



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월05일  
(11) 등록번호 10-2286596  
(24) 등록일자 2021년07월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C08J 7/04 (2020.01) C08K 3/22 (2006.01)  
C08L 83/04 (2006.01) C08L 83/10 (2006.01)  
C08L 89/00 (2006.01) B82Y 40/00 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
C08J 7/04 (2013.01)  
C08K 3/22 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0128673  
(22) 출원일자 2019년10월16일  
심사청구일자 2019년10월16일  
(65) 공개번호 10-2020-0042873  
(43) 공개일자 2020년04월24일  
(30) 우선권주장  
1020180123282 2018년10월16일 대한민국(KR)

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김지원  
서울특별시 종로구 평창30길 71-11  
이원식  
인천광역시 연수구 독배로 58  
(74) 대리인  
오위환, 나성근, 정기택

(56) 선행기술조사문헌  
Wonhee Cha et al. Size-controllable and stable organometallic halide perovskite quantum dots/polymer films. Journal of Materials Chemistry C. 2017.6.20, Volume 5, page 6667-6671. 사본 1부.\*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 6 항

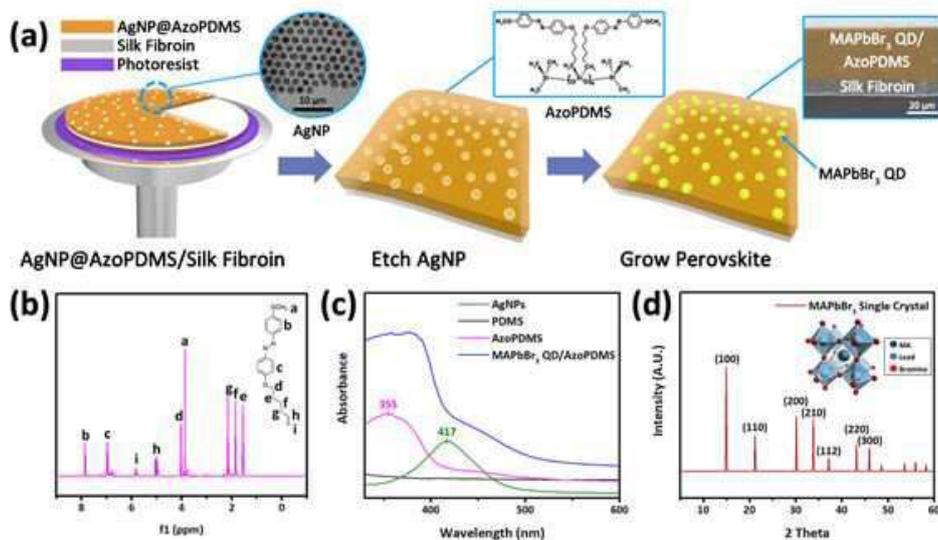
심사관 : 박은주

(54) 발명의 명칭 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체

(57) 요약

본 발명은 광반응성 고분자와 양자점을 결합한 다중 광스위치성 나노복합체에 관한 것으로, 보다 상세하게는 아조벤젠 작용기를 갖는 폴리디메틸실록산(AzoPDMS)으로 구성되는 다공극성 고분자층과 실크 피브로인(Silk fibroin)으로 구성되는 지지층을 포함하는 이중층 구조의 광반응성 고분자 및 상기 광반응성 고분자의 고분자층에 균일하게 분포된 페로브스카이트 양자점(PQDs)을 통해 서로 다른 파장의 광 자극에 독립적인 다중 반응을 나타내는 광스위치성 나노복합체에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C08L 83/04* (2013.01)  
*C08L 83/10* (2013.01)  
*C08L 89/00* (2013.01)  
*B82Y 40/00* (2013.01)

(72) 발명자

**이지연**

충청북도 청주시 청원구 오창읍 구룡3길 13

**김명준**

서울특별시 노원구 한글비석로 151

**김동준**

인천광역시 남구 아암대로29번길 16

(56) 선행기술조사문헌

Wonsik Lee et al. Light-induced electrical switch via photo-responsive nanocomposite film. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018.4.3, Volume 266, page 724-729. 사본 1부.\*

JP2018522959 A

KR1020180086012 A

KR1020170137449 A

KR1020160130540 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711095282
과제번호	2019R1A2C4069922
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	독립적인 다중 자극 반응성 나노복합소재의 개발 및 응용(1/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2020.02.29
공지예외적용	: 있음

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

실크 피브로인(Silk fibroin)으로 구성되는 지지층;

상기 지지층 상에 형성되고, 아조벤젠 작용기를 갖는 폴리디메틸실록산(AzoPDMS)으로 구성되는 다공극성 고분자층; 및

상기 고분자층의 공극 내에서 성장한 페로브스카이트 양자점(PQDs);을 포함하고,

상기 아조벤젠 및 페로브스카이트 양자점은 파장대별 광 자극에 따른 다중 반응상태를 유도하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 페로브스카이트 양자점 전구체로 메틸암모늄납브롬( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ )을 사용하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체.

**청구항 3**

제1항에 있어서, 상기 아조벤젠은 광 자극을 통해 상기 지지층과의 부피 차이로 인한 굽힘(Photo-Bending) 현상을 유도하고, 상기 페로브스카이트 양자점은 광 자극을 통해 발광(Photo Luminescence) 현상을 유도하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체.

**청구항 4**

제3항에 있어서, 상기 나노복합체는  $\lambda > 500\text{nm}$ 에서 굽힘 현상이 발생하고,  $365\text{nm} < \lambda < 500\text{nm}$ 에서 발광 현상이 발생하며,  $\lambda = 365\text{nm}$ 에서 굽힘 현상이 완화된 펼침 현상 및 발광 현상이 발생하여 복수개의 광 자극으로 동시에 독립적인 다중 반응이 유도되는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체.

**청구항 5**

(i) 실크 피브로인 지지층을 형성하는 단계;

(ii) 상기 지지층 상에 은나노입자/폴리디메틸실록산(AgNP/AzoPDMS) 고분자층을 형성하는 단계;

(iii) 상기 고분자층에서 은나노입자를 에칭 제거하여 상기 입자 크기의 공극을 형성하는 단계; 및

(iv) 상기 공극 내에서 페로브스카이트 양자점(PQDs)을 성장시켜 페로브스카이트 양자점/폴리디메틸실록산(PQDs/AzoPDMS) 및 실크 피브로인 필름을 제조하는 단계;를 포함하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체의 제조방법.

**청구항 6**

제5항에 있어서, 상기 페로브스카이트 양자점 전구체로 메틸암모늄납브롬( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ )을 사용하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 나노복합체에 관한 것으로, 보다 상세하게는 서로 다른 파장의 빛에 독립적인 반응을 나타내는 광반응성 고분자와 양자점을 결합한 다중 광스위치성 나노복합체에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 유·무기 나노복합소재는 유기물과 무기물의 서로 대비되는 물성을 조합하여 보다 광범위한 특성을 구현할 수 있다. 나아가 복합소재의 기능적 특성은 빛, pH, 자기장, 전기장, 기계적 힘 및 열과 같은 자극에 의해 추가적으로 조작될 수 있다.
- [0003] 이러한 자극을 가하여 복합소재의 특성을 큰 폭으로 변화시킬 수 있다면 이를 ON/OFF 스위치에 적용할 수 있다. 스위치성 물질은 자극의 유무에 따라 명확하게 다른 특성을 나타내야 하고, 가역적인 매커니즘이 수반되어야 한다. 이들은 촉매, 센서, 광검출기, 메모리장치 및 약물 전달 시스템과 같은 다양한 분야에서 응용될 수 있다.
- [0004] 빛은 소재에 직접 접촉하지 않으면서 세기 및 파장에 따라 쉽게 시공간적으로 원격 조절이 가능하기 때문에 매우 유용한 자극이다. 따라서, 빛을 자극으로 한 광촉매, 약물 전달 시스템, 투명하고 유연한 차세대 에너지 전환 장치 등 광스위치성 유·무기 나노복합소재는 다양한 분야에 활용되고 있다. 나아가 한 개 이상의 반응을 수반하는 자극을 순차적으로, 또는 동시에 가하여 보다 복잡한 반응을 유도함으로써 활용 분야를 확장시킬 수 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제1724210호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0006] 본 발명에서 해결하려는 과제는, 광스위치성 물질에 있어, 간단히 파장과 세기만을 바꿈으로써 시공간적으로 정교하게 빛을 조절할 수 있고, 서로 다른 파장의 빛에 독립적인 반응을 나타내는 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체를 제공하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] 한편으로, 본 발명은
- [0008] 실크 피브로인(Silk fibroin)으로 구성되는 지지층;
- [0009] 상기 지지층 상에 형성되고, 아조벤젠 작용기를 갖는 폴리디메틸실록산(AzoPDMS)으로 구성되는 다공극성 고분자층; 및
- [0010] 상기 고분자층의 공극 내에서 성장한 페로브스카이트 양자점(PQDs);을 포함하고,
- [0011] 상기 아조벤젠 및 페로브스카이트 양자점은 파장대별 광 자극에 따른 다중 반응상태를 유도하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체를 제공한다.
- [0012] 다른 한편으로, 본 발명은
- [0013] (i) 실크 피브로인 지지층을 형성하는 단계;
- [0014] (ii) 상기 지지층 상에 은나노입자/폴리디메틸실록산(AgNP/AzoPDMS) 고분자층을 형성하는 단계;
- [0015] (iii) 상기 고분자층에서 은나노입자를 에칭 제거하여 공극을 형성하는 단계; 및
- [0016] (iv) 상기 공극 내에서 페로브스카이트 양자점(PQDs)을 성장시켜 페로브스카이트 양자점/폴리디메틸실록산(PQDs/AzoPDMS) 및 실크 피브로인 필름을 제조하는 단계;를 포함하는, 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체의 제조방법을 제공한다.

**발명의 효과**

- [0017] 본 발명에 의한 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체는 복수개의 광 자극(파장이 각각 다른 빛)으로 독립적인 다중 반응(굽힘-펼침 현상, 발광 등)을 유도할 수 있으며, 각 반응들의 조합을 통해 다수의 독립적인 상태를 구현할 수 있다.

[0018] 또한, 종래 다중 스위치성 물질들은 일반적으로 하나의 반응을 제어하는 데에 두 개 이상의 자극을 이용하지만, 본 발명에 따른 나노복합체는 제어 과정이 쉬운 단일 자극으로 다양한 상태를 나타낼 수 있다.

[0019] 본 발명에 따른 나노복합체는 각각의 독립적인 반응들의 조합을 통하여 다수의 독립적인 상태(state)를 구현할 수 있으므로, 투명 유연한 광소자뿐만 아니라 논리 게이트(00<sub>(2)</sub>, 01<sub>(2)</sub>, 10<sub>(2)</sub>, 11<sub>(2)</sub>)로써 보다 복잡한 정보를 전달, 통신에 응용될 수 있다는 가능성을 보여준다.

**도면의 간단한 설명**

[0020] 도 1은 본 발명에 따른 나노복합체 필름의 제조방법 및 특성을 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명에 따른 나노복합체 필름의 독립적인 다중 상태를 나타낸 것이다.

도 3은 본 발명에 따른 나노복합체 필름의 발광, 안정성 및 투과도를 측정 결과를 나타낸 것이다.

도 4는 본 발명에 따른 나노복합체 필름의 PB 현상 측정 결과를 나타낸 것이다.

도 5는 본 발명에 따른 나노복합체의 발광 측정 결과를 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0021] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.

[0023] 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체는,

[0024] 실크 피브로인(Silk fibroin)으로 구성되는 지지층;

[0025] 상기 지지층 상에 형성되고, 아조벤젠 작용기를 갖는 폴리디메틸실록산(AzoPDMS)으로 구성되는 다공극성 고분자층; 및

[0026] 상기 고분자층의 공극 내에서 성장한 페로브스카이트 양자점(PQDs);을 포함하고,

[0027] 상기 아조벤젠 및 페로브스카이트 양자점은 파장대별 광 자극에 따른 다중 반응상태를 유도하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체는 서로 다른 파장의 빛에 독립적인 반응을 나타낸다. 상기광감응성(반응성) 나노복합체는 빛 등의 제어 과정이 쉬운 단일 자극으로 광이성질체화 또는 광여기로부터 기인하는 필름의 굽힘-펴짐 현상(PB), 광루미네센스(PL), 광 변형(PD), 광전기(PE) 등 다양한 상태를 나타낼 수 있다.

[0031] 본 발명에 따른 나노복합체의 고분자를 구성하는 광스위치성 분자 아조벤젠(azobenzene)이 결합된 물질은 빛을 받아 그 구조를 변화시킬 수 있고, 페로브스카이트 양자점(perovskite quantum dot)은 특정 파장의 빛을 방출한다.

[0032] 상기 고분자는 구체적으로 지지층 및 고분자층으로 구성되는데, 실크 피브로인(silk fibroin)으로 구성되는 지지층 상에 아조벤젠 작용기를 갖는 폴리디메틸실록산(poly(dimethylsiloxane), AzoPDMS)으로 구성되는 다공극성 고분자층이 형성된 이중층 구조인 것을 특징으로 한다. 상기 고분자는 광 자극으로 인해 상기 두 층 간의 부피차가 필름의 굽힘-펴짐(photo-bending, PB)현상을 발생시킨다. 또한, 상기 고분자층의 공극 내에서 성장하여 균일하게 분포되어있는 페로브스카이트 양자점(PQDs)은 특정 파장 아래의 광 자극에 의해 광루미네센스(Photoluminescence, PL)를 발생시킨다.

[0034] 아조벤젠 유도체인 1-(4-(헥스-5-에닐옥시)페닐)-2-페닐디아젠(1-(4-(Hex-5-enyloxy)phenyl)-2-phenyldiazene)이 삽입된 폴리(디메틸실록산)(poly(dimethylsiloxane) (AzoPDMS)의 3차원 구조는 상기 아조벤젠의 cis-to-trans 이성질체화를 통해 빛 자극시 변화한다. 결과적으로, 지지층인 실크 피브로인 필름(약 20-30 μm의 두께) 상에 코팅된 AzoPDMS의 부피 변화는 빛 자극 시 지지층이 안으로 접히는 방향으로 필름의 굽힘-펴짐 현상(photo-bending, PB)을 유도한다.

[0035] 이중층 필름의 PB는 백색광과 365nm 광을 사용할 수 있고, 광원은 Xe 아크 램프, 365nm 라인 필터(12nm의 대역폭)가 365nm의 빛을 사용할 수 있다. 이때, 450W의 출력으로 광원으로부터 빛을 방출하고, 공기의 영향을 최소화하기 위해 공기 모터를 사용할 수 있다.

- [0036] 상기 아조벤젠 분자는 365nm의 빛에 의해 trans-to-cis form으로, 400nm 이상의 빛에 의해 cis-to-trans form으로 이성질화된다. 365nm light에 의해 trans-to-cis form으로, 400nm 이상의 light에 의해 cis-to-trans form으로 이성질화된다.
- [0037] 백색광은 200 내지 2000nm 파장을 커버하기 때문에 반응이 양방향으로 발생한다. 그러나 cis-to-trans의 반응은 trans-to-cis 반응(2.4 초)보다 더 빠르며(1.5 초), 트랜스형태가 우세하다. 즉, 백색광이 변환되었을 때 필름이 1.5 초 이내에 ~ 90 ° 까지 구부러졌고, 365nm 빛으로는 cis-form으로 필름이 다시 펴진다.
- [0039] 따라서, 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체는 광 자극의 파장을 조절함으로써 필름의 굽힘-펴짐 현상과 광루미네센스가 각각 ON/OFF 된, 서로 다른 4가지 상태로 동작하게 된다.
- [0041] 본 발명에 따른 나노복합체는 파장대별 광 자극에 따라 다중 반응상태를 유도할 수 있으며, 상기 나노복합체는  $\lambda > 500\text{nm}$ 에서 굽힘 현상이 발생하고,  $365\text{nm} < \lambda < 500\text{nm}$ 에서 발광 현상이 발생하며,  $\lambda = 365\text{nm}$ 에서 굽힘 현상이 완화된 펼침 현상 및 발광 현상이 발생할 수 있다.
- [0042] 도 2를 참조로, (a) 라이트 OFF & 필름의 펴짐 (초기 상태), (b) 라이트 OFF & 필름의 굽힘 ( $\lambda > 500\text{nm}$ ), (c) 라이트 ON & 필름의 펴짐 ( $\lambda = 365\text{nm}$ ) 및 (d) 라이트 ON & 필름의 굽힘 ( $\lambda > 365\text{nm}$ )와 같이 나타날 수 있다.
- [0043] 구체적으로, PB에 의해 파장이 500nm보다 큰 광은 AzoPDMS 구부러짐을 유도하고, 365nm 단색광은 펼쳐진 형태가 된다. 광 발광 특성에서 500nm 이하의 빛은 PL 빛을 방출한다. 이와 함께 파장의 다른 범위를 활용하여 PL 효과와 굽힘 현상이 이루어지기 전의 초기 상태를 포함해 페로브스카이트/AzoPDMS 복합체의 네 가지 상태를 얻을 수 있다. 365nm 단색에서 PL 효과와 펴짐이 발생하고 (이전의 조작으로 인해 굽혀진 필름의 경우), 365nm 초과 빛은 365nm에서 500nm 사이의 파장을 포함하기 때문에 PL 효과가 있고 구부러지는 특성을 갖는다. 500nm 초과 빛은 PL 효과가 없으며 여전히 구부러져 있다.
- [0045] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 페로브스카이트 양자점 전구체로는 유기 금속 할라이드 페로브스카이트를 사용할 수 있다. 구체적으로 메틸암모늄납브롬( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ), 메틸암모늄납요오드( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) 등을 사용할 수 있으며 이에 제한되는 것은 아니나, 메틸암모늄납브롬이 다른 할로겐화물에 비해 안정성이 높기 때문에 보다 바람직하다.
- [0047] 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체는 추가적인 물리적 접촉 없이 굽힘과 발광을 동시에 수행할 수 있으므로 생체전자공학(Bioelectronics) 또는 전기작동기(electrical actuator)에 적용할 수 있다.
- [0049] 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 광스위치에 의한 다중 반응 광감응성 고분자-양자점 나노복합체의 제조방법은,
- [0050] (i) 실크 피브로인 지지층을 형성하는 단계;
- [0051] (ii) 상기 지지층 상에 은나노입자/폴리디메틸실록산(AgNP/AzoPDMS) 고분자층을 형성하는 단계;
- [0052] (iii) 상기 고분자층에서 은나노입자를 에칭 제거하여 상기 입자 크기의 공극을 형성하는 단계; 및
- [0053] (iv) 상기 공극 내에서 페로브스카이트 양자점(PQDs)을 성장시켜 페로브스카이트 양자점/폴리디메틸실록산(PQDs/AzoPDMS) 및 실크 피브로인 필름을 제조하는 단계;를 포함한다.
- [0055] 상기 AzoPDMS는 아조벤젠 유도체(1-(4-(hex-5-enyloxy)phenyl)-2-phenyldiazene)를 PDMS에 화학적으로 결합하여 제조할 수 있고, AzoPDMS 다공성 고분자층은 은(silver)나노입자(AgNP)의 혼합 및 에칭을 통해 내부에서 OHP-QD를 성장시킴으로써 제조할 수 있다(도 1(a) 참조).
- [0057] 상기 AgNP는 AzoPDMS prepolymer 내에 혼합되어 이후에 식각 공정으로 다공성 AzoPDMS를 만들 수 있다. 상기 AgNP의 직경은  $5.3 \pm 0.6 \text{ nm}$ 이고 톨루엔에 Ag 농도  $5.7 \times 10^{15} /\text{mL}$ 로 분산시켜 사용할 수 있다. 상기 AgNP를 3M  $\text{HNO}_3$  용액으로 에칭하면 Perovskite 양자점 (OHP-QDs)이 성장한 AgNP 크기의 구형 공극이 형성된다. 이 방법은 용액 기반 합성에 의한 것보다 균일한 크기 분포를 갖는 OHP-QD를 형성하고 OHP-QD는 중합체 매트릭스에 의해 외부 환경으로부터 보호함으로써 더욱 안정적이라는 장점이 있다.
- [0059] 이하, 실시예에 의해 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오직 본 발명을 설명하기 위

한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 국한되지 않는다는 것은 당업자에게 있어서 자명하다.

[0061] **실시예 1: AzoPDMS의 제조**

[0062] 아조벤젠 유도체(1-(4-(hex-5-enyloxy)phenyl)-2-phenyldiazene)와 폴리(디메틸실록산)(poly(dimethylsiloxane) 전구체를 톨루엔 용매(Samchun, 99.5%) 상에서 110 °C, 24시간 동안 혼합하여 아조벤젠 유도체가 삽입된 폴리(디메틸실록산)(AzoPDMS))을 제조하였다.

[0063] 이때, 실가드(Sylgard) 184 실리콘 엘라스토머 키트(Dow Corning)를 프리폴리머로 사용하였고, 염화백금산(chloroplatinic acid hexahydrate, H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O)을 중합 반응의 촉매로 사용하였다.

[0065] **실시예 2: AgNP/AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름의 제조**

[0066] MAPbBr<sub>3</sub> QD 성장을 위한 다공극성 템플릿을 제조하기 위하여 AgNP/AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름(Silk Fibroin Bilayer Film)을 제조하였다. AzoPDMS가 강한 산성 조건에서 취약하기 때문에 AgNPs를 사용하였다.

[0067] 먼저, 포토레지스트인 AZ-5214E를 웨이퍼 상에 30초 동안 3,000 rpm으로 스핀코팅하고 120 °C에서 2분 동안 경화하였다. 그런 다음, 실크 피브로인(Silk Fibroin) 용액을 웨이퍼로부터 제거하기 위하여 PR층 상에 드롭-캐스트(drop-cast)하고 12시간 동안 건조시켰다. 2mL의 AgNPs 용액(NP concentration of 5.7 × 10<sup>15</sup> mL<sup>-1</sup>)을 1 g의 AzoPDMS 프리폴리머에 격렬히 교반하면서 첨가하였다. 그런 다음, AgNP/AzoPDMS의 혼합물을 1,500 rpm으로 30초 동안 실크 피브로인 층 상에 스핀 코팅하였다. 경화 후, AgNP/AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름을 얻기 위해 PR을 아세톤으로 제거하였다.

[0069] **실시예 3: CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> QD/AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름의 제조**

[0070] AgNP/AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름에서 AgNP를 에칭 제거하기 위해, THF와 3M HNO<sub>3</sub> 용액 사이에 필름을 3회 교대로 침지시켰다. 각 공정은 15 분 동안 지속되었고, 필름은 THF로 세척하였다. 에칭된 다공성 AzoPDMS 및 실크 피브로인 이중층 필름을 THF에서 15분 동안 팽윤시킨 다음, 메틸암모늄 할라이드화납 페로브스카이트 전구체 용액(무수 DMF 중 1.0M의 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub>)에 10 시간 동안 침지시켰다. CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> QD가 공극 내에서 완전히 성장하도록 하기 위해 이 과정을 여러 번 반복하였다. 그런 다음, 상기 필름을 70 °C의 진공 오븐에서 밤새 건조시켜 이중층 필름을 제조하였다.

[0072] 도 1의 (c)를 참조로, UV-Vis 흡수 스펙트럼은 AzoPDMS 내 AgNP의 존재를 확인할 수 있다. AgNP는 표면 플라즈몬 공명(SPR) 현상으로 인해 파장 417nm에서 가장 높은 수치로 나타난다. AzoPDMS는 355nm에서 최대 흡수 파장을 보여준다. 따라서 AgNP/AzoPDMS 나노 복합체는 355nm 및 417nm에서의 흡수 파장을 포함하여 나타나고, AzoPDMS 다공성 주형을 에칭한 후 417nm의 흡수가 감소하는 것을 확인하였다.

[0073] 도 3은 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> QD/AzoPDMS 나노복합체 필름의 발광, 안정성 및 투과도를 측정하는 것이다.

[0074] 도 3을 참조로, (a) AzoPDMS 내에서 성장한 OHP-QD의 PL을 형광 분광법으로 측정하였다. 유기 금속 할라이드 페로브스카이트(perovskite)인 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub>는 약 500nm 이하의 흡수와 약 523 내지 525 nm에서의 방출 피크를 보였다. PDMS에서 OHP-QD의 흡수 피크는 크기가 감소함에 따라 OHP-QD의 광 밴드 갭이 증가하여 벌크 물질 (~ 25nm)의 흡수 피크보다 파란색으로 이동한다. (b)의 XRD 분석을 통해 상기 나노복합체 필름의 안정성을 확인하였으며, (c)를 통해 투명도를 확인하였다. 또한, (d) 700nm에서 본 발명에 따른 나노복합체 필름의 투과도가 약 53% 인 것을 알 수 있었다.

[0076] 도 4는 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> QD/AzoPDMS 나노복합체 필름의 PB 현상을 측정하는 것이다.

[0077] 도 4를 참조로, (a)는 백색광 조사시 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> QD/AzoPDMS 나노복합체 필름이 굽힘 상태(streched→bent)를 나타내고, 365 nm 파장의 광에서는 퍼짐 상태(bent→streched)를 나타내는 것을 확인하였다. 이때, 굽힘 상태는 약 20° 였다. 또한, (b)를 통해 상기 나노복합체 필름의 굽힘 정도가 광강도(light power)가 증가함에 따라 굽힘 각도가 증가하는 것을 알 수 있었다.

[0079] 도 5는 본 발명에 따른 나노복합체의 발광 측정 결과에 관한 것이다.

[0080] 도 5를 참조로, 파장 460nm의 빛을 입사한 경우 약 523 내지 525 nm에서 방출 피크가 발생하는 것을 확인하였다. AzoPDMS를 1,500 RPM으로 30초 동안 스핀 코팅하였을 때, 가장 큰 발광 피크를 나타내었고, 이는

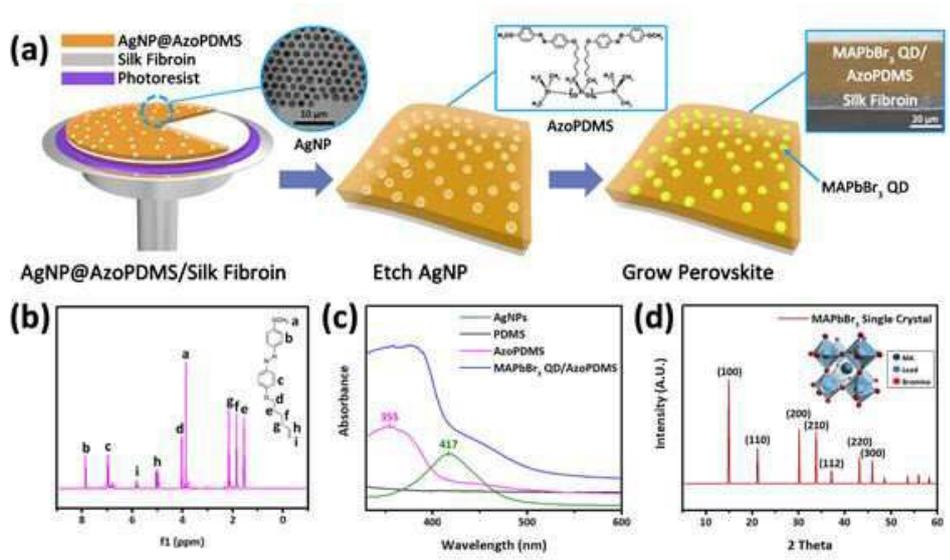
약 50 $\mu\text{m}$ 의 막 두께에서 측정되었다. 따라서, AzoPDMS에서 OHP-QD가 정확하게 형성되어 충분한 발광이 일어나는 것을 볼 수 있었다.

[0082] 이상으로 본 발명의 특정한 부분을 상세히 기술하였는 바, 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 구현예일 뿐이며, 이에 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아님은 명백하다. 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기 내용을 바탕으로 본 발명의 범주 내에서 다양한 응용 및 변형을 행하는 것이 가능할 것이다.

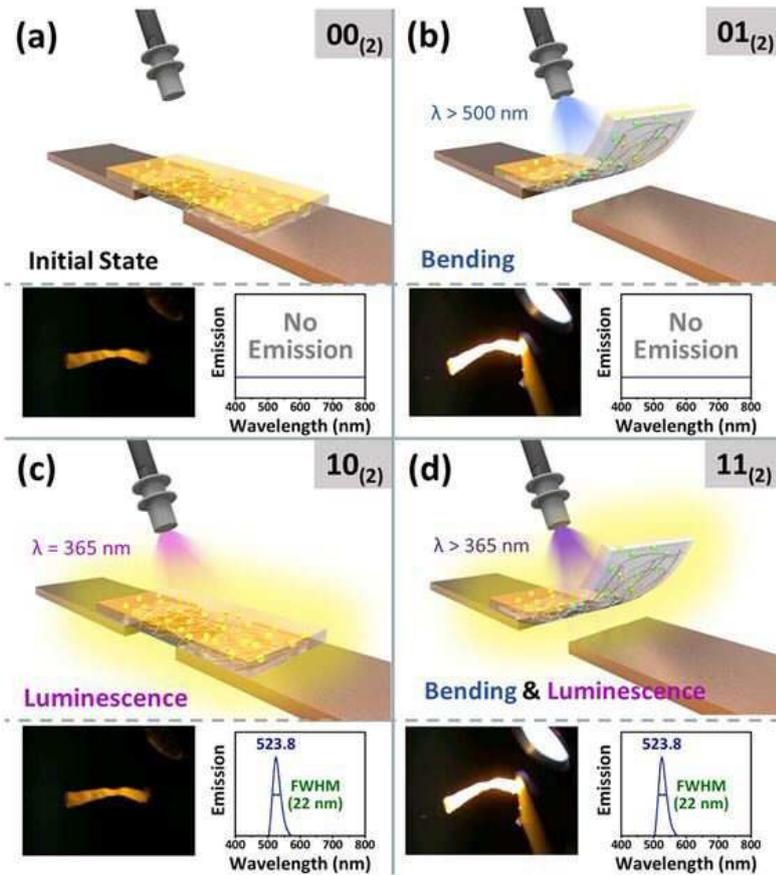
[0083] 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 특허청구범위와 그의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

도면

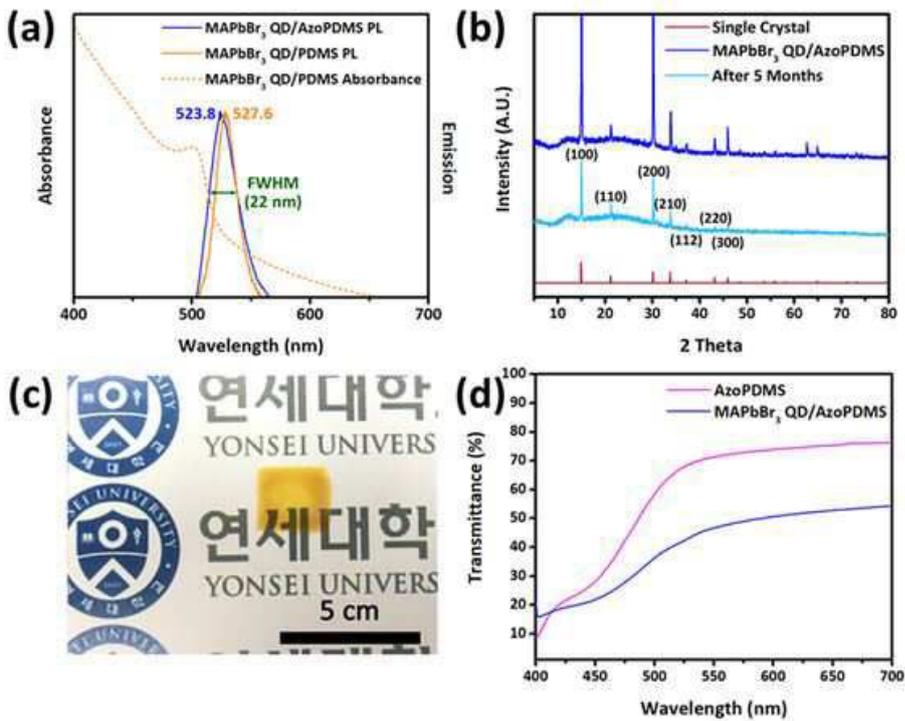
도면1



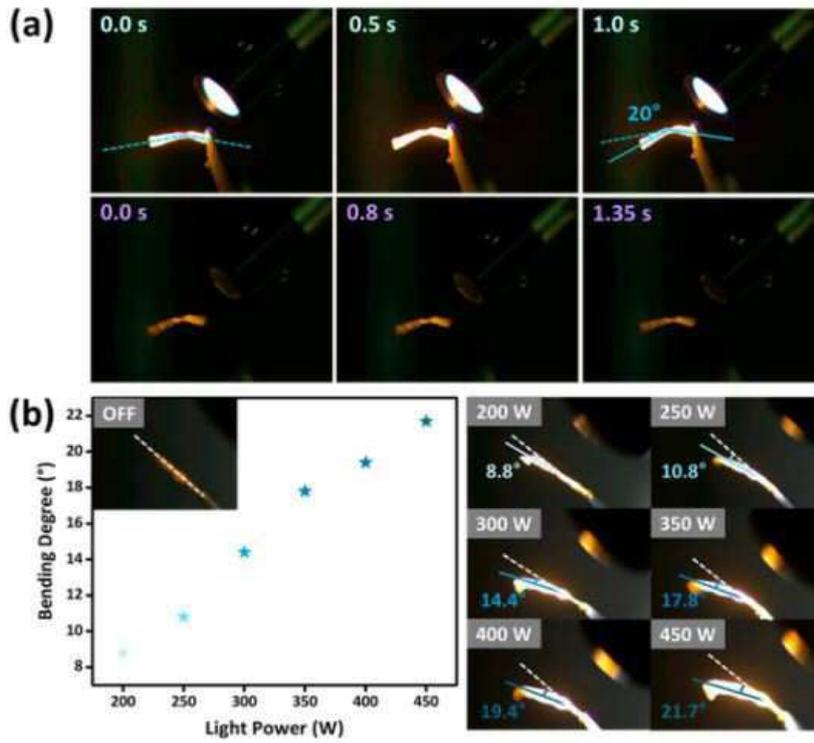
도면2



도면3



도면4



도면5

