



등록특허 10-2199546



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월08일

(11) 등록번호 10-2199546

(24) 등록일자 2020년12월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/0312 (2006.01) C23C 16/04 (2006.01)

C23C 16/26 (2006.01) H01L 31/0216 (2014.01)

H01L 31/0392 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/0312 (2013.01)

C23C 16/042 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0173890

(22) 출원일자 2018년12월31일

심사청구일자 2018년12월31일

(65) 공개번호 10-2020-0082880

(43) 공개일자 2020년07월08일

(56) 선행기술조사문헌

JP2014226830 A\*

KR1020110034931 A\*

JP1994085445 B2

KR101497941 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김대은

서울특별시 동작구 상도로 346-1, 106동 501호(상도동, 상도엠코타운센트럴파크아파트)

메디 카템

서울특별시 서대문구 봉원사길 46, B107호

서국진

서울특별시 송파구 오금로32길 5 삼익아파트 203동 401호

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 17 항

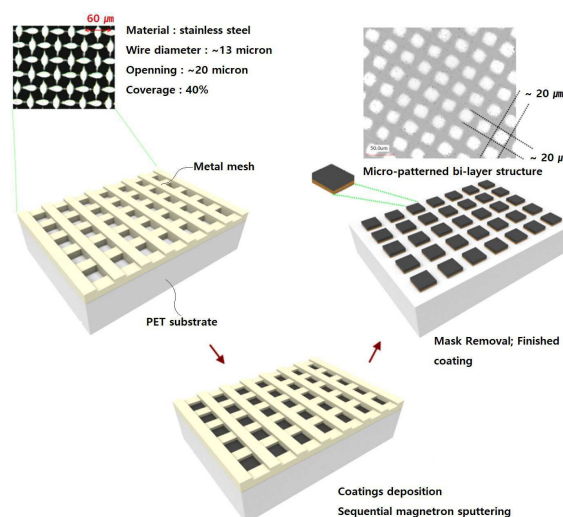
심사관 : 이규재

(54) 발명의 명칭 광 패널 표면 보호용 DLC막 및 이를 포함하는 태양전지

### (57) 요약

본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 광투과율의 저하를 최소화 하면서, 내마모성 등의 내구성 및 내후성이 우수하고, DLC막의 내부 응력이 최소화되고 내박리성이 우수하며, 기판 자체의 유연성을 실질적으로 그대로 유지할 수 있는 효과가 있다.

### 대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C23C 16/26* (2013.01)

*H01L 31/02168* (2013.01)

*H01L 31/0392* (2013.01)

*H01L 31/1868* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711035270
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	리더연구자지원사업
연구과제명	무한 내마모 연구단(3/3,3단계)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

광 패널의 표면 상에 형성되어 표면 보호용으로 사용되는 DLC(Diamond-Like Carbon)막으로서,  
상기 DLC막은 단위 DLC층을 포함하고, 상기 다수의 단위 DLC층 사이에 형성되는 이격 공간을 포함하며,  
상기 단위 DLC층들이 서로 이격하여 불연속적인 패턴으로 형성되는 것인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
하기 관계식 1을 만족하는 광 패널 표면 보호용 DLC막.

[관계식 1]

$$10 \leq P_H/P_I \leq 20$$

(상기 관계식 1에서,  $P_H$ 는 비커스 경도(GPa)이며,  $P_I$ 는 내부 응력(GPa)이다)

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
비커스 경도가 25 내지 45 GPa이며, 내부 응력이 1 내지 5 GPa인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,  
마모율이  $1.5 \times 10^{-9}$  내지  $2.0 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,  
400 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 95% 이상인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,  
평균두께가 1 내지 30 nm인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

제1항에 있어서,  
상기 단위 DLC층의 면적에 대한 최대 지름은 2 내지 100  $\mu\text{m}$ 이며, 상기 이격 공간의 길이는 1 내지 60  $\mu\text{m}$ 인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 DLC막의 전체 면적당 차지하는 상기 단위 DLC층의 면적의 비가 20 내지 60%인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 DLC층은 Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 것인 광 패널 표면 보호용 DLC막.

#### 청구항 11

광투과성 기재; 및

상기 광투과성 기재의 표면에 형성되는, 제1항 내지 제6항 및 제8항 중 어느 한 항의 DLC막;을 포함하는 광 패널.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,

상기 광투과성 기재는 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 89% 이상이며,

상기 광투과성 기재 및 상기 DLC막으로 구성되는 다층막의 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 88% 이상인 광 패널.

#### 청구항 13

제11항에 있어서,

상기 광투과성 기재는 광투과성 고분자를 포함하는 광 패널.

#### 청구항 14

제11항의 광패널을 포함하는 태양전지.

#### 청구항 15

광투과성 기재 상에 탄소 소스를 증착하여 DLC막을 불연속적인 패턴을 갖도록 형성하는 DLC 증착 단계를 포함하는 광 패널 표면 보호용 DLC막의 제조 방법으로서,

상기 DLC막은 단위 DLC층을 포함하고, 상기 다수의 단위 DLC층 사이에 형성되는 이격 공간을 포함하는 광 패널 표면 보호용 DLC막의 제조 방법.

#### 청구항 16

제15항에 있어서,

상기 DLC 증착 단계에서, 네거티브 바이어스(Negative Bias) 전압이 30 내지 45 V인 광 패널 표면 보호용 DLC막의 제조 방법.

#### 청구항 17

제15항에 있어서,

상기 DLC 증착 단계는

s1) 광투과성 기재의 표면 상에 마스크가 적층되는 마스크 형성 단계

s2) 상기 마스크가 적층된 광투과성 기재의 표면 상에 탄소 소스를 증착하는 증착 단계 및

s3) 상기 탄소 소스가 증착된 기재의 마스크를 제거하여 단위 DLC층이 불연속적인 패턴으로 형성된 DLC막이 표면에 형성된 기재를 수득하는 마스크 제거 단계를 포함하는 광 패널 표면 보호용 DLC막의 제조 방법.

## 청구항 18

제15항에 있어서,

상기 DLC 증착 단계에서, Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물을 포함하는 금속 소스가 함께 증착되어 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 DLC 층이 형성되는 광 패널 표면 보호용 DLC막의 제조 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 광 패널 표면 보호용 DLC막, 이를 포함하는 광패널 및 이를 포함하는 태양전지에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 기존의 화석 에너지를 녹색 및 환경 친화적인 대체 물질로 대체하려는 세계적 시도는 지난 10 년 동안 꾸준히 증가해 왔다. 태양 에너지는 무한하고 지속 가능하며 자유롭고 재생 가능한 에너지의 실용적인 대체 에너지로서 큰 잠재력을 가진다. 따라서 고효율 및 저비용의 다양한 형태의 유기/무기 태양전지를 개발하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 실리콘 기반 등의 무기 태양 전지보다 낮은 효율성에도 불구하고 유기 태양 전지(Organic solar cells, OSC)는 비용 효율성, 유연성 및 착용성과 같은 고유한 이점으로 인해 광범위하게 사용되고 있다.

[0003] 태양전지 고유의 효율만큼 중요한 과제 중 하나는 유지 보수가 필요 없는 환경에서 장기간 가동할 때 그 효율성을 유지하는 것이다. 물, 먼지, 모래 등의 불순물의 축적, 이들로 인한 마모, 침식 등의 외부 요인으로 인한 태양 전지의 안정성 및 효율성 저하가 큰 문제가 되고 있다.

[0004] 특히 이러한 외부 요인 중 마모 및 침식으로 인해 태양전지가 물리적으로 영구 손상되는 것이 가장 큰 문제라 할 수 있다. 물리적인 손상은 전지의 내부 구조를 완전히 손상시킬 수 있고, 표면 거칠기를 증가시키며, 광전 효율을 현저히 저하시킨다. 표면 거칠기가 증가함에 따라 투명도, 태양광 투과율 및 전체 효율이 급격히 감소됨은 이미 입증된 바 있다.

[0005] 따라서 태양 전지 중 광패널의 상부 커버는 높은 내구성과 내후성을 가져야 하며, 가혹한 환경 조건에 장시간 노출될 경우에도 태양전지의 안정성이 확보되어야 한다. 특히 이러한 문제는 세포의 내부 구조를 보호하기 위해 주로 사용되는 리에틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate, PET) 등의 재질의 소프트 폴리머 탭 커버를 포함하는 광패널의 경우 더욱 심각해진다.

[0006] 따라서 이러한 광패널의 표면에 대한 물리적 손상을 방지하기 위해 물리적 손상에 강한 재질의 필름을 코팅하는 등의 표면 보호 코팅 기술이 일반적으로 적용될 수 있다. 그러나 종래까지의 표면 보호 코팅은 기판과의 밀착성, 높은 수준의 경도, 탄성, 증착 중 낮은 내부 응력, 화학적 불활성 및 낮은 마찰 계수 등의 한계가 있다. 특히 이러한 표면 보호 코팅 기술을 적용할 경우, 표면 보호 코팅층에 의한 광투과율 저하로 인해 초기 광전환 효율 자체가 저하되는 한계가 있다. 또한 코팅 과정에서 고온이 요구될 경우, 보호 코팅으로서의 실제 적용이 더 제한된다.

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

[0007] (비특허문헌 0001) Nickolai I. Klyui, Anatoliy N. Lukyanov, Anatoliy V. Makarov, Volodymyr B. Lozinskii, Gennadiy S. Khrypunov, Andriy N. Klyui, "Improvement of solar cells efficiency and radiation stability by deposition of diamond-like carbon film", World Renewable Energy Congress 2011 - Sweden 8-13 May 2011.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 목적은 광투과율의 저하를 최소로 하면서, 내마모성 등의 내구성 및 내후성이 우수한 광 패널 표면 보호용 DLC막, 이를 포함하는 광 패널 및 이를 포함하는 태양전지를 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 다른 목적은 광투과율의 저하를 최소로 하고 내마모성 등의 내구성 및 내후성이 우수하면서, DLC막의 내부 응력을 최소화하고 내박리성이 우수한 광 패널 표면 보호용 DLC막, 이를 포함하는 광 패널 및 이를 포함하는 태양전지를 제공하는 것이다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 기판 자체의 유연성을 실질적으로 그대로 유지할 수 있는 광 패널 표면 보호용 DLC막, 이를 포함하는 광 패널 및 이를 포함하는 태양전지를 제공하는 것이다.

## 과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은, 광 패널의 표면 상에 형성되어 표면 보호용으로 사용되는 DLC(Diamond-Like Carbon)막으로서, 상기 DLC막은 단위 DLC층을 포함하며, 상기 단위 DLC층들이 서로 이격하여 불연속적인 패턴으로 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 하기 관계식 1을 만족할 수 있다. 하기 관계식 1에서,  $P_H$ 는 비커스 경도(GPa)이며,  $P_I$ 는 내부 응력(GPa)이다.
- [0013] [관계식 1]
- [0014]  $10 \leq P_H/P_I \leq 20$
- [0015] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 비커스 경도가 25 내지 45 GPa일 수 있으며 내부 응력이 1 내지 5 GPa일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 마모율이  $1.5 \times 10^{-9}$  내지  $2.0 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 400 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 95% 이상일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 평균두께가 1 내지 30 nm일 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 상기 다수의 단위 DLC층 사이에 형성되는 이격 공간을 포함할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 단위 DLC층의 면적에 대한 최대 지름은 2 내지 100  $\mu\text{m}$ 일 수 있으며, 상기 이격 공간의 길이는 1 내지 60  $\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 예에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막의 전체 면적당 차지하는 상기 단위 DLC층의 면적의 비가 20 내지 60%일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC층은 Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 것일 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 광 패널은, 광투과성 기재; 및 상기 광투과성 기재의 표면에 형성되는, 제1항 내지 제8항에서 선택되는 어느 한 항의 DLC막;을 포함한다.
- [0024] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 광투과성 기재는 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 89% 이상일 수 있으며, 상기 광투과성 기재 및 상기 DLC막으로 구성되는 다층막의 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 88% 이상일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 광투과성 기재는 광투과성 고분자를 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명에 따른 상기 DLC막의 제조 방법은, 상기 광투과성 기재 상에 탄소 소스를 증착하여 DLC막을 불연속적인 패턴을 갖도록 형성하는 DLC 증착 단계를 포함한다.
- [0027] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC 증착 단계에서, 증착은 DC 펄스 스퍼터링(Direct Current Pulse

Sputtering) 또는 RF 스퍼터링(Radio Frequency Sputtering)에 의해 수행될 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC 증착 단계에서, 네거티브 바이어스(Negative Bias) 전압이 30 내지 45 V일 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC 증착 단계에서, Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물을 포함하는 금속 소스가 함께 증착되어 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 DLC층이 형성될 수 있다.

### 발명의 효과

[0030] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 광투과율의 저하를 최소화 하면서, 내마모성 등의 내구성 및 내후성이 우수한 효과가 있다.

[0031] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 광투과율의 저하를 최소화 하고 내마모성 등의 내구성 및 내후성이 우수하면서, DLC막의 내부 응력이 최소화되고 내박리성이 우수한 효과가 있다.

[0032] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 기판 자체의 유연성을 실질적으로 그대로 유지할 수 있는 효과가 있다.

[0033] 본 발명에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 명세서에서 기재된 효과 및 그 내재적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

### 도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명에 따른 DLC막의 제조 공정을 개략적으로 나타낸 개념도이다.

도 2는 실시예 및 비교예에 따라 제조된 기판의 광투과성을 나타낸 것으로, (a)는 광투과율에 대한 결과를 나타낸 그래프이며, (b)는 육안 평가를 위한 이미지이다.

도 3은 실시예 및 비교예에 따라 제조된 기판의 마모율을 나타낸 그래프이다.

도 4는 실시예 및 비교예에 따라 제조된 기판을 3D 레이저 현미경을 사용하여 마모 정도를 스캔하여 얻은 레이저 수정 광학 이미지 및 단면 프로파일을 나타낸 것이다.

도 5는 실시예들에서 제조된 기판에 대하여 네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 특성을 평가한 결과를 나타낸 것으로, (a)는 네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 마모율을 나타낸 그래프이며, (b)는 네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 내부 응력 및 경도를 나타낸 그래프이다.

도 6은 네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 K(경도/내부 응력) 값을 나타낸 그래프이다.

도 7은 실시예 및 비교예에서 제조된 기판을 태양전지에 적용하여 마모 및 침식 테스트 전과 후에 따른 전압 효율을 평가한 결과를 나타낸 그래프이다.

도 8은 실시예에서 제조된 기판을 맞춤형 굽힘 시험기를 사용하여 유연성을 측정한 결과를 나타낸 것으로, 압축 및 인장 굽힘을 받는 영역의 강화된 광학 레이저 이미지이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막 및 이를 포함하는 태양전지를 상세히 설명한다.

[0036] 본 명세서에 기재되어 있는 도면은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 상기 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다.

[0037] 본 명세서에서 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0038] 본 명세서에서 사용되는 용어의 단수 형태는 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 해석될 수 있다.

- [0039] 본 명세서에서 언급되는 “층” 또는 “막”의 용어는 각 재료가 연속체(continuum)를 이루며 폭과 길이 대비 두께가 상대적으로 작은 디멘전(dimension)을 가짐을 의미하는 것이다. 이에 따라, 본 명세서에서 사용된 “층” 또는 “막”의 용어에 의해, 2차원의 편평한 평면으로 해석되어서는 안 된다.
- [0040] 본 명세서에서 언급되는 s1, s2, s3... 등의 용어는 어떠한 단계 또는 수단을 지칭하기 위해 사용되는 것일 뿐, 순서를 의미하는 것이 아니므로 그 용어들이 지칭하는 각 대상들의 순서 관계를 의미하는 것으로 해석되어서는 안 된다.
- [0041] 본 명세서에서 특별한 언급 없이 사용된 %의 단위는 별다른 정의가 없는 한 중량%를 의미한다.
- [0043] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은, 광 패널의 표면 상에 형성되어 표면 보호용으로 사용되는 DLC(Diamond-Like Carbon)막으로서, 상기 DLC막은 단위 DLC층을 포함하며, 상기 단위 DLC층들이 서로 이격하여 불연속적인 패턴으로 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0044] 본 발명에서, 표면 보호 대상인 기재(광 패널 상부 커버 또는 광 패널 상부층 자체 등)의 표면에 DLC막이 형성되어 있음에도 DLC막의 단위 DLC층들이 서로 이격하여 불연속적인 패턴으로 형성되어 있음에 따라, 광투과율의 저하는 거의 없으면서 내마모성 등의 표면 보호 특성이 현저히 향상되고, 막의 내부 응력이 보다 낮은 효과가 있다. 나아가 상기 효과들과 함께, 기재 자체의 유연성이 실질적으로 그대로 유지되는 효과도 구현된다. 예를 들어, 기재의 광투과율이 750 내지 800 nm의 파장에서 89%일 때, 상기 광투과성 기재 및 상기 DLC막으로 구성되는 다층막은 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 88% 이상일 수 있다. 즉, 광투과율의 저하가 1% 이하로 극히 최소화된다.
- [0045] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC막은 비커스 경도(Hardness)가 10 내지 50 GPa일 수 있다. 또한 상기 DLC막은 내부 응력(Internal Stress)이 1 내지 10 GPa일 수 있다. 아울러 상기 DLC막은 마모율이  $1.5 \times 10^{-9}$  내지  $3.5 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 일 수 있다. 이때 마모율은 단위 작업량당 마모량을 의미할 수 있고, 1 N의 마찰력으로 1 mm를 움직였을 때 단위 면적당 닳아 없어진 마찰재의 부피를 의미할 수 있다.
- [0046] 상기 광 패널 표면 보호용 DLC막은 하기 관계식 1을 만족하는 것이 바람직할 수 있다. 하기 관계식 1에서,  $P_H$ 는 비커스 경도(GPa)이며,  $P_I$ 는 내부 응력(GPa)이다. 이때  $P_H/P_I$ 는 K를 의미할 수 있다.
- [0047] [관계식 1]
- [0048]  $10 \leq P_H/P_I \leq 20$
- [0049] 상기 관계식 1을 만족할 경우, 즉, 이는 내마모성 등의 표면 보호 특성이 보다 향상되고 내부 응력이 보다 감소되는 특성이 우수함을 의미한다. 막의 비커스 경도가 증가하는 것은 내마모성이 향상됨을 의미하며, 막의 내부 응력이 감소되면 내박리성이 증가함을 의미할 수 있다. 따라서 상기 관계식 1에서 K 값이 증가하는 것은 막의 내마모성 및 내박리성이 함께 향상됨을 의미할 수 있다. 일반적으로, 경도와 내부 응력은 수학적 상관관계가 크게 없다. 반면 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 경도와 내부 응력이 모두 높은 수준 범위를 가져, 내마모성 및 내박리성이 현저히 우수한 효과가 있다. 상기 관계식 1을 만족할 때, 비커스 경도는 25 내지 45 GPa일 수 있고, 내부 응력은 1 내지 5 GPa일 수 있으며, 마모율이  $1.5 \times 10^{-9}$  내지  $2.0 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 일 수 있다. 상술한 관계식 1을 만족하는 DLC막은 후술하는 제조 방법에 의해 제조될 수 있다.
- [0050] 전술한 바와 같이, 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 내마모성 및 내박리성이 우수하며, 이때 광투과율이 매우 높은 효과가 있다. 구체적으로, 상기 DLC막은 400 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 95% 이상, 구체적으로 96%, 보다 구체적으로 97%일 수 있다. 여기서 DLC막의 광투과율은 DLC막이 배제된 PET 기재(bare PET) 대비 DLC막의 광투과율(DLC막 자체의 광투과율)을 의미할 수 있다.
- [0051] 상기 DLC막은 평균두께는 적절한 내마모성 및 광투과율이 구현될 수 있을 정도라면 크게 제한되는 것은 아니나, 일 예로 1 내지 100 nm, 바람직하게는 1 내지 30 nm일 수 있으며, 우수한 내마모성 및 광투과율이 구현될 수 있는 측면에서 보다 바람직하게는 1 내지 10 nm일 수 있다.
- [0052] 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막은 단위 DLC층이 불연속적인 패턴으로 형성됨에 따라 전술한 효과들이 구현된다. 상기 불연속적인 패턴을 구체적으로 설명하면, 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 DLC막은 상기 단위 DLC층; 및 단위 DLC층들 사이에 형성되는 이격 공간을 포함함으로써 불연속적인 패턴을 갖는다. 상기 이격 공간은 빈 공간을 의미하며, 단위 DLC층들의 이격 공간을 의미한다.



- [0053] 구체적으로, 상기 불연속적인 패턴은 단위 DLC층들이 서로 먼 방향으로 이격되어 형성된 것을 의미한다. 보다 구체적으로, 상기 불연속적인 패턴은 단위 DLC층들이 수직 방향으로 서로 이격 적층된 것, 즉, 수직 적층된 구조를 의미하는 것이 아니고, 단위 DLC층들이 수평 방향으로 이격되어 DLC막을 형성하는 것을 의미하며, DLC층의 상측에 DLC층이 위치하는 것을 의미하지 않는다. 여기서 “수평 방향”이라 함은 층과 층의 먼 방향이 서로 180도의 각도로 수평한 상태만을 의미하는 것이 아니고, 다양한 각도의 상태를 의미할 수 있음은 물론이다. 상기 다양한 각도의 상태의 예로, 서로 이격된 단위 DLC층들의 면과 굴곡진 기재의 표면이 서로 먼 접하는 상태를 예로 들 수 있다.
- [0054] 상기 불연속적인 패턴은 마이크로 패턴인 것이 바람직할 수 있다. 즉, 단위 DLC층 및 이격 공간은 마이크로 단위의 면적 지름을 가지는 것이 바람직할 수 있다. 상기 패턴이 마이크로 단위의 면적 지름을 가질 경우, 전술한 광투과율 및 내마모성 등의 특성이 보다 향상될 수 있다.
- [0055] 상기 패턴이 마이크로 패턴일 경우에 대한 구체적 예로, 상기 단위 DLC층의 면적에 대한 최대 지름은 2 내지 100  $\mu\text{m}$ , 바람직하게는 5 내지 50  $\mu\text{m}$ 인 것일 수 있다. 상기 패턴이 마이크로 패턴일 경우에 대한 구체적 예로, 상기 이격 공간의 면적에 대한 최대지름, 즉, 단위 DLC층의 이격 거리는 크게 제한되는 것은 아니나, 1 내지 60  $\mu\text{m}$ , 바람직하게는 2 내지 40  $\mu\text{m}$ , 매우 바람직하게는 5 내지 20  $\mu\text{m}$ 일 수 있다. 하지만 이는 바람직한 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 반드시 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0056] 상기 DLC막은 상기 단위 DLC층이 동일한 패턴으로 형성되는 것이 바람직할 수 있다. 이를 만족할 경우, 특정 면적에 대한 광투과율의 편차를 감소시키거나 없앨 수 있어 보다 안정적인 광전환 효율을 구현할 수 있다.
- [0057] 상기 패턴의 형태, 즉, 단위 DLC층의 모양은 제한되지 않으며, 예컨대 원형, 타원형, n각형(n은 3 이상 자연수)일 수 있으며, 비특정 형상일 수도 있음은 물론이다.
- [0058] 본 발명에 따른 광 패널 표면 보호용 DLC막의 전체 면적당 차지하는 상기 단위 DLC층의 면적의 비는 20 내지 60%, 바람직하게는 30 내지 50%인 것이 바람직할 수 있다. 이를 만족할 경우, 전술한 광투과율 및 내마모성 등의 특성이 보다 향상될 수 있다.
- [0059] 비제한적인 일 예에 있어서, 상기 DLC층은 내부응력을 더 감소시키거나, 경도를 더 증가시키거나, 또는 다양한 특성 개질 등의 목적을 위해, 금속 원자 또는 금속 화합물을 포함할 수 있다. 구체적인 일 예로, DLC층은 Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 것일 수 있다. 하지만 이는 구체적이며 비제한적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.
- [0060] 본 발명에 따른 광 패널은, 광투과성 기재; 및 상기 광투과성 기재의 표면에 형성되는상기 DLC막;을 포함한다.
- [0061] 상기 광투과성 기재는 통상적으로 사용되는 태양전지의 커버부 및 이에 포함되는 광 패널의 커버부를 의미할 수 있으며, 광 패널의 커버부 위에 다른 광투과성 기재가 적층되어 적용될 수도 있음은 물론이다.
- [0062] 상기 광투과성 기재의 구체적 재질은 크게 제한되는 것은 아니며, 일 예로 폴리스티렌, 폴리아크릴, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리카보네이트, 폴리염화비닐, 폴리염화비닐리덴, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리아미드 수지, 폴리아미드, 폴리에테르이미드, 폴리에테르에테르케톤, 폴리아릴레이트, 폴리아세탈지, 폴리부틸렌테레프탈레이트, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리설폰, 폴리에테르설폰, 폴리메틸펜텐, 폴리우레탄, 폴리프탈산디알릴 및 불소계 수지 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 광투과성 고분자로 형성된 것일 수 있다. 하지만 이는 구체적인 설명을 위한 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되지 않음은 물론이다.
- [0063] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 광투과성 기재는 750 내지 800 nm의 파장에서 광투과율이 89% 이상일 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 반드시 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0064] 본 명세서에서 언급되는 DLC막은 DLC(Diamond-Like Carbon)막을 의미하는 것으로, 이의 용어 및 이를 제조하기 위한 수단은 널리 공지되어 있으므로, 공지된 문헌을 이용하면 된다. 다만, 후술하는 DLC막의 제조 방법에서 네거티브 바이어스 전압의 범위는 본 발명에서 내마모성 등의 표면 보호 특성이 보다 더 향상되고 내부 응력이 보다 더 감소되는 효과가 구현되는 측면에서 의미 있는 기술적 요소임은 물론이다.
- [0065] 본 발명에 따른 상기 DLC막의 제조 방법은, 광투과성 기재 상에 탄소 소스를 증착하여 DLC막을 불연속적인 패턴을 갖도록 형성하는 DLC 증착 단계를 포함한다. 이때 DLC막을 불연속적인 패턴을 갖도록 형성하는 수

단은 공지된 다양한 방법이 있으며, 구체적인 예로, 다음과 같은 마스크링 공정을 통한 방법을 들 수 있다.

[0066] 구체적인 일 예로, 상기 DLC 증착 단계는, s1) 광투과성 기재의 표면 상에 마스크가 적층되는 마스크 형성 단계, s2) 상기 마스크가 적층된 광투과성 기재의 표면 상에 탄소 소스를 증착하는 증착 단계 및 s3) 상기 탄소 소스가 증착된 기재의 마스크를 제거하여 단위 DLC층이 불연속적인 패턴으로 형성된 DLC막이 표면에 형성된 기재를 수득하는 마스크 제거 단계를 포함할 수 있다. 상기 마스크는 그 재질에 제한을 두지 않으며, 일 예로 금속 메쉬를 들 수 있다. 마스크의 규격 및 형태는 요구 패턴을 형성할 수 있도록 대응되는 형태를 가지면 무방하며, 이는 적절히 조절될 수 있는 사항이므로 제한되지 않는다. 이 외에 마스크링 공정에 대한 구체적인 방법 및 공정 조건은 공지된 문헌을 참고하면 된다.

[0067] 상기 DLC 증착 단계에서, 네거티브 바이어스(Negative Bias) 전압은 0 내지 100 V를 예로 들 수 있으나, 바람직하게는 상기 관계식 1이 만족되는 측면에서 30 내지 45 V인 것이 좋다. 증착 과정에서 네거티브 바이어스 전압이 30 내지 45 V일 경우, 상기 관계식 1이 만족됨에 따라 마모율 및 내부응력에 대한 특성이 향상되어 내마모성 및 내박리성 등의 특성이 보다 향상되는 효과가 구현된다.

[0068] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 DLC 증착 단계는, 1) 광투과성 기재의 표면 상에 마스크가 적층되는 마스크 형성 단계, s2) 상기 마스크가 적층된 광투과성 기재의 표면 상에 탄소 소스를 증착하는 증착 단계 및 s3) 상기 탄소 소스가 증착된 기재의 마스크를 제거하여 단위 DLC층이 불연속적인 패턴으로 형성된 DLC막이 표면에 형성된 기재를 수득하는 마스크 제거 단계를 포함할 수 있다.

[0069] 비제한적인 일 예로, 상기 DLC 증착 단계에서, Ti, TiN, Cr, Cu, Co, Ag 및 Si 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 금속 원자 또는 금속 화합물을 포함하는 금속 소스가 함께 증착되어 금속 원자 또는 금속 화합물이 도핑된 DLC층이 형성될 수 있다. 이때 금속 소스의 증착은 탄소 소스에 의한 증착과 금속 소스에 의한 증착이 함께 수행될 수도 있고 별도로 구분되어 교번 증착될 수도 있으며, 그 사이에 퍼지 가스가 주입되는 공정이 더 수행될 수 있음은 물론이다.

[0070] 상기 DLC 증착 단계에서, 탄소 소스는 물리 증착으로 DLC층을 형성할 수 있도록 하는 물질이라면 무방하며, 예컨대 흑연(graphite) 및 에틸렌( $C_2H_4$ ) 등에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 반드시 제한되어 해석되는 것은 아니다.

[0071] 상기 DLC 증착 단계에서, 탄소 소스와 함께 매질로 비활성 가스가 사용될 수 있으며, 상기 비활성 가스는 물리 기상 증착법에서 통상적으로 사용되는 것이라면 무방하며, 예컨대 아르곤(Ar) 등을 들 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예일 뿐, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.

[0072] 상기 DLC 증착 단계에서, 탄소 소스와 기재와의 타겟거리, 즉, 기재 또는 DLC막과 탄소 소스 유체의 이격거리는 통상적으로 사용되는 범위이면 족하며, 예컨대 5 내지 20 cm일 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예일 뿐, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다. 또한 입사각은, 즉, 유체가 직진하는 방향과 기재 또는 DLC막과 면의 각도는 통상적인 범위라면 무방하다.

[0073] 상기 DLC 증착 단계에서, 사용되는 소스 또는 유체의 유량은 통상적으로 사용되는 범위라면 족하며, 예를 들어 5 내지 60 sccm일 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예일 뿐, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.

[0074] 상기 DLC 증착 단계에서, 증착 시 기재의 온도는 크게 제한되지 않으며, 예컨대 10 내지 100℃일 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예일 뿐, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.

[0075] 상기 DLC 증착 단계에서, 전술한 내용 외의 증착 조건 등은 공지된 문헌을 참고하면 되며, 구체적으로 에너지원(DC Power, RF Power 등)의 종류, 에너지 세기, 플라즈마 가스의 종류, 탄소 소스의 종류, 증착 시간, 증착 온도, 2 이상의 소스가 교번 증착될 때의 증착 횟수, 기저 압력(Base pressure) 등의 다양한 조건 변수들은 공지된 문헌을 참고하면 된다.

[0077] 이하 본 발명을 실시예를 통해 상세히 설명하나, 이들은 본 발명을 보다 상세하게 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 권리범위가 하기의 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

## 실시예 1

[0078] <기판 전처리 공정>

[0079] 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET) 투명 기판을 아세톤, 에탄올 및 탈이온수를 이용하여 각각 5 분 동안 초음파로 세척하였다. 또한 이후 증착(코팅)될 DLC막에 대한 기판의 표면 접촉력 및 표면 활성을 높이기 위해 아르곤 플라즈마를 10 W로 5 분 동안 처리하여 기판을 준비하였다.

[0080] <마스킹 공정>

[0081] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 준비된 기판의 표면에 불연속적 패턴을 가지는 DLC막을 형성하기 위해, 금속 메쉬가 사용되었다. 구체적으로, 상기 금속 메쉬(스테인레스 재질)는 이격 공간인 다수의 개구부(면적 :  $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ , 사각형)를 포함하고 개구부간 간격 지름이  $13 \mu\text{m}$ 인 동일한 패턴의 격자 구조(Coverage : 40%)를 갖는다. 금속 메쉬와 기판 사이의 갭을 최소화하기 위해, 맞춤형 마스크 홀더를 사용하여 기판 위에 금속 메쉬를 단단히 고정시켜 마스킹하였다.

[0082] <증착 공정>

[0083] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 금속 메쉬로 마스킹된 기판에 대한 DLC막의 증착은 마그네트론 스퍼터링을 이용하였다. 구체적으로, 증착 전, 초기 압력을  $5 \times 10^{-6}$  Torr로, 작동 압력을  $2 \times 10^{-3}$  Torr로 조절하였다. 또한 DC 전원을 사용하였으며, DC 전원의 전류를 250 mA로, 주파수를 40 KHz로 설정하였다. 아울러 증착 시, 기판 온도를 25℃로, 타겟거리를 12 cm로, 기저압력을  $4.0 \times 10^{-4}$  Pa로, 작동압력을 0.4 Pa로 조절하였다. 이때 네거티브 바이어스(Negative bias) 전압이 40 V로 유지되도록 제어하였다. 이러한 증착 조건에서, 상기 금속 메쉬로 마스킹된 기판의 표면 상에 DLC 소스로 흑연을 스퍼터하여 평균두께 5 nm의 DLC막을 형성하고 금속 메쉬를 제거하여, 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC)을 제조하였다.

[0084] 또한 상술한 모든 공정은 클래스 100 클린 룸에서 수행되었다.

실시예 2

[0085] 실시예 1에서, 증착 공정에서 네거티브 바이어스 전압이 0 V로 유지되도록 제어한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC)을 제조하였다.

실시예 3

[0086] 실시예 1에서, 증착 공정에서 네거티브 바이어스 전압이 30 V로 유지되도록 제어한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC)을 제조하였다.

실시예 4

[0087] 실시예 1에서, 증착 공정에서 네거티브 바이어스 전압이 50 V로 유지되도록 제어한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC)을 제조하였다.

실시예 5

[0088] 실시예 1에서, 증착 공정에서 네거티브 바이어스 전압이 70 V로 유지되도록 제어한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC)을 제조하였다.

[0089] [비교예 1]

[0090] DLC막이 형성되지 않은 실시예 1의 기판 전처리 공정에서 준비된 기판(Bare PET)을 그대로 사용하였다.

[0091] [비교예 2]

[0092] 실시예 1과 동일한 방법으로 DLC막이 표면에 형성된 기판을 제조하되, 마스킹 공정을 제외하여 연속적인 시트상의 DLC막이 표면에 형성된 기판(DLC - continuous)을 제조하였다.

[0094] [실험예 1]

[0095] <광투과율 평가>

[0096] 코팅 개발에서 중요한 고려 사항은 태양광의 충분한 투과가 태양전지의 효율에 영향을 미치는 중요한 요소인 이유로, 노출된 기판의 높은 투명성을 손상시키지 않아야 한다.

[0097] 이를 위해, 실시예 1 내지 실시예 5, 비교예 1 및 비교예 2의 기판을 시편으로 하여 이에 대한 광투과

율(%)을 측정하였다. 구체적으로, 자외선/가시광선 분광 광도계(UV/VIS spectrophotometer)(V-650, JASCO)를 사용하여 가시광선 파장 범위(400~800 nm)에 걸쳐 시편의 투명도를 측정함으로써 가시광선 스펙트럼을 평가하였다. 이때 레이저 스폿 크기는 100  $\mu\text{m}$ 이었고, 스캔 속도는 1,000 nm/min이었다.

[0098] 그 결과, 도 1 (a)에 도시된 바와 같이, 막이 전혀 증착되지 않은 비교예 1(Bare PET)의 경우는 노출된 PET의 광투과율은 400 nm 이상의 파장에서 81% 이상에서 시작하여, 600 nm 이상의 파장에서 89%에서 90%까지 점진적으로 증가하여 끝까지 작게 변화하면서 안정적으로 유지되었다. 불연속적인 패턴으로 DLC막이 형성된 실시예 1(DLC)의 경우는 측정된 파장에 대한 광투과율이 단지 1%에서 1.7 %의 재전도율로서 비교예 1의 경우와 큰 차이가 없었다.

[0099] 반면 연속적인 패턴으로서 시트상의 DLC막이 형성된 비교예 2(DLC - continuous)의 경우는 실시예 1의 경우와 비교하여 현저히 낮은 광투과율을 보였다. 상세하게, 400 nm의 파장에서 실시예 1 및 비교예 2의 경우, 광투과율이 8% 이상 차이가 났다. 또한 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이, 육안으로 그 투명성을 비교함에 있어서도, 비교예 2의 경우는 기판 뒤의 로고의 색상이 어떻게 관측될 정도로 현저히 손상된 반면, 실시예 1의 경우는 실질적으로 차이가 없어, 실시예 1의 경우는 DLC막이 형성되어 있음에도 가시광선의 투과율의 저하가 거의 없음을 알 수 있다.

[0100] [실험예 2]

[0101] <접촉 슬라이딩 테스트를 통한 내마모율 평가>

[0102] 실시예 1 내지 실시예 5, 비교예 1 및 비교예 2의 기판을 시편으로 하여, 이에 대한 내마모성을 평가하기 위해, 왕복 CETR 마찰계(UMT2; CETR)를 사용하여 일련의 접촉 슬라이딩 테스트를 수행하였다. 상대측 표면으로 실리콘나이트라이드( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 볼(직경 2.4 mm)을 사용하였다. 미끄럼 시험은 마모 특성을 평가하기에 충분히 높은 3,000 사이클 동안 정상 하중 20 mN에서 수행되었다. 슬라이딩 속도 및 스트로크는 각각 6 mm/sec 및 2 mm였다. 습도와 온도는 각각  $40 \pm 5\%$  및  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 슬라이딩 테스트 동안 제어되었다. 슬라이딩 테스트 후 마모 트랙을 3D 레이저 공초점 현미경(VK-X200K, KEYENCE)을 사용하여 스캔하고 분석하였다.

[0103] 마모량은 Archard의 마모 방정식(Penkov et al., 2015)에 근거하여 마모율( $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ )로 정량화되었다. 구체적으로, 정량적인 비교를 위해, 노출된 PET 기판(비교예 1)과 코팅된 PET 기판(실시예들, 비교예 2) 모두에서 발생하는 마모량을 표준화 마모율로 표현하였으며, 그 결과는 도 3에 도시되었다.

[0104] 도 3에서와 같이, 비교예 1(Bare PET)의 마모율(약  $6 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ )을 기준으로 선택하였다. 실시예 1(DLC)의 경우는  $1.6 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 의 마모율을 보였으며, 이는 비교예 1의 경우보다 약 75 % 로 현저히 낮았다.

[0105] 특히 실시예 1(DLC) 및 비교예 2(DLC - continuous) 모두 DLC막이 형성되어 있음에도 패턴의 차이에 의해 실시예 1의 경우가 비교예 2의 경우보다 약 50 % 더 마모율이 현저히 낮았다. 이러한 결과로부터 불연속적/연속적 패턴의 차이가 광투과성 외에도 내마모성 향상에 큰 영향을 줄 수 있다.

[0106] <3D 레이저 현미경을 통한 내마모율 평가>

[0107] 불연속적인 패턴의 DLC막이 연속적인 패턴의 DLC막과 비교하여 내마모성이 현저히 향상되는 이유를 알아보기 위해, 실시예 1 내지 실시예 5, 비교예 1 및 비교예 2의 기판을 시편으로 하여, 이에 대한 시편을 3D 레이저 현미경을 사용하여 상기 시편에서 발생하는 마모를 정확하게 스캔하였다. 마모 트랙의 3D 투시도는 모든 시편에 대한 레이저 수정 광학 이미지 및 단면 프로파일과 함께 도 4에 도시되었다.

[0108] 도 4 (a)에서와 같이, 노출된 PET 기판의 마모 트랙은 코팅된 PET 기판보다 70  $\mu\text{m}$  이하로서 비교적 넓다. 도 4 (b)에서와 같이, 불연속적인 패턴으로 DLC막이 코팅된 PET 기판(실시예 1)이 겪었던 마모는 다른 특정 사양보다 적었다. 구체적으로, 실시예 1의 경우는 마모 폭이 50  $\mu\text{m}$  이하로 감소되었고, 개별 미세 패턴 또한 유지되었으며, 미끄럼 시험(파란색 화살표로 표시) 후에도 마모 트랙 내부에서 계속 관찰되었다. 반면, 도 4 (c)에서와 같이, 연속적인 패턴으로 DLC막이 코팅된 PET 기판(비교예 2)에 대한 마모 트랙의 깊이는 DLC 코팅이 기판에서 완전히 제거되었음을 암시하는 코팅 두께보다 훨씬 더 큰 것으로 나타났다.

[0109] [실험예 3]

[0110] <네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 마모율 평가>



- [0111] 실시예 1 내지 실시예 5의 기판을 시편으로 하여, 네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 특성을 평가하였다. 구체적으로, 실험예 2의 접촉 슬라이딩 테스트를 통한 내마모율 평가에서의 접촉 슬라이딩 테스트와 동일한 방법으로, 네거티브 바이어스 전압 0~80 V 범위에서 제조된 상기 시편의 내마모성을 평가하였으며, 그 결과는 도 5에 도시되었다.
- [0112] 도 5 (a)에서와 같이, 40 V의 네거티브 바이어스 전압에서 제조된 경우가 0 V 및 70 V의 경우보다 마모율이 낮았다.
- [0113] <네거티브 바이어스 전압에 따른 DLC막의 내부 응력 및 경도 평가>
- [0114] 40 V에서 증착된 경우의 마모율이 현저히 낮은 이유를 알아보기 위해, 시편의 내부 응력 및 경도를 측정하였으며, 그 결과는 도 5 (b) 및 도 6에 도시되었다. 구체적으로, 내부 응력은 Stoney의 방정식을 사용하여 평가되었으며, 경도는 nano-indentation 및 Vickers hardness test를 이용하였다.
- [0115] 도 5 (b)에서와 같이, 내부 응력과 경도는 갭이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 네거티브 바이어스 전압이 0 V에서 증착된 경우, 내부 응력 평균값이 1.56 GPa이었으며, 네거티브 바이어스 전압이 30 V로 증가할 때 내부 응력 평균값이 2.48 GPa로 증가하였다. 네거티브 바이어스 전압이 30 내지 40 V 사이일 때 내부 응력 평균값은 2.56 GPa로 약간 증가하였다. 특히 네거티브 바이어스 전압이 40 내지 50 V 사이일 때 내부 응력이 급격하게 증가하여 5.32 GPa로 증가하였다. 경도의 경우, 네거티브 바이어스 전압이 0 V에서 약 12 GPa, 30 V에서 약 27.5 GPa, 40 V에서 약 40 GPa이었으며, 40 V를 초과할 경우인 50 V에서는 오히려 약 36.8 GPa의 낮은 값으로 측정되었다.
- [0116] 내부 응력 및 경도 모두가 미치는 영향을 포괄적으로 해석하기 위해, 경도 대 내부 응력 비인  $K$ (경도/내부 응력) 값을 계산하였으며, 이는 도 6에 도시되었다. 도 6에서와 같이,  $K$  값은 네거티브 바이어스 전압이 0에서 30 V까지 점진적으로 증가하였으며, 30 V를 초과하면서 40 V까지 급격히 증가하였다. 특히 네거티브 바이어스 전압이 40 V를 초과할 경우 오히려  $K$  값이 더 급격히 감소하였는데, 이로부터 네거티브 바이어스 전압 40 V를 기준으로 DLC막의 내부 응력 및 경도에 대한 가장 우수한 마모 특성을 결정하는 임계적 값이 될 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는, 네거티브 바이어스 전압이 특정 이상 값을 초과하면 증착 과정에서 충돌 시 충분한 이온 에너지가 없어  $sp^3$  탄소 결합이 형성되지 않고 DLC막의  $sp^2$  결합 탄소가 증착되어 막의 경도가 낮아짐에 따라  $K$  값의 추가 감소가 진행되는 것에 기인한다.
- [0117] [실험예 4]
- [0118] <태양전지에 사용될 시 전압 효율 평가>
- [0119] 실시예 1 및 비교예 1의 기판을 미리 제작된 태양전지(Organic solar cells, OSC)(모델 IM130407002)에 적용하여 전압 효율을 평가하였다. 구체적으로, 실시예 1 및 비교예 1의 기판을 각각 상기 태양전지의 광패널 위에 놓은 후, (표면 커버리지 면적 :  $2 \text{ cm}^2$ ) 실험예 2의 접촉 슬라이딩 테스트와 동일한 방법으로 마모 및 침식 테스트를 수행하여, 테스트 전과 후에 대한 각 출력 전압을 측정하였다. 이에 대한 결과는 도 7에 도시되었다.
- [0120] 도 7에서와 같이, 비교예 1의 경우에 대한 OSC의 테스트 전 출력 전압은 278 mV였고, 테스트 후 출력 전압은 3.6% 감소한 268 mV에서 안정화되었다. 반면 실시예 1의 경우에 대한 OSC의 테스트 전 출력 전압은 275 mV였고, 테스트 후 출력 전압은 1.01% 감소한 272 mV로 거의 차이가 없었다.
- [0121] [실험예 5]
- [0122] <유연성 평가>
- [0123] 굴곡 하에서 유연성을 평가하기 위해, 실시예 1의 기판을 시편으로 하여, 코팅의 유연성과 접착 정도를 맞춤형 굽힘 시험기를 사용하여 측정하였으며, 이의 결과는 도 8에 도시되었다. 구체적으로, 시편을 0.5 Hz의 속도로 100 사이클 동안 180도로 굽힘을 가했으며, 굽힘 반경은 3 mm로 설정되었다. 이때 시편은 앞뒤로 구부러져 구부러진 부위에 인장 및 압축 응력이 인가되며, 해당 최대 굽힘 응력은 약 0.1 MPa로 계산되었다. 시험 후, 구부러진 영역을 3D 레이저 공초점 현미경을 사용하여 물리적 손상 정도를 관찰하고 분석하였다.
- [0124] 도 8는 압축 및 인장 굽힘을 받는 영역의 강화된 광학 레이저 이미지로서, 표면의 무작위 위치는 높은 배율(녹색 점선으로 표시)에서 정확하게 관찰되었다. 분석 결과, PET 기판 상에 불연속적인 패턴으로 형성된

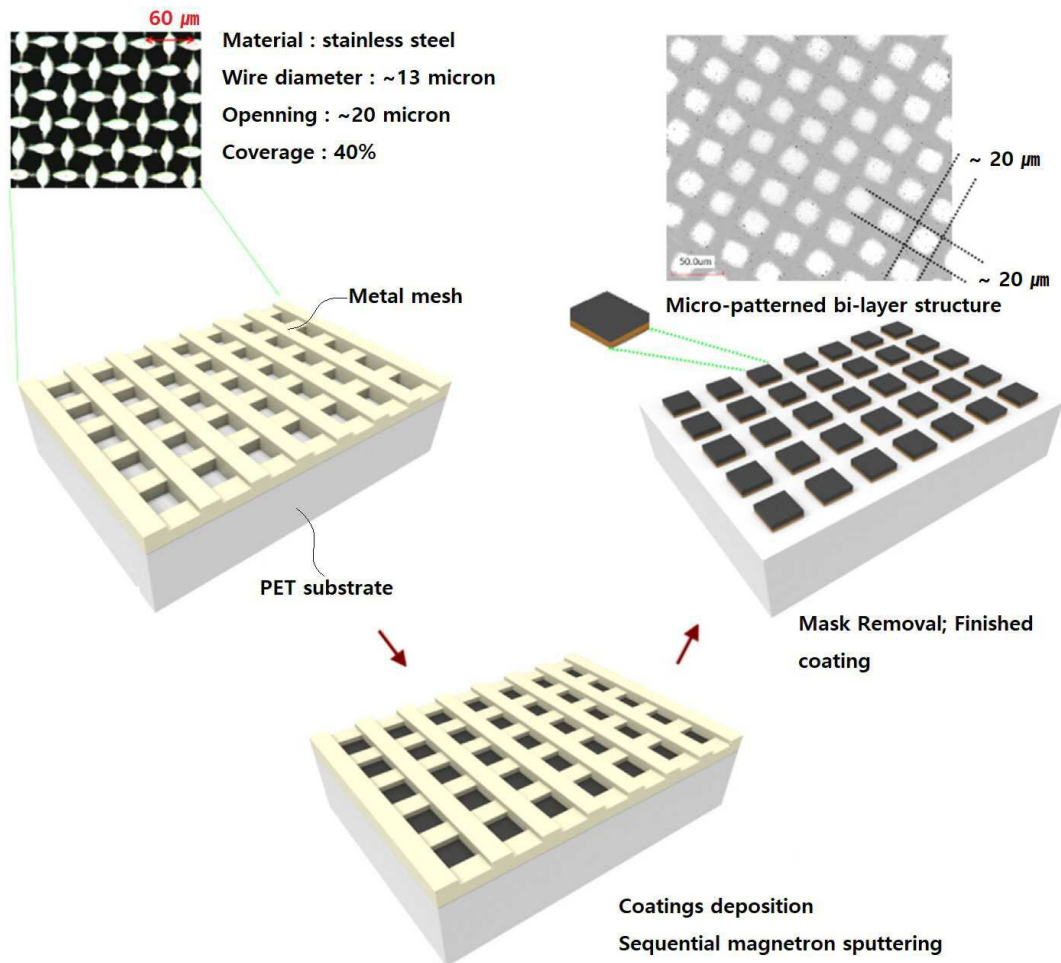
DLC막(실시예1)은 굽힘 시험 후에도 손상의 거의 없었다. 구체적으로, 균열 형성 또는 박리의 흔적이 전혀 발견되지 않았고 DLC막은 원래의 구조적 무결성과 기능성을 모두 유지하였다.

[0126]

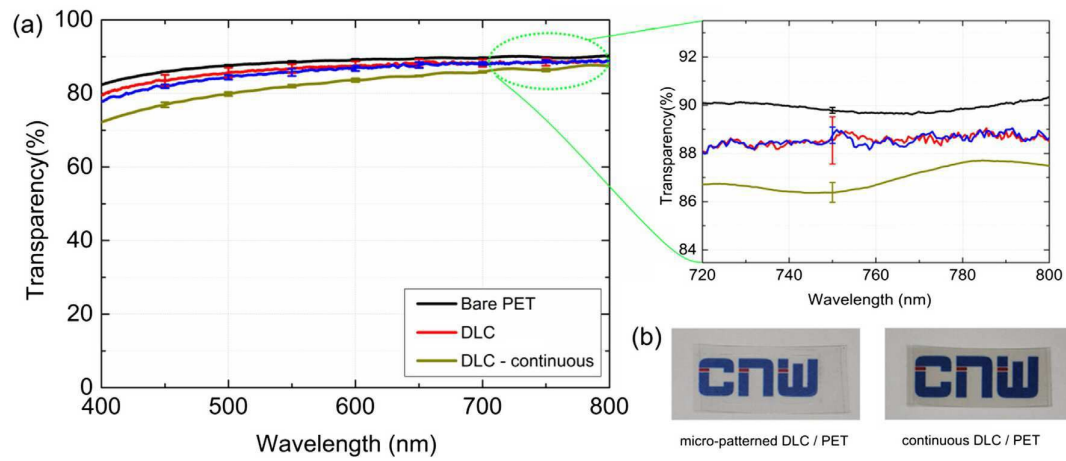
전술한 바와 같이, 본 발명에서는 유연성과 광학 특성을 실질적으로 손상시키지 않으면서 태양전지 표면이 다양한 환경변수로 인해 마모 및 침식되는 문제를 최소화할 수 있다. 구체적으로, 본 발명에 따른 불연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기관의 경우가 연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기관의 경우와 비교하여 광학 특성이 약 10% 이상, 내마모성 특성이 약 50% 이상 현저히 우수하였다. 또한 본 발명에 따른 연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기관의 경우 중, 30 내지 45 V의 네거티브 바이어스 잔업에서 내부 응력 및 마모율에 대한 K 값이 보다 우수하였다. 아울러 본 발명에 따른 연속적인 패턴으로 DLC막이 표면에 형성된 기관은 전술한 특성들이 우수하면서도, 기관 자체의 유연성을 그대로 유지하였다.

## 도면

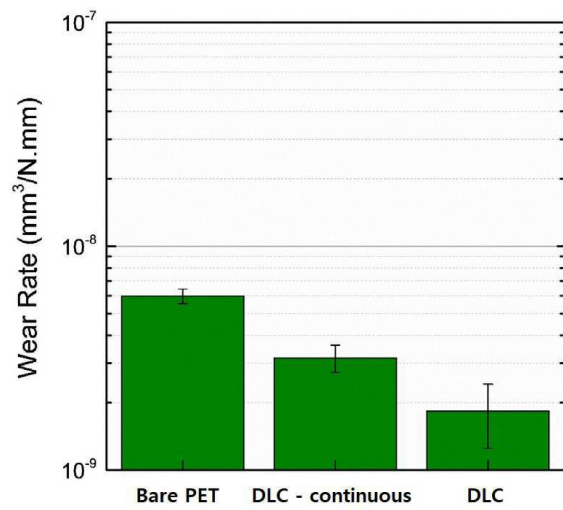
### 도면1



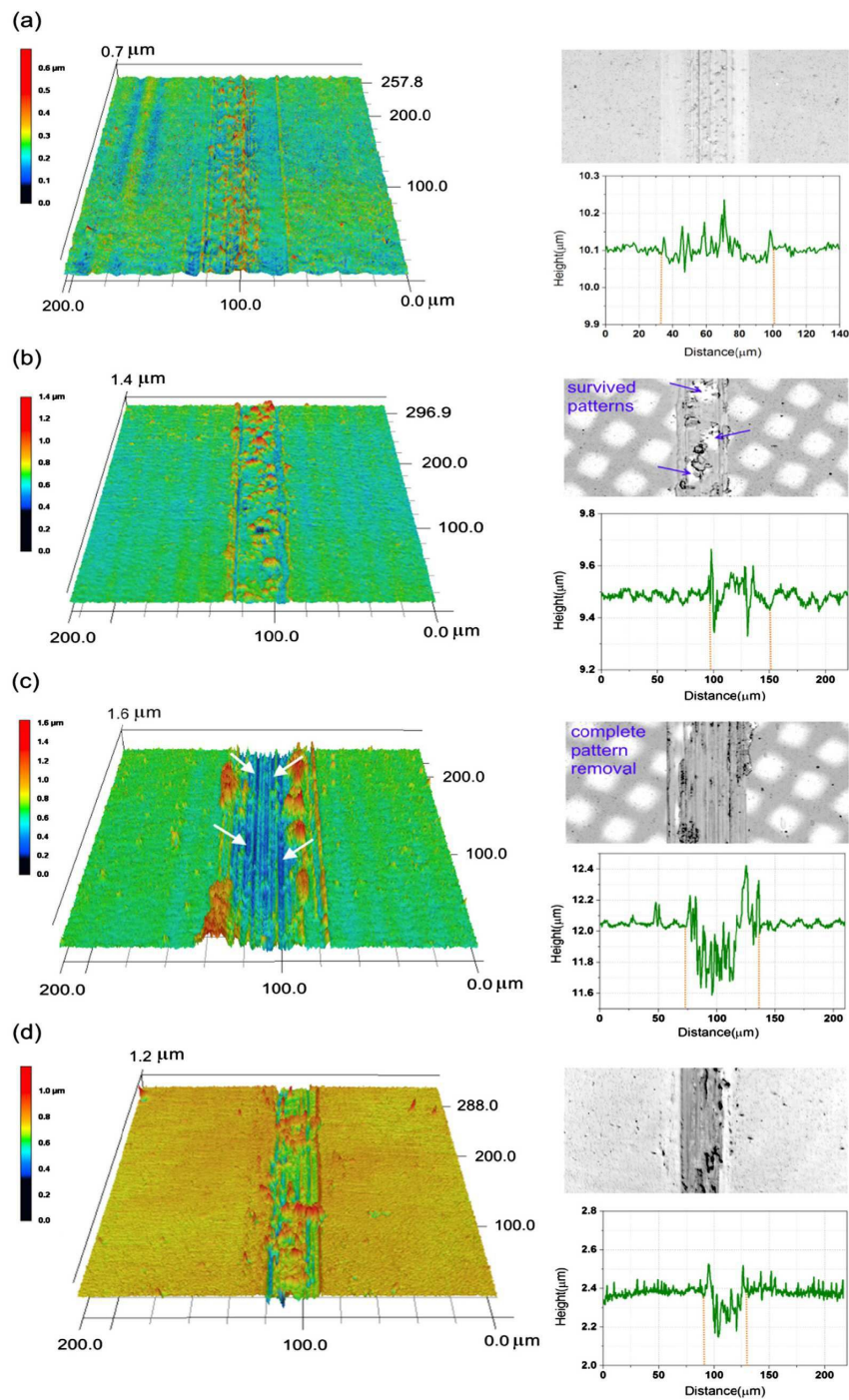
도면2



도면3

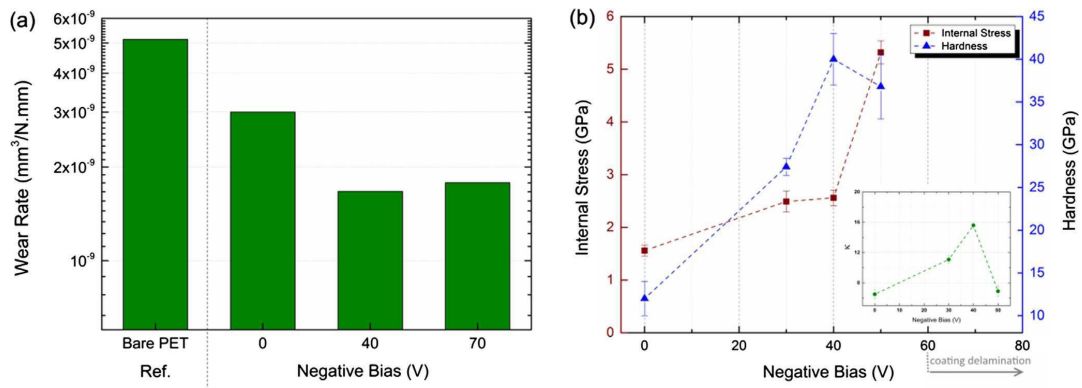


도면4

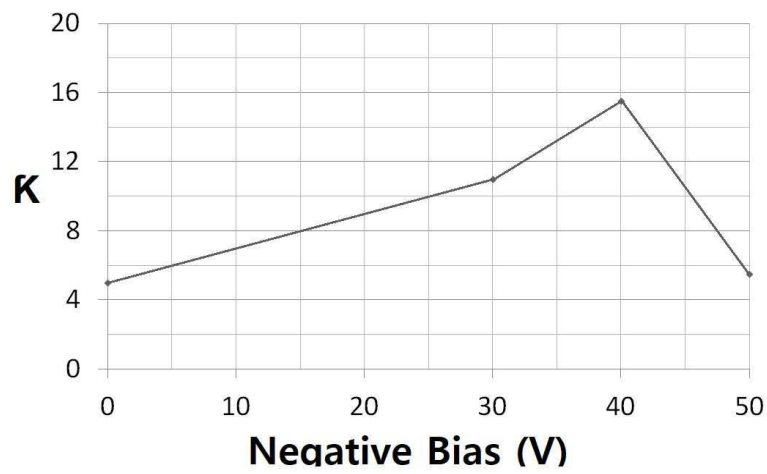




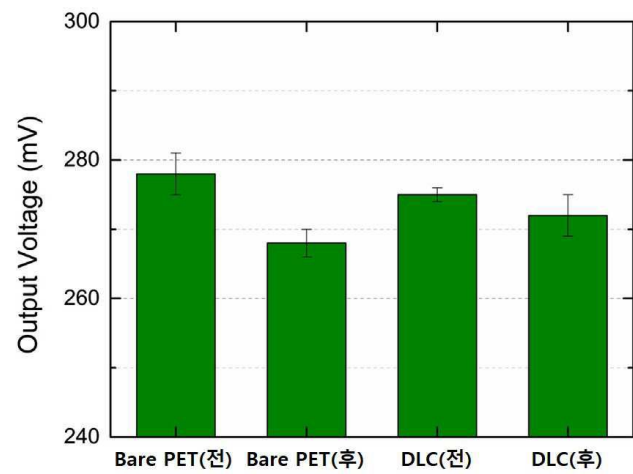
도면5



도면6



도면7



도면8

