적인 공정에 관한 것이다.

1. 원판의 제작

큰 코어 크기를 갖는 광 도파로의 원판을 제작하기 위하여, Hoechst 社에서 구입한 양각의 두꺼운 포토레지스트 AZ9260을 이용하였다. 이 포토레지스트는 단일 코팅으로 두께 $\sim 100 \mu\text{m}$ 까지 얻을 수 있으며, 최근 개발한 2단계 베이킹(two-step baking) 공정을 이용하면 UV 리소그라피 공정 만으로도 높은 aspect 비 (20:1)를 얻을 수 있다[5]. 2단계 베이킹 공정에서의 첫번째 소프트 베이킹(soft-baking)은 공기 절연층을 가진 핫 플레이트 상에서 적절한 온도로 장시간 수행하게 되는데 그 이유는 스핀 코팅으로 두껍게 도포된

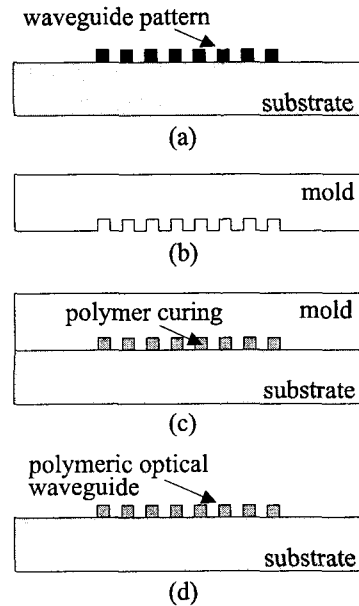


그림 1. 몰딩 기법을 이용한 광 도파로의 제작 단계 (a) 원판의 제작 (b) 몰드의 형성 (c) 폴리머로의 천이 공정 (d) 완성된 광 도파로

Fig. 1. Fabrication steps of optical waveguides using a molding method. (a) master fabrication. (b) mold formation. (c) transferring process to polymeric material. (d) fabricated optical waveguides.

Process	Condition
Spin coating	0.5sec 0 → 1500 rpm, 1.5 sec → 0.5sec
Stabilization	1 hr at room temperature
Soft-bake 1	80 °C, 1 hr on air-gapped DHP
Soft-bake 2	110 °C, 2 min on air-gapped DHP
Water reabsorption	1 hr at room temperature
UV exposure	1545 mJ/cm ² @365 nm (I-line)
Develop	AZ340 (1:4) 7 min 53 sec
Film thickness	41 μm

표 1. 포토레지스트 AZ9260의 공정 조건

Table 1. Process condition of photoresist AZ9260

포토레지스트에 함유되어 있는 많은 양의 용매를 날려 보내기 위함이다. 연달아 수행되는 두번째 소프트 베이킹은 공기 절연층을 가진 핫 플레이트 상에서 높은 온도로 짧게 수행되는데 그 이유는 aspect 비를 높이기 위함이다. 공정 조건에 대한 요약은 표 1에 보인다.

제작된 원판의 모양을 관찰하기 위하여 기판을 단면 절개 하여 그림 2에 보인다. 채널 도파로의 단면의 크기는 $47 \mu\text{m} \times 41 \mu\text{m}$ (수평 방향 \times 수직 방향)이고, 벽면이 깨끗하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. Cr 마스크 상에서의 채널 도파로의 폭은 $50 \mu\text{m}$ 로 설계되었으나, 두꺼운 포토레지스트가 현상되는 동안 발생한 언더컷(under-cut)으로 인하여 $47 \mu\text{m}$ 로 줄었기 때문이다. 따라서 보다 정확한 채널 도파로의 폭을 위해서는 언더컷의 발생을 고려하여 Cr 마스크를 설계하여야 한다.

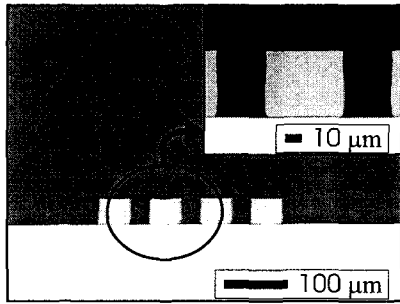


그림 2. 포토레지스트 AZ 9260으로 만들어진 원판의 사진 (단면 모양)

Fig. 2. Cleaved images of the original master made from the photoresist AZ 9260 (a top view)

2. 몰드의 형성

몰드를 제작하기 위하여 실리콘 고무의 일종인 polydimethylsiloxane (PDMS)을 이용하였다[4]. PDMS는 다우 코닝사에서 구입하였으며 (상표명: Sylgard™ 184), 액체 상태의 실리콘 고무 베이스(Base)와 경화 에이전트(Agent)로 구성되어 있다. 이들을 적절하게 섞어서 약간의 열을 가해주면 경화가 이루어져 매우 투명한 물질로 변한다. 에이전트와 베이스(비율 = 1:10)를 깨끗한 용기에 부은 후 3시간 동안 잘 섞어 준 다음, 포토 레지스트로 만든 원판 위에 부었다. 장시간 동안 안정화(stabilization)을 수

행한 후, $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 3 시간동안 경화를 실시하였다. 경화된 PDMS는 잘 구부러지며 탄력이 있기 때문에 원판으로부터 쉽게 떼어 낼 수 있다. 떼어낸 PDMS 몰드는 원판의 구조와 상보적인 구조를 가지게 된다. 가장 자리를 깨끗하게 도려낸 후의 PDMS의 크기는 $5 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$ 이었다.

3. 폴리머로의 천이 공정

최종적으로 광도파로를 제작하기 위하여 적절한 폴리머를 선택하였다. Dow Chemical社의 열경화성 폴리머의 일종인 perfluorocyclobutane (PFCB)는 근적외선 영역에서 흡수가 적고(0.25 dB/cm @ $1.3 \mu\text{m}$, 0.2 dB/cm @ $1.55 \mu\text{m}$), 열적 안정성이 우수하며($T_g = 400 \text{ }^\circ\text{C}$), 화학약품에 대한 내성이 강하며, IC 공정과의 호환성이 있기 때문에 광 연결용 광 도파로의 재료로서 기대되는 물질이다[6].

PFCB (41 wt%) 폴리머로 몰딩기법을 이용하여 광도파로를 만들기 위하여 Xia 등이 개발한 microtransfer molding (μTM) 방법[4]을 개량하여 사용하였다. μTM 방법에서는 PDMS 몰드를 SiO_2/Si 기판위에 접촉시킬 때, 미세한 공기 방울들이 몰드와 기판 사이에 다량 형성되는 어려움을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, compact disk 등의 제작에 이용되는 기법을 사용하였다[7]. 폴리머가 채워진 몰드를 기판 위에 접촉시킬 때 PDMS 몰드를 약간 휘어서 블록체와 같은 모양으로 중앙부터 접촉한 다음, 최종적으로 평평하게 적절한 압력으로 눌러 주는 방식으로 몰드와 기판을 접촉하였다. 연이어 폴리머의 경화 공정을 수행하였다. PFCB 폴리머의 1단계 경화는 $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 5시간 동안 질소 분위기에서 수행하였다. 경화 후 PDMS 몰드를 떼어낸 후, 2단계 경화를 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 수행하여 PFCB 폴리머를 완전 경화시켰다. 몰딩 기법으로 제작된 폴리머 광도파로의 모양을 보이기 위하여 그림 3과 같이 단면 절개된 사진과 경사진 사진을 보인다. 원판의 크기와 모양(그림 2)이 잘 옮겨졌음을 볼 수 있으며, 광도파로가 깨끗하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 광 도파로끼리의 결합 현상을 유발하는 원치않는 평면 도파 부분의 두께는 $1 \mu\text{m}$ 이하로 형성되어 있으며 무시할만한 두께이다. 몰딩된 폴리머는 코어로 작용하며, 기판의 SiO_2 층(두께 = $2 \mu\text{m}$)과 공기 층은 클래드로 작용하게 된다. 기판에서 절개한 후의 광 도파로의 길이는 1.6 cm 이었다.

4. 도파 특성 측정

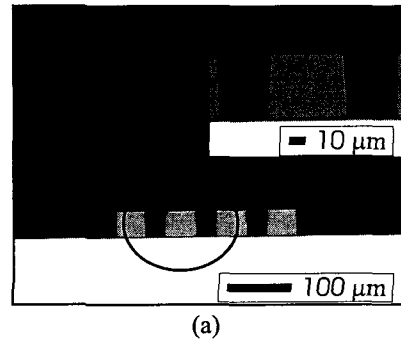
제작된 멀티모드 광 도파로의 특성을 측정하기 위하여 멀티모드 광섬유 (코어 크기 = 50 μm)를 이용하여 도파 특성을 측정하였다. 그림 4는 파장 1.3 μm 일때의 광섬유와 광 도파로의 도파 모드를 보여 주고 있다. 전파 손실은 1300 nm 에서 0.4 dB/cm, 1550 nm 에서 0.7 dB/cm 로 측정되었다.

III. 결론

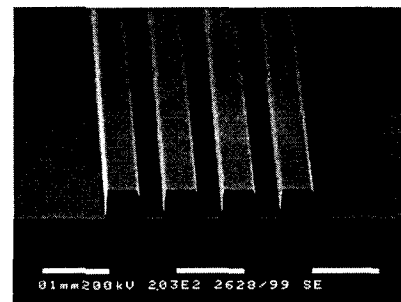
저가로 광 연결용 광 도파로를 제작하기 위하여 몰딩 기법을 이용하여 큰 코어 크기를 갖는 멀티모드 폴리머 광도파로를 제작하였다. 제작된 광도파로의 코어 크기는 47 $\mu\text{m} \times 41 \mu\text{m}$ 이다. 원판으로는 포토 레지스트 AZ9260 을 사용하였고, 몰드로서는 실리콘 고무의 일종인 PDMS 를 사용하였다. 광도파로의 제작에 사용된 폴리머는 PFCB 이고, 접착 방식을 이용하여 폴리머로의 천이 공정을 수행하였다. 측정된 전파 손실은 파장 1300 nm 에서 0.4 dB/cm, 1550 nm 에서 0.7 dB/cm 이다.

참고문헌

- [1] Y. S. Liu, W. B. Hennessy, R. Wojnarowski, J. P. Bristow, Y. Liu, J. Rowlette, J. Stack, J. Yardley, L. Eldada, R. M. Osgood, R. Scarmozzino, S. H. Lee, and S. Patra, " Proc. SPIE, vol. 3005, pp. 2-10, 1997.
- [2] T. Li, S. Tang, R. Wickman, L. Wu, F. Li, M. Dubinovsky, and R. T. Chen, Proc. SPIE, vol. 3005, pp. 128-135, 1997.
- [3] L. Wu, F. Li, S. Tang, B. Bihari, and R. T. Cheng, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, pp. 1601-1603, 1997.
- [4] Y. Xia and G. M. Whitesides, Annu. Rev. Mater. Sci., vol. 28, pp. 153-184, 1998.
- [5] Jun-Bo Yoon, Chul-Hi Han, Euisik Yoon, and Choong-Ki Kim, Proc. SPIE, vol. 3512, pp. 316-325, 1998.
- [6] G. Fischbeck, R. Moosburger, C. Kostrzewa, A.



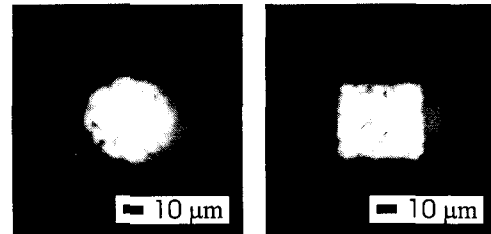
(a)



(b)

그림 3. 폴리머 광 도파로의 단면 사진 (a) 단면 모양 (b) 경사진 모양

Fig. 3. Cleaved images of polymeric optical waveguides. (a) top view. (b) oblique view



(a)

(b)

그림 4. 도파 모드 사진 (a) 광 섬유와 도파 모드 (b) 광 도파로의 도파 모드

Fig. 4. Output mode profiles. (a) mode profile of the multimode fiber. (b) mode profile of the multimode waveguide.

Achen, and K. Petermann, Electron. Lett., vol. 33, pp. 518-519, 1997.

- [7] H. C. Haverkorn van Rijsewijk, P. E. J. Legierse, and G. E. Thomas, Philips tech. Rev. vol. 40, pp. 287-297, 1982.