

# 광 포획 태양전지 모듈 커버용 유리기판 기술 현황

박형식<sup>1,2)</sup> · 정재성<sup>1)</sup> · 신명훈<sup>3)\*</sup> · 김선보<sup>4)</sup> · 이준신<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>융복합전자소재연구센터, 전자부품연구원, 성남시, 13509

<sup>2)</sup>정보통신대학, 성균관대학교, 수원시, 16419

<sup>3)</sup>항공전자정보공학부, 한국항공대학교, 고양시, 10540

<sup>4)</sup>에너지과학과, 성균관대학교, 수원시, 16419

## Current status of light trapping in module cover glass for PV module

Hyeongsik Park<sup>1,2)</sup> · Jaesung Jung<sup>1)</sup> · Myunghun Shin<sup>3)\*</sup> · Sunbo Kim<sup>4)</sup> · Junsin Yi<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Electronic Convergence Materials & Device Research Center, KETI, Seongnam, 13509, Korea

<sup>2)</sup>College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

<sup>3)</sup>School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University, Goyang, 10540, Korea

<sup>4)</sup>Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

**ABSTRACT:** We discussed various cover glass substrates available for photovoltaic (PV) modules, and investigated the fabrication methods of light trapping structures for the efficiency enhancement of PV modules: wet and dry etching or laser and direct patternings. We also introduced the analysis of haze at etched glass surfaces as a function of wavelength and also presented a anti-reflection coating technology for PV module.

**Key words:** Light trapping, Module, Silicon solar cell, Cover glass

### 1. 서론

태양광 관련 기술은 현재 인류가 직면한 지상 최대 문제인 기후 변화를 해결할 수 있는 중요한 기술로 등장하고 있다. 에너지 시장의 불확실성 증대와 수급 불안 등 세계 각국의 에너지 자원 확보 경쟁이 심화되고 있다. 태양광 관련 기술개발은 에너지 문제를 해결하고, 국가 신성장 동력원으로써 매우 긴박하고 중요하게 추진되고 있다<sup>1)</sup>.

최근 세계 각국은 일본 동부 해안에서 발생한 후쿠시마 원전의 방사능 유출로 인한 육지, 바다 및 대기오염을 경험하였다. 세계적으로 원자력 사용중지와 원자로 신설 포기 등의 움직임이 등장하고 있다. 따라서, 원자력 에너지의 대체 자원으로 청정에너지인 태양광 발전 활용에 대한 관심이 증폭되고 있다<sup>2)</sup>.

이렇게 에너지 시장의 변화에 부응하여 태양광 시장은 나날이 증가하여, 세계 태양광 산업은 최근 5년간 평균 35% 이상 성장하였다. 또한 10년 후에는 반도체 산업 이상의 거대 시장이 될 신산업 군이 될 것으로 전망되고 있다. 에너지 사용량의 98%를 수입에 의존하는 우리나라는 신재생 에너지 필요성이 증가되고

있으며, 여러 형태의 신재생 에너지들 중에서 특히 태양광 에너지는 최근 26배 이상의 성장률을 보이고 있다<sup>3)</sup>.

태양광 산업은 크게 두 가지 관점에서, 원천 소재의 연구개발을 통해 고효율화 및 저원가 달성과, 태양광 시스템의 보급확대와 시장확대를 위한 태양광 시스템의 고효율화 달성이 중요하다.

태양광 발전 시스템은 일조량, 온도, 모듈블량, 자연재해 등의 환경적인 요소와 모듈간 정합, 에너지 저장 상태 등의 상황적인 요소에 의해 발전 효율이 저하되거나 전력 손실을 겪는다. 따라서, 이들 시스템의 유지와 관리에 막대한 비용이 들어간다. 태양광 모듈의 효율 향상에 한계에 다다른 상황에서, 태양광 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 새로운 접근이 필요하다.

국내 태양광 발전 시스템의 시장 확대 및 시장 창출을 위해 태양전지 셀이나 태양전지 모듈 관련 기술 개발에서, 가치 사슬의 마지막인 태양광 발전 시스템의 발전 증대 및 효율 향상까지 전 영역의 기술개발이 중요하고 시급한 시점이다.

본 논문에서는 태양광 모듈용 유리기판을 이용, 효율을 향상시키고자 유리기판의 종류에 대해 조사하고, 광 포획 가능한 구조를 만들기 위한 방법을 논의한다. 또한, 표면 구조 상태에 따른 파장 스펙트럼 분석과 유리 기판의 반사방지 기술 소개 및 사례 등을 소개하고자 한다.

\*Corresponding author: mhshin@kau.ac.kr, yi@yurim.skku.ac.kr

Received July 13, 2016; Revised August 11, 2016;

Accepted August 12, 2016

## 2. 모듈용 유리 기판 및 광 포획을 위한 표면 처리법에 따른 광학 특성

### 2.1 모듈용 유리 기판의 종류

태양광 모듈은 반도체 소자인 태양전지를 보호하는 커버 글래스가 필수적이다. 또한 태양광을 잘 통과할 수 있도록 투명해야 하며, 외부 환경에 노출되기 때문에 이를 견디기 위한 내구성도 가지고 있어야 하는데, 현재로서는 유리가 가장 널리 사용되고 있다.

Fig. 1은 태양광 모듈의 구성도를 보여주고 있다. 태양전지를 중심으로 양면에 밀봉재로 밀봉을 하는데 이때 주로 Ethylene vinyl acetate (EVA) sheet이 사용되고 있다. 그 위에 모듈용 보호 유리와 후면에 백시트 (backsheet)를 덧붙여 모듈로서 packing을 구성 한다. 이것은 UV, 온도, 습도로부터 태양광 모듈을 장기간 보호할 수 있게 하는 매우 중요한 작업이다. 마지막으로, 프레임 작업과 정선박스 설치를 하게 되면 태양광 모듈로서 완성이 된다. 앞서 언급한 것과 같이 태양광 모듈은 백시트의 예도 전면 보호용 유리기판이 필수로 사용되어야 한다.

태양광 모듈을 보호하는 커버 유리로는 저철분 유리가 대부분 사용되고 있다. 일반적인 건축용 유리는 철분이 포함되어 약간의 녹색을 띄게 되는데, 이는 투과도를 낮추게 된다. 따라서 태양광 모듈에서는 저철분 유리를 사용하게 되는데, 저철분 유리는 저철분 무늬유리, 저철분 플로트 유리로 나눌 수 있다. 저철분 무늬유리는 태양광의 표면 반사를 줄이기 위하여 유리 표면에 요철이 만들어진 유리이고, 저철분 플로트 유리는 일반 판유리에서 철분 성분을 크게 낮춘 투명한 판유리이다.

태양광 모듈에 사용될 수 있는 저철분 플로트 커버유리 종류는 크게 Sodalime, Borosilicate, Corning Eagle XG, optiwhite, Quartz 등이 있으며, Quartz glass의 경우, 면적 대비 가격이 다른 유리 기판에 비해 매우 비싸 태양광 모듈에는 잘 사용하고 있지 않다.

아래 표는 태양광 모듈용 유리 기판의 성분 조성비, 광학 특성, 면적당 가격 및 열 저항성 등을 분석한 것이다. 표에서 보시는 것과 같이 전체 조성비 중에 SiO<sub>2</sub>가 50% 이상을 차지하고 있으며,

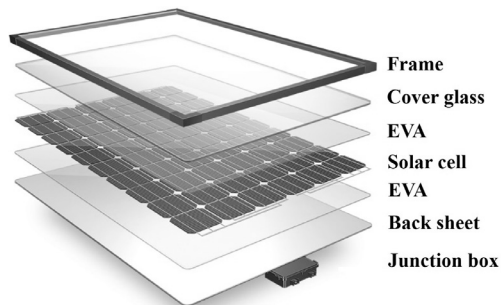


Fig. 1. PV solar cell module array

유리 종류에 따라서는 내부 성분이 CaO 혹은 Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 성분들을 포함하고 있음을 확인할 수 있다. 광학적으로 500 nm 파장의 빛의 투과율은 약 91~92% 정도 이고, 약 8%의 반사율을 갖는 것을 확인할 수 있다. 온도 저항성 측면에서 Corning Eagle glass는 600°C에서 견딜 수 있어 다른 유리 기판들보다 우수한 편이지만, 1 m<sup>2</sup> 면적당 가격에서는 15 \$의 높은 가격을 보여서 Corning Eagle glass가 태양광 모듈 유리 기판으로 사용되기엔 어려움이 있다.

### 2.2 모듈용 유리 기판의 표면 처리에 따른 광학 스펙트럼 분석

태양광 모듈에 사용되는 보호용 유리는 투과율과 내충격성이 강해야 한다. 평탄한 유리기판의 표면은 태양의 고도가 낮아지면 상대적으로 반사율이 높은 특징을 가지고 있다<sup>4)</sup>. 이러한 문제를 해결하고자 유리기판에 요철을 형성하면, 유리기판 표면에서 반사되는 태양광의 일부를 태양전지 내부로 재입사시킬 수 있다.

이 경우, 태양의 고도가 낮아졌을 때에도 요철 구조로 인해 표면에서 2회 이상의 재반사/재입사가 일어나 태양 고도에 따른 표면 반사율이 감소하게 된다. 따라서 평면 구조보다 요철 구조의 태양전지 모듈의 효율이 향상되게 된다. 다음에서는 유리기판의 요철구조와 같이 유리 기판에 표면 처리를 통해 표면 구조

Table 1. Analysis of chemical and optical properties for PV module glass substrate

Characteristics		Corning Eagle	Sodalime	Optiwhite
Optical	Transmittance	92	91	92
	Reflectance	8	.	8
	Absorptance	0	.	0
Chemical component	SiO <sub>2</sub>	55	73	72.7
	CaO	21.4	7	8.8
	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	14	13
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.4	2	0.6
	MgO	Nil	4	4.3
	K <sub>2</sub> O	Nil	Nil	0.4
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nil	Nil	Nil
	SO <sub>3</sub>	Nil	Nil	0.2
	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7	Nil	Nil
Price		15 \$/m <sup>2</sup>	3 \$/m <sup>2</sup>	8 \$/m <sup>2</sup>
Thermal resistance		600oC	480oC	.

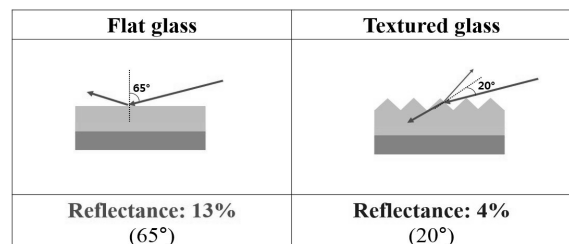


Fig. 2. Reflectance property of PV module glass surface modification

를 형성하고 그에 따른 광학 스펙트럼 특성에 대해 논의하고자 한다.

우선, 유리 표면에 요철구조를 형성하는 방법으로는 습식, 건식, 레이저 처리, sand water-jet과 imprint 방식이 있다. 그리고 요철 형상은 크게 Random, periodic pattern으로 구분되며, periodic pattern는 pyramid, inverted pyramid, honeycomb, groove등으로 세분할 수 있다<sup>5-7)</sup>.

습식 방식은, 요철형상을 제작하는 공정이 간단하고 공정 시간이 빠르며, 식각 선택비도 높고, 식각 단면이 등방성 모양인 특징을 갖는다. 그러나, 용액속에서 화학적 반응을 이용하기 때문에, 미세 패터닝이 어렵다는 것과 공정이 끝나고 다량의 폐기물이 발생하는 단점이 있다. 반면에 건식 식각은, 물리적, 화학적, 물리/화학적 반응 식각을 이용할 수 있다. 따라서 미세 패터닝이 용이하고 안전성이 비교적 좋은 편이며 비등방성 식각이 가능하다. 하지만, 식각 속도도 느리고 식각 선택비가 낮기 때문에 공정 시간이 길어지는 단점으로 작용한다.

레이저에 의한 처리 방법은, 미세 가공에 별도의 마스크가 필요치 않은 장점이 있지만, 레이저에 의한 요철 구조면에 손상이 있을 수 있으며, 레이저 공정과 관련된 조건 변수가 많고, 공정 시간이 길다는 단점이 있다. 모래가 섞여진 water-jet 방식은 단 시간에 요철을 형성하고, 별도의 세정 공정이 필요치 않으나, 미세 구조를 만들기는 어렵다는 단점을 가지고 있다. 마지막으로 imprint 방식은, 모체 마스크에 열 혹은 UV를 이용해 표면 요철 가공 형상을 만들게 되어 공정이 간편하다. 반면에, 모체 마스크를 따로 제작해야 하는 것과 재현성 확보가 어려운 단점이 있다.

요철 구조의 표면 형상에 따른 광학 스펙트럼 특성은 다음과 같다. Fig. 3은 요철 표면에 따른 수치해석 시뮬레이션을 통해 안개울 (Haze) 특성을 나타낸 것이다. 안개울은 투과도에 따라 수식 (1)과 같다<sup>9)</sup>.

$$Haze\ ratio_{Transmittance} = \frac{T_{diffuse}}{T_{total}} \times 100\% \quad (1)$$

요철 형상은 saw-tooth, Triangular, Dimple, Sinusoidal, Trapezoidal, Rectangular등을 가변하였고, 표면 구조의 종횡비는 0.3으로 고정하고 진행하였다. Rectangular 구조가 높은 안개울 특성을 나타내고 있는 것을 Fig. 3에서 보여주고 있다. 파장 길이 범위로 분석했을 때, 500 nm 이하의 단파장 영역 스펙트럼에서는 거의 80~100%의 높은 안개울을 보이다가 500 nm <math>\lambda</math> <math>< 800\text{ nm}</math> 범위의 중·장파장 스펙트럼에서는 급격히 감소하고 1000 nm의 장파장 스펙트럼에서 포화되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성을 보이는 것은 요철 표면 자체보다는 구조의 간격 및 높이의 영향 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로, 요철 구조 높이를 고정하고 간격을 가변하면 장파장 스펙트럼 까지 안개울이 유지된다고 알려져 있고<sup>8)</sup>, 반대로 구조의 일정한 간격을

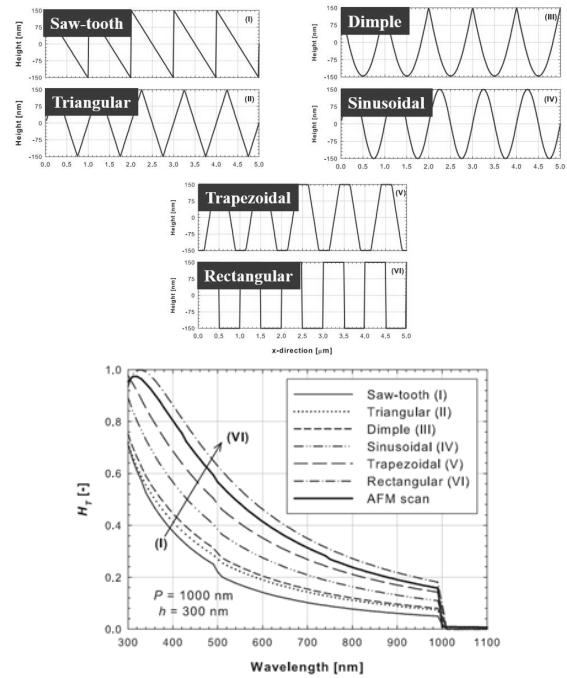


Fig. 3. Modified periodic pattern of PV module glass surface and haze ratio as a function of wavelength at different structure formation

유지하고 높이를 가변하였을 때는 안개울의 단파장 영역 스펙트럼이 크게 증가하는 것으로 알려져 있다.

전체 파장 스펙트럼 범위의 안개울 특성을 일정하게 높게 유지하면 태양광 흡수율을 높일 수 있다. 이를 위해서는 요철 구조 높이와 함께 구조체의 간격에 대한 조사가 더 필요하다. 그리고 요철 구조 표면 형상에 대한 입사각도에 따른 광학 및 효율 특성에 차이가 있어 다양한 요철구조에 따른 광학적 특성과 효율의 상관관계에 장기간의 조사와 연구가 필요하다.

### 3. 반사방지막(ARC)이 적층된 태양광 모듈용 유리 기판의 광학 특성

태양광 모듈용 유리 기판에서 안개울이 높을 때에 투과도 특성이 떨어지는 경우를 관찰할 수 있다. 따라서 요철 구조 표면 형상에 의한 방법으로 광 포획을 개선하는 것 외에도, 유리 상부에 굴절률 변화가 가능한 반사방지막을 적층하여 광학 특성을 개선하는 것도 중요하다.

#### 3.1 반사방지막의 종류 및 적층 방식

반사방지막(anti-reflection coating)은 상층에서 반사된 빛과 하층에서 반사된 빛이 서로 상쇄간섭(destructive interference)을 일으키도록 하여, 태양전지 표면에서의 빛 반사를 줄이거나, 특정 파장영역의 흡수율을 선택적으로 증가시키기 위해 사용된다. 이렇듯 상쇄간섭은 위상차가 180°이거나 경로차가 파장의

절반이 되는 조건에서 일어나기 때문에 반사방지막의 두께와 굴절률 값에 따라서 정해지는 제한된 범위의 파장에서만 최저 반사율을 얻을 수 있다<sup>10)</sup>.

반사방지막을 제작할 경우, 반사막 재료의 두께와 굴절률을 최적화 하는 작업이 선행되어야 효과적인 반사방지막을 달성할 수 있다. 반사방지막을 제작하는 공정 방식으로는 열기상증착 (Thermal evaporator) 방식과 플라즈마 화학 기상증착(PECVD) 방식이 주로 사용된다. 유리기판이 굴절률 1.5인 것을 고려하여 상층에 사용될 수 있는 후보 물질로는  $MgF_2$ ,  $CeO_2$ , GLAD  $SiO_2$  등이 있으며, 단일 반사방지막 외에도 서로 다른 굴절률을 이용한 이중 반사방지막 등이 있다<sup>11-13)</sup>.

그리고 PECVD 공정 방식을 이용한 반사방지막은 주로 태양 전지의 반사방지막을 적층할 때 사용한다. 반면에, 태양광 모듈용 유리 기판의 반사방지막 적층 처리는 열 증착기 혹은 스퍼터 장치를 이용해서도 적층이 가능하다. 산업계에서 태양광 모듈용으로 반사방지막이 적층된 유리 기판을 사용하려면 생산단가, 공정 수율, 박막 특성 및 재현성 등을 확인할 필요가 있다.

### 3.2 모듈용 기판의 반사방지막 모델링

모듈용 유리기판에 적합한 상층부의 반사방지막을 제작하기 위해서는 정확한 광학적 모델링이 필요하다. Fig. 4는 저철분 유리 기판의 투과도 및 상층에 적층된 반사방지막과의 투과도 특성에 대해 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 400 nm의 단

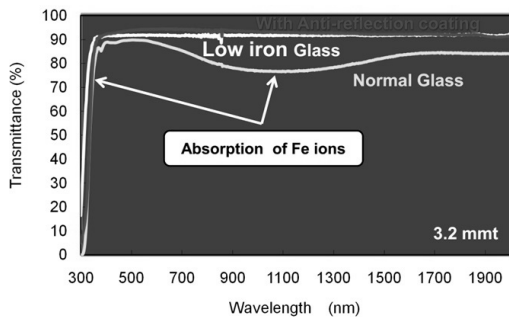


Fig. 4. Optical transmittance with anti-reflection coating on PV glass substrate (Low-Fe float glass)

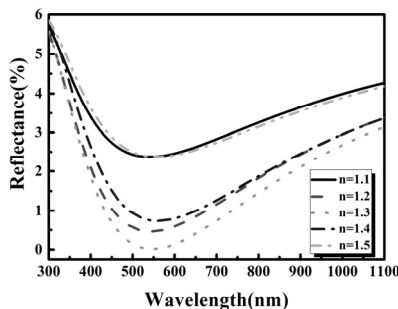


Fig. 5. Optical reflectance with anti-reflectance coating on glass substrate using reflectance simulation tool

파장부터 1100 nm의 장파장 스펙트럼의 모든 영역에서 반사방지막이 적층된 유리기판이 투과도가 개선된 것을 알 수 있는데 이는 반사방지막의 굴절률에 따른 적절한 두께가 최적화되었기 때문이다.

유리 기판 상층에 적층될 단일층 반사방지막과 관련하여 광학 시뮬레이션을 하였는데, 우선은 이론적으로 적절한 굴절률을 찾기 위해 굴절률 1.1 ~ 2.7에서 두께가 1 nm ~ 200 nm를 갖는 반사방지막의 반사율을 조사하였다. 반사방지막의 굴절률이 유리( $n=1.5$ )보다 클 때 오히려 유리 기판 자체의 반사율( $R: 8%$ ) 보다는 높게 된다. Fig. 5에서, 굴절률이 1.3 두께 105 nm 일 때 최소 반사율 0.02%의 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 공기( $n=1.0$ )와 유리 기판 사이 계면에서 발생하는 1차 반사를 감소시켜 투과율 특성이 개선될 수 있음을 예상할 수 있다. 위에서 최적화된 시뮬레이션 결과를 기반으로 하여 유리 기판에 반굴절률 1.38의 반사방지막인  $MgF_2$ 를 105 nm를 적층하여 반사방지막 유무에 따른 투과율, 반사율을 확인하였다. 반사방지막을 적용하였을 경우, 94%의 투과율을 보였고, 그에 따라 반사도가 감소되어 결과적으로 2%의 광학 특성이 개선 효과가 있음을 확인하였다.

### 4. 결론

태양광 모듈용 커버 유리는 외부 환경으로부터 태양전지를 보호하는 목적 외에도 반사율을 줄이고 투과율과 안개율을 높여 발전 효율을 개선하는 기여할 수 있다. 이러한 광학적 특성을 개선하는데 필요한 유리 기판의 요철 구조 공정 방법과 형상에 대해서 논의 하고, 적합한 요철구조 형상을 통해 광학 특성이 장파장 영역 범위까지 개선할 수 있음을 확인하였다. 또한 플로트 유리기판에 반사방지막을 적층하여, 1차 반사 손실을 줄임으로써 투과도 특성 개선 효과가 있음을 시뮬레이션 및 실제 실험을 통해 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 2016년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20153010012090).

### References

1. H.-S. Kim, "Policy to support the global market entry of the environmental industry and its future direction", J. KOSAE Vol. 29, No. 1, pp. 105-115, 2013.
2. J. Kim, "Flexible CIGS solar cell technology and current industry trends", Solar Today Magazine.
3. D. McGinn, "Renewable 2013-Global Status Report."

4. D.-Y. Kong, D.-H. Kim, S.-H. Yun, Y.-H. Bae, I. -S. Yu, C.-S. Cho, and J.-H. Lee, *J. Kor. Vac. Soc.* Vol. 20, No. 3, pp. 233-241, 2011.
5. H. S. Park, Y. J. Lee, S. H. Ahn, S. B. Kim, and J. Yi, *JRSE*, "Effect of wet textured glass surface morphology on the haze ratio and aspect ratio for amorphous silicon thin film solar cells", Vol. 6, No. 5, p. 053141. 2014.
6. S. Q. Hussain, S. H. Ahn, H. S. Park, G. D. Kwon, J. Raja, Y. S. Lee, N. Balaji, H. S. Kim, A. Huy Tuan Le, and J. Yi, "Light trapping scheme of ICP-RIE glass texturing by SF<sub>6</sub>/Ar plasma for high haze ratio", *Vacuum*, Vol. 94, pp. 87-91, 2013.
7. F. Chen, H. Liu, Q. Yang, X. Wang, C. Hou, H. Bian, W. Liang, J. Si, and X. Hou, "Maskless fabrication of concave microlens arrays on silica glasses by a femtosecond-laser-enhanced local wet etching method", *Opt. Express*, Vol. 18, No. 19, pp. 20334-20343, 2010.
8. H. S. Park, Y.-J. Lee, S. H. Ahn, S. B. Kim, and Junsin Yi, "Effect of wet textured glass surface morphology on the haze ratio and aspect ratio for amorphous silicon thin film solar cells", *J. Renew. Sustain. Energy*, Vol. 6, 053141, 2014.
9. H. S. Park, M. H. Shin, S. H. Ahn, S. B. Kim, S. J. Bong, Anh Le Huy Tuan, S. Q. Hussain, and Junsin Yi, "Current status in light trapping techniques for thin film silicon solar cells", *Current Photovoltaic Research*, Vol. 2, No. 3, pp. 95-102, 2014.
10. W. H. Southwell, "Gradient-index antireflection coatings", Vol. 8, No. 11, pp. 584-586, 1983.
11. S.-H. Woo, Y.-J. Park, D.-H. Chang, K. M. A. Sobahan, and C.-K. Hwangbo, "Wideband Antireflection Coatings of Porous MgF<sub>2</sub> Films by using Glancing Angle Deposition", *J. Kor. Phys. Soc.* Vol. 51, No. 4, pp. 1501-1506, 2007.
12. C. S. Naveen, P. Raghu, and H. M. Mahesh, "Antireflective properties of Nano-structured CeO<sub>2</sub> and CeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> composite thin films", *Int. J. Emer. Technol. Adv. Eng.*, Vol. 3, No. 7, pp. 131-135, 2013.
13. W.-J. Kong, S.-H. Cai, S.-H. Wang, J.-D. Shao, Z.-X. Fan and C.-J. Lu, "Graded index broadband antireflection coating prepared by glancing angle deposition for a high-power laser system", *Chin. Phys. B*, Vol. 19, No. 4, pp. 044210, 2010.