

## Development of harmful ultraviolet blocking transparent flexible device using $TiO_{2-x}$ thin film process

Geug Tae Kim<sup>†</sup>

*Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, Hannam University, Daejeon 34054, Korea*

(Received May 29, 2019)

(Revised June 10, 2019)

(Accepted June 13, 2019)

**Abstract** In this study, the development of transparent UV blocking material using  $TiO_{2-x}$  oxide thin film process was developed. A process technology is related to a process technology for making a sample with ultraviolet-shielding property of visible light transmittance of 78 % or more (total light transmittance at 550 nm) and of a UV cut-off characteristic of more than 95 % at 315 nm in ultraviolet wavelength band. In this study, it is possible to establish a flexible device process condition of high performance ultraviolet (UV) shielding thin film, to design mixed type of transparent flexible device with heterogeneous characteristics and to formulate composite deposition technology, according to various market demands. Establishment of actual roll-to-roll continuous process and equipment and process technology will affect related industries greatly.

**Key words**  $TiO_{2-x}$ , UV blocking material, Plasma process

## $TiO_{2-x}$ 산화물 박막공정을 이용한 유해자외선차단 투명유연소재개발

김극태<sup>†</sup>

한남대학교 화공신소재공학과, 대전시 유성구 유성대로 1646, 34054

(2019년 5월 29일 접수)

(2019년 6월 10일 심사완료)

(2019년 6월 13일 게재확정)

**요약** 본 연구에서는  $TiO_{2-x}$  산화물 박막공정을 이용한 유해 자외선차단 투명 유연 소재를 개발하고자한다. 자외선 차단 특성: 자외선 파장대의 315 nm 차단율이 95 % 이상이면서, 자외선차단특성을 갖으면서 투명성을 높인 가시광선 투과율 78 % 이상(550 nm에서 전광투과율)의 시료를 만드는 공정기술을 개발하고자 하였다. 본 연구 결과로 고성능 자외선차단 박막의 유연 소자 공정조건을 확립하고, 이질성 특성의 투명 유연 소자의 혼합형 설계와 시장 요구에 다양하게 대응이 가능한 복합 증착 기술 정립, 롤투롤(roll-to-roll) 연속 공정의 실현 및 장비, 공정 국산화 기술 확립으로써 관련 산업으로의 기술 파급 효과가 클 것으로 사료된다.

### 1. 서론

국내 생활수준이 향상됨에 따라 골프나 테니스 등 야외 스포츠가 대중화되고, 야외로의 소풍 등 여행이 활성화됨으로 야외 활동은 지속적으로 증가하는 추세이다. 특히, 활동하기에 편한 여름에 야외 활동은 더욱 증가하게 된다. 그러나 야외 활동 시간이 증가할수록 태양광에 노출될 시간은 증가되고 태양광 중 자외선에 노출될 가능성이 증가하게 된다. 자외선은 태양광의 스펙트럼 영

역에서 290~400 nm 파장 영역에 있으며 피부의 광노화, 세포 손상, DNA 손상 등을 유발하는 원인으로 알려져 있다[1]. 최근 자외선의 차단 효과를 평가하기 위하여, 파장에 따라 UV 영역을 두 부분으로 나누어 평가하는데, 단파장의  $UV_B$  영역(290~320 nm)과 장파장의  $UV_A$  영역(320~400 nm)으로 구분하고 있다[2]. 피부노화의 직접적인 원인 중의 하나가 자외선이라는 연구결과가 발표되었다[3]. 자외선을 차단하기 위하여 의복이나 자외선 차단용 모자 등을 착용하고[4], 별도의 자외선 차단용 선크림, 선블럭 크림 등을 피부에 바름으로써 실외활동에서의 자외선으로부터 피부를 보호하고자 한다[5, 6]. 태양광에서의 자외선을 차단하여 눈의 피로를 적게하

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: geugtaekim@gmail.com

고 눈을 보호하는 역할을 하며, 70~80 %의 태양광 차단이 가능하므로 태양광 조사량이 많은 여름철이나 실외에서는 선글라스의 역할도 가능하며 그 사용 용도가 매우 다양하다. 일상적인 환경에서 태양광에 노출로 인한 눈의 손상에 대한 효과를 결정하기는 어렵지만 눈의 조직 중에서 특히 수정체와 망막이 손상을 받기가 쉽다. 자외선과 430~470 nm의 청색광은 조직에 대해 광화학 변화를 야기하기에 충분한 에너지를 가지고 있다. 자외선, 특히, UV<sub>B</sub>과 청색광은 수정체에 손상을 주어서 백내장을 일으키고, 망막의 광수용체 세포와 망막 색소 상피 세포에 손상을 주어서 황반 변성 등의 망막 질환을 유발하기도 한다. 따라서 이들 유해 광선으로부터 눈을 보호하고 시력을 증진시키는 등의 광변색 렌즈의 안과 영역에 있어서의 자외선 차단에 대한 시요구와 적용의 광범위한 응용성에 대한 적용 개선이 필요하다[5].

자외선 차단제는 무기계 소재인 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)이나 산화아연(ZnO)의 자외선 산란에 의한 물리적 차단법과 흡수제를 이용한 화학적 차단법이 사용되고 있다[7]. 물리적 차단 방식으로 활용되는 무기계 소재들은 자외선을 포함한 태양광선에 대하여 불활성이 크고 안전성이 우수하며, 또 주로 산란이라는 물리적 작용으로 자외선을 차단해주므로 넓은 파장 영역에 대하여 효과적이다[8]. 단 파장의 자외선에서는 주로 흡수에 의하여 효과가 나타나며, 장파장의 자외선에서는 산란기능이 지배적으로 나타난다[9]. 물리적 차단용 무기계 소재의 자외선 산란 효과는 미립자의 큰 굴절을 때문이며[10], 분체 표면에서의 반사율은 굴절율이 커질수록 커지며, 표면 매질의 상태와 모양에 따라 다르다[11]. 최근 국내 연구진에 의하여 자외선 차단용 화장품 원료에 사용되고 있는 4 종류의 이산화티탄의 광학적 특성을 분석하고 자외선 차단지수의 상관관계에 대한 연구가 이루어졌다[5].

이러한 효율적인 자외선 차단 방법의 시장요구에 따라, 외장, 피착제 보호 및 물성강화 등의 특수한 여러 가지 목적으로 널리 사용되는 최근의 코팅 응용기술을 활용하여, 생산 원가 절감과 대량 생산을 하고자 하며, 또한, 기술적인 측면에 대한 연구나 경제적인 측면에 대한 요구가 시장에서 요구되고 있다. 기존의 전통적인 열경화 방식의 잉크와 코팅공법은 유기 휘발 용매를 제거하는 공정이 절대적으로 필요한데 이것이 환경에 치명적인 악영향을 끼치고 있다. 이러한 코팅 제조방식은 실리콘과 폴리에틸렌의 혼합물로 얇은 필름에 자외선 차단제를 코팅 도포 한후 후처리(열처리 등 휘발용매제거공정)를 통해 건조한 필름의 자외선차단기능을 부여하여 사용한다. 그러나 이것은 지속적인 태양광 자외선 조사에 따른 자외선 파괴능에 견디지 못하고 서서히 변색과 층 분리(디라미네이션) 등의 박리문제가 현실적으로 대두되고 있다. 유기계 자외선차단제는 분자 구조의 변형을 통해 흡수

파장의 조절이 용이하다는 장점이 있지만, 열안정성과 내구성이 무기 나노 소재 자외선 차단제 보다 낮은 단점이 있다. 또한, 무기 나노소재 자외선 차단제는 열안정성과 내구성이 유기계 자외선 차단제보다 높은 장점이 존재하나, 재료 가격이 유기계 자외선 차단제보다 고비용인 단점도 존재한다. 최근 환경보전과 보호문제는 전 세계적으로 그린(green) 환경 이슈가 되고 있는 상황이다. 따라서, 플라즈마 진공 증착 방식의 무기계 자외선 차단제의 개발과 진공 증착 공정을 통하여 Ti(티타늄)을 산화물로 변환시켜 필름에 고밀도 박막을 무기질로 코팅공정에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다[12-24].

본 연구에서는 종래 전통적인 열경화 방식의 코팅공정 방식에서 벗어나 새로운 친환경적 코팅공정을 적용하고자 한다. 자외선 산란제의 단점을 보완한 새로운 자외선 차단제를 개발하고자 (1) 고성능의 무기계 자외선 차단제의 장점을 극대화하고, 비용적인 단점을 극복하기 위해 플라즈마 진공 증착 방식의 무기계 자외선 차단제의 개발을 하고, (2) 다양한 파장 선택성을 갖고, 열안정성과 내구성이 우수한 고밀도 무기계 자외선차단제, 즉 투명 코팅된 필름의 자외선 차단 95% 자외선 차단특성(UV<sub>A</sub>, UV<sub>B</sub>, UV<sub>C</sub> 파장대의 평균치인 315 nm 파장대의 측정 기준)를 개발하고, (3) 더 나아가 고밀도 재료 진공 증착 공정을 통하여 Ti(티타늄)을 산화물로 변환시켜 필름에 고밀도 박막을 무기질로 코팅 하여 기존기술의 문제점인 유기질 바인더를 사용하지 않고 순수 무기질로만 투명 박막, 즉 진공박막 공정을 이용한 고밀도 TiO<sub>2</sub> 유해 자외선 차단 투명 유연소재개발을 구현하는 환경 친화적인 기술을 적용하여 확립하는 데 있다.

## 2. 실험

본 실험에 사용된 TiO<sub>2-x</sub> 타겟(99.9%)은 (주)브이티엠(중국)으로부터 구입하였다. 본 실험에 사용된 TiO<sub>2-x</sub> 타겟의 규격은 680 mm × 88 mm × 10 mm이며, 2개의 TiO<sub>2-x</sub> 타겟을 결합하여 사용되었다. 일반적으로, TiO<sub>2</sub> 타겟은 회백색의 색깔이고, 절연체의 특성이므로, RF 펄스 전원 장치 이외에는 적용할 수 없다. 본 실험에 사용된 TiO<sub>2-x</sub> 타겟은 세라믹 절연체의 타겟 특성과 도전성 타겟의 양면성을 보유하고 있는 타겟으로 본 연구팀에 의하여 설계 제작되었다. TiO<sub>2-x</sub>은 산소결핍을 나타내는 것으로, 이산화티타늄의 복합 산화물로서 화학적 불안정의 결합 상태를 인위적으로 만들어서, 반응 활동도를 증가시키고, 절연 특성의 세라믹에 도전성을 부여할 수 있는 도전성 필러인 탄소 나노 튜브가 첨가되어서, 진공 상태의 직류 펄스(pulse) 공정 작업이 가능하다.

TiO<sub>2-x</sub> 타겟 챔버 장착에서, 고전압 20,000 volt/sec에

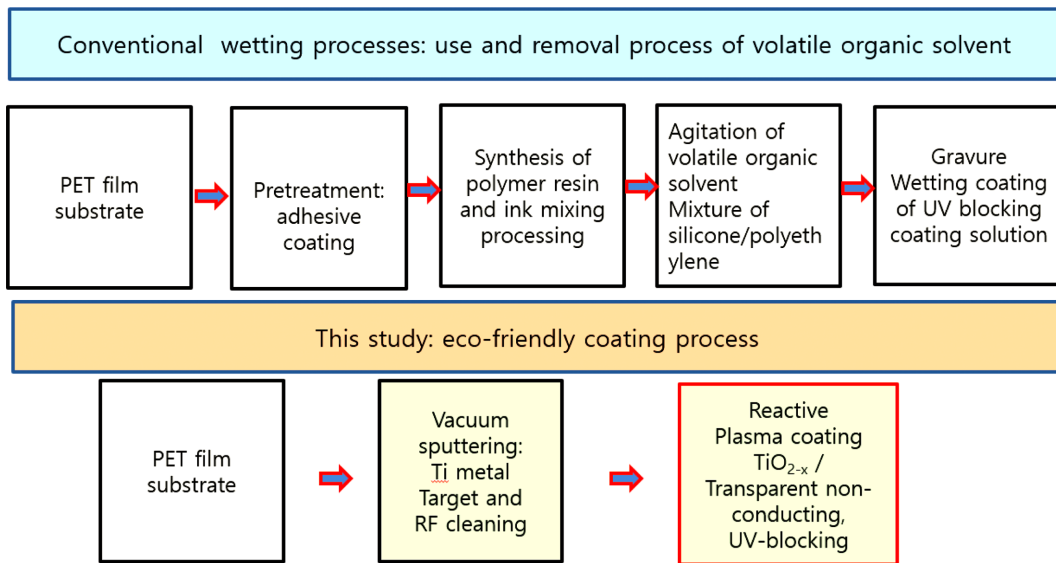


Fig. 1. Comparison of conventional wet process and environmentally friendly coating process.

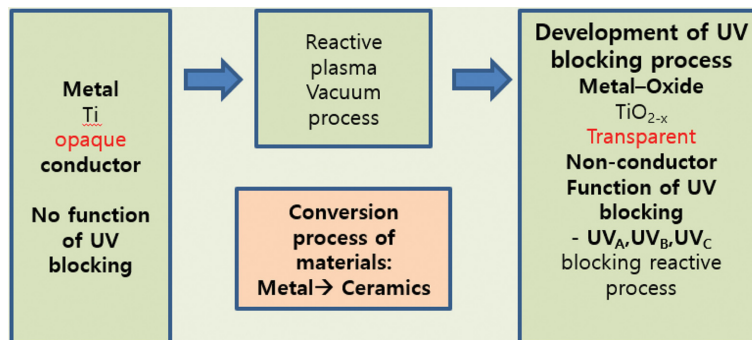


Fig. 2. Overview of plasma coating process manufacturing high density  $TiO_{2-x}$  thin film.

견디어낼 수 있는 절연판을 삽입한 발진  $TiO_{2-x}$  타겟 어셈블리 진공 챔버를 제작하였다. 각각 발진 타겟에 절연 규격의 최소화가 효율을 높일 수 있는 관건이며, 보통 5~15 cm 간격으로 설계를 하는 것이 일반적이지만, 본 실험에서는 7 cm 간격(타겟-타겟 사이의 거리)으로 최적화하여 실험에 성공하였다. 또한, 본 실험에서 진공 코팅 가공 전에 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 필름 위에 폴리에틸렌(polyethylene, PE) 보호 필름을 사용하여 불순물의 혼입을 최소화하여, 공정오염을 최적화하였다. 필름 코팅 및 박막 코팅 분석을 위한 웨이퍼를 장착하였다.

$TiO_{2-x}$  코팅의 적정한 조건과 코팅상태를 분석하기 위한 실험으로서 기존 필름의 코팅상태를 분석하기에는 PET 필름의 표면 거칠기(surface roughness)의 균질도가 일정하지 않아서, 정확한 측정이 매우 어렵고 실사 결과를 얻는다 하여도 실험 결과치가 객관적이지 않기 때문에, 객관적인 결과를 용이하게 구하기 위해서는 표면 거칠기가 일정한 반도체 8인치 웨이퍼를 구입하여 적당하게

절단한 다음 코팅 부분에 동시 코팅이 되도록 2중 테이핑(taping)을 실시하여, 동시 증착 코팅후 웨이퍼만 분리하여 전자현미경(SEM)으로 측정하여 표면 증착의 객관적 측정의 신뢰성을 높였다.

플라즈마 증착 공정에서는 저진공 챔버의 상태를 로우터리 펌프(rotary pump)를 이용하여 저진공 상태를 구축한 후, 터보 분자 펌프(turbo molecular pump)의 고진공 펌핑하여 고진공 챔버의 상태를 유지한다. 반응을 진행하기 위해서는 반응성 가스(아르곤 가스, 300 cc)를 질량 유속 조절기(mass flow controller) 기기를 이용한 가스 이송 장치를 투입하여  $3.9 \times 10^{-3}$  torr를 만들어서 플라즈마 발진후 공정을 진행한다.

Fig. 1은 종래 습식공정과 본 연구에서의 환경 친화적 코팅공정의 비교를 나타내고 있다. Fig. 2은 플라즈마 고밀도  $TiO_{2-x}$  산화물 플라즈마 코팅공정 개요를 도식화한 것이다. 진공 증착공정을 통하여 티타늄을 산화물로 변환시켜 필름에 고밀도 박막을 무기질로 코팅하여 기존기술의 문제점인 유기질 바인더를 사용 안하고 순수

무기질로만 투명 박막을 구현하는 환경 친화적인 공정 기술을 구현하는 실험을 하였다. 즉, 고분자 레진 바인더를 사용하지 않고 진공 공정의 고밀도 투명  $TiO_{2-x}$  박막층을 통한 유해 자외선 차단 투명 유연 소자 공정개발인, (1) 무기질  $TiO_{2-x}$  박막공정개발, (2) 금속반응 공정(metal reactive process), (3) 금속 + 진공 플라즈마 공정 진공박막 공정을 사용하였다. 전처리 공정에서는 가스 제거 (degas) 공정을 하였으며, 또 RF(radio frequency) 플라즈마 공정 전처리공정을 통하여 접착력 강화를 공정에서 실험이 이루어졌다. 그리고 반응성가스 제어공정, 아르곤 가스 제어 공정(진공 박막 공정), 산소 가스 제어 공정(진공박막 공정)을 거치는 실험이 실행 되었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는  $TiO_{2-x}$  세라믹 가시광선 차단 기능과 투과성 기능을 동시에 구현하기 위하여, 플라즈마 진공 증착이 이루어졌다. 웨이퍼 위에서의  $TiO_{2-x}$  나노 코팅층이 나노 박막 코팅이 되었는 지를 분석하기 위하여 FT-IR(fourier-transform infrared spectroscopy)을 사용하여 온도 23.1°C, 습도 15% RH(relative humidity) 시험 환경에서, 피크 위치(peak position)인 파수(wavenumber) (/cm)에 따른 흡광도(absorbance)(offset values)를 1개 시료(surface 1 시료)에 대하여 동일한 방법으로 5 개의 다른 위치에서 분석하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 시료 1개에 대하여, 파수 1700, 1250, 700 /cm에서 흡

광도 피크(absorbance peak)를 나타내고 있다. Fig. 3에서 얻어진 결과는 웨이퍼 위에서 얻어진 결과이며, surface 1에 해당하는 플라즈마코팅 조건은 4 KW 동력을 사용한 것이다. Fig. 3에서 나타난 결과는 흡광도의 피크가 같은 파수 1700, 1250, 700 /cm에 대하여 동일한 형태를 나타내는 것은 위치에 따른 편차가 없음, 즉, 균일성을 나타내고 있다. Fig. 3과 4는 시료 surface 1에 대한

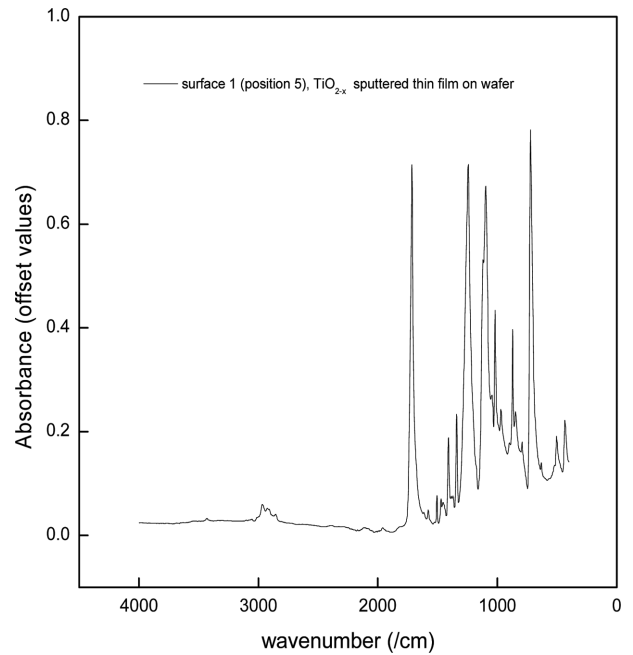


Fig. 4. FT-IR analysis  $TiO_{2-x}$  sputtered thin film (surface 1, position 5) on wafer.

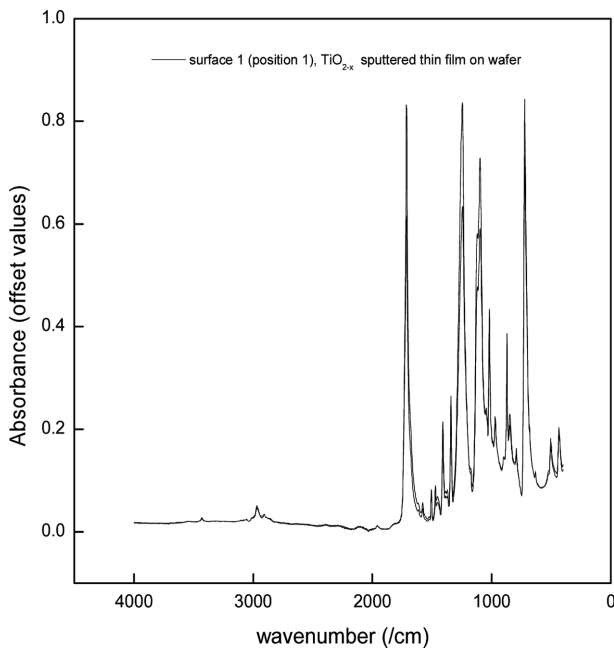


Fig. 3. FT-IR analysis  $TiO_{2-x}$  sputtered thin film (surface 1, position 1) on wafer.

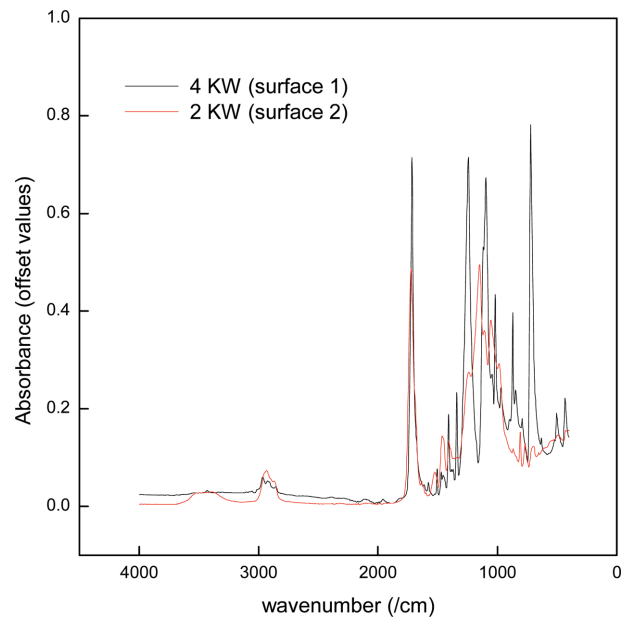


Fig. 5. FT-IR analysis of  $TiO_{2-x}$  sputtered thin film on PET film by plasma sputtered processes, with two different power intensity of 2 KW (red line, surface 2), 4 KW (black line, surface 1).

다른 위치 1, 5(총 5개의 위치 시료 측정)에서, 4 KW 동력 세기에서 얻어진 흡광도 피크를 나타낸 것이며, 다른 위치 2, 3, 4에 대한 흡광도 피크 결과는 위치 1, 5와 거의 같은 결과를 얻었으므로, 이에 해당하는 흡광도 피크는 도식화하지 않았다.

Fig. 5에서 surface 1에 해당하는 플라즈마 코팅 조건은 4 KW 동력(black line)을 사용한 것이며, surface 2에 해당하는 플라즈마 코팅조건의 동력은 2 KW 동력(red line)을 사용하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이, 시료 surface 1과 surface 2에 대하여, 파수 1700, 1250, 700 /cm에서 흡광도 피크를 나타내고 있다. surface 1에

대한 흡광도의 값은 모두 동일한 값인 0.82를 나타내고 있다. 시료 surface 2에 대하여, 파수 1700, 1250, 700 /cm에서 흡광도의 값은 0.53, 0.53, 0.1를 나타내고 있다. 시료 surface 1과 2에 대한 FT-IR에 의한 흡광도를 분석한 결과, 흡광도는 플라즈마 코팅 조건의 동력(파워)을 증가시켰을 때,  $\text{TiO}_{2-x}$  박막 코팅층의 자외선 흡수성이 증가함을 보여주고 있다. 이러한 결과는 동력세기가 증가할수록 증착 두께가 증가하여 흡광도가 증가됨을 알 수 있다. Fig. 3은 웨이퍼 위에 플라즈마  $\text{TiO}_{2-x}$  박막 코팅을 한 것이며, Fig. 5는 PET 필름 위에서 플라즈마  $\text{TiO}_{2-x}$  박막 코팅층에 FT-IR의 사용으로는 흡수와 피크

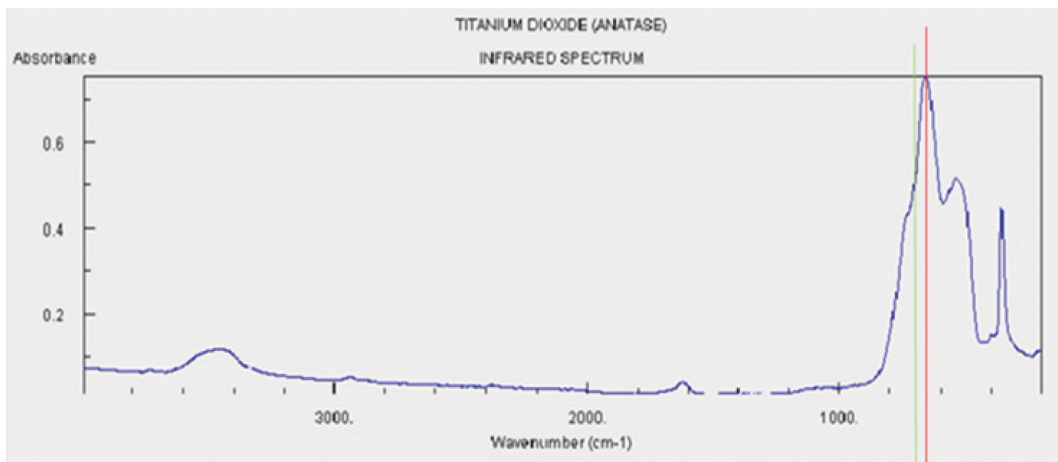


Fig. 6. Absorbance and peak from FT-IR analysis of  $\text{TiO}_{2-x}$  sputtered thin film on wafer.

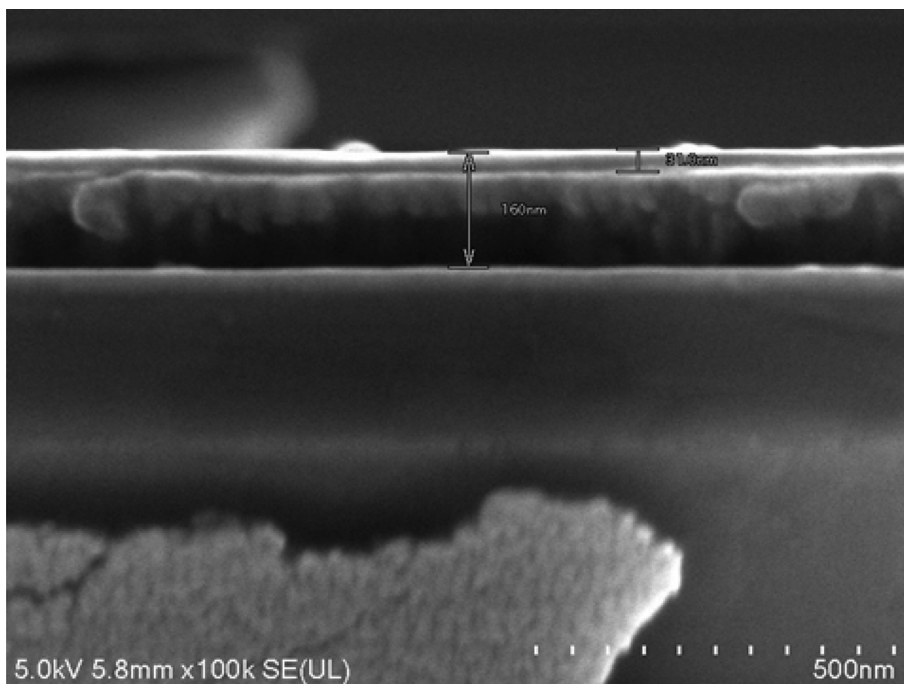


Fig. 7. Photo of cross sectional area of  $\text{SiO}_2$  (129 nm) layer and  $\text{TiO}_{2-x}$  (31 nm) layer, total thickness 160 nm on wafer by FE (field-emission)-SEM analysis.

를 분명하게 나타내는 것이 어려움이 존재한다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전계방사형주사전자현미경(FE-SEM)/EDS로 재분석하여 PET 필름위에  $TiO_{2-x}$  나노 박막층이 코팅되었다는 것을 분석할 필요가 있다. Fig. 3과 4에서는 surface 1에 대한 흡광도의 값은 모두 동일한 값이나, Fig. 5는 시료 surface 1과 surface 2에 대하여 흡광도의 값이 동력세기(power intensity)에 따라, 다르며, 동력 세기가 증가함에 따라 흡광도의 값이 크음을 보여주고 있다.

Fig. 6은 웨이퍼 위에  $TiO_{2-x}$  코팅층의 존재 여부를 알기 위하여 FT-IR 분석결과, 흡광도와 피크를 나타내는 전형적인 이산화티타늄에 대한 FT-IR 스펙트럼 이 존재하므로,  $TiO_{2-x}$  박막 코팅층의 형성을 확인시켜 준다. Fig.

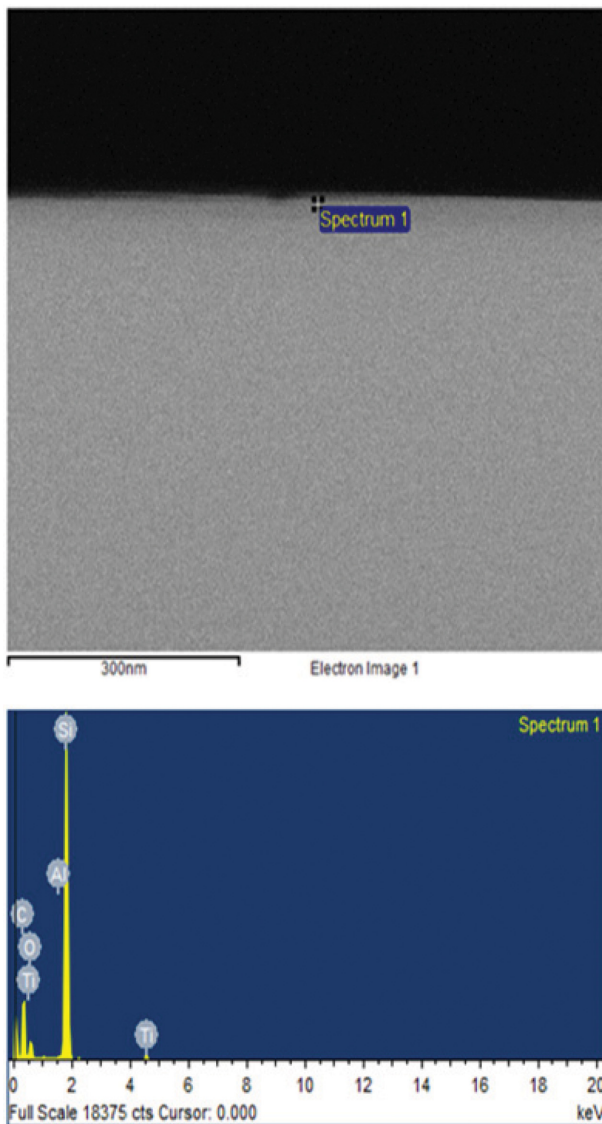


Fig. 8. EDX composition analysis of  $TiO_{2-x}$  sputtered thin film on wafer (sample A), based on operation conditions: power 4 KW, argon 300 SCCM, DC pulse power, 5.7 ampere, 652 voltage, Oxygen 20 SCCM,  $8 \times 10^{-5}$  torr~ $2 \times 10^{-2}$  torr.

7은 PET 필름 위에 형성된  $TiO_{2-x}$  코팅층을 FE-SEM 기기로 단면을 50,000배로 확대하여 나타낸 사진이다. Fig. 7에서, 두께 129 nm의  $SiO_2$ 로 코팅된 웨이퍼 위에 31 nm 두께의  $TiO_{2-x}$  코팅층(전체 두께는 160 nm)이 형성되어 있음을 나타내고 있다.

Fig. 8과 9은 각각 다른 작업 공정 조건에서 제작된

Table 1  
EDS analysis of sample A, corresponding to Fig. 8

Chemical element	Weight (%)	Atomic (%)
C	14.64	26.45
O	30.16	40.91
Al	0.21	0.17
Si	23.68	18.29
Ti	31.30	14.18
Total	100	

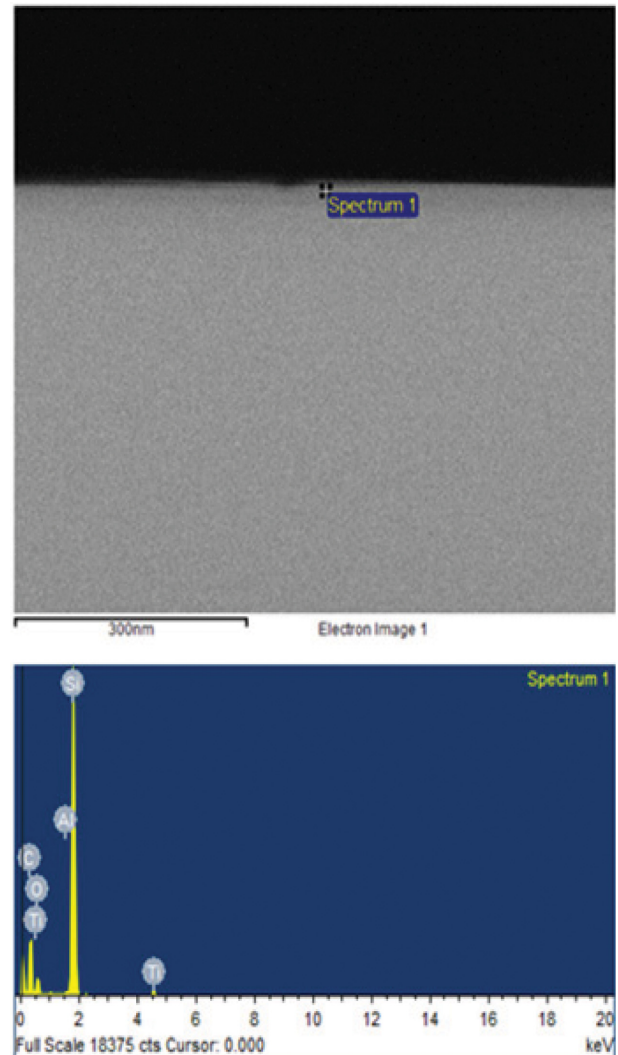


Fig. 9. EDX composition analysis of  $TiO_{2-x}$  sputtered thin film on wafer (sample E), based on operation conditions: power 2 KW, argon 300 SCCM, DC pulse power, 2.6 ampere, 457 voltage, Oxygen 20 SCCM,  $8 \times 10^{-5}$  torr~ $2 \times 10^{-2}$  torr.

Table 2  
EDS analysis of sample E, corresponding to Fig. 9

Chemical element	Weight (%)	Atomic (%)
C	56.04	72.03
O	9.94	9.59
Al	0.15	0.09
Si	32.45	17.84
Ti	1.43	0.46
Total	100	

샘플에 대하여 웨이퍼위에서 TiO<sub>2-x</sub> 박막 코팅층을 EDX의 성분을 분석한 결과를 정량적으로 나타내고 있다. 작업 동력은 각각 4 KW, 2 KW이며, 반응성 가스는 아르곤 300 SCCM(Standard Cubic Centimeter per Minute, cm<sup>3</sup>/min)이며, 보조 가스는 산소 가스 20 SCCM, 진공도는  $2 \times 10^{-2}$  torr~ $5 \times 10^{-5}$  torr이다. Fig. 8에 해당하는 성분 분석 데이터는 Table 1에, Fig. 9에 해당하는 성분 분석 데이터는 Table 2에 수록되어 있다. Table 1에서 TiO<sub>2-x</sub> 박막 코팅층을 나타내는 Ti 성분이 31.30 % 무게 비중을 차지하고 있다. Table 2에서는 Ti 성분이 1.43 % 무게 비중을 차지하고 있음을 보여주고 있다. 이상의 결과로부터 두 개의 샘플에서 모두 웨이퍼위에서의 TiO<sub>2-x</sub> 박막 코팅층이 이루어졌음을 확인하였다. 또한, 동력 세기의 변화에 따라 Ti 성분의 함유량이 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서 TiO<sub>2-x</sub> 박막 자외선 차단 특성을 갖는 시료를 제작하였다. 일반적으로, 자외선 흡수율이 클수록 자외선차단 지수값이 증가하는 경향이 있다[25]. Fig. 10은 3개의 동력 1 KW, 2 KW, 3 KW에 대한 PET TiO<sub>2-x</sub>

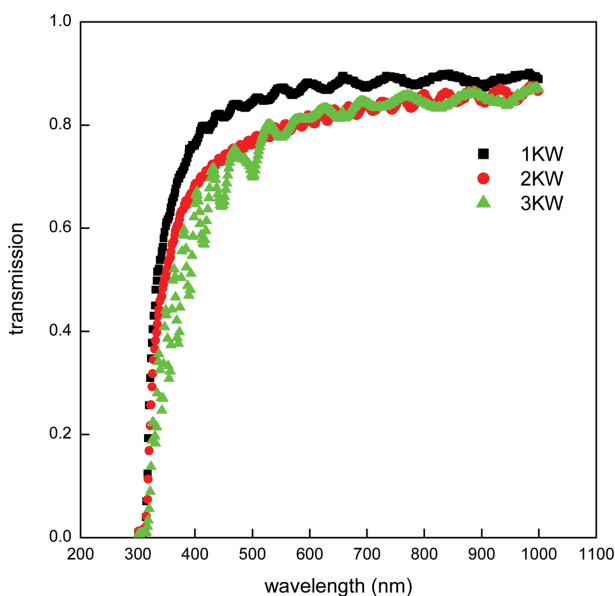


Fig. 10. Graph of UV transmission for TiO<sub>2-x</sub> sputtered PET thin film for three different powers of 1 KW, 2 KW, 4 KW.

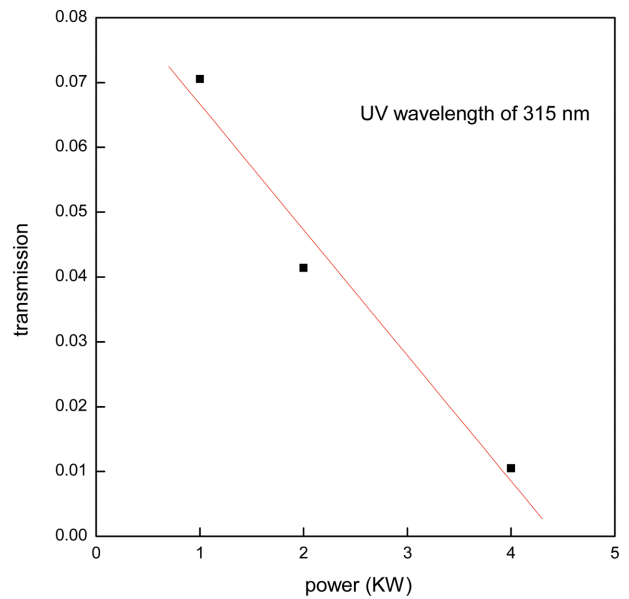


Fig. 11. Relationship of UV transmission for TiO<sub>2-x</sub> sputtered PET thin film and power (KW) at UV wavelength of 315 nm.

박막 자외선 투과율의 측정 결과를 나타내는 그래프이다. 자외선 투과율 시험장비는 Spectroscopic Ellipsometer (M2000DI, serial number 0501004)으로, 시험편의 측정 위치는 1 point, 시험조건은 입사각 90도이다. 투과율(단위 %)는 1 KW의 동력에서, 자외선 파장대의 315 nm에서 투과율은 7.0%이고 TiO<sub>2-x</sub> 박막 자외선 차단율은 93%이며, 2 KW의 동력에서, 자외선파장대의 315 nm 투과율은 4.14%이고 TiO<sub>2-x</sub> 박막 자외선 차단율은 95.86%이며, 4 KW의 동력에서, 자외선파장대의 315 nm에서 투과율은 1.0%이고 TiO<sub>2-x</sub> 박막 자외선 차단율은 99%이다. 따라서, 동력이 증가함에 따라 TiO<sub>2-x</sub> 박막 자외선 차단율은 95.86%이다. 또한, 550 nm에서 전광투과율은 1 KW의 동력에서, 87.20%이므로, 시인성을 높인 가시광선 투과율이 2 KW의 동력에서, 78.34%이며, 4 KW의 동력에서, 77.58%이므로, 시인성을 높인 가시광선 투과율이 77% 이상이다. 따라서, 동력 1 KW에서 2 KW으로 증가함에 따라, 가시광선 투과율이 87.20%에서 78.34%으로 감소하며, 2 KW에서 4 KW으로 증가함에 따라, 가시광선 투과율의 감소가 매우 적어서, 동력 세기의 효과는 무시할 수 있다. Fig. 11은 315 nm의 UV 영역에서, 1, 2, 4 KW의 동력세기에 따라 UV의 흡수성 즉, 차단성을 설명하며, 또한, 동력세기의 변화에 따라 자외선 차단성이 증가함(자외선 투과율)을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 환경 친화적인 기술은 향후 지속적으로

시장에서 요구될 것 이며 이에 따른 환경 오염이 없는 독창적 코팅기술을 구현하고자 한다. 특히, 건축분야의 창호는 조망성, 채, 환기 등을 위해서 필수인 부분이지만 자외선 차단 측면에서는 가장 취약한 부분이다. 건축분야는 장기 내구성이 절대적으로 필요한데, 고밀도  $TiO_{2-x}$  산화물 코팅방 법으로 자외선 차단필름의 장점인 탈색방지 내구기능을 갖고 생활적용이 편한, 시인성이 보완된, 투명 광역대 자외선 차단 필름이 필요하다. 따라서, 0.2 mm 이내 초박막 기능성 필름(550 nm 전광 투광율 기준) 위에 광투과율 70 % 이상 투광성 기능을 갖는 PET 박막 필름(500 × 200 × 0.2 mm 이내) 위에 자외선 차단 기능(315 nm 투광율 기준,  $UV_A$ ,  $UV_B$ ,  $UV_C$  95 % 이상 차단)을 부여하는 플라즈마 진공 박막 공정과 플라즈마 반응 공정을 통하여 유해 자외선 차단 투명 유연 소재를 개발하였다. 따라서, 동력 세기의 변화에 따라 Ti 성분의 함유량 의 증가함과 자외선 차단성의 증가함(자외선 투과율)을 보여주고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 2018년 한남대학교 LINC+ 산학공동기술(지식)개발과제 “ $TiO_2$  산화물 박막 공정을 이용한 유해 자외선 차단 투명 유연소재 개발”의 연구비 지원으로 수행되었기에, 이에 감사드립니다. 또한, 유니플라텍 회사(강석찬 대표)의 실험 장비를 이용하였므로, 이에 감사드립니다.

## References

- [ 1 ] N. Serpone, D. Dondi and A. Albini, “Inorganic and organic UV filter: Their role and efficacy in sunscreens and skincare products”, *Inorg. Chem. Acta.* 360 (2007) 794.
- [ 2 ] B.L. Diffey, P.R. Tanner, P.J. Matts and J. Frank Nash, “In vitro assesment of the broad-spectrum ultraviolet protection of sunscreen products”, *J. Am. Acad. Dermatol.* 43 (2000) 1024.
- [ 3 ] V. Brezova, S. Gabcova, D. Dvoranova and A. Stasko, “Reactive oxygen species produced upon photoexcitation of sunscreens containing titanium dioxide”, *J. Photochem. Photobiol. Chem.* 79 (2005) 121.
- [ 4 ] M.H. Zohdy, M.B. El Hossamy, A.W.M. El-Naggar, A.I. Fathalla and N.M. Ali, “Novel UV-protective formulations for cotton, PET fabrics and their blend utilizing irradiation technique”, *Eur. Polym. J.* 45 (2009) 2926.
- [ 5 ] C.K. Zhoh, H.J. Kwon and S.R. Ahn, “The optical characteristics of titanium dioxide and UV-block effect, *Asian J. Beauty Cosmetol.* 9 (2011) 1.
- [ 6 ] H.J. Kwon and J.S. Park, “A study of synthesis of UV-blocking titanium dioxide and its application ad a cosmetic ingredient”, *J. Korean Soc. Beauty Art* 17 (2016) 85.
- [ 7 ] K.M. Habson, E. Gratton and C.J. Bardeen, “Sunscreen enhancement of UV-induced reactive oxygen species in the skin”, *Free Radical Biol. Med.* 41 (2006) 1205.
- [ 8 ] E. Damiani, W. Baschong and L. Greci, “UV-filter combinations under UV-A exposure: Concomitant quantination of over all spectral stability and molecular integrity”, *J. Photochem. Photobiol. B.* 87 (2007) 95.
- [ 9 ] I.P. Parkin and R.G. Palgrave, “Self-cleaning coating”, *J. Mater. Chem.* 15 (2005) 1689.
- [ 10 ] J.D. Bos and M.M. Meinardi, “The 500 dalton rule for the skin penetration of chemical compounds and drug”, *Exp. Dermatol.* 9 (200) 165.
- [ 11 ] N. Shaath and I. Walele, *Inorganic particulate ultraviolet filter*, (Taylor & Francis, New York, 2005) p. 281.
- [ 12 ] A. Kozlovskiy, I. Shlimas, K. Dukenbayev and M. Zdorovets, “Structure and corrosion properties of thin  $TiO_2$  films obtained by magnetron sputtering”, *Vacuum.* 164 (2019) 224.
- [ 13 ] A. Timoumi, S.N. Alamri and H. Alamri, “The development of  $TiO_2$ -graphene oxide nano composite thin films for solar cells”, *Results. Phys.* 11 (2018) 46.
- [ 14 ] H. Liu, V. Avrutin, N. Izyumskaya, U. Ozgur and H. Morkoc, “Transparent conducting oxides for electrode applications in light emitting and absorbing devices”, *Superlattices. Microstruct.* 48 (2010) 458.
- [ 15 ] H.J. Kim, J.D. Jeon, D.Y. Kim, J.J. Lee and S.Y. Kwak, “Improved performance of dye-sensitized solar cells with compact  $TiO_2$  blocking layer prepared using low-temperature reactive ICP-assisted DC magnetron sputtering”, *J. Ind. Eng. Chem.* 18 (2012) 1807.
- [ 16 ] S.H. Kang, M.S. Kang, H.S. Kim, J.Y. Kim, Y.H. Chung, W.H. Smyrl and Y.E. Sung, “Columnar rutile  $TiO_2$  based dye-sensitized solar cells by radio-frequency magnetron sputtering”, *J. Power. Sources.* 184 (2008) 331.
- [ 17 ] S.H. Salman, A.A. Shihab and A.H. Kh. Elttayef, “Studying the effect of the type of substrate on the structural, Morphology and optical properties of  $TiO_2$  thin films prepared by RF magnetron sputtering”, *Energy Procedia.* 157 (2019) 199.
- [ 18 ] J. Singh, S.A. Khan, J. Shah, R.K. Kotnala and S. Mohapatra, “Nanostructured  $TiO_2$  thin films prepared by RF magnetron sputtering for photocatalytic applications”, *Appl. Surf. Sci.* 422 (2017) 953.
- [ 19 ] P.B. Nair, V.B. Justinivictor, G.P. Daniel, K. Joy, V. Ramakrishnan and P.V. Tomas, “Effect of RF power and sputtering pressure on the structural and optical properties of  $TiO_2$  thin films prepared by RF magnetron sputtering”, *Appl. Surf. Sci.* 257 (2011) 10869.
- [ 20 ] G. Wan, S. Wang, L. Li, G. Mu, X. Yin, X. Zhang, Y. Tang and L. Yi, “Photocarrier dynamic measurement of rutile  $TiO_2$  films prepared by RF magnetron reactive sputtering”, *J. Alloys. Compd.* 701 (2017) 549.
- [ 21 ] S. Komtchou, N. Delegan, A. Dirany, P. Drogui, D. Robert and M.A. El Khakani, “Photo-electrocatalytic oxidation of atrazine using sputtered deposited  $TiO_2$ : WN Photoanodes under UV/visible light”, *Catal. Today*, in press (2019), <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.04.067>.
- [ 22 ] Y. Zhang, S. Zhou, X. Fang, X. Zhou, J. Wang, F. Bai and S. Peng, “Renewable and flexible UV-blocking film

- from poly(butylene succinate) and lignin”, *Eur. Polym. J.* 116 (2019) 265.
- [23] X. Feng, Y. Zhao, Y. Jiang, M. Miao, S. Cao and J. Fang, “Use of carbon dots to enhance UV-blocking of transparent nanocellulose films”, *Carbohydrate Polymers* 161 (2017) 253.
- [24] D.Y. Chen, C.C. Tsao and C.Y. Hsu, “Photocatalytic  $\text{TiO}_2$  thin films deposited on flexible substrates by radio frequency (RF) reactive magnetron sputtering”, *Curr. Appl. Phys.* 12 (2012) 179.
- [25] P. Katangur, P.K. Patra and S.B. Warner, “Nanostructured ultraviolet resistant polymer coatings”, *Polym. Degrad. Stab.* 91 (2006) 2437.