(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0081454
(43) 공개일자 2010년07월15일

(51) Int. Cl.
H01L 21/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0000694
(22) 출원일자 2009년01월06일
심사청구일자 2009년01월06일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
조남희
인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 신소재공학부
심재현
인천광역시 남구 용현동 인하대학교 세라믹공학과
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 6 항

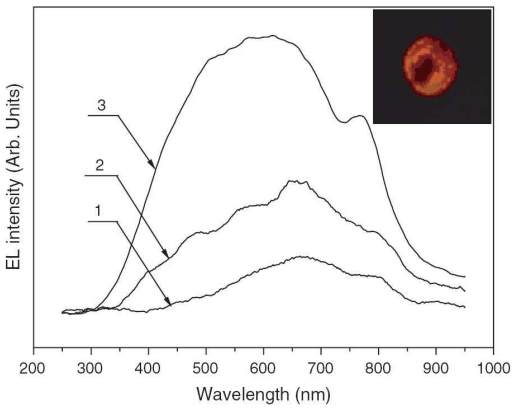
(54) 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 나노결정 실리콘 박막

(57) 요 약

본 발명은 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 나노결정 실리콘 박막에 관한 것으로, 구체적으로는 타겟물질로 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 동시에 사용하여 실리콘 박막에 증착시키는 단계(단계 1); 및 상기 단계 1의 증착된 실리콘 박막을 열처리하여 나노결정을 형성시키는 단계(단계 2); 를 포함하여 이루어지는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 제조방법은 실리콘 타겟에 알루미늄 칩을 위치시켜 두 물질을 동시에 실리콘 웨이퍼에 증착시켜 알루미늄을 포함하는 비정질 실리콘 박막을 제조한 후, 열처리를 통하여 비정질 실리콘 박막내 나노결정 실리콘의 크기를 조절하여 광학적, 화학적 특성을 용이하게 조절할 할 수 있다. 따라서 종래의 장치를 그대로 이용하여 나노 스케일의 크기를 가지는 단일 실리콘 집적 소자, 실리콘 기반 광소자 및 광전소자의 개발을 가능하게 하며, 이와 관련된 차세대 반도체, 디스플레이, 지능형 로봇 등 실리콘 차세대 기술에 유용하게 사용할 수 있다.

대 표 도 - 도10



특허청구의 범위

청구항 1

타겟물질로 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 사용하여 실리콘 웨이퍼에 박막을 증착시키는 단계(단계 1); 및

상기 단계 1의 웨이퍼상에 증착된 박막을 열처리하여 나노결정을 형성시키는 단계(단계 2);

를 포함하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 실리콘 나노결정은 1 ~ 20 ㎚인 것을 특징으로 하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 단계 1의 알루미늄 칩은 실리콘 타겟에 대하여 2.5 ~ 10 중량%로 사용되는 것을 특징으로 하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 열처리는 400 ~ 1200 ℃에서 수행되는 것을 특징으로 하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 열처리는 30 ~ 90 분 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법.

청구항 6

제1항내지 제5항 중 어느 한 항의 방법으로 제조된 나노결정 실리콘 박막에 있어서, 나노결정 크기는 1 ~ 10 ㎚이고, 결정질 비율은 1 ~ 30 %인 나노결정 실리콘 박막.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 나노결정 실리콘 박막에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 실리콘 반도체는 가시광 영역에서 발광 특성을 갖지 못하며, 광학적 특성을 제어하기가 용이하지 않다. 그러나 실리콘 반도체에서 실리콘 입자를 나노크기의 구조로 조절하여 발광 특성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 가시광 영역에서 발광 파장을 조절할 수 있도록 하는 연구가 주목을 받고 있다.

[0003] 최근에는 반도체 소자로 개발된 반도체레이저, 광검출기, 광도파로, 광스위치 소자, 광증폭기 등의 소자를 하나의 칩에 집적화하려는 시도가 진행되고 있다. 이에 따라, 고도의 집적화 기술이 축적되어 있는 실리콘 메모리

집적기술을 광전집적기술에 적용시키려는 연구가 진행되고 있다.

[0004] 그러나, 벌크실리콘(bulk silicon)은 간접천이형 반도체로서, 종래의 광전집적기술에 사용되던 도핑된 갈륨아세나이드(GaAs), 인듐포스포러스(InP) 등이 직접천이(direct transition)하여 천이된 모든 전자가 빛으로 전환되는 것과는 달리, 과열과 진동에의한 수평천이가 포함되어 있어서 상온에서 거의 발광특성을 구현할 수 없기 때문에 실리콘 메모리 집적기술을 이용하여 집적하여도, 발광효율이 떨어지는 문제가 있다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기위해, 나노결정 실리콘을 제조하여 광전집적소자에 사용하는 연구가 Canham 그룹에 의해 발표되었다[Appl. Phys. Lett., 57, 1046(1990)]. 상기 연구에의하면 나노결정 실리콘은 600 ~ 800 nm 파장에서 발광 현상을 나타내며, 주된 요인으로는 양자 제한 효과(QCE, Quantum confinement effect)를 들고 있다.

[0006] 벌크실리콘이 나노결정 실리콘으로 크기가 작아짐에 따라, 페르미 파장(페르미 준위에 해당하는 파장)이 물질의 실제 크기와 유사하게 된다. 이로 인해 실리콘에 존재하는 전자는 저차원의 특성과 이방성질이 나타나 전자의 파동성이 두드러지게 되고 공간적으로 제한된 운동을 하게 되고 경계되어 에너지 준위가 불연속적으로되는 양자제한효과가 나타난다. QCE는 나노결정의 크기가 작을수록 더 커지는 경향이 있으며, 결정의 크기가 2 nm인 경우 에너지 밴드갭이 2.7 eV 이상까지 증가하고, 광전이율도 벌크실리콘에 비하여 크게 증가한다고 보고되었다[Phys.Rev.B, 48, 7(1993)]. 특히, 광발광(PL, Photoluminescence)은 5 nm 이하의 나노결정 실리콘에서 관찰되며, 이 또한 QCE에 의한 요인이 우세하여 나노결정크기와 비정질 실리콘 박막내 결정질 비율은 PL특성에 영향을 미치는 주된 요인이 된다.

[0007] 이와 같이, 비정질의 실리콘으로부터 나노결정 실리콘을 형성하는 기술은 고집적회로 반도체, 정보저장매체, 디스플레이, 바이오 칩, 광학소자 등의 제조에 있어서 중요한 기술로 인식되고 있다. 종래의 나노결정 실리콘 광학소자의 박막은 전기화학적 산화법, 플라즈마 화학기상 증착법, 스퍼터링, 이온주입법 등과 같은 방법에 의해 제조되었다. 그러나, 이러한 방법들은 나노결정의 크기 및 위치를 정밀하게 조절하기 어려운 문제가 있다.

[0008] 미국특허출원 제2005-0139445호는 비정질 실리콘을 결정화시키는 촉매 역할을 하는 금속이온을 비정질 실리콘에 도핑한 후, 레이저를 조사하여 결정화시키는 방법을 개시하고 있다. 또한, 일본공개특허 제2000-021773호는 400 ℃ 이상의 온도에서 SiO_2 기판에 전자선을 조사하여 결정화하는 방법을 개시하고 있다. 상기 특허들는 비정질 실리콘을 결정화하기 위한 방법을 개시하고 있으나, 나노결정을 형성하기 위해서 높은 온도로 가열해야 하는 문제가 있다.

[0009] 최근 본 발명자들은 알루미늄 유도 결정화방법(AIC, Aluminium-induced crystallization)을 이용하여 비정질 실리콘을 결정화시키는 방법을 발표하였다[Thin Solid Films 503,55(2006)]. 상기 방법은 비정질에서 결정질로 상이 변하는 동안 실리콘 박막내에 실리콘이 알루미늄으로 치환되거나, 또는 그 반대의 경우를 유도하는 방법으로, 상기 알루미늄은 다수의 실리콘-실리콘(Si-Si)결합을 끊으면서 계면에서 실리콘층으로 이동하여, 실리콘 결정을 형성시키는 방법이다. 그러나, 상기 방법은 AIC로 형성된 나노결정 실리콘의 광학적, 화학적 특성을 제어하지 못하는 문제가 있다.

[0010] 이에, 본 발명자들은 실리콘 타겟에 알루미늄 칩을 위치시켜 두 물질을 실리콘 박막에 증착시켜 알루미늄을 포함하는 비정질 실리콘 박막을 제조한 후, 이를 질소분위기 하에서 열처리하여 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막을 제조함으로써 나노결정 실리콘의 광학적, 화학적, 물리적 특성을 제어할 수 있음을 알아내고 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0011] 본 발명의 목적은 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조방법을 제공하는데 있다

[0012] 본 발명의 다른 목적은 상기 방법으로 제조되어, 광학적, 화학적 및 나노결정크기가 제어된 나노결정 실리콘 박막을 제공하는데 있다.

과제 해결수단

[0013] 상기의 목적을 해결하기 위하여, 본 발명은 타겟물질로 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 사용하여 실리콘 웨이퍼에 박막을 증착시키는 단계(단계 1); 및 상기 단계 1의 웨이퍼상에 증착된 박막을 열처리하여 나노결정을 형성시키는 단계(단계 2); 를 포함하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법을 제공한다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 방법으로 제조되는, 광학적, 화학적 및 나노결정크기가 조절되는 나노결정 실리콘 박막을 제공한다.

효 과

[0015] 본 발명에 따른 나노결정 실리콘 박막의 제조방법은 실리콘 타겟에 알루미늄 칩을 위치시키고 두 물질을 동시에 실리콘 박막에 증착시켜 알루미늄을 포함하는 비정질 실리콘 박막을 제조한 후, 열처리를 통하여 나노결정의 크기를 조절하여 광학적, 화학적 특성을 용이하게 조절할 할 수 있다. 따라서 종래의 장치를 그대로 이용하여 나노 스케일의 크기를 갖는 단일 실리콘 집적 소자, 실리콘 기반 광소자 , 광전소자 등의 개발을 가능하게 하며, 이와 관련된 차세대 반도체, 디스플레이, 지능형 로봇 등 실리콘 차세대 기술에 유용하게 사용할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명을 상세히 설명한다.

[0017] 본 발명은 타겟물질로 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 사용하여 실리콘 웨이퍼에 박막을 증착시키는 단계(단계 1); 및 상기 단계 1의 웨이퍼상에 증착된 박막을 열처리하여 나노결정을 형성시키는 단계(단계 2)를 포함하는 나노결정 실리콘 박막의 제조방법을 제공한다.

[0018] 본 발명에 따른 제조방법에 있어서, 상기 단계 1은 타겟물질로 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 동시에 사용하여 실리콘 박막에 증착시키는 단계로 실리콘 나노결정을 유도할 알루미늄을 실리콘 타겟에 위치시킨 후, 한번의 스퍼터링으로 실리콘 박막에 비정질 실리콘과 알루미늄을 동시에 증착시키는 단계이다.

[0019] 본 발명은 실리콘이 비정질에서 결정질로 상이 변하는 동안, 상기 알루미늄은 다수의 실리콘-실리콘(Si-Si)결합을 끊으면서 계면에서 실리콘층으로 이동하여 비정질 실리콘이 나노결정을 용이하게 형성할 수 있도록 한다.

[0020] 상기 단계 1은 실리콘 웨이퍼 상에서 알루미늄 칩을 실리콘 타겟 위에 배치시킨 후 동시에 스퍼터링하여 수행될 수 있다. 상기 스퍼터링 방식은 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 사용하는 것이 바람직하다.

[0021] 이때, 상기 단계 1의 알루미늄 칩은 실리콘 타겟에 대하여 2.5 ~ 10.0 중량%로 사용되는 것이 바람직하다.

[0022] 상기 알루미늄 칩이 실리콘 타겟에 대하여 2.5 중량% 미만이면, 실리콘의 나노결정형성이 이루어지지 않는 문제가 있고, 10.0 중량%를 초과하면 박막내 실리콘 다결정 비율이 과도하게 증가하는 문제가 있다.

[0023] 본 발명에 따른 제조방법에 있어서, 상기 단계 2는 상기 단계 1의 증착된 실리콘 박막을 열처리하여 나노결정을 형성시키는 단계이다.

[0024] 상기 단계 1에서 증착된 비정질 실리콘에 실리콘이 결정질로 변할 수 있는 충분한 에너지를 가하는 단계로 질소 등의 비활성기체하에 상기 단계 1의 알루미늄을 포함하는 비정질 실리콘 박막을 위치시킨 후, 400 ~ 1200 ℃의 온도범위로 열을 가할 수 있다.

[0025] 상기 온도가 400 ℃ 미만이면, 나노결정 실리콘 박막이 형성되지 않는 문제가 있고, 1200 ℃를 초과하면 나노결정의 크기가 양자 제한 효과(QCE)를 나타내기 어려울 정도로 너무 커져, 광발광, 전계발광 등의 광학적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0026] 나아가, 상기 열처리는 30 ~ 90 분 동안 수행하는 것이 바람직하다. 상기 열처리 시간이 30 분 미만이면 나노결정 실리콘 박막이 형성되지 않는 문제가 있고, 90 분을 초과하면 나노결정의 크기가 양자 제한 효과(QCE)를 나타내기 어려울 정도로 너무 커져, 광학적, 화학적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0027] 또한, 본 발명은 상기 방법으로 제조되는, 나노결정 크기가 1 ~ 10 nm이고, 결정질 비율이 1 ~ 30 %인 나노결정 실리콘 박막을 제공한다.

[0028] 이때, 상기 나노결정의 크기는 QCE를 발현시키는 주요한 인자로, 상기 나노결정크기가 1 nm 미만인 나노결정 실리콘 박막은 제조하기 어려운 문제가 있고, 10 nm를 초과한 나노결정 실리콘 박막은 QCE를 나타내지 못하므로 박막의 광학적, 화학적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0029] 나아가, 상기 결정질 비율은 나노결정 실리콘 박막의 광학적, 화학적 특성의 세기를 결정하는 요인으로서, 나노결정 실리콘 박막내에 결정질 비율이 높을 수록 QCE가 커져 박막의 광학적, 화학적 특성을 증가시킬 수 있다.

[0030] 이때, 상기 결정질 비율이 1 % 미만이면 광학적, 화학적 특성이 저하되는 문제가 있고, 상기 결정질 비율이 30 % 를 초과하는 경우는 광학적, 화학적 특성이 결정질 비율에 비례하여 좋아질 수 있으나, 30 % 를 초과하는 결정질 비율을 포함하는 나노결정 실리콘 박막을 제조하기 어려운 문제가 있다.

[0031] 이하, 본 발명의 실시예에 의해 더욱 상세히 설명한다. 단, 하기의 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기의 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0032] **<실시예 1> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 1**

[0033] 단계 1. 실리콘 웨이퍼 상에 알루미늄이 포함된 실리콘 박막 증착

[0034] 25.4 × 25.4 × 5.0 mm 실리콘 타겟과 1.0 × 1.0 × 0.5 mm 크기를 갖는 알루미늄 칩 4개(실리콘 타겟: 알루미늄= 42.5 : 2.5 (중량비))를 사용하였고, 상기 실리콘 타겟과 알루미늄 칩을 동시에 스퍼터링 하기 위해 알루미늄 칩을 실리콘 타켓 위에 배치하였다. 이후, 아르곤 분위기, 1.33×10^{-3} Pa 하에서 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 200 W로 실리콘 웨이퍼 상에 200 nm 이하의 두께를 갖는 알루미늄이 포함된 실리콘 박막을 증착시켰다.

[0035] 단계 2. 열처리를 통한 나노결정 실리콘 박막제조

[0036] 상기 단계 1에서 제조된 알루미늄이 포함된 실리콘 박막을 관형로(Tube furnace)에 위치시키고, 질소 50 sccm을 흘려주면서 800 ℃에서 1시간동안 열처리 하여 알루미늄이 첨가된 나노결정 실리콘 박막을 제조하였다.

[0037] **<실시예 2> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 2**

[0038] 상기 실시예 1의 단계 1에서 알루미늄 칩 2개(실리콘 타겟: 알루미늄= 43.8 : 1.2 (중량비))를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하였다.

[0039] **<실시예 3> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 3**

[0040] 상기 실시예 1의 단계 1에서 알루미늄 칩 8개(실리콘 타겟: 알루미늄= 40.0 : 5.0 (중량비))를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하였다.

[0041] **<실시예 4> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 4**

[0042] 상기 실시예 1의 단계 2에서 400 ℃에서 열처리한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하였다.

[0043] **<실시예 5> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 5**

[0044] 상기 실시예 1의 단계 2에서 600 ℃에서 열처리한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하였다.

[0045] **<실시예 6> 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조 6**

[0046] 상기 실시예 1의 단계 2에서 1100 ℃에서 열처리한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하였다.

[0047] **<비교예 1> 비정실 실리콘 박막의 제조**

[0048] 상기 단계 1에서 알루미늄 타겟을 제외한 실리콘 타겟만을 사용하여, 실리콘 웨이퍼상에 비정질 실리콘 박막을 제조하였다.

[0049] <분석> 실리콘 나노결정 구조물 분석

[0050] 1. X선 회절(XRD)분석

[0051] 본 발명에 따라 제조된 박막의 열처리 온도에 따른 실리콘 나노결정의 구조변화를 알아보기 위하여, 비교예 1(도 1의 (a)), 실시예 1(도 1의 (c)), 실시예 4(도 1의 (b)), 실시예 5(도 1의 (d)) 및 실시예 6(도 1의 (e))의 XRD분석을 실시하여 도 1에 나타내었고, 실리콘 (111) 결정 피크는 28.4° , 실리콘(220) 결정 피크는 47.3° 에서 확인할 수 있다.

[0052] 도 1에 나타낸 바와 같이, 실리콘 박막의 열처리온도가 증가함에 따라 실리콘 (111), (220) 결정피크가 증가하여, 실리콘 박막상에 실리콘 나노결정이 증가하는 것을 확인하였고, 상기 결정피크를 이용하여 실리콘 나노결정의 크기를 측정하고 이를 표 1에 나타내었다.

[0053] 본 발명에 따라 제조된 박막의 타겟물질내 알루미늄 칩 비율에 따른 실리콘 나노결정의 구조변화를 알아보기 위하여, 비교예 1(도 2의 (a)), 실시예 1(도 2의 (b)), 실시예 2(도 2의 (c)), 및 실시예 3(도 2의 (d))의 XRD분석을 실시하여 도 2에 나타내었고, 실리콘 (111) 결정 피크는 28.4° , 실리콘(220) 결정 피크는 47.3° 에서 나타난다.

[0054] 도 2에 나타낸 바와 같이, 타겟물질로 알루미늄 칩의 비율이 높아짐에 따라 실리콘 (111), (220) 결정피크가 증가하여, 실리콘 박막상에 실리콘 나노결정이 증가하여, 실리콘의 결정유도 효과가 증가하는 것을 확인하였다.

[0055] 2. 라만(Raman) 분석

[0056] 본 발명에 따라 제조된 박막의 열처리 온도에 따른 실리콘 나노결정의 크기변화를 알아보기 위해, 비교예 1(도 3의 (a)), 실시예 1(도 3의 (c)), 실시예 4(도 3의 (b)), 실시예 5(도 3의 (d)) 및 실시예 6(도 3의 (e))의 라만 분석을 실행하여 도 3에 나타내었다.

[0057] 분석된 Raman 스펙트럼을 로렌츠(Lorentzian)법으로 분리시킨 후, 직교하는 진동(TO_2, Transverse optical) 모드 스펙트럼(도 3의 점선그래프)을 통해 평균 실리콘 결정입자를 나타내는 피크 이동값($\Delta\omega$)을 측정하고, 이를 하기 수학식에 적용하여 실리콘 박막의 평균 나노결정크기를 계산하여 표 1에 나타내었다.

수학식 1

$$d = 2\pi\sqrt{\frac{B}{\Delta\omega}}$$

[0058]

[0059] (d: 평균 나노입자 크기, B: 벌크실리콘(bulk silicon)(피크이동값(3.0 cm^{-1}), Δω: 평균 실리콘 결정입자)

[0060] 도 3에 나타낸 바와 같이, 실리콘 타겟만으로 증착시킨 비교예 1과 비교적 낮은 온도에서 결정을 형성시킨 실시예 4에서는 나노결정을 나타내는 TO_2 모드 스펙트럼이 나타나지 않지만, 600 ℃이상으로 열처리한 실시예 5는 TO_2 모드 스펙트럼이 약 510 cm^{-1}에서 피크를 나타내었으며, 800 ℃로 열처리한 실시예 1의 TO_2 모드 스펙트럼 피크는 510 cm^{-1}에서 515 cm^{-1}으로 피크가 이동하는 것을 확인하였다.

[0061] 상기와 같은 피크 이동값을 상기 수학식 1으로 계산하여 실리콘 나노결정의 크기를 나타낸 결과, 표 1에 나타낸 바와 같이, 열처리 온도가 증가함에 따라, 실리콘 나노결정의 크기가 증가하는 것을 확인하였다.

[0062] 또한, 하기 수학식을 이용하여, 열처리 온도에 따른 박막내 결정질이 차지하고 있는 비율을 계산하여 표 1에 나타내었다.

수학식 2

[0063]
$$X_c = I_c/(I_c + \eta I_a)$$

[0064] (Xc:결정질 비율. Ic:결정질 피크(500±15 cm^{-1})의 강도, Ia:비정질 피크(약 480 cm^{-1}), η: 산란인자(scattering factor, 결정입자의 크기가 나노스케일일 경우1.0.[8]))

[0065] 표 1에 나타낸 바와 같이, 600 ℃로 열처리한 실시예 5는 실리콘 나노 결정의 비율이 3.1%이고, 800 ℃로 열처리한 실시예 1은 25.6%로 온도에 따라 박막내 실리콘 나노 결정의 비율이 증가하는 것을 확인하였다.

표 1

[0066]

	TO_2	d_{Raman} (nm)	d_{XRD} (nm)	E_{gap} (eV)	X_c (%)
비교예 1	-	-	-	-	-
실시예 4	-	-	-	-	-
실시예 5	510	3.3	-	1.91	3.1
실시예 1	510	3.3	5.9	1.91	25.6
실시예 6	515	4.4	18.2	1.65	23.3

[0067] 3. 고배율 투과 현미경 분석(HRTEM, High-Resolution TEM)

[0068] 본 발명에 따른 실리콘 나노 결정의 형태를 알아보기 위해, 실시예 5(도 4의 (a)), 실시예 1(도 4의 (b)) 및

실시예 6(도 4의 (c))의 박막내 실리콘 나노결정을 촬영하여 도 4에 나타내었다.

[0069] 도 4에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 실리콘 나노 결정은 비정질 실리콘내에서 격자 주름(lattice fringe)이 결정 부분에 나타나 확인할 수 있었다(흰원내부). 나아가, 열처리 온도가 증가함에 따라 나노결정의 크기가 증가하면서, 박막내 결정질 부분이 증가하였고, 이와 같은 결과는 표 1의 결과와 일치하는 것을 확인하였다.

[0070] 4. X선 광전자 분광분석(X-ray Photoelectron Spectroscopy)

[0071] 본 발명에 따른 실리콘 나노결정의 Si2P 결합이 열처리 온도에 따라 변화되는 것을 확인하기 위하여, 비교예 1(도 5의 (a)), 실시예 5(도 5의 (b)), 실시예 1(도 5의 (c)), 실시예 6(도 5의 (d))의 X선 광전자 분광 스펙트럼을 측정하고, 측정된 스펙트럼을 분리하여 도 5에 나타내었다.

[0072] 도 5에 나타낸 바와 같이, 실시예 5, 실시예 1 및 실시예 6은 실리콘-실리콘 (Si-Si)결합 99.6 eV에서 피크를 나타내는 스펙트럼와 실리콘-산소(Si-O) 결합인 102.2 eV을 나타내는 스펙트럼 모두 나타나, 열처리를 통해 실리콘 분자가 챔버내 잔존하고 있는 산소와 결합하는 것을 확인하였다. 또한, 열처리 온도가 증가함에 따라 실리콘-실리콘 결합 99.6 eV의 강도가 실리콘-산소 결합 102.2 eV의 강도에 비해 상대적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이에, 본 발명에 따라 제조된 실리콘 나노 결정은 열처리온도가 높아짐에 따라 증가되는 것을 확인하였다.

[0073] 5. 광루미네센스(PL,Photoluminescence) 측정

[0074] 본 발명에 따라 제조된 비교예 1(도 6의 (a)), 실시예 4(도 6의 (b)), 실시예 5(도 6의 (c)), 실시예 1(도 6의 (d)) 및 실시예 6(도 6의 (e))은의 광루미네센스 스펙트럼을 측정하여 도 6에 나타내었다.

[0075] 도 6에 나타낸 바와 같이, 실시예 4, 실시예 5, 실시예 1을 측정한 스펙트럼을 보면, 열처리 온도가 증가함에따라 가시발광 영역인 ~ 620 nm피크의 강도가 증가하는 것을 확인하였다. 상기 620 nm 피크는 약 5 nm이하의 나노결정입자에서 나타나는 양자 제한 효과(QCE, Quantum Confinement Effect)를 나타내는 것으로, 나노결정 실리콘 박막의 에너지 밴드 갭이 1.91 eV인 것을 알 수 있다. 나아가, 열처리 온도가 증가함에 결정비율이 증가하여 PL의 강도가 증가되어, 나노결정 부분이 광학적 특성을 증가시키는 것을 확인하였다.

[0076] 반면, 1100 ℃에서 열처리한 실시예 6은 500 ~ 800 nm의 적외선 영역에서 넓은 피크가 나타났다. 이는, 표 1에 나타난 바와 같이, 실시예 6의 결정크기는 10 nm를 초과하여 QCE가 사라지고 그 결과 발광효율이 저하되어 적외선 발광을 나타내는 것으로 사료된다.

[0077] 상기 결과를 통하여, 알루미늄이 비정질 실리콘내에 존재하면 결정화유도가 용이하다는 것을 알 수 있으며, 나아가 열처리 온도가 증가함에 따라, 비정질 실리콘 박막내 나노결정 실리콘의 비율이 증가하여 발광효율이 증가하는 것을 확인하였다.

[0078] 6. 전계발광(EL, Electroluminescence) 측정

[0079] 본 발명에 따른 실시예 5(도 8의 (a)), 실시예 1(도 8의 (b)) 및 실시예 6(도 8의 (c))을 도 7에 나타낸 프로토타입(prototype)의 장치에 장착하고, 30 V를 인가하여 전계발광특성을 측정하여 도 8에 나타내었다.

[0080] 도 8에 나타낸 바와 같이, 실시예 5 및 실시예 1의 주 피크는 ~ 600 nm이고, 실시예 6의 주 피크는 ~ 720 nm으로 나타났다. 이는 PL에서 나타난 발광특성과 일치하고, 전계발광 또한 나노결정 실리콘의 크기에 따라 달라지는 것을 확인하였다.

[0081] 7. I - V 측정

[0082] 본 발명에 따른 나노결정 실리콘의 전기적 특성을 알아보기 위하여, 실시예 1의 I - V 특성을 측정하여 도 9에 나타내었다.

[0083] 도 9에 나타낸 바와 같이, 실시예 1은 정류특성을 갖고 있고, 저항(R)은 1.1×10^{-3} Ω으로 평가되었다. 또한,

실시예 1에 순방향 전류 14.9 mA 및 바이어스 20 V을 인가하였을 때, 발광하여, QCE로 인한 뛰어난 광학적 특성이 있는 것을 확인하였다.

[0084] 8. 전계세기에 따른 EL특성 측정

[0085] 실시예 1에 순방향바이어스를 각각 20 V(도 10의 (a)), 25 V(도 10의 (b)) 및 30 V(도 10의 (c))으로 인가하여 전계발광특성을 측정하여 도 10에 나타내었다.

[0086] 도 10에 나타낸 바와 같이, 실시예 1은 전류가 증가함에 따라 발광특성 스펙트럼의 개형이 미세하게 변하고, 전계발광 강도가 증가하는 것을 확인하였고, 30 V를 인가하였을때 발광모습을 촬영하여 오른쪽 상단에 나타내었다.

[0087] 상기 발광은 실리콘 박막내 나노결정에서 전자와 홀의 재결합(recombination)이 일어나 나타난 결과이며, 이때, 본 발명에 따른 나노결정 실리콘 박막은 전류에 비례하여 발광의 강도가 증가하여 발광을 제어할 수 있는 것을 확인하였다.

[0088] 상기 실시예 및 분석에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따른 알루미늄으로 유도된 나노결정 실리콘 박막의 제조방법에 따라 알루미늄 칩을 실리콘 타겟과 함께 위치시켜 동시에 증착시키는 경우, 나노결정의 유도가 용이하고, 열처리를 통하여 크기를 조절된 나노결정이 형성된 실리콘 박막을 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0089] 도 1은 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 XRD 그래프이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 4, (c): 실시예 5, (d): 실시예 1, (e): 실시예 6);

[0090] 도 2는 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 XRD 그래프이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 2, (c): 실시예 1, (d): 실시예 3);

[0091] 도 3은 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 Raman 스펙트럼이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 4, (c): 실시예 5, (d): 실시예 1, (e): 실시예 6);

[0092] 도 4는 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 결정구조를 활영한 HRTEM 사진이고((a): 실시예 5, (b): 실시예 1, (c): 실시예 6);

[0093] 도 5는 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 XPS 스펙트럼이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 5, (c): 실시예 1, (d): 실시예 6);

[0094] 도 6은 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 PL 스펙트럼이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 4, (c): 실시예 5, (d): 실시예 1, (e): 실시예 6);

[0095] 도 7은 EL 스펙트럼을 측정하기 위한 프로토타입 장치의 개념도 이고;

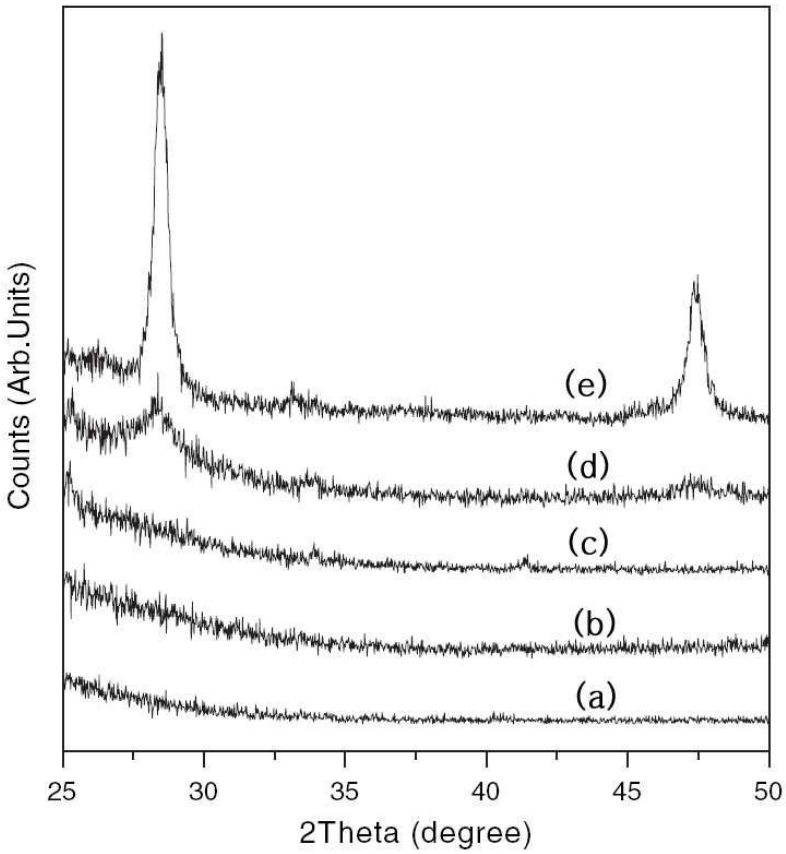
[0096] 도 8은 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 EL 스펙트럼이고((a): 비교예 1, (b): 실시예 4, (c): 실시예 5, (d): 실시예 1, (e): 실시예 6);

[0097] 도 9는 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 I-V 그래프이고; 및

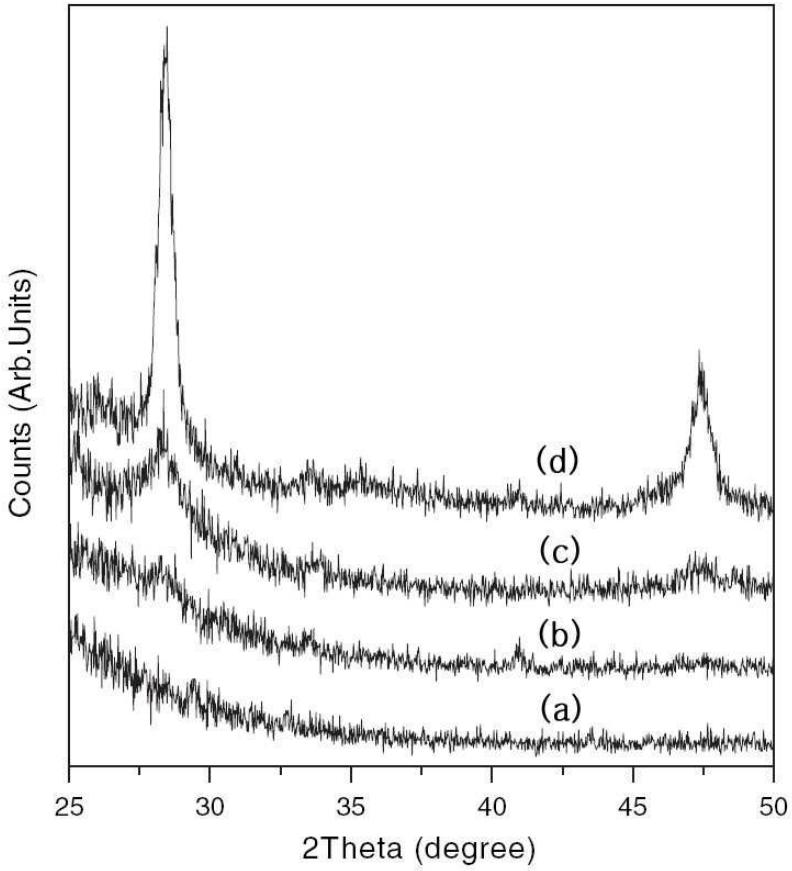
[0098] 도 10은 본 발명에 따라 제조된 일실시 형태의 전계세기에 따른 EL 스펙트럼이다((a): 20 V 인가, (b): 25 V, (c): 30 V인가, Inset: (c)의 실제 발광사진)

도면

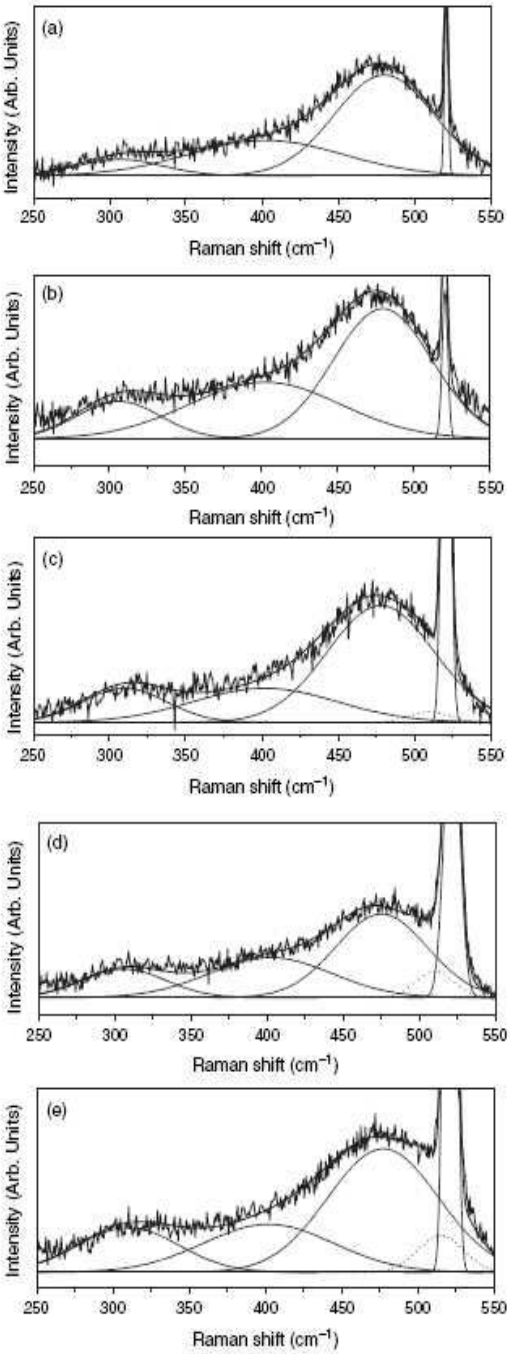
도면1



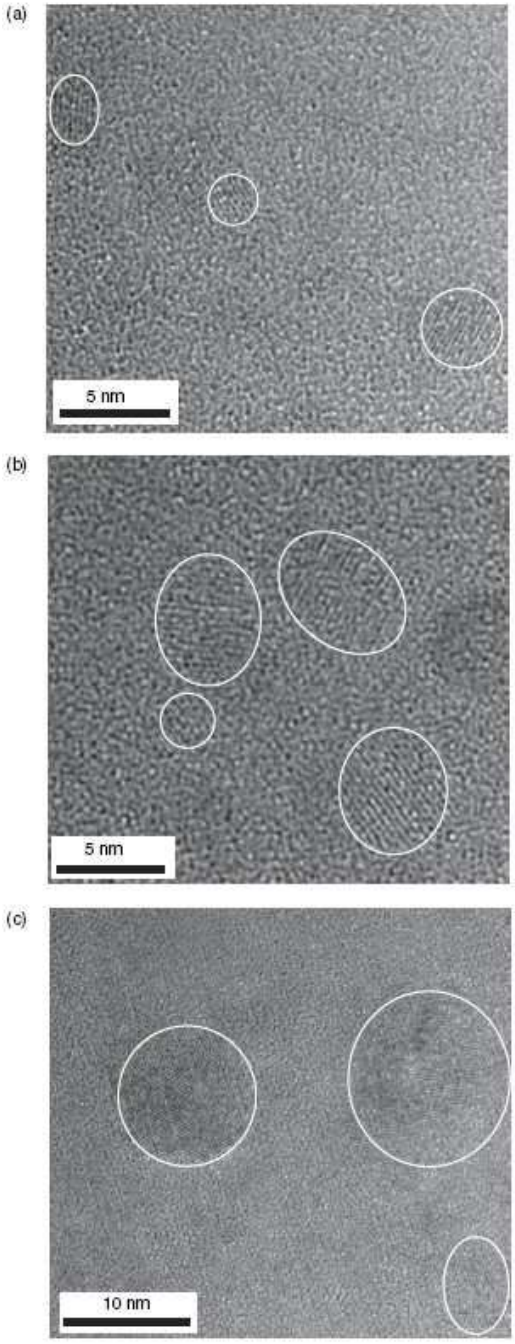
도면2



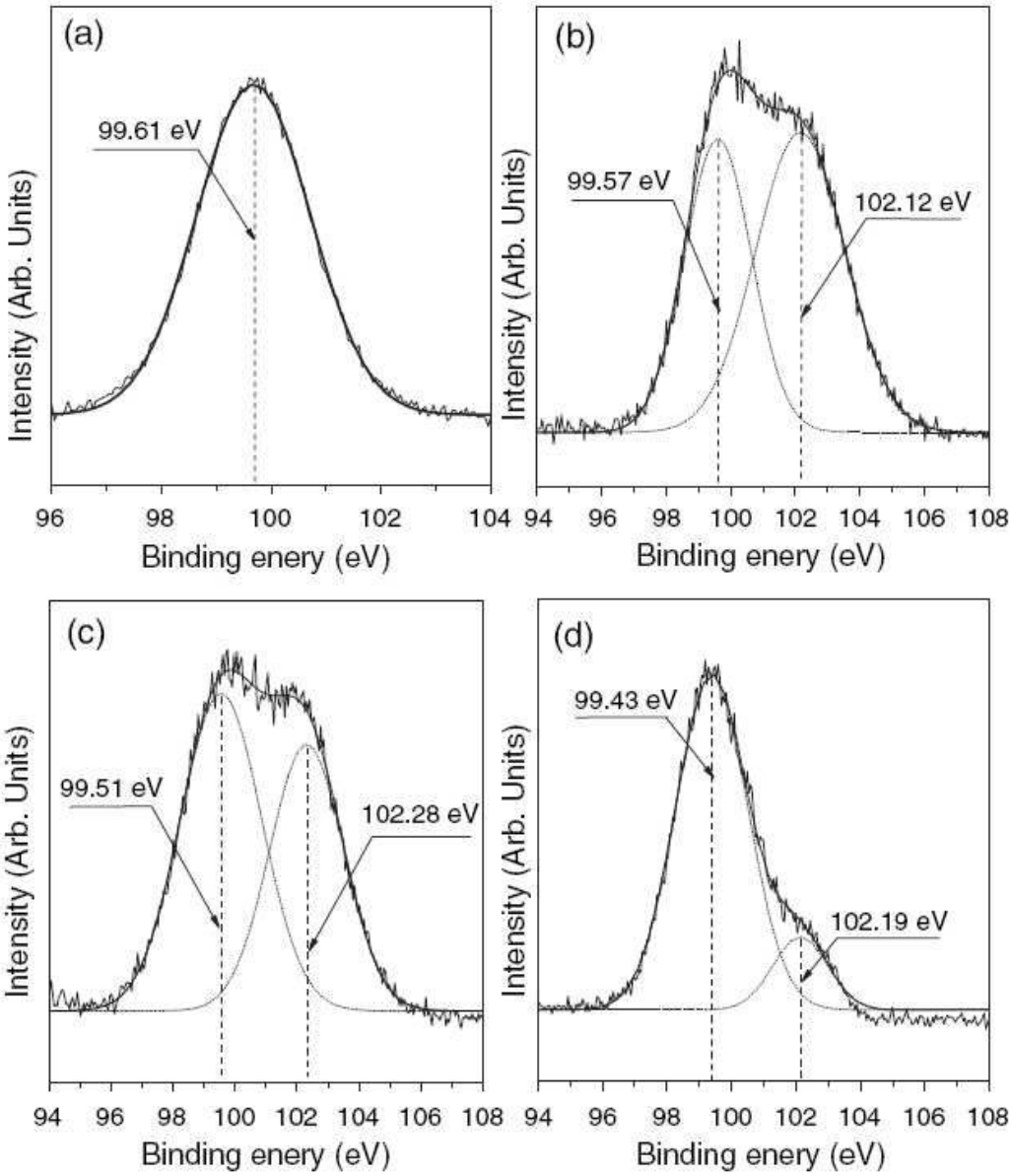
도면3


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
Intensity (Arb. Units)
Raman shift (cm^{-1})
250
300
350
400
450
500
550

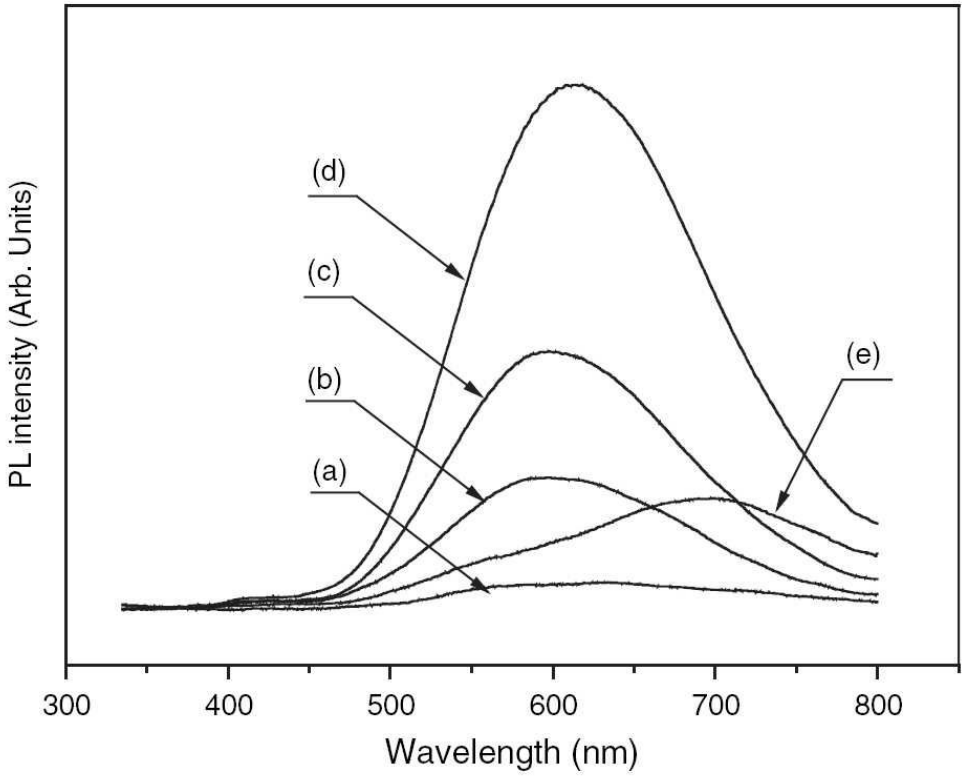
도면4



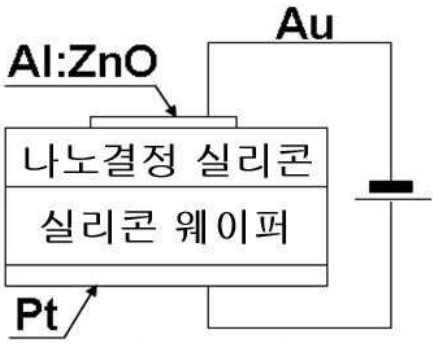
도면5


(a)
99.61 eV
Intensity (Arb. Units)
96 98 100 102 104
Binding enery (eV)
(b)
99.57 eV
102.12 eV
Intensity (Arb. Units)
94 96 98 100 102 104 106 108
Binding enery (eV)
(c)
99.51 eV
102.28 eV
Intensity (Arb. Units)
94 96 98 100 102 104 106 108
Binding enery (eV)
(d)
99.43 eV
102.19 eV
Intensity (Arb. Units)
94 96 98 100 102 104 106 108
Binding enery (eV)

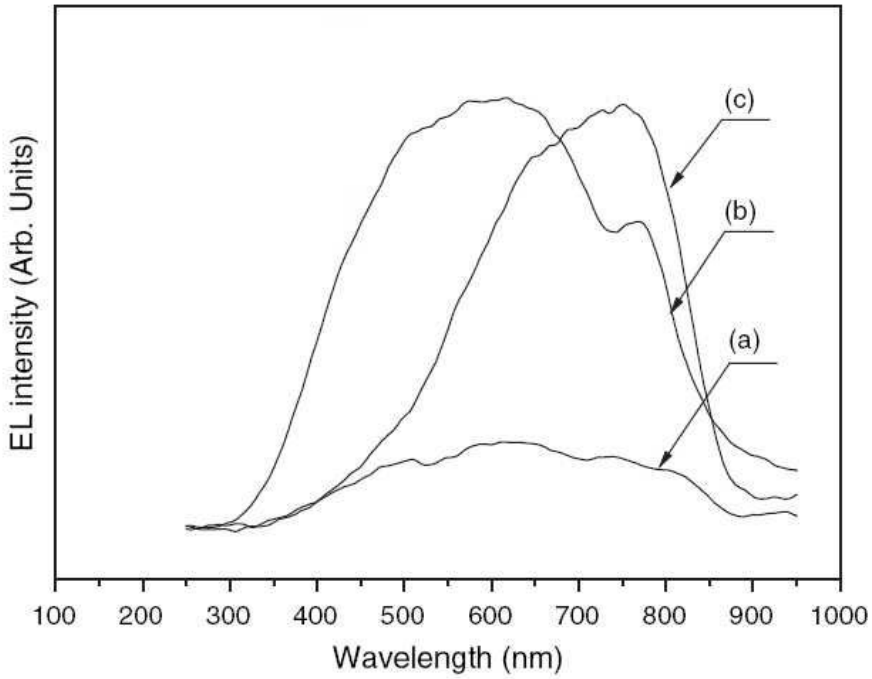
도면6


PL intensity (Arb. Units)
(d)
(c)
(b)
(a)
(e)
300
400
500
600
700
800
Wavelength (nm)

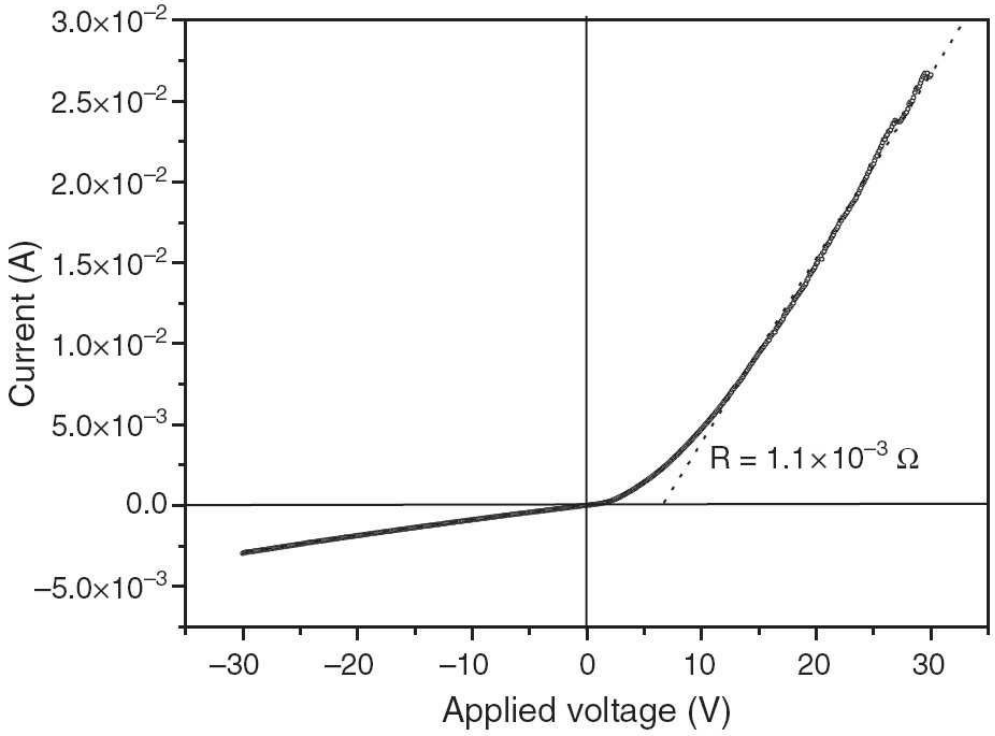
도면7


Au
Al:ZnO
나노결정 실리콘
실리콘 웨이퍼
Pt

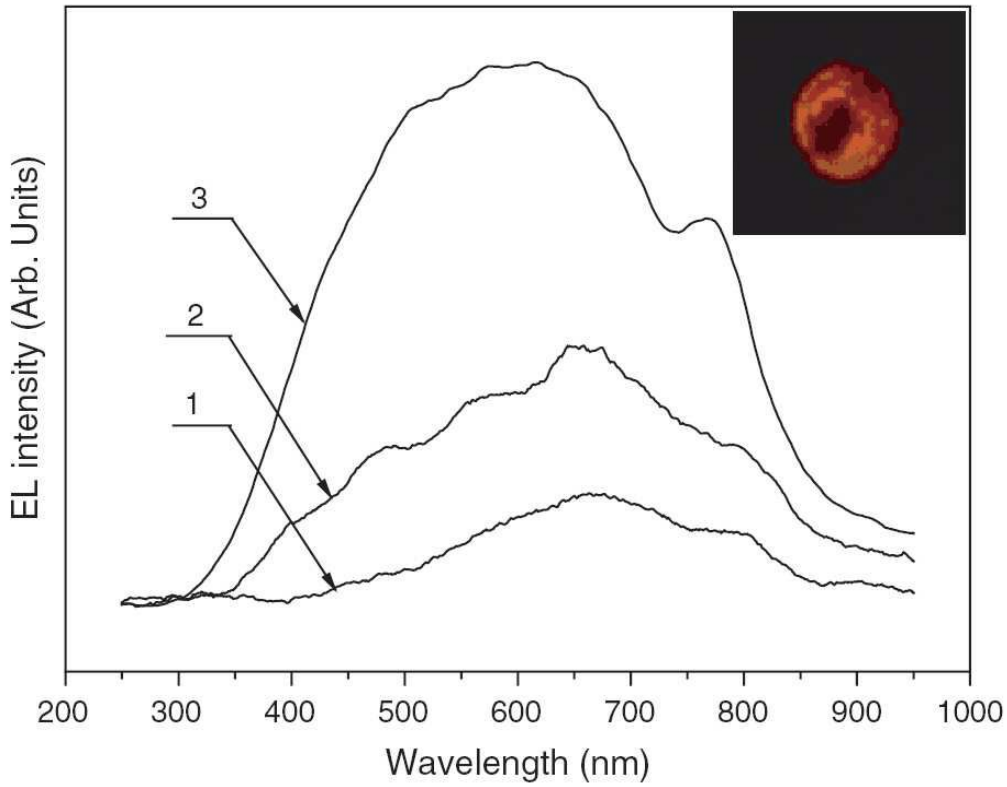
도면8


EL intensity (Arb. Units)
(c)
(b)
(a)
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Wavelength (nm)

도면9


3.0×10−2
2.5×10−2
2.0×10−2
1.5×10−2
1.0×10−2
5.0×10−3
0.0
−5.0×10−3
Current (A)
R = 1.1×10−3 Ω
−30
−20
−10
0
10
20
30
Applied voltage (V)

도면10


EL intensity (Arb. Units)
Wavelength (nm)
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1
2
3