

## SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 박막에 의한 투명 발수 반사방지 코팅

노영아<sup>1</sup>, 김기출<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 첨단소재공학과, <sup>2</sup>목원대학교 신소재화학공학과

## Transparent Hydrophobic Anti-Reflection Coating with SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Thin Layers

Yeoung-Ah Noh<sup>1</sup>, Ki-Chul Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Advanced Materials Science and Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>Department of Advanced Chemical Engineering, Mokwon University

**요약** 태양전지의 셀을 보호하기 위한 커버 글라스에는 반사방지 코팅 및 셀프클리닝과 같은 기능성 코팅이 적용되어왔다. 일반적으로 메조포러스 실리카를 이용한 반사방지 코팅은 빛의 투과를 증가시키며, TiO<sub>2</sub> 광촉매 필름은 셀프클리닝 코팅에 적용되어왔다. 본 연구에서는 SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 박막 코팅에 의한 투명 발수 반사방지 및 셀프클리닝 코팅을 sol-gel 공정과 dip-coating 공정으로 글라스 기판 위에 제조하였다. 기능성 코팅의 표면형상은 전계방출 주사전자현미경과 원자힘 현미경으로 분석하였고, 광학적 특성은 UV-visible 분광광도계로 분석하였다. 필름의 발수특성은 접촉각 측정으로 확인하였다. 그 결과 TiO<sub>2</sub> 필름은 기판인 슬라이드 글라스와 비슷한 수준의 높은 광 투과율을 나타내었다. 일반적으로 TiO<sub>2</sub> 나노입자는 필름에서 반사를 증가시키며, 결과적으로 투과율의 저하를 가져온다. 하지만 본 연구의 SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 박막으로 이루어진 기능성 코팅은 110°의 접촉각을 나타내었으며, 파장 550 nm에서 기판인 슬라이드 글라스의 투과율보다 2.0% 증가한 93.5%의 광 투과율 특성을 나타내었다.

**Abstract** Functional coatings, such as anti-reflection and self-cleaning, are frequently applied to cover glass for photovoltaic applications. Anti-reflection coatings made of mesoporous silica film have been shown to enhance the light transmittance. TiO<sub>2</sub> photocatalyst films are often applied as a self-cleaning coating. In this study, transparent hydrophobic anti-reflective and self-cleaning coatings made of SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> thin layers were fabricated on a slide glass substrate by the sol-gel and dip-coating processes. The morphology of the functional coatings was characterized by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and atomic force microscopy (AFM). The optical properties of the functional coatings were investigated using an UV-visible spectrophotometer. Contact angle measurements were performed to confirm the hydrophobicity of the surface. The results showed that the TiO<sub>2</sub> films exhibit a high transmittance comparable to that of the bare slide glass substrate. The TiO<sub>2</sub> nanoparticles make the film more reflective and lead to a lower transmittance. However, the transmittance of the SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> thin layers is 93.5% at 550 nm with a contact angle of 110°, which is higher than that of the bare slide glass (2.0%).

**Keywords** : anti-reflection, functional coating, hydrophobic, self-cleaning, transparent

---

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0397062)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. This work (Grant No. C0397062) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2016.

\*Corresponding Author : Ki-Chul Kim (Mokwon University)

Tel: +82-42-829-7489 email: kckim30@mokwon.ac.kr

Received November 11, 2016

Revised (1st January 9, 2017, 2nd January 31, 2017)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

## 1. 서론

태양전지는 그 특성상 태양광이 내리쬐는 옥외에 설치되며, 옥외의 경우 매우 가혹한 환경에 노출되어 눈, 비, 먼지, 새의 분뇨 등으로 태양전지 모듈의 표면이 쉽게 더럽혀지고, 이러한 오염물질은 태양전지 셀에 입사하는 태양광을 차단하여 태양전지의 에너지 변환효율을 저하시키는 원인이 되고 있다. 따라서 태양전지를 보호하기 위해 태양전지 모듈의 외곽에 장착되는 커버 글라스에 굴절률의 차이에 의해서 커버 글라스의 표면에서 발생하는 태양광의 반사를 최소화하기 위한 반사방지 기능성 코팅과 커버 글라스 표면의 오염원을 효과적으로 제거하기 위한 셀프클리닝의 기능성 코팅을 적용하기 위한 연구가 진행되어왔다 [1-5]. 태양전지의 커버 글라스 표면에서 태양광의 반사를 최소화 시키는 반사방지 코팅은 진공증착 공정을 이용하는 다층박막의 반사방지 코팅 [6, 7], 졸-겔 공정으로 합성된 실리카 나노입자를 이용하는 메조포러스 반사방지 코팅 [8, 9], 300 nm 이하의 주기적인 나노구조를 갖는 나방눈의 반사방지 구조를 모사한 **graded-index** 반사방지 코팅 [10, 11] 등 다양한 방법으로 구현이 가능하다. 하지만 태양전지의 경우, 저가의 공정으로 넓은 면적의 커버 글라스에 반사방지 코팅을 적용할 수 있고, 또한 우수한 광촉매 효과를 나타내는  $\text{TiO}_2$  필름과 동시에 코팅이 가능하여 셀프클리닝 기능도 함께 구현할 수 있는 실리카 나노입자를 이용하는 반사방지 코팅이 효과적이다 [1-5].

반도체 광촉매는 빛을 흡수하여 가전자 띠(valence band)로부터 전도 띠(conduction band)로 전자를 여기시키고, 이때 생성된 전하쌍이 계면으로 이동하여 전자 전이를 일으킴으로써 다양한 종류의 산화-환원 반응을 진행시킨다. 대표적인 광촉매 물질인  $\text{TiO}_2$ 는 밴드갭 에너지와 비슷하거나 더 큰 에너지를 가진 UV가 조사되면  $\text{TiO}_2$ 는 유기물질을  $\text{CO}_2$ 나  $\text{H}_2\text{O}$ 와 같은 단순 무기화합물로 분해시키고, 결과적으로 오염물질은 바람이나 빗방울에 의해서 제거된다. 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )은 높은 산화력을 가지고 있고, 난분해성 오염물질의 분해반응에 있어서 그 성능을 인정받아 환경정화용 촉매로 널리 쓰이고 있다. 특히 화학적, 광화학적으로 안정하여 강산이나 강알칼리 조건에서 모두 안정하며, 빛이 조사되는 조건 하에서 전하쌍이 고체격자 이온들과 직접 반응하여 반도체 물질 자체를 분해시키는 광부식 현상이 거의 없다. 이러한 화학적 안정성과 무독성 특성으로 인하여 이산화티탄

은 환경정화용 촉매로 널리 사용되고 있다 [12]. 하지만 기능성 코팅층에 이산화티탄의 함량이 증가하면 빛의 반사를 증가시키기 때문에 광투과율이 낮아지는 문제가 발생한다 [2, 13-15]. 따라서 태양전지의 커버 글라스에 적용되는 기능성 코팅에서는 광촉매 효과를 유지하면서 높은 광 투과율을 나타낼 수 있는 기능성 코팅의 구현이 중요하며,  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  박막구조 및  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  composite 필름 구조의 기능성 코팅 연구가 많이 진행되고 있다 [1-5, 15].

본 연구에서는 sol-gel 공정을 이용하여 실리카 나노입자 졸과 이산화티탄 나노입자 졸을 합성하였고, dip-coating 공정으로  $\text{SiO}_2$  필름/ $\text{TiO}_2$  필름 구조의 기능성 코팅을 구현하여 반사방지 기능과 셀프클리닝 기능을 확인하였다.

## 2. 실험방법

균일한 크기를 갖는 실리카 나노입자를 효율적으로 합성하는 스토버(Stöber)법이 개발된 이후 다양한 형태로 변형되어 실리카 나노입자를 합성해왔다. 본 연구에서는 지름이 약 7~8 nm 크기를 갖는 실리카 나노입자 졸을 합성하였는데, 실험에 사용된 시약은 TEOS(TetraEthylOrthoSilicate, 삼천, 95%), 에탄올(Ethyl Alcohol, 삼천, 94.5%), 암모니아수(ammonium hydroxide solution 28%, Sigma-Aldrich), 2-propanol(삼천, 99.5%)과 물(초순수 제조 장치로 얻은 정제된 증류수)을 사용하였다. 실리카 나노입자 졸의 제조방법은 1몰의 TEOS에 에탄올 1,150g을 섞은 후, 상온(20 °C)에서 교반하면서 0.1몰의 암모니아수를 첨가하고 2시간 동안 숙성한 다음, 1,200g의 물을 추가하고 30분 교반 후에 3,900g의 2-propanol로 희석하였다 [16].  $\text{TiO}_2$  나노입자 졸의 합성에 사용된 시약은 TTIP(Titanium Tetra IsoPropoxide, Sigma-Aldrich, 97%), 2-propanol(삼천, 99.5%), DEA(DiEthanolAmine, Sigma-Aldrich, 99%)와 물을 사용하였다.  $\text{TiO}_2$  나노입자 졸의 합성방법은 TTIP 14.21g, 2-propanol 0.12g, DEA 2.25g, 물 0.9g을 섞은 다음 27 °C에서 3시간 동안 교반하였다 [17]. 합성된  $\text{SiO}_2$  나노입자 졸과  $\text{TiO}_2$  나노입자 졸을 24시간 동안 숙성한 다음, dip-coating 공정을 적용하여 슬라이드 기판 위에  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 의 구조를 갖는 시료를 코팅하였다. 기판은 초음파 세척기를 이용하여 아세톤, 에탄올, 증류수로 세척하였고, 고순도 절소(99.999%)건으로 건조시켰다. dip-coating 공정에서 기판의 인상속도는 1mm/s이었다.  $\text{TiO}_2$  졸을 코팅한 다음 시료는 상온, 공

기 중에서 48시간 동안 건조하였고, 500 °C에서 30분 동안 열처리하여 rutile상을 갖도록 하였다.

슬라이드 기판에 코팅된 반사방지 및 셀프클리닝 기능성 코팅 필름의 표면형상 (morphology)은 FE-SEM (FEI, Sirion)과 AFM (Park System, XE-100)으로 각각 분석하였다. 코팅된 필름의 투과율은 UV-visible spectrophotometer로 분석하였으며, 발수 특성은 Contact Angle Analyzer (SEO Co. Ltd, Phoenix 300 Plus)로 접촉각을 측정하여 평가하였다. 시료의 발수 기능은 메탄올(Methyl Alcohol, 삼천, 99%)과 1H,1H,2H,2H- Perfluorodecyltrimethoxysilane (Sigma-Aldrich, 98%)의 희석용액을 dip-coating 공정으로 코팅하여 발수기능을 부여하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

합성된 실리카 나노입자 졸과 이산화티탄 나노입자 졸을 이용하여 dip-coating 공정으로 슬라이드 글라스 위에 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름을 코팅한 다음 표면형상을 전자현미경으로 관찰하였고, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 실리카 졸과 이산화티탄 졸 모두 크랙(crack)이나 뭉치는 현상 없이 균일하게 잘 도포된 것을 확인할 수 있다.

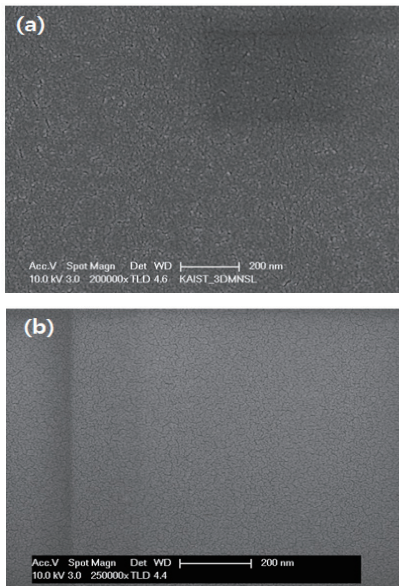


Fig. 1. FE-SEM images of the (a) SiO<sub>2</sub> nanoparticles film, and (b) TiO<sub>2</sub> nanoparticles film, which are coated by dip-coating process with a withdrawal speed of 1mm/sec on cleaned slide glass.

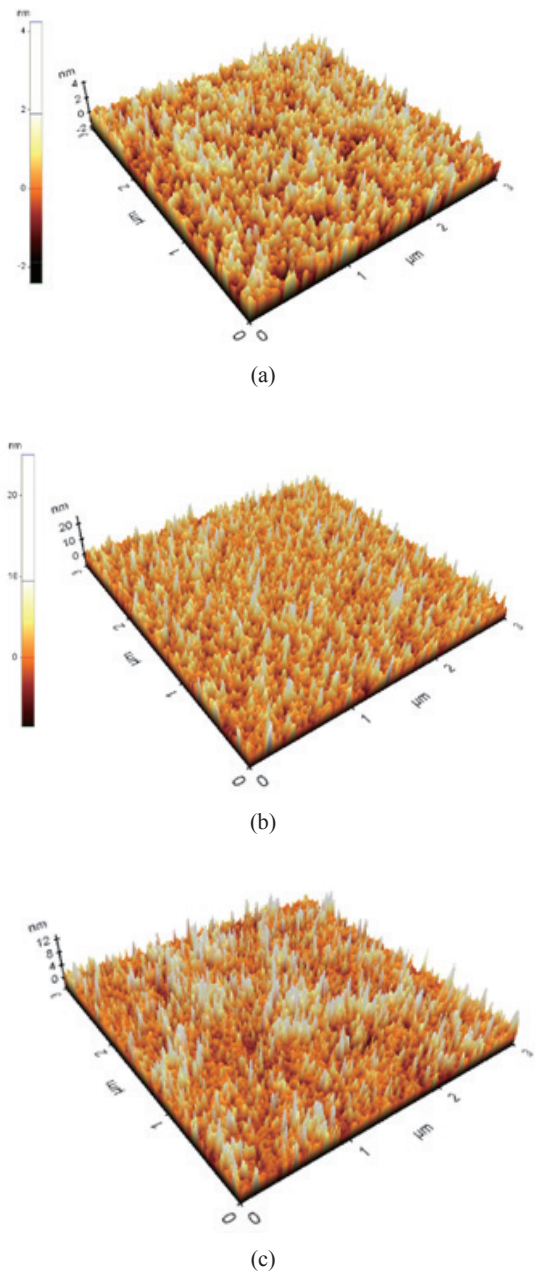


Fig. 2. AFM images of the (a) SiO<sub>2</sub> NPs coating surface, (b) TiO<sub>2</sub> NPs coating surface, and (c) SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> thin layer surface by dip-coating process on cleaned slide glass, which are analyzed with the non-contact mode.

반사방지 기능성 코팅의 경우 표면의 지나친 요철은 빛 산란의 요인이 되므로 반사방지 코팅 표면의 거칠기

는 매우 중요한 요소이다. 슬라이드 글라스 위에 각각 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름을 코팅하고, 발수기능을 부여한 후에 필름 표면의 거칠기를 원자힘 현미경으로 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 평균 표면 거칠기는 각각 0.55 nm, 2.19 nm, 1.11 nm로 Fig. 1의 주사전자현미경 표면형상 분석결과와 부합되는 매우 매끈한 표면을 가지고 있었다.

이산화티탄 필름은 광촉매 기능이 매우 우수하지만 이산화티탄 코팅에서 이산화티탄의 함량이 증가할수록 빛의 투과율이 급격히 떨어지는 현상이 보고되었다 [2, 13-15]. Titanium n-butoxide (n-BuTi)로 합성된 이산화티탄 필름의 경우, 필름의 두께가 8 nm로 매우 얇았음에도 파장 500 nm에서 투과율은 85.0%(기판은 91.1%)로 분석되었으며, 이산화티탄 필름의 두께가 두꺼워질수록 투과율은 급격히 낮아졌다 [2]. 액상증착법으로 코팅된 이산화티탄 박막의 경우, 필름의 두께가 20 nm 미만일 경우에, 가시광선 영역에서의 투과율은 기판의 투과율과 거의 비슷한 평균 90% 수준이었지만 이산화티탄 필름의 표면은 중간에 빈공간이 많은 형태로 Fig. 1에서 볼 수 있는 것처럼 균일한 표면을 가지고 있지 않았다 [13]. Titanium Acetylacetonate (TiO(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)를 분해하여 이산화티탄 필름을 제조한 경우, 이산화티탄의 함량이 20% 미만일 경우에 비교적 매끈한 표면형상을 보이지만 투과율은 가시광선 영역에서 기판의 투과율보다 2~3%정도 낮았다 [14]. Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 본 연구에서 제조된 이산화티탄 필름의 경우, 가시광선 영역(400 nm ~ 800 nm)에서의 평균 투과율은 89.6%로 분석되어 슬라이드 기판의 평균 투과율 90.0%와 거의 비슷하게 분석되었다. 제조된 이산화티탄 필름의 광촉매 특성을 조사하기 위하여 메틸렌블루 용액을 dip-coating 한 다음에 투과율을 측정할 경우, 파장 500~700 nm 영역에서 투과율이 급격히 떨어져 광촉매 기능이 잘 동작하는 것을 확인할 수 있었다 [1-2, 17].

이산화티탄 코팅의 셀프클리닝 기능성은 코팅 표면이 초친수성(superhydrophilicity)을 갖거나 초발수성(superhydrophobicity)을 가질 때 효과적이다 [15, 18]. 하지만 초친수성 표면의 경우, 물기가 완전히 증발되기 이전에는 이산화티탄 필름 전체에 습기를 포함하게 되며, 이것은 기판과 이산화티탄 코팅층간의 접착력 약화를 유도한다.

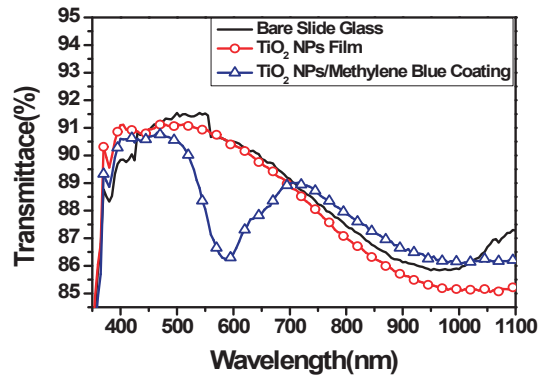


Fig. 3. Transmittance curves of the bare slide glass, TiO<sub>2</sub> nanoparticles (NPs) film, and TiO<sub>2</sub> NPs/Methylene blue coating, which are coated by dip-coating process with a withdrawal speed of 1mm/sec on cleaned slide glass.

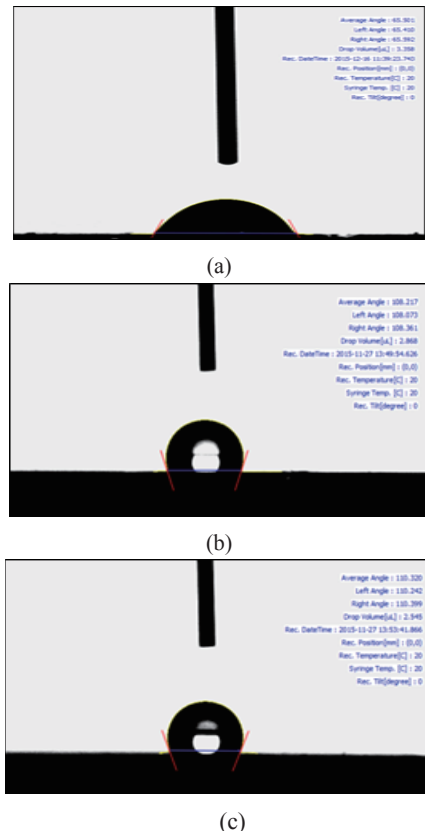


Fig. 4. Contact angle(CA) measurement images of the (a) SiO<sub>2</sub> NPs coating surface, (b) TiO<sub>2</sub> NPs coating surface, and (c) SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> thin layer surface by dip-coating process on cleaned slide glass. The measured CA values are 65.5°, 108.2°, and 110.3°, respectively.



이러한 기판과 이산화티탄 코팅층간의 접착력 약화가 이산화티탄 코팅층이 쉽게 벗겨지는 원인을 제공한다. 따라서 이산화티탄 코팅 표면이 초발수성을 가질 때 광촉매효과가 장시간 유지될 수 있다. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 발수특성 측정결과를 Fig. 4에 나타내었으며, 접촉각은 각각 65.5°, 108.2°, 110.3°로 분석되어 발수표면(hydrophobic surface)을 가지고 있었다[3, 14].

태양전지 커버 글라스의 경우, 태양전지에 입사하는 빛을 최대화시키기 위한 반사방지 기능과 커버글라스 표면의 오염원을 제거하여 광투과율을 향상시키는 셀프클리닝 기능이 동시에 구현되는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실리카 나노입자 졸과 이산화티탄 나노입자 졸을 이용하여 우수한 반사방지 기능과 셀프클리닝 기능이 동시에 구현되는 기능성 코팅을 구현하고자하였다. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 투과율을 UV-visible 분광광도계로 측정하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 실리카 필름이 단독으로 코팅되었을 때 반사방지 기능성이 가장 우수하였으며, 가시광선 영역에서 평균 투과율은 93.6%로 분석되어 슬라이드 글라스의 평균투과율 90.0%보다 3.6% 높았다. 반사방지 기능과 셀프클리닝 기능이 함께 구현되는 SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 경우, 가시광선 영역에서 평균투과율은 92.3%로 슬라이드 글라스의 평균 투과율보다 2.3% 높았다.

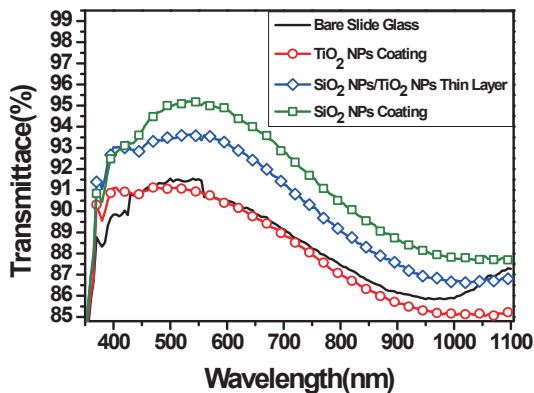


Fig. 5. Transmittance curves of the bare slide glass, TiO<sub>2</sub> NPs coating, SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> thin layer, and SiO<sub>2</sub> NPs coating with a hydrophobic surface, which are coated by dip-coating process on cleaned slide glass.

## 4. 결론

본 연구에서는 실리카 나노입자 졸, 이산화티탄 나노입자 졸을 sol-gel 공정으로 합성하고, dip-coating 공정으로 반사방지 및 셀프클리닝 기능성 필름 코팅연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 실리카 나노입자 졸 및 이산화티탄 나노입자 졸을 합성하여 dip-coating 공정으로 준비된 SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 표면은 매우 균일하고, 평탄한 표면형상을 가지고 있었으며, 원자힘 현미경으로 분석된 평균 표면거칠기는 1.11 nm이었다.
2. 광촉매 기능이 우수한 이산화티탄 코팅의 경우, 이산화티탄의 함량이 증가하면 투과율이 저하되는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 광촉매 기능이 충실한 매우 얇고 균일한 이산화티탄 코팅의 구현이 가능하였고, 가시광선 영역에서의 평균 투과율이 89.6%로 분석되어 슬라이드 기판의 평균 투과율 90.0%와 거의 비슷하였다.
3. 반사방지 기능과 셀프클리닝 기능을 동시에 구현한 SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 가시광선 영역에서의 평균 투과율은 92.3%로 슬라이드 글라스의 평균 투과율도 2.3% 높았으며, 실리카 나노입자 졸만으로 구현된 SiO<sub>2</sub> 필름의 평균 투과율을 93.6%로 슬라이드 글라스의 평균 투과율보다 3.6% 높았다. SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> 필름의 접촉각은 110.3°로 분석되어 경사진 태양전지의 커버글라스에 적용되었을 때 빛 방울에 의해서 셀프클리닝 기능이 충실하게 구현될 것으로 기대된다.

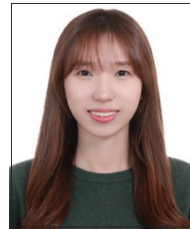
## References

- [1] D. Lee, M. F. Rubner, and R. E. Cohen, "All-Nanoparticle Thin Film Coatings", *Nano Letters*, Vol. 6, No. 10, pp. 2305-2312, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl061776m>
- [2] R. Prado, G. Beobide, A. Marcaide, J. Goikoetxea, and A. Aranzabe, "Development of multifunctional sol-gel coatings: Anti-reflection coatings with enhanced self-cleaning capacity" *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 94, pp. 1081-1088, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.02.031>
- [3] M. Faustini, L. Nicole, C. Boissière, P. Innocenzi, C. Sanchez, and D. Grosso, "Hydrophobic, Antireflective, Self-Cleaning, and Antifogging Sol-Gel Coatings: An Example of Multifunctional Nanostructured Materials for

- Photovoltaic Cells" *Chemistry of Materials*, Vol. 22, pp. 4406-4413, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/cm100937e>
- [4] Ö. Kesmez, H. E. Çamurlu, E. Burunkaya, and E. Arpaç, "Sol-gel preparation and characterization of anti-reflective and self-cleaning SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> double-layer nanometric films", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1833-1839, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.06.022>
- [5] S-Y. Lien, D-S. Wu, W-C. Yeh, and J-C. Liu, "Tri-layer antireflection coatings (SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>) for silicon solar cells using a sol-gel technique" *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 90, pp. 2710-2719, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.04.001>
- [6] S. Chhaged, M. F. Schubert, J. K. Kim, and E. F. Schubert, "Nanostructured multilayer graded-index antireflection coating for Si solar cells with broadband and omnidirectional characteristics", *Applied Physics Letters*, Vol. 93, p. 251108, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3050463>
- [7] M-L. Kuo, D. J. Poxson, Y. S. Kim, F. W. Mont, J. K. Kim, E. F. Schubert, and S-Y. Lin, "Realization of a near-perfect antireflection coating for silicon solar energy utilization", *Optics Express*, Vol. 33, No. 21, pp. 2527-2529, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1364/ol.33.002527>
- [8] J. Moghal, S. Reid, L. Hagerty, M. Gardener, and G. Wakefield, "Development for single layer nanoparticle anti-reflection coating for polymer substrates", *Thin Solid Films*, Vol. 534 pp. 541-545, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.03.005>
- [9] J. Moghal, J. Kobler, J. Sauer, J. Best, M. Gardener, A. A. R. Watt, and G. Wakefield, "High-Performance, Single-Layer Antireflective Optical Coatings Comprising Mesoporous Silica Nanoparticles", *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 4, pp. 854-859, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/am201494m>
- [10] K-S. Han, H. Lee, D. Kim, and H. Lee, "Fabrication of anti-reflection structure on protective layer solar cells by hot-embossing method", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1214-1217, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.01.002>
- [11] Y. Li, J. Zhang, and B. Yang, "Antireflective surfaces based on biomimetic nanopillared array", *Nanotoday*, Vol. 5, pp. 117-127, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.03.001>
- [12] W. Choi, "Studies on TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Reactions", *Journal of The Korean Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 14, No. 8, pp. 1011-1022, 2003.
- [13] H-H. Jung, J-H. Kim, J. Hwang, T-Y. Lim, and D-G. Choi, "Fabrication of super hydrophilic TiO<sub>2</sub> thin film by a liquid phase deposition", *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, Vol. 20, No. 5, pp. 227-231, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.6111/JKCGCT.2010.20.5.227>
- [14] A. Nakajima, K. Hashimoto, and T. Watanabe, "Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties" *Langmuir*, Vol. 16, pp. 7044-7047, 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/la000155k>
- [15] H. Zhang, D. Fan, T. Yu, and C. Wang, "Characterization of anti-reflective and self-cleaning SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> composite film", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 66, pp. 274-279, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-013-3004-y>
- [16] W. Glaubitt, and P. Löbmann, "Anti-soiling effect of porous SiO<sub>2</sub> coatings prepared by sol-gel processing", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 59, pp. 239-244, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-011-2489-5>
- [17] A. Shokuhfar, M. Alzamami, E. Eghdam, M. Karimi, and S. Mastali, "SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanostructure Films on Windshields Prepared by Sol-Gel Dip-Coating Technique for Self-Cleaning and Photocatalytic Applications", *Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 2, No. 1, pp. 16-21, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.5923/j.nn.20120201.04>
- [18] F. Li, Q. Li, and H. Kim, "Spray deposition of electrospun TiO<sub>2</sub> nanoparticles with self-cleaning and transparent properties onto glass", *Applied Surface Science*, Vol. 276, pp. 390-396, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.03.103>

**노 영 아 (Yeoung-Ah Noh)**

[정회원]



- 2016년 2월 : 목원대학교 신소재화학공학과 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 첨단소재공학과 (석사과정)

<관심분야>

기능성 나노소재, 에너지 관련 소재, 환경관련 소재

**김 기 출 (Ki-Chul Kim)**

[종신회원]



- 1993년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학사)
- 1996년 2월 : 아주대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
- 2002년 2월 : 아주대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
- 2002년 4월 ~ 2006년 3월 : 한국 전자통신연구원 선임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 신소재화학공학과 교수

<관심분야>

기능성 나노소재, 에너지관련 소재, 기능성 박막