

# 마이크로 나노 구조를 이용한 투명기판의 구조색 효과 Structural Coloring Effect of Transparent Substrate using Micro and Nano Structures

\*박용민<sup>1</sup>, 김병희<sup>1</sup>, #서영호<sup>1</sup>

\*Y. M. Park<sup>1</sup>, B. H. Kim<sup>1</sup>, # Y. H. Seo(mems@kangwon.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 기계메카트로닉스 공학과

Key words : Structural coloring , Al anodization, Iridescent color

## 1. 서론

마이크로 혹은 나노구조물을 이용한 구조색(structural coloring) 분야는 화학적인 안료나 염료의 사용없이 색상을 구현하는 기술 분야로서 환경 및 비용 문제를 제거한 무도장(non-plating) 색 구현이라는 관점 하에 기술 개발의 필요성이 증대되고 있다. 구조색의 발색 원리는 미세구조물에 의한 빛의 다중간섭과 회절 그리고 산란 등의 메커니즘에 의해 발현하는 것으로서 주기적으로 반복되는 단위구조에 의해 특성을 나타내게 된다[1]. 구조색을 구현하기 위한 종래의 전자빔 리소그래피(E-beam lithography)와 FIB-CVD와 같은 일반적인 Top-down 방식의 공정은 수율이 낮고 대면적 적용의 한계를 가지고 있어, 본 연구에서는 알루미늄 양극산화 공정(AAO)과 핫엠보싱공정(hot embossing)을 이용한 Bottom-up방식의 간단한 공정을 적용하여 다양한 크기를 갖는 주기적인 나노구조물을 제작하고 임의의 구조색을 구현하여 종횡비와 직경에 따른 영향을 검증하였다[2,3]. 또한 마이크로 나노 구조를 갖는 표면제작을 통해 빛이 인가되는 각도에 따라 상이한 색을 나타내는 무지개색(iridescent structural color)을 구현하였으며 나노구조물의 유무에 따른 색상구현의 특성을 실험을 통해 검증하였다.

## 2. 나노 구조물 성형을 위한 몰드 제작

구조물의 크기에 따른 영향을 검증하기 위하여, 본 연구에서는 AAO공정을 이용하여 성형몰드(mold)를 제작하였다. 균일한 나노구조물을 제작하기 위하여 2회에 걸쳐 양극산화공정을 수행하였으며 2차 양극산화공정의 시간제어와 포어 와이드닝공정(pore widening)을 통해 종횡비와 직경이 제어

된 몰드를 제작하였다. 성형몰드는 나노구조물의 크기에 대한 구조색 효과를 확인하고 색도(color intensity)를 향상시킬 수 있는 형상 조건을 도출하기 위하여 종횡비가 1이하인 몰드와 1이상인 몰드를 각각 제작하였다.

## 3. 성형을 통한 광특성 평가

제작된 성형몰드를 이용하여 본 연구진은 PMMA 표면에 상기 몰드를 이용하여 핫엠보싱공정을 수행하였으며 나노구조물이 성형된 표면에 대한 광특성을 평가하였다. 그림. 1(a-f)는 앞서 제작된 성형몰드를 이용하여 성형된 표면의 전자현미경 이미지와 각각의 표면에 대해 빛이 인가됨에 따라 나타나는 표면 광특성을 나타낸다. 그림을 통해 알 수 있듯이 표면은 푸른색 계열의 색을 나타내며 종횡비가 증가하고 나노구조물의 직경이 증가함에 따라 색도가 증가됨을 알 수 있었다. 또한, 성형된 표면에 대해 광 투과율을 측정된 결과 그림. 2(a, b)와 그림. 2(c, d)의 측정결과와 같이 각각 종횡비가 증가하고 나노구조물의 직경이 증가함에 따라 400~500nm영역의 특정 파장대에서 광 손실을 나타냈으며 손실된 빛은 그림. 1(a-f)에서 나타낸 것과 같이 특정 색으로 발현됨을 확인하였다. 이는 본연구진이 구조물간 거리와 직경을 각각 400nm와 250nm급으로 디자인 함으로써 나타난 결과로 구조색이 나노구조물의 크기에 영향을 받아 나타난 결과임을 확인하였다.

## 4. 마이크로-나노 구조물에 의한 구조색

나노구조물을 이용하여 구조색의 광도를 향상시키기 위한 조건을 실험을 통해 검증하였으며 이를 바탕으로 마이크로-나노 구조를 갖는 표면에 대한 광특성을 검증하였다. 그에 대한 실시 예로서 성형

에 사용되는 PMMA표면의 윗면과 아랫면에 각각 마이크로와 나노 구조를 성형하였으며, 그림. 3(a, b)와 같이 성형물을 준비하였다. 구조물이 성형된 PMMA표면에 대해 인가되는 빛의 각도에 따른 색구현을 확인하기 위하여 투과된 빛을 측정하였으며, 측정 결과 그림. 4와 같이 성형된 표면을 각각 30°, 60°로 기울였을 때 녹색과 분홍색의 구조색을 나타냈다. 또한 각각의 성형물을 이용하여 광투과율을 측정한 결과 특정과장영역에서 투과율이 감소하며 인가된 빛의 각도에 따라 상기 과장영역에서와 같은 과장대의 색을 구현함을 알 수 있었다.(그림.5)

### 5. 결론

본 연구에서는 표면을 구성하는 나노 및 마이크로-나노 구조물에 의한 구조색효과를 검증하기 위하여 색도를 향상시키기 위한 나노구조물의 형성조건을 실험을 통해 도출하였으며 마이크로-나노 복합구조물의 형성에 따른 구조색특성을 확인하고자 실시 예로써 PMMA의 윗면과 아랫면에 각각 마이크로와 나노구조물을 성형하였다. 성형결과를 통해 알 수 있듯이 표면에 나노구조물이 성형됨에 따라 색의 균일성이 향상됨을 확인하였다.

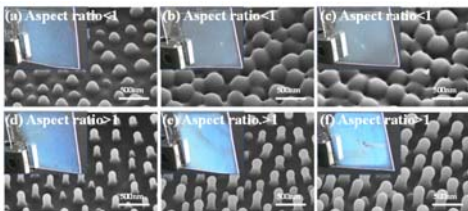


Fig. 1 Replication results of nano structured mold and optical properties.

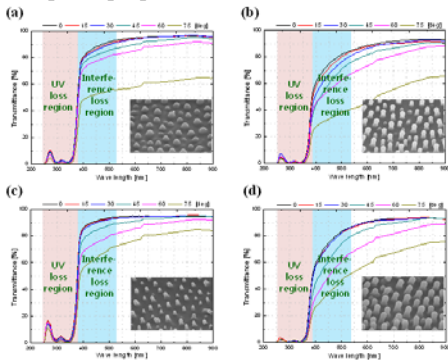


Fig. 2 Optical transmittance measurements; (a,b) increase the aspect ratio, (c,d) increase the nano pattern size.

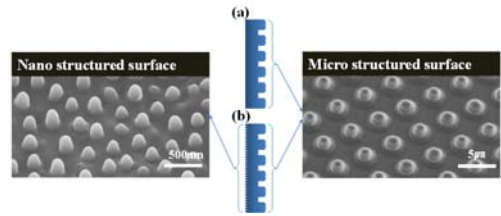


Fig. 3 Schematic diagrams and SEM images of micro and micro-nano structured surface

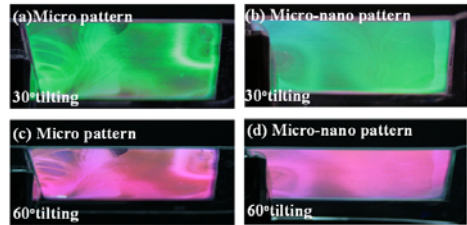


Fig. 4 Structural coloring effect of transparent substrate; (a,c)micro patterned surface,(b,d)micro and nano patterned surface. Each surfaces were display the colors according to tilt

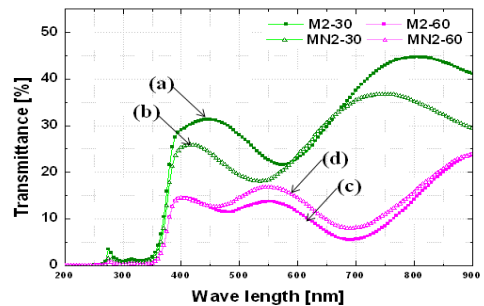


Fig. 5 Optical transmittance measurements;(a,c) micro patterned surface,(b,d)micro and nano patterned surface

### 후기

본 연구는 '2단계 BK21사업'의 지원비를 받습니다.

### 참고문헌

1. Paul V. Braun, "Colour without colourants," Nature. 472, 423-424, 2011.
2. S Kinoshita et.al, "Physics of structural colors," Rep. Prog. Phys. 71, 1-30, 2008.
3. Yoshiaki Kanamori, "Fabrication of transmission color filters using silicon subwavelength Gratings on quartz substrates," IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS.18, 2126-2128, 2006.