

보도자료



보도일시	즉시 보도
	2023. 10. 24.(화)
문의	연구책임자: 물리천문학과 전현수 교수 (02-880-6265) / 교신저자
	연구진: 이태운 연구원(02-880-6768) / 제1저자 박연상 교수 (042-821-6543) / 공동교신저자 / 소속 충남대

■ 제목/부제

제목	공진 공동 형광체
부제	공진 공동 구조를 이용한 고효율 양자점 형광체

■ 요약

연구 필요성	<p>형광체는 고체 조명(solid-state lighting), 충전연색 디스플레이(full-colour display) 등 현대의 다양한 광학적 장치에서 필수적으로 요구되는 색변환 물질이다. 이러한 형광체에 대한 연구는 지금까지 전통적/전형적인 물질 개발 위주로 진행되어왔다. 비교적 최근에 본 연구진은 형광 물질에 나노광자학적 구조를 접목함으로써 형광체의 효율을 획기적으로 증가시키는 방법을 제안하였고 또한 관련 연구를 수행하고 있다. 일례로 광자결정(photonic crystal; PhC)이라는 나노광자학적 구조를 콜로이드 양자점(colloidal quantum dot; CQD; 퀴텀닷)과 결합함으로써 CQD의 색변환 효율을 획기적으로 증가시킬 수 있음을 시현하였고 이를 점진적으로 발전시켜왔다. 하지만 광자결정 형광체는 제작 공정이 까다롭고, 확보가 가능한 궁극적 효율에도 분명한 한계가 존재한다는 단점이 존재한다. 이번 연구를 통해 광자결정 형광체에 비해 더 간단한 구조, 더 용이한 제작 공정, 더 우수한 성능을 갖는 공진 공동(resonant cavity; RC) 구조를 이용한 형광체를 개발하였다. 본 연구는 서울대-충남대 공동연구로 수행되었다.</p>
연구성과/기대효과	<p>두 개의 분배되먹임반사체(distributed feedback reflector; DBR) 사이에 매우 얇은 (~40 nm) 콜로이드 양자점 박막을 삽입함으로써 공진공동 형광체를 구성하였다. 이때 DBR은 물론 전체 RC 구조는 형광물질인 CQD를 광범핑하기 위한 파장, 즉 450 nm 파장의 파란색에 맞추어 설계 및 제작되었다. 매우 얇은 CQD 형광막을</p>

사용하였음에도 불구하고 공진공동 효과로 인해 펌핑된 광의 대부분(~87%)을 흡수할 수 있음이 확인되었고, 그 결과 공진공동 구조가 없는 단순한 CQD 형광막으로 이뤄진 기존 형광체에 비해 29배로 향상된 색변환 효율을 보였다. 본 연구를 통해 개발된 공진공동 형광체는 전체 구조의 두께 또한 획기적으로 얇아짐으로써 기존의 디스플레이 장치뿐만 아니라 헤드업 디스플레이, 스마트 안경, AR/VR 등 미래형/휴대용 디스플레이 장치에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 본문

- 형광체는 LED 등의 발광 소자 위에 도포됨으로써 본래의 LED 색을 다른 색으로 변환시키는 색변환 물질이며, 현대 디스플레이 장치에서 필수적인 요소이다.
- 형광체의 색변환 효율 향상을 위한 기존의 재료적인 접근법에서 벗어나 본 연구진은 광자결정이라는 나노광자학적 구조를 이용한 ‘구조적으로 엔지니어링된 형광체’라는 새로운 접근법을 제시하고 이를 시연함으로써 관련 연구에 일대 전환점을 마련한 바 있다.
- 그러나 광자결정을 이용한 형광체는 원천적으로 단점 및 한계점을 지니고 있다. 광자결정의 미세 패턴을 형성하기 위해 제조 과정에서 나노리소그래피(nano lithography)라는 고비용의 공정이 필요할 뿐만 아니라, 공정의 완성도에 따라 설계한 성능에 미치지 못할 가능성이 크다. 아울러 구조적, 원리적 원인으로 인해 구현이 가능한 색변환 효율에 있어 분명한 한계가 존재한다.
- 상기한 광자결정 형광체의 한계점을 극복하기 위해서는 새로운 광학적 플랫폼 구조가 필요하며, 본 연구진은 공진 공동 구조라는 다소 고전적이고 단순한 구조가 이러한 요구에 매우 효과적인 답이 될 수 있음을 확인하였다. 공진 공동 구조는 그 내부에 놓인 양자 시스템의 광자학적 전이율(transition rate)을 크게 높일 수 있다는 사실이 이미 잘 알려져 있으며, 실제 이를 이용해 이미 레이저, 광검출기 등에 널리 활용되고 있으나, 본 연구에서와 같이 형광 물질의 흡수율 향상을 위해 적용된 사례는 전무 하다.
- 공진 공동 구조는 박막을 수직 방향으로 켜켜이 쌓음으로써 제작할 수 있으므로 광자결정 구조와 같은 횡방향의 미세 패턴이 없고 따라서 리소그래피

공정이 필요하지 않다.

- 공진 공동 구조를 구성하는 분배되먹임반사체에 대한 설계를 통해 광흡수의 정도와 선폭 등을 자유자재로 조절할 수 있다.
- 제작 과정은 우선 유리 기판 위에 이산화 타이타늄(TiO_2)과 이산화 규소(SiO_2)를 교대로 반복 증착하여 하부 DBR 구조를 완성하는 것으로 시작된다. 그 위에 스핀 코팅을 통해 형광물질인 CQD 박막을 도포 한다. 마지막으로 하부 DBR 공정과 유사하게, 그러나 박막의 층수는 다르게 하여 상부 DBR 구조를 증착한다. 비대칭적인 공진 공동 구조는 한쪽에서 입사되는 광펌핑을 용이하게, 아울러 전체적인 구조의 효율을 극대화하기 위함이다. 총 2번의 증착과 1번의 스핀코팅 만이 요구되는 매우 단순한 공정으로 구성되어 있다.

□ 연구결과

- 형광체의 효율은 펌핑광의 흡수율, 색변환 과정에서의 내부양자효율, 변환된 빛에 대한 광추출효율을 모두 곱한 값으로 정의할 수 있다. 본 연구진이 제안한 구조적 접근법은 이 가운데 형광체에 의한 펌핑광의 흡수율을 높이는 방법이다. 본 연구에서는 형광물질로 CQD를 채택하였고 광학적 구조로는 공진 공동 구조를 채택하였으며, 그 결과 CQD에 의한 최대 광흡수율 87%, 최종 색변환 효율 29배 상승이라는 매우 획기적인 수치를 달성하였다.

□ 용어설명

- 광자결정: 빛의 파장 크기 수준의 주기로 굴절률이 변하는 광학적 구조.
- 양자점: 형광물질의 일종으로 CdSe와 같은 반도체 물질로 이루어진 나노입자이며, 내부 양자 효율이 90%가 넘어 첨단 디스플레이 장치에 활용되고 있음.
- 분배되먹임반사체: 굴절율이 다른 두 개의 물질을 번갈아 쌓아 올려 구성한 박막 형태의 광 반사체.
- 스핀코팅: 회전하는 기판에 액상의 물질을 떨어뜨려 원심력으로 균일한 두께의 박막을 준비하는 공법.
- 리쏘그래피: 반도체 제작 공정 중 하나로 기판에 패턴을 형성하는 공정.