

SPUI 고분자 기반 투명 유연 고분자 액츄에이터 Transparent and flexible actuator based on SPUI polymer

전진한* · 오일권†

Jin-Han Jeon, Il-Kwon Oh

1. 서 론

최근 기존의 공학적 한계를 극복하기 위한 생체모방공학에 대한 관심 증대로 전기장 하에서 형상이 변하는 인공근육형 전기활성고분자(electroactive polymers, EAPs)에 관한 연구가 활발하다. 특히 전기활성고분자들 중 이온성 고분자 복합체 액츄에이터(ionic polymer-metal composite, IPMC)는 낮은 구동전압에서 대변형을 하며 적은 전력 소모 특성을 보인다. 현재 이와 관련된 연구는 이온성 고분자 고유의 기계/전기/화학적 물성을 개선한 새로운 이온성 고분자 필름의 합성 및 이를 통한 액츄에이터들의 성능 향상과 이들의 인공 근육, 초소형 의료용 소자, 기타 능동형 센서 및 액츄에이터 기반 소자 등 다양한 분야로 확대되고 있다.

이온성 고분자 작동기의 전극 관점에서 기존에는 무전해 도금을 통해 Pt, Au, Pd 등과 같은 귀금속을 사용하였으나, 제작 비용이 높을 뿐 아니라 복잡한 도금 과정으로 인해 전극 및 액츄에이터 작동 성능의 재현성이 낮았다. 이러한 복잡한 도금 과정을 개선하고자 이온성 고분자막 합성 과정 중 동시에 전극을 적층하는 자가 금속화 방법(self-metallization)을 통해, 제작 공정이 간단하며 매우 낮은 구동전압에서 대변형 특성을 보이는 고분자 액츄에이터가 개발되었다⁽¹⁾. 또한 이러한 금속 전극의 두께는 5~20 μm 에 이르며, 이는 금속 전극 자체의 큰 강성으로 액츄에이터의 변형량 감소를 초래할 수 있으며, 광투과성이 매우 낮아 높은 투과성을 요구하는 광학적 응용에 한계를 보인다.

최근에 기존의 ITO 전극을 대체할 유연 투명 전

극 소자로 전도성 고분자나 탄소 나노 섬유 기반 필름 전극 등이 개발되었다⁽²⁾. 특히 태양전지, 터치패널 등에서 그래핀을 차세대 투명 전극으로 적용하려는 연구가 활발하다. 지난 연구에서 투명 고분자 액츄에이터를 개발하고자 투명 이온성 고분자로 SPI(sulfonated polyimide)와 Nafion 을 이용하고, 투명 전극으로 그래핀과 전도성 고분자를 이용하였다⁽³⁾.

본 연구에서는 투명 전극으로 사용한 그래핀의 광투과도와 전기전도성을 평가하고, 유연한 이온성 고분자막을 위해 폴리우레탄 체인을 추가한 SPUI (Sulfonated poly(urethane-imide)) 기반의 새로운 고유연성 투명 고분자 액츄에이터를 개발하고자 한다.

2. 실험

2.1 고유연성을 지닌 이온성 고분자

기존 SPI 기반 고분자 작동기⁽³⁾는 기계적 강성이 높아 유연하지 못하여 대변형 작동 특성에 한계를 보였다. 이에 본 연구에서는 SPI에 유연성을 지닌 폴리우레탄 기능기를 첨가하여 고유연성을 지닌 SPUI 기반 이온성 고분자 작동기를 개발하였다.

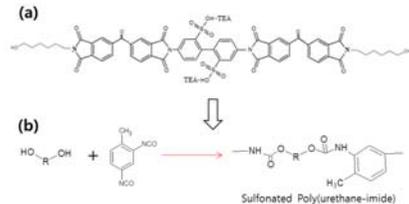


Figure 1 Chemical structure of (a) alcohol end-capped-sulfonated oligoimide, (b) sulfonated poly(urethane-imide).

2.2 투명 그래핀 기반 고분자 액츄에이터

사용된 투명 그래핀 전극은 1000°C의 고온에서 초고순도의 CH₄과 H₂ 혼합가스와 촉매 금속(25 μm thick Cu foil)을 반응시켜 적절한 양의 탄소가 촉매

† 교신저자; 정희원, 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공

E-mail : ikoh@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-1520, Fax : (042) 350-1510

* 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공

층에 녹아 들어가게 한 후 냉각을 통해 합성되었다. 그림 2는 SPUI 막과 투명 그래핀 전극을 전사시킨 투명 그래핀 기반 SPUI 고분자 액츄에이터를 보여준다.



Figure 2 Transparent SPUI actuator with graphene electrodes.

3. 성능

3.1 그래핀의 라만 스펙트럼 및 광투과도

그림 3은 실리콘 웨이퍼에 전사된 그래핀으로 전기 전도도 향상을 위하여 세 개 층까지 추가 적층하였다. 이때 광투과성(그림4)을 살펴보면 추가 적층된 그래핀 전극은 550nm에서 93%이상의 광투과성을 보였다. 그래핀이 적층된 SPUI 액츄에이터의 표면 저항은 약 430~968Ω/□의 범위를 보였다.

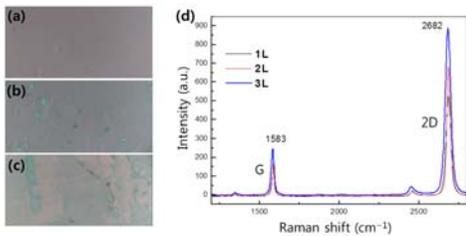


Figure 3 Transferred graphene on SiO₂/Si wafer: one layered (a), two layered (b) three layered (c) graphene, (d) raman spectra of graphene.

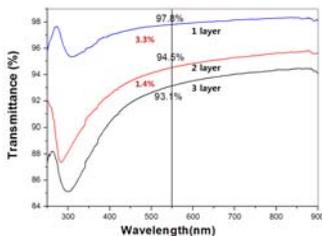


Figure 4 Optical transmittance of transferred graphene.

3.2 작동 특성

그래핀 기반 투명전극을 갖는 SPUI 고분자 액츄에이터의 조화 응답 특성은 SPI 기반 액츄에이터에 비해 크게 향상되지는 못했다. 일단 SPUI 이온성 고분자의 기계적 물성은 조절되었지만, 추가적으로 다른 전기/기계/화학적 물성에 대해 자세한 비교 및

분석이 필요하다. 또한 아직까지 그래핀 전극의 표면 전기전도도가 기존 금속 전극 수준에는 크게 못미쳐, 이점이 액츄에이터의 낮은 성능에 크게 영향 미친 것으로 판단된다. 이에 향후 연구에서 투명 그래핀 전극의 전기 전도도를 크게 향상시키는 방안을 모색할 것이다.

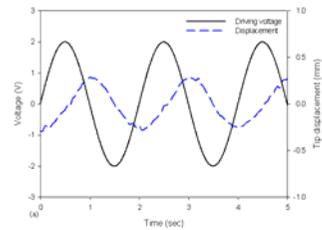


Figure 5 Harmonic response of transparent SPUI actuator with graphene electrodes.

4. 결론

본 연구를 통해서 투명하며 유연한 그래핀 전극 기반의 SPUI 고분자 액츄에이터를 개발하였다. 현재까지 투명전극의 전기 전도도가 기대에 미치지 못해 작동 성능 개선에 한계를 드러냈지만, 후속 연구를 통해 투명 그래핀 전극의 성능을 개선함으로써 우수한 작동성능의 투명 액츄에이터 모듈을 개발할 것이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0018615).

참고문헌

- (1) Song, J., Jeon, J.H., Oh, I.K., "Electro-active Polymer Actuator Based on Sulfonated Polyimide with Highly Conductive Silver Electrodes Via Self-metallization", *Macromol. Rapid Commun.* In press.
- (2) Kang, J., Park, C., Lowther, S., Harrison, J., Park, C., 2008, "All-Organic Actuator Fabricated with Single Wall Carbon Nanotube Electrodes", *J. Polymer Science Part B, Vol. 46*, pp. 2532-2538.
- (3) Jeon, J.H., Oh, I.K., 2011, "투명 전극 기반 고분자 작동기", *한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집*, pp. 395~396.