

나노패턴이 형성된 유리기판을 이용한 고효율 태양전지 제작 기술 Fabrication of highly efficient photovoltaic using the protective glass with nano-structures

*양기연¹, #이현¹, 한강수¹, 오상철¹

*K. Y. Yang¹, #H. Lee(heonlee@korea.ac.kr)¹, K.S.Han¹, S. C. Oh¹

¹ 고려대학교 신소재공학과

Key words : Photovoltaic, nano-structure, moth-eye structure

1. 서론

나노 기술이 발전하고 있는 가운데 다양한 나노 구조를 이용하여 고기능성을 구현하는 여러 가지 기술들이 개발되고 있다. 특히 200~300nm급의 지름을 갖는 cone array 패턴이 주기적으로 정렬되어 물질 표면에서의 전반사를 방지함으로써 광학적 효율을 향상시키는 moth-eye 구조에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{1, 2} 이러한 moth-eye 구조는 주기적인 나노 구조물에 의해 빛이 점진적인 굴절률의 변화를 느끼게 함으로써 전반사를 억제한다. 이러한 moth-eye 구조에 의한 전반사 억제 효과를 제대로 구현하기 위해서는 200~300nm급의 나노 구조물들이 고밀도로 제작되어야 하고 동시에 수직인 디지털 구조의 나노 패턴이 아닌 기울어진 아날로그 구조의 나노 패턴이 형성되어야 한다. 기존의 나노 패터닝 기술을 이용하여 moth-eye 나노 구조물을 제작하기 위해서는 매우 복잡한 공정이 필요하며 공정 비용 또한 매우 높기 때문에 광학 소자를 이용하는 실산업에 적용시키기 위해서는 간단하면서 저렴한 공정을 통해 moth-eye 나노 구조물을 형성하는 연구가 필요하다.

최근에는 moth-eye 구조를 간단한 공정을 통해 제작하기 위해 고분자 필름 혹은 유리 기판 표면에 나노 임프린트 리소그래피 기술을 이용하여 moth-eye 나노 구조를 형성하는 연구가 진행되었다.^{3, 4} 나노 임프린트 리소그래피 기술은 생산성이 높고 공정 비용이 저렴하기 때문에 moth-eye 구조와 같은 나노 패턴이 대면적에 필요할 때 널리 이용되고 있으나 이러한 기술을 이용하게 되면 단순히 고분자 기반의 moth-eye 패턴만을 제작할 수 있고 이를 통해 무기물 기반의 moth-eye 패턴을 제작하기 위해서는 여타 나노 패터닝 기술과 같이 복잡한 식각 공정을 통해 moth-eye 패턴을 제작할 수 밖에 없다. 또한 이렇게 제작된 고분자 기반의 moth-eye 구조물은 고분자 재질 특성상 내구성이 약해 외부 환경 요인에 의해 쉽게 열화될 수 있다.

최근에 고분자 몰드를 이용하여 다양한 기능성 용액을 이용한 다양한 직접 나노 프린팅 기술들이 개발되고 있다. 이 기술은 간단한 공정을 통해 기능성 나노 구조물을 직접 형성할 수 있다는 장점을 가지고 있고 공정 비용이 저렴하기 때문에 다양한 분야로의 응용 기술이 개발되고 있다.^{5, 6, 7}

본 연구 그룹은 최근에 hydrogen silsesquioxane (HSQ) 용액을 이용한 직접 HSQ printing 기술을 개발하였다.⁸ 이 기술은 poly(dimethylsiloxane) (PDMS) 몰드를 이용하여 기판위에 직접 HSQ 나노 패턴을 제작하는 기술로써 PDMS 몰드와 역상의 HSQ 나노 패턴을 간단한 공정을 통해 직접적으로 제작할 수 있는 기술이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 직접 HSQ printing 기술을 이용하여 유리 기판위에 HSQ moth eye 패턴을 형성하는 기술을 개발하고 HSQ moth eye 패턴에 의한 광학적 특성의 변화를 분석하였다. 또한 이러한 공정을 통해 제작된 HSQ moth eye 패턴이 형성된 태양전지 보호유리를 이용하여 태양전지의 효율을 향상시키는 기술에 대한 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

그림 1은 직접 HSQ printing 기술을 이용하여 유리 기판위에 HSQ moth eye 패턴을 제작하는 기술의 공정 모식도이다. 직접 HSQ printing 실험을 진행하기 전에 먼저 moth-eye 패턴이 형성된 PDMS 몰드를 제작하기 위해 moth-eye 패턴이 제작된 Nickel 몰드를 제작하였다. moth-eye 패턴이 제작된 Nickel 몰드는 laser

interference lithography 기술을 이용하여 moth-eye 구조의 photo-resist 패턴을 제작하고 이 위에 Nickel layer를 스퍼터링하여 증착한 후 electroplating 기술을 이용하여 moth-eye 패턴이 제작된 Nickel 몰드를 제작하였다.⁹ 이렇게 제작된 Nickel 몰드위에 Dow corning사의 sylgard 184A, B 용액을 10:1로 섞은 용액을 붓고 degasing 후 80°C에서 1시간동안 curing하여 moth-eye 패턴이 형성된 PDMS 몰드를 제작한다.^{5, 6, 7}

이렇게 제작된 PDMS 몰드위에 dow corning사에서 판매하는 HSQ 용액인 FOX-16을 붓고 spin-coating을 진행한 후 곧바로 유리 기판위에 HSQ layer가 코팅된 PDMS 몰드를 올려놓은 후 5atm에서 5min간 가압하여 직접 HSQ printing 공정을 진행한다. 이 후 PDMS 몰드를 기판으로부터 분리하게 되면 HSQ moth-eye 나노 패턴이 기판으로 전사되게 된다.

위와 같은 공정으로 제작된 HSQ moth-eye 나노 패턴이 형성된 유리 기판을 tandem 태양전지의 보호유리로 사용한 시편과 그렇지 않은 시편의 solar simulator를 진행하여 유리 기판 표면에 형성된 moth-eye 패턴에 의한 태양전지의 효율향상 효과를 분석하였다.

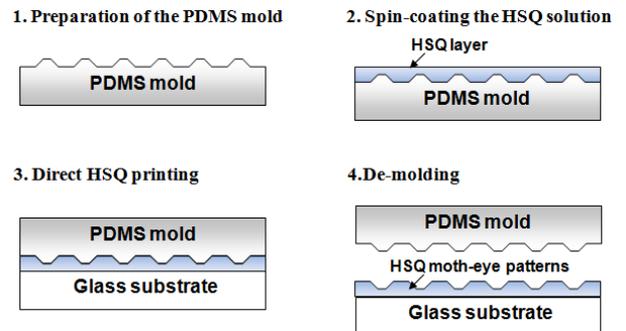


Fig. 1 Schematic diagram of the fabrication process of the HSQ moth-eye structures

3. 결과 및 토론

그림 2는 직접 HSQ printing 기술을 이용하여 제작된 HSQ moth-eye 패턴의 atomic force microscopy (AFM) 이미지이다. 그림에서 보는 바와 같이 직접 HSQ printing 기술을 통해 200~300nm의 지름을 가지면서 높이가 210nm인 아날로그 패턴이 제작되었음을 볼 수 있다.

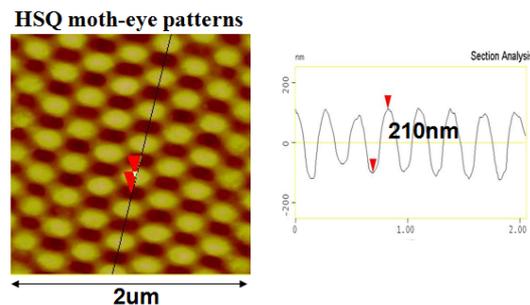


Fig. 2 AFM micrographs of the directly printed HSQ moth-eye structures

이러한 공정을 통해 제작된 HSQ moth-eye 구조에 의해 유리 기판의 광학적 특성이 어떻게 변하는지 관찰하기 위해 UV-visible spectrometer를 이용하여 HSQ moth-eye 패턴이 형성된 유리와 그렇지 않은 유리의 투과도를 분석하였다. 그림 3은 HSQ moth-eye 패턴이 있는 유리 기판과 그렇지 않은 유리 기판의 파장의 변화에 따른 투과도 그래프이다. 이 그래프에서 보는 바와 같이 printing된 HSQ moth-eye 나노 패턴에 의해 유리 기판의 투과율이 약 2~3% 향상된 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 HSQ의 굴절률이 유리 기판과 거의 비슷하면서 200~300nm급의 아날로그 패턴이 형성되어 반사방지 효과를 나타냄으로써 나타나는 것으로 볼 수 있다.

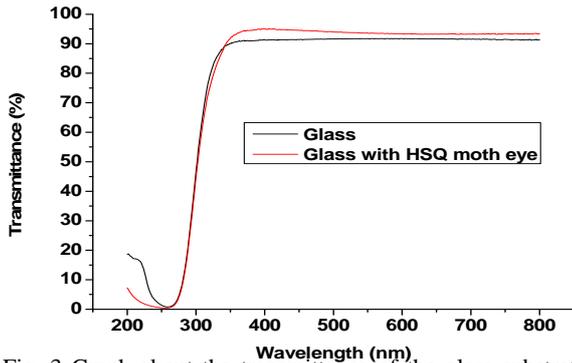


Fig. 3 Graph about the transmittance of the glass substrate with and without HSQ moth-eye structure

그림 4는 HSQ moth-eye 패턴이 있는 보호유리를 사용한 tandem 태양전지와 그렇지 않은 보호유리를 사용한 tandem 태양전지의 효율을 solar simulator를 이용하여 분석한 결과를 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 보는 바와 같이 HSQ moth-eye 패턴이 형성되어 있는 보호유리 기판을 이용한 tandem 태양전지의 단락 전류가 그렇지 않은 태양전지 보다 높은 것을 확인할 수 있으며 개방전압의 경우에는 거의 비슷한 것을 확인할 수 있다. 이러한 분석 결과를 통해 태양전지의 효율을 계산해보면 HSQ moth-eye 패턴이 형성된 보호유리를 사용한 tandem 태양전지의 효율은 약 11.44% 그렇지 않은 tandem 태양전지의 효율은 약 11.24%로 HSQ moth eye 나노 패턴에 의해 0.2%의 효율 향상 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 태양전지의 효율 향상 효과는 HSQ moth-eye 패턴에 의해 실제 태양전지로 들어오는 태양광의 양이 늘어나 태양광의 전기에너지로의 변환량이 늘어 태양전지 효율이 향상될 수 있다고 설명할 수 있다.

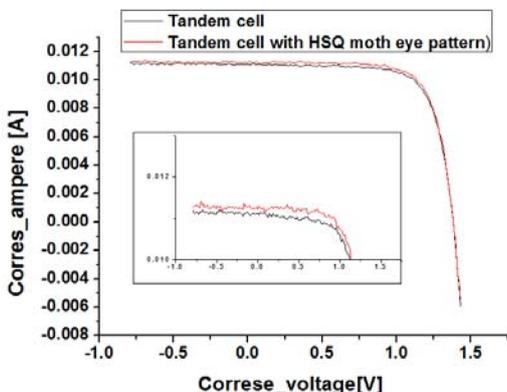


Fig. 4 Solar simulator results about the tandem cell using the protective glass with and without the HSQ moth eye structure

4. 결론

본 연구에서는 직접 HSQ printing 기술을 이용하여 유리 기판위에 HSQ moth-eye 패턴을 제작하였다. 이 기술은 간단한 가압

공정만을 통해 moth-eye 나노 패턴을 기판위에 형성할 수 있기 때문에 공정이 간단하고 공정 비용이 낮은 장점이 있다. 이렇게 제작된 HSQ moth-eye 패턴에 의해 유리 기판의 투과도가 약 2~3% 향상됨을 볼 수 있었고 HSQ moth-eye 나노 패턴이 형성된 보호유리를 이용한 tandem 태양전지는 그렇지 않은 tandem 태양전지 보다 0.2% 가량 발전 효율이 향상됨을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단을 통해 교육과학기술부의 나노기술 개발사업으로부터 지원받아 수행되었습니다. (2009-008324).

참고문헌

1. Wilson, S. J., Hutley, M. C., "The Optical Properties of 'Moth Eye' Antireflection Surfaces", *J. Mod. Opt.*, 29, 993-1009, 1982
2. Clapham, P. B., Hutley, M. C., "Reduction of Lens Reflexion by the "Moth Eye" Principle", *Nature* 244, 281 - 282, 1973
3. Xie, G., Zhang, G., Lin, F., Zhang, J., Liu, Z., Mu, S., "The fabrication of subwavelength anti-reflective nanostructures using a bio-template", *Nanotechnology* 19, 095605, 2008
4. Bae, B. J., Hong, S. H., Hong, E. J., Lee, H., Jung, G. Y., "Fabrication of Moth-Eye Structure on Glass by Ultraviolet Imprinting Process with Polymer Template", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 010207, 2009
5. Loo, Y. L., Willett, R. L., Baldwin, K. W., Rogers, J. A., "Additive, nanoscale patterning of metal films with a stamp and a surface chemistry mediated transfer process: Applications in plastic electronics.", *Appl. Phys. Lett.*, 81, 562, 2002
6. Lee, K. J., Fossier, K. A., Nuzzo, R. G., "Fabrication of Stable Metallic Patterns Embedded in Poly(dimethylsiloxane) and Model Applications in Non-Planar Electronic and Lab-on-a-Chip Device Patterning", *Adv. Funct. Mater.*, 15, 557, 2005
7. Lee, B. H., Cho, Y. H., Lee, H., Lee, K. D., Kim, S. H., Sung, M. M., "High-Resolution Patterning of Aluminum Thin Films with a Water-Mediated Transfer Process", *Adv. Mater.*, 19, 1714, 2007
8. 양기연, 오상철, 이현, "직접 프린팅 기술을 이용한 Hydrogen Silsesquioxane 나노 패턴 제작 기술", *대한금속재료학회, 전자재료-1-1*, 2010
9. Hong, S. H., Lee, J. H., Lee, H., "Fabrication of 50 nm patterned nickel stamp with hot embossing and electroforming process", *Microelectron. Eng.*, 84, 977-979, 2007