

나노 임프린트 구조체를 이용한 금속-폴리머 계면에서의 접착력 증대

The enhanced adhesion characteristics at metal-polymer interface by using nanoimprinted structures

엄현진^{a*}, 정준호^b, 박인규^c

^{a*}한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 표면처리그룹(E-mail:hyeonjin@kitech.re.kr), ^b한국기계연구원 나노공정그룹, ^c한국과학기술원 기계공학과

초 록: 금속 박막과 폴리머 기판 사이에 접착력을 증대시키는 방법으로 금속-폴리머 계면에 나노 임프린트 구조체를 이용하는 방식을 최초로 이용하였다. 나노선 어레이 형상을 가진 몰드와 열 임프린트 방식을 이용하여 폴리머 기판 표면 위에 나노선 어레이 형상을 임프린트 하고, 열 증착 방식으로 금속 박막을 올렸다. 본 연구에서 제작된 금속-임프린트 폴리머 계면에서 높은 기계적 굽힘성 및 접착력을 가지는 것을 확인하였다.

1. 서론

최근 웨어러블 기기(wearable device)에 대한 관심이 높아지면서, 웨어러블 기기에 적용할 유연 기판과 유연 전극 소재에 대한 연구가 증대되고 있다. 유연 전극 소재를 웨어러블 기기로 상용화하기 위해서는 높은 기계적 유연성 뿐만 아니라, 땀(sweat), 열(heat)과 같은 인체로부터 나오는 인자에 대한 화학적 저항성 및 내구성을 갖춰야 한다. 현재 유연 전극 소재로는 금속, 탄소 나노 구조체, 그래핀 등이 연구되고 있으나, 각 소재는 하부 유연 기판인 폴리머와 굽힘성과 접착력과 같은 기계적 특성이 좋지 않아 유연 전극 소재로 상용하기에는 어려움이 있으며, 특히 금속의 경우 박막의 두께가 수 마이크로 사이즈 이하로 얇아짐에 따라 습도에 매우 취약한 특성을 가지고 있다. 현재 유연 기판 위에 금속 전극의 기계적 특성을 증대시키기 위해 폴리머 기판에 플라즈마(plasma) 처리, 특수 접착제 도포, 타이타늄(Ti) 혹은 크롬(Cr) 중간층(inter laer)을 증착하는 등의 방법이 이용되고 있으나, 이러한 기존 방법들을 이용하여 웨어러블 기기에 금속 전극을 이용하기에는 여전히 기계적 특성이 낮다. 따라서 본 연구에서는 금속 전극과 유연 폴리머 기판 사이에 나노 임프린트 구조체(nano imprinted structures)를 형성하여 굽힘성과 접착력과 같은 기계적 특성이 매우 우수한 금속 유연 전극을 개발하였다.

2. 본론

본 연구에서는 금속 박막과 폴리머 사이에 접착력을 증대시키기 위해 유연 기판인 폴리머 기판 표면에 직접 나노 임프린트 구조체를 형성하였다. 이중 재료로 임프린트 구조체를 형성하는 경우 고온-고습 환경에서 습기가 폴리머 표면에 도달할 수 있기 때문에, 폴리머 기판을 그대로 열-임프린트 하였다. 금속 박막은 열증착 방식으로 코팅하였다. 이렇게 형성한 금속-나노 임프린트 폴리머 구조체의 접착력 특성을 평가하기 위해 굽힘실험과, 고온-고습 환경 시험을 진행하였으며, 보다 정확한 특성 비교를 위해 금속-폴리머 구조체와 금속-플라즈마 처리된 폴리머 구조체와 비교하였다.

Fig. 1 (a.1-3) 은 각 금속-폴리머 구조체를 제작하고 난 후 광학 현미경 표면 이미지다. 각 금속-폴리머 구조체, 금속-플라즈마 처리된 폴리머 구조체, 그리고 금속-나노 임프린트 폴리머 구조체를 80°C 물에 4시간 담지하여 광학 현미경 표면 이미지를 관찰한 결과 (Fig 1(b.1-3)) 금속-폴리머 구조체와 금속-플라즈마 처리된 폴리머 구조체는 물방울의 모양에 따라 금속 필름이 들뜬 상태로 된 것을 확인 할 수 있었으며, 금속-나노 임프린트 폴리머 구조체의 경우 들뜸 현상은 발견되지 않았다. 이를 통해 금속-나노 임프린트 폴리머 구조체가 다른 금속-폴리머 구조체보다 높은 내화학성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그 후 각 구조체의 굽힘 실험($\rho=1\text{cm}$, 10,000 cycles)을 진행한 결과 (Fig. 1(c.1-2)) 금속-폴리머 구조체와 금속-플라즈마 처리된 폴리머 구조체의 경우 평균 길이 50 μm 내외로 크랙이 발생하였고 더불어 기판에서부터 떨어져나가는 벗겨짐 현상(peel-off)이 나타남을 확인 할 수 있었으나, 금속-임프린트 폴리머 구조체의 경우 (Fig. 1(c.3)) 평균길이 10 μm 내외의 크랙이 발생하지만 벗겨짐 현상이 발견되지는 않았다. 따라서 나노임프린트 구조체를 금속과 폴리머 사이 계면에 형성하는 경우 굽힘성과 접착력과 같은 기계적 특성이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

고온-고습 환경 시험과 굽힘 실험 전 후 면저항을 측정하여, 외부 인자의 영향으로 부터 전극으로의 특성 변화를 살펴보았다. (Table 1) 고온-고습 환경 시험 후, 모든 금속-폴리머 시편의 저항 변화는 거의 없는 것으로 확인되었다. 이는 고온-고습 환경 시험 후 금속-폴리머 시편의 경우 일부 미세 구조만 들뜸 현상이 발견되었기 때문인 것으로 여겨진다. 굽힘 시험 후, 금속-폴리머 구조체와 금속-플라즈마 처리된 폴리머 구조체의 면저항은 각각 초기 면저항의 약 1.5배, 1.4배 증가하였으나, 금속-나노임프린트 폴리머 구조체의 경우 면저항은 초기 면저항의 약 1.2배로 변화 정도가 가장 작음을 확인하였다. 이로써 금속-나노임프린트 폴리머 구조체는 우수한 기계적 물성과 더불어 열과 습도와 같은 외부 인자로부터 높은 저항성을 가져 유연 전극으로 쓰기에 적합함을 확인하였다.

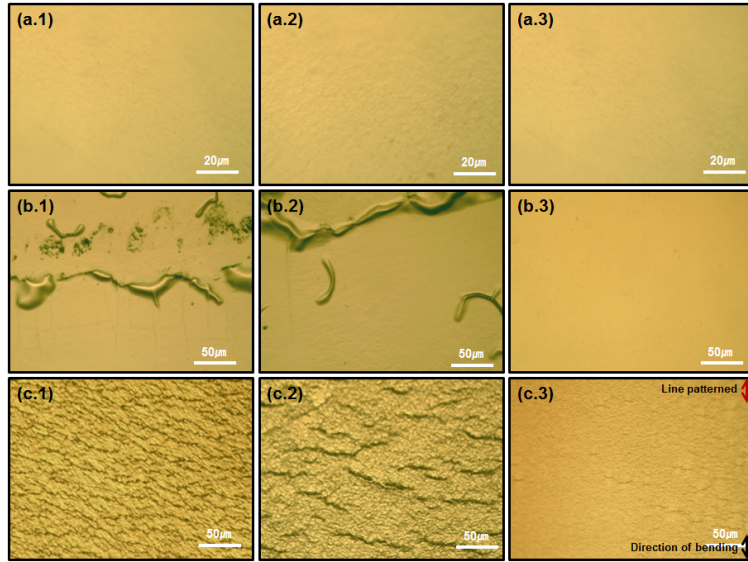


Fig. 1. 금속 박막을 각각 (a) Bare 폴리머, 플라즈마 처리된 폴리머, 나노임프린트 된 폴리머에 증착 한 후 표면 광학이미지, (b) 각 구조체를 고온-고습 시험 후 표면 이미지, (c) 각 구조체를 굽힘 시험 후 표면 광학 이미지

Table 1. Sheet resistance [$m\Omega/sq$]

시편	고온-고습 시험 전	고온-고습 시험 후	굽힘 시험 후
금속-폴리머	117.2	118.3	176.4
금속-플라즈마 처리된 폴리머	125.7	126.1	181.1
금속-나노 임프린트 폴리머	229.2	181.1	272.5

3. 결론

금속-폴리머 기판 계면에 나노임프린트 계면을 형성하여 금속-폴리머 계면의 접착력을 증대시키는 방법을 개발하였다. 금속-나노임프린트 구조체는 굽힘성과 접착력 특성이 우수할 뿐만 아니라, 열과 습도에도 강한 저항성을 보이므로 웨어러블 전극 소재에 응용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. F. Arefi, V. Andre, P. Montazerranmati and J. Amouroux, Pure Appl. Chem, 64 (1992) 715.
2. Byoung-Joon Kim, Hae-A-Seul Shin, In-Suk Choi, Young-Chang Joo, Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), 2011 18th IEEE International Symposium, (2011).
3. 박인규 엄현진 김재한 김택수 정준호 이응숙, 국내특허, 출원번호 10-2014-0032130 (2014).