튜닝가능한 역반구형의 브래그 그레이팅 센서

A tunable inverse-hemisphere-shaped Bragg grating sensor

류윤하*, 김경식†

Yunha Ryu and Kyoungsik Kim

(2013 년 9 월 17 일 접수; 2013 년 9 월 23 일 심사완료; 2013 년 9 월 24 일 게재 확정)

Abstract

In this work, we investigated the diffraction of inverse-hemisphere shaped polymer grating. The grating was fabricated by using soft lithography of hexagonally close-packed PS nanospheres. The periodicity of the grating was tuned by swelling in acetone and the diffraction wavelength shift induced from lattice change was measured. This device can be used as a strain gauge or a chemical sensor.

Key Words : diffraction grating; inverse-hemisphere; swelling; sensor

1. 서 론

주기의 조절이 가능한 회절 그레이팅(Grating)은 격자의 주기가 변할 때 특정 각도에서의 회절 파장 변화를 동반한다. 복잡한 장치 없이 사람의 맨눈으로 색 변화를 인식하거나 간단한 분광 장치를 통해 파장 스펙트럼을 얻을 수 있기 때문에 측정이 용이하고, 주기변화에 따라 회절 파장이 변화하는 속도가 즉각적이므로 매우 민감한 변화를 감지할 수 있다는 장점이 있다. 이 때문에 화학, 바이오, 건축물의 상태 모니터링 등 센서로서의 응용을 위해 널리 연구되어 왔다.

그레이팅의 재료로는 외부 자극에 반응하는 (Stimuli-Responsive) 물질을 주로 사용한다. Stimuli-Responsive 물질은 pH, 이온의 농도, 온도 등의 환경 변화에 따라 부피가 변하는 특성을 가지고 있으므로 환경변화에 의해 주기가 변화하는 그레이팅을 만들 수 있다.

또 회절 효율을 높이기 위해 그레이팅의 구조에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.[1-3] 가장 기본적으로 사용되는 1 차원의 선 그레이팅

뿐만 아니라, 육각형 구조로 배열된 2 차원 구어레이(array), 3 차원의 역오팔(Inverse Opal) 구조 등 다양한 광결정 구조를 통해 그레이팅으로부터의 반사도를 높일 수 있다.

그러나 수백 나노~수 마이크로 크기의 그레이팅 격자를 정렬된 형태로 만들기 위해서는 포토 리소그래피, 나노스피어 자가조립 등의 미세공정을 거쳐야 한다. 이러한 미세공정은 많은 비용이 들거나 여러 단계의 공정이 필요하며 결정의 주기 구조에 결점이 생기기 쉽다는 단점이 있다.

본 연구에서는 나노스피어 리소그래피와 소프트 리소그래피(Soft-Lithography) 공정을 함께 사용하여 주기 튜닝이 가능한 역반구 형태의 브래그 그레이팅을 제작하였다. 소프트 리소그래피 공정은 유연한 폴리머 물질을 사용해 마스터 몰드(Master Mold)의 형상을 복제하는 기술로서, 제작 시간이 짧고 여러 번의 복제가 가능하며 PDMS 등의 저가 폴리머를 이용하여 비용 면에서 효율적인 공정 방법이다. 제작된 그레이팅을 톨루엔 용액에 담귀 주기를 증가시키면서 회절 파장의 변화를 측정하였다.

2. 본론

2.1 PDMS grating의 제작

소프트 리소그래피를 통한 PDMS grating 제작 공정[4]은 다음의 순서와 같다(Fig.1). 우선 마스

† School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

E-mail : kks@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-7725

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

터 몰드의 제작을 위해 실리콘 기판 위에 나노스피어를 자가조립 시킨다. Thermo-Scientific Inc.로부터 구입한 10wt%의 폴리스티렌 나노스피어 (5050A, Diameter=500nm) 용액을 에탄올과 섞고, 섞은 용액을 물 위에 한 방울 떨어뜨리면 물 표면 위에 수 제곱 센치미터의 대면적에 걸쳐 밀집된 폴리스티렌 스피어 단층이 생긴다. 실리콘 기판을 조심스럽게 물에 담귀 폴리스티렌 스피어층을 떼 내고 액체를 모두 증발시키면 마스터 몰드가 완성된다. 다음으로 액체 상태의 PDMS(Sylgard® 184)와 경화제를 10:1의 비율로 섞어 나노스피어 배열 위에 붓고 섭씨 80도의 오븐 안에서 3 시간 동안 경화시킨다. 마지막으로 경화된 PDMS 복제몰드를 마스터몰드로부터 떼어낸다.

2.2 측정 장비 셋업

PDMS 그레이팅 면에 수직한 방향에서 후방 산란되는 빛의 스펙트럼을 측정하였다(Fig.2)[5]. 텅스텐 할로겐 램프(Ocean Optics, HL-2000)에 반사측정 프로브(R400, Ocean Optics)를 연결하여 빛을 조사하였다. 사용한 반사 측정 프로브는 빛의 조사 방향과 반사된 빛의 측정 방향이 같도록 설계되었는데, 6개의 광섬유에서 빛이 나오고 반사된 빛은 1개의 광섬유를 통해 분광장치(USB 2000+, Ocean Optics)로 들어간다. 또 PDMS는 투명한 폴리머이기 때문에 그레이팅으로부터의 반

Fig 1 (a) Schematic of a fabrication process of the inverse-hemisphere-shaped diffraction grating. Photographs of (b) PS monolayer on the Si substrate (c) the PDMS grating showing green light from diffraction

Fig. 2 Schematic of experimental setup

사율이 낮아서 반사율을 증가시키기 위해 그레이팅 샘플 아래에 은 거울을 놓았다.

3. 측정 결과 및 토의

3.1 격자의 정렬도 검증

주기 튜닝에 따른 회절 파장의 변화를 측정하기에 앞서, 하나의 실험 샘플 내에서 격자구조의 정렬도를 검증하기 위해 샘플 내의 서로 다른 세 부분에서의 반사 스펙트럼을 측정하였다. 램프 스펙트럼과 거울 반사의 영향을 없애기 위해 (그레이팅이 있을 때의 반사 스펙트럼)/(거울만 있을 때의 반사 스펙트럼) 계산을 하여 Normalized Reflection 스펙트럼을 얻었다.(Fig.3)

파장 450nm 근처에서 폭이 넓은 딥(Dip), 파장 900nm 근처에서 폭이 좁은 딥이 생겼다. 세 부분에서의 반사도 크기값은 약간의 차이가 있었으나 딥의 위치는 동일하므로 샘플 내에서의 주기구조가 정렬되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 3 Normalized reflection by inverse-hemisphere-shaped diffraction grating. Measurement was conducted at 3 points in a sample.

Fig.4 Normalized reflection by inverse-hemisphere-shaped diffraction grating swollen in toluene

3.2 회절 파장의 변화

PDMS 는 하이드로카본, 톨루엔, 디클로로메탄 등의 무극성 용매와 접촉했을 때 부풀어 오르는 특성이 있다.[6]

이 특성을 이용하여 본 실험에서 만들어진 그레이팅을 톨루엔에 담그고, 담근 시간을 0, 5, 10, 15 분으로 늘리며 주기를 튜닝하였다.

Fig.3 에서 알 수 있듯이 450nm 파장대의 dips 폭이 넓어서 변화를 정밀히 측정할 수가 없으므로 900nm 근처의 dips를 관찰하였다. 시간을 늘릴수록 dips가 긴 파장 쪽으로 옮겨갔다. 그레이팅 회절에 대한 지배방정식인 $m\lambda = \sqrt{3}d \sin \theta$ 에서 주기 간격인 d 가 커지기 때문에 회절 파장 λ 가 큰 쪽으로 변하게 된다.

실험 결과 PDMS가 톨루엔에 일정시간 담겨진 후, 본래의 부피에 비해 큰 비율로 부풀어오르지 않았기 때문에 회절파장의 변화도 수 nm 내 범위였다.

4. 요약

본 연구에서는 소프트 리소그래피를 이용하여 주기 튜닝이 가능한 PDMS 그레이팅을 제작하고, 그레이팅을 톨루엔에 담겨 주기를 늘리며 회절파장의 변화를 관찰하였다. 주기가 커짐에 따라 회절파장이 긴 파장 쪽으로 변화하였다. 본 장치는 여러 가지 용매에 대한 화학 센서로 응용이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방파탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Xiaobin Hu, Jing Huang, Weixia Zhang, Mohan Li, Chengan Tao, and Guangtao Li, 2008, "Photonic Ionic Liquids Polymer for Naked-Eye Detection of Anions", *Advanced Materials* 20, pp. 4074–4078
- [2] Jian-Tao Zhang, Luling Wang, Jia Luo, Alexander Tikhonov, Nikolay Kornienko, and Sanford A. Asher, 2011, "2-D Array Photonic Crystal Sensing Motif", *J. Am. Chem. Soc* 133, pp. 9152–9155
- [3] Depeng Mao and Liang Dong, 2009, "Disposable Chemical and Biological Sensors Using Micro-Imprinted Stimuli-responsive Hydrogel Diffraction Grating", *Proc. Transducers*
- [4] Haesung Park, Dongheok Shin, Gumin Kang, Seunghwa Baek, Kyoungsik Kim, and Willie J. Padilla, 2011, "Broadband Optical Antireflection Enhancement by Integrating Reflective Antireflective Nanoislands with Silicon Nanoconical-Frustum Arrays," *Advanced Materials* 23, pp. 5796–5800
- [5] N.L. Privorotskaya, C.J. Choi, B.T. Cunningham, W.P. King, 2010, "Sensing micrometer-scale deformations via stretching of a photonic crystal", *Sensors and Actuators A* 161, pp. 66–71
- [6] Jessamine Ng Lee, Cheolmin Park, and George M. Whitesides, 2003, "Solvent Compatibility of Poly(dimethylsiloxane)-Based Microfluidic Devices", *Anal. Chem.* 75, pp. 6544–6554