

## 롤투롤 공정을 이용한 광정렬 구조 내장형 광소자 연구

조상욱 · 강호주 · 정명영<sup>†</sup>

부산대학교 인지메카트로닉스공학과

### The Study of Optical Device embedded Optical Alignment fabricated by Roll to Roll Process

Sang-Uk Jo, Ho-Ju Kang and Myung-Yung Jeong<sup>†</sup>

Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

(2013년 6월 19일 접수: 2013년 7월 2일 수정: 2013년 7월 8일 게재확정)

**초 록:** 고속, 대용량 정보 전송 수요가 급격하게 증가함에 따라 대량생산 및 고효율의 PLC형 집적 광소자의 연구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 광소자와 광섬유가 수동 정렬이 가능하도록 일체형 정렬 구조를 제안하였다. 일체형 구조의 광소자는 기본적으로 1채널의 입력부의 광신호를 2채널의 출력부를 통해 분리하는 광분배기 구조이다. 본 연구에서 제안된 일체형 구조의 제작은 롤투롤 공정 기술을 이용하여 제작하고 그 특성을 평가하였다. 롤투롤 공정 기술은 광소자의 제작에 들어가는 시간을 절감하고 연속생산이 가능한 방법이다. 제작된 광소자의 광특성은 1550 nm의 광원을 이용하여 약 3.9 dB의 삽입손실과 0.2 dB의 채널 균일도를 나타내었다.

**Abstract:** Recently, high speed transmission and large information demand have been increased. Also, researches of integrated optical device for large production and high-efficient planar lightwave circuit (PLC) have been increased. In this paper, integrated optical alignment is proposed which makes passive alignment between optical device and optical fiber possible. The integrated optical device consists of splitter structures which have one input and two outputs. The proposed integrated structure was fabricated by roll-to-roll (RTR) processing method. This method enables to manufacture continuously and the processing time can be shortened. Optical property of the fabricated optical device showed 3.9 dB insertion loss and 0.2 dB optical uniformity using the light source with 1550 nm wavelength

**Keywords:** Planar lightwave circuit, Integrated patterns, R2R process, Roll to Roll imprint, Optical interconnection.

## 1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿PC 등의 전자 기기가 보급됨에 따라 고속, 대용량 정보전송의 수요가 급격하게 증가되어 대량생산, 고효율의 평면 광소자(PLC: Planar Lightwave circuit)의 필요성이 대두되고 있다. 최근 수년간 평면 광소자는 고속 정보 전송을 구현하기 위해서 오랜 기간 연구되었다.<sup>1-3)</sup> 일반적으로 평면 광소자는 실리카를 기반으로 제작이 되고 있으며, 복잡한 공정과 반복적이고 장시간의 공정시간을 필요로 하는 반도체 공정과 단위 공정으로 제작이 된다. 이러한 공정 방법은 생산성과 저가격화의 한계를 가지고 있기 때문에 문제를 해결하기 위하여 다양한 공정 방법의 개발과 연구가 진행되고 있다.<sup>1-3)</sup>

최근 평면 광소자의 저가격화, 고집적화를 위하여 폴리머 소재를 이용한 광소자의 제작 공정 기술이 보고 되고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 폴리머 소재를 이용한 광소자 제작 공정 기술로서 대량생산을 위하여 임프린트 리소그래피(Imprint Lithography) 공정을 적용한 방법들이 관심을 받고 있으며, 연속생산까지 가능한 롤투롤(Roll to Roll) 임프린트 공정 기술 연구가 진행되고 있다. 임프린트 공정 기술은 미세구조물을 가진 금형을 이용하여 고분자에 한 번의 압인 공정으로 구조물을 복제하는 매우 간단한 기법으로 금형을 이용하고 패턴 전사 공정을 수행하여 금형의 구조물을 복제하는 기법이다.<sup>4-8)</sup> 롤투롤 공정은 이러한 임프린트 기법에서 나아가서 연속적으로 패턴의 복제가 가능하고 단순한 공정을 통해 짧은 공정시간과 낮은 생산 비

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: myjeong@pusan.ac.kr

© 2013, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

용이 가능한 기술이다.<sup>7-11)</sup> 그러나 평면 광소자는 광섬유와의 결합이 필수적이며, 결합을 위해서는 정밀한 광정렬 구조를 가지는 광소자의 설계를 필요로 한다. 고정밀도를 요구하는 광소자를 대량연속생산이 가능한 몰투몰 공정으로 생산하기 위해서는 평면형 광소자의 설계와 패키징을 위한 몰투몰 공정에 대한 연구가 필수적이다.

기존의 광섬유와 광소자의 정렬기술은 V-groove, U-groove등이 형성된 파이버 어레이 블럭(Fiber array block)를 사용하기 때문에 능동 정렬 및 연결 공정을 필요로 하고 고정밀의 정렬장치를 이용해야 한다. 이러한 정렬 문제는 정밀 가공 기술과 더불어 추가적인 공정 비용이 발생된다.<sup>5,6)</sup>

본 연구에서는 고분자를 이용한 평면형 광소자에서 광섬유와의 위치정렬 문제를 해결하기 위하여 일체형 구조를 제안하고 연속생산을 통한 생산성 향상이 가능한 몰투몰 공정을 이용하여 광소자를 제작하고 그 특성을 평가하여 공정기술의 유효성을 평가하였다.

### 2. 일체형 광소자 패키징 구조

일체형 광소자 패키징 구조로서 광섬유를 삽입할 수 있는 groove 형태의 광섬유용 채널 패턴을 설계하였다. 광정렬에 사용되는 groove는 형상에 따라 V-groove 와 U-groove를 사용한다. V-groove는 실리콘 기판을 (111)면에 따라 비등방성 식각을 통해 형성이 가능하고 U-groove는 포토리소그래피 공정을 통해서 U모양의 홈을 제작하여 사용한다.<sup>6)</sup> 광섬유용 채널에 광섬유를 삽입하는 공정으로 광정렬이 가능하도록 U-groove형태의 패턴을 설계하였다.

Fig. 1은 설계된 일체형 광소자의 모식도이다. U-groove 광섬유용 채널 패턴의 크기는 광섬유 지름인 125 μm의 크기를 채택하였다. 광섬유는 전반사를 위해 코어층과 클래드층이 있으며 이를 보호하기 위해 자켓층과 피복층으로 구성되어 있다. 광정렬을 위해 사용된 설계 및 제작에

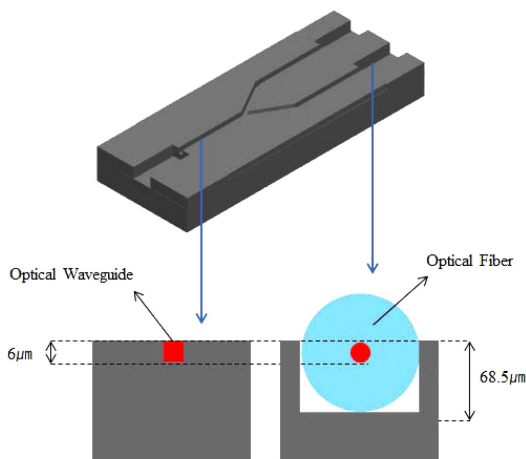


Fig. 1. Structural design of the optical PLC device.

Table 1. The design characteristics for optical PLC device.

Design point	Specification
Refractive index of Core	1.4915
Refractive index of Clad	1.4804
Wave length	1550 nm
Input Power	1
Output Power	0.49(ch1)
	0.49(ch2)

사용된 광섬유의 크기는 자켓층과 피복층을 제외한 나머지의 지름인 125 μm이다. 광소자의 크기와 광섬유의 크기를 고려하여 광섬유의 코어층과 광소자의 코어층을 동일 평면에 형성하기 위해서 광소자의 코어의 높이인 6 μm를 기준으로 광섬유가 삽입될 채널의 높이를 선정하였다. 광섬유 부분의 설계에서는 광소자와의 크기에서 차이로 인해 식각공정을 통한 U-groove를 제작하는 공정에 어려움이 있기 때문에 정밀도 향상을 위해서 광섬유가 고정이가 가능하면서 광소자와 정렬이 가능한 68.5 μm의 깊이로 설계를 하였으며, 넓이는 광섬유의 크기와 동일한 125 μm로 설계를 하였다.

설계된 광소자는 광분배기로써 1채널의 입력부에서 들어온 광신호가 2채널의 출력부로 분리되는 구조이다. 광소자 도파로의 크기는 6×6 μm로 코어는 UV-curable resin, 클래드는 PMMA (n=1.4804@1550 nm)로 설계를 하였다. 광소자 도파로의 분기부분은 공정상의 어려움을 최소화하기 위하여 1 μm로 설정하였다. 광분배 소자의 특성 목표는 1550 nm 파장 대역을 사용하고 삽입손실은 텔코디아 국제 규격에 따라 4.2 dB이하를 기준으로 설계하였다.

광섬유의 코어와 광소자의 코어를 동일 평면에 형성을 하여 광소자의 코어와 광섬유의 코어 중심축이 정렬되도록 설계하였다. 본 연구에서 사용한 광섬유는 단일 모드 광섬유를 사용하였으며, 광섬유의 코어 부분을 제외 한 나머지 크기는 119 μm이므로 광섬유를 광소자와 동일한 높이에서 결합이 되도록 광섬유의 U-groove의 깊이를 68.5 μm로 설계하여 광소자의 코어 중심축과 광섬유의 코어 중심축이 정렬이 되도록 하였다. 설계된 광소자는 입력값이 1일 때 출력단의 1채널과 2채널에서 각각 0.49, 0.49임을 확인하였다.

### 3. 몰투몰 기반 광소자 패키징

제안된 평면형 광소자 제작을 위해 몰투몰 임프린트 공정을 이용하였다. 몰투몰 임프린트 시스템은 재료의 균일한 도포를 위해 공급장치, 자외선 롤 성형 장치 및 가열장치로 구성된다.<sup>7)</sup> 롤 스탬프는 패턴의 치수 정밀도 및 내구성을 위하여 니켈 스탬프를 이용하여 제작 하였다.

스탬프의 제작은 Si 웨이퍼 위에 플라즈마 화학 증착(PECVD)기법으로 SiO2층을 증착하고 스펀코팅 공정을

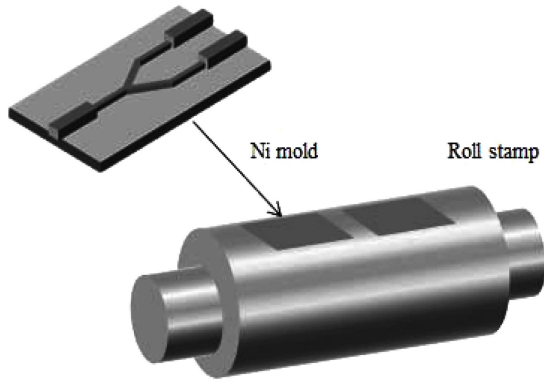


Fig. 2. Schematic view of the roll stamp.

이용하여 포토레지스트를 도포후 포토리소그래피 방법을 이용하여 원하는 패턴을 형성시켰다. 제작된 패턴을 RIE 기술을 이용한 식각공정으로 Si 스템프를 제작하였다. 제작된 Si 스템프는 음각 패턴으로 제작이 되었다. Si 스템프를 롤투롤 공정의 스템프로 사용하면 약한 강도값으로 인하여 스템프가 손상될 가능성이 높다. 또한 광소자와 광섬유를 삽입하기 위해서는 양각의 패턴을 가진 스템프가 제작되어야 한다. 따라서 롤투롤 공정의 스템프로 적용이 가능하고 양각의 패턴을 가지는 스템프를 제작하기 위해서 도금 공정을 적용하여 역상의 패턴을 가지는 Ni 스템프를 제작하였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 연마공정으로 제작한 원통형 금형에 회로패턴이 제작된 Ni 스템프를 부착하여 원통형 스템프를 제작하였다.

롤투롤 공정에서 롤가압, web속도에 따른 최적공정을 검토하면서 진행하였다. 성형의 특성을 알기 위하여 설계된 광소자의 패턴의 깊이로 성형 특성을 판단하였다. Fig. 3에서 보여지듯이 롤가압 0.5~1.5 MPa까지 변화를 주었으며 1.5 MPa에서 6 μm깊이의 패턴이 성형된 것을 확인하였다. Fig. 4에서와 같이 Web 속도는 5 mm/s~20 mm/s의 조건으로 공정을 진행하였으며 8 mm/s에서 원하는 패턴을 성형하였다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 5 mm/s에서도 같은 패턴의 높이를 보이고 있으나 생산성에서 8 mm/s가 더 높기 때문에 최적의 조건이라고 판단할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 롤가압은 1.5 MPa, Web 속도는

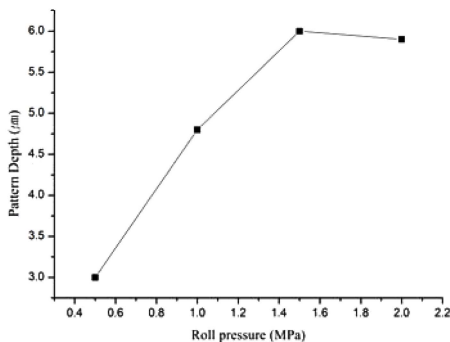


Fig. 3. Imprinted pattern depth according to the roll pressure.

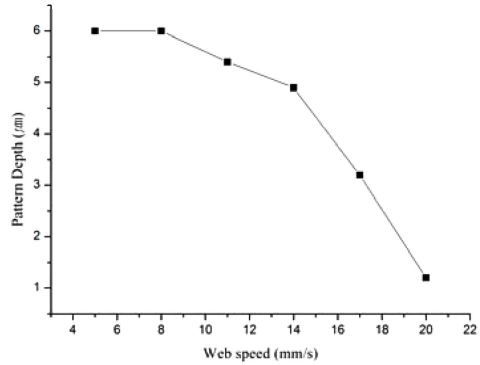


Fig. 4. Imprinted pattern depth according to the web speed.

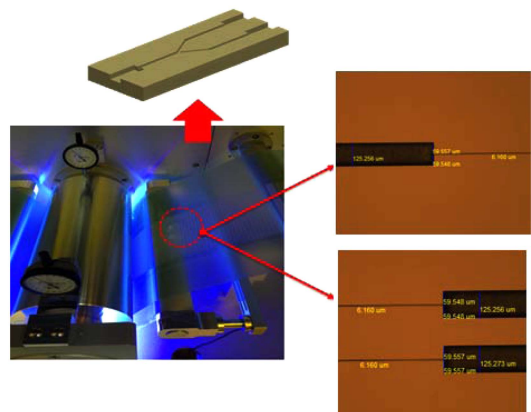


Fig. 5. Optical image of integrated patterned using roll to roll process.

8 mm/s의 롤투롤 공정으로 광소자를 제작하였다. Fig. 5에서와 같이 성형된 패턴의 크기는 광소자 패턴의 경우 6.16 μm이며 U-groove부분의 크기는 125.25 μm로 측정되었으며 정렬을 위한 광소자와 광섬유의 위치는 59.54 μm와 59.55 μm로써 약 0.01 μm의 오차를 가지고 광소자 부분과 광섬유의 삽입부가 정렬이 되어 성형된 것을 확인하였다. 제작된 광소자의 성능 평가는 일정한 광원의 파장대역에서 삽입손실을 측정하고 광소자들의 삽입손실과 채널간의 균일성을 측정하여 평가하였다.

본 논문에서는 일반적으로 광통신에서 사용하는 1550 nm 파장대의 광원을 사용하였으며, 광섬유를 파워미

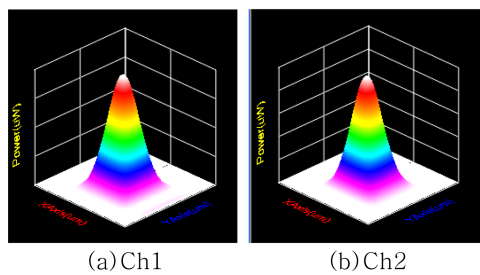


Fig. 6. Measurement of the optical beam profile of output power.

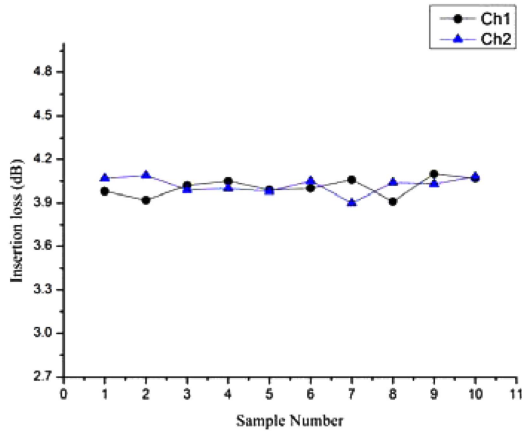


Fig. 7. Optical performance and insertion loss of fabricated optical PLC device.

터(Power meter)에 연결하여 측정하였다. 롤투롤 공정으로 제작한 광소자를 임의로 10개를 선택하여 삽입손실과 채널간의 균일도를 측정하였다. Fig. 6과 7에서 보여지듯이 제작된 일체형 평면 광소자의 삽입손실은 3.9 dB~4.1 dB의 삽입손실과 0.2 dB의 채널균일도를 나타내어 광학적으로 우수한 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 광소자와 광섬유간의 수동 정렬이 가능한 새로운 구조를 설계하고 제작하여 최적 공정인자의 조건을 검토하였다. 동시에 롤투롤 공정으로 제작하여 대량생산에 적합한 공정인 롤투롤 공정을 이용하여 광정렬 구조 내장형 평면 광소자를 제작하여 그 특성을 평가하였다. 이때 설계된 내장형 광소자는 일체형 구조이며, 광섬유가 삽입되는 부분이 블록을 가지도록 설계되었다. 광소자의 코어 부분과 광섬유의 코어 부분이 동일 평면상에 정렬이 되도록 기하학적 치수로 설계하였으며, 설계된 광소자를 실리콘 웨이퍼를 이용하여 포토리소그래피 공정과 식각공정을 통해 깊이가 다른 패턴을 가진 실리콘 스탬프를 제작하였다. 제작된 실리콘 스탬프를 전주도금공정을 통해서 역상의 패턴을 가진 니켈 스탬프를 제작하였으며, 이를 연마된 롤 금형에 부착하여 롤투롤 공정에 이용이 가능한 롤 스탬프를 제작하였다.

롤투롤 공정의 공정조건으로 롤 가압과 Web 속도를 선정하여 연구를 수행하였으며, 롤 가압 조건이 1.5 MPa이고 Web 속도가 8 mm/s일 때 원하는 패턴이 형성되는 성형 조건을 보였다. 패턴의 성형은 광소자 부분의 패턴을 기준으로 6.16  $\mu\text{m}$ 의 넓이를 가지며 광섬유 삽입부의 패턴은 125.25  $\mu\text{m}$ 를 가지고, 광소자와 광섬유의 정렬오차는 약 0.01  $\mu\text{m}$ 를 보였다.

제작된 광소자를 광섬유와 결합후 특성을 평가하였다. 삽입손실은 3.9 dB~4.1 dB로 나타났으며 채널 균일도 특

성은 0.2 dB로 우수한 광학적 특성을 확인하였다. 제안된 일체형 광소자 구조는 기존의 국제규격인 4.2 dB이하의 기준에 준하는 우수한 특성을 보였다. 제안한 평면형 광소자는 광정렬 및 연결구조를 단순화하면서도 우수한 광학적 특성을 나타내므로 향후 롤투롤 공정을 이용한 평면형 광소자의 제작 공정 기법에 대한 개선으로 저비용, 대량생산의 유효한 기법이 될 것으로 판단한다.

#### 감사의 글

본 연구는 “2012년 산학공동기술혁신사업”과 “지식경제부”, “한국산업기술진흥원”, “동남광역 경제권 선도산업지원단”의 “광역경제권 선도산업 육성사업”으로 수행된 연구결과입니다.

#### 참고문헌

1. J. H. Ryu, T. H. Lee, I. K. Cho, C. S. Kim and M. Y. Jeong, “Simple Fabrication of a Double-Layer Multi-Channel Optical Waveguide Using Passive Alignment”, *Opt. Express* 19(2), 1183 (2011).
2. J. H. Ryu, P. J. Kim, C. S. Cho, E. H. Lee, C. S. Kim and M. Y. Jeong, “Optical Interconnection for a Polymeric PLC Device Using Simple Positional Alignment”, *Opt. Express* 19(2), 8571 (2011).
3. D. M. Kim, J. H. Ryu and M. Y. Jeong, “Optical Packaging and Interconnection Technology”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 19(4), 13 (2012).
4. S. Y. Chou, P. R. Krauss and P. J. Renstrom, “Nanoimprint Lithography”, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 14(6), 4129 (1996).
5. K. Marua, Y. Fujii, S. Zhang and W. Hou. “Proposed Design for High Precision Refractive Index Sensor Using Integrated Planar Lightwave Circuit”, *Physics Procedia* 2, 2(1), 39 (2009).
6. J. A. Duan and Y. Zheng, “Experimental Study of the Packaging Failure for Optical Fiber Arrays”, *Advan. Mater. Res.*, 295-297, 1594 (2011).
7. A. Bessonov, J. W. Seo, J. G. Kim, E. S. Hwang, J. W. Lee, J. W. Cho, D. J. Kim and S. W. Lee, “Control over Pattern Fidelity and Surface Wettability of Imprinted Templates for Flexible Color Filter Manufacturing”, *Microelectron. Eng.*, 88(9), 2913 (2011).
8. K. S. Chenab, K. S. Oua and Y. M. Liaoa, “On the Influence of Roller Misalignments on the Web Behavior during Roll-to-Roll Processing”, *J. Chinese Inst. Eng.*, 34(1), 87 (2011).
9. S. H. Ahn and L. J. Guo, “High-Speed Roll-to-Roll Nanoimprint Lithography on Flexible Plastic Substrates”, *Advan. Mater.*, 20(11), 2044 (2008).
10. J. Dumong, K. Ansari, C. Tan, S. Y. Yew and H. Y. Low, “Interfacial and Process Considerations in UV Roll-to-Roll Nanoimprinting at 50 nm Resolution: Elimination Legacy Coatings and Improving Manufacturability”, *Proc. 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology*, Jeju, Korea Institute of Machinery & Materials (2011).
11. N. W. Kim, K. W. Kim and H. C. Sin, “A Viscoelastic Finite Element Analysis of Thermal Nanoimprint Lithography Process”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 14(4), 1 (2007).