≪연구논문≫ 한국진공학회지 제21권 4호, 2012년 7월, pp.205~211
http://dx.doi.org/10.5757/JKVS.2012.21.4.205

ITO/PET 기판 위에 성장된 산화아연 나노로드에 형성된 은 입자의 광학적 특성 및 소수성 표면 연구

고영환 · 김명섭 · 유재수*

경희대학교 전자전파공학과, 레이저공학연구소, 용인 446-701

(2012년 6월 4일 받음, 2012년 7월 26일 수정, 2012년 7월 30일 확정)

인듐주석산화막/폴리에틸렌 테레프탈레이트(ITO/PET: indium tin oxide/polyethylene terephthalate) 유연 기판 위에 성장된 산화아연(ZnO) 나노로드(nanorods)를 이용하여 형성된 은(Ag) 입자의 광학적 특성 및 소수성 표면에 대해 조사하였다. 시료를 준비하기 위해 스퍼터링법(sputtering)으로 코팅된 산화아연 씨드층(seed layer)을 이용하여 전기화학증착법(electrochemical deposition)으로 산화아연 나노로드를 성장시킨 후, 열증발증착법(thermal evaporation)을 사용하여 은을 증착하였다. 산화아연 나노로드의 불연속적인 표면 특성 때문에 은이 증착되면서 나노크기를 갖는 입자로 형성되었다. 비교를 위해 같은 조건으로 은을 평평한 ITO/PET에 증착하여 시료를 준비하였으며, 증착되는 은의 양을 조절하기 위해 100초에서 600초까지 열증발증착시간을 변화시켰다. 은 증착시간이 증가할수록 산화아연 나노로드 표면에 형성되는 은 입자의 크기와 양이 증가하였으며, 또한 빛의 흡수율이 가시광 영역에서 크게 증가하는 것을 확인하였다. 이는 은 입자의 국소표면플라즈몬공명(localized surface plasmon resonance)에서 기인된 것으로 짐작한다. 또한 물방울 테스트실험에서 평평한 ITO/PET에 증착된 은에서의 접촉각(contact angle)보다 산화아연 나노로드에 증착된 은 입자에서의 접촉각이 크게 증가함을 보여, 개선된 소수성 표면을 가질 수 있음을 확인하였다. 이러한 광학적 특성과 소수성 표면 결과는 산화아연 나노로드의 기반의 염료감응형 태양전지 또는 자정효과(self-cleaning)를 갖는 표면구조로 유연소자에 유용하게 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 은 입자, 산화아연 나노로드, 인듐주석산화막/폴리에틸렌 테레프탈레이트, 국소표면플라즈몬공명, 광 흡수율, 소수성 표면

I. 서 론

태양으로부터 복사되는 빛을 효과적으로 흡수하려는 연구는 태양전지의 성능을 개선하기 위한 필수적인 요소로써 반사방지막(antireflection layer), 광 포획(light trapping), 집광(light concentration) 등 여러 가지 기술들이 도입되어 왔으며, 현재까지 그 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 최근에는 나노크기의 금속 입자에서 발생하는 국소표면플라즈몬공명현상(localized surface plasmon effect)을 이용하여 태양전지의 광 흡수율을 개선하려는 연구에 관심이 모아지고 있다 [4]. 일반적으로 작은 크기의 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al) 등 금속 입자에 자외선, 가시광선, 또는 근적외선을 입사시키면, 금속내부의 전자들이 외부에너지에 의해 공명을 일으키면서 광 산란 및 흡수가 증가하면서 금속 입자 주위에 전자기장이 집중되어 분포하게 된다. 또한 금속 입자의 크기와 모양 그리고 분포된 상태를 조절하여 흡수하는 빛의 파장영역을 제어할 수 있다 [5]. 이러한 장점을 이용하여 제작된 여러 종류의 금속 나노입자들은 태양전지, 광스위칭 소자, 바이오센서 등에 광범위하게 활용되고 있다 [6-8]. 특히, 은 입자는 가시광 영역에서의 국소표면플라즈몬공명현상이 효과적으로 발생할 뿐만 아니라, 비교적 가격이 저렴하다 [9]. 이러한 나노크기의 은 입자는 화학적 합성법을 이용하거나, 나노 패터닝을 통한 리소그라피(lithography)를 이용하여 제작하여 왔다 [10,11]. 하지만, 화학적 방법으로 제작된 경우, 소자의 적용하기 위해 균일하게 코팅하는데 문제가 있고, 리소그라피 방법은 공정과정이 복잡하기 때문에 공정시간이 긴 단점이 있다.

한편, 수열합성법(hydrothermal)이나 전기화학증착법(electrochemical deposition)을 이용하여 합성된 산화아연(ZnO) 나노로드(nanorods)는 1차원 나노구조 형태로써 기판에 수직으로 성장하여 배열을 이루고, 좋은 결정성

* [전자우편] jsyu@khu.ac.kr

(crystallinity)과 높은 다공성(porosity)을 갖게 된다 [12]. 이러한 불연속적인 표면을 가진 수직 배열된 산화아연 나노로드에 증착이 이루어질 경우, 불연속적인 표면과 경사 입사각(oblique angle)으로 나노구조물의 형성을 기대할 수 있다 [13]. 본 연구에서는 인듐주석산화막/폴리에틸렌테레프탈레이트(ITO/PET: indium tin oxide/polyethylene terephthalate) 유연 기판 위에 전기화학증착법을 이용하여 산화아연 나노로드를 성장시킨 다음, 표면에 열증발증착법(thermal evaporation)으로 은을 증착하여 나노크기의 입자를 형성하였다. 이렇게 비교적 간단한 제작방법을 통해 형성된 은 입자는 높은 광 흡수율과 우수한 소수성 표면을 나타냈다.

Ⅱ. 실험방법

ITO/PET 기판 위에 산화아연 나노로드를 성장하기 위해 우선 아세톤, 메탄올, 탈이온수(deionized water)로 각각 5분씩 초음파로 세척한 다음, 산화아연 씨드층(seed layer)을 고주파 마그네트론 스퍼터링법(radio-frequency magnetron sputtering)으로 증착하였다. 스퍼터링을 위해 챔버를 3.5×10^{-6} Torr의 진공상태로 형성한 다음, 아르곤(Ar) 가스로 5 mTorr의 증착압력을 유지하고, 100 W의 고주파 전력으로 약 20 nm의 산화아연 박막을 증착하였다. 다음 전기화학증착법을 이용하여 씨드층으로부터 산화아연 나노로드를 성장하였다. 성장용액을 준비하기 위해 1 L의 탈이온수에 각각 10 mM의 질산 아연 헥사수화물(zinc nitrate hexahydrate)과 헥사메틸렌테트라아민(hexamethylenetetramine)을 혼합하였다. 여기서 사용된 질산 아연 헥사수화물은 순도 99.9%로 고순도화학연구소(Kojundo Chemical Laboratory, Japan), 헥사메틸렌테트라아민은 순도 99.5%로 시그마알드리치(Sigma-Aldrich, USA)사에서 각각 구입되었다. 그리고 정전압 전원 공급기로 씨드층이 코팅된 ITO/PET 기판에 −2 V의 전압을 인가하였으며, 상대전극으로는 백금(Pt)을 이용하였다. 이때 형성된 전류밀도는 약 0.27～0.31 mA/cm^{2}이었다. 그리고 성장용액의 온도를 80°C로 유지하여 1시간 동안 산화아연 나노로드를 성장시킨 후, 탈이온수로 세척한 다음 질소(N_2) 가스로 건조시켰다. 이렇게 준비된 시료 위에 열증발증착법으로 은 나노입자를 증착하였다. 공정을 위해 3×10^{-6} Torr의 진공상태를 유지하고, 은 펠릿(pellet) 소스를 사용하여 0.5 Å/s의 증착율로 은 증착시간을 100초에서 600초까지 변화시켰다. 산화아연 나노로드의 표면에 증착되는 은의 형태와 물리적 특성을 비교하기 위해 평평한 ITO/PET 기판 위에 같은 조건으로 은을 증착하였다. 이렇게 준비된 시료의 미세구조를 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM: field-emission scanning electron microscope)으로 관찰하였으며, 광 흡수율 특성을 측정하기 위해서 적분구(integrating sphere)를 장착한 자외선/가시광선 분광도계(ultraviolet/visible spectrophotometer)를 사용하였다. 그리고 산화아연의 결정성을 알아보기 위해 X선 회절(XRD: X-ray diffraction) 스펙트럼을 측정하였으며 접촉각 측정 시스템(contact angle system)을 사용해 소수성 표면을 분석하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 PET와 ITO/PET 기판과 산화아연 나노로드를 성장한 시료의 광 흡수율 ($A(\lambda)$)을 측정한 결과이다. 정확한 광 흡수율을 측정하기 위해 산화아연 나노로드 또는 은 입자에서 발생되는 빛의 산란(light scattering)을 고려하였다. 이를 위해, 정반사 성분(specular component)과 난반사 성분(diffuse component)을 측정할 수 있는 적분구를 이용하여 반사율 ($R(\lambda)$)과 투과율 ($T(\lambda)$)을 측정하였으며, $A(\lambda)=100\%-R(\lambda)-T(\lambda)$의 관계식으로부터 광 흡수율을 얻었다. FE-SEM 사진에서 볼 수 있듯이, 전기화학증착법을 이용하여 크기가 약 40～60 nm, 높이가 약 600～750 nm인 산화아연 나노로드가 수직으로 정렬을 이루는 것을 볼 수 있다. 이러한 표면은 다공성을 갖고 있기 때문에 빛의 반사를 줄이거나 빛의 산란을 증가시킬 수 있게 된다. 광 흡수율 스펙트럼을 확인해 보면, ITO/PET 기판에서는 파장이 450 nm에서부터 작아질수록 흡수율이 증가하였다. 이는 빛이 ITO에서의 밴드갭 에너지보다 큰 에너지가 입사될 때 전자가 빛을 흡수하여 여기되기 때문이다. 한편, 산화아연 나노로드가 성장된 시료에서는 450 nm 이하의 파장영역에서 광 흡수율이 크게 증가함을 볼 수 있다. 또한 산화아연 나노로드의 밴드갭 에너지(3.37 eV)보다 큰 영역에서는 약 97~99%의 빛을 흡수함을 알 수 있다. Fig. 1(b)는 ITO/PET 기판 위에 성장된 산화아연 나노로드의

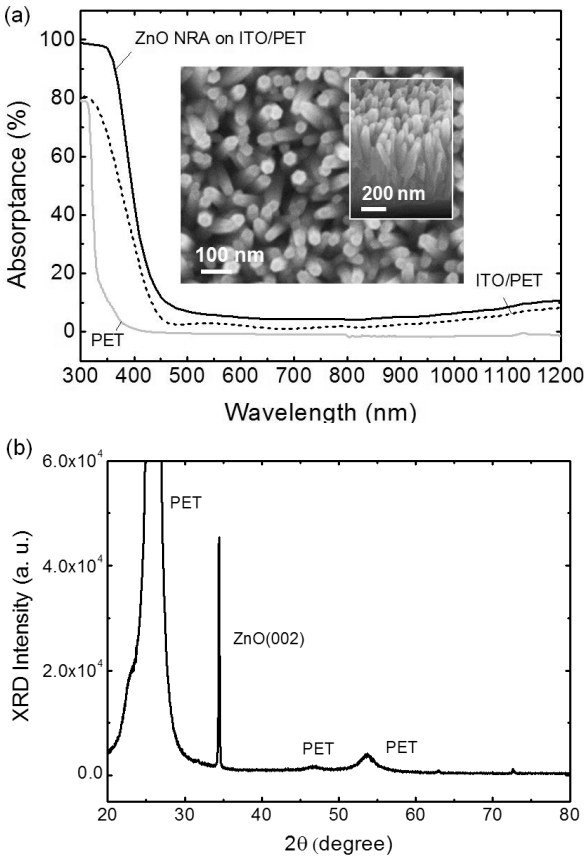

Figure 1. (a) Absorptance spectra of the PET, ITO/PET, and the ZnO NRs grown on the ITO/PET (i.e., ZnO NRs/ITO/PET), and (b) XRD pattern of the ZnO NRs/ITO/PET. The inset of (a) shows the top- and oblique-view FE-SEM images of the ZnO NRs/ITO/PET.

시료를 측정한 X선 회절 스펙트럼을 나타내고 있다. 2Θ가 25.9°, 46.9°, 53.6°에서 PET의 피크를 확인할 수 있었다. 하지만, ITO에 대한 XRD 피크는 관찰되지 않았다. 이는 PET 기판에서 ITO 박막이 비결정질로 증착되었기 때문이다 [14]. 또한 산화아연의 결정구조의 (002) 방향인 2Θ가 34.5°인 위치에서 산화아연 나노로드의 XRD 피크를 관찰할 수 있는데, 이는 wurzite 결정구조에서 c축 방향으로 산화아연 나노로드가 수직으로 성장되었기 때문이다.

산화아연 나노로드가 성장된 불연속적인 표면에 증착된 은의 형태를 알아보기 위해 ITO/PET와 산화아연 나노로드가 성장된 각각의 시료에 0.5 Å/s의 증착율로 은을 증착하였다. Fig. 2(a)～(c)는 ITO/PET 기판에 은을 각각 100초, 200초 그리고 600초로 증착한 시료의 평면과 경사진 부분을 나타내는 FE-SEM 사진들이다. 또한 Fig. 2(d)～(f)는 같은 조건으로 산화아연 나노로드가 성장된 시료에 은을 증착한 시료의 평면과 경사진 부분을 나타내는 FE-SEM 사진들이다. Fig. 2(a)～(c)에서 보듯이 평평한 ITO/PET 기판에 은이 증착되는 시간이 길어질수록 은이 두껍게 증착되면서 형성되는 입자의 크기(grain size)가 점점 커지게 됨을 알 수 있었고 이러한 경향성은 다른 이전 실험에서도 관찰된 부분이다 [15]. 한편 Fig. 2(d)와 (e)에서 볼 수 있듯이, 산화아연의 나노로드의 불연속적인 표면에 은이 증착될 경우, 나노로드의 꼭대기 부분과 기둥부분에 나노크기의 작은 입자들이 코팅되었다. 이러한 이유는 불연속적

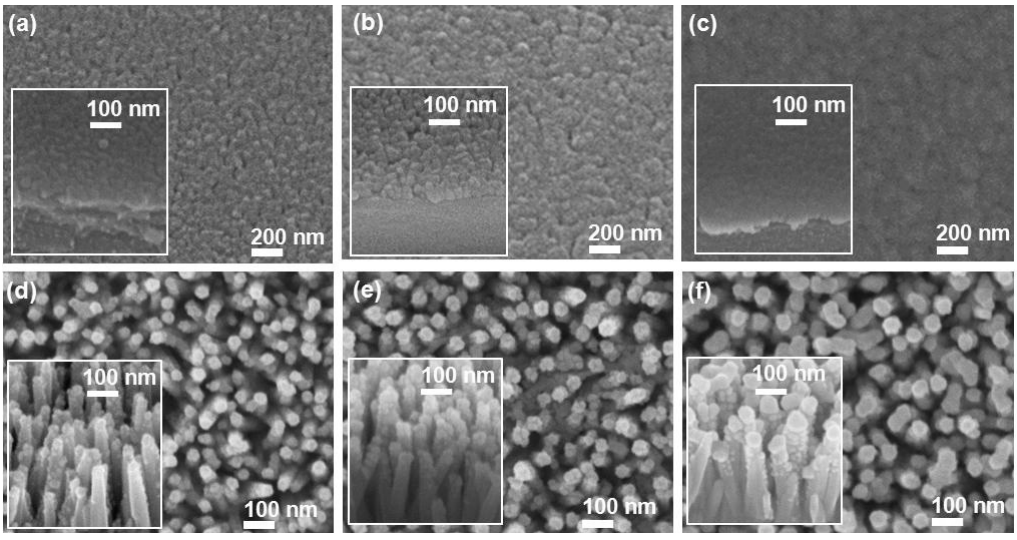

Figure 2. Top-view FE-SEM images of the deposited Ag on the ITO/PET for (a) 100 s, (b) 200 s and (c) 600 s, and the deposited Ag on the ZnO NRs/ITO/PET for (d) 100 s, (e) 200 s and (f) 600 s. The insets show the oblique-view FE-SEM images of the corresponding samples.

인 표면에서 국부적으로 산화아연의 꼭대기 부분에서 은이 쌓이면서 입자가 형성되거나 부분적으로 산화아연 나노로드의 기둥부분에 형성되면서 작은 은 입자들이 만들어지기 때문이다. 또한, 은 증착시간이 증가할수록 산화아연 나노로드 표면에 증착되는 은의 양이 많아지면서 주로 꼭대기 부분에 형성되는 은 입자의 크기가 커지면서 전체적으로 은 입자의 양이 증가하게 된다.

이렇게 각 시료에 증착된 은 입자의 광학적 특성을 알아보기 위해 Fig. 3(a)와 3(b)에서 보는 바와 같이, 300 nm에서 1,200 nm의 파장범위에서 광 흡수율을 측정하였다. 450 nm 이하의 파장영역에서의 광 흡수율의 증가는 Fig. 1(a)에서 나타난 것처럼 각각 ITO/PET와 산화아연 나노로드가 성장된 ITO/PET의 광 흡수율이다. Fig. 3(a)에서 보듯이, 평평한 ITO/PET에서 은의 증착시간이 길어질수록 광 흡수율이 증가하다가 600초에서는 광 흡수율이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 은의 증착되는 두께가 두꺼워지면서 박막의 형태가 되어 반사율이 크게 증가하므로 상대적으로 광 흡수율이 급격하게 감소하였기 때문이다. 반면 100초와 200초로 증착된 은의 광 흡수율 스펙트럼결과로부터 가시광 영역의 502 nm와 587 nm에서 피크 값들을 관찰할 수 있었다. 이는 Fig. 2(a)와 2(b)의 FE-SEM 사진에서 나타난 것처럼 짧은 시간에 증착된 은이 약간의 다공성을 포함하여 국소표면플라즈몬 모드가 형성된 것으로 사료된다 [15]. 또한 800～1,200 nm 파장영역 부근에서 증가된 광 흡수율을 확인할 수 있었는데, 이는 평평한 표면에 은이 증착되면서 고립적으로 각각의 은 입자가 형성되어 커지게 되면서 이들 사이의 쌍극자 결합(dipole coupling)에 의한 광 흡수대역이 장파장으로 이동하면서 스펙트럼이 넓어진 것으로 이해할 수 있다 [16]. 한편 Fig. 3(b)의 산화아연 나노로드 표면 위에 증착된 은의 광 흡수율의 경우, 은 증착시간이 600초까지 증가할수록 광 흡수율이 가시광 영역에서 매우 크게 증가됨을 알 수 있다. 이는 산화아연 나노로드에 증착되는 은 나노입자의 양이 증가했을 뿐만 아니라 그 크기가 약 5～65 nm로 넓게 분포되었기 때문에 넓은 파장범위에서 크게 증가된 광 흡수율을 관찰할 수 있었다. 또한 은 입자의 크기가 커지면 국소표면플라즈몬공명에 의해 광 흡수면적(C_{abs})이 증가하는데, 이는 광자(photon) 흡수율을 증가시키게 된다. 이러한 관계는 $C_{abs}=\frac{2\pi}{\lambda}Im(\alpha)$, $\alpha=3V\left(\frac{\epsilon_{Ag}-1}{\epsilon_{Ag}+2}\right)$ [17]로부터 알 수 있다. 여기서 V, ϵ_{Ag}는 은 입자의 체적과 유전율을 각각 나타낸다.

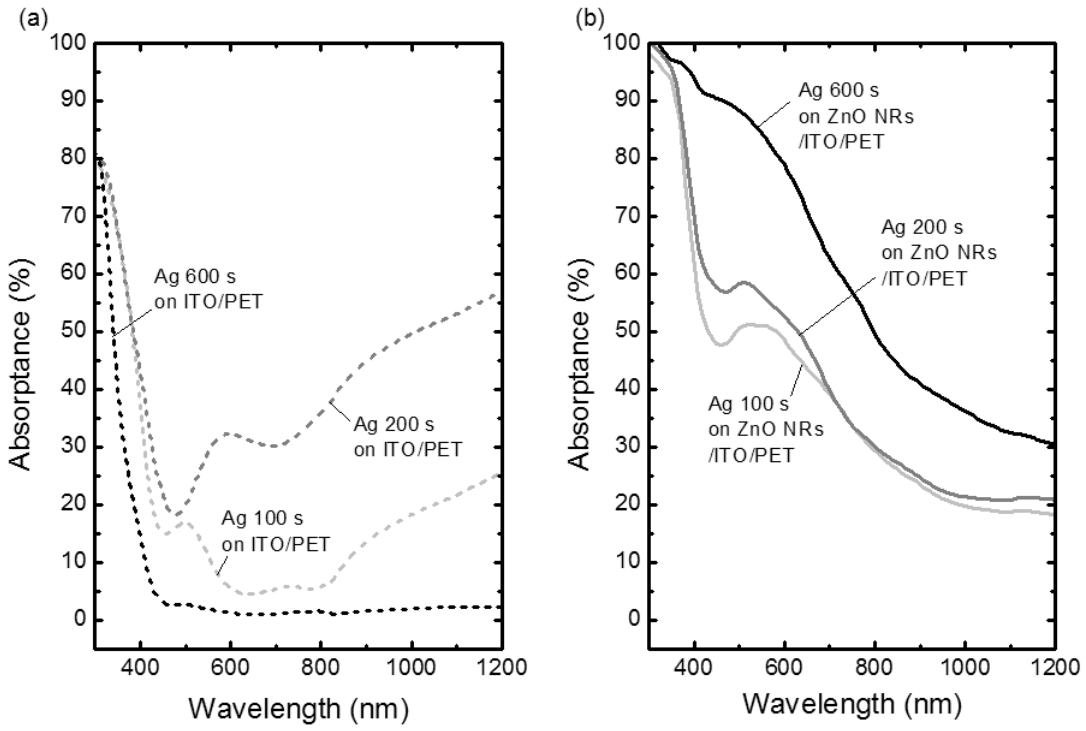

Figure 3. (a) Absorptance spectra of the deposited Ag on the ITO/PET for 100 s, 200 s and 600 s, and (b) absorptance spectra of the deposited Ag on the ZnO NRs/ITO/PET for 100 s, 200 s and 600 s.

이러한 가시광 영역과 장파장 영역에서 증가된 광 흡수율은 산화아연 기반의 염료감응형태양전지에 응용될 경우, 소자의 효율을 증가시킬 것으로 기대된다.

Fig. 4(a)～(f)는 Fig. 2(a)～(f)에 해당되는 시료들의 소수성 (hydrophobicity) 표면 테스트를 위해 실시한 접촉각 측정사진이다. 사진에서 확인할 수 있듯이, 은 증착시간이 증가할수록 소수성 특성이 증가하였으며, 산화아연 나노로드 표면에 증착할 경우 더 높은 소수성 특성을 보였다. Fig. 4(g)는 각각 평평한 ITO/PET와 산화아연 나노로드가 성장된 ITO/PET에 은 증착시간을 변화시켜 코팅한 시료들의 접촉각을 그래프로 나타내었다. ITO/PET에 은이 증착되지 않았을 경우, 83.27°의 일반적인 접촉각이 관찰되었으며, 산화아연 나노로드가 성장되었을 경우, 22.26°의 접촉각으로 친수성(hydrophilicity) 특성이 강화되었다. 이러한 이유는 친수성 표면 특성을 나타내었던 산화아연이 나노로드의 형태로 수직으로 정렬되어 있어 표면적이 크게 증가하여 친수성 특성이 크게 나타난 것으로 보인다 [18]. 반면, 평평한 ITO/PET 위에 은을 증착한 경우, 접촉각이 83.27°에서 102.55°으로 서서히 증가하는 반면, 산화아연 나노로드에 은을 증착할 경우, 22.26°에서 125.7°으로 매우 크게 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 이유는 소수성 특성을 갖고 있는 은이 넓은 표면적에서 나노입자의 형태로 분포되어 표면적을 넓어지면서 표면 거칠기(roughness)가 커졌기 때문이다 [19]. 이러한 현상은 Wenzel model에서 거칠기와 접촉각의 선형관계($\cos\theta_w = r\cos\theta$, θ_w: apparent contact angel, θ: intrinsic contact angle, r: roughness)를 통해 알 수 있으며, 이러한 이유로 표면적을 넓혀 소수성 특성을 증가시키려는 연구가 보고되어왔다 [20]. 이렇게 제작된 시료의 개선된 소수성 표면은 자정효과(self-cleanning)를 갖는 표면구조로 다양한 유연소자에 응용될 수 있을 것으로 기대된다 [21].

IV. 결 론

ITO/PET 유연 기판 위에 산화아연 나노로드를 성장하

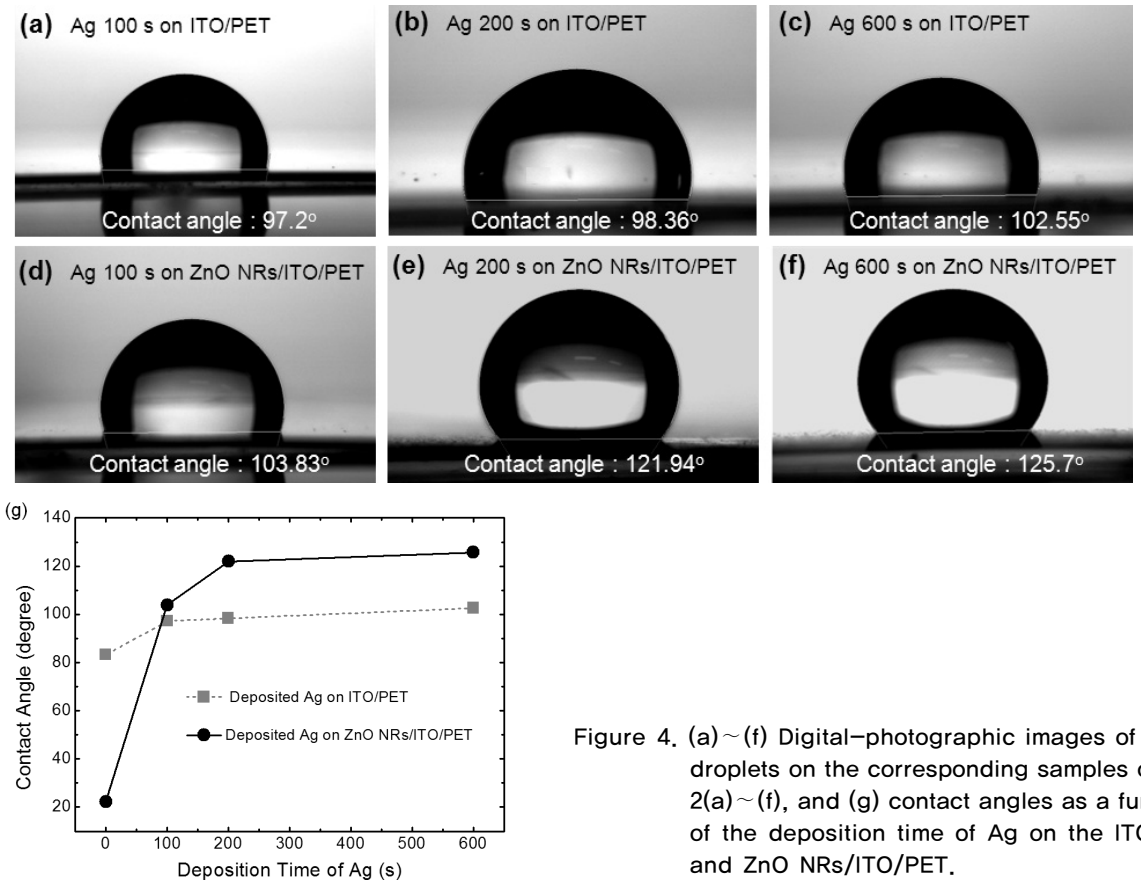

Figure 4. (a)～(f) Digital-photographic images of water droplets on the corresponding samples of Fig. 2(a)～(f), and (g) contact angles as a function of the deposition time of Ag on the ITO/PET and ZnO NRs/ITO/PET.

여 불연속적인 표면을 형성한 다음, 은을 열증발증착법으로 증착하여 비교적 간단한 방법으로 나노크기의 은 입자가 형성됨을 확인하였다. 이러한 나노크기의 은 입자는 국소적으로 분포된 산화아연 나노로드의 꼭대기부분에 증착되어 입자 형태를 갖는다는 것을 알 수 있었고 나노로드 기둥부분에도 입자가 분포되는 것을 확인하였다. 이렇게 제작된 시료로부터 광 흡수율 스펙트럼과 접촉각을 측정하여 높은 광 흡수율과 표면에서 증가된 소수성 특성을 관찰할 수 있었다. 600초 동안 은을 산화아연 나노로드가 성장된 표면에 증착할 경우, 약 5～65 nm의 크기가 넓게 분포되어 국소표면플라즈몬공명효과로 가시광 영역에서 광 흡수율이 크게 증가하였으며, 증가된 표면적과 큰 거칠기를 갖기 때문에 표면의 소수성 특성이 개선됨을 확인할 수 있었다. 이러한 제작방법과 물리적 특성은 유연소자기능을 갖는 광전자 및 태양광 소자의 응용에 유용할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0031508, No. 2011-0026393).

참고문헌

[1] T. J. Gim, B. J. Lee, and P. K. Shin, J. Korean Vacuum Soc. **19**, 341 (2010).

[2] F. J. Beck, A. Polman, and K. R. Catchpole, J. Appl. Phys. **105**, 114310 (2009).

[3] N. B. Goodman, R. Ignatius, L. Wharton, and R. Winston, Appl. Opt. **15**, 2434 (1976).

[4] E. Hutter and J. H. Fendler, Adv. Mater. **16**, 1685 (2004).

[5] H. A. Atwater and A. Polman, Nat. Mater. **9**, 205 (2010).

[6] A. P. Kulkarni, K. M. Noone, K. Munechika, S. R. Guyer, and D. S. Ginger, Nano Lett. **10**, 1501 (2010).

[7] J. Zhao, X. Zhang, C. R. Yonzon, A. J. Haes, and R. P. V. Duyne, Nanomedicine **1**, 219 (2006).

[8] V. K. S. Hsiao, Y. B. Zheng, B. K. Juluri, and T. J. Huang, Adv. Mater. **20**, 3528 (2008).

[9] E. Filippo, A. Serra, and D. Manno, Sens. Actuators B: Chem. **138**, 625 (2009).

[10] D. D. Evanoff Jr. and G. Chumanov, Chem. Phys. Chem. **6**, 1221 (2005).

[11] J. C. Hulteen, D. A. Treichel, M. T. Smith, M. L. Duval, T. R. Jensen, and R. P. V. Duyne, J. Phys. Chem. B **103**, 3854 (1999).

[12] H. K. Lee, M. S. Kim, and J. S. Yu, Nanotechnology **22**, 445602 (2011).

[13] Y. H. Ko, M. S. Kim, and J. S. Yu, J. Korean Vacuum Soc. **20**, 381 (2011).

[14] H. K. Kim, J. A. Jeong, K. H. Choi, S. W. Jeong, and J. W. Kang, Electrochem. Solid-State Lett. **12**, H169 (2009).

[15] R. Gupta, M. J. Dyer, and W. A. Weimer, J. Appl. Phys. **92**, 5264 (2002).

[16] M. Osawa, Top. Appl. Phys. **81**, 163 (2001).

[17] C. Yang, G. Zhang, H. M. Li, and W. J. Yoo, J. Kor. Phys. Soc. **56**, 1488 (2010).

[18] M. Guo, P. Diao, and S. Cai, Thin Solid Films **515**, 7162 (2007).

[19] D. K. Sarkar and R. W. Paynter, J. Adhes. Sci. Technol. **24**, 1181 (2010).

[20] H. M. Bok, S. Kim, S. H. Yoo, S. K. Kim, and S. Park, Langmuir **24**, 4168 (2008).

[21] R. Fürstner, W. Barthlott, C. Neinhuis, and P. Walzel, Langmuir **21**, 956 (2005).

≪Research Paper≫ Journal of the Korean Vacuum Society Vol.21 No.4, July 2012, pp.205~211
http://dx.doi.org/10.5757/JKVS.2012.21.4.205

Optical and Hydrophobic Properties of Ag Deposited ZnO Nanorods on ITO/PET

Yeong Hwan Ko, Myung Sub Kim, and Jae Su Yu*

Department of Electronics and Radio Engineering, Institute for Laser Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701

(Received June 4, 2012, Revised July 26, 2012, Accepted July 30, 2012)

We investigated the optical and hydrophobic properties of the deposited silver (Ag) zinc oxide (ZnO) nanorods (NRs) on flexible indium tin oxide (ITO) coated polyethylene terephthalate (PET) substrates (i.e., ITO/PET). The ZnO NRs were grown by an electrochemical deposition using a sputtered ZnO seed layer and the Ag was deposited by using a thermal evaporator. For comparison, the same fabrication process was carried out on the bare ITO/PET without ZnO NRAs. Due to the discrete surface of ZnO NRs, the deposited Ag was formed as nano-scale particles, while the Ag became film-like for bare ITO/PET. In order to control the size and amount of Ag particles, the Ag deposition time was changed from 100 to 600 s. When the deposition time was increased, the Ag particles became larger and denser, and the absorptance was increased. This enhanced absorptance may be due to the localized surface plasmon resonance of Ag particles. Furthermore, the relatively high hydrophobicity was observed for the deposited Ag on the ZnO NRs/ITO/PET. These improved optical and surface properties are expected to be useful for flexible photovoltaic and optoelectronic devices.

Keywords : Ag particles, ZnO nanorods, Indiun tin oxide/polyethylene terephthalate, Localized surface plasmon resonance, Optical absorptance, Hydrophobicity

* [E-mail] jsyu@khu.ac.kr