

다공성 실리콘을 이용한 암호화된 광학이미지 제작

고영대¹ · 김성진¹ · 김종현² · 류성옥² · 방현석² · 정윤식² · 박보경^{2*} · 손홍래^{1*}

¹조선대학교 자연과학대학 화학과, 광주 501-759

² 광주과학기술대학교, 광주 503-836

(2008년 1월 15일 받음)

Febry-Pérot 프린지 패턴의 광 반사성을 가지고 있는 다공성 실리콘을 이용하여 암호화된 광학 이미지를 제작하였다. 암호화된 광학이미지 다공성 실리콘 샘플은 p-type 실리콘 웨이퍼 (boron-doped, <100> orientation, resistivity 0.8~1.2 mΩ-cm)를 이용하여 빔 프로젝트의 광원과 전기화학적 식각을 통하여 만들어 졌다. 광학 이미지 다공성 실리콘 샘플은 전기화학적 식각과정에 빔 프로젝트의 광원에 의하여 독특한 Febry-Pérot 프린지 패턴을 나타낸다. 실리콘 웨이퍼의 광 반사성의 프린지 패턴을 푸리에 변환을 통하여 유효광학두께를 측정하고 실리콘웨이퍼에 암호화 시킨 광학이미지를 제작하였다.

주제어 : Febry-Pérot 프린지 패턴, 다공성 실리콘, 광학이미지, 푸리에 변환

I. 서 론

실리콘 웨이퍼에 전기화학적 방법으로 식각을 하면 다공성 실리콘(Porous Silicon, PSi)이 형성된다. 식각된 다공성 실리콘은 나노크기의 기공을 형성하기 때문에 기공에 입사되는 광원에 의해 독특한 광학적 성질이 나타난다 [1,2]. 1990년대 다공성 실리콘의 효율적인 광 발광성 (photoluminescence)을 발견한 이래로, 이 분야는 화학, 물리학적으로 매우 광범위하게 응용되고 있다[3,4]. 다공성실리콘은 실리콘 나노구조로 이루어져 높은 표면적을 가지고 있으며, 나노 크기의 기공과 나노미터 스케일의 광 발광성과 광 반사성(reflectivity)이라는 독특한 광학적 특성을 갖는 재료이다. 이러한 광학적 특성들은 화학적, 생물학적 센서로 이용될 수 있다[5,6].

다공성 실리콘은 높은 표면적을 갖는 실리콘 나노크리스탈의 3차원 네트워크로 탐지하고자 하는 물질과 상호작용으로 Febry-Pérot 프린지 패턴(fringe pattern)의 변화를 관찰하여 분석물질을 쉽게 탐지할 수 있다[7]. 다공성 실리콘 제조에 사용되는 실리콘 웨이퍼를 HF, 물, 그리고 에탄올 등을 혼합한 용매를 사용하여 전기화학적 식각방법(electrochemical etching)을 통하여 얻을 수 있다. 다공성 실리콘 기공의 크기는 수 나노미터에서 수 마이크로 까지 조절이 가능하며, 이는 전기화학적 부식 중에 흘러준 전류의 양과, 실리콘에 불순물로 첨가한 첨가제의 양, HF의 양에 비례하고 케리어의 형태 (n, p)에 따라 달라진다

[8,9]. 이러한 다공성 실리콘의 제작 과정은 재현성이 크고, 신속히 제작할 수 있고, 제작하는데 비용이 적다는 장점이 있다. 또한 다공성 실리콘 칩 표면에 다양한 표면유도체화를 하여 표면을 안정화 시킬 수 있어 여러 가지 다른 표면성질을 갖는 다공성 실리콘을 제작할 수 있다[10-13].

다공성 실리콘의 광 발광성에 대한 이유는 아직도 분명하지 않지만 다공성 실리콘의 실리콘 나노입자에 기인하여 발광현상이 일어난다고 보고되어있다[14]. 또한 단층 다공성 실리콘의 경우 굴절률이 n 이고 층의 광학두께(optical thickness)가 d 일 때 m 번째의 반사파장 λ 는 다음의 Bragg 식을 따르며 $m\lambda = 2nd \cdot \sin\theta$, 반사파장의 보강 및 상쇄 간섭을 통한 Febry-Pérot 프린지 패턴을 가지고 있다[15].

현재까지 주로 센서분야에서 응용되었던 다공성 실리콘은 실리콘 웨이퍼의 표면을 서로 다른 조건(광원)으로 식각하면 다른 프린지 패턴을 나타낸다. 특히, 광원의 명암을 조절하였을 때 특정한 광 반사성을 갖는 Febry-Pérot 프린지 패턴을 나타내었다. 프린지 패턴을 푸리에 변환(Fourier transformation)을 시켰을 때 명암에 따라 유효 광학두께의 경향성을 보이는데 이를 이용하여 광학암호가 저장된 다공성 실리콘의 제작을 보고하려한다.

II. 실험 방법

2.1 광학이미지를 이용한 단층 PSi의 제조

p-type의 실리콘 웨이퍼(B doped, <100>, 0.8~1.2m

* [전자우편] hsohn@chosun.ac.kr, heaven0518@nate.com

Ω^{-cm} , Siltronix, Inc)에 source meter (Keithley 2420)를 이용하여 정전류를 흘려주어 전기 화학적 식각을 하게 되면 다공성 실리콘을 합성할 수 있다. 식각에 사용한 용매는 HF 용액 (48% by weight: ACS reagent, Aldrich Chemicals)과 순수한 에탄올 (ACS reagent, Aldrich Chemicals)을 혼합한 용액으로써 HF : 에탄올을 3 : 1의 부피비로 준비하였다.

전기화학적 식각은 두개의 전극을 사용하였으며 테플론 셀 안에서 수행 하였다. 양극으로는 백금선을 사용하였으며 음극으로는 알루미늄 호일을 사용하였다. 식각에 사용된 실리콘 웨이퍼의 표면은 이물질을 제거하기 위해 에탄올로 2~3회 씻은 뒤 N_2 gas로 건조시켜 준비하였다. 준비된 실리콘 웨이퍼를 그림 1과 같이 테플론 셀에 고정시킨다. 테플론 셀에 고정시킨 웨이퍼에 식각 용매를 넣은 뒤 source meter를 이용하여 전류를 가해줌으로써 식각을 한다.

다공성 실리콘 웨이퍼를 만드는 전기화학적 식각과정에서 광학이미지를 빔 프로젝트를 이용하여 실리콘 웨이퍼 표면에 쏘여주면서 식각하였다. 노광정도와 Feby-Pérot 프린지 패턴의 상호관계를 알아보기 위해 그림 2처럼 명암의 차이가 20%씩 증가되는 6단계의 원형의 이미지를 이용하여 식각하였다. 또한 동일한 방법으로 실물 사진의 이미지를 이용하여 실물이미지와 상호관계가 있는 광학적 암호가 기록된 2차원 다공성 실리콘을 제작하였다.

식각 시에 사용된 전류는 0.1 mA/cm^2 을 사용하였으며 총 식각시간은 540분이였다. 식각이 완료 된 후 식각용매를 제거한다. 식각된 표면의 불순물을 제거하기 위해 다공성 실리콘의 표면을 에탄올로 2~3회 씻어준 후 그 표면을 N_2 gas를 이용해 건조시키고 테플론 셀에서 분리한다.

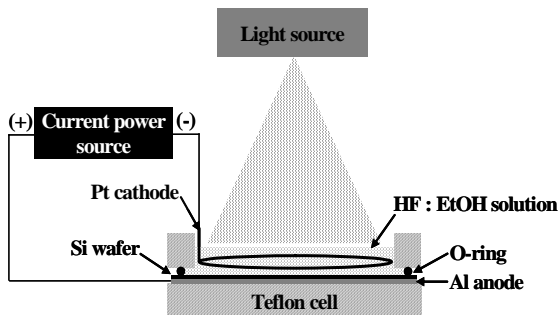


Fig. 1. Schematic diagram for generating a images on porous silicon.

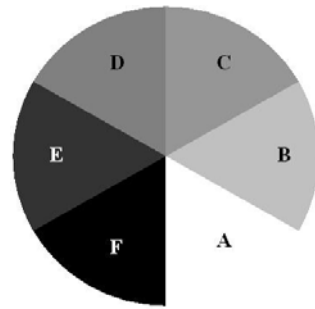


Fig. 2. The patterned mask modulated the intensity of an exposure light by projecting the six scales of exposure light. (A:white B;20% black, C;40% black, D;60% black, E; 80% black, F; black)

2.2 푸리에 변환

Igor프로그램을 이용하여 광학 정보가 저장된 다공성 실리콘의 Feby-Pérot 프린지 패턴은 푸리에 변환을 통하여 푸리에 변환 스펙트럼을 얻었다. 노광 정도에 따른 FT 세기 및 유효광학두께(EOT; effective optical thickness)의 관계를 분석하였다.

2.3 광학측정기계

Feby-Pérot 프린지 패턴을 측정하기위해 tungsten-halogen 램프를 광원으로 사용하는 LS-1이 장착된 Ocean Optics USB-2000 CCD spectrometer를 사용하였다.

III. 결과 및 토론

순수한 p-type의 실리콘 단결정 웨이퍼에 빔 프로젝트를 이용하여 흑색광과 백색광을 6단계로 나눈 명암의 차이를 가지는 원형의 이미지를 공급하며 전기화학적 식각을 통하여 제작된 암호화된 광학이미지 다공성 실리콘을 얻을 수 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 광학 정보가 저장된 다공성 실리콘은 빔 프로젝트에 의한 광원이미지의 그림과 동일한 형태의 원형이미지로 식각됨을 알 수 있다.

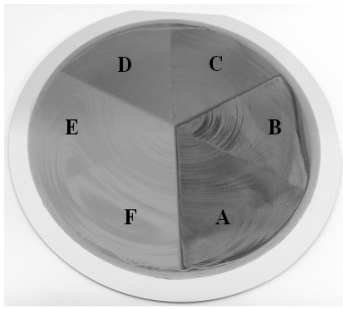


Fig. 3. Photograph of porous silicon etched by patterned mask shown in Fig. 2.

빔 프로젝트의 백색 광원에 노출된 부분은 실제 웨이퍼에서 확인할 수 있듯이 더 어두운 계열로 나오고, 흑색 광원에 노출된 부분은 더 밝은 계열로 나온다는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 Ocean Optics USB-2000 CCD spectrometer를 이용하여 측정한 각각의 Febry-Pérot 프린지 패턴의 반사스펙트럼이다.

위의 결과로 p-type의 실리콘 웨이퍼를 식각하는 과정에서 빛을 공급하여 줄 경우 노광정도의 증가에 따라 프린

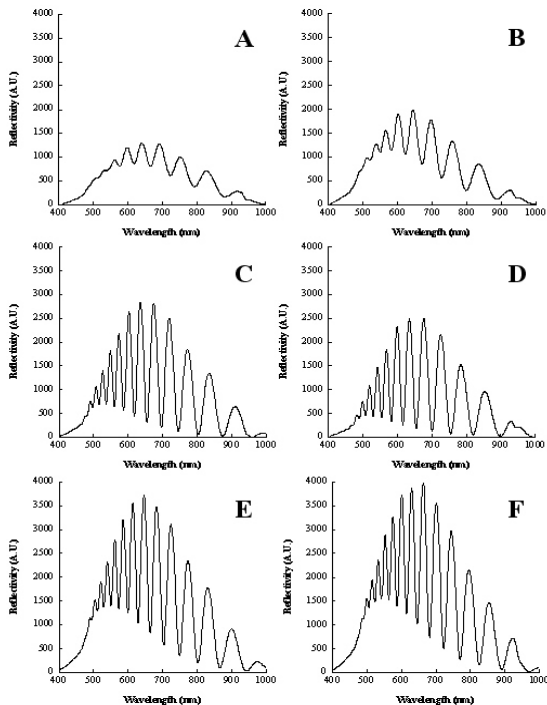


Fig. 4. Febry-Pérot fringe patterns of etched porous silicon

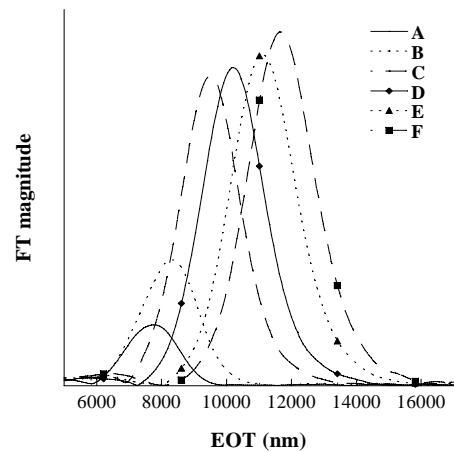


Fig. 5. Fourier transform of the reflectivity spectra from a porous silicon Febry-Pérot film

지 수가 증가하고 반사스펙트럼의 세기가 증가함을 확인하였다.

그림 5는 Febry-Pérot 프린지 패턴의 반사스펙트럼을 푸리에 변환을 통하여 얻은 푸리에 변환그래프이다. 노광 정도가 감소할수록 푸리에 변환의 세기가 증가하는 결과를 얻었다.

노광 정도에 따른 유효광학두께의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보면 알 수 있듯이 노광 정도가 감소할수록 유효광학두께가 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 또한 유효광학두께의 변화 값이 일정하게 증가한다는 사실을

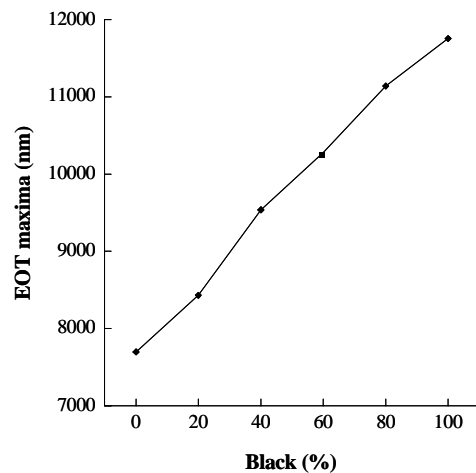


Fig. 6. Change of EOT maxima depending on the light intensity.



Fig. 7. A; Patterned mask used real photograph, B; porous silicon encoded with optical images.

알 수 있었다. 그림 6의 결과를 통해 우리는 광학에 따른 특정한 반사파장을 가지는 암호화된 광학 이미지 다공성 실리콘을 제작 하였다.

그림 7의 A는 명암의 차이를 회색조로 한 광원이며 그림 7의 B는 명암의 차이에 의한 암호화된 광학이미지 다공성 실리콘의 실제 사진이다.

IV. 결 론

실리콘웨이퍼를 전기화학적으로 식각하는 과정에 빔 프로젝트를 이용하여 광원을 백색에서 흑색으로 명암을 다르게 하여 다공성 실리콘을 제작할 수 있었다. 제작된 다공성 실리콘의 Feby -Pérot 반사스펙트럼은 광원의 노광 정도가 감소 할수록 프린지 패턴이 증가하였고, 반사스펙트럼의 세기가 증가한다는 사실을 확인하였다. 그리고 반사스펙트럼을 Igor 프로그램을 이용하여 푸리에 변환을 하면 Feby-Pérot 프린지 패턴의 변화를 유효광학두께의 변화

로 얻을 수 있었다.

암호화된 광학이미지 다공성 실리콘의 푸리에 변환 스펙트럼은 노광 정도가 감소할수록 유효광학두께가 증가한다는 사실을 확인하였고, 또한 푸리에 변환의 세기가 증가한다는 것을 알 수 있었다. 제작된 다공성 실리콘은 향후 광학정보저장 매체로 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] A. Uhlir, *Elcetronics shaping of germanium and silicon* (Bell system Tech, 1956), pp. 333.
- [2] Y. Koh, S. Kim, S. Jang, C. Park, and H. Sohn, *Journal of the Korean Vacuum Society* **16**, 99 (2007).
- [3] M. Bruchez, M. Moronne, P. Gin, S. Weiss, and A. P. Alivisatos, *Science* **281**, 2013 (1998).
- [4] C. Park, S. Jang, J. Kim, J. Park, Y. Koh, S. Kim, Y. Ko, and H. Sohn, *Journal of the Korean Vacuum Society* **16**, 221 (2007).
- [5] W. C. Still, *Acc. Chem. Res.* **29**, 155 (1996).
- [6] J. R. Link and M. J. Sailor, *Proc. Natl. Acad. Sci.* **100**, 10607 (2003).
- [7] P. C. Searsonm J. M. Macaulay, and F. M. Ross, *J. Appl. Phys.* **72**, 253 (1992).
- [8] C. Levy-Clement, A. Lagoubi, and M. J. Tomkiewicz, *Electrochem. Soc.* **278**, 840 (1997).
- [9] J. M. Laucerhaas and M. J. Sailor, *Science* **261**, 1567 (1993).
- [10] C. Gurtner, A. W. Wun, and M. J. Sailor, *Angew. Chem. Int. Ed.* **38**, 265 (1999).
- [11] J. M. Buriak, *Adv. Mater.* **11**, 265 (1998).
- [12] J. H. Song and M. J. Sailor, *Inorg. Chem. Soc.* **120**, 2367 (1998).
- [13] P. D. J. Calcott, K. J. Nash, L. T. Canham, M. J. Kane, and D. Brumhead, *J. Lumin.* **120**, 2367 (1998).
- [14] C. L. Curtis, V. V. Doan, G. M. Credo, and M. J. Sailor, *J. Electrochem. Soc.* **140**, 3492 (1993).
- [15] J. H. Song and M. J. Sailor, *J. Am. Chem. Soc.* **119**, 7381 (1997).

Fabrication of Optically Encoded Images on Porous Silicon

Youngdae Koh¹, Sung Jin Kim¹, Jong Hyeon Kim², Seong Ok Rheu², Hyeon Seok Bang²,
Yun Sik Jeong², Bo Kyeong Park^{2*}, and Honglae Sohn^{1*}

¹*Department of Chemistry, Chosun University, Gwangju 501-759*

²*Gwangju Science High School, Gwangju 503-836*

(Received January 15 2008)

Optical images on the porous silicon exhibiting Febry-Pérot fringe pattern have been prepared by using an electrochemical etching of p-type silicon wafer (boron-doped, <100> orientation, resistivity 0.8~1.2 mΩ-cm) and beam projector. The images remained in the substrate displayed an optical images correlating to the optical pattern and could be useful for optical data storage. A decrease in the effective optical thickness of the Febry-Pérot layers was observed, indicative of a change in refractive index induced by exposing of porous silicon to the white light. This provides the ability to fabricate complex optical encoding in the surface of silicon.

key word : Febry-Pérot fringe pattern, porous silicon, photonic image, Fourier transformation

*[E-mail] : hsohn@chosun.ac.kr, heaven0518@nate.com