

Hot Embossing 기술을 이용한 병렬 광접속용 고분자 광도파로 제작

최춘기[†] · 김병철 · 한상필 · 안승호 · 정명영

한국전자통신연구원 반도체 · 원천기술연구소 광접속모듈팀

Ⓣ 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지

(2002년 2월 14일 받음, 2002년 4월 1일 수정본 받음)

병렬 광접속용 다중모드 고분자 광도파로를 제작하였으며, 도파로 구조는 LIGA 공정에 의해 제작된 니켈 성형 마스터에 의해 hot embossing 기술을 이용하여 성형하였다. 도파로 크기가 $48 \times 47 \mu\text{m}^2$ 인 다중모드 광도파로를 단순 2단계 공정에 의해 제작하였으며, $0.85 \mu\text{m}$ 과 $1.3 \mu\text{m}$ 파장대역에서 측정된 다중모드 광도파로의 도파손실은 각각 0.38 dB/cm 와 0.66 dB/cm 이었다.

주제어 : polymer waveguide, hot embossing, LIGA, optical interconnection.

I. 서 론

최근 인터넷 트래픽의 급속한 증가로 인해 초고속 대용량 통신망 구축이 시급히 요구되고 있으며, 이를 구현하기 위한 광부품의 수요가 급증하고 있는 실정이다. 실리카를 기반으로 한 광도파로 소자는 낮은 광손실과 높은 열안정성 등의 장점을 가지고 있으나, 고온($>1000^\circ\text{C}$) 공정으로 인한 문제점들을 가지고 있다. 또한 제조 공정이 복잡하여 저가 및 대량의 소자를 제작하는데 어려움이 있다. 반면에 고분자를 기반으로 한 광도파로 소자는 실리카를 기반으로 한 광도파로 소자의 제조 공정에 비해 상대적으로 현저히 낮은 저온($<300^\circ\text{C}$) 공정과 저가 및 대량 생산공정이 가능하여 광도파로 소자를 제작하기 위한 공정의 대안으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 고분자 광도파로 소자는 VCSEL 및 LD가 광원으로 사용되는 단파장 대역에서 높은 투과성, 전자회로와의 호환성 및 대량생산의 가능성 등의 장점으로 병렬 광접속 분야에서 매우 유망한 소자이다.^[1] 고분자를 기반으로 한 광도파로 소자는 reactive ion etching,^[2] photobleaching,^[3] direct photo patterning,^[4] laser direct writing,^[5] polyguideTM,^[6] molding(Injection molding, Hot embossing)^[7-9] 등의 공정에 의해 제작이 이루어지고 있으며, 그 중에서 Hot embossing 기술은 고분자(플라스틱)에 미세 패턴을 형성하는데 매우 유리하며, 이를 이용한 광도파로 소자 제작은 제작공정이 단순하여 저가격화 및 대량 생산에 가장 적합한 광도파로 제작공정이라 할 수 있다. Hot embossing 공정에 사용되는 성형 마스터(mold master)는 LIGA,^[10] DEEMO^[11] 및 etching^[12] 등 여러 가지 방법에 의해 제작이 가능하며, LIGA 및 DEEMO 공정에 의해 니켈마스터를, 습/건식 식각 공정에 의해 실리콘 마스터를 제작할 수 있다. 또한 상업적 목적으로의 니켈마스터와 실험실 목적으로의 실리콘 마스터에 대한 비교연구도 보고되었다.^[13]

광도파로를 제작하는데 있어 광손실은 광도파로 소자의 특

성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 이런 광손실은 광도파로 소재 자체의 특성에 의해 크게 좌우되며, 또한 광도파로 제작공정에서 생기는 제조상의 결함 및 표면거칠기(surface roughness)에 의해 발생하는 손실에 의해 영향을 받는다. Hot embossing 공정의 경우, 성형된 광도파로의 표면거칠기는 성형시 사용되는 성형마스터의 표면거칠기에 의해 결정되므로 성형마스터의 표면거칠기를 최소화 함으로서 성형된 광도파로의 광손실을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 그림 1에서 보듯이 병렬 광접속 송수신 모듈의 VCSEL과 광섬유 어레이 간의 커플링을 용이하게 하기 위해 직선형 광도파로를 제작하였으며, 먼저 LIGA 공정에 의해 니켈 마스터를 제작하였고, hot embossing 공정을 이용하여 고분자 다중모드 광도파로를 제작하였으며, 제작된 광도파로의 광학적 특성을 측정하였다.

II. 성형 마스터 및 Hot embossing 공정

2.1. 니켈 마스터 제작

니켈 마스터는 LIGA 공정에 의해서 제작하였다. LIGA의 어원은 각각의 공정에 대한 독일어 머리글자에서 따온 것이며, 식각(synchrotron에 의한 lithography, 독일어로 Lithographie), 전주도금(electroforming, 독일어로 Galvanofomung) 그리고 사출(plastic molding, 독일어로 Abformung)을 가리키며, 즉 X-ray에 의한 식각과 전기도금 및 이를 이용한 성형 공정을 의미한다. LIGA 공정은 1982년경에 독일의 KFZ Karlsruhe 연구소에서 처음으로 소개하였다.

Hot embossing 공정에서 사용되는 성형 마스터는 실제 성형물과 직접적인 연관성이 있으므로 그 제작에 신중을 기해야 한다. 본 연구의 LIGA 공정은 포함 synchrotron 가속기를 이용하였다. 이때 X-ray 노광량은 4.5 kJ/cm^2 이었으며, 노광 시간은 약 50분이었다.

그림 2는 니켈마스터 제작공정을 나타내고 있는데, 먼저 약 8 mm 두께를 갖는 Ni 기판 위에 PR(Photoresist)인 PMMA

[†]E-mail: cgchoi@etri.re.kr

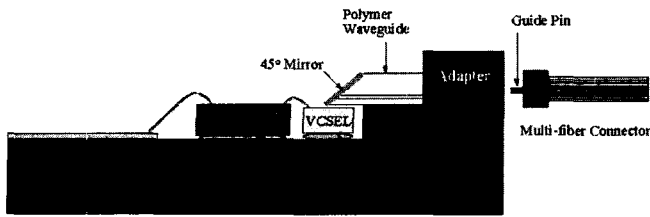
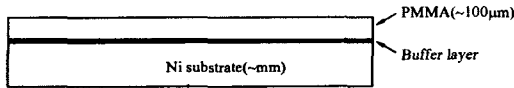
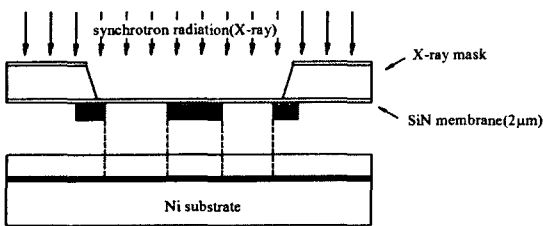


그림 1. 병렬 광집속 모듈의 송신부 구조도.

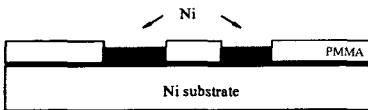
1) PMMA 노광시편 준비



2) X-ray 노광



3) PMMA 현상, Buffer layer 제거 및 Ni 전기도금



4) 표면연마 및 PMMA 제거

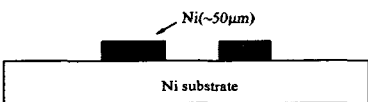


그림 2. LIGA에 의한 니켈 마스터 제작 공정.

를 부착하고 X-선 마스크를 통해 synchrotron 방사에 의한 X-선 노광을 한 후 PMMA현상 및 버퍼(buffer)층을 제거하였다. 노광에 의해 형성된 패턴에 전주도금을 통해 약 100 μm 이상으로 도금을 하고 광도파로 크기에 맞게 CMP(chemical mechanical polishing)로 표면연마를 한 후 남아있는 PMMA를 제거하였다. 이때 사용된 X-ray 마스크는 SiN membrane에 Au 코팅을 하여 제작하였다.

그림 3는 상기의 LIGA 공정에 의해 제작된 직선 채널형 광도파로 형성용 니켈마스터를 저배율 주사현미경(SEM)을 이용하여 관찰한 사진이다. 양각으로 형성된 도파로 패턴사이로 +, - 등의 패턴이 있으며, 이것은 광도파로와 VCSEL간의 정렬(alignment)을 위해 설계/제작되었다. 양각으로 제작된 마스터 패턴의 표면거칠기는 WYKO interferometer로 측정하였으며, 측정된 표면거칠기는 약 120 nm(RMS)이었다. 양각 광도파로 패턴의 크기는 49 μm(넓이)×48 μm(깊이)로 측정되었다.

LIGA 공정을 기반으로 제작된 마스터는 기계적인 안정성을 위해 몸체를 포함한 전체 두께가 약 5 mm 이상으로 제작이 되고있다.^[10] 이러한 방법은 제작시간이 2~3주 정도로 오래 걸

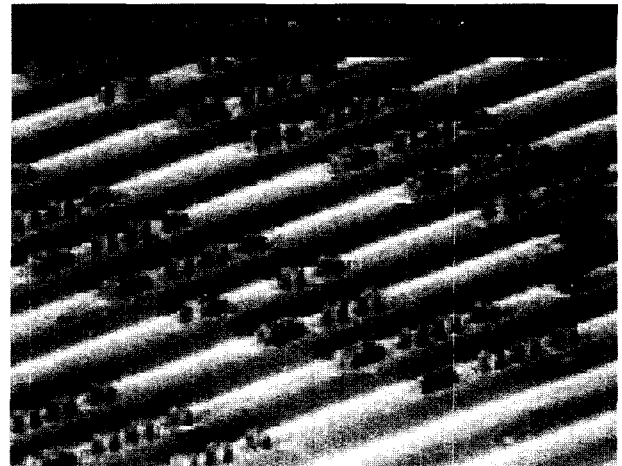


그림 3. LIGA공정에 의해 제작된 니켈마스터의 주사전자현미경 사진

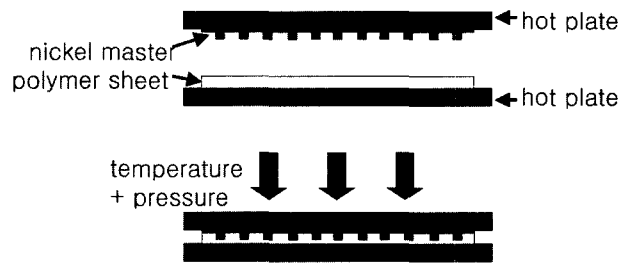


그림 4. Hot embossing 공정.

리며, 도금시 도금 조건의 변화 및 도금욕조의 오염 등이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 몸체를 약 8 mm 두께를 갖는 Ni 판을 사용하여, 약 100 μm을 도금하여, 도금시간을 1~2일로 현저히 줄였다. 그러나 도금후 광도파로 크기로 CMP 공정시 도금상태에 따라 도금된 부분이 파손되는 경우도 발생하였다.

2.2. Hot embossing 공정

그림 4는 hot embossing 공정에 의해 광도파로 미세구조를 제작하는 과정을 나타내고 있다. Hot embossing 공정은 독일 Jenoptik의 HEX01 장비를 사용하였다. 먼저 고분자 소재를 가열과 냉각이 가능한 기관위에 장착하여 고분자의 유리전이 온도(T_g) 이상으로 가열한다. 이때 고분자는 점탄성 상태에 도달한다. Embossing 성형온도에 도달하면 성형마스터를 사용하여 압력을 가하면서 눌러준다. 적당한 시간동안 압력을 유지한 후 유리전이온도 이하로 냉각하고, 성형마스터를 들어올려 고분자와 성형마스터를 분리한다. 이상의 공정과정을 통해 광도파로 미세구조 패턴을 제작한다.

Hot embossing 공정은 $\sim 5 \times 10^{-1}$ mbar의 진공 상태에서 이루어지며, 이것은 성형시 발생할 수 있는 기포를 제거하기 위함이다. 또한 고분자 소재는 열가소성 고분자가 사용되며, 고분자 소재는 약 1 mm 두께를 갖는 시트 형태로 제작된 것을 사용하였다.

그림 5는 니켈마스터에 의해 성형된 병렬 광집속용 직선형 광도파로 미세구조 패턴을 보여주고 있다. 병렬 광집속 모듈

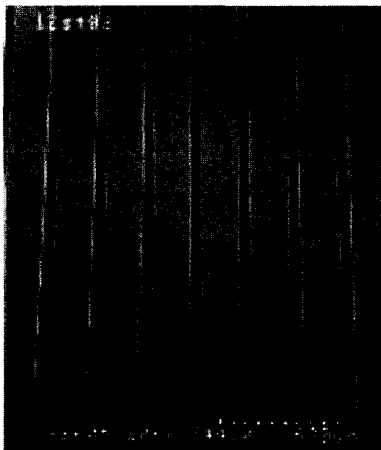


그림 5. 성형된 직선 채널형 광도파로 미세구조의 주사전자현미경 사진.

에 적용을 위해 제작된 광도파로는 다중모드 형태의 12채널 어레이이며, VCSEL과 광커넥터를 연결하는데 사용된다. 성형된 광도파로의 크기는 $48 \times 47 \mu\text{m}^2$ 로 측정되었으며, 성형된 도파로 미세구조의 표면거칠기는 약 140 nm(RMS)로 측정되었다. 이것은 성형된 도파로 미세구조의 표면거칠기가 니켈 마스터의 표면거칠기에 근접한 표면거칠기로 성형이 되었음을 나타내며, 또한 성형된 도파로도 매우 균일하고 성형마스터와 일치하는 구조로 성형이 되었음을 확인하였다. 그러므로 광도파로의 미세구조는 성형 마스터와 직접적으로 연관됨을 알 수 있었다.

III. 광도파로 제작 및 측정

3.1. 광도파로 제작

니켈마스터에 의해 성형된 광도파로 미세구조를 사용하여 광도파로 소자를 제작하였다. 광도파로용 고분자 소재로는 clad 층은 hot embossing 공정에 적합한 열가소성 고분자인 PMMA (Goodfellow Ltd.)를 사용하였고, core 소재로는 UV-curable adhesive(Ablestik, Ablelux™, optically clear epoxy)를 사용하였다. Under-clad 층에 형성된 도파로 미세구조에 core를 충전함과 동시에 over-clad 층을 접착하여 광도파로를 완성하는 공정을 채택하여 공정단계를 2단계로 단순화하였으며(그림 6), 광도파로 미세구조 형성부터 over-clad 층 부착까지 매우 짧은 시간(<30분)에 제작이 가능하였다. 이때 core 경화 및 over-clad 부착을 위한 UV경화는 365 nm 파장의 UV-light source를 사용하였으며, 조사량은 $\sim 70 \text{ mW/cm}^2$ 이었으며, 조사시간은 약 3분이었다.

Clad 층과 core 층의 굴절률은 각각 1.49와 1.509로 설계하였으며, Δn 은 1.2%이었다. 광도파로 구조가 형성되는 under-clad 층을 제작하기 위해 hot embossing 공정을 사용하여 성형하였으며, embossing 온도는 PMMA의 T_g (유리전이온도)를 고려하여 $140^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 로 설정하였으며, embossing force는 4000~ 5000N, de-embossing 온도는 $90 \sim 100^\circ\text{C}$, embossing 시간은 1~2분으로 공정조건을 최적화하였다. 그림 7은 PMMA

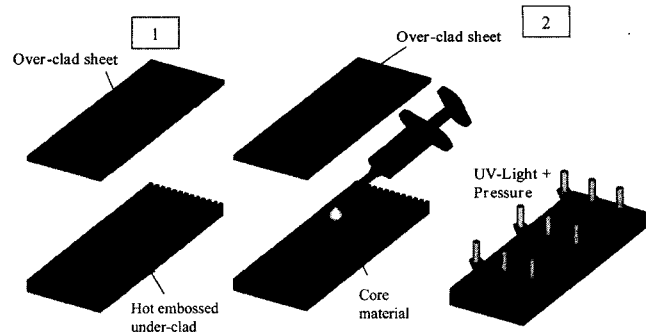


그림 6. 단순 2단계 공정에 의한 광도파로 제작 공정.

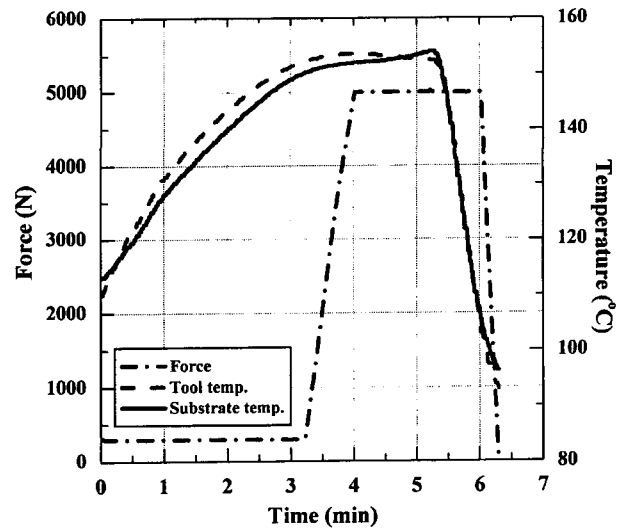


그림 7. PMMA의 미세 구조 형성을 위한 hot embossing 공정의 시간에 따른 온도와 압력 흐름도.

의 미세 구조 형성을 위한 hot embossing 공정의 시간에 따른 온도와 압력의 흐름도를 나타내고 있다. 실제 hot embossing을 위한 holding 시간은 약 75초로 매우 짧은 시간이었으며, 냉각시간도 de-embossing이 이루어지는 90°C 까지 약 45초 정도 걸렸다.

본 연구에서 사용한 core 충전과 동시에 under 및 over-clad를 부착하는 방법은 양쪽 clad 층 부착할 때 약 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 두께의 slab이 발생할 수 있으며, 이것은 직접적으로 광손실에 영향을 줄 수 있다. 그러므로 두께를 $1 \mu\text{m}$ 이하로 최소화하여 발생할 수 있는 손실을 최소화하였으며, 그림 8에서와 같이 slab이 거의 존재하지 않음을 확인하였다.

3.2. 광특성 측정

제작된 광도파로는 광특성을 평가하기 위하여, laser light source(633 nm, 850 nm)와 stabilized light source(1310 nm) (Anritsu MG9001A)에 의해 발생된 출력광이 버트 결합에 의해 고분자 광도파로를 통과한 후 optical spectrum analyzer (Anritsu MS9030A)로 출력광의 파워를 측정하였다. 또한 고분자 광도파로 시편을 측정 홀더에서 제거한 후 잔존하는 입출력단의 다중모드 광섬유를 버트 결합하여 optical spectrum

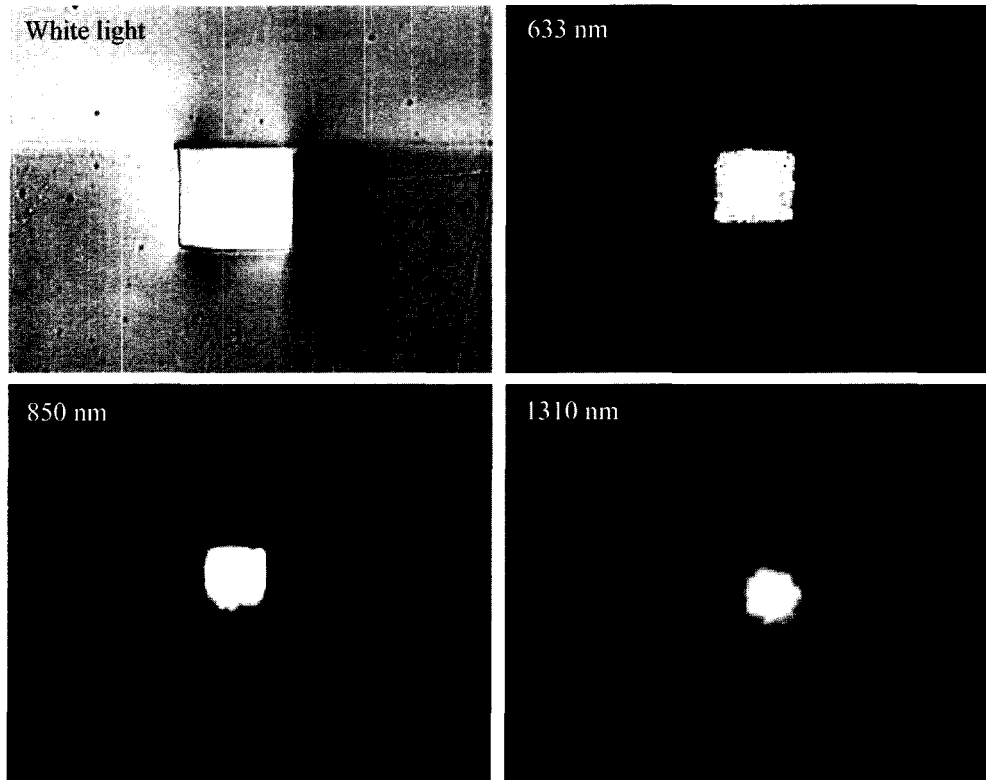


그림 8. 제작된 광도파로의 근접장 모드필드.

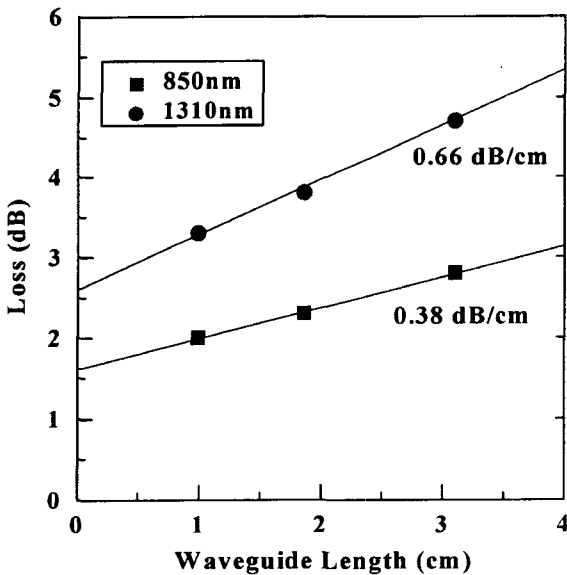


그림 9. Cut back 법에 의해 측정된 광도파로 도파손실.

analyzer로 출력광의 파워를 측정하였으며, 이 출력광과 이전에 측정된 도파로의 출력광들의 파워 차이로부터 도파손실을 얻었다.

그림 8는 제작된 광도파로의 근접장 모드를 백색광과 633 nm, 850 nm, 1310 nm 파장에서 측정한 사진이다. 광도파로의 모드필드는 도파로 출력단에 광학 대물렌즈를 접근시키고, CCD 카메라로 촬영하였다. 측정된 도파손실은 0.850 μm 파장

에서 0.38 dB/cm와 1.310 μm 파장에서 0.66 dB/cm 이었으며 (그림 9), core 소재로 사용된 UV-경화에폭시의 경화 조건을 최적화함으로써 도파손실을 개선할 수 있으며, 실제 단거리 광통신에 적용이 가능할 것이다.

IV. 결 론

LIGA기술을 기반으로 한 hot embossing 공정을 이용하여 병렬 광접속용 고분자 다중모드 광도파로를 제작하였다. Clad 및 core 고분자 소재로는 PMMA와 UV 경화 에폭시를 각각 사용하였으며, 도파손실은 0.850 μm 파장에서 0.38dB/cm와 1.310 μm 파장에서 0.66 dB/cm로 측정되었다. 광도파로 제작 시간은 hot embossing 공정과 assembly 공정을 합쳐 30분 이내로 가능하였으며, 이러한 공정은 대량생산이 가능하며, 저가격의 광도파로를 제작하는데 유리할 것이다.

참고문헌

- [1] B.L. Booth, in *Polymers for Electronic and Photonic Applications* (C. P. Wong, Ed., New York : Academic, 1993).
- [2] M. Usui, M. Hikita, T. Watanabe, M. Amano, S. Sugawara, S. Hayashida, and S. Omamura, "Low-loss passive optical waveguides with high environmental stability," *J. Light-wave Technol.*, vol. 14, pp. 2338-2343, 1996.
- [3] S. S. Lee, S. Garner, A. Chen, V. Chuyanov, W. H. Steier, S. W. Ahn, and S. Y. Shin, "TM-pass polarizer based on a photobleaching-induced waveguide in polymers," *IEEE*

- Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 836-838, 1998.
- [4] M. Usui, N. Sato, A. Ohki, N. Matsuura, N. Tanaka, K. Enbutsu, M. Amano, M. Hikita, T. Kagawa, K. Katsura, and Y. Ando, "ParaBIT-1: 60-Gb/s-throughput parallel optical interconnect module," in *Proc. ECTC*, pp. 1252-1258, 2000.
- [5] L. Eldada, C. Xu, K. Stengel, L. Shacklette, and J. T. Yardley, "Laser-fabricated low-loss single-mode raised rib waveguide devices in polymers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 1704 - 1713, 1996.
- [6] Y. S. Liu, R. J. Wojnarowski, W. A. Hennessy, J. Rowlette, J. Stack, M. Kadar-Kallen, E. Green, Y. Liu, J. P. Bristow, A. Peczalski, L. Eldada, J. Yardley, R. M. Osgood, R. Scarmozzino, S. H. Lee, and S. Patra, "High density optical interconnects for board and backplane applications using VCSELs and polymer waveguides," in *Proc. ECTC*, pp. 391-398, 1997.
- [7] A. Olsson, O. Larsson, J. Holm, L. Lundbladh, O. Ohman, and G. Stemme, "Valve-less diffuser micropumps fabricated using thermoplastic replication," in *Proc. IEEE MEMS'97*, pp. 305-310, 1997.
- [8] M. Hecke, W. Bacher, and K. D. Muller, "Hot embossing- The molding technique for plastic microstructures," *Microsystem Technologies 4*, pp. 122-124, 1998.
- [9] H. Becker and U. Heim, "Hot embossing as a method for the fabrication of polymer high aspect ratio structures," *Sensors and Actuators 83*, pp. 130-135, 2000.
- [10] W. Bacher, K. Bade, B. Matthis, M. Saumer, and R. Schwarz, "Fabrication of LIGA mold inserts," *Microsystem Technologies 4*, pp. 117-119, 1998.
- [11] J. Elders, H.V. Jansen, M. Elwenspoek, and W. Ehrfeld, "DEEMO: a new technology for the fabrication of microstructures," in *Proc. IEEE MEMS '95*, pp. 238-243, 1995.
- [12] H. Becker and U. Heim, "Silicon as tool material for polymer hot embossing," in *Proc. IEEE MEMS '99*, pp. 228-231, 1999.
- [13] L. Lin, Y. T. Cheng, and C. J. Chiu, "Comparative study of hot embossed micro structures fabricated by laboratory and commercial environments," *Microsystem Technologies 4*, pp. 113-116, 1998.

Fabrication of polymeric optical waveguides for parallel optical interconnection using hot embossing technique

Choon-Gi Choi[†], Byeong-Cheol Kim, Sang-Pil Han, Seung-Ho Ahn, and Myung-Yung Jeong

*Optical Interconnection Team, Basic Research Laboratory,
Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-350, KOREA*

[†]E-mail: cgchoi@etri.re.kr

(Received February 14, 2002 ; revised manuscript received April 1, 2002)

Polymeric multi-mode optical waveguides were fabricated for parallel optical interconnection. Waveguide structures were molded by a Ni mold master using a hot embossing technique. The Ni mold master was manufactured by LIGA process. Multimode optical waveguides with a $48 \times 47 \mu\text{m}^2$ cross-section were produced by a simple two-step process. The propagation losses of the multimode waveguide measured at 0.85 μm and 1.3 μm wavelengths were 0.38 dB/cm and 0.66 dB/cm, respectively.

Classification codes : OE.010, OC.030.