



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0107763
(43) 공개일자 2013년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C09K 11/02 (2006.01) C09K 11/55 (2006.01)

C09K 11/54 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0029805

(22) 출원일자 2012년03월23일

심사청구일자 2012년03월23일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

이종무

경기도 고양시 일산동구 정발산동 1354번지, 밤가시마을 건영빌라 912-303

진창현

인천광역시 남구 용현동 176-12 인하오피스텔 402호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이원희

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 산화마그네슘 나노로드에 산화아연을 코팅한 코어/셸 구조의 나노로드 발광체 및 이의 제조방법

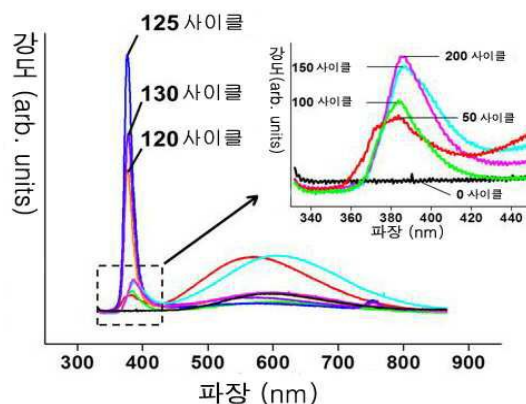
(57) 요약

본 발명은 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드 발광체에 관한 것으로, 상세하게는 본 발명은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셸을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 막 코팅의 총 두께는 Fabry - Perot의 식에서 오차범위 3nm를 포함하는 범

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

위 를 만족하는 것을 특징으로 하는 코어/셸 구조의 나노로드 발광체를 제공한다. 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 산화마그네슘 나노로드에 비해 덤벨과 니어밴드 에지와의 비율이 약 30배 이상 증가하여 청색광의 발광효율을 향상할 수 있다. 산화마그네슘 코어에 산화아연을 코팅한 것은, 산화아연에 산화마그네슘을 포함한 다른 물질을 코팅하였을 때보다 발광강도가 훨씬 증가되었다. 이와 같이 발광 효율이 향상된 나노로드는 LED, 레이저 다이오드와 같은 단파장 발광 소자의 형성에 기여할 뿐 아니라, 나노스케일의 전자소자나 광전소자에 널리 유용할 것으로 기대된다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

김현수

경기도 남양주시 진접읍 장현2리 698번지
고려주택302호

박성훈

인천광역시 부평구 부개2동 대동아파트 5동 307호

안소연

인천광역시 남동구 구월3동 1100-21

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 43736-1

부처명 교육과학기술부

연구사업명 도약연구

연구과제명 나노다공성 실리콘 기반 차세대 암진단 및 치료기술

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2011.07.01 ~ 2012.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고, 산화아연이 셸을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 막 코팅의 총 두께는 하기 수학적 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 코어/셸 구조의 나노로드 발광체:

<수학적 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

(상기 수학적식에서, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c 는 공명차수로 1 또는 2인 자연수이고, λ 는 나노밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다).

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 산화마그네슘 코어의 두께는 50 ~ 70 nm 인 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 산화아연 셸의 두께는 5 ~ 20 nm 인 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 발광체의 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 나노밴드에지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)의 범위가 5 ~ 35 인 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 발광체는 청색광의 발광효율이 향상되는 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 발광체는 코어로부터 발광하는 빛과 셸로부터 발광하는 빛이 공명하여 발광특성이 향상되는 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체.

청구항 7

산화마그네슘 나노로드를 형성하는 단계(단계 1); 및

상기 단계1에서 제조된 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막을 코팅하되, 상기 산화마그네슘 코어와 상기 산화아연 셸의 총 두께가 하기 수학적 1을 만족하도록 코팅하는 단계(단계 2)를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체의 제조방법:

<수학식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

(상기 수학식에서, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c는 공명차수로 1 또는 2인 자연수이고, λ는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다).

청구항 8

제 8 항에 있어서, 상기 단계 2의 산화아연 막의 코팅은 원자층 증착법 또는 유기금속 화학 증착법에 의하여 수행되는 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체의 제조방법.

청구항 9

산화마그네슘 나노로드에 산화아연이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셸을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 막 코팅의 총 두께는 하기 수학식 1을 만족하는 코어/셸 구조의 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자:

<수학식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

(상기 수학식에서, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c는 공명차수로 1 또는 2인 자연수이고, λ는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다).

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 산화마그네슘 코어의 두께는 50 ~ 70 nm 인 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자.

청구항 11

제 9 항에 있어서, 상기 산화아연 셸의 두께는 5 ~ 20 nm인 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자.

청구항 12

제 9 항에 있어서, 상기 발광체의 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드에지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)의 범위가 5 ~ 35 인 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자.

청구항 13

제 9항에 있어서, 상기 발광체의 청색광의 발광효율이 향상되는 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자.

청구항 14

제 9 항에 있어서, 상기 발광체의 코어로부터 발광하는 빛과 셸로부터 발광하는 빛이 공명하여 발광특성이 향상되는 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연을 코팅한 코어/셸 구조의 나노로드 발광체 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 단파장 레이저 다이오드의 주요 장점은 콤팩트 디스크와 디지털 비디오 디스크처럼 정보 저장을 할 수 있다는 점이다. 같은 이유로 단파장 소자는 레이저 프린터 시스템에도 가능하다. 단파장 레이저 다이오드의 가장 큰 장점은 블루레이 디스크 또는 HD DVD와 같이 정보 저장체의 용량을 늘일 수 있다는 것이다. 또한 살균, 공기정화, 바이오 센서 등에서도 단파장 발광이 응용되고 있다.

[0003] 갈륨 나이트라이드를 기반으로 하는 단파장 발광다이오드(LED) 및 레이저다이오드(LD) 기술은 초록색부터 자외선 영역까지 넓은 범위의 스펙트럼을 갖고 있으며 에너지 수명이 길어 본 장점을 활용하기 위한 다양한 연구가 이루어져, 광학과 정보저장 산업에 큰 영향을 미쳤다. 최근에는 갈륨 나이트라이드보다 더 많은 장점을 가진 산화아연을 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 산화아연은 높은 여기자(exciton) 결합에너지와 화학적 습식 식각의 적합성, 저온 에피택셜 성장 가능성 및 뛰어난 복사저항, 대기 중 열적 화학적 안정성 등 다양한 장점이 있다. 특히, 산화아연은 발광 다이오드, 레이저 다이오드, 광 검출기와 같은 자외선/청색 빛을 내는 광전자 소자로써 유망한 산화물 반도체로 두각을 나타내고 있다.

[0004] 한편, 1차원적인 나노구조는 박막을 기반으로 한 LED에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 1차원 나노구조는 도파관처럼 렌즈나 반사경 없이 빛을 추출할 수 있고, 발광 효율은 1차원적 구조는 결정입계를 피할 수 있기 때문에 결함이 있는 부분에서 비발광 결합의 부재에 의해 더욱 향상될 수 있다. 그러므로 1차원적인 나노구조를 이용하여 초단파장을 얻는 것은 굉장히 중요하다.

[0005] 최근 산화마그네슘에 여러가지 반도체 셸을 적당한 두께로 코팅함으로써, 적외선부터 자외선에 이르는 넓은 파장대에서 발광세기를 증가시킬 수 있다는 결과가 보고되었다.

[0006] 논문 'CdS와 CdS코어/ZnS 셸 구조 합성 및 성질연구'에 따르면, 2 ~ 6족 나노 화합물 중 하나인 CdS 나노 입자를 이용하여 전계발광(electroluminescence)용 나노 형광체를 제조하고 이것을 다시 ZnS로 코팅하여 CdS/ZnS 코어/셸 구조를 합성하는 방법에 관한 것으로, CdS 만으로 이루어진 나노파티클인 경우보다 CdS 코어/ ZnS 셸 구조로 합성하였을 경우 발광 강도가 증가하는 장점이 있다. 그러나 상기 연구는 400 nm 이상의 영역에서의 발광으로 청색 영역의 단파장 발광 효과를 기대하기 어렵다는 문제점이 있다.

[0007] 미국공개특허 US 2005/0252737 A1에 따르면, 양자우물구조 또는 동축의 양자구조를 가진 산화아연 기반의 나노로드에 관한 것으로, 구체적으로는 산화아연 기반의 나노로드에 두 겹 이상의 산화아연 및 산화아연과 유사한 격자구조를 가진 층으로 박막을 입혀 만든 양자 우물 또는 동축 양자구조의 나노로드 및 멀티셸 구조의 나노로드를 제조하는 방법에 관한 것이다. 상기 특허는 산화아연 나노로드인 때보다 산화아연 동축 양자 구조인 경우 발광 특성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 상기 특허는 산화아연 코어일 때보다 발광 효율이 증가하나, 그 증가량이 충분히 크지 않다는 한계를 가진다.

[0008] 미국공개특허 US 2010/0283037 A1에 따르면, 코어/셀 구조로 합성된 광 발광 입자인 퀀텀닷에 관한 것으로, 구체적으로 퀀텀닷 입자는 두께와 반응 온도에 따라 발광 파장 및 강도가 다른 특성을 보이므로 산화아연 코어에 LiGaO₂, LiAlO₂, NaGaO₂, NaAlO₂로 셀을 구성하여 두께와 반응온도를 변화하며 청색 단파장 발광을 강화하였다. 그러나 상기 특허는 퀀텀닷을 구성하는 셀의 두께 및 반응온도에 따라 미세한 차이가 있으나, 단파장 영역에서 퀀텀닷의 발광 효과가 코팅 전에 비해 5 -10 배 정도 향상되는데 그친다는 한계가 있다.

[0009] 이에 본 발명자들은 코어/셀 구조의 나노로드에서 단파장 발광효율의 개선에 관한 연구를 하던 중, 산화마그네슘 코어에 산화아연 셀을 코팅하여 발광특성을 향상시킨 산화아연 나노로드 발광체를 개발하여, 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 미국공개특허 2004/0252737 A1 2004.12.16

(특허문헌 0002) 미국공개특허 2010/0283037 A1 2010.11.11

비특허문헌

[0011] (비특허문헌 0001) 박관휘, 강현욱, 김상식, 김성현, 「CdS와 CdS/Zn 코어/셀 구조 합성 및 성질 연구」, 『화학공학의 이론과 응용』 한국화학공학회 학술발표회 논문집, 10(1) (2004), pp.683-684.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연을 코팅한 코어/셀 구조의 나노로드 발광체 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0013]

과제의 해결 수단

[0014] 이를 위하여 본 발명은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셀을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 막 코팅의 총 두께는

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

(수학식 1)을 만족하는 것을 특징으로 하는 코어/셀 구조의 나노로드 발광체를 제공한다. 상기 식에서, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c는 공명을 일으키는 공명 차수로 1 또는 2의 자연수이고, λ는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다.

[0015] 또한, 본 발명은 산화마그네슘 나노로드를 형성하는 단계(단계 1); 및 상기 단계 1에서 제조된 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막을 코팅하되, 상기 산화마그네슘 나노로드와 상기 산화아연 막의 총 두께가 상기 수학식 1의 범위를 만족하도록 코팅하는 단계(단계 2)를 포함하는 나노로드 발광체의 제조방법을 제공한다.

[0016] 또한, 산화마그네슘 나노로드에 산화아연이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셀을 형성하

며, 상기 나노로드의 총 두께가 상기 수학식 1의 범위를 만족하는 코어/셸 구조의 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자를 제공한다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따르면, 산화마그네슘 나노로드에 산화아연을 코팅한 코어/셸 구조의 나노로드 발광체는 높은 니어밴드에서 방출을 유도하여 단파장 발광 효율이 향상된다. 산화마그네슘에서의 딥레벨과 니어밴드 에지와의 비율이 0인데 비해, 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 공명길이에 맞추어 코팅하면 딥레벨과 니어밴드 에지와의 비율이 30배 이상 증가하는 효과가 있다. 이와 같이 발광 효율이 향상된 산화아연 나노로드는 LED, 레이저 다이오드와 같은 단파장의 빛발광 소자의 형성에 기여할 뿐 아니라, 나노스케일의 전자소재나 광전소자의 응용에 널리 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 회절패턴이고;
 도 2 (a)는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 주사전자현미경 사진이고; (b)는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 단면을 나타내는 주사전자현미경 사진이고;
 도 3은 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 투과전자현미경 사진이고;
 도 4 (a)는 산화마그네슘 코어의 투과전자현미경의 사진이고; (b)는 산화아연 셸의 투과전자현미경의 사진이고;
 도 5 (a)는 산화마그네슘 코어의 투과전자현미경/제한시야 회절분석 사진이고; (b)는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 투과전자현미경/제한시야 회절분석 사진이고;
 도 6은 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 5에서의 파장에 따른 발광 스펙트럼 그래프이고;
 도 7은 비교예 1의 니어밴드에 발광효율에 대한 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 5에서의 니어밴드에서 발광효율 그래프이고;
 도 8은 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 5에서의 딥레벨 발광강도에 대한 니어밴드에서 발광강도의 비율을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명의 목적은 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 구조로 만들어진 나노로드 발광체의 단파장 발광효율을 높이는 방법을 제공하는 데 있다. 이를 위하여 본 발명은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연을 코팅한 코어/셸 구조의 나노로드 발광체 및 이의 제조방법을 제공한다.

[0020] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0021] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 산화마그네슘 나노로드의 표면에 산화아연 막이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셸을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 막 코팅의 총 두께는 하기 수학식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 코어/ 셸 구조의 나노로드 발광체이다:

[0022] <수학식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

[0024] 상기 수학식 1은 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위로, d는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 총 두께이고, m_c 는 공명을 일으키는 공명 차수로 1 또는 2의 자연수이고, λ 는 니어밴

드에지의 발광과장이고, n 은 산화아연의 굴절율이다.

- [0025] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸의 총 두께가 상기 수학식 1을 만족하는 경우 단파장 발광 효율이 증가하는 특징이 있다. 이는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸로 구성된 나노로드의 두께가 상기 수학식 1에 해당하는 크기일 때, 나노로드가 흡수한 빛을 방출하는 과정에서 서로 다른 물질로 구성된 코어부분과 셸 부분에서 굴절 및 간섭효과가 일어나 단파장 발광 현상이 강력하게 일어나는 데에 기인한다. 빛을 받아 산화마그네슘 코어로부터 방출되는 파동과 셸로부터 발광하는 파동이 공명하여 해당 파장에서의 발광 특성이 향상되는 것이다. 구체적으로는 산화마그네슘 코어로부터 산화아연 셸로 이동하는 광에 의해 형성된 전자의 이동과 사각기동형 산화마그네슘 코어에서 발생하는 광공명 현상 때문에 파동 강도가 강력하게 증가하기 때문이다.
- [0026] 이때 단파장 발광 현상의 강도는 코어 및 셸의 총 두께가 상기 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 접근할수록 그 효과가 커지고, 오차범위 $\pm 3 \text{ nm}$ 의 범위에서 셸이 코팅된 경우에 단파장 발광효과가 크게 증가한다. 상기 Fabry - Perot의 식에 의해 계산된 공명길이에 정확히 부합하는 두께로 코팅된 경우 발광 효과가 최대가 된다.
- [0027] 또한, 본 발명에 따른 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드 발광체가 아니라 이외의 물질로 상기 수학식 1의 기준에 부합하도록 제조한 나노로드 발광체인 경우에도 단파장 발광 현상을 확인할 수 있다. 그러나 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 상기 수학식 1을 만족하는 두께로 코팅한 나노로드 발광체인 경우에 발광 효율 및 그에 따른 효과 면에서 특히 우수하다는 특징이 있다.
- [0028] 본 발명에 따른 나노로드 발광체의 산화마그네슘 코어 두께는 $50 \sim 70 \text{ nm}$ 인 것이 바람직하다. 산화마그네슘 코어의 두께가 50 nm 이하인 경우 합성하기 어렵다는 문제점이 있고, 70 nm 이상인 경우 나노사이즈의 한계를 넘는다는 문제점이 있다. 나노사이즈의 정의는 3차원 중 어느 하나의 차원이 100 nm 이하인 구조로, 코어가 너무 두껍게 되면 코어에 셸을 코팅한 구조가 나노사이즈를 만족시키지 못할 수 있다.
- [0029] 본 발명에 따른 나노로드 발광체의 산화아연 셸 두께는 $5 \sim 20 \text{ nm}$ 인 것이 바람직하다. 산화아연 셸의 두께가 5 nm 미만인 경우 산화마그네슘 나노로드 표면을 균일하게 코팅하는 것이 어려운 문제가 있고, 산화아연 막의 두께가 20 nm 를 초과하는 경우에는 산화아연 도핑 농도 증가에 따른 "밴드갭 재정상화 효과"로 인하여 발광효율 향상 효과가 소멸하는 문제점이 있다.
- [0030] 상기 Fabry - Perot의 식에 의하면 코어/셸 구조의 나노로드의 총 두께 d 는 공명차수 m_c , 니어밴드에지의 발광과장 λ , 산화아연의 굴절율 n 에 의해 결정되는 값이다. 상기 니어밴드에지의 발광과장은 산화아연에 기인하는 값으로 380 nm 이고, 산화아연의 굴절율은 2.0으로 정해진 값이므로 공명길이는 공명차수 m_c 에 의해 결정된다. 상기 공명차수 m_c 의 값이 커질수록 공명길이 즉, 나노로드의 총 두께 d 는 증가한다. 공명차수 m_c 는 자연수로 1 또는 2인 것이 바람직하다. 공명차수가 2 이상인 경우 공명길이도 증가하여 나노로드의 두께가 불필요하게 커지는 문제점이 있다.
- [0031]
- [0032] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는, 상기 발광체의 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드에지 발광강도(I_{NBE})의
- $$\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$$
- 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)의 범위가 $5 \sim 35$ 인 것이 바람직하다.
- [0033] 상기 나노로드 발광체는 약 380 nm 의 근자외선 영역과 약 $560 \sim 610 \text{ nm}$ 에 이르는 넓은 파장대에서의 두 가지 광

발광 특성을 가지는데, 이 중 380 nm 파장대에서의 발광을 니어밴드이지 발광이라 하고, 약 560 ~ 610 nm 범위에서의 발광을 딥레벨 발광이라 한다. 산화마그네슘의 광 발광 스펙트럼은 약 595 nm에서 황색의 넓은 광발광 특성을 나타내고, 순수한 산화아연의 경우 약 380 nm의 파장과 약 580 nm의 파장의 두 부분에서 광 발광 특성을 나타낸다. 본 발명에 따라 제조된 나노로드 발광체의 두 가지의 광발광 특성은 산화아연만의 피크와 동일하여, 발광 특성이 산화마그네슘으로부터 보다는 산화아연으로부터 기인한 것으로 보인다.

[0034] 본 발명에 따라 제조된 상기 나노로드 발광체는 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드이지 발광강도(I_{NBE})의 비 ($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)가 가지는 물리적인 의미는 황색 및 적색 발광을 나타내는 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 청색 발광인 니어밴드이지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)가 증가함으로써, 황색 및 적색 발광의 비율이 낮은 고순도의 청색 발광을 얻을 수 있다는 것이다.

[0035] 본 발명에 따라 제조된 상기 나노로드 발광체는 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드이지 발광강도(I_{NBE})의 비 ($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)가 5 이하인 경우는 나노로드가 바람직한 정도의 청색광의 순도를 보여주지 못하는 문제점이 있고, 35를 초과하는 값을 갖는 나노로드는 현실적으로 제조하기 어렵다.

[0036] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 청색광의 발광효율이 향상되는 것을 특징으로 한다. 기존의 연구에서 황색 및 적색 빛을 방출하는 발광체에 대한 연구가 다양하게 이루어져 온 반면에 청색 빛을 방출하는 발광체에 대한 연구는 그 수가 적었고, 발광체로부터 단파장의 청색 빛을 얻는 것은 상대적으로 어려움이 있었다. 이에 최근에는 고순도의 청색광을 얻기 위한 연구들이 활발하게 진행중이다. 본 발명은 청색광의 발광 효율이 기존의 발광들보다 크게 향상되었다는 점에서 효과가 우수하다고 할 수 있다.

[0037] 강력한 단파장 발광은 본 발명에 따른 제조방법인 산화마그네슘 코어에 산화아연을 코팅한 것 대신에, 기존에 연구된 방식인 산화아연 코어에 산화마그네슘을 코팅한 것에서도 얻을 수 있다. 다른 물질을 코팅한 산화아연은 근자외선 영역의 발광을 강화시키고 동시에 딥레벨의 발광을 억제한다는 보고가 있었다. 산화마그네슘 이외의 물질인 산화주석, 황화아연, 산화마그네슘, 알루미늄 등의 세라믹과 티타늄, 알루미늄, 니켈, 금, 은, 백금과 같은 금속, 폴리메틸 메타아크릴과 폴리 아닐린 같은 폴리머 등으로 코팅하여 얻은 나노로드에서도 단파장 발광이 이루어진다. 그러나 본 발명에 따른 방식으로 제조한 나노로드 발광체에서 방출하는 청색광의 발광효율이 산화아연 코어에 기타 다른 물질을 코팅하여 제조한 나노로드 발광체들에 비해 가장 우수하다.

[0038] 산화아연에 산화마그네슘을 코팅함으로써 딥레벨과 근자외선의 강도 비율이 향상되는 것은 산화마그네슘 셸이 산화아연 코어보다 밴드갭이 훨씬 크기 때문에, 산화아연 코어 내에서 광발광으로 여기되는 전자의 양자구속효과 때문이라고 보고된 바 있다. 이러한 산화아연 기반의 딥레벨과 근자외선의 강화는 광발광 공명현상 때문에 일어나는 파동의 강화 효과 때문이다. 그러나 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸 나노로드는 산화아연 기반의 나노구조보다 딥 레벨과 근자외선의 강도 비율이 훨씬 향상된다. 이러한 이유는 확실하지 않지만 다음의 두 가지 요인으로 인하여 발생한다고 사료된다.

[0039] (1) 1차원 산화마그네슘 나노구조는 산화아연 나노구조보다 훨씬 광공명을 일으키기 쉬운 사각형의 단면을 가지고 있기 때문이다.

[0040] (2) 산화아연 코어로부터 생긴 발광은 산화아연 셸이 산화마그네슘 코어에 의해 흡수되지 않는 것에 비해, 셸에 의해 부분적으로 흡수되기 때문이다.

[0041] 또한, 본 발명은 산화마그네슘 나노로드를 형성하는 단계(단계 1); 및

[0042] 상기 단계 1에서 제조된 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막을 코팅하되, 상기 산화마그네슘 코어와 상기 산화아연 쉘의 총 두께가 하기 수식식 1을 만족하도록 코팅하는 단계(단계 2)를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노로드 발광체의 제조방법을 제공한다:

[0043] <수식식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

[0045] 상기 수식식 1은 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위로, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c 는 공명을 일으키는 공명 차수로 1 또는 2의 자연수이고, λ 는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다.

[0046] 이하, 본 발명을 단계별로 상세히 설명한다.

[0047] 본 발명에 따른 나노로드 발광체의 제조방법에 있어서, 상기 단계 1은 산화마그네슘 나노로드를 형성하는 단계이다. 산화마그네슘 나노로드는 공지의 방법으로 합성될 수 있으며 예를들어, 가열로에서 질화마그네슘 분말을 이용하여 금 박막이 증착된 실리콘 기판 위에 고온, 저압상태를 유지하며 산화 분위기에서 약 1 시간 동안 가열한 후 냉각하여 산화마그네슘 나노로드를 제조할 수 있다.

[0048] 본 발명에 따른 나노로드 발광체의 제조방법에 있어서, 상기 단계 2는 상기 단계 1에서 제조된 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막을 코팅하되, 상기 산화마그네슘 나노로드와 상기 산화아연 막의 총 두께가 하기 Fabry - Perot 식의 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위를 만족하도록 코팅하는 단계이다:

[0049] <수식식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

[0051] 상기 수식식 1은 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위로, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c 는 공명을 일으키는 공명 차수로 1 또는 2의 자연수이고, λ 는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다.

[0052] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 그 두께가 상기 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위에 만족하는 경우 단파장 발광 효율이 증가하는 특징이 있다. 이는 산화마그네슘 코어와 산화아연 쉘로 구성된 나노로드의 두께가 상기 식에서 계산된 공명길이에 해당하는 크기일 때, 나노로드가 흡수한 빛을 방출하는 과정에서 서로 다른 물질로 구성된 코어부분과 쉘 부분에서 굴절 및 간섭효과가 일어나 단파장 발광 현상이 강력하게 일어나는 데에 기인한다. 빛을 받아 산화마그네슘 코어로부터 방출되는 파동과 쉘로부터 방출하는 파동이 공명하여 해당 파장에서의 발광특성이 향상되는 것이다. 구체적으로는 산화마그네슘 코어로부터 산화아연 쉘로 이동하는 광에 의해 형성된 전자의 이동과 사각기둥형 산화마그네슘 코어에서 발생하는 광공명 현상 때문에 파동 강도가 강력하게 증가하기 때문이다.

[0053] 이때 단파장 발광 현상의 강도는 코어 및 쉘의 총 두께가 상기 수식식 1에 의해 계산된 공명길이에 접근할수록 그 효과가 커지고, 오차범위 ± 3 nm의 범위에서 쉘이 코팅된 경우에 단파장 발광효과가 크게 증가한다. 상

기 수학식 1에 정확히 부합하는 두께로 코팅된 경우 발광 효과가 최대가 된다.

[0054] 상기 단계 2의 산화아연 막의 코팅은 원자층 증착법(Atomic Layer Deposition; ALD) 또는 유기 금속 화학 증착법(Metal organic chemical vapor deposition; MOCVD)에 의하여 수행되는 것이 바람직하다.

[0055]

[0056] 원자층 증착법은 화학적으로 달라붙는 단원자층의 현상을 이용한 나노 박막 증착기술이다. 원자층 증착법은 증착 과정에서 원료공급이 충분하다면 박막의 성장속도는 원료 공급 주기의 횟수에만 비례하기 때문에 박막의 두께를 수 옹스트롬(옹스트롬, Angstrom, 1Å=0.1nm) 단위로 정밀하게 제어할 수 있어 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째, 단차피복성(Step Coverage; 높이가 차이나는 부분들을 균일하게 증착하는 특성)이 우수하여 복잡한 3차원 구조에서도 균일한 증착이 가능하다. 둘째, 박막의 두께와 조성을 정밀하게 조정 가능하다. 셋째, 불순물이 적고 핀홀(pinhole; 표면의 미세한 구멍) 등의 결함이 없는 양질의 박막 제조가 가능하다. 넷째, 대면적을 균일한 속도로 증착 가능하다.

[0057] 유기금속화학증착법(MOCVD)은 화학반응을 이용하여 기판상에 금속 산화막을 형성하는 박막 형성법으로, 구체적으로는 진공으로 된 통 안에 가열된 기판 증기압이 높은 금속의 유기 화합물 증기를 보내 그 금속의 막을 기판에 성장시키는 방법입니다. 유기금속화학증착법(MOCVD)의 장점은 반응압력이 약 수 torr에서 760 torr 즉 대기압까지 자유로이 조절할 수 있다는 점이고, 또한 약 100 Å까지의 극히 얇은 에피층의 성장이 가능하여 여러 가지의 박막 구조 및 밴드 갭 엔지니어링이 가능하다는 점이다.

[0058] 나노로드 발광체의 진동강도 효과를 최대로 얻기 위하여 균일한 막의 형성과 적절한 두께를 얻는 것이 필수적이다. 따라서 상기 단계 2의 산화아연 막의 코팅은 원자층 증착법과 유기 금속 화학 증착법이 적당하다.

[0059] 또한, 본 발명은 산화마그네슘 나노로드에 산화아연이 코팅되어 산화마그네슘이 코어를 형성하고 산화아연이 셸을 형성하며, 상기 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께는 하기 수학식 1을 만족하는 코어/셸 구조의 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자를 포함한다:

[0060] <수학식 1>

$$\frac{m_c \lambda}{2n} - 3nm \leq d \leq \frac{m_c \lambda}{2n} + 3nm$$

[0061]

[0062] 상기 수학식 1은 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위로, d는 산화마그네슘 나노로드와 산화아연 코팅의 총 두께이고, m_c 는 공명을 일으키는 공명 차수로 1 또는 2의 자연수이고, λ 는 니어밴드에지의 발광파장이고, n은 산화아연의 굴절율이다.

[0063] 본 발명에 따른 나노로드 발광체는 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 총 두께가 상기 Fabry - Perot의 식에서 계산된 공명길이에 오차범위 3 nm를 포함하는 범위에 만족하는 경우 단파장 발광 효율이 증가하는 특징이 있다. 이는 산화마그네슘 코어와 산화아연 셸로 구성된 나노로드의 지름이 상기 수학식 1에서 계산된 공명길이에 해당하는 크기일 때, 나노로드가 흡수한 빛을 방출하는 과정에서 서로 다른 물질로 구성된 코어부분과 셸부분에서 굴절 및 간섭효과가 일어나 단파장 발광 현상이 강력하게 일어나는 데에 기인한다. 빛을 받아 산화마그네슘 코어로부터 방출되는 파동과 셸로부터 방출하는 파동이 공명하여 해당 파장에서의 발광특성이 향상되는 것이다. 구체적으로는 산화마그네슘 코어로부터 산화아연 셸로 이동하는 광에 의해 형성된 전자의 이동과 사각기동형 산화마그네슘 코어에서 발생하는 광공명 현상 때문에 파동 강도가 강력하게 증가하기 때문이다.

[0064] 이때 단파장 발광 현상의 강도는 코어 및 셸의 총 두께가 상기 수학식 1에 의해 계산된 공명길이에 접근할수

록 그 효과가 커지고, 오차범위 $\pm 3 \text{ nm}$ 의 범위에서 셀이 코팅된 경우에 단파장 발광효과가 크게 증가한다. 상기 수학적 식 1에서 계산된 공명길이에 정확히 부합하는 두께로 코팅된 경우 발광 효과가 최대가 된다.

[0065] 본 발명에 따라 제조된 상기 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자는 발광효율이 개선되어 고순도의 청색 빛을 얻을 수 있고, 따라서 본 발명의 발광체를 적용할 경우 RGB 칼라를 통한 선명도 면에서 발전된 디스플레이 소자를 얻을 수 있고, 또한 백색광 발광 다이오드와 같은 다양한 영역에 적용될 수 있다는 장점이 있다.

[0066] 본 발명에 따른 나노로드 발광체의 산화마그네슘 코어 두께는 $50 \sim 70 \text{ nm}$ 인 것이 바람직하다. 산화마그네슘 코어의 두께가 50 nm 이하인 경우 합성하기 어렵다는 문제점이 있고, 70 nm 이상인 경우 나노사이즈의 한계를 넘는다는 문제점이 있다. 나노사이즈의 정의는 3차원 중 어느 하나의 차원이 100 nm 이하인 구조로, 코어가 너무 두껍게 되면 코어에 셀을 코팅한 구조가 나노사이즈를 만족시키지 못할 수 있다.

[0067] 본 발명에 따른 나노로드 발광체를 사용한 전자소자는 상기 산화아연 셀의 두께가 $5 \sim 20 \text{ nm}$ 인 것이 바람직하다. 산화아연 셀의 두께가 5 nm 미만인 경우 산화마그네슘 코어 표면을 균질하게 코팅하는 것이 어려운 문제가 있고, 산화아연 셀의 두께가 20 nm 를 초과하는 경우에는 산화아연 도핑 농도 증가에 따른 "밴드갭 재정상화 효과"로 인하여 발광효율 향상 효과가 소멸하는 문제점이 있다.

[0068] 상기 Fabry - Perot 의 식에 의하면 공명길이는 공명차수 m_c , 니어밴드에지의 발광파장 λ , 산화아연의 굴절율 n 에 의해 결정되는 값이다. 상기 니어밴드에지의 발광파장은 산화아연에 기인하는 값으로 380 nm 이고, 산화아연의 굴절율은 2.0으로 정해진 값이므로 공명길이는 공명차수 m_c 에 의해 결정된다. 상기 공명차수 m_c 의 값이 커질수록 공명길이는 증가한다. 본 발명에 따른 나노로드 발광체를 사용한 전자소자는 공명차수 m_c 가 자연수로 1 또는 2인 것이 바람직하다. 공명차수가 2 이상인 경우 나노로드의 두께가 불필요하게 커지는 문제점이 있기 때문이다.

[0069]

[0070] 본 발명에 따른 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자는 청색광의 발광효율이 향상되는 것을 특징으로 한다. 산화마그네슘 코어 - 산화아연 셀의 발광특성은 약 380 nm 부근과 약 $560 \sim 610 \text{ nm}$ 의 두 부분에서 발견되는데, 약 380 nm 부근의 근자외선 영역은 청색 발광을 의미하고, 약 $560 \sim 610 \text{ nm}$ 의 넓은 뎁레벨 발광은 노랑색 및 적색 발광을 의미한다. 공명길이에 해당하는 두께만큼 산화아연을 산화마그네슘 코어에 코팅한 경우 나노로드 발광체의 발광 강도가 최대로 증가한다. 동시에 황색 및 적색 발광을 의미하는 뎁레벨 발광은 줄어든다. 코팅 두께가 공명길이에 접근할수록 그 청색광의 발광효율이 증가한다.

[0071] 본 발명에 따른 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자는 상기 발광체의 뎁레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드에

지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)의 범위가 $5 \sim 35$ 인 것을 특징으로 한다. 상기 내용의 물리적인 의미는 황색

및 적색 발광을 나타내는 뎁레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 청색 발광인 니어밴드에지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)가 증가함으로써 고순도의 청색 발광을 얻을 수 있다는 것이다. 본 발명에 따라 제조된 상기 나노로드 발광체는 뎁

레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드에지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)가 5 이하인 경우는 나노로드가 바람직한 정도의 청색광의 순도를 보여주지 못하는 문제점이 있고, 35를 초과하는 값을 갖는 나노로드는 현실적으로 제조하기 어렵다.

[0072] 본 발명에 따른 나노로드 발광체를 포함하는 전자소자는 코어로부터 발광하는 빛과 셸로부터 발광하는 빛이 공명하여 발광특성이 향상되는 것을 특징으로 한다. 빛을 받아 산화마그네슘 코어에서 방출되는 파동과 셸로부터 발광하는 파동이 공명하여 해당 파장에서의 발광특성이 향상된다. 구체적으로는 산화마그네슘으로부터 산화아연으로 이동하는 광에 의해 형성된 전자의 이동과 사각형 산화마그네슘 코어에서 발생하는 광공명 현상 때문에 파동 강도가 강력하게 증가하기 때문이다.

[0073] 이하 본 발명을 실시예를 통해 보다 구체적으로 설명하는바, 하기 실시예는 본 발명을 설명하기 위한 것일 뿐 하기 실시예에 의하여 본 발명의 권리 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0074] <실시예 1> 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드의 제조 1

[0075] 단계 1: 산화마그네슘 나노로드를 형성하는 단계

[0076] 수평 튜브 가열로에 질화마그네슘 분말 50 g이 들어있는 알루미늄 보트를 넣고, 그 위에 3 nm 두께의 금 박막이 증착된 Si 기판을 올려놓는다. 가열로의 온도는 900℃를 유지시켰으며, 수평튜브 가열로 내부는 질소가스 300 sccm 및 산소가스 10 sccm을 동시에 넣어주면서 1 torr의 압력으로 유지해주었다. 상기의 열 기화를 1시간 동안 진행하여 60 nm의 두께를 가지는 산화마그네슘 나노로드를 제조한 후 상온으로 냉각하였다.

[0077] 단계 2: 산화마그네슘 나노로드에 산화아연 막을 코팅하는 단계

[0078] 상기 단계 1에서 제조된 산화마그네슘 나노로드를 원자층 증착 장비로 이동시켜 산화아연 막을 형성하였다. 이때 아연 소스로는 디에틸아연(DEZn)과 산소 소스로는 H₂O(1)를 각각 0℃와 10℃에서 공급하였고, 이 소스 가스는 분리된 주입라인과 노즐을 통하여 챔버 안으로 공급되었다. 펄스 시간은 디에틸아연(DEZn)은 0.15초, H₂O(1)는 0.2초, 퍼지 가스는 3초로 실행하였고, 챔버 안의 온도와 압력은 150℃, 0.1 torr로 유지되었다. 산화아연 막은 60 nm 두께의 산화마그네슘에 대하여 $m_c = 1$, $\lambda = 380 \text{ nm}$, $n = 2$ 로 계산되는 Fabry - Perot의 식에 의한 공명길이인 94 nm를 충족하기 위하여 산화아연 셸을 125 사이클로 코팅하여 셸 두께가 17 nm인 나노로드 발광체를 제조하였다.

[0079] <실시예 2> 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드의 제조 2

[0080] 상기 실시예 1의 단계 2에서 산화아연 셸을 120 사이클 16.3 nm의 두께로 코팅한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 나노로드 발광체를 제조하였다.

[0081] <실시예 3> 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드의 제조 3

[0082] 상기 실시예 1의 단계 2에서 산화아연 셸을 130 사이클 17.7 nm로 코팅한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 나노로드 발광체를 제조하였다.

[0083] <비교예 1-5: 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드의 제조>

[0084] 상기 실시예 1의 단계 2에서 산화아연 셸을 하기 표 1에 해당하는 사이클로 코팅한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 나노로드 발광체를 제조하였다.

표 1

	비교예 1	비교예 2	비교예 3	비교예 4	비교예 5
사이클	0	50	100	150	200
셸 두께(nm)	0 nm	6.8	13.6	20.4	27.2

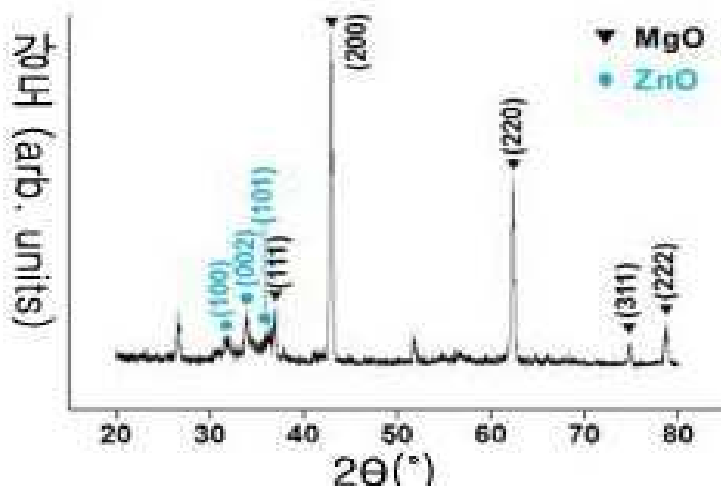
- [0086] <실험예 1> X - 선 회절 분석
- [0087] 본 발명에 따른 실시예 1의 나노로드 발광체의 결정구조를 분석하기 위하여 구리의 K 알파선을 이용한 X - 선 회절 분석을 수행하였고, 산화마그네슘 코어와 산화아연 쉼의 X선 회절 분석 결과를 도 1에 나타내었다.
- [0088] 도 1에 따르면, 산화아연의 피크는 (100), (002), (101) 면에 해당하는 결정성을 나타내고, 산화마그네슘의 피크는 (111), (200), (220), (311), (222) 면에 해당하는 결정성을 나타낸다. 산화아연의 결정면 피크는 산화마그네슘의 결정면보다 훨씬 작다. 이것은 산화아연의 두께가 산화마그네슘에 비해 훨씬 가늘기 때문이다. 도 1에 따르면, 산화마그네슘 코어와 산화아연 쉼 모두 결정성을 나타낸다는 것과 산화마그네슘 나노로드 표면에 산화아연 막이 코팅되었음을 확인할 수 있다.
- [0089] <실험예 2> 주사전자현미경 분석
- [0090] 본 발명에 따른 실시예 1의 발광특성이 향상된 산화마그네슘 코어에 산화아연 쉼을 코팅한 나노로드 발광체의 미세구조 및 구성원소를 분석하기 위하여 주사전자현미경 분석을 수행하였고 그 결과를 도 2의 (a), (b)에 나타내었다.
- [0091] 도 2 (a)에 따르면, 실시예 1의 발광특성이 향상된 산화마그네슘 코어에 산화아연 쉼을 코팅한 나노로드 발광체는 50 ~ 200 nm의 두께와 3 ~ 5 μm 의 길이로 구성되어 있음을 나타낸다. 또한, 도 2 (b)에 따르면, 실시예 1의 발광특성이 향상된 산화마그네슘 코어에 산화아연 쉼을 코팅한 나노로드 발광체는 단면이 직사각형인 막대 모양임을 나타낸다. 이로부터 실시예 1의 나노로드 발광체가 50 ~ 200 nm의 두께와 3 ~ 5 μm 의 길이로 구성되고, 단면이 직사각형 막대 모양으로 제조되었음을 확인할 수 있다.
- [0092] <실험예 3> 투과전자현미경 분석
- [0093] 본 발명에 따른 실시예 1의 발광특성이 향상된 산화마그네슘 코어에 산화아연 쉼을 코팅한 나노로드 발광체의 미세구조 및 결정구조를 분석하기 위하여 200 kV에서 투과전자 현미경 분석을 수행하였고, 그 결과를 도 3 및 도 4(a),(b)에 나타내었다.
- [0094] 도 3에 따르면, 원자층 증착법으로 균일하게 증착된 산화마그네슘 코어에 산화아연 쉼을 코팅한 나노로드 발광체의 저배율의 투과전자현미경의 사진을 통해 코어/ 쉼 구조의 형상으로 합성되었음을 알 수 있다.
- [0095] 도 4(a)는 산화마그네슘 코어의 고배율의 투과전자 현미경이미지로 이에 따르면, 면간 패턴은 단결정이고, 두 면간 간격은 격자상수가 $a=0.4213\text{nm}$ (JCPDS No. 04-0829)로 면심 입방구조인 {200} 면족에 해당하는 0.21nm 임을 알 수 있다.
- [0096] 도 4(b)는 산화아연 쉼의 고배율의 투과전자 현미경이미지로 이에 따르면, 면간 패턴은 회미하게 다결정을 나타내고, 두 면간 간격은 산화아연의 격자상수가 $a=0.3241\text{nm}$, $c=0.5187\text{nm}$ (JCPDS No. 79-0205)로 육방정계 구조인 {200}면 족에 해당하는 0.25nm 임을 알 수 있다.
- [0097] <실험예 4> 제한시야 회절분석
- [0098] 본 발명에 따른 실시예 1과 비교예 1에 의해 제조된 나노로드 발광체의 제한시야 회절패턴을 분석하기 위하여 투과전자 현미경 분석을 수행하였고, 그 결과를 도 5 (a), (b)에 나타내었다.

- [0099] 도 5(a)에 따르면, 비교예 1에 의해 제조된 나노로드 발광체인 산화마그네슘의 회절패턴을 통해 산화마그네슘 나노로드는 면심 입방구조인 단결정임을 알 수 있다.
- [0100] 도 5(b)에 따르면, 실시예 1에 의해 제조된 나노로드 발광체는 강한 점으로 찍힌 산화마그네슘 단결정 패턴과 희미하게 산화아연의 링 패턴을 나타내는 다결정 패턴이 혼재되어 있고, 이때 산화아연으로부터 얻은 링 패턴의 결정 면은 {100}, {002}, {101}면에 해당한다. 이러한 패턴은 산화아연이 산화마그네슘에 비해 훨씬 얇기 때문에 희미하게 나타난다. 이를 통하여 실시예 1을 통하여 제조된 나노로드는 산화마그네슘 코어에 산화아연셸이 코팅된 다결정 구조임을 알 수 있다.
- [0101] <실험예 5> 광 발광(Photoluminescence, PL) 분석
- [0102] 본 발명에 따른 실시예 1 내지 실시예 3, 비교예 1 내지 비교예 5에 의해 제조된 나노로드 발광체의 발광특성을 확인하기 위해 광 발광 분석을 수행하였고, 구체적으로 나노로드의 광발광 측정은 325nm 파장을 갖는 헬륨-카드뮴 소스를 이용하여 PL 스펙트로미터를 사용하였고, 그 결과를 도 6에 나타내었다. 도 6의 니어밴드예지 발광 스펙트럼을 이용하여 코팅을 하지 않은 산화마그네슘 코어에서의 발광효율에 대한 코팅 싸이클에 따른 발광효율의 비율을 도 7에 나타내었다.
- [0103] 도 6에 따르면, 실시예 1 내지 실시예 3, 비교예 1 내지 비교예 5의 나노로드는 파장대가 약 380 nm로 니어밴드예지에 해당하는 근자외선 영역과 중앙부가 약 580 nm의 파장인 딥레벨 밴드에서 발광하는 것을 알 수 있다. 이로부터, 실시예 1의 경우에는 공명길이에 해당하는 만큼의 코팅이 이루어져 공명으로 인한 발광효과가 최대화되기 때문에, 이로부터 코팅 싸이클 회수가 공명길이에 가까울수록 니어밴드예지에 해당하는 자외선 영역은 매우 강하게 발광하고, 딥레벨 밴드에서의 발광은 소멸하는 것을 확인할 수 있다.
- [0104] 도 7에 따르면, 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 5의 비교예 1에 대한 니어밴드예지에서의 발광강도의 비율을 알 수 있다. 이로부터, 산화아연 셸을 125 싸이클로 코팅한 실시예 1의 경우 니어밴드예지에서의 발광강도가 산화마그네슘 코어만의 발광강도인 비교예 1의 경우보다 120 배에 이르는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 본 발명이 공명길이에 해당하는 두께로 코팅된 경우 발광 강도가 극대화되는 효과를 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] <실험예 6> 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드 발광체의 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드예지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$) 분석
- [0106] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 5에 의해 제조된 나노로드 발광체의 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드예지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$)를 각각 하기 도 6의 발광 스펙트럼으로부터 측정하였고, 그 결과를 도 8에 나타내었다.
- [0107] 도 8에 따르면, 산화마그네슘 코어에 산화아연 셸을 코팅한 나노로드 발광체는 실시예 1 내지 실시예 3과 같이 셸의 코팅 두께가 상기 수학식 1에 부합할 때 우수한 딥레벨 발광강도(I_{DL})에 대한 니어밴드예지 발광강도(I_{NBE})의 비($\frac{I_{NBE}}{I_{DL}}$) 값을 가짐을 알 수 있어, 이로부터 본 발명에 의해 방출되는 청색광의 순도가 본 발명에서 제시한 상기 수학식 1의 범위에 부합하지 않은 경우에 비해 우수함을 확인할 수 있다.

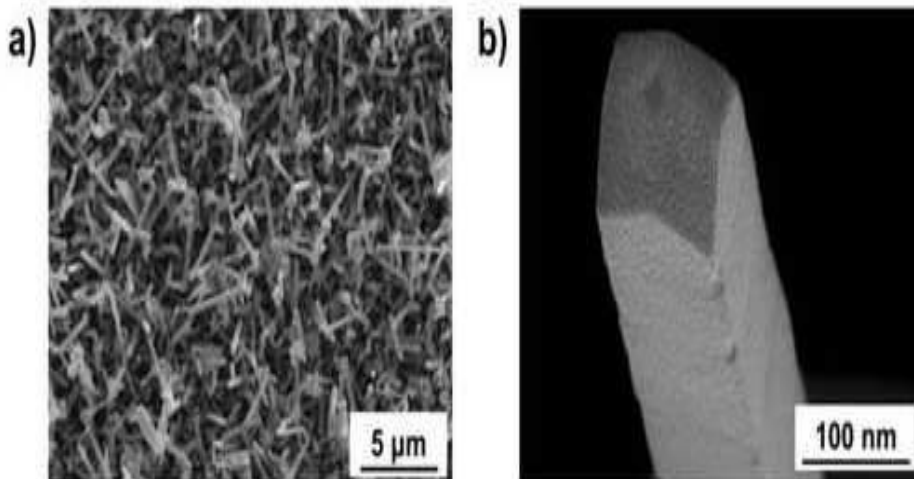
[0108] 또한, 도 8에 따르면, 실시예 1을 통해 제조된 나노로드의 경우 딥레벨과 니어밴드에지의 발광효율의 비가 30에 달하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 본 발명이 공명길이에 해당하는 두께로 코팅된 경우 발광하는 청색광의 순도가 극대화되는 효과를 가지는 것을 확인할 수 있다.

도면

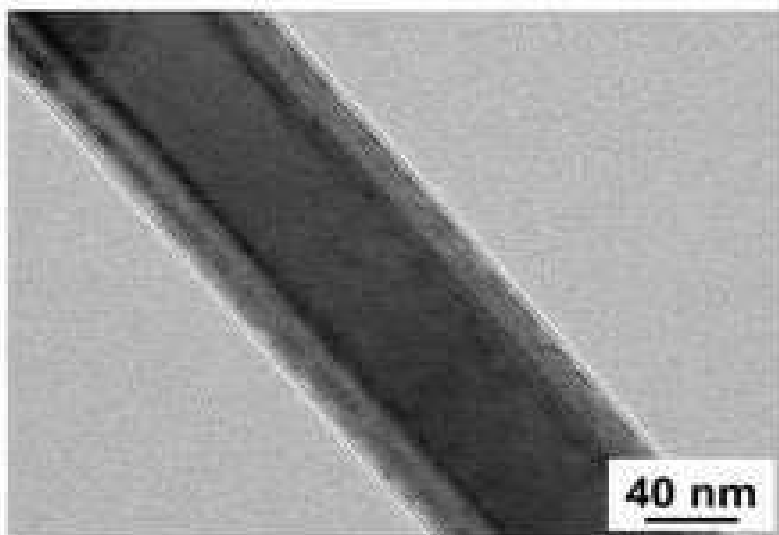
도면1



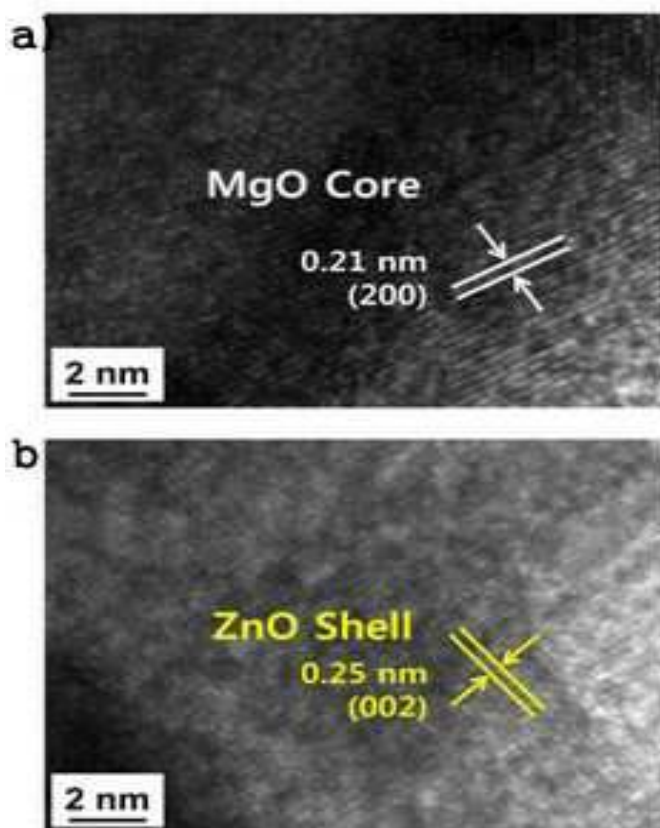
도면2



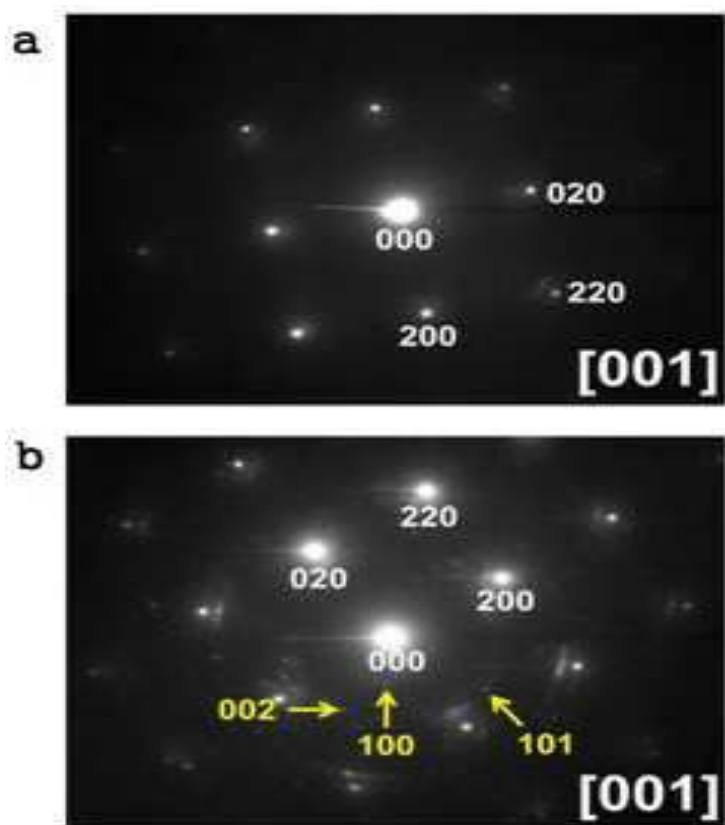
도면3



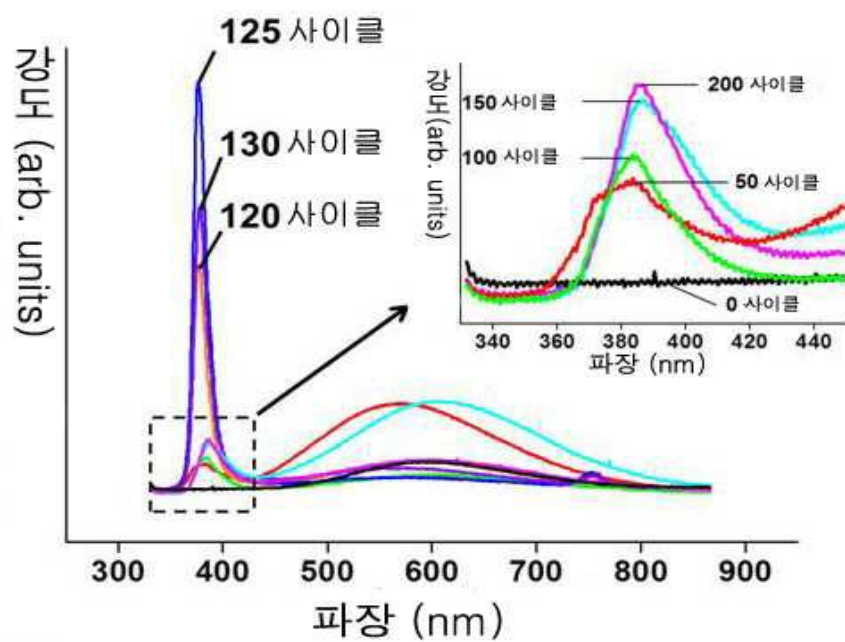
도면4



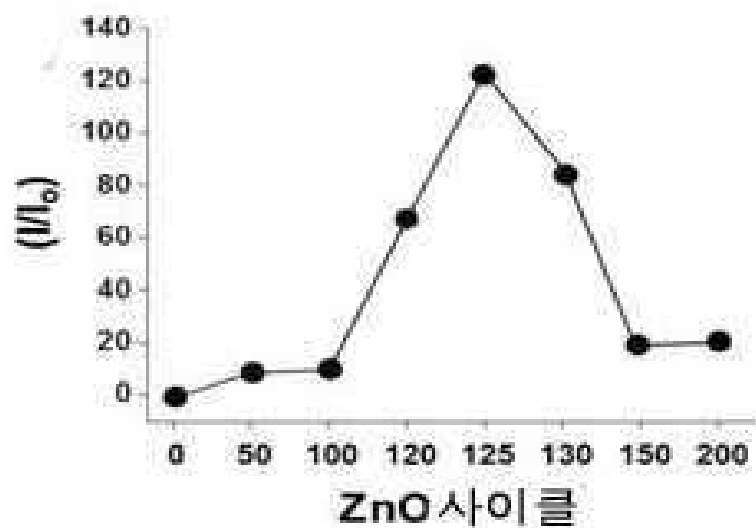
도면5



도면6



도면7



도면8

