

플라즈마에칭에 의한 고분자 나노 잔디 구조 제작 및 반사방지막 응용 기술

Fabrication of Polymer Nanograss Structure and Its Application to Anti-Reflective Film by Plasma Etching

*#최대근, 이기중, 정준호, 김기돈, 최준혁, 이승숙

*#D.-G. Choi(lamcdg@kimm.re.kr), K. J. Lee, J.-H. Jeong, K.-D. Kim, J.-H. Choi, E.-S. Lee

한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Nanograss, Antireflection, Plasma

1. 서론

최근 나노기술의 발전과 함께 나노급 패턴을 이용한 유용한 소자 응용에 관한 많은 연구결과들이 발표되고 있다. 주로 수나노에서~수백나노의 크기를 가지는 패턴은 나노 메모리, 바이오센서 및 세포(cell) 성장 연구 응용, 광결정(Photonic crystal)을 이용한 고효율 디스플레이, 고효율 태양 전지를 비롯한 다양한 광전소자등에 응용이 시도되고 있다.

구체적인 예를 들어 수나노에서~수백나노의 점 혹은 원기둥(Pillar)구조는 나노 메모리로 응용이 가능하며, 수백 나노의 크기의 광결정 구조는 OLED(LED)에서 외부 광효율을 높이기 위한 구조로 응용이 가능하다.¹ 또한 최근에는 자연의 생물을 모사하는 연구로 나방의 눈(moth-eye), 도마뱀 발바닥(Gecko's feet), 연꽃잎(Lotus)의 구조 응용에 관한 연구도 활발하다.² 이들 구조 모두 수십에서 수백 나노의 나노 구조를 가지고 있으며 구조에 따라서 소자적용이 가능한 특이한 거동을 보인다. 예를 들어 나방의 눈 구조는 반사방지(Antireflection)기능을 가지고 있어 효과적인 빛의 활용이 가능하며, 도마뱀 발바닥은 긴 기둥(pillar) 구조를 가지고 있어 미끄러운 벽면에도 잘 붙는다. 또한 연꽃잎은 물방울 및 먼지를 효과적으로 제거하는 초발수성 기능을 한다. 이들 자연의 구조를 모방한 구조를 인공적으로 만들어주면 실제 생활에 유용한 제품을 만들 수 있게 된다. 예를 들어, 인조 도마뱀 발바닥 구조는 탈부착이 용이한 신개념 점(접)착제로 사용이 가능하며, 인조 연꽃잎 구조는 자동차 유리 및 선택적 폐수분리와 같은 분리막으로도 사용이 가능하다.

본 연구에서는 뛰어난 반사방지막 특성을 가지는 나방의 눈(moth-eye) 구조를 모사한 인조 나방눈의 제작공정 기술에 대해 논하고자 한다.

기존에 일반적으로 사용되던 반사방지막은 저굴절률 재료의 연속박막 코팅방법이 주로 사용되어져 왔다.³ 하지만 이 방법은 재료의 선택에 한계가 있고 균일 박막제도가 용이하지 않으며 공정수가 많다는 단점이 있다.

그래서, 최근에는 주로 가시광파장대 이하의 주기(pitch)를 가지는 인조 나방눈을 모사하여 반사방지막으로 응용하려는 시도들이 이루어지고 있다. 반사방지막은 주로 OLED 및 LCD를 포함한 모니터에 적용이 가능하여 외부 빛의 반사에 의한 눈부심 현상을 줄여줄 수 있을 뿐 아니라 빛이 소자 외부로 나올때 반사되는 빛의 양을 감소시켜 광효율을 증가시켜 더욱 선명하고 밝은 화질을 볼 수 있다는 것이 밝혀졌으며 자동차 계기판을 포함한 산업용·가정용 유리등에 적용이 가능하다. 또한 태양전지(Solar cell)적용에 있어서 빛의 효율을 높이는 고효율 태양전지에 적용이 가능하며 LED 조명을 포함한 고효율 조명에도 응용이 가능하다.⁴

한편 이러한 나노패턴 제작 기술로는 전자빔 리소그래피와 극자외선(EUV) 리소그래피등의 기술이 사용가능하나, 이들 공정은 공정시간 및 고가의 장비사용으로 인해 대면적이 힘들고 가격이 비싼 단점이 있어 상용화에는 어려움

이 있다. 그래서 최근에는 나노 임프린트(Nanoimprint) 및 연성식각(soft lithography), 사출성형(injection molding) 등 몰드와의 직접적 접촉을 통한 패턴 복제 기술들이 관심을 받고 있다.⁵

그 중 가장 작은 패턴구현이 가능하면서 고열 및 고압이 필요하지 않는 임프린트 기술은 경제적으로 나노구조물을 제작할 수 있는 기술로 각광을 받고있다. 1990 년대 중반 이후 활발하게 연구된 임프린트 기술은 나노구조물이 각인된 스텝프(혹은 몰드)를 이용하여 기판위에 코팅된 레지스트를 가압하면서 열이나 자외선 조사를 통해 스텝프의 패턴을 기판에 전사하는 성형 기술로 차세대 리소그래피 기술로 인정받고 있다. 실제로 나노임프린트 기술은 2003년 초 미국 MIT가 선정한 세계를 바꿀 10가지 신생 기술에 포함되었으며, 2003년 국제 반도체 기술 지도(International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS))에 32 nm 이하의 반도체 소자 제작에 사용될 차세대 리소그래피 기술에 포함되면서 꾸준히 연구되고 있는 분야이다.

본 연구에서는 플라즈마 에칭 공정을 이용하여 나방눈을 모사한 고분자 나노 잔디(Nanograss) 구조 제작을 통한 임프린트를 위한 저가 나노 몰드 응용 및 반사방지막 응용에 관한 연구 결과를 소개하고자 한다.

2. 실험

플라즈마를 이용한 나노잔디 구조(Plasma-induced polymer nanograss) 제작을 위해서 레진으로 사용된 고분자는 SU8 (Microchem사)를 사용하였다. 실리콘 웨이퍼위에 스펀 코팅방법에 의해서 SU-8 박막을 코팅한 후 자외선 경화에 의해서 고분자 필름을 제조하였다. 스펀 코팅된 필름위에 산소(O₂)와 사불화탄소(CF₄)를 기반으로 하는 플라즈마 공정의 공정압력, 시간, 파워, 유량비등을 조절하여 나노잔디 구조를 제어하고 이를 임프린트 공정의 몰드로 활용하였다. 임프린트시에 몰드의 보호 및 이형을 위해서 기상증착장비를 사용하여 불소기반 자기조립(SAM) 실란 이형제인 Trichloro-(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl) silane (FOTS)를 증착하였다.

패턴복제를 위한 투명기판으로는 투명성이 좋은 폴리카보네이트(PC) 기판이 사용되었으며 자외선 경화를 이용한 나노임프린트 복제 실험을 위해서 PUA(polyurethane acrylate) 레지스트를 사용하였다. UV 경화성 PUA 레지스트를 제조하기 위해 모노머로 EB 284, TPGDA ((Tri(propylene glycol) diacrylate)와 NVP(1-vinyl-2-pyrrolidinone.99%)를 사용하였으며, 광 개시제는 Igacure 184를 사용하였다. 이형을 용이하기 위한 이형제로 Tego Rad 2200N를 사용하였다. 모노머인 TPGDA와 NVP를 혼합한 후, 광개시제인 Igacure 184 3wt%를 넣어 일정한 시간동안 교반을 시켜 광개시제를 녹이고 EB 284와 Tego Rad 2200N을 서로 다른 질량비로 첨가하여 저점도의 UV 경화성 레지스트를 만들었다.

나노 구조의 반사 방지 평가를 위해서 UV-Vis Spectrometer를 이용하여 반사율(Reflectance)와 투과도(Transmittance) 측정 실험을 수행하였다. 나노구조 분석을

위해서는 전계방출 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1 은 플라즈마 에칭에 의한 나노 잔디 구조의 주사 전자현미경 사진이다. 이때 사용된 가스는 CF₄, Ar, O₂ 를 1:1:3 의 비로 하였고, RF파워 80W에서 10 분간 에칭하여 나노 잔디의 모양의 구조물을 얻었다. 플라즈마 조건에 따라서 다양한 크기와 높이를 가지는 소위 나노 잔디라 불리는 고분자 나노패턴 제조가 가능한데 이러한 방법은 기존 임프린트 공정에서 고가의 마스터 제조 비용을 줄이고 실험자가 임의로 면적 및 패턴 조율이 가능하다는 장점이 있어 반사방지를 위한 저가 몰드 제작에 있어서 유용하게 응용되리라 기대된다. 이렇게 제조된 나노 잔디 구조위에 기상증착에 의해서 이형제 처리를 해준 후 PUA 레진을 이용하여 임프린트를 하면 반대 형상을 가지는 패턴이 투명 폴리카보네이트 기판위에 전사가 된다. (Fig. 2)

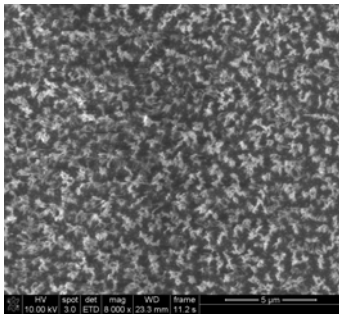


Fig. 1. SEM image of plasma-induced nanogragss structure

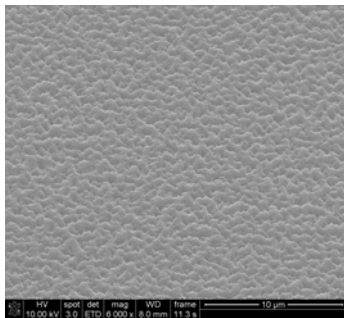


Fig. 2. SEM image of imprinted pattern by using plasma-induced nanogragss structure

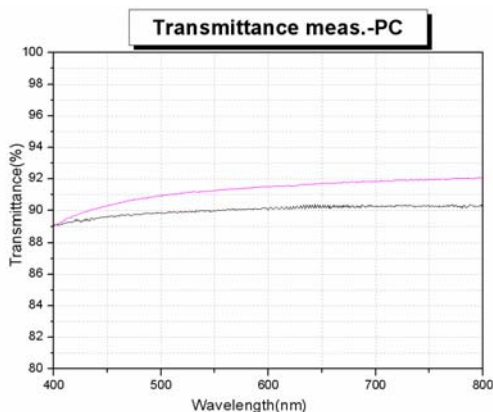


Fig.3. Transmittance change of PC film with imprinted ARS pattern using nanogragss structure

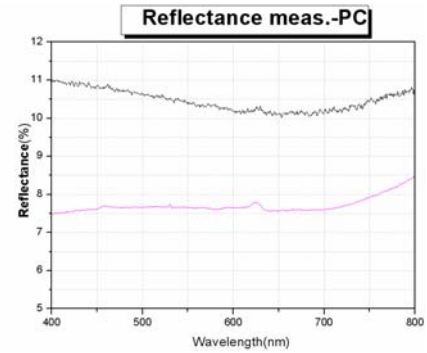


Fig. 4. Reflectance change of PC film with imprinted ARS pattern using nanogragss structure

광학 특성 결과는 600nm 기준으로 투과율은 89.5%에서 91.5%로 증가하였으며(Fig. 3) 반사율은 10.3%에서 7.7%로 감소(Fig. 4)하였음을 확인할 수 있다. 반사율비로 환산하면 처리하지 않은 PC 필름에 비해서 약 25% 반사율이 감소한 반면 투과도는 오히려 2.2% 증가하는 특성을 보였다. 구조적 특성 및 균일도에서 아직 이상적인 인조 나방눈 구조보다는 그 효과가 높지 않지만 제작공정 비용 면에서 장점이 있고 이후 최적 구조를 위한 실험이 진행되고 있어 그 효과 차이를 줄일 수 있을 것이라 기대된다.

4. 요약

플라즈마에 의한 나노 잔디 구조가 반사방지막에 효과가 있음을 확인하고 향후 지속적인 연구로 조건을 최적화할 경우 반사방지를 위한 저가 몰드 제작공정으로 유용하게 응용 가능함을 확인하였다.

후기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구개발 사업인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 지원((M102KN010001-02K1401-00212))에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Do, Y. R., Kim, Y.-C., Song, Y.-W., and Lee, Y.-H., "Enhanced light extraction efficiency from organic light emitting diodes by insertion of a two-dimensional photonic crystal structure," *J. Appl. Phys.*, **96**, pp.7629-7636(2004).
2. Parker, A. R. and Townley, H. E., "Biomimetics of photonic nanostructures," *Nat. Nanotechnol.*, **2**, pp.347-353(2007).
3. Kennedy, S.R., Brett, M.J. "Porous broadband antireflection coating by glancing angle deposition," *Appl. Optics*, **42**, pp. 4573-4579(2003).
4. Jun, S.-U., Lim, K.-M., Choi, S.-H., Hong, Y.-M. and Cho, K.-M., "Surface texturing and anti-reflection coating of multi-crystalline silicon solar cell," *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **40**, pp.138-143(2007).
5. Linn, N.C., Sun, C.-H., Jiang, P. and Jiang, B., "Self-assembled biomimetic antireflection coatings," *Appl. Phys. Lett.*, **91**, pp.101108 1-3(2007).