

전류세기의 변화에 따른 DBR 다공성 실리콘의 광학적 특성

최태은 · 박재현[†]

Optical Characterization of DBR Porous Silicon by Changing of Applied Current Density

Tae-Eun Choi and Jaehyun Park[†]

Abstract

Distributed Bragg reflector (DBR) porous silicon (PSi) was generated by an electrochemical etching a bragg structure into a silicon wafer through electrode current in aqueous ethanolic HF solution. DBR PSi exhibiting unique reflectivity was successfully obtained by an electrochemical etching of silicon wafer using square current waveform. The multilayered photonic crystals of DBR PSi exhibited the reflection of a specific wavelength with high reflectivity in the optical reflectivity spectrum. In this work, we have developed a method to create refractive index in Si substrate through intensity of an electric current. The electrochemical process allows for precise control of the structural properties of DBR PSi such as thickness of the porous layer, porosity, and average pore diameter. The number of reflection peak of DBR PSi and its pore size increased as the intensity of electric current increased. This might be a demonstration for the fabrication of specific reflectors or filters.

Key words : DBR Porous Silicon, Photonic Crystals, Bragg Structure, Reflectivity.

1. 서 론

광 결정이란 소재의 광학적인 성질을 이용할 수 있는 구조를 갖고 있거나 구조를 갖도록 만들어낸 소재들을 말한다.^[1] 광 결정을 기초로 한 기술은 광 결정소재의 광학적 특성과 광학 스펙트럼에 대한 조작의 가능성으로 인해, 화학·생물학적 센서나 의학적인 진단요법에 매우 유용하게 활용될 수 있어 수년 동안 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다.^[2,3]

반도체 실리콘 웨이퍼의 전기화학적 식각을 통해 제작된 다공성 실리콘은 이러한 광 결정에 매우 적합한 소재라 할 수 있으며,^[4] 넓은 표면적과 일정한 기공의 형성을 통한 광학센서로서의 가능성, 광학 신호적 변환의 우수한 성능을 이용한 광학 필터로서의 응용,^[5] 특히 실리콘 소재이기 때문에 생체 친화적이고 생체적합성이 우수하다는 장점을 가지고 있다.

광 결정 소재를 이용한 자연계의 현상 중에 하나인 몰포나비의 경우, 나비의 표면에 입사하는 빛이 다층구조로 구성된 나비날개의 표면에서 보강간섭과 상쇄간섭을 일으키며, 그 이유는 빛이 입자이면서 동시에 파동의 성질을 가지기 때문이다. 이때 상쇄간섭을 일으키는 파장의 빛은 소멸되고 보강간섭을 일으키는 파장의 빛은 반사되는데, 이 반사되는 빛이 파란색이기 때문에 몰포나비의 날개가 파란색으로 보이는 것이다. 몰포나비의 날개에는 파란색 색소가 없으며, 이러한 구조색은 색소가 아닌 구조로 인한 색이기 때문에 구조의 변화에 따라 색이 변하게 된다.

다공성 실리콘의 경우에도 다층구조의 식각공정을 통한 굴절율의 변화를 이용하여 특정파장의 빛을 반사하는 다층 다공성 실리콘을 제작할 수 있으며,^[6] 네모파형의 다층의 구조를 갖는 다층 다공성 실리콘을 DBR(Distributed Bragg Reflectors) 다공성 실리콘이라 한다. 다층 다공성 실리콘의 경우 네모파형을 이용한 DBR 뿐만 아니라 사인파형을 이용한 Rugate 다공성 실리콘이 있다.^[8] 다공성 실리콘은 1990년대에 L.T.Canham과 A.G.Cullis에 의해 처음으로 제작되었고, 제작된

(주) 상아프론테크(Sang-A Flonte Co., LTD., Namdong-dong, Namdong-gu, Incheon, Korea, 405-100)

[†]Corresponding author: breadpak@yahoo.com

(Received : June 8, 2009, Accepted : June 22, 2009)

다공성 실리콘은 가시광선 영역에서 강한 photoluminescence (PL)현상이 발견되어 주목받기 시작하였다.^[9-10] 이러한 광학적 현상을 이용하여 다공성 실리콘은 바이오센서, 폭발물 탐지센서 등 많은 분야에서 응용되고 있다.^[11]

센서는 기계나 기구에 생명체의 감각기관에 해당하는 ‘센서(sensor)’라고 불리는 인간의 감지능력을 초월하고, 시스템의 효율성을 높이는 장치가 존재한다. 최근에는 센서를 바이오에 접목시킨 바이오센서가 큰 시장 규모를 차지하고 있다. 바이오센서는 측정대상물로부터 정보를 얻을 때 생물학적 요소를 이용하거나 모방하여 인식 가능한 유용한 신호로 변환시켜주는 시스템이다.

본 연구에서는 DBR다공성 실리콘의 광학적 특성을 바이오센서로서 활용하기 위해 전류의 세기변화를 통한 특정 파장의 빛을 반사하는 DBR 다공성 실리콘을 제작하는 것이다. 전류의 세기는 다공성 실리콘의 기공의 크기를 조절하는 매우 중요한 요소이기 때문에 바이오센서나 약물전달 시스템과 같은 거대한 생화학 분자를 이용하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험 방법

2.1. DBR 다층 다공성 실리콘의 제작

DBR 다공성 실리콘은 순수한 p⁺⁺-type의 실리콘 단결정 웨이퍼 (B doped, <100>, 0.0008~0.0012 Ω)를 Galvanostat (sourceter 2420)을 이용하여 사각파형의 전류를 흘려주어 전기 화학적 식각을 통하여 제작된다. 식각용매로는 HF 용액 (48% by weight: ACS reagent, Aldrich Chemicals)과 에탄올 (ACS reagent, Aldrich Chemicals)을 사용하였으며 HF : EtOH = 3 : 1의 부피 비를 갖도록 준비하였다. 전기화학적 식각은 흘려주는 전류의 형태를 사각파의 형태로 높은 전류에서 낮은 전류를 번갈아 가며 흘려주면서 Teflon cell안에서 수행하였다.

2.2. 전류 값의 변화를 통해 제작된 DBR 다공성 실리콘의 제작

DBR 다공성 실리콘을 제작하기위해 사용된 식각 전류 값은 Table 1에 표현하였으며, 흘려주는 시간은 동일하게 해주고 전류 값을 일정하게 증가시켜 주면서 식각하였다.

2.3. 측정 기기

실험에 사용한 측정기기는 DBR 다공성 실리콘웨이

표 1. 전류 값에 따른 식각조건

Table 1. Etching parameters of applied currents.

	높은 전류 (mA)	식각 시간 (s)	낮은 전류 (mA)	식각 시간 (s)	횟수
조건 1	60	4.5	6	50	30
조건 2	120	4.5	12	50	30
조건 3	180	4.5	18	50	30
조건 4	240	4.5	24	50	30

퍼의 광학적 성질을 알아보기 위하여 UV-VIS integrated analysing system (Ocean Optics USB-2000 spectrometer)을 사용하여, reflectivity를 측정하였다. 그리고 DBR 다공성 실리콘 웨이퍼의 표면의 형태를 알아보기 위하여 SEM (FE-SEM, S-4700, Hitach)를 이용하여 표면을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

반도체 실리콘 웨이퍼에 사각파형 전류 형태의 전기 화학적 식각을 통해 제작된 DBR 다공성 실리콘은 광결정구조를 갖는 광 반사소재이며, 특정 파장에서 매우 좁은 반치 폭 값을 갖는 반사소재이다. 그림 1의 경우, 실험조건에서 보여준 4가지의 서로 다른 전류를 이용하여 제작된 DBR 다공성 실리콘의 Ocean Optics

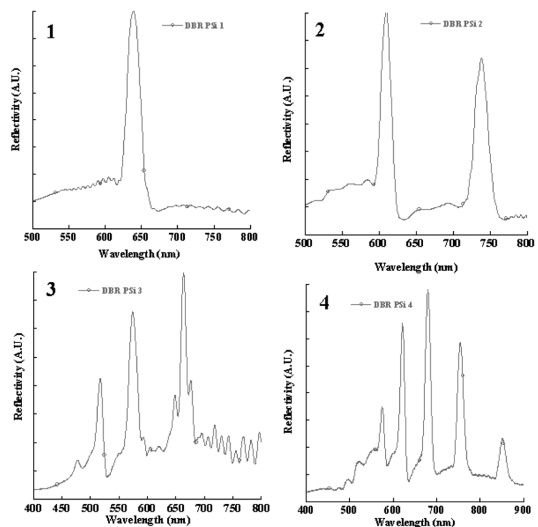


그림 1. 서로 다른 전류 값을 통해 제작된 DBR 다공성 실리콘의 반사스펙트럼.

Fig. 1. Reflectance spectra of DBR porous silicones obtained from different applied currents.

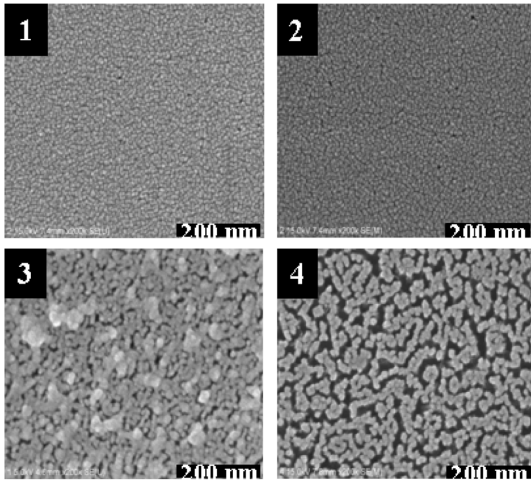


그림 2. 서로 다른 전류 값을 통해 제작된 DBR다공성 실리콘의 표면 SEM사진.

Fig. 2. Surface SEM image of DBR porous silicons obtained from different applied currents.

USB-2000 spectrometer를 통해 측정된 반사스펙트럼을 보여주는 것이다. 실험에 사용한 광 반사성 특징을 갖는 PSi 실리콘 웨이퍼를 가시광선 영역(400~800nm)의 빛을 쬐어 줌으로써 어느 특정파장의 빛만을 방출하는 광학적 현상을 가지고 실험에 착수 하였다. 4가지 각각의 샘플들의 식각시간과 횡수를 고정한 상태에서 높은 전류와 낮은 전류의 값들을 60/6 mA, 120/12 mA, 180/18 mA, 그리고 240/24 mA으로 배수관계로 증가시킨 결과, 각각의 DBR 다공성 실리콘의 반사스펙트럼의 피크의 수가 규칙적으로 증가하여 나타남을 확인할 수 있었다. 서로 다른 전류 값에 의해 전기화학적 식각이 이루어지면서 다공성 실리콘의 굴절률이 변화하게 되고 유효광학 두께 (effective optical thickness)의 변화에 의해 서로 다른 반사스펙트럼이 나타나게 되는 것이다.

제작된 4가지 DBR 다공성 실리콘의 반사스펙트럼의 피크의 위치와 반치 폭 값은 조건에 대해 단파장부터 표현하면 각각 조건 1에 대해서는 638.62 nm와 21 nm이고(그림 1(1)) 조건 2는 610.07 nm와 16 nm, 737.99 nm와 21 nm이고(그림 1(2)) 조건 3은 517.47 nm와 14 nm, 575.25 nm와 21 nm, 663.81 nm와 14 nm이고(그림 1(3)) 마지막으로 조건 4는 574.54 nm와 17 nm, 621.25 nm와 14 nm, 679.57 nm와 15 nm, 754.62 nm와 19 nm, 850.93 nm와 23 nm로(그림 1(4)) 각각 나타났다. 반사파장의 위치는 일정하지 않았으나 반치폭의 값은 감소하는 경향을 얻었다. 이 결과는 다음 Bragg식

에서

$$m\lambda_{\text{Bragg}} = 2nL \cdot \sin\theta$$

흘려준 전류의 값이 클수록 m번째 Bragg 반사파와 다음 Bragg 반사파인 m+1번째 Bragg 반사파와의 간격이 좁아진다는 결과를 얻었다.

또한 각기 다른 광학적 특성을 갖는 DBR 다공성 실리콘 웨이퍼를 SEM (FE-SEM, S-4700, Hitach)기기를 이용하여 표면을 관찰해본 결과이다. SEM 표면사진을 보면 균일하게 기공이 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 그림 2에서 보는 것과 같이 전류의 값이 증가함에 따라 기공의 크기가 수 나노미터에서 수십 나노미터로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이렇게 제작된 DBR 다공성 실리콘은 바이오센서 또는 폭발물 탐지 센서로서 응용 될 거라고 예상된다.

4. 결 론

이 연구의 목적은 전류의 세기를 변화 시켜 주면서 PSi의 광학적 특징을 알아보고 더 나아가 전류의 세기가 높아지므로 인해서 PSi표면의 기공의 크기가 어떻게 변화하지를 알아보고 이렇게 제작된 PSi가 센서로서 응용될 수 있는가를 연구 하였다. 전류의 값이 증가하면서 하나의 반사 스펙트럼이 여러 개로 늘어나는 것을 관찰 할 수 있었고 여러 개의 반사 스펙트럼을 이용하여 하나의 파장일 때 보다 바이오센서로서 응용하였을 때 변화하는 파장을 쉽게 구별 할 수 있을 것이다. 또한 기존의 PSi의 기공의 크기보다 더 큰 기공의 크기를 갖는 PSi를 제작 하여 기존에 사용했던 PSi보다 더 많은 바이오 물질이 결합 하여 감지한계가 더 좋을 것으로 예상 된다.

위의 결과를 토대로 바이오센서로 응용 하였을 때 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 더 나아가 폭발물이나 다른 센서로서의 응용도 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] E. G. Judith, J. Wijnhoven, and L. Willem.Vos, "Preparation of Photonic Crystals Made of Air Spheres in Titania" Science, Vol. 281, no. 5378, p. 802-804, 1998.
- [2] W.-B. Tsai and Min-Cheng Wang "Effects of an Avidin-Biotin Binding System on Chondrocyte Adhesion and Growth on Biodegradable Polymers" Macromol. Biosci. Vol. 5, p. 214-221, 2005.

- [3] K. S. Dancil, D. P. Greiner, and M. J. Sailor, "A porous silicon optical biosensor: Detection of reversible binding of IgG to a protein A-modified surface" *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 121, p. 7925-7930, 1999.
- [4] J. Park, S. Cho, Y. C. Ko, and H. Sohn, "Multiple bit encodings of multilayer porous silicon " *J. Korean Phys. Soc.* Vol. 50, p. 695-699, 2007.
- [5] Gwandu, B. A. L. Zhang, W. Williams, J. A. R. Zhang, and L. I. Bennion, "Microwave photonic filtering using Gaussian-profiled superstructured fibre Bragg grating and dispersive fibre" *Electronics Letters Publication* Vol. 38, No. 22, p. 1328-1330, 2002.
- [6] J. Kim, Y. Koh, S. Jang, Y. C. Ko, H.-G. Woo, and H. Sohn, "Photonic polymer replicas from distributed bragg reflectors structured porous silicon" *J. Nanosci. Nanotechnol.* Vol. 7, p. 4165-4168, 2007.
- [7] J. Diener, N. Künzner, D. Kovalev, E. Gross, V. Yu. Timoshenko, G. Polisski, and F. Koch "Dichroic Bragg reflectors based on birefringent porous silicon" *Appl. Phys. Lett.* Vol. 78, p. 3887, 2001.
- [8] S. Jang, J. Kim, Y. Koh, Y. C. Ko, H.-G. Woo, and H. Sohn, "Multi-encoded rugate porous silicon as nerve agents sensors " *J. Nanosci. Nanotechnol.*, Vol. 7, p. 4049-4052, 2007.
- [9] Guerrero-Lemus, R. Ben-Hander, A. G. C. Fierro, and Hernandez-Rodriuez, "Compositional and photoluminescent properties of anodically and stain etched porous silicon" *Physica Status Solidi (A) Applied Research* Vol. 197, No. 1, p. 137-143, 2003.
- [10] L. T. Canham, "Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers" *Appl. phys. lett.* Vol. 57, p. 1046-1048, 1990
- [11] J. M. Goddard and J. H. Hotchkis "Polymer surface modification for the attachment of bioactive compounds" *Prog. Polym. Sci.* Vol. 32, p. 698-725, 2007