

## 레이저 홀로그래피법을 이용한 폴리머 광결정의 패턴형성 기술

장원석\*(한국기계연구원 나노공정그룹), 문준혁(한국과학기술원 생명화학공학과), 양승만(한국과학기술원 생명화학공학과)

### Polymer Photonic Crystals Using Laser Holography Lithography

W. S. Chang\* (Nano Machining Group, KIMM), J. H. Moon(Chemical and Biomolecular Eng. Dept., KAIST), S. M. Yang(Chemical and Biomolecular Eng. Dept., KAIST)

#### ABSTRACT

We have demonstrated the fabrication of patterned 3D photonic crystals by holographic lithography in conjunction with soft lithography. Holographic lithography created 3D ordered macroporous structures and soft lithography made tailored defects. Because the hard baked photoresist pattern possessed high resistance against the uncured photoresist solution and the refractive index did not change appreciably by hard baking, a crosslinked photoresist was used as a relief pattern for the holographic fabrication of patterned 3D photonic crystals. More complicated defect geometries might be easily obtained with more complicated patterns on PDMS stamps. Moreover, the present results might be used as templates for 3D PCs of high-index defects that can be exploited as optical waveguides and optical circuits.

**Key Words** : Photonic Crystal (광결정), Holography (홀로그래피), Photolithography (광 리소그래피), 3D fabrication (3차원 제작기술), Soft lithography(소프트 리소그래피)

#### 1. 서론

광결정(photonic crystal)은 빛의 파장에 대하여 굴절율이 변조된 광학재료를 말한다. 광결정을 제작하는 기술은 포토닉 밴드갭(photonic band gap)과 같은 광학적 구조물을 제작에 응용할 수 있는 장점에 의하여 많은 관심을 받아왔다. 일반적으로는 포토레지스터와 같은 폴리머 재료를 주기적 구조를 갖도록 식각하여 제작한다. 이러한 2 차원 3 차원의 주기적 구조는 웨이퍼에 제작된 2 차원 구조를 불이거나<sup>1</sup>, 블록 코폴리머(block copolymer) 혹은 콜로이드(colloid)의 자기 조립의 방법<sup>2,3</sup>으로 만들어져왔다. 최근에 들어서는 홀로그래피를 이용한 리소그래피의 방법<sup>4</sup>이 보고되고 있다.

이러한 방법 중 홀로그래피를 이용한 리소그래피는 기존의 광 리소그래피에서 사용하는 레지스트를 사용하며 마스크를 사용하지 않고 다중 빔의 간섭 무늬를 이용한 패턴을 사용하는 방법이다. 이 방법은 기존의 광 리소그래피가 갖는 장점인 대면

적 가공 및 불량률이 적은 가공이라는 장점과 함께 3차원 구조물을 만드는 것이 가능하다는 점이 큰 장점으로 부각되고 있다.

벌크의 광결정 구조에 잘 정의된 점이나 선 등을 포함시키는 것은 이러한 광결정 구조를 포토닉 칩(photonic chip)<sup>5</sup>과 같은 미세 광학 집적 부품으로 응용을 할 수 있다. 가령 선 모양의 디펙트(defect)는 파장 스케일의 경로변경, 군속도분산<sup>6</sup> 등의 독특한 특성을 가진 광 도파로로 활용할 수 있다. 콜로이드의 자기조립을 이용한 제조방법의 경우는 소프트 리소그래피 또는 광 리소그래피 방법을 이용하여 조절가능한 디펙트를 가진 콜로이드 결정의 성장을 조절하는 방법들이 제안되어져 왔다. 즉 콜로이드 결정을 패턴된 도체에 자기조립 시키거나 마이크로 채널내에 물리적으로 가두는 방법들이 제시되었다<sup>7,8</sup>.

본 논문에서는 홀로그래피 리소그래피(holographic lithography)와 소프트 리소그래피(soft lithography)를 조합하여 3 차원 폴리머 광결정 패턴

을 제조하는 방법을 제시하였다. 즉 소프트 리소그래피로 광 도파로가 될 디렉트를 만들고 홀로그래피 리소그래피를 이용하여 3 차원의 주기적 구조를 제작한다.

## 2. 실험 및 고찰

### 2.1 실험방법

본 실험에서 사용한 기본 재료는 상용화된 SU-8 포토 레지스터로 에폭시 베이스 레진, 광 시약제 (photoinitiator), 광 감광제(photosensitizer)를 포함하고 있다. 이 포토 레지스터는 355nm 의 레이저 파장에 의하여 감광되며 광 조사후 현상하여 구조를 만들게 된다.

본 실험의 레이저 홀로그래피와 소프트 리소그래피를 사용하여 구조물을 제작하는 기본적인 절차를 Fig. 1 에 도식으로 나타내었다.

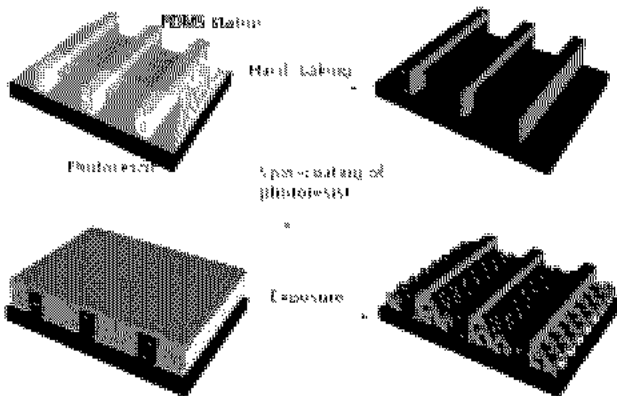


Fig. 1 Fabrication of a line patterned PCs using soft lithography and holographic lithography. The photoresist was infiltrated into micro-channel arrays of the PDMS stamp(a). Hard baking induced a fully crosslinked polymer with a replica shape of the PDMS pattern. (b). Next, the photoresist solution was spin-coated (c), followed by the exposure to the laser beams. The 3D interference pattern was transferred onto the photoresist with line patterned (d).

위의 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 PDMS 몰드 (mold)를 전 처리된 유리 모재 표면에 위치 시키서 몰드와 유리 사이에 공간 채널을 형성하게 한다. 다음 몇 방울의 SU-8 레지스터를 채널의 끝에 위치 시켜 모세관 현상으로 빈 채널이 SU-8 이 채워지게 한다. 이렇게 채워진 채널은 65°C 의 초벌 가열과 200°C 의 고온가열을 통하여 고체화를 시키게 되고

이후 PDMS 몰드를 제거하여 유리 모재위에 채널 패턴을 만든다. 이렇게 만들어진 패턴에 다시 액체화된 레지스터를 스핀코팅 (spin coating)하여 덮는다. 이렇게 고체화된 패턴은 포토 레지스터 용액에서 녹아들지 않으며 633nm 의 레이저 파장에서 굴절률을 조사할 때 고체화 되기 전의 굴절률과 거의 변화가 없어 포토 레지스터 코팅 후 패턴은 보이지 않게 된다. 패턴된 채널과 포토 레지스터를 코팅한 후의 SEM 사진 및 광학 현미경 사진을 Fig. 2 에 나타내었다.

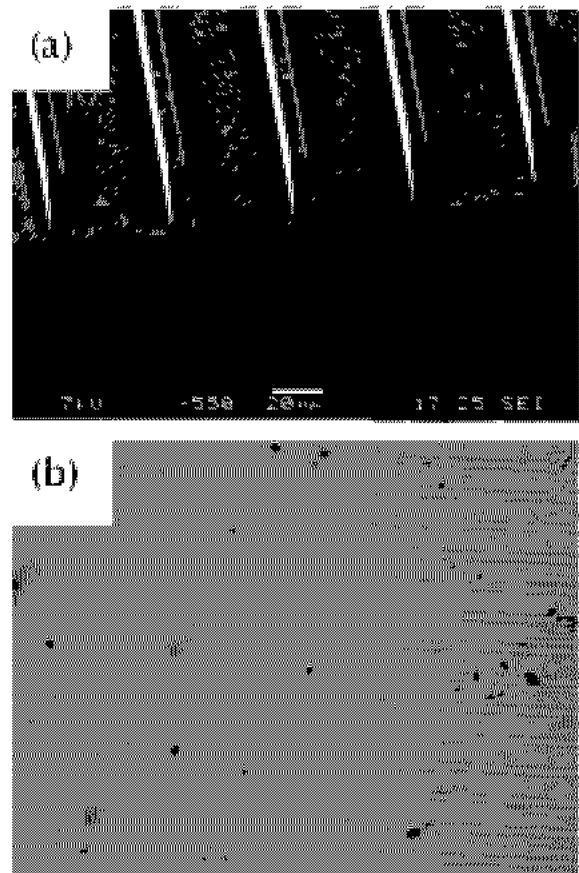


Fig. 2 (a) SEM images of hard-baked photoresist with 10  $\mu\text{m}$  high  $\times$  10  $\mu\text{m}$  wide line patterns, spaced at 50 $\mu\text{m}$ , (b) Photoresist covered on patterned hard-baked photoresist. The patterned was shown only in the uncovered region (right part)

### 2.2 실험결과 및 고찰

고체화된 포토 레지스터 위에 코팅된 포토레지스터는 유리 모재를 통하여 레이저 빔을 조사시킨다. 이때 레이저 빔은 빔 스프리터를 통하여 세개

의 빔을 조사하여 홀로그래픽 회절 패턴을 형성시키며 외부 셔터를 통하여 0.5-1 초 정도로 빔 조사 시간을 조절한다. 빔 조사 후 65°C 에서 10-15 분 가열한 후 레지스터의 현상액에 넣어 홀로그래피 패턴을 만들어 낸다. 이렇게 해서 만들어진 패턴의 SEM 사진을 Fig. 3 에 나타내었다.

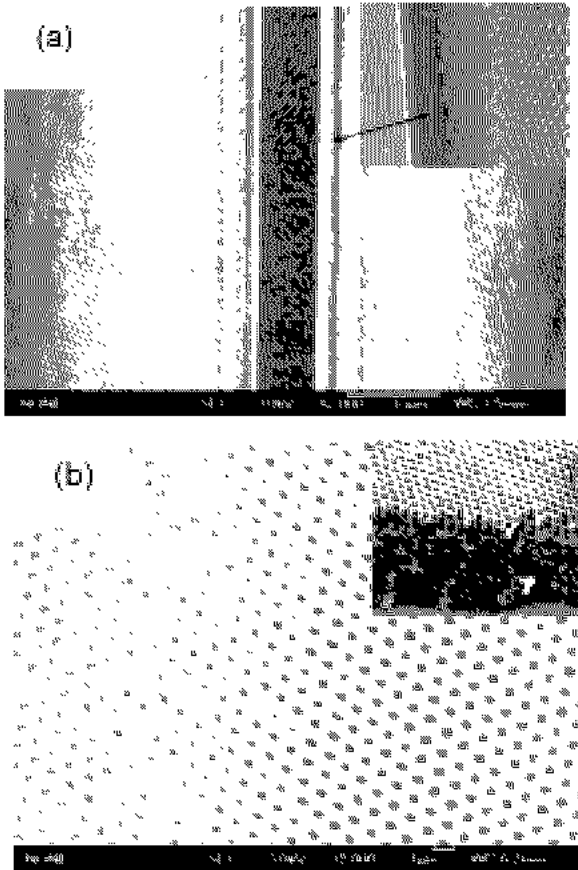


Fig. 3 (a) SEM images of patterned PCs by holographic lithography and (b) cross-section

이때 고체화된 채널과 홀로그래픽 패턴 사이에 굴절률의 차이가 있으면 산란이 일어나는데 이 경우 산란은 일어나지 않은 것으로 나타났다. 그러나 미리 형성된 채널과 광굴절 구조 사이에 틈이 벌어진 것을 볼 수 있다. 이것은 광 조사 후 현상시에 고체화된 레지스터와 코팅 된 레지스터 사이의 열팽창 계수의 차이에 의하여 빛의 조사 후 가열과 현상시에 발생한 것으로 생각된다. 이러한 문제는 현상 후에 CO<sub>2</sub> 가스를 이용한 건조와 포로 레지스트 안의 적절한 충진재를 삽입하는 것으로 보완할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서 홀로그래픽 리소그래피와 소프트 리소그래피의 방법을 이용하여 3 차원 광굴절 구조를 제작하는 방법을 제시하였다. 홀로그래픽 리소그래피는 2 차원 구조를 형성할 수 있으며 소프트 리소그래피는 정의된 디펙트를 형성 할 수 있어 원하는 형태의 광굴절 구조를 제작할 수 있는 장점을 가진다. 고체화된 포토레지스터는 레지스트 용액에 대해 강한 저항성을 가지고 광 굴절률은 거의 변하지 않아 이러한 구조를 만드는데 적합한 성질을 갖는다. 이러한 방법을 이용하면 보다 복잡한 형태의 디펙트를 미리 형성한 후 홀로그래픽 리소그래피를 수행하여 나노 광 도파로, 광 PCB 와 같은 마이크로 나노 광소자를 제작하는데 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. E. Ozbay, E. Michel, G. Tuttle, R. Biswas, M. Sigalas and K. -M. Ho, "Micromachined millimeter-wave photonic band-gap crystals," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, pp.2059-2061, 1994.
2. Y. Yin and Y. Xia, "Growth of large colloidal crystals with their(100) planes orientated parallel to the surfaces of substrages," *Adv. Mater.*, Vol.14, pp.605-608, 2002.
3. A. C. Edrington, A. M. Urbas, P. DeRege, C. X. Chen, T. M. Swager, Hadjichristidis, M. Xenidou, L. J. Fetters, J. D. Joannopoulos, Y. Fink and E. L Thomas, "Polymer-based photonic crystals," *Adv. Mater.*, Vol. 13, pp.421-425, 2001.
4. M. Campbell, D. N. Sharp, M. T. Harrison, R. G. Denning and A. J. Turberfield, "Fabrication of photonic crystals for the visible spectrum by holographic lithography," *Nature*, Vol. 404, pp.53-55, 2000.
5. Y. A. Vlasov, X. -Z. Bo, J. C. Sturm and D. J. Norris, "On-chip natural assembly of silicon photonic bandgap crystals," *Nature*, Vol. 414, pp.289-292, 2001.
6. M. Notomi, K. Yamada, A. Shinya, J. Takahashi and I. Yoghama, "Extremely large group-velocity dispersion of line-defect waveguides in photonic crystal slabs," *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 87, pp.253902-254100, 2001.
7. Y. Yin, Y. Lu and Y. Xia, "Assembly of monodispersed spherical colloids into one-dimensional aggregates characterized by well-controlled structures and

- lengths," J. Mater. Chem., Vol. 11, pp.987-989, 2001.
8. Y. -H. Ye, T. S. Mayer, I. -C. Khoo, I. B. Divliansky, N. Abrams and T. E. Mallouk, "Self-assembly of three-dimensional photonic-crystals with air-core line defects," J. Mater. Chem., Vol. 12, pp. 3637-3639, 2002.
  9. L. Vogelaar, W. Nijdam, H. A. G. M. van Wolferen, R. M. de Ridder, F. B. Segerink, E. Fluck, L. Kuipers, N. F. van Hulst, "Large area photonic crystal slabs for visible light with waveguiding defect structures: Fabrication with focused ion beam assisted laser interference lithography," Adv. Mater., Vol. 13, pp.1551-, 2001.