	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2011-0107934 (43) 공개일자 2011년10월05일
(51) Int. Cl. <i>H01L 31/042</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2010-0027125 (22) 출원일자 2010년03월26일 심사청구일자 2010년03월26일	(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교 (72) 발명자 유경화 서울특별시 강남구 대치2동 개포우성아파트 2동 101호 박민지 경기도 시흥시 포동 태산아파트 102동 111호 장영욱 서울특별시 종로구 동숭동 7-12 102호 (74) 대리인 특허법인다나	

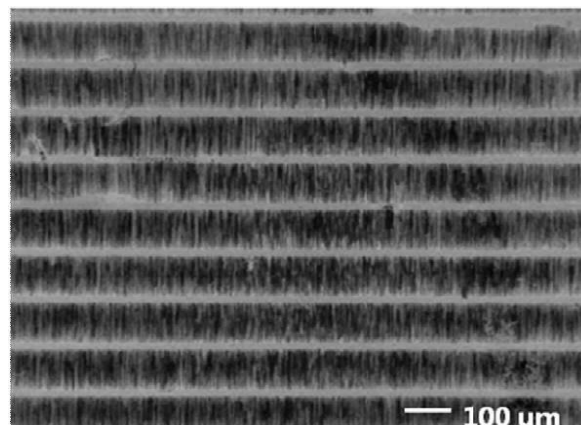
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 탄소나노튜브/ZnO 투명태양전지 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 및 ZnO 이중접합구조 박막을 포함하는 투명 태양전지, 보다 상세하게는 p-형 탄소나노튜브 및 n-형 ZnO 이중접합구조 박막을 포함하는 투명 태양전지에 관한 것이며, 또한 CNT 위에 SiO_x를 증착하여 CNT의 산소접촉을 방지시킨 후, 열처리하는 단계를 포함하는 CNT-ZnO 박막을 제조하는 방법에 관한 것으로서, 가시광선 영역의 빛도 흡수할 수 있고, 상부전극으로 Al, In, Ga, B, F와 같은 금속이 도핑된 ZnO인 투명전극을 사용할 경우, 전도성이 우수하며, 모빌리티가 뛰어난 투명 태양전지를 제작할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090091499

부처명 과학기술부/한국연구재단

연구관리전문기관

연구사업명 기초연구사업/선도연구센터육성사업(학제간융합분야)/나노메디컬국가핵심연구센터

연구과제명 나노메디컬국가핵심연구센터

기여율

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2009년 9월 1일부터 2010년 8월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 배열체층 및 ZnO 박막층을 포함하는 태양전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 탄소나노튜브 배열체층이 p-형이고, 상기 ZnO 박막층이 n-형인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 태양전지가 투명한 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 4

제1항에 있어서,

탄소나노튜브 배열체층이 기관상에 형성되고, 상기 ZnO 박막층이 탄소나노튜브 배열체상에 형성되는 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 ZnO 박막층 상에 Al, In, Ga, B 및 F 로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 금속이 도핑된 ZnO 박막층을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 투명 태양전지.

청구항 6

(a) 기관상에 p-형 탄소나노튜브 배열을 형성하는 단계;

(b) 배열된 탄소나노튜브 양끝에 전극을 형성하는 단계;

(c) 정렬된 탄소나노튜브 위에 n-형 ZnO 박막층을 형성하는 단계;

(d) 후열처리 하는 단계; 및

(e) 후열처리된 ZnO 박막층 위에 금속이 도핑된 ZnO 박막층 및 투명전극을 형성하는 단계를 포함하는 태양전지의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 기관이 투명 기관인 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 단계 (b)의 금속이 Cr, Au, Pd, Al 및 이들의 합금으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 금속이거나, 또는

ITO (Indium tin Oxide), IZO (Indium zinc oxide), AZO (Aluminum zinc oxide), GZO (Gallium zinc oxide), GIT (Gallium-Indium tin oxide) 및 ZTO (Zinc tin oxide)로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 산화금속인 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

후열처리가 300 °C 내지 900 °C의 온도범위에서 수행되는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 10

제6항에 있어서,

후열처리시 공기 분위기에서 수행하는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 단계 (e)에서, 금속이 도핑된 ZnO 박막층으로, Al, In, Ga, B 및 F로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 금속이 도핑된 ZnO 박막층을 사용하는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 금속이 도핑된 ZnO 박막층이 AZO(Al-doped ZnO), GZO(Ga-doped ZnO), IGZO(In:Ga doped ZnO), BZO(Boron-doped ZnO) 및 FZO(Fluorine-doped ZnO)로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

청구항 13

제6항 내지 제12항 중 어느 한 항의 방법으로 제조된 태양전지.

명세서

기술분야

본 발명은 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 및 ZnO 이중접합구조 박막을 포함하는 투명 태양전지에 관한 것이며, 보다 상세하게는 p-형 탄소나노튜브 및 n-형 ZnO 이중접합구조 박막을 포함하는 투명 태양전지에 관한 것이다.

배경기술

[0001]

- [0002] 태양전지는 태양의 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치로서, 친환경 에너지원으로 인식되고 있으며, 반도체 p-n 접합의 특성을 이용하여 에너지 변환을 할 수 있다.
- [0003] 최근, 탄소나노튜브(Carbon nanotube(CNT))와 산화아연(ZnO)은 독특한 특성과 반도체적인 성질 때문에 다양한 분야에서 연구되고 있다.
- [0004] 먼저 탄소나노튜브는 약 $120,000\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 의 높은 운반자 이동도(High carrier mobility), 넓은 영역의 다이렉트(direct) 밴드갭, 화학적 안정성 등 물성이 매우 우수하며, 다양한 방법으로 성장할 수 있고 박막층의 두께에 따라 투과율(transmittance)이 조절 가능하다는 장점을 가지고 있다.
- [0005] 산화아연 역시 좋은 운반자 이동도를 가지며 자외선(Ultraviolet)영역의 direct 밴드갭을 가지며, 엑시톤 결합 에너지(exciton binding energy)가 크다. 산화아연은 산소이온의 부족(Oxygen vacancy) 때문에 n-형의 특성을 지니지만, 다양한 금속을 첨가할 경우, n-형 전도성을 높일 수 있으며 열에 강하고 화학적으로 안정하다는 장점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 기존의 태양전지에 있어서 흡수층으로 사용되는 p-형 반도체는 다결정 재료특성 문제와 박막화에 따른 다른 계면과의 접합 문제로 인하여 여기된 전자와 정공의 재결합 현상이 발생할 우려가 있고, ZnO 박막의 경우 자외선 영역의 빛만 흡수할 수 있고, 가시광선 영역의 빛은 흡수하지 못한다는 문제점이 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 위에서 언급한 바와 같이 p-형 CNT와 n-형 ZnO는 둘 다 직접천이형(direct bandgap)이며, 투명한 기판 위에 투명하게 박막으로 제작할 수 있기 때문에, 본 발명에서는 p-형 CNT/n-형 ZnO 이종접합구조(heterojunction structure)로 이루어진 투명 태양전지를 제공한다. 또한 밴드갭이 커서 자외선 영역의 빛만 흡수할 수 있는 ZnO 박막의 경우 후열처리 조건에 따라 가시광선 영역의 빛도 흡수하게 하는 것이 가능하기 때문에 후열처리를 통해 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다.

발명의 효과

- [0008] 본 발명의 경우, 기존의 태양전지와는 달리, p-형 특성을 지닌 투명한 탄소나노튜브를 직접 배열되게 성장시킨 후, 그 위에 n-형의 투명한 ZnO 박막층을 접합시키고, 사용되는 상부전극으로서 투명전극을 사용함으로써 전체적으로 투명 태양전지를 제작할 수 있다. 이렇게 만들어진 투명 태양전지는 건물의 유리창과 자동차의 창문 등 다양한 곳에 사용 가능하다.
- [0009] 또한, ZnO 박막층의 경우에는 주로 자외선 영역의 빛을 흡수하여 광전류가 생기지만, 후열처리 과정을 통하여, 가시광선 영역의 빛을 흡수하여도 광전류가 생겨, 실제 태양광에서 방출되는 가장 많은 비중을 차지하는 가시광선 영역의 빛을 이용할 수 있어 태양전지의 효율을 높일 수 있다. 즉, 본 발명의 탄소나노튜브 및 ZnO 이종접합 구조 박막은 캐리어 이동도가 높고 화학적 안정성이 우수하며 직접천이형(direct bandgap)이어서, 투명 태양전지용 박막의 제조가 가능하며, 후열처리함으로써 가시광선 영역의 빛도 흡수하게 하여 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 전도성이 우수하다는 특징을 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 도 1은 Quartz 기판 위에 성장시킨 탄소나노튜브 배열체의 FESEM 사진이다.
- 도 2는 Quartz 기판 위에 성장시킨 탄소나노튜브 배열체를 Si 기판 위에 트랜스퍼한 FESEM 사진이다.

- 도 3은 CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지의 단면도이다.
- 도 4는 CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지의 개략도이다.
- 도 5은 CNT/ZnO 이중접합의 단면도이다.
- 도 6는 제작된 CNT/ZnO 이중접합의 FESEM 사진이다.
- 도 7는 제작된 이중접합 소자의 CNT의 I-V 와 I-V_G 특성 곡선이다.
- 도 8은 제작된 이중접합 소자의 ZnO의 I-V 와 I-V_G 특성 곡선이다.
- 도 9은 제작된 CNT/ZnO 이중접합의 I-V 곡선이다.
- 도 10은 자외선 조사 전과 후에 측정한 CNT/ZnO 이중접합의 I-V 곡선이다.
- 도 11는 도 8의 data를 log scale로 다시 그린 I-V 곡선이다.
- 도 12은 Si 기판위에 제작된 CNT/ZnO 이중접합 태양전지의 개략도이다.
- 도 13은 Si 기판위에 제작된 자외선 조사 전과 후에 측정한 CNT/ZnO 이중접합의 I-V 특성곡선이다.
- 도 14는 후열처리 실험을 위해 제작된 CNT/ZnO 이중접합 소자의 개략도이다.
- 도 15은 후열처리 후 측정한 CNT/ZnO 이중접합 I-V 곡선이다.
- 도 16는 후열처리 후 자외선과 가시광선 조사 전과 후에 측정한 CNT/ZnO 이중접합의 I-V 곡선이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명은 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 배열체층 및 ZnO 박막층을 포함하는 태양전지에 관한 것이며, 본 발명의 태양전지는 p-형의 탄소나노튜브 배열체층 및 n-형의 ZnO 박막층을 포함하는 것을 특징으로 한다. 또한, 본 발명의 태양전지는 투명 태양전지로서의 제조가 가능하다는 장점이 있다.
- [0012] 본 발명의 태양전지는 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT) 배열체층이 투명기판상에 형성되고, 상기 ZnO 박막층이 탄소나노튜브 배열체상에 형성된다.
- [0013] 상기 ZnO 박막층 상에는 Al, In, Ga, B, F 등과 같은 금속이 도핑된 ZnO층이 상부전극으로 위치할 수 있다. ZnO의 경우, Al, In, Ga, B, F 등과 같은 금속을 도핑할 경우, 전도성이 좋아져 투명전극으로 사용할 수 있다는 큰 장점이 있어, ZnO의 상부전극으로 사용하여 투명 태양전지를 만들 수 있다.
- [0014] 본 발명에서, 상기 탄소나노튜브 배열체를 구성하는 탄소나노튜브의 길이는 직접 성장시켜 소자를 제작하기 때문에 수 um 내지 수 mm까지 컨트롤이 가능하다.
- [0015] 본 발명에서 상기 기판으로는 Quar츠(Quartz), 사파이어(sapphire), 유리 등과 같은 다양한 기판이 사용될 수 있으며, 투명 기판을 사용할 경우 투명 태양전지의 제조가 가능하다.
- [0016] 상기 ZnO 박막층은 그 두께가 50 nm 이상 수십 um로 증착 가능하며, 100 nm 내지 150 nm 증착하여 소자를 제작할 수 있다.
- [0017] 본 발명은 또한 (a) 기판상에 p-형 탄소나노튜브 배열을 형성하는 단계; (b) 배열된 탄소나노튜브 양끝에 전극을 형성하는 단계; (c) 배열된 탄소나노튜브 위에 n-형 ZnO 박막층을 형성하는 단계; (d) 후열처리 하는 단계; 및 (e) 후열처리된 ZnO 박막층 위에 금속이 도핑된 ZnO 박막층 및 투명전극을 형성하는 단계를 포함하는 태양전지의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0018] 본 발명에서, 상기 기판은 투명 기판일 수 있으며, 투명 기판은 구체적으로 유리, Quar츠(quartz), 사파이어(sapphire) 등일 수 있으나, 이로 제한되지 않는다.
- [0019] 본 발명에서, 상기 단계 (b)의 금속은 Al, Cr, Au, Pd, ITO, IZO, AZO, GZO, ZTO, GIT 등과 같은 금속일 수 있으나, 이로 한정되지 않으며, 탄소나노튜브와 오믹컨택을 이룰 수 있는 금속이라면 모두 사용이 가능하다.
- [0020] 본 발명에서, 후열처리는 300 °C 내지 900 °C, 보다 구체적으로 400 °C 내지 600 °C 일 수 있다. 또한 후열처리 시 공기 분위기 중에서 수행될 수 있으며, 질소 분위기가 사용될 수 있다.

- [0021] 본 발명에서, 상기 단계 (e)의 금속으로는 Al, Ti, Pt, In, Ga, B, F 등과 같은 금속이 사용될 수 있으나, 이로 제한되지 않는다.
- [0022] 또한, ZnO에 Al, In, Ga, B, F 등을 도핑한 AZO(Al-doped ZnO), GZO(Ga-doped ZnO), IGZO(In:Ga doped ZnO), BZO(Boron-doped ZnO), FZO(Fluorine-doped ZnO) 등과 같은 투명전극을 사용할 경우 전도성을 높일 수 있고, 모빌리티(mobility) 또한 우수한 투명 태양전지의 제작이 가능하다.
- [0023] 본 발명은 또한 상기 방법으로 제조된 태양전지에 관한 것이다.
- [0024] 이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명한다.
- [0025] 도 3은 CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지의 측면면도이다. 도 3에 나타난 바와 같이, 본 발명의 태양전지는, 기판상에, p-형 반도체층인 탄소나노튜브 배열체층, 탄소나노튜브 배열체 층 양끝에 위치한 전극층, n-형 반도체층인 ZnO 박막층, Al이 도핑된 ZnO 박막층인 상부전극을 포함한다.
- [0026] 본 발명에서는 상기 기판으로서 어떤 기판을 사용하더라도 무방하나, 특히 투명 기판을 사용할 수 있다는 점이 장점이며, 유리, Quarz(quartz), 사파이어(Sapphire) 등이 사용될 수 있다. 상기 기판의 두께는 한정되지 않는다.
- [0027] 상기 기판상에 탄소나노튜브 필름을 도 1과 같이 직접 성장시키거나 도 2와 같이 트랜스퍼하는 방법을 통해 위치시킬 수 있으며, 상기 탄소나노튜브 배열체를 구성하는 탄소나노튜브의 길이는 수 μm 에서 수 mm까지 가능하다. 도 1은 탄소나노튜브 배열체를 Quarz 기판위에 성장시킨 FESEM 사진이며 탄소나노튜브의 길이가 100 μm 정도이다. 도 2는 Quarz 기판위에 성장시킨 탄소나노튜브 배열체를 Si 기판위에 트랜스퍼한 FESEM 사진이다. 기판과 상관없이 탄소나노튜브 배열체를 성장시킬 수 있으며, 또한 원하는 기판위에 트랜스퍼가 가능하다.
- [0028] 또한, 상기 탄소나노튜브 배열체 위에 펄스레이저 증착법(pulsed laser deposition, PLD) 또는 RF 스퍼터링, 화학적 증착법(chemical vapor deposition, CVD)을 통해 ZnO 박막층을 위치시킬 수 있다.
- [0029] 상기 ZnO 박막층은 공기중에서 후열처리 과정을 거치게 되는데, 이 때 후열처리는 300 $^{\circ}\text{C}$ 내지 900 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위, 보다 구체적으로 400 $^{\circ}\text{C}$ 내지 600 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 수행될 수 있다. 상기 후열처리 조건에 따라 ZnO 박막층이 가시광선 영역의 빛도 흡수하게 되는 것이 가능해 지기 때문에 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다. 상기 ZnO 박막층은 그 두께가 50 nm 이상 수십 μm 증착 가능하며, 보다 구체적으로 100 nm ~ 150 nm 일 수 있다.
- [0030] 상기 ZnO 박막층 위에 상부전극으로 사용되기 위한, 금속, 특히 Al이 도핑된 ZnO 박막을 증착시킬 수 있다. Al과 같이 전도성을 향상시킬 수 있는 금속을 ZnO 박막층에 도핑하면 태양전지의 전도성을 향상시킬 수 있고, 투명하기 때문에 투명 태양전지의 상부전극으로 사용될 수 있다는 장점이 있다.
- [0031] **실시예 1. CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지 제작 방법**
- [0032] CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지의 제조방법은 다음과 같으며, CNT/ZnO 이중접합 투명 태양전지의 단면도와 개략도는 도 3 및 4에 도시하였다:
- [0033] 1) 유리 혹은 quartz와 같이 투명한 기판 위에 CNT 필름을 직접 성장시키거나 트랜스퍼하는 방법 등을 통해 제작;
- [0034] 2) CNT 필름에 Au, Pd 등과 같은 금속전극을 제작;
- [0035] 3) CNT 필름 위에 PLD, Rf 스퍼터링, 혹은 화학적인 방법을 이용하여 ZnO 박막을 제작;
- [0036] 4) 공기 중에서 후열처리;
- [0037] 5) ZnO 박막 위에 상부전극으로 사용될 Al이 도핑된 ZnO박막을 증착시킴.
- [0038] Al이 도핑된 ZnO 박막은 전도성이 좋으며, 투명하기 때문에 투명 태양전지의 상부전극으로 사용될 수 있다.
- [0039] 구체적인 제조과정은 다음과 같다:

- [0040] 1) 유리 혹은 사파이어, 쿼츠 등과 같이 투명한 기판 위에 ZnO를 스퍼터링, PLD, 혹은 용액을 기반으로 한 화학적인 방법을 이용하여 ZnO 박막을 제작하였다.
- [0041] 2) 다른 기판에 잘 정렬된 탄소나노튜브를 위에서 제작한 ZnO 박막 위에 트랜스퍼 하였다.
- [0042] 3) ZnO 박막을 탄소나노튜브와 접합하는 부분만을 남기고, 묽은 염산용액을 이용하여 ZnO 박막을 에칭하였다.
- [0043] 4) 공기분위기에서 400 °C에서 5분 동안 후 열처리하였다.
- [0044] 5) 정렬된 탄소나노튜브 위에 ITO와 같은 투명전극을 증착하였다.
- [0045] 6) ZnO 박막 위에는 AZO, GZO 와 같은 투명전극을 증착하여 태양전지의 상부전극으로 사용하였다.
- [0046] **실험예**
- [0047] (1) 한가닥의 CNT와 ZnO 박막으로 이루어진 이중접합
- [0048] CNT/ZnO 이중접합의 특성을 조사하기 위해 도 5와 같이 한가닥의 단일벽 CNT와 ZnO 박막으로 이루어진 CNT/ZnO 이중접합을 200 nm 두께의 SiO₂ 박막이 성장된 Si 기판 위에 제작하였다. CNT는 화학적 증착법(chemical vapor deposition, CVD), ZnO 박막은 펄스레이저 증착법(pulsed laser deposition, PLD)으로 증착하였으며, CNT의 전극으로는 Cr/Pd, ZnO 박막의 전극으로는 Ti/Pt를 사용하였다.
- [0049] 도 7은 단일벽 CNT의 I-V 특성곡선이다. 거의 직선의 I-V 특성을 보이는데 이것은 CNT와 금속전극 간의 접합이 오믹(ohmic)하다는 것을 보여주는 결과이다. 삽입된 그림은 I-V_G 특성곡선이다. 고도로 도핑된(Highly doped) Si을 게이트 전압으로 사용하여 측정하였다. V_G가 증가할수록 전류가 감소하는 것으로 보아 CNT가 p-형 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.
- [0050] 도 8은 ZnO 박막의 I-V 특성곡선이다. 유사하게 직선의 I-V 특성이 측정되었다. 하지만 ZnO 박막의 I-V_G 특성곡선은 V_G가 증가할수록 전류가 따라서 증가하므로 ZnO 박막은 n-type이라 할 수 있다. 도 9은 Ti/Pt와 Cr/Pd 전극 간의 I-V 특성곡선, 즉 CNT/ZnO 이중접합의 I-V 특성곡선이다. 도 7과 8에 있는 I-V 특성곡선과는 달리 다이오드 특성이 관측되었다. 앞에서 CNT와 ZnO 박막 모두 금속전극과 오믹 컨택트(ohmic contact)임을 확인하였기 때문에 다이오드 형태의 곡선은 CNT와 ZnO의 p-n접합에 의해 나오는 것임을 알 수 있다.
- [0051] 도 10은 p-n 접합에 자외선을 쬔 경우, 광전류(photocurrent)가 생겨 전류가 증가하는 광전기적 특성을 보여주고 있다. 로그스케일로 바꿨을 경우 on/off ratio를 확인할 수 있었고, 자외선 아래에서 on/off ratio가 ~2.4*10³ 정도 나오는 것을 확인할 수 있으며, 이것은 CNT와 ZnO의 접합부분이 한가닥의 CNT의 두께에 의해 나노 스케일임을 감안하면 좋은 p-n 접합 다이오드라 하겠다.
- [0052] (2) 여러가닥의 CNT와 ZnO 박막으로 이루어진 이중접합
- [0053] 도 6에서 보는 것과 같이 한 가닥의 CNT와 ZnO 박막으로 이루어진 이중접합 소자의 경우 접합 면적이 매우 작기 때문에 광기전력효과(photovoltaic effect)를 관찰하기 어려웠다. 그래서, 접합면적을 넓히기 위해 도 12에서와 같이 Si 기판 위에 정렬된 여러가닥의 CNT를 길게 성장시키고, 그 위에 ZnO 박막을 증착하였다.
- [0054] 도 13은 이 소자의 I-V 특성곡선이다. dark 상태에서는 도 13에서와 같이 다이오드 특성이 보였으나 자외선을 조사하였을 때는 V=0 V에서 피니트 전류(finite current)가 관측되는 광기전력 효과를 보였다. 이는 CNT/ZnO 이중접합으로 태양전지를 제작할 수 있음을 보여주는 실험결과이다.
- [0055] (3) 후열처리 후 CNT/ZnO 이중접합의 특성 변화
- [0056] ZnO의 밴드갭이 크기 때문에 자외선을 조사해야만 광기전력(photovoltaic) 효과가 관찰되었다. 하지만 실제 태양광은 자외선 보다 가시광선 영역의 빛의 세기가 크기 때문에 효율적인 태양전지 제작을 위해서는 가시광선 영역에서 동작하는 태양전지가 바람직하다. 이를 위해 본 선행연구에서는 후 열처리를 통해 CNT/ZnO 이중접합이 가시광선 하에서도 광전류를 생성할 수 있음을 보였다.

[0057] 도 14는 후열처리 실험을 위해 제작된 소자의 개략도이다. 공기 분위기에서 열처리하면 CNT가 산소와 반응하여 끊어진다. 따라서 CNT가 산소와 접촉되는 것을 방지하기 위해 CNT 위에 SiO_x 를 증착하여 passivation하고, 400°C 에서 공기 중에서 5분간 열처리하였다.

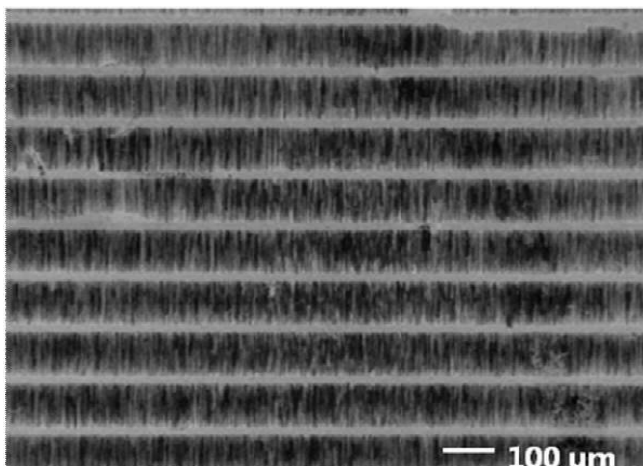
[0058] 도 15는 후열처리 후 측정한 I-V 특성곡선이다. 다이오드 특성이 측정되는 것으로 보아 CNT/ZnO 이중접합이 잘 형성되었음을 확인할 수 있다. 도 16는 자외선과 가시광선을 각각 조사한 상태에서 측정한 I-V 특성곡선이다. 자외선 하에서 뿐만 아니라 가시광선 하에서도 광전류가 증가하였다.

[0059] 결론

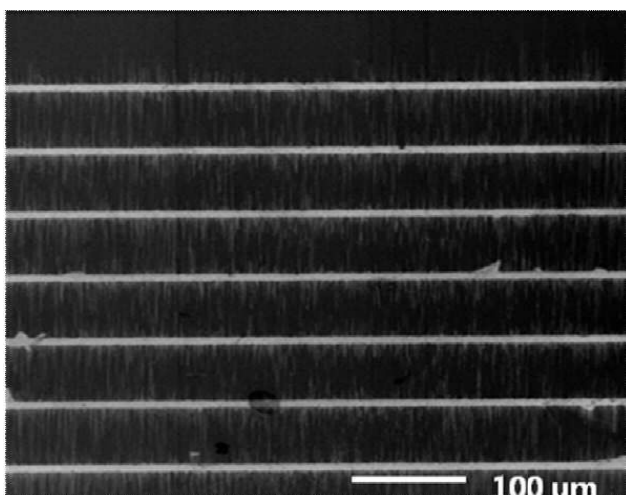
[0060] 상기 실험예를 통해 CNT/ZnO 이중접합을 이용하여 태양전지를 제작할 수 있음을 확인하였다. 실험예에서는 비록 Si 기판을 사용하였으나, 콰르츠 등과 같은 투명기관 위에 정렬된 CNT를 잘 성장시킬 수 있을 뿐 아니라 유리기관 등에 임프린팅(imprinting) 방법 등을 이용하여 CNT를 트랜스퍼할 수 있다. 따라서 투명기관 위에 CNT/ZnO 이중접합을 제작하여 투명 태양전지를 제작할 수 있다. 또한 CNT 박막과 ZnO 박막 모두 투명하므로 도 3과 4에서 ZnO 박막을 아래에 먼저 증착한 후 CNT를 그 위에 성장하거나 도 2와 같이 트랜스퍼 해도 비슷한 특성의 투명 태양전지를 제작할 수 있다.

도면

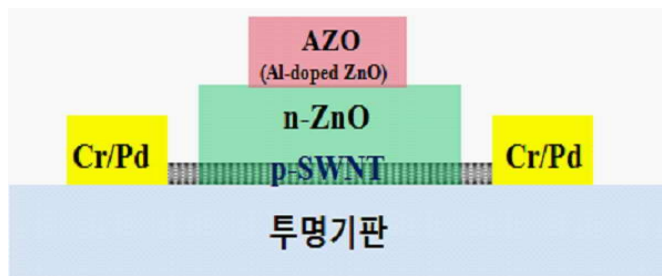
도면1



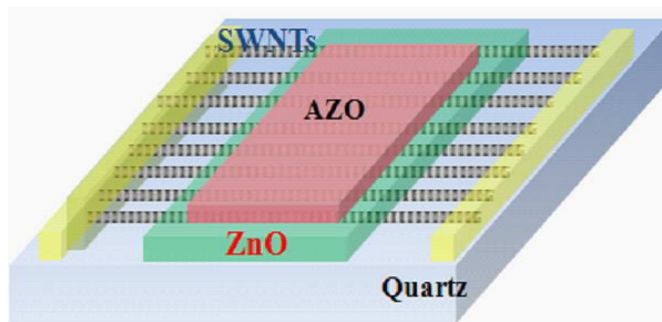
도면2



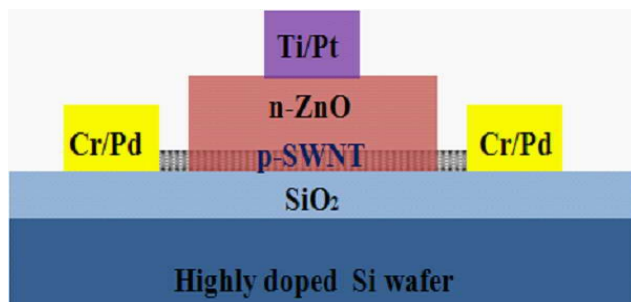
도면3



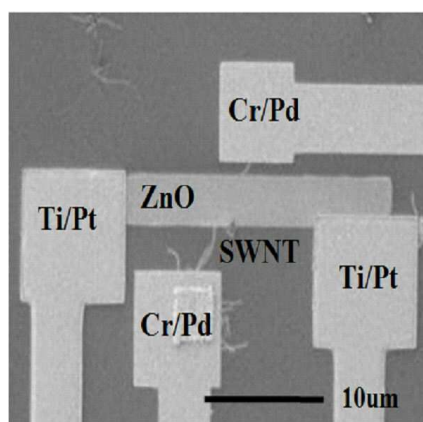
도면4



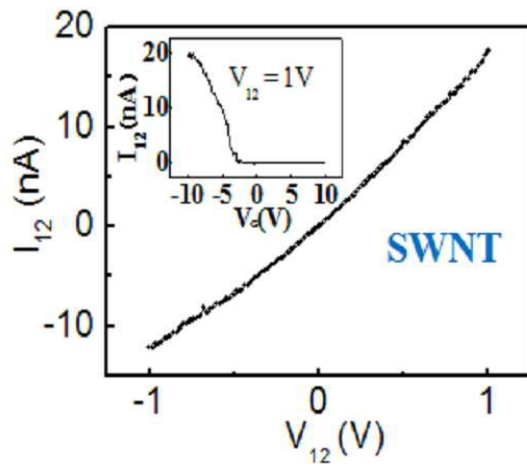
도면5



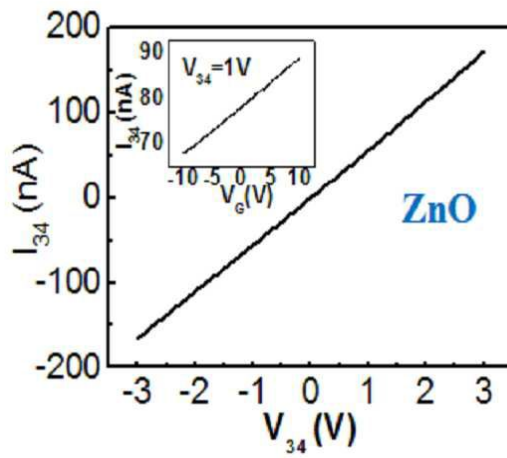
도면6



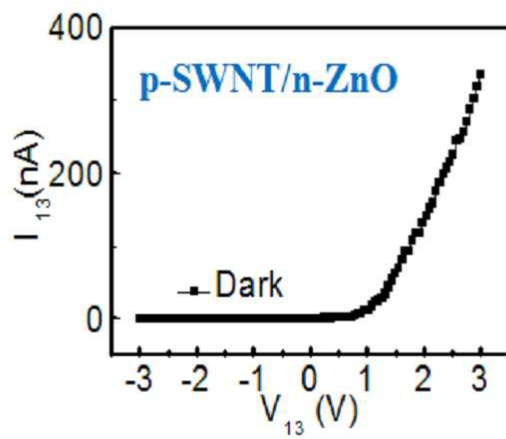
도면7



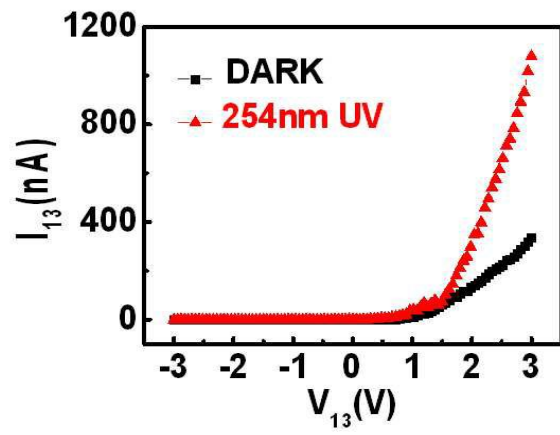
도면8



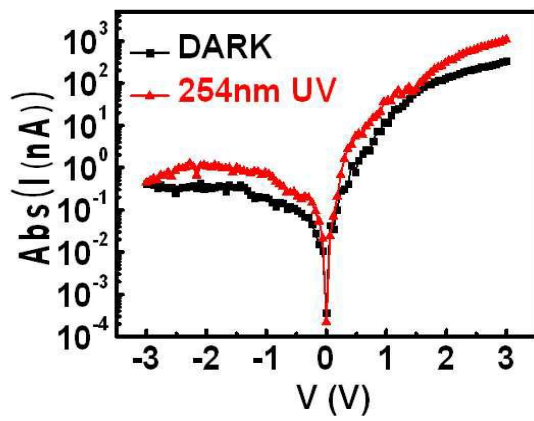
도면9



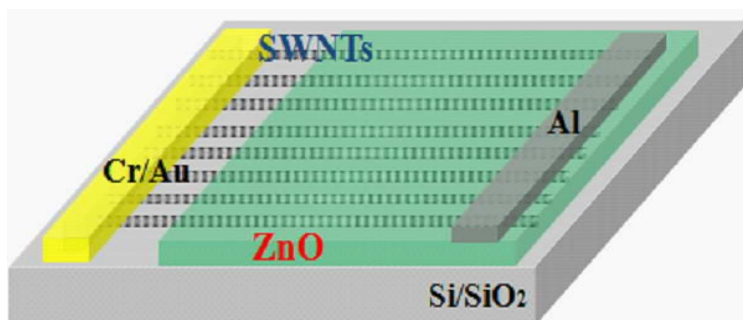
도면10



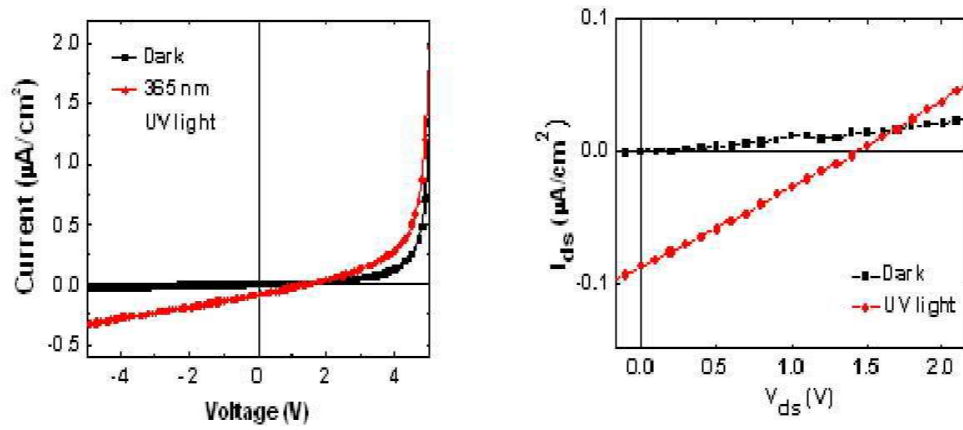
도면11



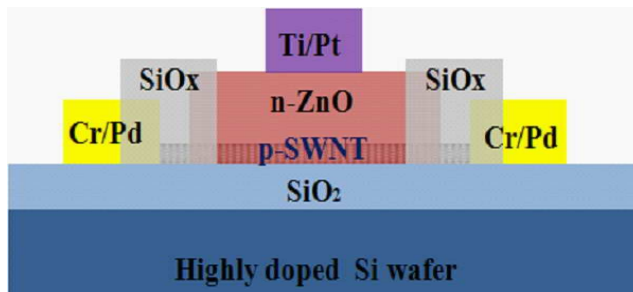
도면12



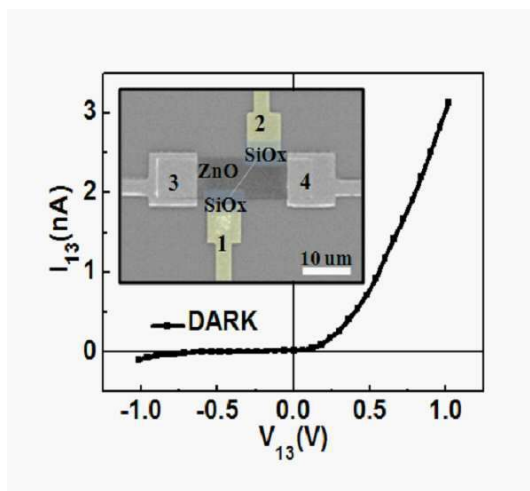
도면13



도면14



도면15



도면16

