

원자층 증착법에 의한 Al₂O₃ 박막 형성에 따른 모스아이 구조 반사방지 필름의 기계적 물성에 미치는 영향

Effect of Atomic Layer Deposited Al₂O₃ Thin Films on the Mechanical Properties of Anti-reflective Moth Eye Nanostructured Films

윤은영^{a*}, 이우재^a, 장경수^b, 최현진^c, 최우창^c, 권세훈^a

^{a*}부산대학교 재료공학과(E-mail:yey0620@naver.com), ^b(주)서영, 나노융합사업팀, ^c부산테크노파크, 멤스나노부품생산센터

초 록: 최근 자연계에 존재하는 광학 구조체를 모사하여 우수한 반사 방지 효과를 표면에 구현하고자 하는 연구가 이루어지고 있으며, 특히 우수한 무반사 특성을 가지고 있는 나방의 눈 구조를 모사하여 응용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, 주로 폴리머를 기판으로 하여 구현되는 모스아이 구조의 필름은 기계적 성질이 좋지 않아 문제가 되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 모스아이 나노구조가 형성된 폴리머 기판에 비해 기계적 물성이 우수한 Al₂O₃ 물질을 적용하여, 모스아이 패턴의 기계적 특성을 향상 시키면서도, 모스아이 패턴이 가지는 고유의 우수한 광학적 성질을 유지시키기 위한 실험을 진행하였다. 모스아이 패턴의 광학적 성질을 유지하기 위해서는 나노구조 돌기상에 위치에 따른 두께 차이가 최소화된 균일한 코팅층을 형성하여 그 구조를 유지시킬 필요가 있으므로 이러한 구조물상에 단차피복성(Step Coverage)이 우수하고 sub-nm 단위의 정밀한 두께 조절이 용이한 원자층 증착법(Atomic layer deposition, ALD)을 이용하여 박막을 증착하였다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 스마트 기기, 터치 패널 등 다양한 광학 소자 시장이 급격하게 커짐에 따라, 반사 방지 효과를 나타내는 표면을 구현하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 기존에는 반사 방지 효과를 구현하기 위하여 굴절률이 서로 다른 박막을 교대로 기판상에 증착하여 그 계면에서 나타나는 상쇄 간섭 효과를 이용해 빛의 반사를 감소시키는 방향의 연구 개발이 많이 이루어져 왔다. 하지만, 이러한 기술은 특정 파장 범위에서만 반사방지 효과가 작동한다는 한계점과 빛의 입사 각도에 따라 반사 방지 효과가 달라지는 문제점이 존재한다. 모스아이 나노 구조는 입사각 및 파장 영역에 영향을 받지 않아, 기존 반사 방지 효과 코팅이 가지는 문제점을 대체할 수 있는 대안으로 여겨지고 있다. 인공적으로 모스 아이 구조 패턴을 형성하기 위한 방법으로는 전자선 리소그래피(e-beam lithography), 포토 리소그래피(photo lithography) 등과 같은 다양한 반도체 공정 기술들이 활용되고 있으나, 고비용 및 복잡한 고정으로 인해 상용화에 많은 문제점이 존재하게 된다. 따라서 최근에는 열가스성 폴리머의 기판을 유리 전이 온도 이상으로 가열한 후 나노 구조물을 갖는 몰드(Mold)로 기판 표면을 기계적으로 압착하여 표면 위에 패턴을 전사하는 핫 엠보싱(Hot embossing) 법을 이용하여 모스아이 나노구조 패턴을 형성하고 있다. 그러나, 핫 엠보싱 공정으로 제작된 모스아이 구조의 나노 패턴은 열가스성 폴리머로 만들어지는 재료적 한계로 인해 낮은 경도 값을 가지게 되는 본질적인 문제점을 피할 수 없어 실제 상용화를 고려할 때 걸림돌로 작용하고 있다. 따라서, 이러한 폴리머 기반의 모스아이 구조에 변형을 일으키지 않으면서 균일한 박막 증착이 가능한 ALD법을 통해 경도를 향상시킬 수 있는 물질을 코팅해야할 필요성이 있다.

2. 본론

본 연구에서는 제작된 몰드를 사용하여 핫 엠보싱법을 통해 폴리카보네이트(PC, polycarbonate) 기판에 145° C 온도에서 400초 동안 4600N의 힘을 가한 후, 높이 250 nm, 간격 300 nm의 모스아이 패턴이 형성된 125μm 두께의 PC 필름을 제조하였으며, 이 PC 필름은 실험을 위한 기판으로 사용하였다. 모스아이 구조 위에 Al₂O₃ 박막을 형성하기 위하여 원자층 증착법을 이용하였으며, 증착을 위한 챔버의 온도 및 압력은 각각 100° C 및 0.6 Torr로 일정하게 유지하였다. Al₂O₃ 증착을 위한 전구체 및 반응물로서 TMA(Trimethyl aluminum)와 H₂O를 사용하였으며, TMA 및 H₂O 모두 높은 증기압을 가지므로, 10° C로 냉각하여 사용하였다. N₂(99.999%) 가스는 전구체, 반응체의 carrier gas 및 purge 가스로 사용되었으며, 50 sccm으로 주입하였다. ALD를 이용하여 Al₂O₃를 증착하기 위한 cycle은 TMA 주입 0.2 초, N₂purge 10 초, H₂O 주입 0.2 초, N₂ purge 10 초로 구성하였으며, ALD cycle의 반복횟수를 조절하여 5, 10, 15, 20, 25nm 두께의 Al₂O₃ 박막을 형성하였다. 투과 전자 현미경을 통하여 모스아이 필름의 구조물 위에 Al₂O₃ 박막이 균일하게 형성되었음을 확인하였다. Al₂O₃를 증착하지 않은 모스아이 구조 패턴 및 Al₂O₃가 증착된 모스아이 구조 패턴의 광투과도를 측정된 결과, 박막이 증착되지 않은 모스아이 필름의 투과도는 95.47 %이나, 5, 10, 15, 20, 25nm 두께의 Al₂O₃ 박막이 증착된 모스아이 필름의 투과도는 94.94, 94.69, 94.05, 93.53, 93.12 %로, 박막이 증착되지 않은 모스아이 필름에 비해 상대적으로 작았으며, 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 투과도가 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 기존에 선행연구 되었던 모스아이 패턴을 도입한 반사 방지 코팅의 투과도가 94 % 정도 인 점을 고려하면, Al₂O₃ 박막을 15nm 이하로 형성하는 경우 이보다 높은 94% 이상의

투과도를 유지할 수 있음을 확인할 수 있었다. 박막 증착에 따른 모스아이 패턴이 형성된 필름의 경도 향상을 확인하기 위해 Nanoindentation을 통해 경도의 변화를 측정하였으며, Al₂O₃ 박막의 두께가 15, 20, 25nm인 시편의 경도 값이 각각 0.5712, 0.6583, 0.7806 GPa로서, 터치용 필름으로 사용 가능한 경도가 약 0.45 GPa 정도임을 고려할 때, 15nm 이상의 Al₂O₃ 박막이 증착된 모스 아이 패턴은 터치용 필름 용도로도 충분한 경도를 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 우수한 방사방지 특성을 가지는 모스아이 패턴 기판의 기계적 특성을 향상시키기 위하여 ALD법을 통해 Al₂O₃박막을 모스아이 패턴상에 증착하고 광투과도와 기계적 특성의 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 핫 엠보싱법을 통해 높이 250 nm, 간격 300 nm의 모스아이 패턴이 형성된 125 μm 두께의 PC기판을 형성하였으며, 이때 95.47 %의 높은 투과율과 0.1381 GPa의 낮은 경도를 나타내었다. ALD 법을 통해 Al₂O₃박막을 모스아이 패턴에 증착한 결과, 박막 두께의 증가에 따라 모스아이 나노패턴의 투과도는 점차 감소하였으나, 15 nm 이하의 두께로 적용시 bare PC 기판의 투과도보다는 높은 값을 유지하여 모스아이패턴 형성에 의한 방사방지 효과를 나타냄을 확인하였다. 반면 경도는 Al₂O₃박막의 두께 증가에 따라 점차적으로 증가하였으며, 15 nm 이상을 적용한 경우 모스아이 패턴을 형성하지 않은 bare PC의 경도값인 0.47250 GPa 보다 높은 0.5712 GPa의 경도를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 ALD Al₂O₃박막 증착을 통해 모스아이 패턴이 가지는 방사방지 효과는 유지하면서도, 낮은 경도를 가지는 문제점을 개선할 수 있음을 보여주는 것으로, 향후 향상된 기계적 특성을 가지는 모스아이 패턴 방사방지막 제조에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. M. Onodera, H. Matsuda, H. Mori, and T. Ito : SID. Int. Symp. Dig. Tec, 25 (1994) 823.
2. T. Kawamura, H. Kawamura, and K. Kobara : SID. Int. Symp. Dig. Tec, 91 (1991) 49.
3. L. C. Klein : “Sol-Gel Technology for Thin Films, Fibers, Preforms, Electronics, and Specialty Shapes” , Noyes Publications, New Jersey, (1988) 49.
4. F. C. Stedile, and B. A. S. De Barros Jr : Thin Solid Films, 170 (1989) 285.
5. Y. F. Huang, S. Chattopadhyay, Y. J. Jen, C. Y. Peng, T. A. Liu, Y. K. Hsu, C. L. Pan, H. C. Lo, C. H. Hsu, Y. H. Chang, C. S. Lee, K. H. Chen, and L. C. Chen : Nat. Nanotechnol, 2 (2007) 770.
6. S. H. Hong, B. J. Bae, K. S. Han, E. J. Hong, H. Lee, and K. W. Choi : Electron. Mater. Lett, 5 (2009) 39.
7. <http://www.flexvuefilms.com/pdf/en/TouchScreen.pdf>