



&lt;연구논문&gt;

ISSN 1225-8024(Print)  
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지  
J. Kor. Inst. Surf. Eng.  
Vol. 48, No. 2, 2015.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2015.48.2.50>

## 원자층 증착법에 의한 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 박막 형성에 따른 모스아이 구조 반사방지 필름의 기계적 물성에 미치는 영향

윤은영<sup>a</sup>, 이우재<sup>a</sup>, 장경수<sup>b</sup>, 최현진<sup>c</sup>, 최우창<sup>c</sup>, 권세훈<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>부산대학교, 재료공학부

<sup>b</sup>(주)서영, 나노융합사업팀

<sup>c</sup>부산테크노파크, 멤스나노부품생산센터

## Effect of Atomic Layer Deposited $\text{Al}_2\text{O}_3$ Thin Films on the Mechanical Properties of Anti-reflective Moth Eye Nanostructured Films

Eun Young Yun<sup>a</sup>, Woo-Jae Lee<sup>a</sup>, Kyung Su Jang<sup>b</sup>, Hyun-Jin Choi<sup>c</sup>,  
Woo-Chang Choi<sup>c</sup>, Se Hun Kwon<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>School of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>b</sup>Nano Convergence Team, Seo Yeong Co. Ltd., Busan 618-220, Korea

<sup>c</sup>MEMS/NANO Component Production Center, Busan Techno Park, Busan 609-735, Korea

(Received March 6, 2015 ; revised April 17, 2015 ; accepted April 22, 2015)

### Abstract

$\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films were deposited on the moth eye anti-reflective nanostructured polycarbonate films by atomic layer deposition (ALD) techniques. Without ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films, moth eye anti-reflective nanostructured films had a high optical transmittance of 95.47% at a wavelength of 550 nm and a very poor hardness of 0.1381 GPa. With increasing the thickness of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films from 5 to 25 nm, the transmittance of moth eye anti-reflective nanostructured films was gradually decreased from 94.94 to 93.12%. On the other hand, the hardness of the films was greatly increased from 0.3498 to 0.7806 GPa with increasing the thickness of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films. This result shows that ALD thin films can be applied to improve mechanical properties with an adequate optical transmittance of the conventional moth eye anti-reflection nanostructure films.

*Keywords* : Moth eye structure, Atomic layer deposition,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films, Mechanical properties

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 스마트 기기, 터치 패널 등 다양한 광학 소자 시장이 급격하게 커짐에 따라, 반사방지 효과를 나타내는 표면을 구현하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 기존에는 반사방지 효과를 구현하기 위하여 굴절률이 서로 다른 박막을 교대로 기판상에 증착하여 그 계면에서 나

타나는 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 반사방지 효과가 달라지는 문제점이 존재한다<sup>1-4)</sup>. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 최근 자연계에 존재하는 광학 구조체를 모사하여 우수한 반사방지 효과를 표면에 구현하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 자연계의 다양한 광학 구조체 중에서도 우수한 무반사 특성을 가지고 있는 나방의 눈 구조를 모사하여 응용하고자 하는 연

\*Corresponding Author : School of Materials Science and Engineering, Pusan National University  
E-mail : sehun@pusan.ac.kr

구가 활발히 이루어지고 있다. 나방 눈의 무반사 특성은 모스아이(Moth-eye) 나노구조 패턴이라 알려진 눈 표면에 형성되어 있는 작은 나노 크기의 돌기 형상 때문인 것으로 알려져 있으며, 입사각 및 파장 영역에 영향을 받지 않아, 기존 반사방지 효과 코팅이 가지는 문제점을 대체할 수 있는 대안으로 여겨지고 있다<sup>5)</sup>.

인공적으로 모스아이 구조 패턴을 형성하기 위한 방법으로는 전자선 리소그래피(E-beam lithography), 포토 리소그래피(Photo lithography) 등과 같은 다양한 반도체 공정 기술들이 활용되고 있다. 전자선 리소그래피는 미세하고 정확한 패턴을 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 고비용 및 오랜 공정시간으로 인한 저 생산성에 대한 단점이 존재하며, 포토 리소그래피 공정 또한 고비용과 복잡한 단계의 공정을 거쳐야해 상용화에 많은 문제점이 존재한다<sup>6)</sup>. 이러한 문제점으로 인하여, 최근 핫 엠보싱(Hot embossing) 법을 이용하여 모스아이 나노구조 패턴을 형성하는 방법이 상용화에 적절한 방법으로 인식되고 있다. 핫 엠보싱 방법은 열가소성 폴리머의 기판을 유리 전이온도 이상으로 가열한 후 나노 구조물을 갖는 몰드(Mold)로 기판 표면을 기계적으로 압착하여 표면 위에 패턴을 전사하는 방법이다<sup>7)</sup>. 이러한 핫 엠보싱 방법은 나노 임프린트(Nano imprint) 공정과 사출 성형 공정이 혼합된 공정이라 할 수 있으며, 기존 전자선 리소그래피, 포토 리소그래피와 비교하여 경제적이고 효과적인 패턴링을 할 수 있어 많은 종류의 고부가가치 부품 생산에 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 10 nm 이하의 높은 분해능을 가져 고해상도의 패턴 형성이 가능하고, 재현성도 뛰어나고, 재료 처리량이 크며, 매우 경제성이 높은 공정으로 알려져 있으며<sup>8)</sup>, 평판 기판에만 패턴 구현이 가능한 전자선 리소그래피에 비해 유연 기판에 적용하기 용이하다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 핫 엠보싱 공정으로 제작된 모스아이 구조의 나노 패턴은 열가소성 폴리머로 만들어지는 재료적 한계로 인해 낮은 경도 값을 가지게 되는 본질적인 문제점을 피할 수 없어 실제 상용화를 고려할 때 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 모스아이 구조 패턴을 실제 제품에 적용하기 위해서는 모스아이 구조 패턴 고유의 우수한 반사방지 특성은 유지하면서도, 기계적 성질을 향상시킬 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 모스아이 나노구조가 형성된 폴리머 기판에 비해 기계적 물성이 우수한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 물질을 적용하여, 모스아이 패턴의 기계적 특성을 향상 시키면서도, 모스아이 패턴이 가지는 고유의 우수한 광학적 성질을 유지시키기 위한 실험

을 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)을 이용하여 박막을 증착하였다<sup>9)</sup>.

## 2. 실험방법

모스아이 패턴을 형성하기 위한 몰드를 제작하기 위해 Si 기판 위에 포토레지스트(Photoresist)를 증착 한 후 포토 리소그래피 공정으로 포토레지스트를 패턴링하고, 플라즈마 강화 원자층 증착법(Plasma enhanced atomic layer deposition)으로 SiO<sub>2</sub>를 증착하였다. 그림 1은 제작된 몰드를 사용하여 핫 엠보싱법을 통해 모스아이 패턴이 형성된 폴리카보네이트(PC, polycarbonate)를 제작하는 과정을 나타낸 그림이다. 붕규산 유리를 기판으로 하여 형성된 몰드 위에, PC 필름이 형성된 붕규산 유리 기판을 올려 145°C 온도에서 400 sec 동안 46000 N의 힘을 가한 후, 힘을 제거하여 높이 250 nm, 간격 300 nm의 모스아이 패턴이 형성된 125 μm 두께의 PC 필름을 제조하였으며, 이 PC 필름은 실험을 위한 기판으로서 사용하였다. 모스아이 구조 위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막을 형성하기 위하여 원자층 증착법(ALD; NCD Technology, Lucida D100)을 이용하였으며, 증착을 위한 챔버의 온도 및 압력은 각각 100°C 및 0.6 Torr로 일정하게 유지하였다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 증착을 위한 전구체 및 반응물로서 TMA (Tri-methyl aluminum, Mechronics Co., Ltd.)와 H<sub>2</sub>O를 사용하였으며, TMA 및 H<sub>2</sub>O 모두 높은 증기압을 가지므로, 10°C로 냉각하여 사용하였다. N<sub>2</sub> (99.999%) 가스는 전구체, 반응체의 carrier gas 및 purge 가스로 사용되었

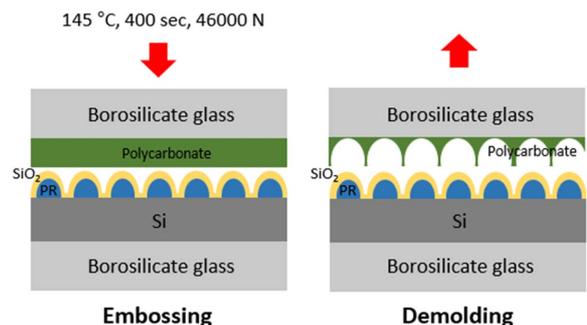


Fig. 1. Schematic illustration of hot embossing process for moth eye nanostructured polycarbonate films.

으며, 50 sccm으로 주입하였다. ALD를 이용하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 증착하기 위한 cycle은 TMA 주입 0.2 sec,  $\text{N}_2$  purge 10 sec,  $\text{H}_2\text{O}$  주입 0.2 sec,  $\text{N}_2$  purge 10 sec로 구성하였으며, ALD cycle의 반복횟수를 조절하여 원하는 두께를 형성하였다.

$\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 증착하지 않은 모스아이 구조 패턴 및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 증착된 모스아이 구조 패턴의 광투과도를 알아보기 위하여, 자외선 광학 측정기(UV-VIS; Shimadzu, UV-1700 System)를 사용하였으며 단파장을 고분해능으로 조사하여 광투과도를 측정하였다. 모스아이 구조적 형상은 전계방출형 주사전자현미경(FESEM; Hitachi S-4800)과 고분해능 투과전자현미경(HRTEM; JEOL, JEM-2100F HR)을 통해 관찰하였다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 두께에 따른 모스아이 패턴의 경도는 나노인덴테이션(Nanoindentation; Hysitron, Inc, TI 950 TriboIndenter)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

실험을 진행하기에 앞서, 모스아이 패턴 형성 여부에 따른 투과도 차이를 확인하였으며, 이를 그림 2에 나타내었다. 모스아이 패턴이 형성되지 않은 평판 bare PC 필름에 비하여, 250 nm 높이의 모스아이 패턴을 형성시킨 PC 필름이 가시광 파장영역인 380 ~ 770 nm에서 우수한 투과도를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 가시광의 파장보다 작은 크기의 돌기가 조밀하고 균일하게 분포하는 모스아이

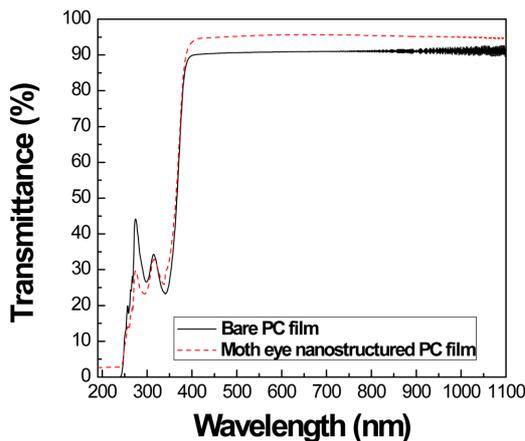


Fig. 2. Optical transmittance of bare polycarbonate (PC) film and moth eye nanostructured PC film with height of 250 nm at wavelength of 190 ~ 1100 nm.

나노구조로 인해 굴절률이 연속적으로 변하는 효과로 반사율을 감소시키기 때문으로<sup>10)</sup>, 기존에 보고된 모스아이 패턴 형성에 따른 투과도 향상 결과와 잘 일치한다<sup>11)</sup>. 표 1에는 모스아이 패턴 형성에 따른 가시광선 550 nm 파장에서의 투과도를 표시하였다. 모스아이 패턴이 형성되지 않은 bare PC 필름의 경우 90.78%의 투과도를 나타냈으며, 250 nm 높이의 모스아이 패턴이 형성된 필름의 투과도는 95.47%로 나타났다. 향후 ALD를 통해  $\text{Al}_2\text{O}_3$  증착 두께 변화에 따른 투과도를 정량적으로 비교하기 위하여 550 nm의 파장에서의 투과도를 기준으로 비교를 진행하였다.

모스아이 패턴이 형성된 PC 필름에 박막 증착을 위하여 투과도가 비교적 우수하고, 기판인 PC 필름에 비해 우수한 기계적 특성을 가지는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  물질을 TMA와  $\text{H}_2\text{O}$ 를 이용하여 ALD법을 통해 증착하였다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  증착을 위해 ALD법을 사용한 이유는, 우수한 단차피복성(Step coverage) 특성과 정밀한 두께 제어가 가능하여 모스아이와 같은 복잡한 구조에 균일한 코팅층을 증착하기에 적합하며, 저온 공정이 가능하여 PC와 같은 폴리머 기판에 적용하기 용이하기 때문이다<sup>9)</sup>. 그림 3은 전구체인 TMA의 주입시간에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 증착률의 변화를 나타낸 그래프이며, TMA의 주입 시간에 상관없이 증착률이 0.12 nm/cycle로 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다. 이는 ALD 고유의 특성인 자기제어(Self-limiting) 성장에 의하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 증착이 가능함을 나타낸다. 이에 따라, 250 nm 높이와 300 nm

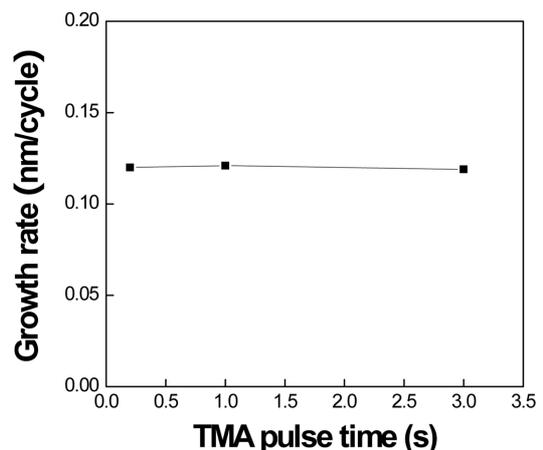


Fig. 3. Growth rate of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films depending on the TMA pulse time.

Table 1. Optical transmittance values of bare PC (polycarbonate) film and moth eye nanostructured PC film at a fixed wavelength of 550 nm.

	Bare PC film	Moth eye nanostructured PC film (h = 250 nm)
Optical Transmittance (%) at $\lambda = 550$ nm	90.78	95.47

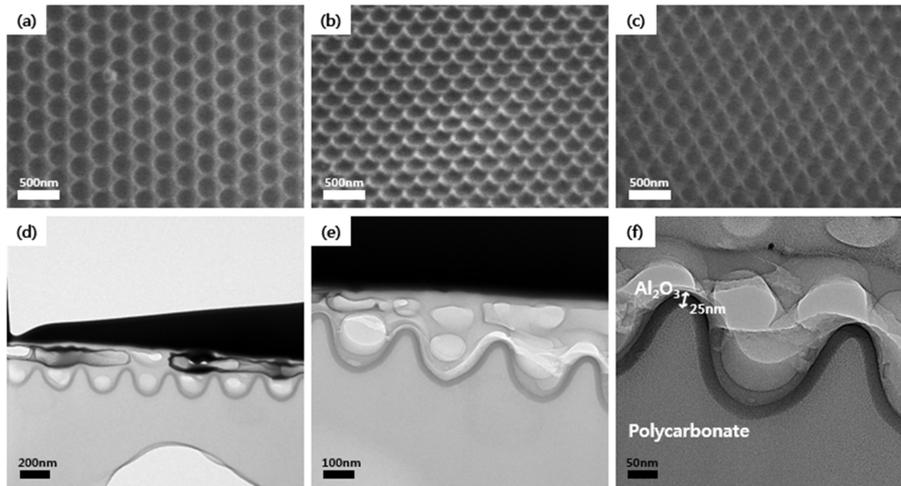


Fig. 4. Field emission scanning electron microscopy (FESEM) images of moth eye nanostructured PC films without ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  films ((a), (b), and (c)). (a) shows top-view image, (b) shows 25° tilted image, and (c) shows 45° tilted image. High resolution transmission electron microscopy (HRTEM) cross-sectional images of moth eye nanostructured PC films with 25 nm-thick ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films ((d), (e), and (f) with different magnification).

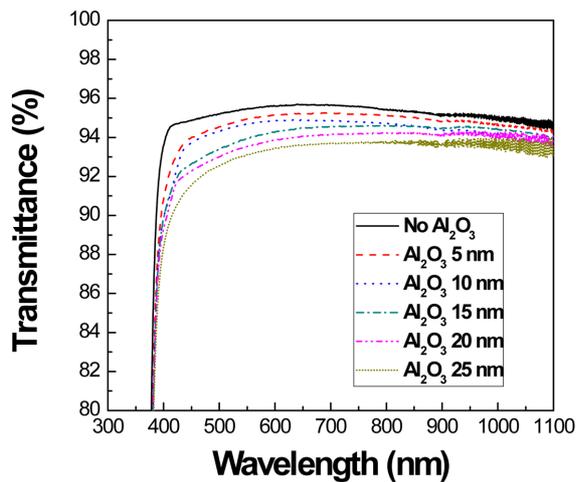


Fig. 5. Effect of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin film thickness on the optical transmittance of moth eye nanostructured films at the range of 300 ~ 1100 nm.

간격을 가지는 모스아이 나노패턴이 형성된 PC 필름에 ALD cycle의 반복 횟수를 조절하여 두께를 정밀하게 제어하며  $\text{Al}_2\text{O}_3$  증착 실험을 진행하였다.

그림 4는 모스아이 나노패턴이 형성된 PC 필름에 ALD법을 이용하여 25 nm의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 증착하기 전의 주사전자현미경 이미지와 증착 후의 투과전자현미경 이미지를 나타낸다. 그림 4(a), (b), (c)는 박막이 증착 되지 않은 모스아이 필름의 주사전자현미경 이미지로서, 그림 4(a)는 표면 이미지며, 그림 4(b), (c)와 같이 25°, 45°로 기울인 모스아이 구조 이미지를 통해 보다 그 형상을 더욱더 뚜렷하게 관찰할 수 있었다. 그림 4(d), (e), (f)는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 25 nm 증착 한 후의 배율이 각각 다른 투과전자현미경의 단면 이미지로서, bare 모스아이 필름

의 구조물 위에 25 nm 두께의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있으며, 이는 ALD법의 우수한 단차피복성 특성으로 인해 구현할 수 있었다. 이에 따라,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 증착이 모스아이 패턴의 구조적 변형으로 인한 투과도 감소에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다. 하지만, 모스아이 패턴의 높이가 실제 사용한 모스아이 패턴 높이인 250 nm에 못 미치는 것은 투과전자현미경 단면 이미지를 얻기 위해 집속이온빔(Focused ion beam)을 통한 시편 제작시, 모스아이 구조물의 최고점 옆으로 절단되어 제작되었기 때문이다. 또한, 25 nm  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착 된 모스아이 필름을 10 ~ 80 g (터치용 스크린이 작동하는 힘)의 힘으로 1000번 터치하였을 때, 모스아이 구조물의 변형이나  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막의 균열이 일어나지 않음을 확인할 수 있었다.

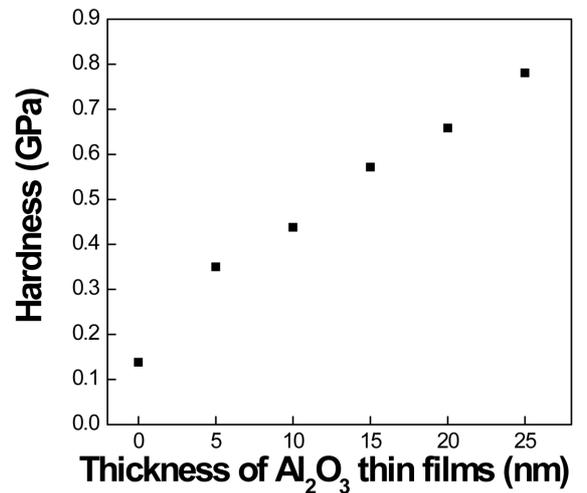
모스아이 패턴이 형성된 필름의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 증착 두께에 의한 투과도 변화를 확인하기 위하여 자외선 광학 측정기를 통하여 투과도의 변화를 관찰하였으며 이를 그림 5에 나타내었다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착 되지 않은 모스아이 필름에 비하여,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착된 모스아이 필름의 투과도가 가시광 파장대인 380 ~ 770 nm 전 영역에서 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 증착된 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 투과도가 떨어지는 경향을 보임을 확인할 수 있었다. 이는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층의 두께 증가에 따라 박막층에서의 빛의 흡수가 증가하여 광학적 특성이 저하된다는 람베르트의 법칙과 일치한다<sup>12)</sup>. 하지만, 5 ~ 25 nm 두께의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 증착한 모든 시편의 투과도가 bare PC 필름의 투과도 보다는 높게 유지되고

**Table 2.** Optical transmittance values of moth eye nanostructured PC films with and without ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin films at a fixed wavelength of 550 nm.

	Moth eye nanostructured PC film	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 5 nm	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 10 nm	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 15 nm	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 20 nm	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 25 nm
Optical Transmittance (%) at $\lambda = 550$ nm	95.47	94.94	94.69	94.05	93.53	93.12

있음을 확인 할 수 있었으며, 이는 모스아이 패턴으로 인한 반사방지 기능이 정상적으로 구현되고 있는 것으로 생각된다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 증착 시킨 모스아이 필름과 박막이 증착 되지 않은 모스아이 필름의 투과도를 정량적으로 비교하기 위하여, 가시광선 영역인 550 nm에서의 투과도를 표 2에 나타내었다. 박막이 증착 되지 않은 모스아이 필름의 투과도는 95.47%이었으며, 5, 10, 15, 20, 25 nm의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착 된 모스아이 필름의 투과도는 각각 94.94, 94.69, 94.05, 93.53, 93.12%으로 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 투과도가 점진적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 박막을 증착하지 않은 모스아이 패턴에 비해서는 박막 증착에 따라 투과도가 다소 감소하나, 기존에 선행연구 되었던 모스아이 패턴을 도입한 반사방지 코팅(Anti-reflective coating)의 투과도가 94%<sup>11)</sup> 정도인 점을 고려하면,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 15 nm 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 나노인덴테이션을 통해 경도의 변화를 측정하였으며, 그림 6에  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 증착하지 않은 모스아이 필름과 다양한 두께의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착 된 모스아이 필름의 경도를 측정된 결과를 나타내었다. 모스아이 패턴이 형성되지 않은 Bare PC 필름의 경우 0.4725 GPa의 경도를 나타내었으나, 모스아이 패턴을 형성한 후 0.1381 GPa의 경도로, 모스아이 패턴을 형성하지 않은 경우에 비해 경도가 약 78% 감소함을 확인할 수 있었으며, 이는 표면에 나노 크기의 돌기가 형성되었기 때문으로 판단된다. 그러나, ALD법을 통해  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 증착 한 경우, 증착 두께의 증가에 따라 경도는 점차적으로 증가하였다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막의 두께가 15, 20, 25 nm인 시편의 경도 값이 각각 0.5712, 0.6583, 0.7806 GPa로서 모스아이 패턴을 형성하지 않은 bare PC 필름의 경도 (0.4725 GPa)에 비해서도 더 높은 경도 값을 나타내었다. 터치용 필름으로 사용 가능한 경도가 약 0.45 GPa<sup>13)</sup> 정도임을 고려할 때, 15 nm 이상의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막이 증착 된 모스아이 패턴은 터치용 필름 용도로도 충분한 경도를 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.



**Fig. 6.** Effect of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin film thickness on the hardness of moth eye nanostructured films.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우수한 반사방지 특성을 가지는 모스아이 패턴 기판의 기계적 특성을 향상시키기 위하여 ALD법을 통해  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 모스아이 패턴상에 증착하고 광투과도와 기계적 특성의 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 핫 엠보싱법을 통해 높이 250 nm, 간격 300 nm의 모스아이 패턴이 형성된 125  $\mu\text{m}$  두께의 PC기판을 형성하였으며, 이때 95.47%의 높은 투과율과 0.1381 GPa의 낮은 경도를 나타내었다. ALD법을 통해  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막을 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 반사방지 효과를 나타냄을 확인하였다. 반면 경도는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막의 두께 증가에 따라 점차적으로 증가하였으며, 15 nm 이상을 적용한 경우 모스아이 패턴을 형성하지 않은 bare PC의 경도값인 0.4725 GPa 보다 높은 0.5712 GPa의 경도를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 ALD  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 증착을 통해 모스아이 패턴이 가지는 반사방지 효과는 유지하면서도, 낮은 경도를 가지는 문제점을 개선할 수 있음을 보여주는 것으로, 향후 향상된 기계적 특성을 가지는 모스아이 패턴 반

사방지막 제조에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

## Acknowledgment

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

## References

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. B. J. Bae, S. H. Hong, S. U. Kwak, and H. Lee : J. Kor. Inst. Surf. Eng. 42 (2009) 59.
7. D. W. Yun, Y. S. Son, J. H. Kyung, H. C. Park, S. H. Lee, and B. I. Kim : KSPE Spring Conference, (2012) 95.
8. M. Hecke, W. Bacher, and K. Muller : Sens. Actuators. A-Phys, 83 (2000) 130.
9. V. Miikkulainen, M. Leskelä, M. Ritala, and R. L. Puurunen : J. Appl. Phys, 113 (2013) 021301.
10. S. J. Wilson, and M. C. Hutley : J. Mod. Opt, 29 (1982) 993.
11. S. H. Hong, B. J. Bae, K. S. Han, E. J. Hong, H. Lee, and K. W. Choi : Electron. Mater. Lett, 5 (2009) 39.
12. Z. Q. Huang : Ph. D. Thesis, National university of Singapore, (2010).
13. <http://www.flexvuefilms.com/pdf/en/TouchScreen.pdf>