

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0018833

(43) 공개일자 2022년02월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/0224 (2006.01) H01L 31/0264  
(2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/022466 (2013.01)

H01L 31/0264 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0099420

(22) 출원일자 2020년08월07일

심사청구일자 2020년08월07일

(71) 출원인

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

김준동

인천 연수구 송도과학로51번길 136 캐슬&해모로  
204동 705호

앵게이언 탄타이

인천광역시 연수구 송도1동 아카데미로 119, 인천  
대학교 전기공학과

(74) 대리인

강정빈, 심찬, 송두현

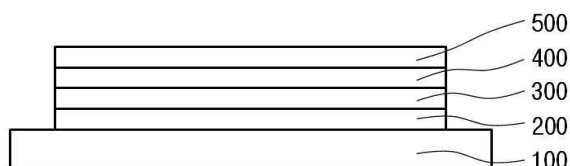
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 투명 태양전지 및 그 제조방법

## (57) 요약

본 발명은 투명 태양전지 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는  $Ti^{3+}$  이온으로 자가 도핑된 루타일 산화티타늄을 광 활성 층으로 사용하여 투명하면서도 광대역에서 광 반응을 나타내면서 높은 안정성을 보이는 투명 태양전지 및 그 제조방법에 관한 것이다.

## 대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H01L 31/1884** (2013.01)

**Y02E 10/50** (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|              |                                               |
|--------------|-----------------------------------------------|
| 과제고유번호       | 1711107490                                    |
| 과제번호         | 2020R1A2C100948011                            |
| 부처명          | 한국연구재단                                        |
| 과제관리(전문)기관명  | 한국연구재단                                        |
| 연구사업명        | 중견연구자 지원사업                                    |
| 연구과제명        | 고체형 반도체 투명 태양광 프레임 개발: 다기능 2D 활성층을 이용한 신개념 투명 |
| 태양전지 및 응용 기술 |                                               |
| 기 여 율        | 1/1                                           |
| 과제수행기관명      | 인천대학교                                         |
| 연구기간         | 2020.03.01 ~ 2023.02.28                       |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

투명 태양전지로서,

제1투명전극층;

상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층; 및

상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층; 을 포함하고,

상기 제1금속산화물층은,

$\text{Ti}^{3+}$  이온으로 도핑 된 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )를 포함하는, 투명 태양전지.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제2금속산화물층은 산화니켈( $\text{NiO}$ )을 포함하는, 투명 태양전지.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제2금속산화물층은,

Ni를  $\text{Ar}/\text{O}_2$  환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성되는, 투명 태양전지.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제1금속산화물층은,

Ti를 Ar 환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하고, 스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 금속 열 공정을 이용한 산화반응을 통하여 형성되는, 투명 태양전지.

#### 청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 금속 열 공정은 Ar 환경에서 100 내지 1000℃의 온도에서 5 내지 60분 동안 수행되는, 투명 태양전지.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 투명 태양전지는 600nm 내지 1100nm의 파장의 광에 대하여 40% 이상의 투과율을 갖는, 투명 태양전지.

## 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 투명 태양전지는,

상기 제2금속산화물층 위에 배치되는 제2투명전극층; 을 더 포함하는, 투명 태양전지.

## 청구항 8

투명 태양전지의 제조방법으로서,

제1투명전극층을 준비하는 단계;

상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층을 형성하는 단계; 및

상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층 을 형성하는 단계; 를 포함하고,

상기 제1금속산화물층은,

$\text{Ti}^{3+}$  이온으로 도핑 된 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )를 포함하는, 투명 태양전지의 제조방법.

## 청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 상기 제1금속산화물층을 형성하는 단계는,

Ti를 Ar 환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하는 단계; 및

스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 급속 열 공정을 이용한 산화반응을 수행하는 단계; 를 포함하는, 투명 태양전지의 제조방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 태양전지 및 그 제조방법 에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는  $\text{Ti}^{3+}$  이온으로 자가 도핑 된 루타일 산화티타늄을 광 활성 층으로 사용하여 투명하면서도 광대역에서 광 반응을 나타내면서 높은 안정성을 보이는 투명 태양전지 및 그 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 태양 에너지 이용에 대한 수요의 증대에 의해 빛을 전기 에너지로 변환하는 태양전지의 중요성이 높아지고 있다. 태양전지 기술은 매우 빠르고 지속적으로 성장 해 왔고, 이와 같은 성장은 계속 될 것으로 예상된다.

[0004] 에너지 생산에 초점이 맞춰진 초기 개발 단계를 넘어 기능성 태양광 발전 기술이 발전하면서 투명 태양전지 기술에 도달하였다. 불투명한 종래의 태양전지와 달리, 투명 태양전지는 인간의 시야를 차단하지 않으면서 에너지를 생성하는 큰 장점을 갖는다. 따라서, 이와 같은 눈에 보이지 않는 발전 장치는 휴대폰 스크린, 디스플레이 및 차량 또는 건물의 창문 등에 적용될 수 있으며, 자외선에 의한 피부 및 눈의 손상을 감소시킬 수 있는 장점

이 있다.

[0005] 투명 태양전지는 태양 또는 조명으로부터 강한 자외선(UV)를 흡수함으로써 기능을 수행하게 된다. 단파장 UV광은 강한 광자 에너지를 가지며 눈의 손상 또는 피부암 등 인체에 해로운 영향을 줄 수 있다. 단파장 UV광은 사람의 눈으로는 볼 수 없기 때문에, 가시광선은 통과시키면서 선택적으로 UV광의 흡수를 함으로써 투명한 태양전지를 구현할 수 있게 된다. 보이지 않는 투명 태양전지는 사람이 그 존재를 인식하지 못할 수 있기 때문에 우리의 에너지 공급 및 환경 시스템에 큰 영향을 미칠 수 있다.

[0007] 태양전지 제조 공정의 측면에서, 고체상(solid-state) 방법은 복잡한 밀봉 패키징 단계를 생략할 수 있기 때문에 유용하다. 유기 태양전지, 염료 감응 형 태양전지 또는 페로브스카이트 형 태양전지와 같은 습식 전지 또는 용액 처리된 전지의 경우 전해질 성분 또는 광 흡수 물질의 누출 문제가 존재하기 때문에 대기 환경의 오염을 초래하거나, 불안정한 작동을 야기할 수 있는 가능성이 있다. 따라서 실용적인 투명 태양전지를 구현하기 위하여 건식 처리 방법에 무기 성분을 사용하는 것이 바람직하다. 다만 이와 같은 투명하고 무기 성분으로 구성되면서 광대역에서 광 반응을 보이면서도 높은 안정성을 보이는 투명 태양전지에 대해서는 아직까지 알려진 바가 없다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 본 발명은  $Ti^{3+}$  이온으로 자가 도핑 된 루타일 산화티타늄을 광 활성 층으로 사용하여 투명하면서도 광대역에서 광 반응을 나타내면서 높은 안정성을 보이는 투명 태양전지 및 그 제조방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 투명 태양전지로서, 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $TiO_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층; 및 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층; 을 포함하고, 상기 제1금속산화물층은,  $Ti^{3+}$  이온으로 도핑 된 산화티타늄( $TiO_2$ )를 포함하는, 투명 태양전지를 제공한다.

[0012] 본 발명에서는, 상기 제2금속산화물층은 산화니켈(NiO)을 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명에서는, 상기 제2금속산화물층은, Ni를  $Ar/O_2$  환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성될 수 있다.

[0014] 본 발명에서는, 상기 제1금속산화물층은, Ti를 Ar환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하고, 스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 급속 열 공정을 이용한 산화반응을 통하여 형성될 수 있다.

[0015] 본 발명에서는, 상기 급속 열 공정은 Ar 환경에서 100 내지 1000℃의 온도에서 5 내지 60분 동안 수행될 수 있다.

[0016] 본 발명에서는, 상기 투명 태양전지는 600nm 내지 1100nm의 파장의 광에 대하여 40% 이상의 투과율을 가질 수 있다.

[0017] 본 발명에서는, 상기 투명 태양전지는, 상기 제2금속산화물층 위에 배치되는 제2투명전극층; 을 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 투명 태양전지의 제조방법으로서, 제1투명전극층을 준비하는 단계; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $TiO_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층을 형성하는 단계; 및 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층 을 형성하는 단계; 를 포함하고, 상기 제1

금속산화물층은,  $Ti^{3+}$  이온으로 도핑 된 산화티타늄( $TiO_2$ )를 포함하는, 투명 태양전지의 제조방법을 제공한다.

[0020] 본 발명에서는, 상기 상기 제1금속산화물층을 형성하는 단계는, Ti를 Ar환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하는 단계; 및 스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 금속 열 공정을 이용한 산화반응을 수행하는 단계; 를 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 금속 산화물 이중접합을 이용하여, 높은 투명성, 높은 광전효율, 정확한 광 검출성, 빠른 응답성을 도모할 수 있는 투명 태양전지 및 이의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 320nm 내지 740nm의 광대역 광 파장에 대해 광 기전 효과를 나타내는 투명 태양 전지를 제공할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산화티타늄에 티타늄 이온으로 자가 도핑을 하여 결정구조의 변화 없이 밴드 갭을 조절하여 광대역에서 광 응답을 보이는 태양전지를 제공할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 가시광선에 대하여 40% 이상의 투과성을 가지는 태양전지를 제공할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산화티타늄층 상에 산화니켈층이 형성되어 이중 접합 구조를 형성하고, 산화티타늄층의 산화를 방지하여 높은 안정성을 갖는 태양전지를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 구조를 개략적으로 도시한다.

도 2 내지 도 14는 투명 태양전지의 설계에 대한 사항들을 도시하는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하에서는, 다양한 실시예들 및/또는 양상들이 이제 도면들을 참조하여 개시된다. 하기 설명에서는 설명을 목적으로, 하나 이상의 양상들의 전반적 이해를 돕기 위해 다수의 구체적인 세부사항들이 개시된다. 그러나, 이러한 양상(들)은 이러한 구체적인 세부사항들 없이도 실행될 수 있다는 점 또한 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 인식될 수 있을 것이다. 이후의 기재 및 첨부된 도면들은 하나 이상의 양상들의 특정한 예시적인 양상들을 상세하게 기술한다. 하지만, 이러한 양상들은 예시적인 것이고 다양한 양상들의 원리들에서의 다양한 방법들 중 일부가 이용될 수 있으며, 기술되는 설명들은 그러한 양상들 및 그들의 균등물들을 모두 포함하고자 하는 의도이다.

[0031] 또한, 다양한 양상들 및 특징들이 다수의 디바이스들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있는 시스템에 의하여 제시될 것이다. 다양한 시스템들이, 추가적인 장치들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있다는 점 그리고/또는 도면들과 관련하여 논의된 장치들, 컴포넌트들, 모듈들 등 전부를 포함하지 않을 수도 있다는 점 또한 이해되고 인식되어야 한다.

[0032] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "양상", "예시" 등은 기술되는 임의의 양상 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되지 않을 수도 있다. 아래에서 사용되는 용어들 '~부', '컴포넌트', '모듈', '시스템', '인터페이스' 등은 일반적으로 컴퓨터 관련 엔티티(computer-related entity)를 의미하며, 예를 들어, 하드웨어, 하드웨어와 소프트웨어의 조합, 소프트웨어를 의미할 수 있다.

[0033] 또한, "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 해당 특징 및/또는 구성요소가 존재함을 의미하지만, 하나 이상의 다른 특징, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0034] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요

소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0035] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 구조를 개략적으로 도시한다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지는, 제1투명전극층(200); 상기 제1투명전극층(200) 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층(300); 및 상기 제1금속산화물층(300) 위에 배치되는 제2금속산화물층(400); 을 포함할 수 있다.

[0040] 상기 제1투명전극층(200) 하측에는 유리기판 등의 투명성 기재기판(100)이 배치될 수 있다.

[0041] 한편, 본 발명의 일 실시예에서 상기 투명 태양전지는, 상기 제2금속산화물층 위에 배치되는 제2투명전극층(500); 을 더 포함할 수 있다.

[0043] 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )은 Ti 간극 또는 O 공석에 의해 n형 특성을 나타내는 금속 및 산소의 화합물로서, 활성 금속 산화물 물질이다. 산화티타늄의 전자 구조와 결정 형태 또는 형성을 조절하여 광전자 특성을 조정함으로써 광 기전력 장치, 광 검출기, 광-전기 화학 전지 및 환경 광 촉매를 포함한 다양한 응용 분야에 이용되어 왔다.

[0044] 산화티타늄은 광, 전기 및 화학 응용 분야에서 높은 안정성, 낮은 비용 및 높은 환경친화성 측면에서 높은 활용도를 갖는다. 특히, 산화티타늄 기반 광전소자는 염료 감응 태양전지, 고분자 무기 하이브리드 태양전지, 양자점 감응 태양전지 및 페로브스카이트 태양전지에 비해 높은 성능을 나타낸다. 특히 3 내지 3.2eV에 달하는 넓은 밴드 갭 특성을 이용하면 투명 광전소자 분야에서 UV광을 흡수하면서도 가시광선 대부분을 투과시킬 수 있다.

[0046] 산화티타늄의 감광성을 높이기 위하여 공간 전하 영역에서 전기장의 영향을 통해 광 생성 전자-정공 쌍을 분리할 필요가 있고, 본 발명에서는 이를 위해 p형 반도체와의 접합을 형성하였다. p형 산화니켈( $\text{NiO}$ )은 3.6 내지 4.3 eV의 높은 광학 밴드 갭, 1.33 내지 1.85eV의 낮은 전자 친화도 및 높은 안정성과 같은 특성으로 인해 n-타입 산화티타늄에 대한 좋은 대응소재이다. 산화니켈과 산화티타늄의 이종 구조를 이용한 초기 광 응답 장치는 알려져 있지만, 아직까지 투명 광 기전 응용 소자는 개발되어 있지 않다.

[0048] 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )은 420nm 이하의 단파장 스펙트럼에 대해 높은 광 흡수율을 갖지만, 산화티타늄 그 자체로는 더 긴 파장의 빛을 이용하는 데 한계가 있다. 투명한 광전 장치의 성능을 향상시키기 위해, 더 긴 파장의 광 스펙트럼을 이용할 필요가 있다. 많은 연구들이 더 긴 파장에서의 활용을 위해 노력했으며 산화티타늄에 대한 도핑이 감광 능력을 향상시키는 방법 중 하나라는 것을 발견하였다.

[0049] 산화티타늄은 금속 또는 비금속 원소로 도핑 될 수 있지만, 외래 성분을 첨가하는 경우 재결합 센터를 형성하여 광 생성된 캐리어 농도 및 수집을 감소시킬 수 있다. 반면, 불순물 도핑 방법과 달리  $\text{Ti}^{3+}$  자체 도핑을 수행하는 경우 산화티타늄의 결정 구조를 바꾸지 않으면서 에너지 밴드 갭(< 3eV)을 조절할 수 있어 유용하다. 산화티타늄에서 산소 빈자리와 관련된  $\text{Ti}^{3+}$ 의 형성은 산화티타늄의 반응 스펙트럼을 넓히는 데 도움이 되는 밸런스 대역과 전도대역 사이에 공여 상태를 초래할 수 있다. 산화티타늄에서  $\text{Ti}^{3+}$ 를 형성하기 위해  $\text{Ti}^{4+}$  이온을 감소시키기 위해서는 일반적으로 전자 빔 조사 또는 화학적 기상 증착방법과 같은 열악한 조건 하의 복잡한 공정에 의해 수행되어 왔다. 따라서 간단하면서 높은 확장성을 갖는  $\text{Ti}^{3+}$  자체 도핑 된 산화티타늄의 제조 방법은 태양 에너지

지 활용을 비롯하여 광전자 화학 응용 분야에서 높은 관심을 받고 있다. 이와 같은 산화티타늄의 제조 방법은 공기에 노출되더라도  $Ti^{3+}$ 의 높은 산화 경향을 비활성화시켜 신뢰성을 제공할 필요가 있다.  $Ti^{3+}$ 의 안정성과 관련하여,  $Ti^{3+}$  도핑 된 산화티타늄으로 이중 접합 구조를 형성하는 경우 광 생성된 전하의 분리뿐만 아니라 산소 및 물의 효과를 감소시켜 장치의 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에서 상기 제1금속산화물층(300)은,  $Ti^{3+}$  이온으로 도핑 된 산화티타늄( $TiO_2$ )을 포함하고, 상기 제2금속산화물층은 산화니켈( $NiO$ )을 포함할 수 있다.

[0052] 본 발명의 일 실시예에서 상기 제1금속산화물층은, Ti를 Ar 환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하고, 스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 급속 열 공정을 이용한 산화반응을 통하여 형성되고, 상기 제2금속산화물층은, Ni를 Ar/ $O_2$  환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성될 수 있다. 이 때, 상기 급속 열 공정은 Ar 환경에서 100 내지 1000℃의 온도에서 5 내지 60분 동안 수행될 수 있다.

[0053] 한편, 상기 투명 태양전지는 600nm 내지 1100nm의 파장의 광에 대하여 40% 이상의 투과율을 가질 수 있다.

[0055] 본 발명의 투명 태양전지의 제조방법은 제1투명전극층을 준비하는 단계; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 루타일(rutile) 산화티타늄( $TiO_2$ )을 포함하는 제1금속산화물층을 형성하는 단계; 및 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층 을 형성하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0057] 본 발명의 일 실시예에서 상기 상기 제1금속산화물층을 형성하는 단계는, Ti를 Ar 환경에서 스퍼터링 공정을 수행하여 형성하는 단계; 및 스퍼터링으로 형성된 티타늄층에 급속 열 공정을 이용한 산화반응을 수행하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에서는 불소-도핑 산화 주석(FTO) 코팅된 유리 기판을 상기 기재기판(100) 및 제1투명전극층(200)으로 사용하였다. FTO 코팅 유리 기판을 초음파 처리를 하면서 아세톤, 메탄올 및 탈이온수로 순차적으로 세정한 후 질소 가스를 흘려 건조하였다.

[0060] 상기 제1금속산화물층을 형성하기 위하여 Ti 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링을 수행하였다. 상기 DC 스퍼터링을 수행하는 동안 5mTorr의 작동 압력에서 50sccm의 균일한 Ar 흐름 조건을 유지하였다.

[0061] 이 후, 루타일 산화티타늄을 형성하기 위하여 600℃의 온도에서 15분 동안 급속 열 공정을 수행하였다. 이와 같은 열 산화 공정 동안  $Ti^{3+}$ 가 형성될 수 있다.

[0062] 이 후, 제2금속산화물층을 형성하기 위하여 Ni 타겟을 이용하여 반응성 스퍼터링을 수행하였다. 상기 반응성 스퍼터링을 수행하는 동안 3mTorr의 작동 압력에서 20/5 sccm의 Ar/ $O_2$  흐름 조건을 유지하였다. 이와 같이 형성된 산화니켈의 제2금속산화물층은 상기 제1금속산화물층의 산화티타늄과 이중 접합 구조를 형성하게 된다.

[0064] 도 2의 (a)는 본 발명의 투명 태양전지의 FE-SEM 단면을 도시한다.

[0065] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지는 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이 FTO 코팅 된 유리 기판 상에 산화니켈 및 산화티타늄의 적층 구조를 갖는다. 도 2의 (a)를 참조하면 산화니켈 및 산화티타늄의 이중 접합 구조를 명확히 확인할 수 있다. 이와 같은 구조에서, n형 산화티타늄이 주 감광층으로 동작하고, 산화니켈층은 p형 대응물로 정공수송층으로서 기능한다. 투명한 산화니켈과 산화티타늄의 헤테로 구조는 스퍼터링 및 RTP의 대규모 증착 방법에 의해 형성될 수 있다.

[0067] 도 2의 (b)는 본 발명의 투명 태양전지에서의 원소 농도 분포를 도시한다.

- [0068] 본 발명의 투명 태양전지의 이중 접합 구조를 확인하기 위해, 에너지-분산 X-선 분광법(EDS)을 사용하여 투명 태양전지를 관찰하였다. 도 2의 (b)를 참조하면 EDS를 통해 니켈, 티타늄 및 산소 원소의 분포를 확인할 수 있고, 니켈, 티타늄 및 산소는 각각 12.4%, 24% 및 63.4%의 비율을 가짐을 확인할 수 있다.
- [0070] 도 2의 (c)는 산화니켈 및 산화티타늄의 투과율을 도시하고, 도 2의 (d)는 산화티타늄의 흡광도 스펙트럼을 도시한다.
- [0071] 본 발명의 투명 태양전지의 광학 특성을 검증하기 위해, UV-가시광 분광 광도계(Shimadzu, UV-2600)를 사용하여 300nm 내지 1100nm의 파장 범위에 대해 투과율 및 흡광도 스펙트럼을 스캔 하였다. 투과율 프로파일을 생성하기 위해 도 2의 (c)에 도시된 바와 같이 FTO 코팅 유리, 유리 샘플 상의 산화티타늄층 및 산화니켈/산화티타늄의 헤테로 구조에 대해 각각 수행되었다. 도 2의 (c)의 우측 하단에는 투명한 NiO/TiO<sub>2</sub>/FTO 샘플의 사진 이미지가 도시되어 있다.
- [0072] FTO 코팅 유리는 투명도가 높고 모든 파장에 대해 평평한 스펙트럼을 나타낸다. 산화티타늄 및 산화니켈/산화티타늄 샘플에서 약간의 투과율 감소가 발견되었지만, 여전히 60% 이상의 높은 광 투과율을 갖는다. 투과율 프로파일을 참조하면 본 발명의 투명 태양전지는 UV 파장 광에 대해 높은 차단율을 나타내는데, 이는 금속 산화물 층에 의해 UV 광이 흡수됨을 나타내며, 따라서 투명하면서도 높은 광전 성능을 나타낼 수 있게 된다.
- [0074] 흡수 경향을 조사하기 위해, 도 2의 (d)에 도시된 바와 같이, 산화티타늄층의 흡광도 스펙트럼을 조사하여 광학 특성을 확인하였다. 산화티타늄층은 파장 400 nm 이하의 UV 광 및 더 짧은 파장의 광 스펙트럼에서 상당한 흡광도 프로파일을 나타내며, 이는 루타일 산화티타늄의 넓은 밴드 갭으로부터 기인한다. 흥미롭게도, 도 2의 (d)에 삽입 된 확대 이미지에 도시 된 바와 같이, 산화티타늄은 가시광 영역에 대해 약간의 흡수율을 갖는다.
- [0075] 도 3을 참조하면 광자 에너지에 대한 산화티타늄의 흡수 계수를 확인할 수 있다. 파장에 대한 흡수 계수  $\alpha$  ( $\lambda$ )는  $\alpha(\lambda)=1/d \ln(1/T(\lambda))$ 의 관계식에 의해 추정되었으며, 여기서 d, T 및  $\lambda$  는 각각 막 두께, 투과율 및 파장이다.
- [0076] 한편, 도 2의 (e)는 산화티타늄의 Tauc 플롯을 도시한다. 루타일 산화티타늄은 3eV 이상에서 높은  $\alpha$  값을 가지며, 이는 도 2의 (e)에 도시 된 바와 같이 산화티타늄의 에너지 밴드 갭에 대응한다. 한편, 3eV 이하에서 약  $10^6 \text{ cm}^{-1}$ 의  $\alpha$  값을 나타내는 흡수가 나타났다. 이는 루타일 산화티타늄이 가시광선 스펙트럼을 부분적으로 흡수할 수 있음을 확인시켜준다.
- [0078] 도 2의 (f)는 기판 상에 성장한 산화티타늄의 XRD 스펙트럼을 도시한다.
- [0079] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 산화티타늄의 결정 구조를 확인하기 위하여 X-선 회절 분석법(XRD)을 수행하였다. 도 2의 (f)를 참조하면 (110), (101) 및 (111) 평면에 각각 해당되는 27.4°, 36.3° 및 41.5° 에 나타나는 2 $\theta$  피크가 나타나는 산화티타늄의 XRD 패턴을 확인할 수 있다. 이들은 산화티타늄의 표준 루타일 다 형성 상(Crystallography Open Database\_COD-9007433)에 해당한다. 한편, 52.4° 및 55.1°의 2 $\theta$  피크는 기판의 실리콘으로부터 유도된다. COD-9007433 데이터베이스에 따르면, RTP 방법에 의해 합성된 루타일 산화티타늄의 결정 구조는  $a = 4.594 \text{ \AA}$ ,  $c = 2.959 \text{ \AA}$  및  $b/a = 1$ 의 격자 파라미터를 갖는 정방 정계이다. 산화티타늄의 결정 크기 D를 추정하기 위해 Debye-Scherrer의 공식을 사용하였다.
- $$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$
- [0080]
- [0081] 이 때, K,  $\lambda$ ,  $\beta$  및  $\theta$ 는 각각 형태 계수(0.9), X-선의 파장(Cu<sub>K $\alpha$</sub> )(1.5406 Å), 하프-맥시멈에서의 폭 및 Bragg 각도(rad)이다. 따라서, 루타일 산화티타늄의 평균 결정크기 D 값은 95 Å이 된다.
- [0083] 도 4의 (a) 및 (b)는 광대역 조명 하에서의 투명 태양전지의 I-V 특성을 각각 선형 스케일 및 로그 스케일로 도시한다.

- [0084] 본 발명의 투명 광전소자의 광 응답을 확인하기 위해 여러 대역의 파장을 갖는 빛을 조사하여 광 변환 성능을 획득하였다. 은(Ag) 페이스트가 본 발명의 투명 광전소자에서 산화니켈 상층에서 상부 접촉 전극으로서 사용되었다. 도 4의 (a)를 참조하면 암조명 및 광조명 하에서 투명 광전소자의 전류-전압 특성을 확인할 수 있다.
- [0085] 암조명 하의 I-V 프로파일은 산화니켈과 산화티타늄 사이의 타입 II 이종 접합에서 발생하는 소자의 정류 다이오드 특성을 나타내는 비선형 거동을 보여준다. NiO/TiO<sub>2</sub> 계면의 장벽 높이는 0.45eV로 나타났으며, 이는 도 5에 도시된 산화티타늄의 전압 특성의 Mott-Schottky 분석에서 전압( $A/C_{sc}^2$ )을 스캔 하여 획득하였다. 이 때, A는 접합 영역이고, C<sub>sc</sub>는 계면에서의 공간 전하 용량이다. 계면에 내장 전위는 광 생성된 전자-정공 쌍을 효과적으로 분리하고 캐리어를 수집함으로써 광전압 및 광전류를 생성한다. 365nm 부터 520nm 사이의 다양한 단색 파장 광원을 투명 광전소자에 조사하여 광전 거동을 확인하였다.
- [0086] 도 4의 (b)를 참조하면 투명 태양전지의 산화니켈/산화티타늄의 이종 접합 구조는 모든 광원에 대해 자체 바이어스(광 기전) 모드로 응답함을 확인할 수 있다. 이와 같은 광대역 광 기전 성능은 본 발명의 산화티타늄 기반 투명 태양전지가 가시광선 광자의 활용 영역을 확장 할 수 있음을 나타낸다.
- [0088] 도 6은 다양한 세기 및 다양한 파장의 조명 하에서 본 발명의 투명 태양전지의 I-V 특성을 로그 스케일로 도시한다.
- [0089] 도 6을 참조하면 본 발명의 투명 태양전지의 광전류는 빛의 강도에 비례하며, 365nm의 단파장 UV뿐만 아니라 더 긴 520nm 파장의 빛에도 광 기전 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0091] 도 4의 (c)는 파도 광 전압과 파장의 관계를 도시한다.
- [0092] 본 발명의 투명 태양전지의 광 기전 효과를 확인하기 위해, 입사광의 파장을 변화시켜 가며 광전압 프로파일을 획득하였다. 도 4의 (c)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 산화티타늄 투명 태양전지는 광대역에서 광자 에너지를 이용함을 명확하게 확인할 수 있다. 오실로스코프를 사용하여 광전압 감쇠를 측정된 결과 본 발명의 투명 태양전지는 도 4의 (c)에 표시된 것처럼 5mV의 광 전압에 대해 근적외선(NIR) 조명( $\lambda = 740nm$ )에서도 광 기전 효과를 갖는 것을 확인하였다.
- [0093] 한편, 본 발명의 투명 태양전지에 대해 UV에서 NIR까지 다양한 파장의 조명에서의 파도 광 전압 응답을 측정하였고, 이는 도 7에 도시되어 있다.
- [0094] 한편, 도 4의 (c)를 참조하면, 본 발명의 투명 태양전지의 광-활성화는 높은 밴드 갭 및 낮은 밴드 갭 광자 에너지 여기에 해당하는 2 개의 영역으로 분류 될 수 있다. 420nm 미만의 파장에 대한 장치의 광-활성화 능력은 산화티타늄의 밴드 갭 3eV보다 큰 에너지를 갖는 광자의 밴드 대 밴드 전이에 기인한다. UV영역의 경우 산화니켈과 산화티타늄의 이종 구조는 390nm 파장의 조명에 대해 최대 600mV의 광 전압을 생성 할 수 있다. 산화티타늄의 가시광 및 NIR의 광자 여기는 일반적으로 낮은 밴드 갭 반도체, 핫 캐리어 전이 효과를 위한 플라즈몬 또는 금속 및 도핑 공정에 의한 구조 변형과 결합하여 달성된다.
- [0095] 이용 가능한 파장 영역을 확장함으로써 투명 태양 전지의 광 기전 효과를 향상시킬 수 있다. 이를 고려하면 산화니켈 및 산화티타늄의 투명 태양전지의 성능은 UV 영역을 넘어서서 개선 될 수 있다. 광 흡수를 위한 넓은 파장의 측면에서, 에너지 감광 물질 또는 금속/비금속 원소의 도펀트를 도입하지 않은 채 에너지 밴드 갭을 조절하는 것이 매우 바람직하다.
- [0096] 이를 달성하기 위한 접근법 중 하나는 티타늄의 자체 도핑 방법으로서, 이는 산화티타늄의 금지된 갭에서 중간 상태의 Ti<sup>3+</sup> 상을 형성 할 수 있다. 본 발명의 루타일 산화티타늄 기반 투명 태양전지는 각각 460nm 및 740nm 파장의 짧고 긴 가시광에 대해 0.2V 및 5mV의 광 전압을 나타냈다. 따라서, 광대역 광전지 응답(UV-NIR)은 산화티타늄에서 Ti<sup>3+</sup> 상이 형성되었을 가능성이 있다.
- [0098] 도 8은 산화티타늄이 없는 장치의 옴 거동 I-V 프로파일을 도시한다.

- [0099] 한편, 본 발명의 투명 태양전지에서의 접촉 효과를 더욱 명확히 하기 위해 산화니켈과 Ag 전극에서의 I-V 특성을 분석하였다. 산화티타늄이 없이 Ag 페이스트, 산화니켈 및 FTO로 구성된 샘플에 대한 I-V 특성 분석 결과 도 8에서와 같이 옴 접촉 거동을 나타냄을 확인할 수 있다. 이는 Ag 전극과 산화니켈 사이에 에너지 장벽이 형성되지 않았음을 나타낸다.
- [0101] 또한, Ag 전극의 효과를 확인하기 위하여 Ag 페이스트 대신 ITO 전극을 형성하여 광 응답을 조사한 결과가 도 9에 도시되어 있다. 도 9를 참조하면 산화티타늄층은 Ag 전극에 의해 흡수된 광자를 통한 핫 캐리어의 생성 장치가 아니라, 가시광 활성 층임을 확인할 수 있다. 따라서, 본 발명의 산화니켈/산화티타늄 투명 태양전지에서는 Ag-유도 핫 캐리어 효과를 무시할 수 있다. 이는 산화티타늄의  $Ti^{3+}$  상이 광대역 응답의 원인을 제공함을 나타낸다. 또한 산화니켈 및 산화티타늄 이중 접합 계면에서의 전기장이 광 생성 캐리어를 분리하는 주요 원동력으로 작용함을 알 수 있다.
- [0103] 도 4의 (d)는 소수 캐리어의 수명과 파장의 관계를 도시한다.
- [0104] 가시광-NIR 영역의 광자를 수확하는데 있어서  $Ti^{3+}$  중간 상의 역할을 확인하기 위해, 상이한 단색 조명 하에서 산화니켈/산화티타늄 태양전지에 대한 광 전압 프로파일의 붕괴를 통해 소수 캐리어 수명을 추정하였다. 소수 캐리어 수명( $\tau$ )은  $\tau = (kT/q)(dV_{oc}/dt)^{-1}$ 의 식을 통해 대략적으로 추정될 수 있다. 이 때,  $kT/q$ 는 열 전압이고 ( $dV_{oc}/dt$ )는 광전압의 감쇄 부분의 기울기이다. 이는 365nm 파장의 광 조사 하에서의 광전압을 도시한 도 10을 통해 더욱 자세히 확인할 수 있다.
- [0105] 이와 같이 추정된 소수 캐리어 수명을 도시한 도 4의 (d)를 통해 본 발명의 투명 태양전지에서의 소수 캐리어 수명과 파장의 관계를 확인할 수 있다. UV 스펙트럼 외측에서 소수 캐리어의 수명은 약 0.03 - 0.2 초로 추정되었다.
- [0107] 도 11의 (a)는 UV-NIR 스펙트럼에 대한 투명 태양전지의 파도 광전류를 도시한다.
- [0108] 도 11의 (a)를 참조하면 본 발명의 투명 태양전지의 산화니켈 및 산화티타늄의 이중 접합 구조는 850nm의 파장까지의 광자 에너지를 전류 신호로 변환할 수 있다. 이와 같은 광대역 광전류는 투명한 산화니켈/산화티타늄의 이중접합 구조를 통해 저 에너지의 광자를 전력으로 변환할 수 있음을 의미한다. 또한, 본 발명의 투명 태양전지는 투명 이미지 프로세서 또는 야간 감시와 같은 근적외선 응용 분야에서도 적용될 수 있다.
- [0110] 도 11의 (b)는 UV-NIR 스펙트럼에 대한 장치의 IPCE 및 응답도를 도시한다.
- [0111]  $R = \frac{J_{ph}}{P}$ 의 관계식에 의해 응답도(R)를 추정할 수 있다. 이 때,  $J_{ph}$ 는 광전류 밀도( $A/cm^2$ )이고, P는 입사광의 강도( $mW/cm^2$ )이다. 도 11의 (b)에는 이와 같이 추정된 응답도가 도시되어 있다. 도 11의 (b)를 참조하면 UV 영역에서 10mA/W 이상의 큰 응답도를 나타내 높은 반응성을 나타냈다. 또한 본 발명의 투명 태양전지는 1.45eV ( $\lambda = 850nm$ )의 저 에너지 광자를 응답도  $\mu A/W$  수준에서 감지해 낼 수 있다. 또한, 도 11의 (b)에는 UV-NIR 영역에서의 IPCE(Incident Photon to Current conversion Efficiency)가 도시되어 있고, 이를 참조하면 본 발명의 투명 태양전지는 UV 스펙트럼에서 약 20%로 우수한 변환 효율을 나타낸다. 가시광-NIR 영역의 IPCE 값은 급속 열처리 공정에 의해 제조된 루타일 산화티타늄에서  $Ti^{3+}$ 상의 농도 및 위치를 수정함으로써 더욱 향상될 수 있다.
- [0113] 한편, 급속 열처리 공정에 의해 제조된 루타일 산화티타늄에서  $Ti^{3+}$ 의 존재는 X선 광전자 분광법(XPS)에 의해 확인할 수 있다. 표면 및 심층 분석 XPS 프로파일을 확인하기 위하여 실리콘 기관 상에 루타일 산화티타늄을 합성하였다.

- [0115] 도 12의 (a) 및 (b)는 산화티타늄 표면 XPS 프로파일에서의 티타늄 및 산소의 결합 에너지를 각각 도시한다.
- [0116] 도 12의 (a)에서 458.8eV 및 464.4eV의 결합 에너지에서 관찰된 피크는 각각  $Ti^{4+}$ 의  $Ti\ 2p_{3/2}$  및  $Ti\ 2p_{1/2}$  상을 나타낸다. 한편, 도 12의 (b)에서 산소의 XPS 스펙트럼은  $O^{2-}$ 의  $O\ 1s_{1/2}$ 에 기인한 530eV의 위치에서 피크를 나타내었다.
- [0117] 이와 같은 결과는 루타일 산화티타늄의 표면에서 Ti를  $TiO_2$ 로 전환시키는 완전한 산화 과정이 존재함을 나타낸다. 즉, 루타일 산화티타늄의 표면에는  $Ti^{3+}$ 가 형성되지 않는다. 이러한  $Ti^{3+}$  위치 특성은 화학적 기상 증착방법 또는 전자 빔 방사 방법을 사용하지 않으면서 안정적으로  $Ti^{3+}$  이온 유도 자체 도핑된 산화티타늄의 형성을 위한 RTP 공정의 장점을 보여준다.
- [0119] 도 12의 (c) 및 (d)는 산화티타늄 심층 XPS 프로파일에서의 티타늄 및 산소의 결합 에너지를 각각 도시한다.
- [0120] 한편, 루타일 산화티타늄 내부에서의  $Ti^{3+}$ 의 형성을 확인하기 위해 심층 XPS 분석을 수행하였다. 분석 전, 실리콘 기판 상의 루타일 산화티타늄 샘플에 1분 동안 아르곤 에칭을 수행하였다.
- [0121] 아르곤 에칭을 수행하지 않은 표면과 비교하면 산소 피크의 위치는 변화가 없으며, 이는  $O^{2-}$ 의  $O\ 1s_{1/2}$ 의 존재를 나타낸다. 그러나 도 12의 (c)의 티타늄의 XPS 스펙트럼의 피팅 프로파일은  $Ti^{4+}$ 가 아닌  $Ti$ ,  $Ti^{2+}$  및  $Ti^{3+}$ 의 다른 화학적 상태를 나타냈다. 티타늄의 피팅 피크의 위치는 하기 표 1에 정리되어있다.

표 1

| Chemical states of Ti | Electronic state | Binding energy (eV) |
|-----------------------|------------------|---------------------|
| Ti                    | $2p_{1/2}$       | 460.2               |
| Ti                    | $2p_{3/2}$       | 454.0               |
| $Ti^{2+}$             | $2p_{1/2}$       | 460.8               |
| $Ti^{2+}$             | $2p_{3/2}$       | 455.4               |
| $Ti^{3+}$             | $2p_{1/2}$       | 462.5               |
| $Ti^{3+}$             | $2p_{3/2}$       | 457.2               |
| $Ti^{4+}$             | $2p_{1/2}$       | 464.4               |

- [0124] 이와 같은 티타늄의 다양한 산화 상태의 형성은 산소와 티타늄 사이의 불완전한 반응을 유발할 수 있다. 또한, 산화티타늄의 심층 XPS 프로파일에서  $Ti^{2+}$  및  $Ti^{3+}$ 의 존재는 이온 충격에 의한  $Ti^{4+}$ 의 감소에 기인한다. 산화티타늄에서  $Ti^{3+}$ 의 화학적 상태의 진정한 기여를 얻기 위해,  $Ti^{3+}$ 의 농도를 42.6%로 추정하였다. 루타일 산화티타늄에서  $Ti$ ,  $Ti^{2+}$ ,  $Ti^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$  상의 농도는 하기 표 2에 요약되어있다.

표 2

| Chemical states of Ti | Concentration (%) |
|-----------------------|-------------------|
| Ti                    | 8.1               |
| $Ti^{2+}$             | 21.1              |

|                  |      |
|------------------|------|
| Ti <sup>3+</sup> | 42.6 |
| Ti <sup>4+</sup> | 28.2 |

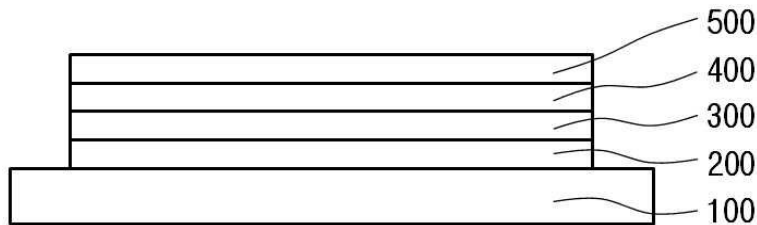
- [0128] 도 13의 (a)는 산화니켈/산화티타늄 이중접합 구조의 에너지 밴드 다이어그램을 도시한다.
- [0129] 투명 태양전지의 광대역 광 기전력 효과를 위한 작동 메커니즘을 이해하기 위해 산화니켈과 산화티타늄 이중 접합 구조의 에너지 밴드 다이어그램을 도 13의 (a)에 도시하였다. 도너 상태를 형성하는 능력으로 인해 Ti<sup>3+</sup>의 위치는 산화티타늄의 전도대에 매우 가깝다. 420nm 이하 파장의 UV 조명에서, 전자는 도 13의 (a)에서 화살표 (1)로 표시된 바와 같이 '대역 대 대역' 전이에 해당하는 산화티타늄 전도 대역(E<sub>c</sub>)으로 직접 여기 될 수 있다. 가시광-NIR 영역의 광자에 있어서, 전자-정공 쌍을 형성하기 위한 전자의 여기는 화살표 (2)로 표시된 바와 같은 전자의 밸런스 밴드로부터 Ti<sup>3+</sup> 상태로의 전이 및 화살표 (3)에 의해 표시된 바와 같은 전자의 Ti<sup>3+</sup> 상태에서 전도 대역으로의 전이를 포함하는 2 단계 공정을 통해 일어날 것이다. 광 생성 전자-정공 쌍은 산화니켈과 산화티타늄의 계면에 형성되는 내부 전위로 인해 분리 될 수 있다. 산화니켈과 산화티타늄 계면에서 형성된 전기장은 전자가 산화티타늄 측에서 산화니켈 전도 대역으로 이동하는 것을 상당히 방해하는 한편, 산화티타늄의 밸런스 밴드(E<sub>v</sub>)에서 산화니켈로의 광 생성 정공의 이동을 촉진시킨다. Ti<sup>3+</sup>상의 안정성은 광대역 응답을 보이는 투명 전자 장치를 위한 Ti<sup>3+</sup> 자체 도핑 된 산화티타늄의 형성에 매우 중요하다.
- [0131] 도 13의 (b) 및 (c)는 시간에 따른 가시광 하에서 측정 된 광전압 및 광전류를 각각 도시한다.
- [0132] Ti<sup>3+</sup>의 안정성을 확인하기 위해 30일 동안 가시광(460nm, 520nm, 620nm) 조명 하에서 본 발명의 투명 태양전지의 광 과도 응답을 측정하였다. 도 13의 (b) 및 (c)는 각각 30일 동안 측정된 투명 태양전지의 안정적인 광 전압 및 광전류 응답을 보여준다. 주변 조건에 한 달 동안 노출한 후에도 투명 태양전지의 광대역 광자 에너지 (460nm - 620nm) 변환 능력이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 산화티타늄에서의 Ti<sup>3+</sup> 형성으로 인해 산화니켈/산화티타늄 태양전지는 안정적으로 유지되고, 물 또는 산소에 의한 대기 산화에 의한 Ti<sup>4+</sup>로의 전환 우려를 억제하였다. 또한, Ti<sup>3+</sup> 자체 도핑 된 산화티타늄은 더 긴 파장의 빛을 이용할 수 있도록 확장을 제공하며, 이는 투명 태양전지의 성능을 향상시키는 우수한 특징이다.
- [0134] 도 14의 (a) 및 (b)는 자연 태양광 하에서 본 발명의 투명 태양전지의 광전압 및 광전류 측정 결과를 각각 도시하고, 도 14의 (c)는 본 발명의 투명 태양전지에 의한 선풍기의 구동 시연 모습을 도시한다.
- [0135] 제작된 본 발명의 투명 태양전지는 자연 태양광 하에서 평가되었다. 도 14의 태양전지 모듈은 두 개의 투명 태양전지를 직렬로 연결하여 구성하였으며, 각각 도 14 (a) 및 (b)에 나타난 바와 같이 153.9mV의 광전압과 0.4mA의 광전류를 생성 하였다. 또한, 하나의 투명한 태양 전지 하나만으로도 LED조명 하에서 선풍기(0.3V 및 2.5mA)를 구동할 수 있었다.
- [0137] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 금속 산화물 이중접합을 이용하여, 높은 투명성, 높은 광전효율, 정확한 광 검출성, 빠른 응답성을 도모할 수 있는 투명 태양전지 및 이의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0138] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 320nm 내지 740nm의 광대역 광 파장에 대해 광 기전 효과를 나타내는 투명 태양전지를 제공할 수 있다.
- [0139] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산화티타늄에 티타늄 이온으로 자가 도핑을 하여 결정구조의 변화 없이 밴드 갭을 조절하여 광대역에서 광 응답을 보이는 태양전지를 제공할 수 있다.
- [0140] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 가시광선에 대하여 40% 이상의 투과성을 가지는 태양전지를 제공할 수 있다.

[0141] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산화티타늄층 상에 산화니켈층이 형성되어 이중 접합 구조를 형성하고, 산화티타늄층의 산화를 방지하여 높은 안정성을 갖는 태양전지를 제공할 수 있다.

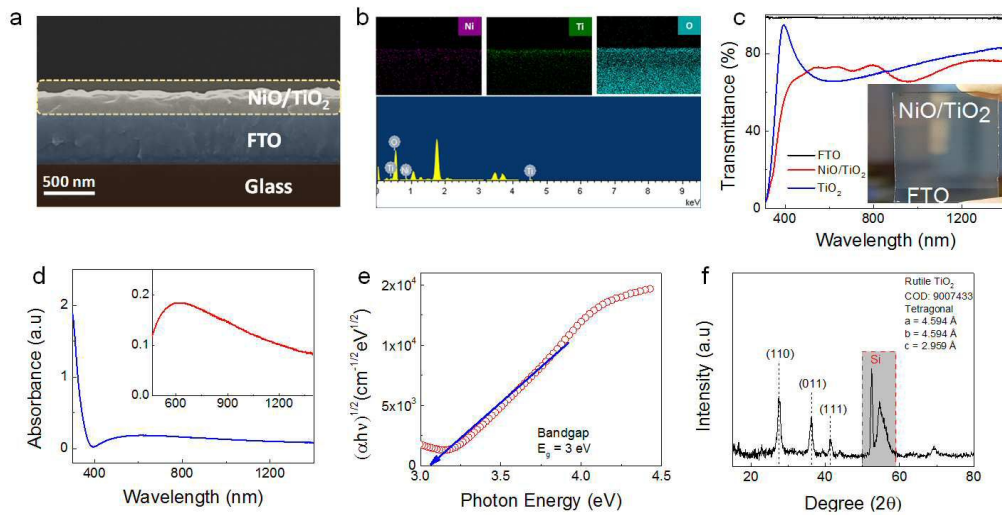
[0143] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

## 도면

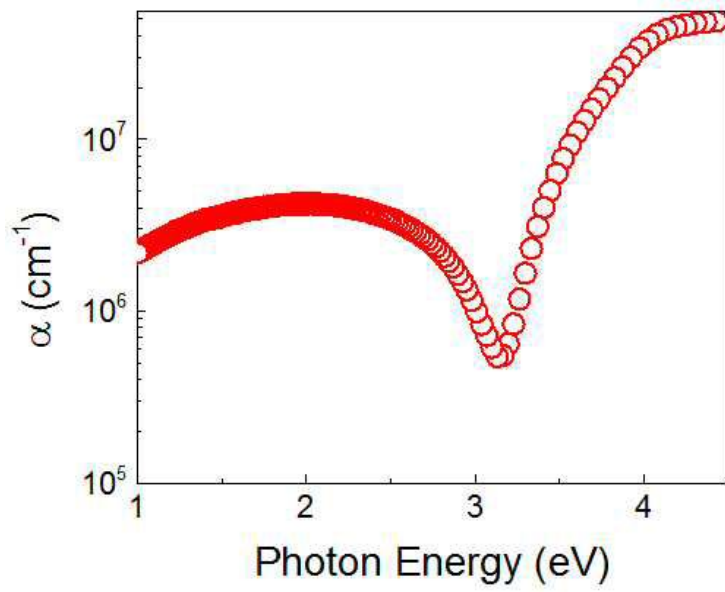
### 도면1



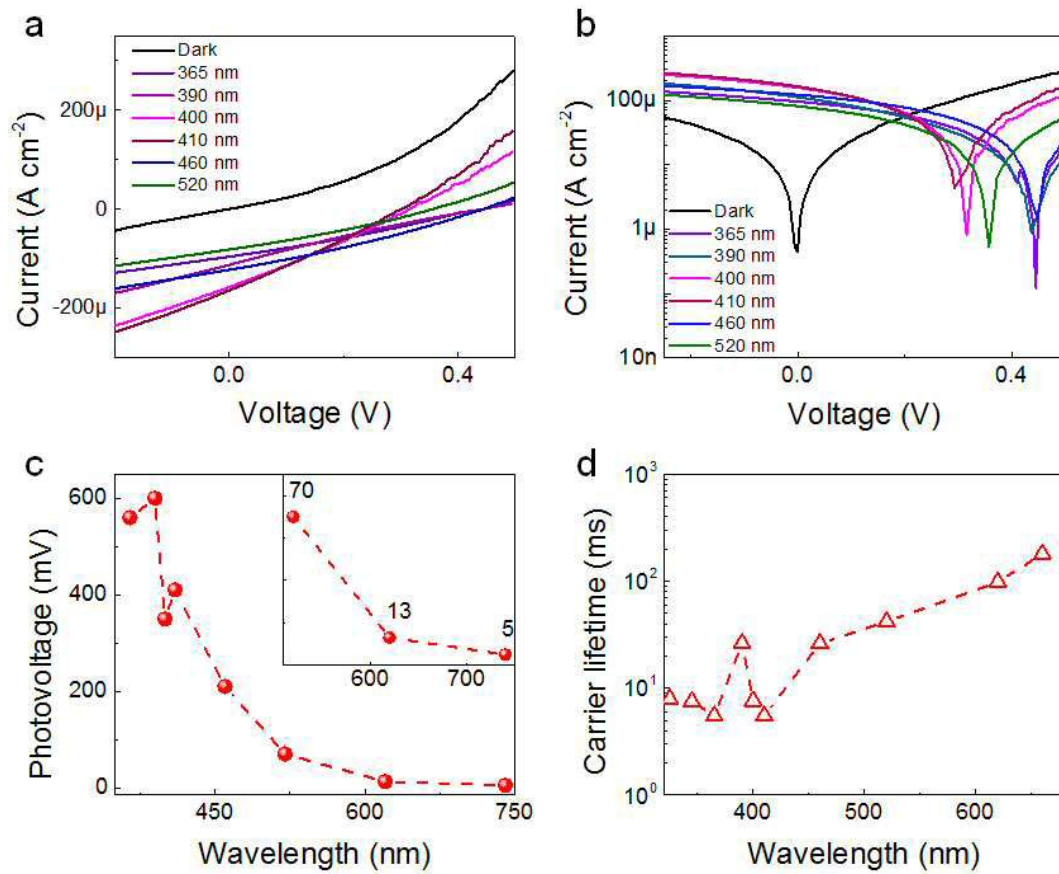
### 도면2



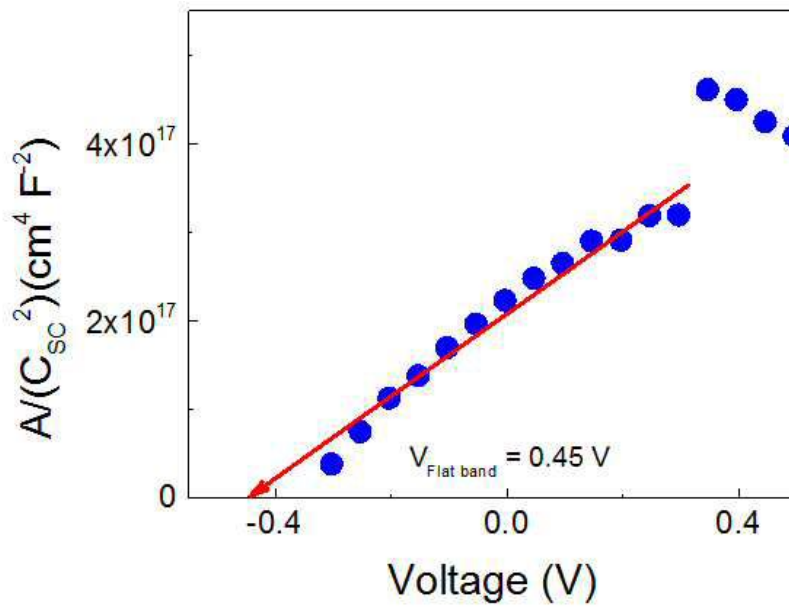
도면3



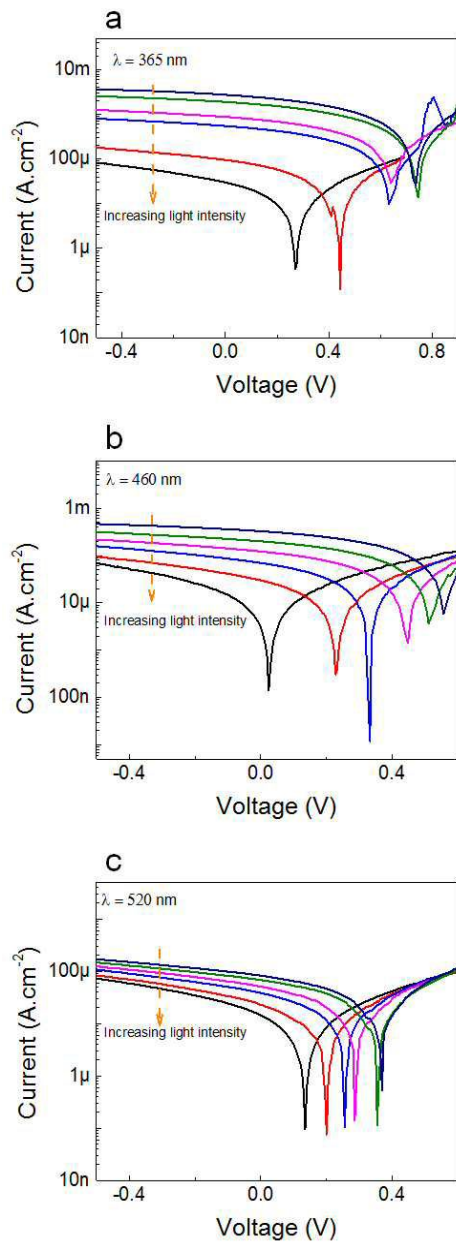
도면4



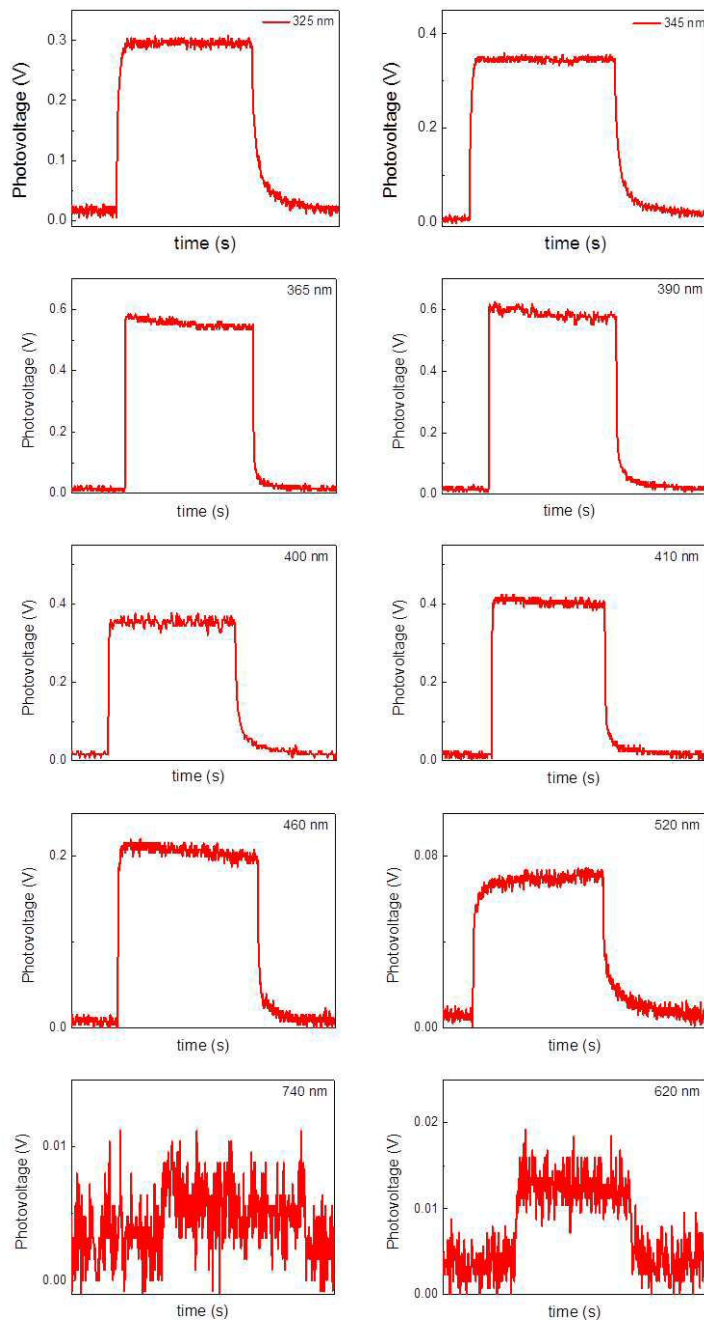
도면5



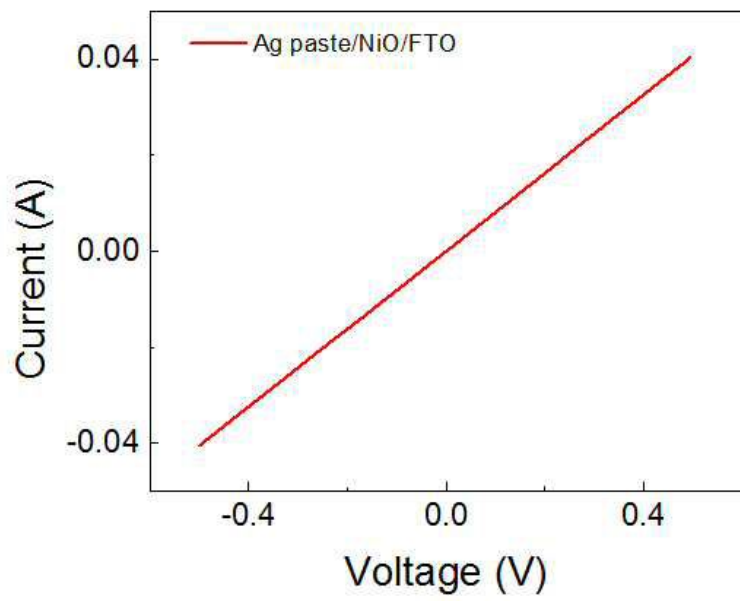
도면6



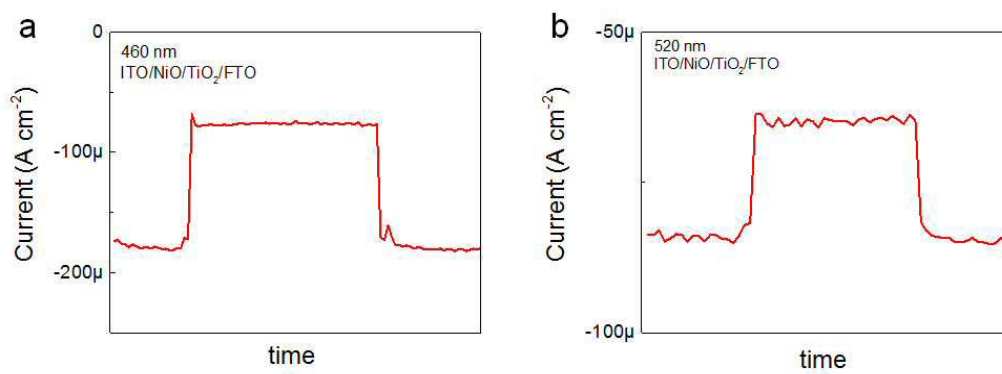
도면7



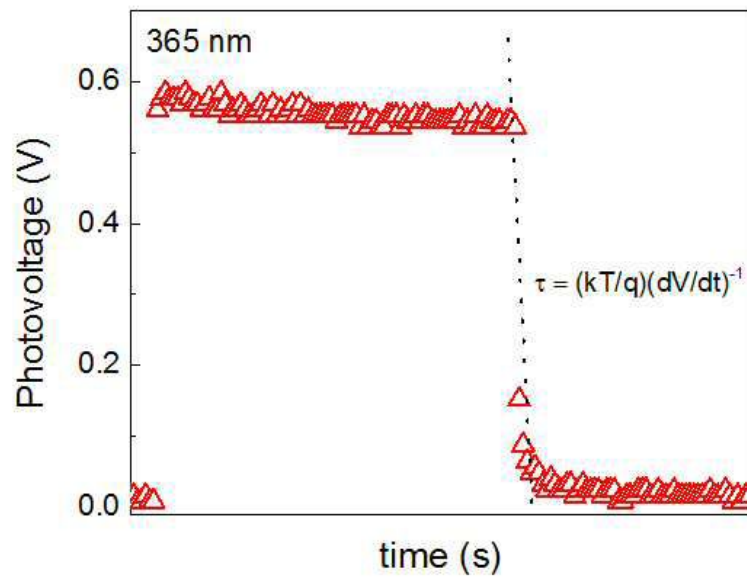
도면8



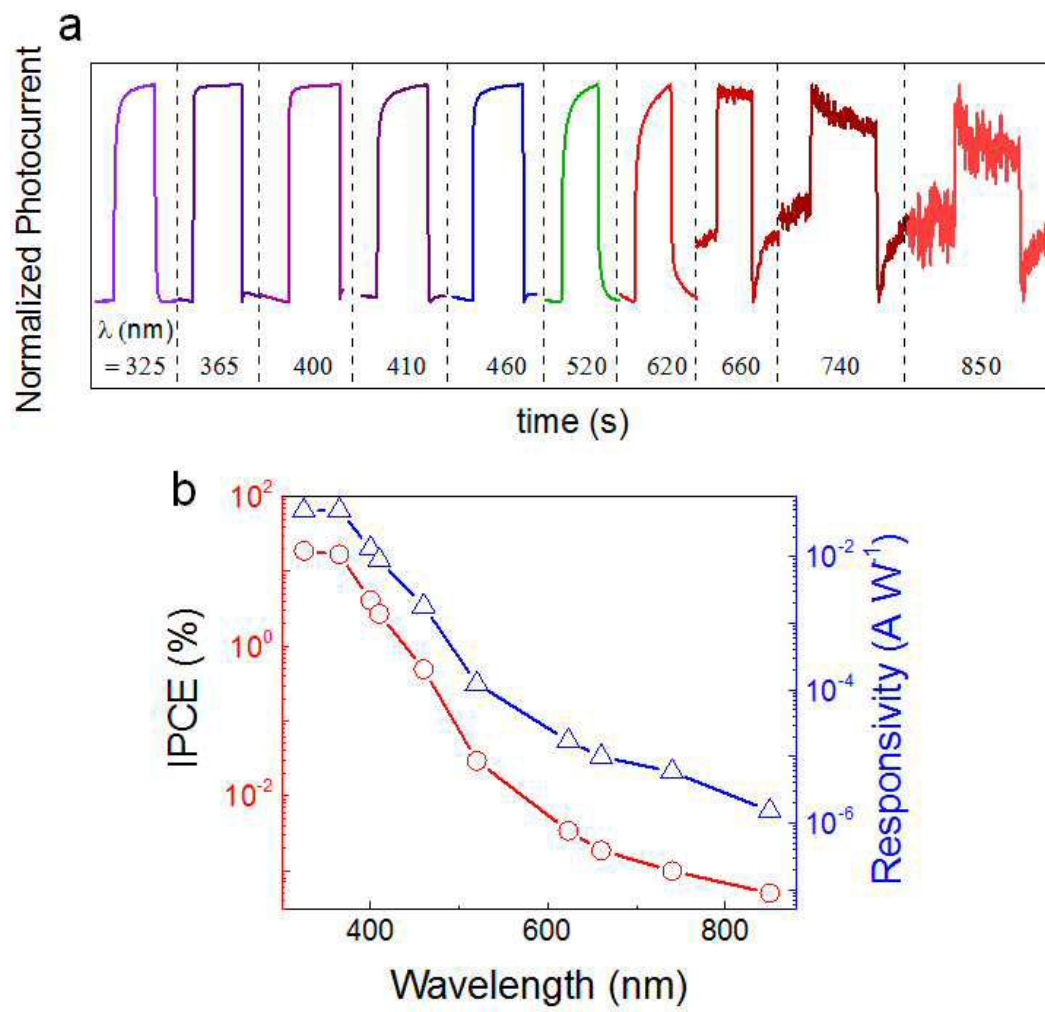
도면9



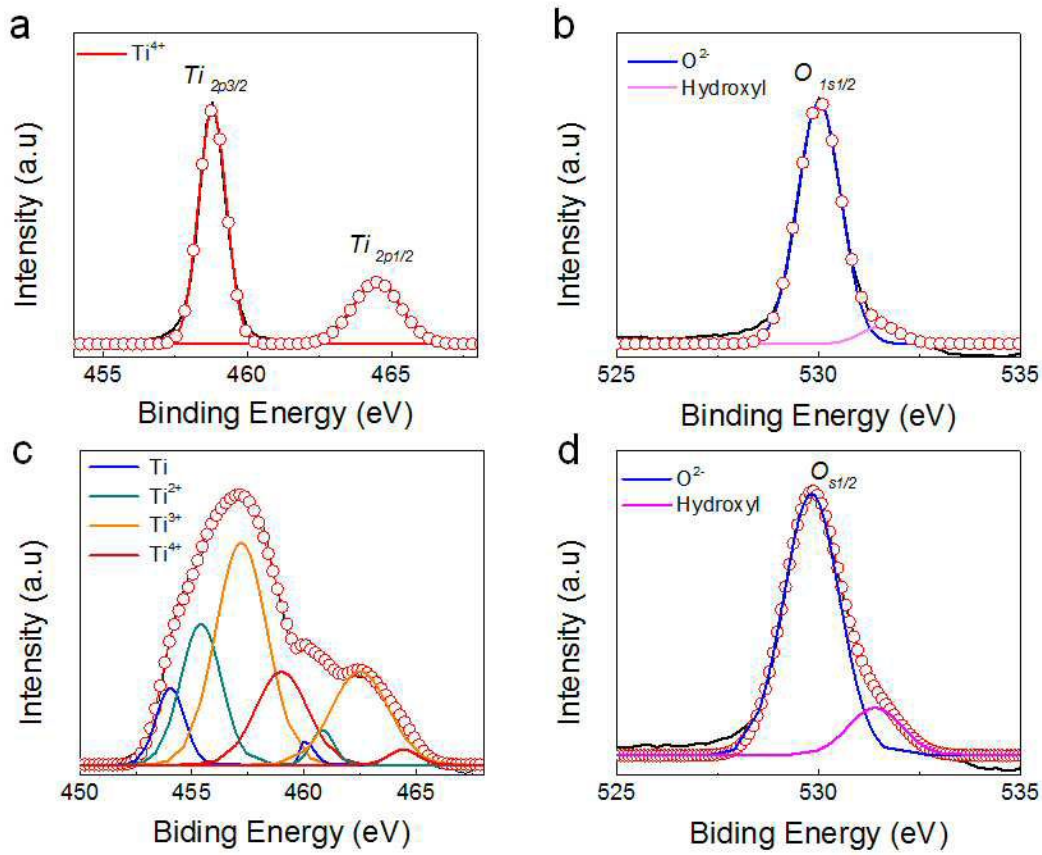
도면10



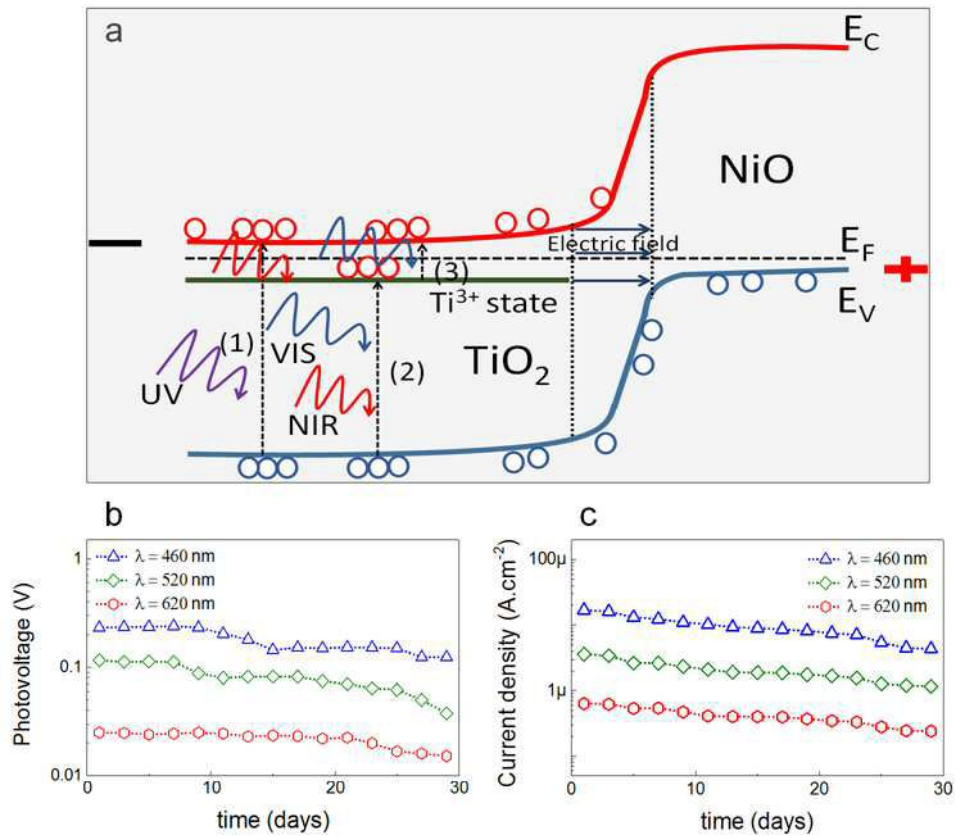
도면11



도면12



도면13



도면14

