

# 나노 임프린트 기술을 이용한 폴리머 도파로 기반의 브래그 격자형 파장 가변 필터

김도환 · 진원준 · 이상신<sup>†</sup>

광운대학교 전자공학과  
Ⓣ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

안세원 · 이기동

LG 전자기술원 소재재료연구소  
Ⓣ 137-724 서울특별시 서초구 우면동 16

(2006년 1월 10일 받음, 2006년 1월 26일 수정본 받음)

본 논문에서는 UV 나노임프린트 기술을 이용하여 파장가변 필터를 제안하고 구현하였다. 제안된 소자는 폴리머 도파로 기반의 브래그 격자와 열 광학효과를 위한 히팅용 전극으로 구성되어 있다. 도파로 패턴과 브래그 격자 패턴이 결합된 임프린트용 스탬프를 이용하여 브래그 격자를 구현하였다. 전극에 전력을 인가하여 폴리머의 열 광학효과를 통하여 필터의 중심파장을 효과적으로 이동시킬 수 있었다. 제작된 소자는 브래그 파장대역인 1560 nm 에서 대역저지 소멸비가 15 dB이며, 대역폭이 0.8 nm였다. 또한 소비 전력이 7 mW일 때 중심파장은 1560 nm에서 1558 nm로 이동되었다. 이 때 열 광학효과 파장가변 특성이 약 0.28 nm/mW 였다.

주제어 : Tunable filter, Bragg grating, Optical polymer, Nanoimprint.

## I 서 론

폴리머 도파로 기반의 브래그 격자(bragg grating)를 이용한 파장 필터는 간단한 제조 기술, 저렴한 가격, 다른 소자와의 집적화가 용이함 등의 장점으로 인하여 DWDM(dense wavelength division multiplexed network)의 핵심소자로서 집중적으로 연구되어 왔다<sup>[1-4]</sup>. 지금까지 보고된 관련 소자의 제조 방법을 살펴보면, 첫째로 폴리머 도파로에 위상 마스크를 이용하여 브래그 격자 패턴을 형성시키고 이 후 포토리소그래피(photo lithography) 공정과 건식식각공정을 이용하는 방법과<sup>[1]</sup>, 두개의 레이저 빔의 간섭(LIL: laser interference lithography) 기반의 direct-writing 방법을 적용하여 제작하는 방법<sup>[2,3]</sup> 있다. 이러한 기존의 제조 방법은 복잡한 공정과정을 거치기 때문에 대량생산을 위한 재현성에 큰 문제점을 가지고 있다. 또한 기존의 e-beam direct-writing 방법<sup>[4]</sup> 역시 공정 과정에서 긴 노출시간이 필요하기 때문에 매우 낮은 처리량으로 인한 문제점이 지적되고 있다. 한편, 최근 들어 UV 나노임프린트 기술을 이용하여 제작된 폴리머 브래그 격자 파장 필터가 보고 되었다<sup>[5]</sup>. 이 기술은 높은 품질의 나노 스케일의 최소 선폭을 갖는 폴리머 소자를 대량으로 생산하기 위한 가장 실용적인 기술로 평가 받고 있다<sup>[6]</sup>. 나노임프린트 기술은 브래그 격자와 도파로 패턴이 결합된 스마트 스탬프(smart stamp)를 이용하면 기판 위에 폴리머를 스핀코팅 한 후 오직 한번의 임프린트 공정을 통해서 소자를 제작할 수 있게 된다. 본 연구에서는 나노임프린트 기술을 이용해 제작

한 폴리머 브래그 격자 위에 히터를 형성하고 전기적인 파워를 인가한다. 따라서 폴리머의 열 광학효과(thermooptic effect)에 의해 굴절률이 변화되며 이를 통해 효율적으로 파장이 가변되는 파장 가변 필터를 구현하였다.

## II 제안된 파장 가변 필터의 동작원리 및 설계

그림 1에는 본 논문에서 제안된 파장가변 필터의 구조가 도시되어 있다. 이 소자는 실리콘 기판 위에 인버티드(inverted) 릿(rib) 구조의 단일 모드 도파로와 도파로의 코어의 하단에 브래그 격자가 형성되어 있고, 상부 클래딩 위에 위치한 박막의 히팅용 전극을 통하여 전체 소자를 구성하고 있다. 이소자는 최초 광이 입력되었을 때 브래그 격자에 의해  $\lambda_B = 2n_{eff}A_g$ 에 따른 브래그 파장을 갖는 광만이 입력 방향으로 다시 반사되며,  $\lambda_B$  이외의 파장을 갖는 광은 출력방향으로 전달된다. 여기서  $n_{eff}$ 는 도파로의 기본 전파모드의 유효굴절률이며,  $A_g$ 는 브래그 격자의 주기를 나타낸다. 또한 브래그 격자의 반사 효율은 브래그 격자의 높이와 길이에 비례하여 증가한다. 폴리머 도파로를 설계하기 위하여 빔전파 방법(BPM: beam propagation method)를 이용하였고 제안된 도파로의 구조는 다음과 같다. 즉, 도파로의 너비와 코어 레이어의 두께는 6  $\mu\text{m}$ 이고 릿의 두께는 3  $\mu\text{m}$ , 임프린트 후 코어 폴리머를 스핀코팅 하였을 때 잔여층의 두께가 3  $\mu\text{m}$ 임을 감안하였다. 또한 하부 클래딩과 상부 클래딩의 두께는 각각 20  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 제안된 소자의 중심 파장을 약 1560 nm로 결정하기 위하여 브래그 격자의 격자주기는 ~ 530 nm이다. 또한 반사 효율을 향상시키기 위하여 브래그

<sup>†</sup> E-mail: sslee@daisy.kw.ac.kr

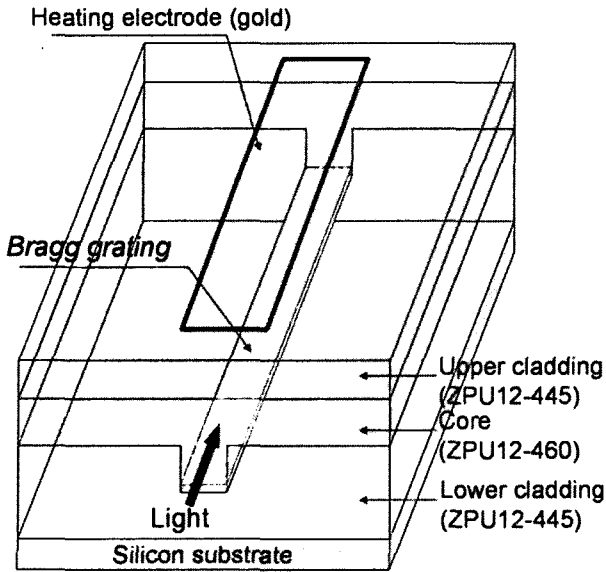


그림 1. 제안된 브래그 격자를 이용한 파장가변필터.

격자의 두께는 0.8  $\mu\text{m}$ 이고, 소자의 총 길이는 15 mm이다. 히팅용 전극은 폴리머에 전기적인 파워를 인가하는 역할을 하며, 이로 인하여 도파로를 구성하고 있는 폴리머가 열 광학 효과에 의하여 영향을 받게 된다. 즉 상부클래딩과 코어 그리고 하부클래딩 레이어가 모두 히팅이 되어 굴절률이 낮아지게 되고 이는 곧 도파로의 유효굴절률이 변하게 된다. 결과적으로 제안된 필터의 브래그 파장이  $\Delta\lambda_B = 2\Lambda_y \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \Delta T$ 에 의하여 단파장 방향으로 이동하게 되어 파장가변 필터로 동작할 수 있게 된다. 여기서  $\frac{\partial n_{eff}}{\partial T}$ 는 폴리머의 열 광학계수를 나타내며,  $\Delta T$ 는 인가된 전력에 비례하여 실제적인 폴리머 내의 온도 변화를 나타내며 본 논문에서 도파로의 코어와 클래딩에 사용될 폴리머의 열 광학계수는  $1.5 \times 10^{-4}$ 로 동일하다<sup>[7]</sup>. 최종적으로 실리콘 기판은 히트 싱크(heat sink)로 동작하여 폴리머로 전달된 열을 소비하는 역할을 하여 안정적인 파장가변 동작을 보장한다.

### III. 소자의 제작 및 측정 결과

제안된 파장가변 필터를 제작하기 위하여 단일모드 도파로의 상·부 클래딩과 코어는 각각 Chemoptics사의 UV 경화용 폴리머인 ZPU12-445 ( $n=1.445$  @1.55  $\mu\text{m}$ ), ZPU12-460 ( $n=1.460$  @1.55  $\mu\text{m}$ )를 이용하였다. 히팅용 전극은 얇은 금 박막으로 형성한다. 또한 히팅용 전극은 너비가 14  $\mu\text{m}$ 이고, 길이는 10 mm이며 전극의 두께는 100 nm이다. 나노임프린트 기술을 이용하여 소자를 제작하기 위해서는 이미 제작된 임프린트용 스탬프가 필요하다. 먼저 스탬프를 제작하는 공정을 살펴보면 퀴츠 글래스 (quartz glass) 기판 위에 Shipley사의 positive 포토레지스트인 SPR-508A를 스펀코팅 한다.

레이저 빔 간섭 리소그래피를 이용하여 브래그 격자 패턴을 형성한다<sup>[5]</sup>. Atec Engineering사의 RIE (reactive ion etching) 시스템을 사용하여 포토레지스트에 격자 패턴을 형성한다. 이때 RIE 식각 공정 조건을 살펴보면 RF 파워는 100 W, 압력은 50 mTorr, 반응가스는  $\text{CHF}_3$ 와  $\text{O}_2$ 가 각각 50 sccm, 5 sccm이며 식각률은 1.0 nm/sec이다. 이후 Atec Engineering사의 크롬(Cr)의 증착률이 0.1 nm/sec를 갖는 RF sputtering 시스템을 사용하여 10 nm 두께를 갖는 Cr 레이어를 증착한다. 이는 도파로 마스크를 이용하여 리소그래피공정과 RIE 공정을 통하여 도파로를 형성하기 위한 목적을 갖고 있다. 퀴츠 기판상에 위의 RIE를 이용하여 식각공정을 통해 브래그 격자를 형성한다. 이 때 다음과 같은 공정조건을 갖는 RIE 공정을 이용하여 크롬층을 제거한다. RF 파워는 50 W, 압력은 200 mTorr, 반응가스는  $\text{Cl}_2$ 와  $\text{O}_2$ 가 각각 50 sccm, 10 sccm이고 식각률은 0.1 nm/sec이다.

브래그 격자가 새겨진 도파로 패턴을 포함한 제작된 임프린트용 스탬프가 그림 2에 도시되어 있다. 도파로 패턴의 너비와 높이는 각각 6  $\mu\text{m}$ 와 3  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 브래그 격자의 높이는 0.8  $\mu\text{m}$ 이고, 격자 주기는 ~530 nm이다. 이때 브래그 격자의 duty ratio는 약 0.5이다. 개략적인 공정과정은 그림 3에 도시되어 있으며, 이는 브래그 격자가 새겨진 도파로 패턴을 가진 임프린트 스탬프를 이용하여 도파로 패턴과 브래그 격자를 하부 클래딩에 전사되는 것이다. 구체적으로 살펴보면 하부 클래딩을 형성하기 위하여 소량의 ZPU12-445 폴리머를 기판 위에 도포한다. 원하는 하부 클래딩의 두께인 20  $\mu\text{m}$ 를 형성하기 위하여 분배된 하부 클래딩 폴리머 위에 미리 제작된 스탬프에 일정한 압력을 갖고 임프린트한다. 이때 NND사의 임프린트 장비를 이용하였으며, 임프린트 압력은 압축된 질소가스를 이용하여 80 bar까지 제어하여 조절한다. 임프린트 압력을 조절함으로써 하부 클래딩의 폴리머 두께를 조절할 수 있으며, 이는 SEM(scanning electron micro-

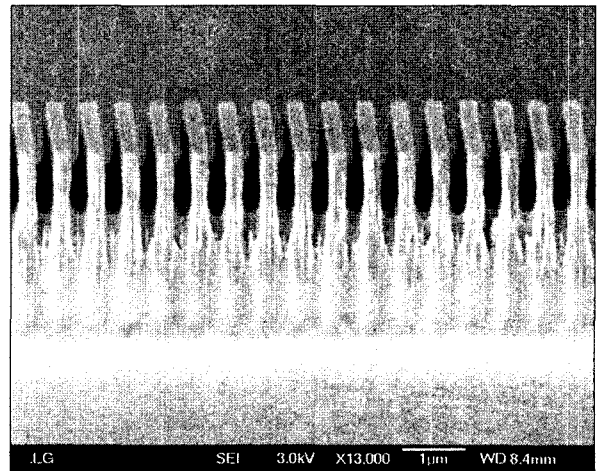


그림 2. 제작된 임프린트용 스탬프의 SEM 사진.

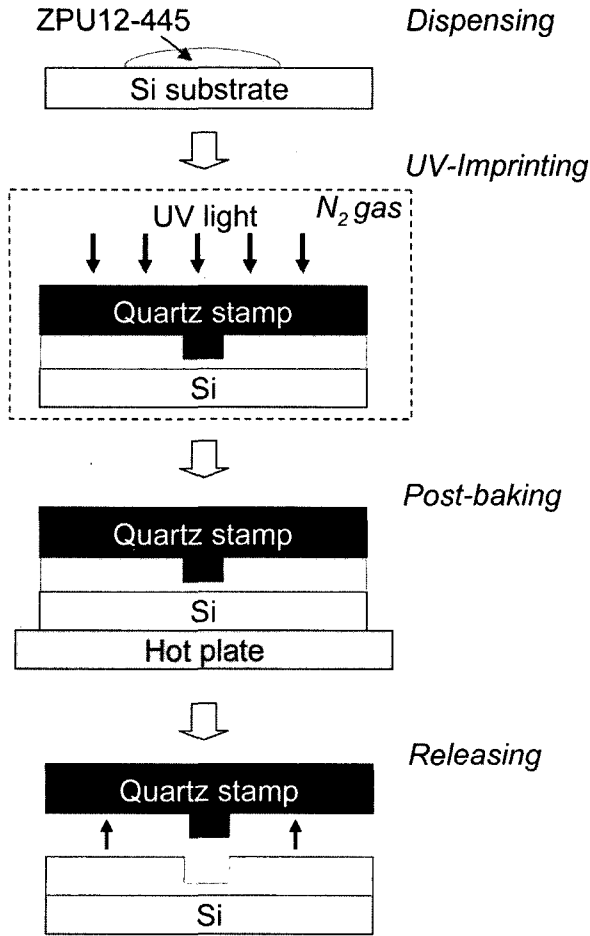


그림 3. 도파로 기반의 브래그 격자 제작을 위한 UV 임프린트 공정.

scope)를 이용하여 측정할 수 있게 된다. 특히 임프린트 스탬프에 가하는 압력을 세밀하게 조절함으로써 하부 클래딩의 두께를 수십  $\mu\text{m}$ 에서 수  $\mu\text{m}$ 까지 정확하게 제어할 수 있게 된다. 스탬프가 하부 클래딩에 접촉되는 동안 임프린트 장비 자체적으로 폴리머 경화를 위하여  $\text{N}_2$  분위기에서 UV가 조사된다. 사용되는 자외선 광원은 Xenon 램프를 사용하며, 이때 광원의 방출 스펙트럼은 자외선에서 가시광선이고, 이때의 전기적 파워는 1 kW이다. 임프린트 후 형성된 하부 클래딩을 핫 플레이트(hot plate)를 이용하여  $160^\circ\text{C}$ 에서 30분간 포스트 베이킹한 후 스탬프를 제거한다. 그림 4에는 하부 클래딩에 전사된 브래그 격자 패턴의 모습을 도시하고 있다. 제작된 브래그 격자는 aspect ratio가 약 3이며, 이는 광의 진행방향에 대하여 브래그 격자의 높이( $\sim 800\text{ nm}$ )와 격자의 너비( $\sim 265\text{ nm}$ )의 비율을 나타낸다. 임프린트된 도파로 패턴 위에 ZPU12-460 폴리머를 스피코팅하여 코어를 형성하고, 동일한 방법을 이용하여 상부 클래딩을 형성하게 된다. 전극형성을 위한 마스크를 이용하여 영상반전공정(image reversal process)방법을 도입하여 히팅용 전극을 형성할 수 있게 된다. 따라서 먼저 상부 클래딩 위에 포토레지스트 AZ5214를

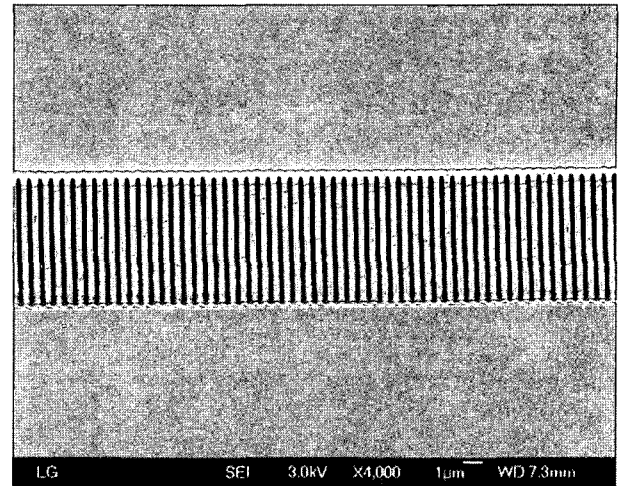


그림 4. 브래그 격자가 임프린트 공정 후 하부 클래딩에 전사된 SEM 사진.

스핀코팅한 후 증착률  $1\text{ \AA}/\text{sec}$ 를 갖는 e-beam 증착기를 이용하여 포토레지스트 위에 골드 히팅용 전극을 증착한 후 lift-off 기술을 이용하여 최종적인 히팅용 전극 패턴을 형성하게 된다. 형성된 전극의 저항은 정밀한 스테이지 위에 마운트된 두개의 프로브 팁을 전극의 끝에 접촉시킴으로써 측정하였고 약  $280\text{ }\Omega$ 이다. 마지막으로 광섬유와의 결합을 위하여 제작된 소자의 단면을 다이싱(dicing)하여 그림 5와 같이 최종적인 소자를 구현하였다.

제작된 파장가변 필터의 전달특성을 측정하기 위하여 파장가변 광원(TLS: Agilent 81640A)와 광 파워미터를 사용하였고 히팅용 전극의  $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 의 크기를 갖는 패드에 정밀한 스테이지 위에 마운트된 두 개의 프로브 팁을 이용하여 전력을 인가하여 측정하였다. 소자의 입력과 출력은 한 쌍의 단일모드 광섬유를 end-fire 결합을 통하여 측정하였고 이때 소자의 삽입 손실은 두개의 광섬유 사이에 소자의 유무 상태

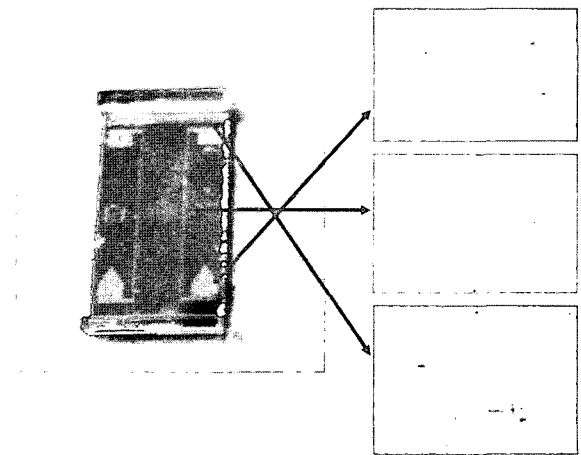


그림 5. 제작된 파장가변필터의 모습.

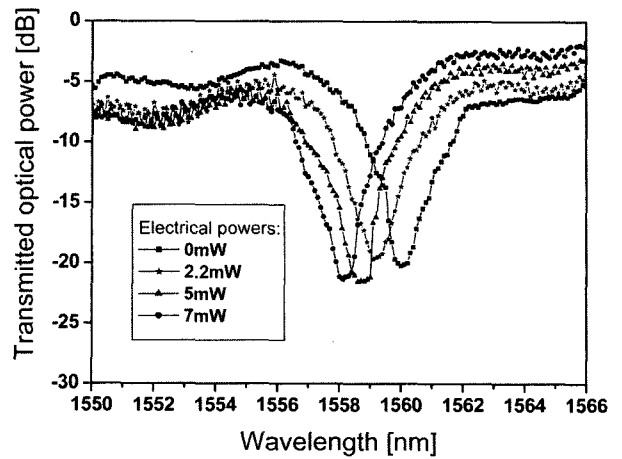
에서 광 파워를 측정하여 비교하였다. 따라서 이 때 소자의 결합손실과 전송손실을 포함하는 삽입손실은 5 dB로 측정되었다. 그림 6(a)에는 전기적인 파워를 가변하여 측정된 TE모드에서의 파장에 대한 전달 스펙트럼을 도시하고 있다. 전력을 인가하지 않았을 경우, 3-dB 대역폭이 0.8 nm인 선명한 대역저지 특성을 보이고 있다. 1560 nm 대역에서 대역저지 소멸비는 약 15 dB 이상이였다. 전력이 증가함에 따라 폴리머의 굴절률은 증가적으로 감소하며, 따라서 필터의 중심파장은 열 광학효과에 의하여 단파장 쪽으로 이동하게 된다. 그림 6(b)에는 인가된 전기적인 파워에 대하여 중심파장의 이동을 측정한 결과가 도시되어 있다. 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 전력을 7 mW가 소비될 경우에 필터의 중심파장이 1560 nm에서 1558 nm로 이동되었다. 따라서 전기적인 파워에 대하여 중심파장 이동이 선형적으로 변한다고 가정하면 즉 파장가변 효율은 약 0.28 nm/mW임을 알 수 있었다. 전력을 7 mW 이상 인가하면 대역저지 특성이 점차적으로 소멸되었다. 이는 히팅용 전극 패턴이 공정상의 오류로 인하여 저항성분의 분포가 균일하지 않아 도파로의 특정 위치에 대한 굴절률의 변화가 과도하게 일어나는 현상이 유발되어 브래그 격자의 반사 방향으로의 모드결합이 저해되어 나타난 결과로 사료된다. 하지만 소자의 성능을 저해하는 요인을 향후 연구를 통해 극복할 수 있을 것으로 생각된다. 즉 도파로의 구조를 최적화 시키고, 폴리머의 열 광학효과를 개선시킴으로써 파장가변 특성을 향상시킬 수 있을 것이다.

IV. 결 론

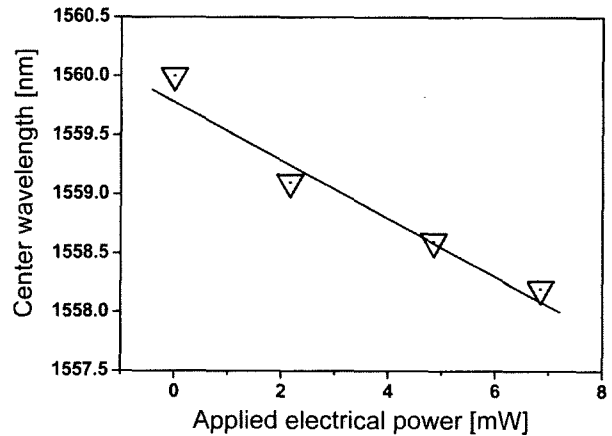
본 논문에서는 나노임프린트 기술을 이용하여 폴리머 도파로 기반의 브래그 격자 파장 가변 필터를 설계하고 구현하였다. 제안된 소자는 브래그 격자 패턴과 도파로 패턴이 결합되어 있는 스마트 임프린트용 스탬프를 이용하여 간단히 구현할 수 있었다. 또한 파장가변 필터로 동작시키게 하기 위하여 히팅용 전극을 소자의 상부 클래딩 위에 형성시켰고 이에 따라서 폴리머의 열 광학효과를 이용하여 파장가변 특성이 1560 nm 대역에서 인가되는 전기적인 파워에 대하여 0.26 nm/mW의 특성을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기프론티어 연구개발 사업의 일환인 나노 메카트로닉스 기술 개발사업단의 연구비와 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(No. R08-2004-000-10312-0).



(a)



(b)

그림 6. 열 광학효과에 따른 파장 가변 특성 (a) 전기적 파워에 따른 소자의 전달 특성 (b) 전기적 파워에 따른 파장가변특성.

참고문헌

[1] M. C. Oh, H. J. Lee, M. H. Lee, J. H. Ahn, S. G. Han, and H. G. Kim, "Tunable wavelength filters with Bragg gratings in polymer waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 2543-2545, 1998.

[2] L. Eldada, R. Blomquist, M. Maxfield, D. Pant, G. Boudoughian, C. Poga, and R. A. Norwood, "Thermooptic planar polymer Bragg grating OADM's with broad tuning range," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 448-450, 1999.

[3] J. W. Kang, M. J. Kim, J. P. Kim, S. J. Yoo, J. S. Lee, D. Y. Kim, and J. J. Kim, "Polymeric wavelength filters fabricated using holographic surface relief gratings on azobenzene-containing polymer films," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp. 3823-3825, 2003.

- [4] W. H. Wong and E. Y. B. Pun, "Polymeric waveguide wavelength filters using electron-beam direct writing," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, pp. 3576-3578, 2001.
- [5] S. W. Ahn, K. D. Lee, D. H. Kim, and S. S. Lee, "Polymeric wavelength filter based on a Bragg grating using nanoimprint technique," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2352-2354, 2005.
- [6] S. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, , "Nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 14(6), pp. 4129-4133, 1996.
- [7] Y. O. Noh, J. M. Kim, M. S. Yang, H. J. Choi, H. J. Lee, Y. H. Won, and S. G. Han, "Thermooptic 2x2 asymmetric digital optical switches with zero-voltage operation state," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, pp. 446-448, 2004.

### Tunable Polymeric Bragg Grating Filter Using Nanoimprint Technique

Do-Hwan Kim, Won-Jun Chin and Sang-Shin Lee<sup>†</sup>

*Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, 447-1 Wolgye-Dong, Nowon-Gu, Seoul 139-701, Korea*

Seh-Won Ahn and Ki-Dong Lee

*Devices and Materials Lab., LG Electronics Institute of Technology, 16 Woomyeon-Dong, Seocho-Gu, Seoul 137-724, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: sslee@daisy.kw.ac.kr*

(Received January 10, 2006, Revised manuscript January 26, 2006)

A tunable wavelength filter was proposed and demonstrated by using the UV nanoimprint technique. It consists of a Bragg grating in polymer waveguides and a heating electrode. The manufacturing of the grating was substantially simplified with the introduction of a smart imprint stamp containing a waveguide pattern integrated with the grating pattern. The center wavelength of the filter was successfully tuned by taking advantage of the thermooptic effect in polymers, which was induced by supplying electrical power to the electrode. For the fabricated device, a transmission dip of ~15 dB and a 3-dB bandwidth of 0.8 nm were obtained at the Bragg wavelength of ~1560 nm. The achieved thermooptic tuning efficiency was ~0.28 nm/mW, while the center wavelength was shifted from 1560 nm to 1558 nm with the electrical power consumption of 7 mW.

OCIS Codes : 230.5750, 290.5880, 250.5460.