

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0097646 (43) 공개일자 2014년08월07일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H01L 31/042 (2014.01) H01L 31/18 (2006.01)		(71) 출원인 조선대학교산학협력단 광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(21) 출원번호 10-2013-0009268		(72) 발명자 김남훈 광주 서구 발산로 36, 108동 1803호 (양동, 양동 휴먼시아)
(22) 출원일자 2013년01월28일 심사청구일자 2013년01월28일		박찬일 광주 서구 상무평화로 64, 102동 908호 (치평동, 라인동산아파트)
		(74) 대리인 이은철

전체 청구항 수 : 총 7 항

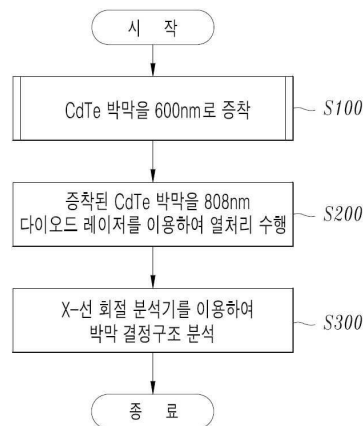
(54) 발명의 명칭 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법

(57) 요약

본 발명은 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법에 관한 것으로서, 연속 웨이브(CW) 808nm 레이저를 이용하여 CdTe 박막에 레이저 열처리를 수행함으로써, 입자 성장 및 박막의 결정을 개선하고, 다양한 레이저 출력에서 열처리를 진행함으로써, 이에 따른 구조 및 광학특성, 광투과율, 흡수계수, 결정크기 등을 분석하도록 함에 그 목적이 있다.

이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, (a) CdTe 타겟을 이용하여 CdTe 박막을 증착하는 과정; 및 (b) 다이오드 레이저를 이용하여, 증착된 CdTe 박막을 열처리 하는 과정; 을 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 04-021

부처명 교육과학기술부

연구사업명 지역혁신인력양성사업

연구과제명 집광형용 고효율 화합물박막태양전지 모듈 및 고정밀 태양광 추적장치 개발

기 여 율 1/1

주관기관 조선대학교 산학협력단

연구기간 2011.04.01 ~ 2014.03.31

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) CdTe 타겟을 이용하여 CdTe 박막을 증착하는 과정; 및
- (b) 다이오드 레이저를 이용하여, 증착된 CdTe 박막을 열처리 하는 과정; 을 포함하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 과정은,

(a-1) 기판에 마련된 CdTe 타겟에 프리 스퍼터링 수행하는 단계; 및

(a-2) 공정 매개변수에 따라 RF 마그네트론 스퍼터링을 수행하여, CdTe 박막을 증착하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 (a) 과정에서,

상기 기판은, 코닝(corning) 유리 기판인 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 (a) 과정에서,

프리 스퍼터링(pre-sputtering)을 1분 내지 10분간 수행하는 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 과정에서,

공급전류를 조절에 따라, 상기 CdTe 박막에 레이저 출력파워를 0.7W 내지 1.0W까지로 조정하여 열처리를 수행하는 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 과정에서,

갈바노 미러(Galvanometer Mirror) 회전 방식을 이용하여, 0.1초 내지 15초간 시료 표면을 레이저 스캐닝하며

열처리하는 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 과정 이후에,

(c) X-선 회절 분석기를 이용하여 박막 결정구조를 분석하는 과정; 을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 808nm 다이오드 레이저의 출력변화를 이용하여 CdTe 박막태양전지 흡수층 제작을 위한 열처리 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 박막에 레이저를 조사하는 방법과 관련해서는, 한국공개특허 제10-2004-0079563호(이하, '선행문헌') 외에 다수 출원 및 공개되어 있다.

[0003] 선행문헌에 따른 방법은, 상기 적어도 두 개 이상의 챔버에 동시에 상기 레이저빔을 각각 조사하여, 적어도 두 장 이상의 기판을 동시에 처리하는 것을 특징으로 한다.

[0004] 한편, 반도체에 대한 레이저 열처리는 짧은 공정시간과 가열시간, 열처리를 하고자 하는 지역에 대하여 정확한 제어가 가능한 장점을 가지고 있다. 레이저 열처리는 급속열처리 공정(RTP)에 비하여 매우 우수한 열처리 속도를 가지고 있으며(최대 108배 이상) 선택적인 열처리 공정을 제공할 수 있다.

[0005] 소자의 스케일링 다운은 무시할 정도의 확산 및 매우 낮은 비저항을 실현을 요구하고 있고 이를 위해서는 열처리 공정의 정확한 제어가 필요하다. 또한, 박막태양전지는 하부층 또는 다층 구조를 사용하기 때문에, 열처리 과정 중에 이중접합 구조에 대한 상호확산을 방지할 수 있는 선택적 열처리 공정이 필요로 한다.

[0006] CdTe는 II-VI족 화합물 반도체로서, 직접 밴드갭 에너지가 1.45~1.50eV이며, 높은 흡수계수와 유연성을 가지고 있어 대규모 상업화를 실행할 수 있기에 상당한 관심을 받고 있다.

[0007] 레이저 열처리 과정은 실리콘 태양전지의 결정과 효율성을 향상시킬 수 있는 결정립 성장을 위하여 제한적으로 수행되어져 왔다. 레이저를 박막 태양전지에 적용한 연구에 대한 보고는 극히 적어서 CdTe 박막의 레이저 도핑 처리 정도가 보고된 것이 전부이다.

[0008] 일반적으로 펄스 레이저(pulsed laser) 열처리는 격자의 손상을 제거하고 결정 질서를 회복하는 반면, 연속 웨이브(continuous wave, CW) 레이저를 이용한 열처리는 고체상의 재성장을 이루게 한다. 결정격자에 비균질한 열을 생성하기 위해서는 레이저의 광자에너지는 반도체의 밴드갭 에너지보다 높아야한다. 낮은 파장을 가진 레이저의 광자 에너지는 대부분 높은 흡수 계수와 가까운 표면에서 흡수되기 때문에 반도체의 깊은 부분까지 열에너지를 전달할 수 없다. 위의 요구사항을 고려하여 CdTe 박막의 레이저 열처리를 위한 레이저의 파장은 효과적인 열처리 공정을 위하여 825nm 이하가 되어야 하지만, CdTe 박막의 밴드갭 에너지에 근접해야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 감안하여 안출된 것으로, 연속 웨이브(CW) 808nm 레이저를 이용하여 CdTe 박막에 레이저 열처리를 수행함으로써, 입자 성장 및 박막의 결정을 개선하고, 다양한 레이저 출력에서 열처리를 진행함으로써, 이에 따른 구조 및 광학특성, 광투과율, 흡수계수, 결정크기 등을 분석하도록 함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법에 관한 것으로서, (a) CdTe 타겟을 이용하여 CdTe 박막을 증착하는 과정; 및 (b) 다이오드 레이저를 이용하여, 증착된 CdTe 박막을 열처리 하는 과정; 을 포함한다.
- [0011] 또한 상기 (a) 과정은, (a-1) 기판에 마련된 CdTe 타겟에 프리 스퍼터링 수행하는 단계; 및 (a-2) 공정 매개변수에 따라 RF 마그네트론 스퍼터링을 수행하여, CdTe 박막을 증착하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한 상기 (a) 과정에서, 상기 기판은, 코닝(corning) 유리 기판인 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한 상기 (a) 과정에서, 프리 스퍼터링(pre-sputtering)을 1분 내지 10분간 수행하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한 상기 (b) 과정에서, 공급전류를 조절에 따라, 상기 CdTe 박막에 레이저 출력파워를 0.7W 내지 1.0W까지로 조정하여 열처리를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한 상기 (b) 과정에서, 갈바노 미러(Galvanometer Mirror) 회전 방식을 이용하여, 0.1초 내지 15초간 시료 표면을 레이저 스캐닝하며 열처리하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 그리고 상기 (b) 과정 이후에, (c) X-선 회절 분석기를 이용하여 박막 결정구조를 분석하는 과정; 을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0017] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 연속 웨이브(continuous wave, CW) 808nm 다이오드 레이저의 출력변화를 이용하여 CdTe 박막의 레이저 열처리 공정을 수행함으로써, CdTe 박막의 C(111), H(110) 및 C(311)의 결정립이 성장하였고, 열처리의 결과 입자의 크기가 증가하고, 표면의 거칠기가 감소하는 효과가 있으며, 열처리 공정 후, 결정성이 향상되고, 흡광도가 개선되는 효과가 있다.
- [0018] 그리고 본 발명에 따르면, CdTe 박막의 밴드갭에너지에 적합한 808nm 파장의 다이오드 레이저를 사용하여 대면적 및 고속에 적용 가능한 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1 은 본 발명의 일실시예에 따른 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법에 관한 전체 흐름도.
- 도 2 는 본 발명의 일실시예에 따른 제 1 과정에 관한 세부 흐름도.
- 도 3 은 본 발명의 일실시예에 따른 1.95A에서 3.00A의 공급 전류에 해당하는 0.71W에서 1.00W에 이르기까지 다양한 출력 파워에서 레이저 열처리 전, 후 CdTe 박막의 XRD 패턴을 보이는 그래프.
- 도 4 는 본 발명의 일실시예에 따른 증착 직후 및 다양한 출력 파워로 레이저열처리 후 CdTe 박막의 RMS 거칠기 및 3D 이미지를 보이는 일례시도.
- 도 5 는 본 발명의 일실시예에 따른 파장에 따른 광투과율 및 다양한 레이저 출력 파워에서 열처리된 CdTe 박막의 가시광선 스펙트럼 영역에서 실험적으로 측정된 광투과율을 보이는 그래프.
- 도 6 은 본 발명의 일실시예에 따른 특정 파장에 따른 침투깊이와 흡수율 및 400nm-800nm의 가시광 스펙트럼 영역에서 평균 흡광도를 보이는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명의 구체적 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.
- [0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0022] 본 발명의 일실시예에 따른 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법에 관하여 도 1 내지 도 6 을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [0023] 도 1 은 본 발명의 일실시예에 따른 808nm 다이오드 레이저를 이용한 박막태양전지용 CdTe 박막의 열처리 방법

에 관한 전체 흐름도이며, 도 2 는 본 발명의 일실시예에 따른 제 1 과정(S100)에 관한 세부 흐름도이다.

- [0024] [제 1 과정] CdTe 박막 증착.
- [0025] CdTe 박막을 600nm로 증착한다(S100).
- [0026] 먼저, 2*2cm 코닝(corning) 유리 기판에 마련된 CdTe 타겟(99.9999% 순도, 2-inch 직경)에 프리 스퍼터링(pre-sputtering)을 3분간 수행한다(S110).
- [0027] 또한, 공정 매개변수에 따라 RF 마그네트론 스퍼터링을 수행하여, CdTe 박막을 600nm로 증착한다(S120).
- [0028] 이때, 공정 매개변수는 다음과 같다.
- [0029] 20sccm의 아르곤 기압, $1.0 * 10^{-6}$ Torr의 기압, 5.0cm의 기판 거리, 35와트(Watt)의 RF 스퍼터링 파워, 상온에서 6분간 $7.5 * 10^{-3}$ Torr의 챔버 내 진공도로 상온에서 6분간 스퍼터링 실시.
- [0030] [제 2 과정] CdTe 박막을 열처리.
- [0031] 증착된 CdTe 박막을 808nm 다이오드 레이저를 이용하여 열처리 수행한다(S200).
- [0032] 구체적으로, 공급전류를 조절에 따라, CdTe 박막에 레이저 출력파워를 0.7W 내지 1.0W까지로 조정하여 열처리를 수행하며, 갈바노 미러(Galvanometer Mirror) 회전 방식을 이용하여, 15초간 시료 표면을 약 667mm/s의 스캔 속도로 레이저 스캐닝하며 열처리하였다.
- [0033] 여기서, 파이버(fiber)에 연결한 레이저 다이오드는 1.5W의 최대 출력과 808 nm에서 Albers Laser GmbH 펌프 소스가 사용되었다. 파이버 코어의 직경은 0.22 NA와 105 μ m이다. 펌프 광은 무색의 크리스탈 렌즈(F = 60분의 40 mm)로 초점을 맞추고 있다. 크리스탈 이미징 펌프의 직경은 225 μ m이며, 쇼크랄스키(Czochralski) 방법을 사용하여 성장된 ND:GdVO₄ 크리스탈은 3.6 mm의 길이와 0.12 %의 Nd³⁺ 농도를 갖고 있었으며, 열전 냉각기(I_{Max}=4A와 V_{max}=9.8V)에 히트싱크에 장착되었다.
- [0034] [제 3 과정] 박막 결정구조 분석.
- [0035] X-선 회절 분석기(X-ray diffraction: XRD, Cu K α = 0.15406 nm, 40 kV, 30 mA)를 이용하여 박막 결정구조를 분석한다(S300).
- [0036] 회절 스펙트럼은 2 θ 의 10-80° 범위를 스캔하여 얻을 수 있었다. 열처리 전후 CdTe 박막의 광 특성은 UV-visible spectrophotometry를 사용하여 500~1000nm 파장 범위에서 조사하였고, 원자힘 현미경(Atomic force microscopy, AFM)을 비접촉모드로 사용하여 CdTe 결정의 표면 모폴로지(morphology)를 측정하였다.
- [0037] 도 3 은 1.95A에서 3.00A의 공급 전류에 해당하는 0.71W에서 1.00W에 이르기까지 다양한 출력 파워에서 레이저 열처리 전, 후 CdTe 박막의 XRD 패턴을 보여준다. 증착된 CdTe 박막에 대한 레이저 출력파워를 조절할 시에 출력 파워 > 1.00 W에서 육안에 의해 증착면이 파괴됨이 관찰되었기 때문에 출력 전력을 1.00W로 제한되었다. CdTe 박막은 제조 방법이 화학증착법(chemical bath deposition), 진공증착(thermal evaporation), 스퍼터링(sputtering) 등으로 다양하여도 상온에서 섬아연광(zinc-blende, 입방, C) 및 우르쯔광(wurtzite, 육방, H) 상들의 혼합 다결정으로 보고되었다.
- [0038] 도 3 과 같이 모든 표본의 XRD 패턴은 CdTe 기반의 피크를 제외한 피크는 발견되지 않았다. 상온에서 증착된 CdTe 박막은 C(111), H(110)와 C(311) 가 2 θ = 23.63° , 39.19° 와 46.35° 방향으로 주요 회절 피크를 보여주었다.
- [0039] 이것은 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 증착된 박막은 입방과 육방 상의 혼합물 다결정 구조를 가지고 있는 것으로 확인되었다. 레이저 열처리 공정을 수행한 CdTe 박막의 XRD 패턴은 CdTe 박막의 결정성 및 결정성장이 C(111), H(110)와 C(311) 방향으로 성장하는 것을 보여준다. 레이저열처리 전후의 CdTe 박막에서 C(200)의 2 θ = 25.09° 와 H(103)의 2 θ = 42.55° XRD 피크는 0.80W 미만의 낮은 출력 또는 1.00W의 높은 출력으로 레

이저열처리를 수행한 시료에서 관찰되었다. 반면 레이저출력 0.88W에서 0.95W로 레이저 열 처리한 시료에서는 해당 피크가 관찰되지 않았다.

[0040] 도 3 에 삽입된 그림은 C(111) 회절 피크의 FWHM(full width at half maximum) 및 평균 결정립 크기를 나타낸다. 각 CdTe 박막의 결정립 평균 크기는 C(111) 회절 피크의 FWHM을 이용하여 $D = 0.94\lambda / \omega \cos\theta$ 의 Debye-Scherrer 공식을 사용하여 계산한다. 이때, λ 는 K α 방사선($\lambda = 0.15406$ nm), ω 는 C의 회절 피크 θ 에 해당하는 각도이다. C(111) 피크의 FWHM은 삽입 그림에 도시된 바와 같이 레이저 출력이 0.71W에서 0.91W로 증가할 때에 감소하고, 이는 CdTe 박막이 C(111) 면을 따라서 결정립 크기가 증가하고 또 결정성이 향상됨을 나타낸다. 증착 직후CdTe 박막의 평균 입자 크기는 약 27.28nm 이었고, 0.91W의 레이저출력에 의해 레이저열처리 수행한 CdTe 박막의 평균 결정립 크기는 59.66nm으로 증가하였다.

[0041] 이는 0.91W 이상의 레이저출력에서는 변형(strain)과 전위(dislocation) 밀도의 감소에 의한 격자 결함의 정도가 감소되었기 때문에 CdTe 박막의 표면 품질 저하가 발생하는 것을 의미한다.

[0042] CdTe 박막 내에서 작은 결정립이 보다 큰 결정립으로 합체되는 결정학적인 재배열(crystallographic rearrangement)이 열처리 온도에 좌우되기 때문에 일반적으로 FWHM과 결정립 크기는 열처리 온도에 영향을 받는다. 이는 전형적인 열처리 공정에서 열처리 온도를 조절하는 것과 유사하게 레이저열처리에서는 출력파워가 표면 온도를 제어하는 적절한 인자로 사용될 수 있음을 제시한다.

[0043] 이러한 결과들은 CdTe 박막의 표면 morphologies의 AFM 측정과 일치한다.

[0044] 도 4 는 증착 직후 및 다양한 출력 파워로 레이저열처리 후 CdTe 박막의 RMS 거칠기 및 3D 이미지를 나타낸다. 레이저열처리가 적용되었을 때에 낮은 표면 거칠기가 명확히 관찰된다. 표면 거칠기는 다결정 박막의 결정립 크기에 반비례한다. 표면 거칠기는 감소하다가 출력 파워 0.91W에서 최소값을 보이고 다시 0.91W 이상에서 증가하는 경향을 보인다.

[0045] 이는 도 3 의 삽도(插圖)에 표시된 결정립 크기의 경향성에 반비례하는 것을 보여주고 있다. 이러한 향상된 표면 거칠기는 재결합중심(recombination center)로 동작하는 결정립계(grain boundary)의 감소와 함께 태양전지 응용에서 전기 특성 향상을 위해 필요하다. 도 4 의 AFM 3D 이미지들은 CdTe 박막의 결정성이 표면 결정핵들의 밀도가 낮은 결과 결정성이 향상되어지는 등 표면 결정핵형성과 관계되어 있음을 보여준다. 결정핵의 밀도 감소는 0.91W의 출력 파워에서의 CdTe 박막의 결정성을 향상시키는 결과를 나타내게 했다.

[0046] 도 5 의 삽도(插圖)는 다양한 레이저 출력 파워에서 열처리된 CdTe 박막의 가시광선 스펙트럼 영역에서 실험적으로 측정된 광투과율을 나타낸다. 증착 직후 및 열처리 후 CdTe 박막은 모두 레이저열처리 여부에 관계없이 스펙트럼 400-800nm의 파장 범위에서 '0' 값으로 수렴하기 때문에 가시광선 스펙트럼 영역에 걸쳐 상당한 흡수를 보이고 있다. 흡수경계는 Burstein-Moss (B-M) 이동으로 알려져 있듯이 레이저 출력 증가에 따라 높은 파장대로 이동하였다. B-M 이동은 태양광 방출 스펙트럼에서 투과되는 파장을 최소화 시킬 수 있기 때문에 CdTe 박막을 포함하여 이중접합구조 박막 태양전지의 광 흡수층으로의 사용에 유리한 점이 있다. 모든 시료의 광투과율은 약 800nm의 범위에서 급격히 증가했고, 이는 본 실험의 CdTe 박막들은 1.4-1.5 eV의 광밴드갭에너지를 가지고 있다는 것을 의미한다.

[0047] 동일한 두께(600 nm)를 가지는 CdTe 박막의 광밴드갭에너지를 구하기 위하여 $E_g = hc/\lambda$ 를 사용하였고, h 는 플랑크의 상수(4.135667×10^{-15} eVs), c 는 광속(3×10^8 m/s) 및 λ 는 흡수시점의 파장(nm)이다. 증착 직후 및 0.71W, 0.80W, 0.88W, 0.91W, 0.95W 및 1.00W 등의 레이저 출력 파워에 따른 레이저 열 처리 후 CdTe 박막의 광밴드갭 에너지는 각각 1.471eV, 1.471eV, 1.464eV, 1.434eV, 1.439eV, 1.416eV 및 1.429eV로 나타났다. 광밴드갭에너지는 0.71W의 낮은 출력 파워에서의 레이저열처리 시료에서는 그 값을 유지하다가 레이저의 낮은 출력 파워 범위에서 급격하게 감소한 이후 높은 출력 파워에서 다소 증가하였다.

[0048] 이러한 현상은 낮은 출력 파워에서 레이저열처리 시에 흡수 경계를 서로 반대 방향으로 이동시키려하는 결정성 증가와 진성 결함의 감소가 동시에 일어나는 것에 기인한다. 레이저열처리 시에 0.71W의 낮은 출력 파워에서 결정성의 향상과 함께 결정립계, 전위, 적층결함 등의 진성 결함들의 감소가 발생하게 되어서 광밴드갭에너지의 감소가 발생하지 못하게 된 것이다. 하지만, 높은 출력 파워에서는 진성 결함이 매우 낮기 때문에 결정성의 증가가 지배적인 효과가 되며, 0.80W에서 0.95W로 출력 파워가 증가할 때에 광밴드갭에너지가 급격히 감소한 이후

로 설명된다. 이러한 감소된 광밴드갭에너지는 낮은 출력 파워에서 레이저열처리한 시료와 비교하여 보다 넓은 파장 범위에서 보다 효율적인 광의 확보를 가능하게 한다. 증착 직후 및 레이저열처리 수행한 CdTe 박막의 광밴드갭에너지는 도 5 에서 보듯이 $(\alpha h\nu)^2$ 의 Tauc 플롯 vs. 광자에너지($h\nu$)에서 각 곡선 에너지 축의 선형 영역에 외삽법을 통해서도 도출하였고, 이 때 α 는 흡수 계수, H 는 플랑크상수, ν 는 입사광의 주파수이다. 도출된 광밴드갭에너지는 식에 의해 산출된 값과 일치함을 확인할 수 있다. Ramana 등은 결정립의 감소는 매우 작은 입자, 결정립계, 결함 등에서 발생하는 전위장벽 및 자유캐리어 농도가 커지기 때문에 광밴드갭에너지의 증가를 야기하게 된다고 설명하고 있다. 침투깊이(Γ)는 특정 파장의 입사광이 입사 시의 37%(1/e) 감소하는 정도까지 CdTe 박막 표면으로부터 얼마나 깊이 흡수되지 않고 침투할 수 있는가를 나타내는 측정값이다. 이는 도 6 에서 보이듯 흡수율(absorption coefficient, α)의 역수($\Gamma = 1 / \alpha$)로 설명할 수 있다. 흡수율은 높은 흡수 영역에서 Beer-Lambert 법을 사용하여 $\alpha(\nu) = (2.303 / D) A$ 와 같이 계산할 수 있으며, d 와 A 는 각각 박막의 두께와 흡광도(absorbance)이다. 본 발명에서 모든 침투깊이는 400nm-800nm 스펙트럼 전 영역에서 325nm 이하로서 도 6 의 우측 축에 도시한 것과 같이 이전 연구에서 $1\mu\text{m}$ ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$)에 근접한 값이 보고된 것에 비해 CdTe 박막 표면에 보다 가까운 값이다.

[0049] 침투깊이는 레이저 출력 파워에 따라 크게 변경되지는 않았다. 350nm-450nm 스펙트럼 영역의 입사광은 도 3 에서 결정성이 좋지 않았던 0.80W 및 1.00W의 출력 파워로 레이저열처리 수행한 CdTe 박막의 표면으로부터 70nm까지 침투하였다. 0.88W 및 0.95W의 출력 파워로 레이저열처리 수행한 CdTe 박막의 경우에 향상된 결정성을 보였고 동일한 파장 범위에서 30nm 범위 내에서 입사광을 흡수하였다. 도 3 과 도 4 에서 볼 수 있듯이 CdTe 박막은 결정성이 좋지 않을수록 더욱 작은 결정립 크기를 가지고 더욱 큰 표면 거칠기를 가지게 되어 근자외선(near-UV) 스펙트럼 영역에서 표면과 연관된 산란을 야기하게 되는 것이다.

[0050] 따라서, 0.80W 및 1.00W의 출력 파워로 레이저열처리를 수행한 CdTe 박막은 표면과 연관된 산란 때문에 350nm-450nm 영역의 근자외선 스펙트럼 광자들을 잘 흡수하지 못하게 된 것이다.

[0051] 증착 직후 및 다양한 레이저 출력 파워에 따른 레이저열처리 후의 CdTe 박막의 특정 파장에서의 흡광도를 $A = -\log T = \log I_0/I$ 의 공식을 사용하여 조사하였고, A 는 흡광도, T 는 광투과도, I_0 는 침투 입사광의 강도, I 는 투과된 광의 강도이다. 도 6 의 삽도는 400nm-800nm의 가시광 스펙트럼 영역에서 평균 흡광도를 나타낸다. 증착 직후의 CdTe 박막의 경우에 평균 흡광도는 약 2.15로서 이는 가시광 영역의 입사광 중 약 99.0%-99.5%가 600nm 두께의 CdTe 박막에 의해서 흡수가 되어질 수 있음을 의미한다. 0.80W 및 1.00W의 출력 파워로 레이저열처리 수행한 CdTe 박막의 경우에 평균 흡광도가 각각 1.93 및 2.06으로써 이는 동일한 파장 범위에서 98.8%-99.1%의 입사광이 흡수되어지는 것을 의미한다.

[0052] 최대 평균 흡광도는 2.46으로서 레이저 출력 파워 0.91W에서 확보하였으며 이는 99.5%-99.9%의 가시광 영역 입사광이 동일한 600nm 두께의 CdTe 박막에 의해서 흡수되어질 수 있음을 의미한다. 향상된 결정성이 결정립 크기를 더욱 크게하고, 낮은 표면 거칠기와 결정립계 및 결함이 개선되게 됨에 따라서 표면과 연관된 산란이 줄어들게 되고, 폭넓은 광흡수 영역에 따른 광밴드갭에너지의 감소를 야기하게 된다. 결국 CdTe 박막의 흡광도는 0.91W의 출력 파워에서 레이저열처리에 의해 향상되어지게 된다.

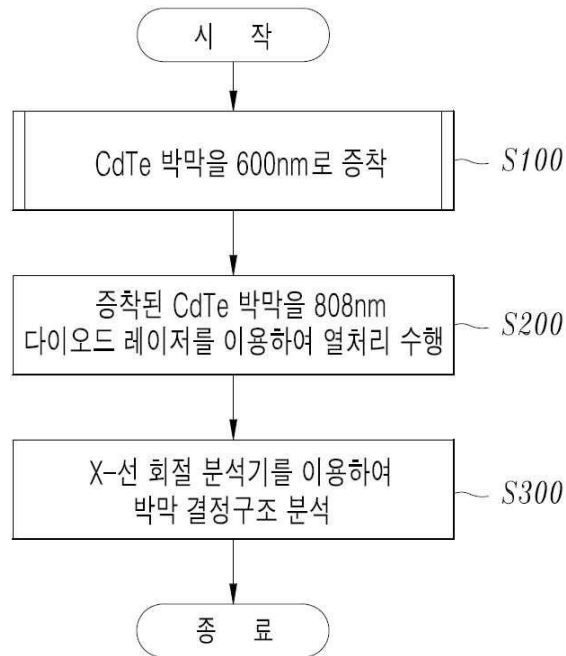
[0053] 지금까지 상술한 바와 같은 본 발명은, CdTe 박막의 결정 성장을 위한 레이저열처리 공정을 808nm 다이오드 레이저를 사용하여 다양한 출력 파워에서 조사하였다. 레이저열처리 공정을 수행한 CdTe 박막의 결정립은 C(111), H(110) 및 C(311) 면의 방향으로 성장하였다. 증착 직후 약 27.28nm의 평균 결정립 크기였던 CdTe 박막은 0.91W의 출력 파워로 레이저열처리 수행한 시료에서는 59.66nm의 최대값으로 증가하였다. 레이저열처리 후에 감소된 표면 거칠기와 향상된 결정립 크기를 확인할 수 있었다. CdTe 박막의 광밴드갭에너지는 결정립 크기와 직접적인 연관성이 있었으며, 낮은 출력 파워에서 급격히 감소하였다가 이후 높은 출력 파워에서 서서히 증가하는 경향성을 보였다. 0.80W 및 1.00W의 출력 파워로 레이저열처리를 수행한 CdTe 박막은 결정성이 좋지 않았으며 근자외선 영역에서 표면과 연관된 산란 때문에 광을 잘 흡수할 수 없었다. 레이저열처리를 통하여 결정성이 향상된 CdTe 박막은 폭넓은 스펙트럼 영역에서 표면과 연관된 산란없이 광밴드갭에너지를 감소시켰다. 0.91W의 출력 파워의 레이저열처리 공정 조건은 CdTe 박막의 흡광도를 가시광 스펙트럼 영역에서 99.5%-99.9%의 최대치로 향상시켰다.

[0054]

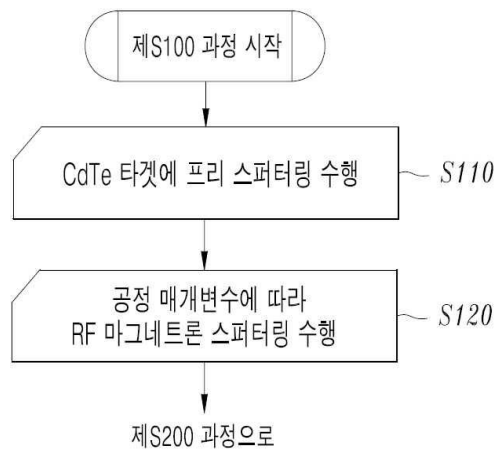
이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

도면

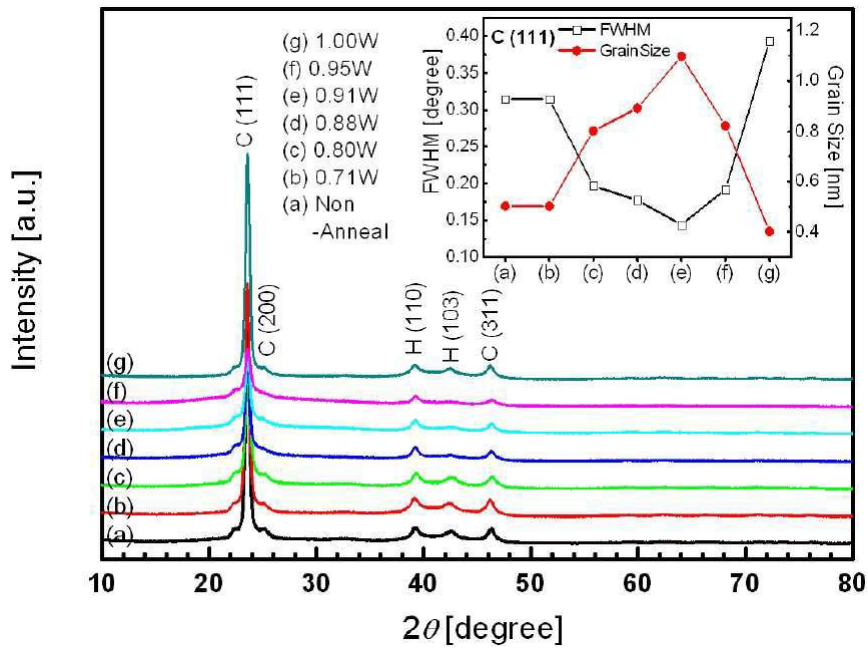
도면1



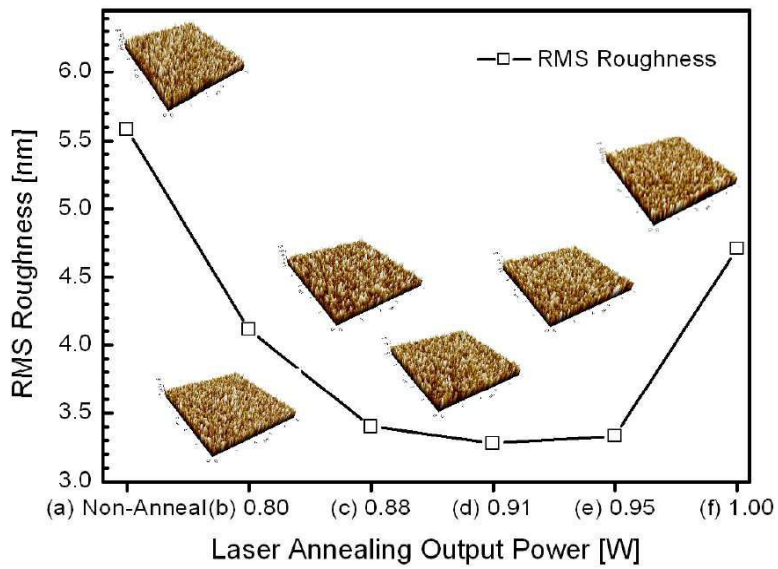
도면2



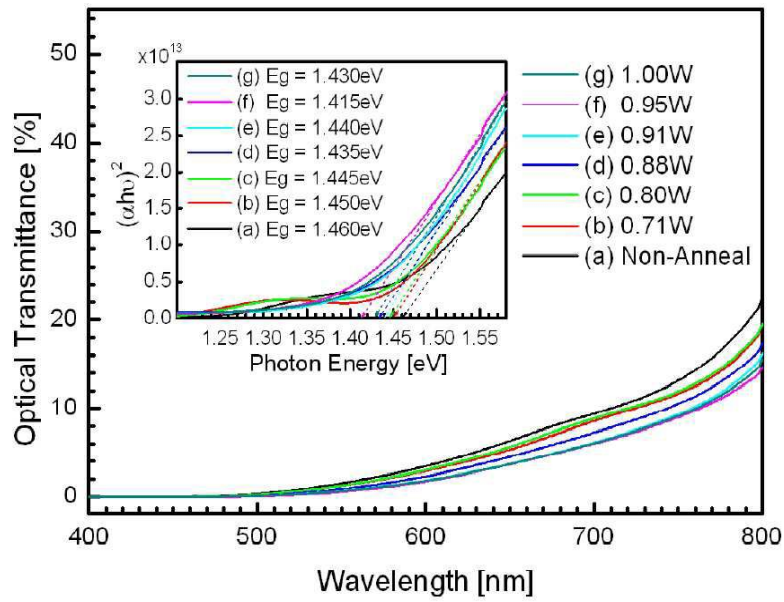
도면3



도면4



도면5



도면6

