

광결정 도파로용 나노 마스터 제작

최춘기* · 한상필 · 정명영*

한국전자통신연구원, 반도체원천기술연구소, 광접속모듈팀
*부산대학교 나노과학기술학부
(2003년 8월 22일 접수)

Nano-master fabrication for photonic crystal waveguides

Choon-Gi Choi†, Sang-Pil Han, and Myung-Yung Jeong*

Optical interconnection team, Basic research lab., Electronics and Telecommunication Research Institute

**Department of Nano Science and Technology, Pusan National University*

(Received August 22, 2003)

요 약

Air hole 구조를 갖는 2차원 고분자 광결정 도파로를 나노 임프린트 방법으로 제작하기 위하여, e-beam lithography와 ICP etching 공정을 이용하여 기둥 구조를 갖는 실리콘 나노 마스터를 제작하였다. Air hole 구조를 갖는 광결정 구조를 얻기 위해, 실리콘 마스터 기둥의 형태를 4각형, 6각형, 12각형 및 원으로 설계하였다. 제작된 기둥의 직경과 구조를 CD-SEM과 SPM-AFM을 이용하여 측정하였으며, dose가 $432 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 일 때 최적의 dose 임을 확인하였다.

주제어 : 광결정, 전자빔 리소그래피, 나노 마스터, 노광량

Abstract

The fabrication of silicon nano-master with pillar structures using E-beam lithography and ICP etching was investigated for application of 2-dimensional polymer photonic crystal waveguides with air hole structures. Pillar structures with square, hexagon, dodecagon and circle were successfully fabricated. The diameters and structures of fabricated pillars were measured by CD-SEM and SPM-AFM. It was found that the optimal dose for complete circle pillar structures was $432 \mu\text{C}/\text{cm}^2$.

Key Words : Photonic crystals, Electron-beam lithography, Nano-master; Exposure dose

1. 서 론

광결정 (Photonic crystal)은 주기적인 유전율 차이를 갖는 파장 크기의 격자 배열로 이루어진 광학물질이다. 광결정 도파로는 습/건식 식각, wafer bonding, 자기 조립법 (Self-assembled method), 전자빔 식각

등을 이용하여, 2차원 및 3차원으로 구조로 제작이 되고 있다 [1,2].

나노 임프린트 리소그래피 (Nanoimprint lithography) 또는 핫엠보싱 리소그래피 (Hot embossing lithography)는 현재 10nm 이하의 높은 분해능을 갖는 나노 구조를 제작하는데 매우 유리한 기술이며 [3], 저가격

† E-mail : cgchoi@etri.re.kr

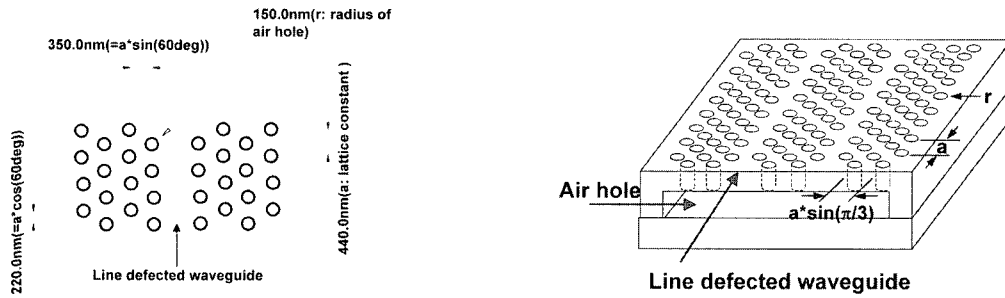


그림 1. 2차원 광결정 도파로 구조 개념도.

화 및 대량생산의 가능성 등의 장점을 가지고 있다. 차세대 광집적 회로를 구현하기 위하여 광결정 소자에 적용하기 위한 복제 기술에 대한 연구가 보고 되었으며 [4], 나노 임프린트 리소그래피 기술을 이용한 고분자 기반의 광결정 소자 제작에 대한 연구가 최근에 보고되었다 [5].

본 연구에서는 low index contrast를 갖는 2차원 고분자 광결정 도파로를 나노 임프린트 방법으로 제작하기 위한 예비 연구로, e-beam lithography와 ICP etching을 이용하여 나노 임프린팅용 실리콘 나노 마스터 (Master)를 제작하는 방법에 대해 조사하였다. 이 때 e-beam writing의 dose량에 따른 pillar 크기의 변화를 측정하여, 최적의 dose량을 도출하였다.

2. 실험 방법

그림 1은 2차원 광결정 도파로 구조에 대한 공기홀 radius와 lattice constant 에 대한 치수와 개념도에 대해 보여주고 있다. 공기홀 radius는 150 nm이며, lattice constant는 440 nm이다. 고분자 광결정 도파로는 polystyrene (PS) 소재를 기반으로 하여, 광결정 구조에 line defect를 가진 도파로를 대상으로 FDTD (Finite-difference time-domain) 시뮬레이션을 통해 공기홀 삼각형 격자구조 (Triangular lattice of air holes)로 설계하였다.

공기홀 구조를 갖는 광결정 도파로를 나노 임프린트 방법으로 제작하기 위하여, 기둥 (Pillar) 구조를 갖는 실리콘 나노 마스터를 제작하였다. 설계에 일치하는 정확한 공기홀 크기를 갖는 광결정 구조를 얻기 위해, 공기홀 직경의 내부 원을 기준으로 기둥의 형태를 4각형, 6각형, 12각형, 원으로 설계

하였다. E-beam writing의 dose 량에 따른 pillar 크기의 변화를 측정하였다.

E-beam lithography를 위하여 Leica사의 e-beam writer (EBPG5000 plus)를 사용하였으며, e-beam resist는 ZEP520 (Zeon Corp.)을 사용하였다. ZEP520은 positive PR로서 e-beam writing 수행 시 높은 분해능을 갖는 매우 정밀한 패턴을 얻는데 유리한 PR이다 [6].

그림 2는 광결정 도파로용 실리콘 나노 마스터 제작 흐름도에 대해 나타내고 있다. 먼저 ZEP520을 4" 웨이퍼(100) 위에 4000rpm으로 45sec 동안 스핀 코팅한 후 190℃에서 2분간 baking하여 두께가 670 Å 인 PR을 얻었다.

E-beam writing 조건은 다음과 같다. Energy는 100 keV이었으며, beam current는 4.8 nA, dose량은 300 μC/cm²에서 20%씩 증가하면서 10개의 같은 패

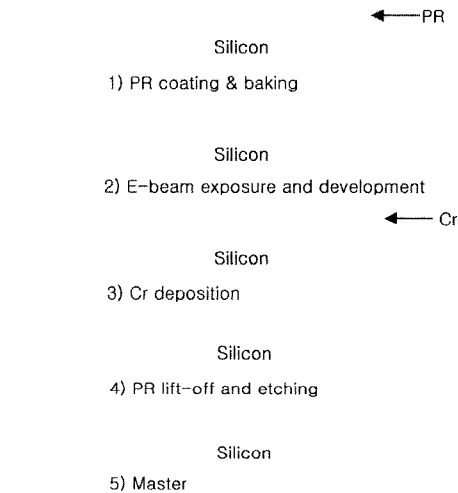


그림 2. 광결정 도파로용 실리콘 나노 마스터 제작 흐름도.

턴을 writing하였다. 현상액 ZEP-N50 (Zeon Corp.)을 사용하여 1분 동안 현상하였으며, 곧바로 ZEP-D (Zeon Corp.)을 사용하여 10초 동안 세척하였다. 현상된 광결정 구조 패턴을 확인하기 위해 CD (Critical dimension)-SEM (Scanning electron microscope)을 사용하여 4각형, 6각형, 12각형, 원 구조의 hole 직경을 측정하였다.

CD-SEM 측정을 수행한 후 패턴 window opening을 위해 lift-off 방법을 이용하였으며, ICP (Inductive coupled plasma, Plasma-therm 970 series)을 이용하여 식각을 수행하였다. ICP 식각을 위해 먼저, 크롬 (Cr)을 20 nm sputtering하여 마스크를 형성하였다. 이때 Ar gas량은 10 sccm, 압력은 2 mTorr, RF power는 100 W이었으며, 1분 동안 수행하였다. PR의 lift-off는 DMAC (Dimethylacetamide, Dow Chemicals)을 사용하여 20분 동안 초음파와 동시에 수행하였다. ICP 식각을 위한 gas는 CF₄ (40 sccm)를 사용하였으며, source power는 800 W, RF power는 40 W, 압력은 10 mTorr, 시간은 2분이었으며, 식각 속도는 170 nm/min이었다.

식각을 수행한 후 Cr stripper로 크롬을 제거하였으며, SEM과 SPM (Scanning probe microscope)-AFM (Atomic force microscope)을 이용하여 마스터의 패턴을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 ICP에 의해 식각된 1채널 광결정 도파로 구조를 갖는 실리콘 나노 마스터의 SEM 사진이

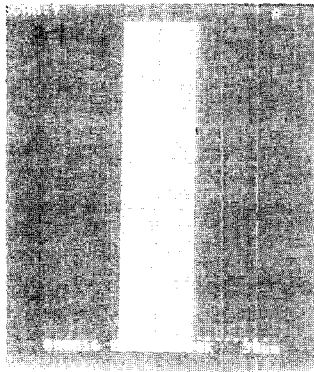


그림 3. 1 채널 광결정 도파로 구조를 갖는 실리콘 나노 마스터의 SEM 사진 (원의 경우, 길이 104 μm × 폭 23 μm).

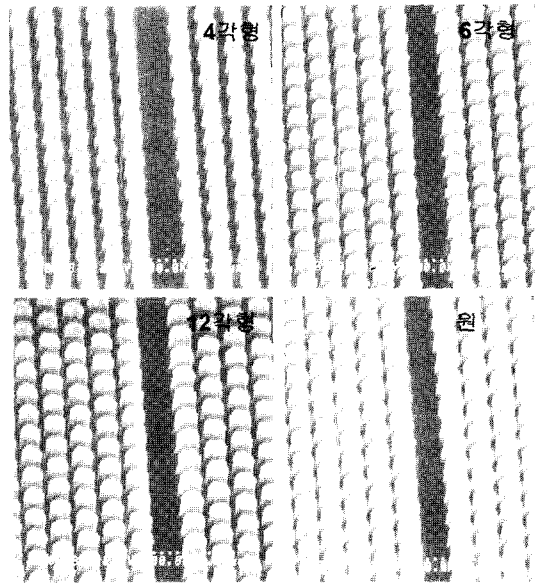


그림 4. 실리콘 나노 마스터의 SEM 사진 (ICP 식각 후, 4각형, 6각형, 12각형, 및 원).

다. 원으로 설계된 것에 대해 제작된 나노 마스터의 경우이며, 마스터의 길이는 104 μm 이며, 폭은 23 μm 이다.

그림 4는 공기홀의 형태가 4각형, 6각형, 12각형 및 원으로 설계되어 ICP 식각을 수행한 후 SEM으로 관찰한 실리콘 나노 마스터의 사진이다. 각각의 설계 형태에 따라 매우 정확하게 식각을 된 것을 확인할 수 있으며, 사진의 증상에 line defected waveguide 구조도 설계와 일치하게 형성되었음을 확인하였다.

표 1은 CD-SEM을 이용하여 4각형, 6각형, 12각형 및 원 구조의 hole 직경을 측정한 결과이다. PR이 현상만 된 상태에서 측정한 결과이며, dose가 622 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 일 때 4각형, 6각형, 12각형 및 원 모두 설계치 직경 300 nm에 가장 근접한 직경 크기를 보이고 있다. 4각형과 6각형으로 설계한 경우에는 e-beam writing 후 형태가 설계와 같은 4각형과 6각형으로 패턴이 형성되었으며, 12각형과 원은 원의 형태로 패턴이 형성되었다. 그리고, 표 2에서 보듯이 ICP 식각 후 CD-SEM에 의해 측정된 12각형 및 원 구조의 hole 직경은 dose가 432 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 일 때 12각형 및 원 모두 설계치 직경 300 nm에 가장 근접한 직경 크기를 보이고 있음을 확인하였다. ICP 식

표 1. CD-SEM에 의해 측정된 4각형, 6각형, 12각형 및 원 구조의 hole 직경.

| Dose($\mu\text{C}/\text{cm}^2$) | 4각형 | 6각형 | 12각형 | 원 |
|-----------------------------------|-----|-----|------|-----|
| 300 | 269 | 277 | 291 | 289 |
| 360 | 269 | 279 | 291 | 291 |
| 432 | 269 | 279 | 291 | 302 |
| 518 | 281 | 291 | 291 | 302 |
| 622 | 281 | 302 | 302 | 302 |
| 746 | 281 | 302 | 302 | 314 |
| 896 | 304 | 302 | 314 | 314 |
| 1075 | 316 | 316 | 326 | 326 |
| 1290 | 316 | 326 | 326 | - |
| 1548 | 339 | - | - | - |

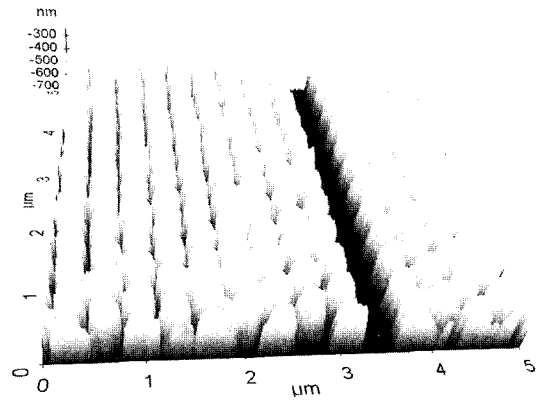


그림 6. 실리콘 나노 마스터의 SPM-AFM 3차원 측정 결과 (원의 경우).

표 2. ICP 식각 후 CD-SEM에 의해 측정된 12각형 및 원 구조의 hole 직경.

| Dose($\mu\text{C}/\text{cm}^2$) | 12각형 | 원 |
|-----------------------------------|------|-----|
| 360 | 286 | 301 |
| 432 | 297 | 307 |
| 518 | 302 | 312 |
| 622 | 311 | 314 |

정도 크게 제작됨을 확인하였으며, beam current는 4.8 nA이고, dose가 432 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 일 때 최적의 dose임을 확인하였다.

그림 5와 6은 원으로 설계되어 제작된 실리콘 나노 마스터를 AFM을 이용하여 측정한 결과를 2차원 및 3차원 이미지로 보여주고 있다. 기둥간의 간격이 약 100 nm로 좁아, AFM 측정을 위해 고종형 비 측정에 적합한 tip (U3s, Nanotools, Inc)을 사용하였으며, 측정된 기둥의 높이는 338 nm이었다. 이것은 ICP의 식각 속도 (170 nm/min)와 일치하는 것이다.

각 공정에 의해 제작된 실리콘 마스터의 경우, PR이 현상만 된 상태에서 측정된 결과치보다 약 5~10 nm

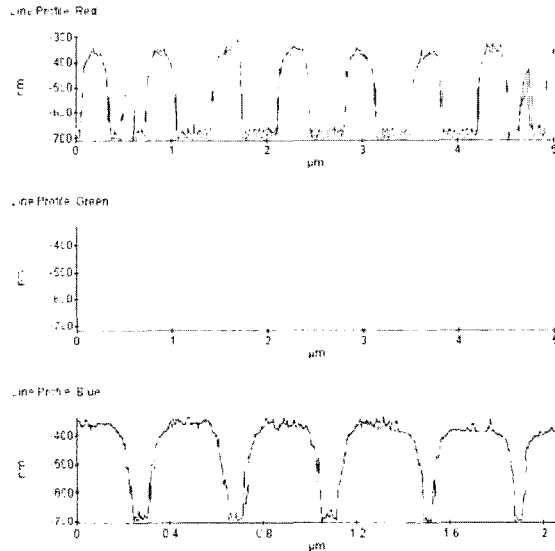
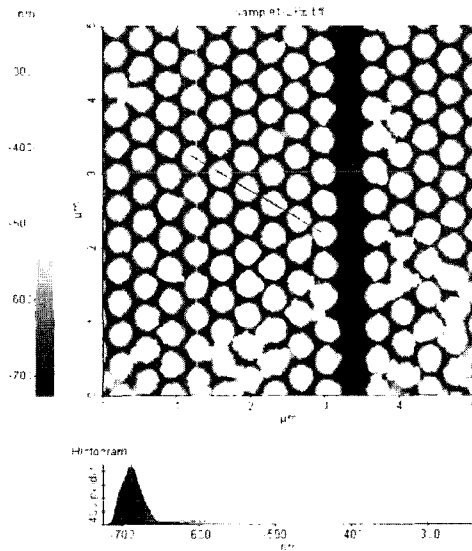


그림 5. 실리콘 나노 마스터의 SPM-AFM 측정 결과 (원의 경우).

4. 결 론

Air hole 구조를 갖는 2차원 광결정 도파로를 나노 임프린트 방법으로 제작하기 위하여, e-beam lithography과 ICP etching 을 이용하여 pillar 구조를 갖는 나노 임프린팅용 실리콘 나노 마스터를 성공적으로 제작하였다. 설계에 일치하는 정확한 공기홀 크기를 갖는 광결정 구조를 얻기 위해, 기둥의 형태를 4각형, 6각형, 12각형, 원으로 설계하였으며, e-beam writing의 dose량에 따른 크기의 변화를 측정/비교하여, 12각형 및 원의 경우, beam current가 4.8 nA 이고, dose가 $432 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 일 때 최적의 원을 갖는 기둥 구조로 제작되었음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술 개발사업단의 연구비 지원(과제번호 : 02-K14-01-006-30)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Murakowski, D. Pustai, and D. Prather, *J. Vac. Sci. Technol. B* **20**, 2013 (2002).
- [2] E. Chomski and G. A. Ozin, *Adv. Mater.* **12**, 1071 (2000)
- [3] S. Y. Chou, P. R. Krauss, W. Zhang, L. Guo, and L. Zhuang, *J. Vac. Sci. Technol. B* **15**, 2897 (1997).
- [4] V. Grigaliunas, V. Kopustinskas, S. Meskinis, M. Margelevicius, I. Mikulskas, and R. Tomasiunas, *Optical Materials* **17**, 15 (2001).
- [5] J. Seekamp, S. Zankovych, A. H. Helfer, P. Maury, C. M. Sotomayor Torres, G. Bottger, C. Liguda, M. Eich, B. Heidari, L. Montelius, and J. Ahopelto, *Nanotechnology* **13**, 581 (2002).
- [6] D. M. Tanebaum, C. W. Lo, M. Isaacson, H. G. Craighead, M. J. Rooks, K. Y. Lee, W. S. Huang, and T. H. P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol. B* **14**, 3829 (1996).