

Polymer-based Large Core Optical Splitter for Multimode Optical Networks

Jong Bae An¹, Woo-Jin Lee¹, Sung Hwan Hwang¹, Gye Won Kim¹, Myoung Jin Kim¹, Eun Joo Jung¹,
Jong Ha Moon², Jin Hyeok Kim², and Byung Sup Rho^{1†}

¹Nano-Photonics Research Center, Korea Photonics Technology Institute, Gwangju 500-460, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received July 5, 2013; Revised manuscript July 31, 2013; Accepted August 5 2013)

Two types of polymer-based optical splitters with 200µm large core are presented for optical multimode networks, such as smart home networks, intelligent automotive networks, etc. Optical splitters that have 1:1 symmetric and 9:1 asymmetric structure were fabricated by a ultra violet(UV)-imprint technology using a deep etched Si(silicon) master by the Bosch process. In this paper, we successfully fabricated the symmetric and asymmetric optical splitters with suitable optical network applications.

Keywords: UV-imprint process, Optical splitter, Polymer, Optical networks

OCIS codes: (060.4510) Optical communications; (230.1360) Beam splitters; (250.5460) Polymer waveguides

멀티모드 광네트워크용 폴리머기반 대구경 광분배기

안종배¹ · 이우진¹ · 황성환¹ · 김계원¹ · 김명진¹ · 정은주¹ · 문종하² · 김진혁² · 노병섭^{1†}

¹한국광기술원 나노광전융합 연구센터

☎ 500-460 광주광역시 북구 월출동 971-35번지

²전남대학교 신소재공학과

☎ 500-757 광주광역시 북구 용봉로 77

(2013년 7월 5일 받음, 2013년 7월 31일 수정본 받음, 2013년 8월 5일 게재 확정)

본 논문에서는 스마트 홈 네트워크, 자동차용 광네트워크, 선박용 광네트워크 등의 멀티모드 광네트워크 구성을 위한 멀티모드 광분배기를 제작하였다. 멀티모드 광분배기는 폴리머 기반의 자외선 임프린트(ultra violet imprint, UV-imprint) 공정에 의해 200 µm 코어 사이즈를 갖는 대구경으로 제작하였으며, 신호 분기를 위한 1:1 균등 분배기 및 네트워크 모니터링을 위한 9:1 비균등 분배기를 제작하였다. 대구경 광분배기를 제작하기 위해 실리콘 웨이퍼에 Bosch process에 의한 광분배기 패턴을 식각하여 imprint 마스터를 제작 후 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)를 이용한 탄성체 몰드를 역상 복제 하였다. 역상 복제된 PDMS 몰드를 이용해 UV-imprint 공정에 의한 대구경 광분배기 칩을 제작하였다. 또한, 폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmethacrylate, PMMA) 광섬유 블록을 제작하고 광분배기 칩의 입출력 단에 광섬유를 정렬 부착하여, 최종적으로 광분배기는 광분배기 칩과 패키징을 위한 광섬유 블록을 폴리머 기반의 저가형으로 제작하였다. 제작된 폴리머 기반 광분배기의 도파손실, 삽입 손실 및 출력 균일도를 측정하고, 내환경 특성 평가를 위해 -40°C~+60°C 주기의 temperature cycling test 후 삽입손실 변화를 측정하였다.

Keywords: 자외선 임프린트, 광분배기, 폴리머, 광네트워크

OCIS codes: (060.4510) Optical communications; (230.1360) Beam splitters; (250.5460) Polymer waveguides

I. 서 론

최근 스마트 홈 네트워크, 자동차용 광네트워크, 선박용 광네트워크 등의 다양한 분야에서 근거리 멀티모드 광통신을

기반으로 한 대용량, 고속 데이터 통신, 고신뢰성의 광네트워크 구성을 필요로 하고 있으며, 이에 따라 가격이 저렴하면서도 고품질의 멀티모드 수동 광소자들이 요구되고 있다. 기존의 광분배기를 포함한 수동 광소자는 대부분 실리카 소

[†]E-mail: kalparho@hanmail.net

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

재를 기반으로 한 장거리 기간망 위주의 단일모드 제품이 주를 이루고 있다. 하지만, 실리카 기반의 광분배기 소자 제조를 위해서는 실리카 형성 시 1200°C~1300°C 의 고온 공정인 화염 가수분해 증착(flame hydrolysis deposition, FHD)이 필수적이며 리소그래피 장비, 건식 식각 장비등 고가의 장비를 필요로 하여 제조 단가가 높고^[1-3], 실리카 기반의 식각 공정으로는 멀티모드를 위한 대구경 코어(core size: 200 μm) 제작이 어려운 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 저가형, 고효율 공정인 자외선 임프린트(Ultraviolet imprint, UV-imprint) 공정^[4, 5]을 이용하여 폴리머를 기반으로 하는 멀티모드 신호 분배용 1:1 균등 광분배기 및 광네트워크 모니터링용 9:1 비균등 광분배기를 제작하였다. UV-imprint 공정을 이용한 폴리머 기반의 광분배기 제작 방법은 대구경 광도파로 제조 기술에 적합한 기술이며, 양산시 대량생산이 가능하여 제조 원가를 절감 할 수 있는 장점이 있다.^[6] 또한, 제작된 광분배기 칩의 입출력 단에 광섬유를 접속 및 패키징 하기 위해, V-sawing 공정을 이용하여 폴리머 기반 광섬유 블록을 제작하였다. 광분배기 칩의 입출력 단에 능동정렬을 통해 광섬유를 접속하고 패키징 하우징에 고정하여 광분배기 칩과 패키징 구조물 모두 폴리머를 기반으로 한 저가형 구조를 구현하였다.

II. 폴리머 기반 대구경 광분배기 설계 및 제작

2.1. 대구경 광분배기 설계

대구경 광분배기 칩 제작을 위해 BPM(Beam Propagation Method) 시뮬레이션을 통해 Y분기 구조를 설계하였다. 대구경 분배기는 200 μm 폭의 직선 구조의 광 입력 구조를 포함하고 도파로 확장영역과 S bend 형태로 Y 분기되어 채널간격 500 μm를 갖는 그림 1(a)의 1:1 균등 분배기 및 그림 1(b)의 1:9 비균등 분배기 구조를 설정하였다. 멀티모드 비균등 광분배기는 코어 폭의 조절로 분배비를 조절할 수 있으며, 코어 폭의 비를 9:1로 설계하여 9:1 분배가 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그림 2는 코어 굴절률 $n=1.529$, 클래드 굴절률 $n=1.506$, 코어 사이즈 200 μm×200 μm 인 광분배기의 굴곡반경(bending radius)에 따른 굴곡손실(bending

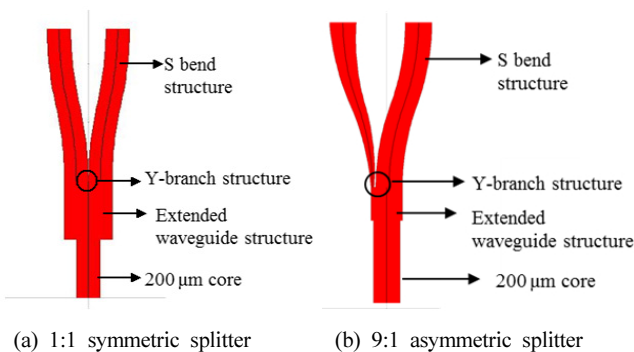


FIG. 1. Structure of large core splitter.

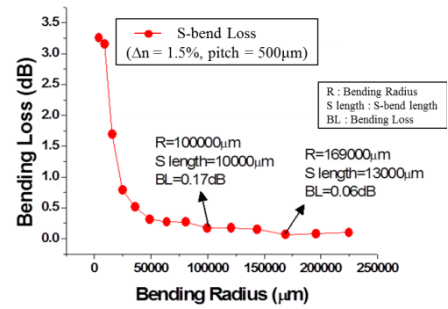


FIG. 2. Radius of curvature for the S-bend structure loss.

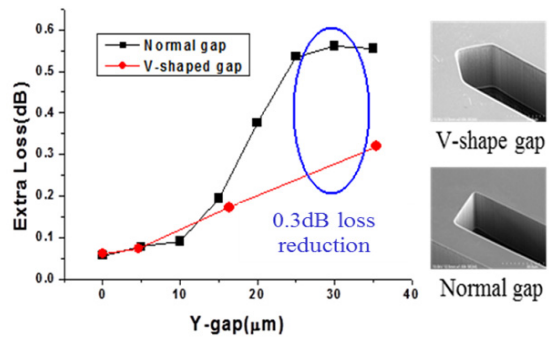


FIG. 3. Comparison of the scattering loss of gap structure.

loss)을 나타내며, 굴곡에 의한 손실을 최소화하기 위해 굴곡 반경은 169000 μm로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 굴곡손실은 0.06 dB, S bend 길이는 13000 μm로 계산되었다. 또한, imprint 공정을 고려한 분기영역 설계는 분기 gap에 의한 손실을 줄이기 위해 V형태의 분기 gap 구조를 설정하였다. 멀티모드 광분배기의 분기 영역은 구조상 큰 종횡비로 인하여 imprint 공정시 패턴의 손상 및 변형이 발생하기 쉽다. 이러한 손상 및 변형을 최소화 하기 위해 분기 gap은 30 μm로 설정하였다. 그러나, 넓은 분기 gap은 분기 영역의 산란 손실을 발생시키며, 이 손실을 최소화하기 위해 V gap 구조를 설정하였다. 시뮬레이션 결과 그림 3과 같이 30 μm 크기의 V gap을 적용하면 30 μm 크기의 일반적인 gap에 비해 0.3 dB 정도의 gap에 의한 손실을 줄일 수 있었다.

2.2. 대구경 광분배기 제작

그림 4와 같이 UV-imprint 공정을 이용한 대구경 광분배기 칩 제작은 마스터 제작 단계, 마스터를 복제하는 몰드 제작 단계, 하부 클래드 상에 복제몰드를 이용하여 패턴 imprint 단계를 거쳐 몰드 이형 및 상부 클래드 제작 단계를 거친다.

UV-imprint 공정을 이용한 폴리머 기반 대구경 광분배기 칩 제작을 위한 세부 공정은 다음과 같다. 첫 번째로 Bosch process식각 공정^[7]을 이용하여 실리콘 웨이퍼에 분배기 패턴이 양각으로 식각된 실리콘 마스터를 제작하였다. 실리콘 마스터 제작시 패턴의 측면 거칠기는 도파손실에 영향을 주어 광분배기의 삽입손실이 증가하는 원인이 되므로 광분배

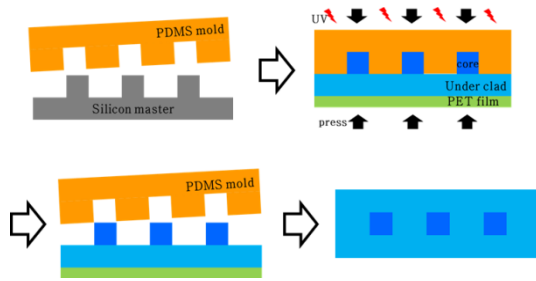
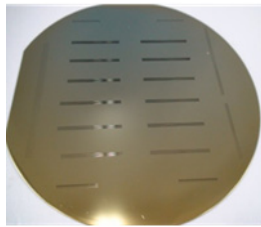
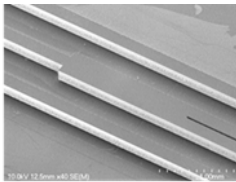


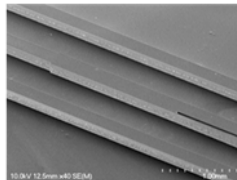
FIG. 4. UV-imprint process of optical splitter.



(a)



(b)



(c)

FIG. 5. (a) Fabricated Si master by Bosch process (b) 1:1 symmetric splitter pattern (c) 9:1 asymmetric splitter pattern.

기 칩의 코어 측면의 표면조도를 향상시키기 위해 실리콘 식각마스크를 형성하고 Bosch process 최적화를 통해 코어 측면 거칠기 25 nm(rms) 이하의 고품질 실리콘 마스터를 제작하였다. 또한, 실리콘 마스터 표면에 생성되는 자연 산화막은 몰드 복제시 몰드 이형성을 나쁘게 하여 미세 패턴의 결함을 발생시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 실리콘 마스터 표면에 실리콘 나이트라이드(silicon nitride) 박막을 증착시켜 몰드 이형성을 향상시키고 정밀 몰드 복제 공정을 확립하였다. 그림 5(a)는 실리콘 나이트라이드가 증착된 실리콘 마스터 및 그림 5(b) 1:1 균등, 그림 5(c) 9:1 비균등 분배기의 코어 패턴 형태를 나타낸다.

두 번째로 제작된 실리콘 마스터를 복제 주조 방식을 이용하여 폴리디메틸실록산 (polydimethylsiloxane, PDMS) 몰드를 제작하였다. 그림 6(a)는 PDMS 몰드 제작과정을 나타내며, Dow-corning사의 Sylgard184 주재와 경화제 비율을 5:1로 혼합하여 기포를 제거하고 실리콘 마스터에 부은 후 평탄화와 45°C에서 3시간 열경화 및 상온 분리 하여 그림 6(b)와 같은 역상 복제된 PDMS 투명 탄성체 몰드를 제작하였다. PDMS는 높은 점도로 인해 패턴 복제시 패턴 사이에 미세기포가 형성되기 쉽다. 이런 과정에서 생긴 미세 기포들은 PDMS의 열경화 과정에서 성장하게 되고, 이들은 PDMS의 높은 점성에 의해 빠져나가지 못하여 패턴 내부에 잔류하게

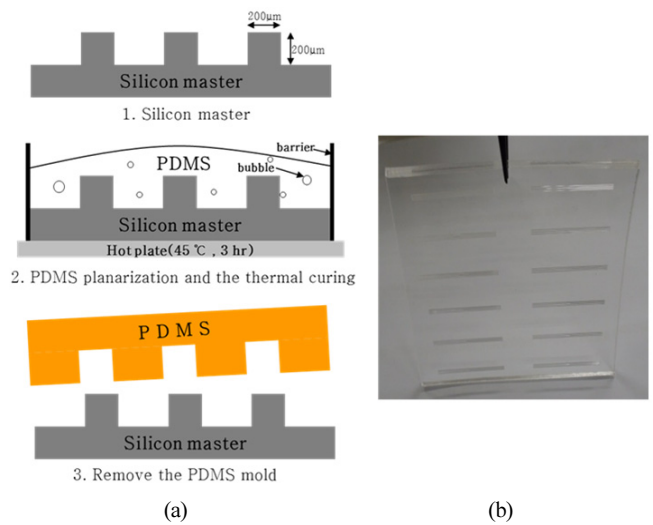


FIG. 6. (a) PDMS mold fabrication process (b) PDMS mold replicated from the master.

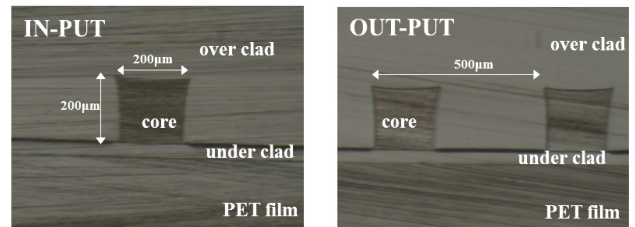


FIG. 7. Cross-section view of the fabricated splitter.

된다. 이러한 기포들은 UV-imprint를 통한 패턴 제작 과정에서 패턴의 결함을 초래할 뿐만 아니라 패턴의 균일성을 나쁘게 한다. 따라서, 본 논문에서는 PDMS 몰드 제조시 발생하는 기포를 없애기 위해 진공 환경에서 기포 제거 및 충전효과를 향상시킴으로써 정밀한 PDMS 몰드를 복제하였다.

세 번째로 광분배기 패턴 제작을 위한 기판으로는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 필름을 사용하여, 기판 위에 폴리머 클래드 레진(refractive index=1.506)을 도포하고, spin coating에 의해 30 µm두께의 하부클래드를 제작하였다. 제작된 하부 클래드에 PDMS 몰드를 이용한 UV-imprint 공정으로 코어 패턴을 형성 하였다. PDMS 몰드 위에 폴리머 코어 레진(refractive index=1.529)을 도포하고, 하부 클래드 위에 올려 놓은 후 압착한 상태에서 UV 경화를 통해 광분배기의 코어 패턴을 형성하였다. UV 경화는 공기 중에서 발생하는 레진의 표면 미경화를 방지하기 위해 질소 분위기에서 수행하였다.

마지막으로, 상부 클래드 제작 및 기판을 제거함으로써 폴리머 기반 광분배기 칩을 완성 하였다. 상부 클래드 제작시, spin coating 방법은 코어 패턴에 의해 상부 클래드가 불균일하게 형성 되기 쉽다. 따라서, 본 논문에서는 코어 패턴 주위에 외벽을 형성하고 클래드 레진을 드랍한 후, 평탄화 필름을 덮은 상태로 UV 경화를 수행하여 간단한 공정으로 균일

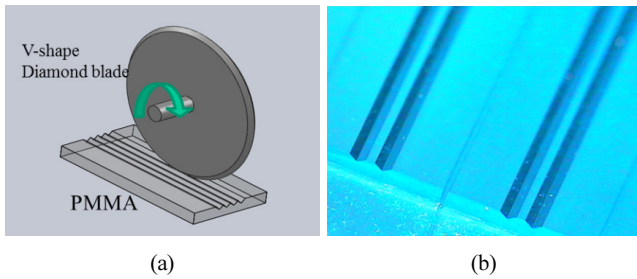


FIG. 8. (a) Schematic view of V-sawing process for the PMMA block (b) fabricated PMMA block.

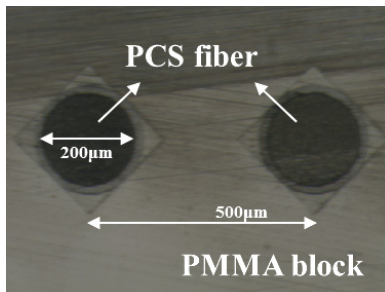


FIG. 9. Fabricated fiber array block.



FIG. 10. Fabricated symmetric and asymmetric optical splitter.

한 두께의 상부 클래드를 형성 하였다. 그림 7은 제작된 광분배기 코어의 입출력 단면을 나타낸다.

UV-imprint 공정에 의해 제작된 광분배기 칩을 절단하고 입출력 단에 폴리머-클래드-실리카(polymer-clad-silica, PCS) 광섬유를 접속한 후 패키지 하우징에 고정하여 광분배기를 패키징 하였다. 광분배기 칩의 입출력 단에 멀티모드 광섬유를 접속하기 위해 저가이면서 표면경도, 가공성 등이 우수한 폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmethacrylate, PMMA)를 사용하여 광섬유 블록을 제작하였다. 기존의 광섬유 블록은 실리콘, 쿼츠 등으로 반도체 식각공정에 의해 제작 되어 치수 정밀도는 우수하지만, 제조단가가 높은 단점이 있다. 본 논문에서는 V-sawing 공정을 이용하여 저가의 광섬유 블록을 제작하였다. 반도체 식각공정에 비해 정밀함은 떨어지지만, 멀티모드 대구경 광분배기는 200 μm의 큰 코어 사이즈로 인해 높은 치수 정밀도가 요구되지 않으며, 수 μm 오차

범위 내에서는 1 dB 이하의 결합손실을 갖는다.

그림 8(a)는 PMMA 광섬유 블록 제작 개념도이며, 단면이 V 형태로 가공된 다이아몬드 블레이드를 이용한 sawing 공정으로 그림 8(b)와 같은 500 μm의 채널간격을 갖는 V-groove 형태의 PMMA 광섬유 블록을 제작하였다. 제작된 PMMA 광섬유 블록의 V-groove 사이에 PCS 광섬유를 정렬하고, UV 경화성 에폭시를 사용하여 고정하였으며, 그림 9와 같은 형태를 갖는다. 광분배기 칩의 입출력 단에 PCS 광섬유를 고정한 PMMA 블록을 능동정렬 방식으로 접속한 후 UV 경화성 에폭시로 패키지 하우징에 고정하여 광분배기를 제작하였다. 그림 10은 패키징 된 폴리머 기반 대구경 광분배기를 나타낸다.

III. 대구경 광분배기 특성 평가

UV-imprint 공정에 의해 제작된 폴리머 기반 대구경 광분배기의 200 μm 코어 패턴은 치수 정밀도 4 μm 이내로 제작되었으며, PMMA 광섬유 블록을 사용하여 광분배기 칩에 결합한 결과 1 dB 이내의 결합 손실을 나타내었다. 또한, 850 nm 파장의 광원을 사용하여 cut-back 방식으로 광분배기 칩의 길이에 따른 삽입손실을 비교한 결과 단위 길이당 도파손실은 0.2 dB/cm 이내로 측정되었다.

제작된 1:1 균등 광분배기의 결합손실을 포함한 총 삽입손실은 채널 각각 4.35 dB, 4.36 dB로 측정되었으며, 0.01 dB의 우수한 채널 균일도를 보였다. 광네트워크 모니터링을 위한 비균등 광분배기의 결합손실을 포함한 총 삽입손실은 채널 각각 1.75 dB, 11.57 dB로 측정되어, 코어 폭의 조절에 의해 9:1 비균등 분배기가 구현 됨을 확인 하였다. 또한, 내환경 특성 평가를 위해 temperature cycling test를 수행하였다. 테스트 방법은 -40°C~+60°C 왕복하는 것을 one cycle로 설정하고 각각 고온, 저온에서 1시간 유지시키는 조건으로 10 cycle 수행하였다. 10 cycle 수행 후 삽입손실 변화는 0.5 dB 이하로 측정되어 제작된 폴리머 광분배기의 우수한 내환경성을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 멀티모드 광네트워크용 폴리머 기반 대구경 광분배기 칩을 UV-imprint공정에 의해 제작하고 PMMA 광섬유 블록을 사용하여 광분배기 칩과 PCS 광섬유를 패키징 하였다. 제작된 대구경 광분배기는 분배기 칩과 패키징을 위한 광섬유 블록을 폴리머 기반의 저가형으로 제작하였다. 제작된 신호 분배용 1:1 균등 광분배기는 채널 각각 4.35 dB, 4.36 dB의 삽입손실 및 우수한 출력 균일도를 가지며, 광네트워크 모니터링용 9:1 비균등 광분배기의 삽입손실은 1.75 dB, 11.57 dB로 9:1 분기가 됨을 확인하였다. 또한, 내환경 특성 평가를 위해 -40°C~+60°C temperature cycling test를 10 cycle 수행한 결과 0.5 dB 이내의 삽입손실의 변화를 보여 우수한 내환경 특성을 가짐을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 폴리머 기반 멀티모드 광네트워크 신호 분배용 균등 광분배기, 광네트워크 모니터링용 비균등 광분배기는 UV-imprint 공정에 의해 제작되어 저비용으로 대량생산이 가능하며 외부 환경에 대한 우수한 내환경 특성을 가지고 있어 스마트 홈 네트워크, 자동차, 선박 등의 근거리 멀티모드 광네트워크에 있어 그 적용분야가 클 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재원천 기술개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. N. Sharch and E. M. Starr, "Integrated optic 1X4 splitter in SiO₂/GeO₂," *Electron. Lett.* **25**, 981-982 (1989).
2. A. K. Dutta, "Vertical etching of thick SiO₂ using C₂F₆-based reactive ion beam etching," *J. Vac. Sci. Tech. B* **13**, 1456-1459 (1995).
3. M. V. Bazylenko and M. Gross, "Effect of reactive ion etching-generated sidewall roughness on propagation loss of buried-channel silica waveguide," *Appl. Phys. Lett.* **69**, 2178-2180 (1996).
4. W.-J. Lee, S. H. Hwang, J. W. Lim, and B. S. Rho, "Polymeric waveguide film with embedded mirror for multilayer optical circuits," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **21**, 12-14 (2009).
5. G. Griese, "A high-performance hybrid electric-optical interconnection technology for high-speed electronic system," *IEEE Trans. Adv. Pack.* **24**, 375-383 (2001).
6. W.-J. Lee, S. H. Hwang, M. J. Kim, E. J. Jung, J. B. An, G. W. Kim, M. Y. Jeong, and B. S. Rho, "Surface input/output optical splitter film for multilayer optical circuits," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **24**, 506-508 (2012).
7. H. Rhee, H. K. Kwon, C. K. Kim, H. J. Kim, J. S. Yoo, and Y. W. Kim, "Comparison of deep silicon etching using SF₆/C₄F₈ and SF₆/C₄F₆ plasmas in the Bosch process," *Journal. Vacuum Science & Technol.* **26**, 576-581 (2008).