(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0140249
(43) 공개일자 2019년12월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 41/09 (2006.01) *H01L 33/26* (2010.01)
H01L 33/50 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 41/09 (2013.01)
H01L 27/156 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0066796
(22) 출원일자 2018년06월11일
심사청구일자 2018년06월11일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이예림
서울특별시 동작구 현충로 151, 114동 502호 (흑석동 한강현대아파트)
이병양
서울특별시 강남구 압구정로 401, 51동 903호 (압구정동, 한양아파트)
안종엽
인천광역시 서구 봉오재3로 75, 107동 1901호(가정동, 루원 호반베르디움 더센트럴)
(74) 대리인
특허법인남촌

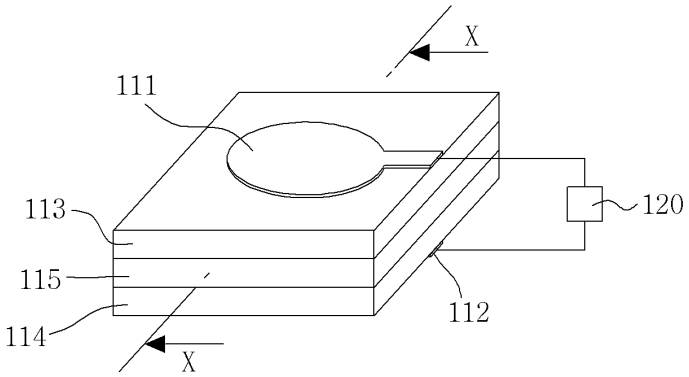
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **소프트 발광 액츄에이터**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터는, 한 쌍의 전극; 한 쌍의 전극에 전기적으로 연결되어, 구동주파수에서 진폭신호 또는 오프셋신호 중 적어도 하나를 한 쌍의 전극으로 선택적으로 인가하는 신호인가부; 전기인광물질로 이루어지고, 한 쌍의 전극 사이에 배치되어, 전기인광물질이 한 쌍의 전극 사이에 형성된 전기장에 반응하여 발광하되, 구동주파수에서 진폭신호에 의해서만 휘도가 조절되는 발광레이어; 및 발광레이어를 기준으로 한 쌍의 전극 사이에 배치되고, 유전성탄성중합체로 이루어져, 한 쌍의 전극과 맞닿는 부분을 기준으로 맥스웰응력이 발생하면서 전기변형되되, 구동주파수에서 오프셋신호에 의해만 변형율이 조절되는 한 쌍의 변형레이어를 포함하고, 구동주파수는 1kHz 이상의 고주파수인 것이 바람직하다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 33/26 (2013.01)
H01L 33/502 (2013.01)
H05B 37/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711065670
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 (이공)중견연구자지원
연구과제명 형태 변형 및 색 변화가 가능한 능동적 피드백 스마트스킨 개발
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교산학협력단
연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

한 쌍의 전극;

상기 한 쌍의 전극에 전기적으로 연결되어, 구동주파수에서 진폭신호 또는 오프셋신호 중 적어도 하나를 상기 한 쌍의 전극으로 선택적으로 인가하는 신호인가부;

전기인광물질로 이루어지고, 상기 한 쌍의 전극 사이에 배치되어, 상기 전기인광물질이 상기 한 쌍의 전극 사이에 형성된 전기장에 반응하여 발광하되, 상기 구동주파수에서 상기 진폭신호에 의해서만 휘도가 조절되는 발광레이어; 및

상기 발광레이어를 기준으로 상기 한 쌍의 전극 사이에 배치되고, 유전성탄성중합체로 이루어져, 상기 한 쌍의 전극과 맞닿는 부분을 기준으로 맥스웰응력이 발생하면서 변형되되, 상기 구동주파수에서 상기 오프셋신호에 의해만 변형율이 조절되는 한 쌍의 변형레이어를 포함하고,

상기 구동주파수는 1kHz 이상의 고주파수인 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 발광레이어는 상기 구동주파수에서 상기 오프셋신호에 영향을 받지 않고, 상기 진폭신호의 진폭이 커질수록 상기 휘도가 밝아지게 발광되는 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 한 쌍의 변형레이어는 상기 구동주파수에서 상기 진폭신호에 영향을 받지 않고, 상기 오프셋신호의 오프셋의 크기에 따라 상기 변형율이 조절되며,

상기 오프셋신호의 오프셋의 크기가 커질수록 상기 전극의 바깥방향으로 팽창되게 변형되는 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 발광레이어, 어느 하나의 상기 변형레이어와, 어느 하나의 상기 전극이 순차적으로 적층되어,

상기 한 쌍의 변형레이어 및 상기 한 쌍의 전극이 상기 발광레이어를 기준으로 샌드위치 구조로 배치된 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 전기인광물질은 물질의 전자가 상기 전기장의 에너지를 받아 높은 에너지준위에서 낮은 에너지준위로 내려가면서 발광되는 인광체인 ZnS:Cu와, ZnS:Cu의 유전상수보다 높은 유전상수를 가져 상기 ZnS:Cu의 발광성능을 향상시키는 바륨티타네이트($BaTiO_3$)을 포함하는 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 발광레이어는 0.05g/cm^3 내지 0.30g/cm^3의 농도의 상기 ZnS:Cu 및 0.02g/cm^3의 농도의 상기 바륨티타네이트

($BaTiO_3$)가 탄성물질에 혼합되어 형성된 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 한 쌍의 전극과 상기 발광레이어는 픽셀단위로 복수 개가 구비되고,

상기 픽셀단위로, 복수의 상기 전극은 상기 신호인가부에 각각 연결되어, 상기 픽셀단위로 상기 발광레이어의 휘도가 개별적으로 조절되고, 상기 픽셀단위로 상기 한 쌍의 변형레이어의 변형율이 조절되는 것을 특징으로 하는 소프트 발광 액츄에이터.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 소프트 발광 액츄에이터에 관한 것이며, 상세하게는 휘도와 변형율을 개별적으로 조정가능한 소프트 발광 액츄에이터에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유전성 탄성중합체는 전극 사이에 전압이 인가되면 각 전극의 반대 전하가 정전기력(맥스웰 응력)을 일으켜서 유전체층을 압착하여 변형하게 된다. 유전성 탄성중합체(DE: dielectric elastomer)는 전기활성고분자 재료중 하나로 1Mpa 이하의 탄성률을 가질 정도로 인간의 근육과 같이 유연성이 좋고(compliant), 200마이크로초 이하로 빠르게 반응할 수 있고(fast), 부드러우며(softness), 초소형의 제작이 가능하고(compact), 중량 대비 높은 변형량을 보여주며(highly deformation), 제작이 용이하고(easy fabrication), 단가가 싸다는 많은 장점을 지니고 있어 소프트 로봇 개발을 위해 다양하게 쓰이고 있다.

[0003] 유전성 탄성중합체 액츄에이터(DEA: dielectric elastomer actuator)는 전기활성 고분자 (electroactive polymers, EAP)를 기반으로 한 응용 부분으로써, 인간의 근육 움직임을 모방할 수 있다는 특징을 가지고 인공근육 제조 분야에 적용을 목적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 즉, 유전성 탄성중합체 액추에이터는 전기 에너지로부터 기계적 변형을 얻을 수 있다는 이점으로 인해 소프트 로봇, 인공근육 및 트랜지스터와 같은 전자장치와 같이 다양한 미래 응용 분야로 광범위하게 연구되어지고 있다. 이는 다양한 기능이 추가되어 렌즈, 스피커, 소프트 로봇의 부품 등 다기능 액추에이터로서 개발되어지고 있다.

[0004] 이 중에서도 차세대 조명 및 디스플레이로의 응용을 위해 능동적인 변형이 가능한 신축성 발광 소자가 개발되어지고 있는 추세이다. 하지만, 지금까지 연구되어진 능동적 변형이 가능한 발광 소자는 그 구조가 복잡하여 성능이 매우 떨어지거나, 성능은 우수하나 그 동작법이 복잡하여(유압식 동작) 미래 디스플레이에 실용화하기에는 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1413237호에는 고유전 탄성중합체 및 그 제조방법이 개시되어 있고, 한국공개특허 제10-2016-0071804호에는 액츄에이터 및 이를 포함하는 표시 장치가 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 발광레이어 및 변형레이어를 이루는 물질의 특성을 이용하여, 동일한 구동주파수에서 한 쌍의 전극으로 진폭신호 및/또는 오프셋신호를 동시에 또는 개별적으로 인가하여, 전극부의 변형율 및/또는 휘도를 동시에 또는 개별적으로 조절가능한 소프트 발광 액츄에이터을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터는, 한 쌍의 전극; 한 쌍의 전극에 전기적으로 연결되어, 구동주파수에서 진폭신호 또는 오프셋신호 중 적어도 하나를 한 쌍의 전극으로 선택적으로 인가하는 신호인가부; 전기인광물질로 이루어지고, 한 쌍의 전극 사이에 배치되어, 전기인광물질이 한 쌍의 전극 사이에 형성된 전기장에 반응하여 발광하되, 구동주파수에서 진폭신호에 의해서만 휘도가 조절되는 발광레이어; 및 발광레이어를 기준으로 한 쌍의 전극 사이에 배치되고, 유전성탄성중합체로 이루어져, 한 쌍의 전극과 맞닿는 부분을 기준으로 맥스웰응력이 발생하면서 전기변형되되, 구동주파수에서 오프셋신호에 의해만 변형율이 조절되는 한 쌍의 변형레이어를 포함하고, 구동주파수는 1kHz 이상의 고주파수인 것이 바람직하다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 발광레이어는 구동주파수에서 오프셋신호에 영향을 받지 않고, 진폭신호의 진폭이 커질수록 휘도가 밝아지게 발광되는 것이 바람직하다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 한 쌍의 변형레이어는 구동주파수에서 진폭신호에 영향을 받지 않고, 오프셋신호의 오프셋의 크기에 따라 변형율이 조절되며, 오프셋신호의 오프셋의 크기가 커질수록 전극의 바깥방향으로 팽창되게 변형되는 것이 바람직하다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 발광레이어, 어느 하나의 변형레이어와, 어느 하나의 전극이 순차적으로 적층되어, 한 쌍의 변형레이어 및 한 쌍의 전극이 발광레이어를 기준으로 샌드위치 구조로 배치된 것이 바람직하다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 전기인광물질은 물질의 전자가 전기장의 에너지를 받아 높은 에너지준위에서 낮은 에너지준위로 내려가면서 발광되는 인광체인 ZnS:Cu와, ZnS:Cu의 유전상수보다 높은 유전상수를 가져 ZnS:Cu의 발광성능을 향상시키는 바륨티타네이트($BaTiO_3$)을 포함하는 것이 바람직하다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 발광레이어는 0.05g/cm^3 내지 0.30g/cm^3의 농도의 ZnS:Cu 및 0.02g/cm^3의 농도의 바륨티타네이트($BaTiO_3$)가 탄성물질에 혼합되어 형성된 것이 바람직하다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 한 쌍의 전극과 발광레이어는 픽셀단위로 복수 개가 구비되고, 픽셀단위로, 복수의 전극은 신호인가부에 각각 연결되어, 픽셀단위로 발광레이어의 휘도가 개별적으로 조절되고, 픽셀단위로 한 쌍의 변형레이어의 변형율이 조절되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0014] 본 발명은 한 쌍의 전극 사이에 한 쌍의 변형레이어 및 발광레이어를 샌드위치 구조로 배치하고, 발광레이어 및 변형레이어를 이루는 물질의 특성을 이용하여, 동일한 구동주파수에서 한 쌍의 전극으로 진폭신호 및/또는 오프셋신호를 동시에 또는 개별적으로 인가하여, 전극부의 변형율 및/또는 휘도를 동시에 또는 개별적으로 조절할 수 있다.

[0015] 본 발명은 발광레이어를 기준으로, 한 쌍의 변형레이어 및 한 쌍의 전극이 샌드위치 구조로 제작되어, 그 구조가 간단하다. 구조의 단순화를 통해, 본 발명은 유연하게 휘어지고 초박막형태로 제작가능하여, 신축성 디스플레이 장치, 소프트 로보틱스, 형태 변환이 가능한 디스플레이 장치, 신축성 트랜지스터 등의 전기소자 등 다양한 미래산업기술에 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터의 구성도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 도 1의 X-X선에 따른 전극부의 단면도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 3(a)는 소프트 발광 액츄에이터의 평면도를 개략적으로 도시한 것이고, 도 3(b)는 소프트 발광 액츄에이터의 작동상태도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 4(a) 내지 도 4(c)는 신호변화에 따른 전극부의 작동상태도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터의 제조방법에 따른 공정도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 6은 CNT 양에 따른 AgNW/CNT 전극의 면저항의 그래프를 도시한 것이다.

도 7은 CNT 양에 따른 AgNW/CNT 전극의 투과도의 그래프를 도시한 것이다.

도 8(a)는 ZnS:Cu와 $BaTiO_3$의 양에 따른 소프트 발광 액추에이터의 휘도 성능 그래프를 도시한 것이고, 도 8(b)는 ZnS:Cu와 $BaTiO_3$의 양에 따른 소프트 발광 액추에이터의 변형률 성능 그래프를 도시한 것이다.

도 9(a)는 진폭신호의 변화에 따른 전극부의 작동상태도, 도 9(b)는 오프셋신호의 변화에 따른 전극부의 작동상태도, 도 9(c)는 주파수의 변화에 따른 전극부의 작동상태도에 대한 실험사진이다.

도 10은 진폭신호(진폭 변화), 오프셋신호(오프셋 변화), 주파수 변화에 따른 소프트 발광 액추에이터의 휘도 성능 그래프를 도시한 것이다.

도 11는 진폭신호(AC)가 0.5 kVpp일 때 오프셋신호(DC)에 따른 소프트 발광 액추에이터의 변형률 성능 그래프를 도시한 것이다.

도 12는 주파수별 진폭신호(진폭 변화)에 따른 소프트 발광 액추에이터의 변형률 변화 그래프를 도시한 것이다.

도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터의 구성도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전극부의 단면도를 개략적으로 도시한 것이다.

도 15(a)는 각 픽셀의 휘도가 개별적으로 조정된 픽셀단위의 복수의 전극부의 작동상태를 개략적으로 도시한 것이다.

도 15(b)는 각 픽셀의 변형율이 개별적으로 조정된 픽셀단위의 전극부의 작동상태를 개략적으로 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하에서는 첨부도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터에 대해 설명하기로 한다.

[0019] ● 제 1 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터

[0020] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터(100)는 전극부(110) 및 신호인가부(120)를 포함한다.

[0021] 신호인가부(120)는 한 쌍의 전극(111, 112)에 전기적으로 연결된다. 신호인가부는 한 쌍의 전극(111, 112)으로, AC component와 DC componenet가 혼합된 복합 신호를 인가한다. 본 실시예서는 설명의 편의를 위해, AC component로 인가된 신호에 대해 진폭신호(AC)라 지칭하고, DC componenet로 인가된 신호에 대해 오프셋신호(DC)라 지칭한다.

[0022] 신호인가부(120)는 기설정된 구동주파수에서, 진폭신호 및/또는 오프셋신호를 동시 또는 개별적으로 한 쌍의 전극(111, 112)로 인가할 수 있다. 또한, 신호인가부(120)에서, 진폭신호(AC)의 진폭의 크기 변화, 그리고, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기 변화가 개별적으로 조절될 수 있다.

[0023] 본 실시예에서, 신호인가부(120)는 한 쌍의 전극(111, 112)로 정현파를 인가하여, 진폭신호(AC) 및/또는 오프셋신호(DC)를 조절할 수 있다. 도 3 및 도 4에 도시된 정현파는, 시간의 변화에 따른 전압의 변화로서, 시간의 변화에 따른 직류전압 기울기 및 시간의 변화에 따른 교류전압의 파형이 혼합된 파형이다.

[0024] 도 2에 도시된 바와 같이, 전극부(110)는 한 쌍의 전극(111, 112), 한 쌍의 변형레이어(113, 114) 및 발광레이어(115)를 포함한다.

[0025] 전극부(110)는 한 쌍의 전극(111, 112)로의 진폭신호의 인가시 발광되고, 오프셋신호의 인가시 전기변형(electrostriction)된다. 전기변형(electrostriction)이란 물체에 전압을 인가했을 때 맥스웰 응력이 나타나고, 이로 인하여 물체가 변형되는 현상을 말한다. 이러한 성질은 대부분의 유전체에서 나타나는데, 특히 탄성계수가 낮은 엘라스토머에 적용하면 전기에너지가 효율적으로 변환되어 큰 변형과 힘을 발현한다.

[0026] 본 실시예에서는 설명의 편의를 위하여, 한 쌍의 전극(111, 112)에 대해 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로 구분지어 지칭하기로 한다. 또한, 한 쌍의 변형레이어(113, 114)에 대해 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)로 구분지어 설명하기로 한다.

[0027] 전극부(110)는 발광레이어, 어느 하나의 변형레이어와, 어느 하나의 전극이 순차적으로 적층되어, 한 쌍의 변형레이어(113, 114) 및 한 쌍의 전극(111, 112)이 발광레이어(115)를 기준으로 샌드위치 구조로 배치된다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 전극부(110)는 제1전극(111), 제1변형레이어(113), 발광레이어(115), 제2변형레이어(114) 및 제2전극(112)이 순차적으로 적층된다.

[0028] 제1전극(111) 및 제2전극(112)은 AgNW(silver nanowires)에 CNT(Carbon nanotube)이 5ng/mm^2 내지 15ng/mm^2 첨가된 AgNW/CNT하이브리드 전극이다.

[0029] 도 6 및 도 7를 참조하면, 제1전극(111) 및 제2전극(112)은 카본나노튜브(CNT, Carbon nanotube)는 5ng/mm^2 내지 15ng/mm^2 첨가량으로 은나노와이어(AgNW)에 첨가된 것이 바람직하다. 도 6은 CNT 양에 따른 AgNW/CNT 전극의 면저항의 그래프를 도시한 것이다. 도 7은 CNT 양에 따른 AgNW/CNT 전극의 투과도의 그래프를 도시한 것이다.

[0030] 도 6을 참조하면, 5ng/mm^{2}의 카본나노튜브를 첨가했을 때, 면저항은 20.13 Ω/sq이고, 15ng/mm^{2}의 카본나노튜브를 첨가했을 때, 면저항은 10.53 Ω/sq이며, 35ng/mm^{2}의 카본나노튜브를 첨가했을 때, 면저항은 10.7Ω/sq이다. 이로부터, AgNW네트워크에 카본나노튜브(CNT)를 소량만 첨가해도(5ng/mm^2 내지 35ng/mm^2) 전극의 면저항이 크게 감소함을 알 수 있다.

[0031] 도 7를 참조하면, AgNW만의 전극은 550nm에서 약 98%의 매우 높은 투과도를 가짐을 알 수 있다. 다만, 도 6을 참조하면, CNT첨가량이 05ng/mm^2 일 때, 전극의 면저항은 거의 90%이상으로 높아 전도성이 낮음을 알 수 있다. 전도성은 면저항이 낮을수록 높아진다.

[0032] CNT첨가량이 증가할수록 투과도가 감소함을 알 수 있다. 다만, AgNW네트워크에 5ng/mm^2 내지 15ng/mm^{2}의 CNT첨가량이 넣었을 때, 550 nm에서 투과도가 약 70 내지 88%로 매우 높게 유지됨을 알 수 있다. 이에, 제1전극(111) 및 제2전극(112)은 카본나노튜브(CNT, Carbon nanotube)가 5ng/mm^2 내지 15ng/mm^2 첨가량으로 AgNW네트워크에 첨가되어, 전극부(110)의 휘도 성능을 최대한 방해하지 않도록 투과도가 뛰어나도 면저항이 낮아 전도성이 높다.

[0033] 따라서, AgNW/CNT하이브리드 전극은 전도성이 우수하며, 투과도가 높게 유지된다. 아울러, Y. R. Lee, H. Kwon, D. H. Lee, B. Y. Lee, *Soft Matter* 2017, 13, 6390.에 따르면, AgNW/CNT하이브리드 전극은 유전성 탄성중합체의 변형율 성능을 향상시켜준다.

[0034] 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 발광레이어(115)를 기준으로 제 1 전극(111)과 제2전극(112) 사이에 배치된다. 제1변형레이어(113)는 제1전극(111)과 접촉되어, 제2변형레이어(114)는 제2전극(112)과 접촉된다. 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로의 전원인가시 전기변형되는 유전성 탄성중합체로 이루어진다.

[0035] 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로의 전원인가시, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 유전성 탄성중합체의 물질적 특성에 의해, 각 전극(111, 112)과 맞닿는 부분을 기준으로 맥스웰응력이 발생하면서 전기변형된다.

[0036] 본 실시예에서, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 구동주파수 1kHz이상에서, 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로 진폭신호가 인가되더라도 진폭신호에 영향을 받지 않고, 오프셋신호에 의해서만 변형된다.

[0037] 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로 오프셋신호의 인가시, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)의 변형율은 오프셋신호의 오프셋의 크기에 따라 조절된다.

[0038] 도 9(b)를 참조하면, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 오프셋신호의 오프셋의 크기가 커질수록, 전극을 기준으로 전극의 바깥방향으로 팽창되게 변형됨을 알 수 있다. 도 9(b)는 오프셋신호의 변화에 따른 전극부의 작동상태도이다.

[0039] 도 12를 참조하면, 저주파수(예컨대, 60Hz)에서는 전극부의 변형률이 진폭신호에 영향을 받지만, 1kHz이상의 고주파수에서는 전극부의 변형율은 진폭신호에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이는, 유전성 탄성중합체가 주파수 의존적인 전기-기계적 성질을 지닌 전기 점탄성(electro-viscoelastic) 물질로서, 주파수에 따른 전자-기계적 행동을 보이기 때문이다. 도 12는 주파수별 진폭신호에 따른 전극부의 변형율 그래프이다.

[0040] 본 실시예에서, 발광레이어(115)는 전기인광물질로 이루어지고, 한 쌍의 전극(111, 112) 사이에 배치되어, 한

쌍의 전극(111, 112) 사이에 형성된 전기장에 반응하여 발광하되, 진폭신호에 의해서만 휘도가 조절된다.

[0041] 발광레이어(115)는 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114) 사이에 위치된다. 제2변형레이어(114), 발광레이어(115) 및 제1변형레이어(113)는 순차적으로 적층되어 샌드위치 구조를 이룬다. 발광레이어(115)를 기준으로, 한 쌍의 변형레이어(113, 114) 및 한 쌍의 전극(111, 112)는 대칭되게 배치된다.

[0042] 전기인광물질은 물질의 전자가 전기장의 에너지를 받아 높은 에너지준위에서 낮은 에너지준위로 내려가면서 발광되는 인광체인 ZnS:Cu가 사용될 수 있다. 전기인광물질인 ZnS:Cu는 제1전극(111)과 제2전극(112) 사이에 형성된 전기장에 반응하여 발광된다.

[0043] 발광레이어(115)는 전기인광물질인 ZnS:Cu, 바륨티타네이트($BaTiO_3$) 및 탄성물질에 의해 제조된다. 발광레이어(115)는 ZnS:Cu가 0.05g/cm^3 내지 0.30g/cm^3의 농도로, 바륨티타네이트($BaTiO_3$)가 0.02g/cm^3의 농도로 탄성물질에 혼합되어 후술할 스핀코팅공정에 의해 형성된다.

[0044] 바륨티타네이트($BaTiO_3$)는 대략 300 내지 1000 사이의 높은 유전상수를 가져, 전기인광물질인 ZnS:Cu의 발광성능을 향상시키는 물질이다. 바륨티타네이트($BaTiO_3$)와 비교하여, ZnS:Cu 및 유전성 탄성중합체는 10이하의 유전상수를 가진다.

[0045] 탄성물질은 발광레이어(115)의 형태를 유지하는 물질이다. 탄성물질로는 실리콘이 사용될 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 전기인광물질이 한 쌍의 변형레이어 사이에서 용이하게 이탈되지 않고, 한 쌍의 전극 사이에 형성된 전기장에 영향을 차단하지 않는 물질이면, 당업자의 입장에서 자명한 범위 내에서 다양한 재질이 사용가능함은 물론이다.

[0046] 도 9(a)를 참조하면, 오프셋신호 및 주파수가 일정할 때, 전극부의 휘도는 진폭신호에 영향을 받으며, 진폭신호의 진폭의 크기가 커질수록 밝아짐을 알 수 있다. 아울러, 도 10에 도시된 실험그래프를 참조하면, 전극부(110)의 구동주파수가 1kHz의 고주파수일 때, 전극부(110)의 휘도는 오프셋신호(DC)에 영향을 받지 않고, 진폭신호(AC)에 의해서만 조정됨을 알 수 있다.

[0047] 상기와 같은 구조를 통해, 본 발명은 한 쌍의 전극(111, 112) 사이에 한 쌍의 변형레이어(113, 114) 및 발광레이어(115)를 샌드위치 구조로 배치하고, 발광레이어 및 변형레이어를 이루는 물질의 특성을 이용하여, 동일한 구동주파수에서 한 쌍의 전극으로 진폭신호 및/또는 오프셋신호를 동시에 또는 개별적으로 인가하여, 전극부의 변형율 및/또는 휘도를 동시에 또는 개별적으로 조절할 수 있다.

[0048] 예컨대, 신호인가부(120)에 의해, 한 쌍의 전극(111, 112)으로 진폭신호만 인가되면, 발광레이어의 전기인광물질이 전기장과 반응하여 발광된다.

[0049] 다른 예로, 한 쌍의 전극(111, 112)으로 오프셋신호만 인가되면, 발광레이어의 발광현상없이, 한 쌍의 변형레이어(113, 114)의 변형만 일어난다.

[0050] 또 다른 예로, 신호인가부(120)에 의해, 한 쌍의 전극(111, 112)으로 진폭신호 및 오프셋신호가 인가되면, 전극부(110)는 발광레이어의 발광 및 한쌍의 변형레이어의 변형이 동시에 일어난다. 이때, 전극부의 휘도는 진폭신호의 진폭의 크기가 클수록 밝아지고, 전극부의 변형율은 오프셋신호의 오프셋의 크기가 클수록 커지며, 이는 신호세기 조정에 의해 가변될 수 있다.

[0051] 도 4를 참조하여, 신호인가부(120)의 작동상태를 설명하면 다음과 같다.

[0052] 도 4(a)는 신호인가부(120)에 의해 오프셋신호(DC)와 진폭신호(AC)가 전극부(110)에 동시에 인가된 경우이다.

[0053] 도 4(a)에 도시된 바와 같이, 신호인가부(120)에 의해 오프셋신호와 진폭신호를 동시에 전극부(110)에 인가하면 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)가 오프셋신호에 영향을 받아 제1전극(111) 및 제2전극(112)의 반경방향으로 변형되는 동시에, 발광레이어(115)가 진폭신호에 영향을 받아 발광된다.

[0054] 도 4(b)는 도 4(a)에 도시된 작동기준상태에서 오프셋신호의 오프셋이 증가한 경우이다. 도 4(b)에 도시된 바와 같이, 진폭신호(AC)는 작동기준상태와 동일하게 인가되고, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기만 증가하면, 도 4(a)에 도시된 작동기준상태와 비교하여, 전극의 면적보다 큰 면적으로 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)가 변형됨을 알 수 있다. 즉, 오프셋신호의 오프셋의 크기가 증가하면, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)에 의한 전극부의 변형율이 커짐을 알 수 있다.

[0055] 도 4(c)는 도 4(a)의 작동기준상태에서 진폭신호의 진폭만 증가한 경우이다. 도 4(c)에 도시된 바와 같이, 오프셋신호는 작동기준상태와 동일하게 인가되고, 진폭신호의 진폭의 크기만 증가한 경우, 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)의 변형율을 그대로 유지되나, 발광레이어(115)의 휘도가 증가함을 알 수 있다.

[0056] 상기와 같은 구조에 의해, 본 발명은 신호인가부(120)의 진폭신호(AC)의 진폭의 변화 및 오프셋신호(DC)의 오프셋의 변화를 통해, 전극부(110)의 휘도 및 변형율을 동시에 또는 개별적으로 조절할 수 있다.

[0058] ● 소프트 발광 액츄에이터(100)의 제조방법

[0059] 이하에서는 도 5를 참조하여, 소프트 발광 액츄에이터(100)의 제조방법에 대해 설명하기로 한다.

[0060] 우선, 유전성 탄성중합체로 이루어진 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)가 준비된다. 제1변형레이어(113) 및 제2변형레이어(114)는 아크릴 프레임에 3배 선변형된 유전성 탄성중합체가 고정되어 형성된다.

[0061] 그리고, AgNW/CNT하이브리드 전극인 제1전극(111) 및 제2전극(112)이 준비된다. 제1전극(111) 및 제2전극(112)은 폴리카보네이터 필터에 은나노와이어용액(AgNW)을 진공여과시킨 후, 카본나노튜브 용액을 진공여과시켜 형성된다.

[0062] 다음으로, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 전기인광물질이 혼합된 탄성물질이 제1변형레이어(113)에 도포된 후, 기설정된 시간 및 기설정된 속도로 스핀코팅되어, 발광레이어(115)가 형성된다.

[0063] 다음으로, 도 5(c)에 도시된 바와 같이, 발광레이어(115)의 다른 일면에 제2변형레이어(114)가 설치된다. 이후, 도 5(d)에 도시된 바와 같이, 제1변형레이어(113)의 바깥면에 제1전극(111)이 설치되고, 제2변형레이어(114)의 바깥면에 제2전극(112)이 설치된다.

[0064] 제1변형레이어(113) 및 제 2변형레이어는 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로 오프셋신호가 인가되면, 제1전극(111) 및 제2전극(112)의 반경방향으로 변형이 일어나며, 발광레이어(115)는 제1전극(111) 및 제2전극(112)으로 진폭신호가 인가되면 전기인광물질이 진폭신호에 반응하여 발광된다.

[0065] 본 실시예에서, 탄성물질로는 실리콘이 사용될 수 있다. 탄성물질은 전기인광물질이 일정한 형태로 제1변형레이어(113)와 제2변형레이어(114) 사이에 존재하도록, 발광레이어(115)의 형태를 잡아준다.

[0066] 전기인광물질은 진폭신호에 반응하여 발광하는 ZnS:Cu와, ZnS:Cu의 발광성능을 향상시키는 바륨티타네이트($BaTiO_3$)을 포함한다. 바륨티타네이트($BaTiO_3$)는 매우 높은 유전상수를 지닌 물질이다.

[0067] ZnS:Cu가 0.05g/cm^3 내지 0.30g/cm^3의 농도로, 바륨티타네이트($BaTiO_3$)가 0.02g/cm^3의 농도로 탄성물질에 혼합된 후, 혼합물질이 제1변형레이어(113)에 도포되어 5500rpm의 속도로 25초동안 스핀코팅된다. 이와 같은 공정에 의해, 제1변형레이어(113)의 일면에 발광레이어(115)가 형성된다.

[0068] 도 8(a)을 참조하면, ZnS의 양이 증가할수록 전극부(110)의 최대 휘도값이 크게 향상됨을 알 수 있고, 바륨티타네이트($BaTiO_3$)의 첨가에 의해 전극부(110)의 휘도가 향상됨을 알 수 있다. 이에 반해, 도 8(b)를 참조하면, ZnS의 양이 증가할수록 전극부(110)의 최대 변형률이 감소됨을 알 수 있다.

[0069] 도 8을 참조하면, ZnS의 양이 증가하면, 전극부(110)의 휘도성능이 향상되나 전극부(110)의 변형율이 감소됨을 알 수 있다. 그리고, ZnS의 양이 감소하면, 전극부(110)의 휘도 성능은 감소되나, 전극부(110)의 변형율 성능이 향상됨을 알 수 있다.

[0070] 이를 참조하여, ZnS의 양이 1.2g, 바륨티타네이트($BaTiO_3$)의 양이 0.1 g로 하여, 발광레이어(115)가 제작된 경우, 전극부(110)의 최대 변형률은 약 85% 이고 최대 휘도 값은 약 300 cd/m^2임을 알 수 있다. 이에 따라, 전극부(110)는 휘도 성능 및 변형율 성능이 높음을 알 수 있다.

[0071] 도 9(a)는 진폭신호의 변화에 따른 전극부의 작동상태도, 도 9(b)는 오프셋신호의 변화에 따른 전극부의 작동상태도, 도 9(c)는 주파수의 변화에 따른 전극부의 작동상태도에 대한 실험사진이다.

[0072] 도 9(a)에 도시된 바와 같이, 오프셋신호(DC=2kV) 및 주파수(Freq=1kHZ)가 일정할 때, 진폭신호(AC)의 진폭이 0.5kVpp, 1.5kVpp 그리고 2.5kVpp로 증가할수록 발광레이어(115)의 휘도가 밝아진다. 도 9(a)에 도시된 실험사진으로부터, 오프셋신호 및 주파수가 일정할 때, 발광레이어(115)의 휘도는 진폭신호에 영향을 받으며, 진폭신

호의 진폭의 크기가 커질수록 밝아짐을 알 수 있다.

[0073] 도 9(b)에 도시된 바와 같이, 진폭신호(AC=2kVpp) 및 주파수(Freq=1kHZ)가 일정할 때, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기가 0kV, 1kV 그리고 2kV로 증가할수록, 전극이 인가되는 부분을 기준으로, 변형레이어(113,114)가 전극과 맞닿는 부분의 바깥방향으로 팽창되면서 커짐을 알 수 있다. 도 9(b에 도시된 실험사진으로부터, 진폭신호 및 주파수가 일정할 때, 오프셋신호의 오프셋의 크기가 커질수록 변형레이어의 변형율이 커짐을 알 수 있다. 도 9(b)에서, 발광레이어(115)는 진폭신호(AC=2kVpp)에 의해 발광된 것이다.

[0074] 도 9(c)에 도시된 바와 같이, 오프셋신호(DC=2kV) 및 진폭신호(AC=2.5kVpp)가 일정할 때, 주파수의 크기가 60hz, 1khz, 3khz로 커질수록, 발광레이어(115)의 휘도가 밝아짐을 알 수 있다.

[0075] 도 9(a) 내지 도 9(c)의 실험예로부터, 주파수 및 진폭신호의 진폭이 커지면 발광레이어(115)의 휘도가 증가하는 반면, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기가 커지더라도 발광레이어(115)의 휘도에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

[0076] 도 10을 참조하면, 주파수가 60Hz로 낮을 때는, 휘도의 최대값이 약 21cd/m^2에 불과하지만, 주파수가 1 kHz일 때는 휘도의 최대값이 약 300cd/m^2로 대략 14배 높음을 알 수 있다. 그리고, 주파수가 60Hz일 때와 비교하여, 주파수가 3 kHz일때는 휘도의 최대값이 대략 540 cd/m^2으로 약 21배로 매우 높은 것을 알 수 있다. 즉, 주파수가 커지면 커질수록 휘도가 높아짐을 알 수 있다. 다만, 주파수가 높으면 전극부가 쉽게 파괴되기 때문에, 전극부에 인가되는 구동주파수는 대략 1kHz 내외의 고주파수가 적용되는 것이 바람직하다.

[0077] 도 10을 참조하면, 1kHz의 주파수에서, 진폭신호의 진폭이 대략 1.5kVpp일 때 휘도는 대략 100cd/m^2인데,. 진폭신호의 진폭이 대략 2.5kVpp일 때 휘도는 250cd/m^2임을 알 수 있다. 도 10에 도시된 주파수별 휘도성능실험그래프로부터, 1kHz 이상의 동일주파수 조건하에서, 진폭신호의 진폭의 크기가 증가할수록 휘도가 커짐을 알 수 있다. 즉, 동일주파수 조건하에서, 진폭신호가 휘도에 지배적인 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

[0078] 한편, 3kHz의 주파수에서, 오프셋신호가 커지면 전극부(110)의 휘도에 영향을 미치지만, 1kHz 이하의 주파수에서는 오프셋신호가 커지더라도 휘도에 영향을 거의 끼치지 않음을 알 수 있다.

[0079] 도 10에 도시된 실험그래프를 통해, 전극부(110)의 구동주파수가 1kHz의 고주파수일 때, 전극부(110)의 휘도가 오프셋신호(DC)에 영향을 받지 않고, 진폭신호(AC)에 의해서만 조정됨을 알 수 있다.

[0080] 한편, 도 11을 참조하면, 진폭신호(AC=0.5kVpp)가 일정할 때, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기가 1kV일 때 대략 10%미만의 변형율, 오프셋의 크기가 2kV일 때 대략 20%의 변형율, 오프셋의 크기가 3kV일 때 대략 40%의 변형율, 그리고, 오프셋의 크기가 4kV일 때 대략 85%의 변형율임을 알 수 있다. 도 11의 오프셋신호에 따른 변형율 그래프로부터, 오프셋신호(DC)의 오프셋의 크기가 커질수록 변형율이 커짐을 알 수 있다.

[0081] 도 12는 주파수별 진폭신호에 따른 전극부(110)의 변형율의 변화그래프이다.

[0082] 도 12(a) 및 도 12(b)를 참조하면, 높은 주파수(예컨대, 1kHz, 3kHz)에서, 진폭신호의 진폭이 커지더라도, 전극부(110)의 변형율은 오프셋신호의 크기에 무관하게 변형되지 않음을 알 수 있다. 즉, 도 12(a)에 도시된 바와 같이, 3kHz의 주파수에서는 진폭신호의 진폭이 커지더라도 전극부(110)의 변형률은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

[0083] 또한, 도 12(b)에 도시된 바와 같이, 1 kHz의 주파수에서, 전극부(110)의 변형률은 오프셋신호의 오프셋의 크기(1kV, 3kV)에 따라 다소 미미한 차이가 있다. 전극부(110)의 변형률은 진폭신호의 진폭이 커지더라도 2.5 %이내로, 변형율의 변화가 미비함을 알 수 있다.

[0084] 도 12(c)을 참조하면, 낮은 주파수(예컨대, 60Hz)에서, 오프셋신호의 오프셋의 크기(DC=1kV)에서, 전극부의 변형율은 진폭신호의 진폭의 크기가 0.5kVpp에서 2.5kVpp로 커짐에 따라, 변형율이 0%(at AC=0.5kVpp)에서 최대 10%(at AC=2.5kVpp) 정도로 증가함을 알 수 있다.

[0085] 낮은 주파수(예컨대, 60Hz)에서, 오프셋신호의 오프셋의 크기(DC=3kV)에서, 전극부의 변형율은 진폭신호의 진폭의 크기가 0.5kVpp에서 2.5kVpp로 커짐에 따라, 변형율이 0%(at AC=0.5kVpp)에서 최대 20%(at AC=2.5kVpp) 정도로 증가함을 알 수 있다.

[0086] 즉, 낮은 주파수(예컨대, 60Hz)에서, 전극부의 변형율은 오프셋신호(DC)의 변화뿐 아니라, 진폭신호(AC)에 의해

서도 가변됨을 알 수 있다.

[0087] 도 12에 도시된 주파수별 진폭신호에 따른 전극부의 변형율 그래프로부터, 저주파수(예컨대, 60Hz)에서는 전극부의 변형률이 진폭신호에 영향을 받지만, 1kHz이상의 고주파수에서는 전극부의 변형율은 진폭신호에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이는, 유전성 탄성중합체가 주파수 의존적인 전기-기계적 성질을 지닌 전기 점탄성(electro-viscoelastic) 물질로서, 주파수에 따른 전자-기계적 행동을 보이기 때문이다.

[0088] 도 10 내지 도 12에 도시된 실험그래프를 통해, 주파수가 1kHz일 때, 전극부(110)는 진폭신호를 조절하여 휘도를 조정할 수 있고, 오프셋신호를 조절하여 변형률을 개별적으로 조절할 수 있음을 알 수 있다.

[0090] ● 제 2 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터(200)

[0091] 도 13 및 도 14에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 소프트 발광 액츄에이터(200)는 전극부(210) 및 신호인가부(220)를 포함한다.

[0092] 전극부(210)는 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c), 제1변형레이어(213), 복수의 발광레이어(215), 제2변형레이어(214) 및 복수의 제2전극(212a, 212b, 212c)을 포함하며, 이들의 기능은 상술한 제1실시예와 동일하다. 이에, 본 실시예에서는 설명의 반복을 피하기 위하여, 제1전극(211a, 211b, 211c), 제2전극(212a, 212b, 212c), 제1변형레이어(213), 제2변형레이어(214) 및 발광레이어(215)의 기능 또는 재질에 대한 설명은 생략하기로 한다.

[0093] 상술한 제1실시예와 비교하여, 본 실시예에 따른 전극부(210)는 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c), 복수의 발광레이어(215) 및 복수의 제2전극(212a, 212b, 212c)이 픽셀단위로 마련된 것을 특징으로 한다.

[0094] 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c)과 복수의 제2전극(212a, 212b, 212c)은 신호인가부(220)에 전기적으로 연결된다. 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c)은 각각 개별적으로 신호인가부(220)에 연결된다.

[0095] 신호인가부(220)에 의해, 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c)의 각각에는 진폭신호 및/또는 오프셋신호가 개별적으로 인가될 수 있다. 이에 따라, 각각의 제1전극(211a, 211b, 211c)은 인가되는 진폭신호 및/또는 오프셋신호에 따라 휘도 및 변형율이 개별적으로 조절된다.

[0096] 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c) 중 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)으로 오프셋신호가 인가되면, 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)와, 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)과 전기적으로 연결된 제2전극(212a, 212b, 212c)의 반경방향으로, 제1변형레이어(213) 및 제2변형레이어(214)가 부분적으로 변형된다.

[0097] 도 13 및 도 14에 도시된 바와 같이, 복수의 발광레이어(215)는 제1변형레이어(213)와 제2변형레이어(214) 사이에 마련된다. 그리고, 복수의 발광레이어(215)는 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c) 및 복수의 제2전극(212a, 212b, 212c)에 각각 대응되게 배열된다. 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c) 중 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)으로 진폭신호가 인가되면, 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)에 대응되는 위치에 마련된 발광레이어(215)가 발광된다.

[0098] 신호인가부(220)는, 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c)의 각각으로 오프셋신호를 선택적으로 인가하고, 오프셋신호의 오프셋을 개별적으로 조절하여, 오프셋신호가 인가된 제1전극(211a, 211b, 211c) 및 제2전극(212a, 212b, 212c)이 위치된 부분에서의 제1변형레이어(213) 및 제2변형레이어(214)의 변형율을 조정할 수 있다.

[0099] 그리고, 신호인가부(220)는, 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c)의 각각으로 진폭신호를 선택적으로 인가하고, 진폭신호의 진폭을 개별적으로 조절하여, 복수의 발광레이어(215) 중 선택된 발광레이어(215)의 휘도를 개별적으로 조정할 수 있다.

[0100] 이에 따라, 도 15(a)에 도시된 바와 같이, 픽셀단위로 서로 마주보게 설치된 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c) 및 제2전극(212a, 212b, 212c)으로, 진폭신호가 선택적으로 인가되어 발광될 수 있다. 또한, 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)/제2전극(212a, 212b, 212c)으로 진폭신호의 진폭을 다르게 인가하여, 픽셀단위로 전극의 휘도를 조절할 수 있다.

[0101] 또한, 도 15(b)에 도시된 바와 같이, 픽셀단위로 서로 마주보게 설치된 복수의 제1전극(211a, 211b, 211c) 및 제2전극(212a, 212b, 212c)으로, 선택된 제1전극(211a, 211b, 211c)/제2전극(212a, 212b, 212c)으로 오프셋신호의 오프셋을 다르게 인가하여, 픽셀단위로 변형율을 조절할 수 있다.

[0102] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사

상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

[0103] 100, 200: 소프트 발광 액츄에이터

111, 211a, 211b, 211c: 제1전극

112, 212a, 212b, 212c: 제2전극

113, 213: 제1변형레이어

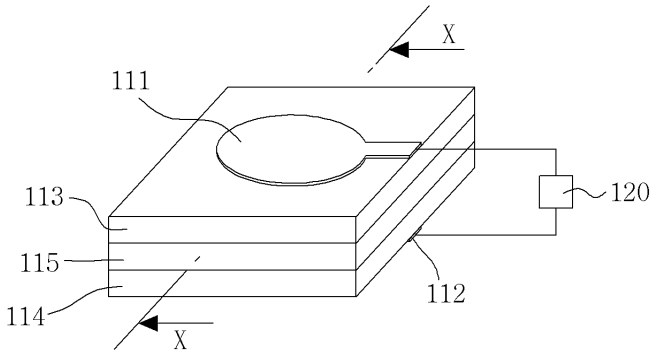
114, 214: 제2변형레이어

115, 215a, 215b, 215c: 발광레이어

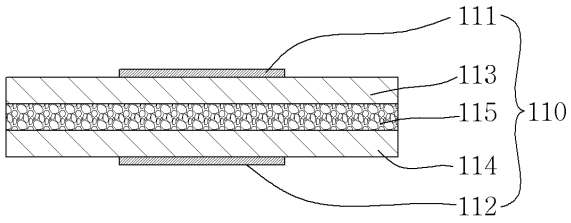
120, 220 : 신호인가부

도면

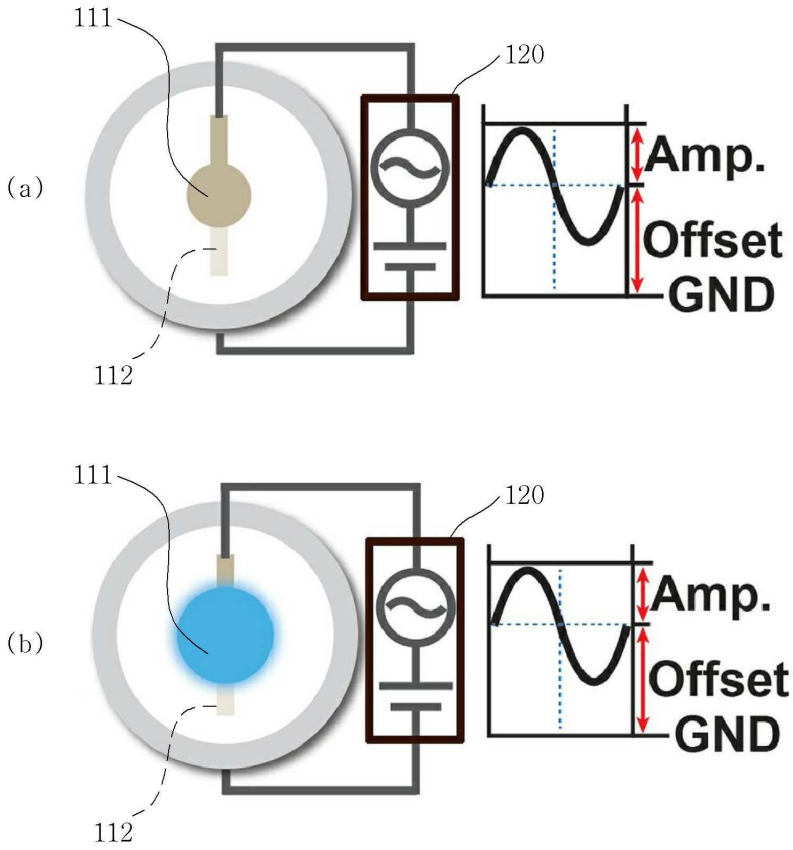
도면1



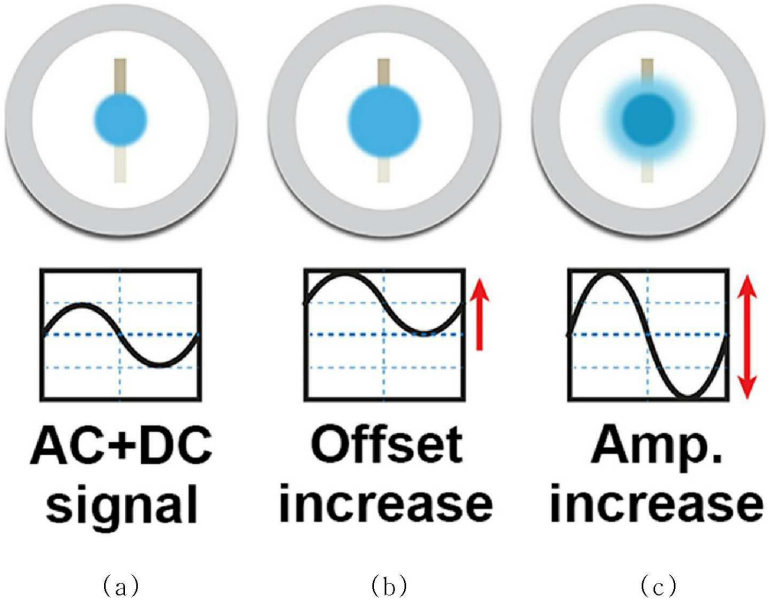
도면2



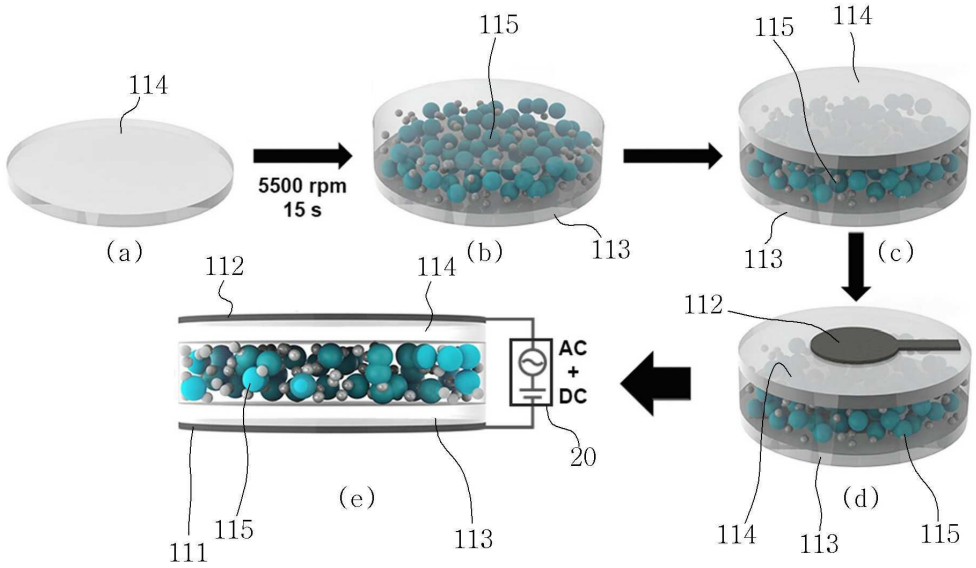
도면3


111
120
(a)
Amp.
Offset
GND
112
111
120
(b)
Amp.
Offset
GND
112

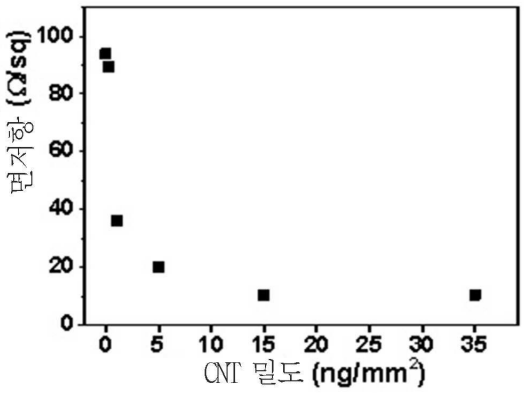
도면4


AC+DC signal
Offset increase
Amp. increase
(a)
(b)
(c)

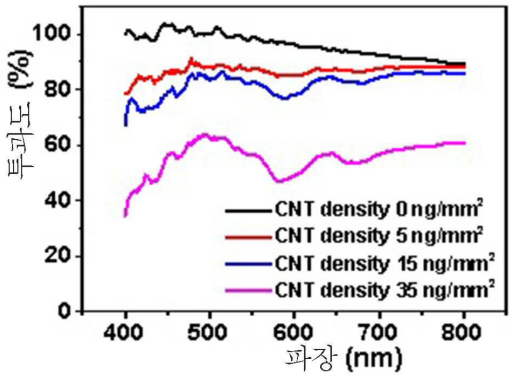
도면5


114
5500 rpm
15 s
(a)
115
(b)
113
115
114
113
(c)
112
AC
+
DC
20
(d)
114
113
115
112
114
(e)
111
115
113

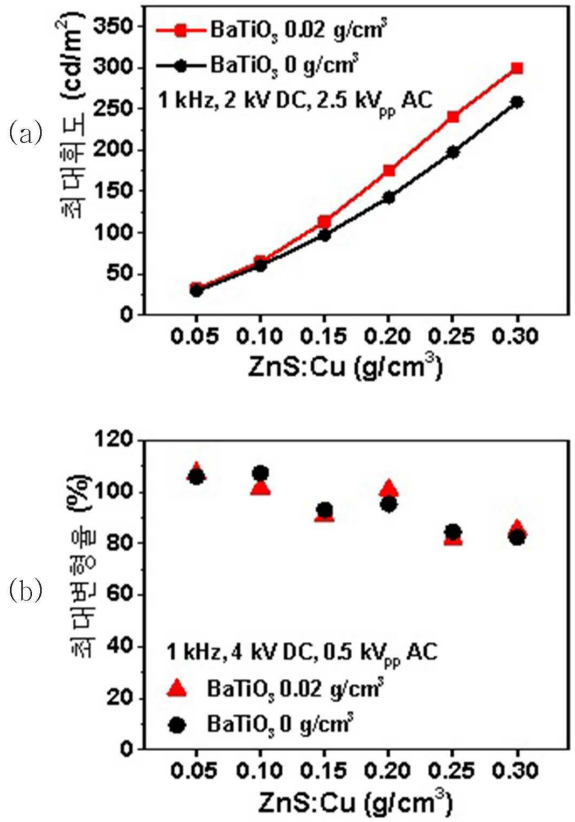
도면6


면저항 (Ω/sq)
100
80
60
40
20
0
0
5
10
15
20
25
30
35
CNT 밀도 (ng/mm²)

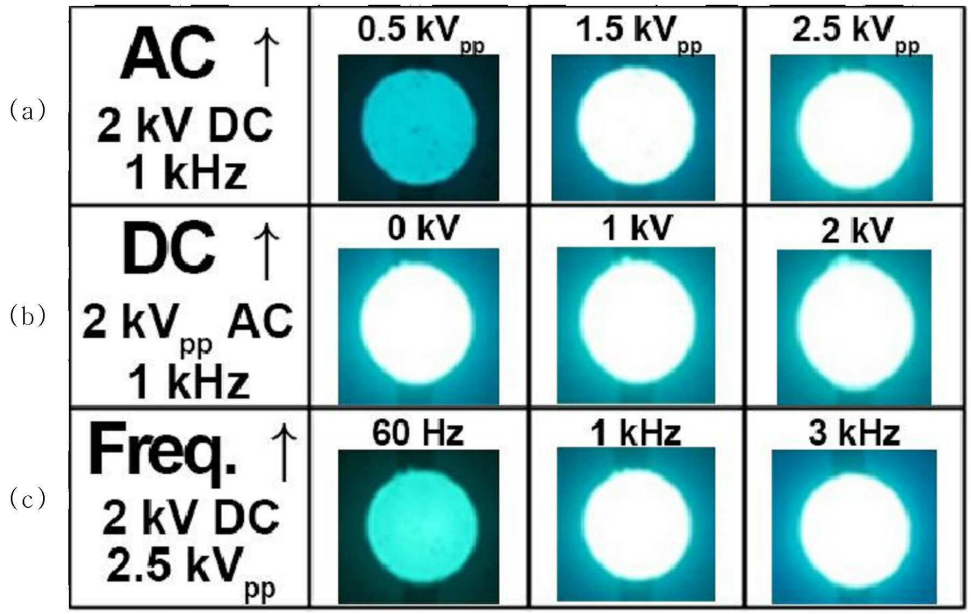
도면7


투과도 (%)
100
80
60
40
20
0
400
500
600
700
800
파장 (nm)
CNT density 0 ng/mm²
CNT density 5 ng/mm²
CNT density 15 ng/mm²
CNT density 35 ng/mm²

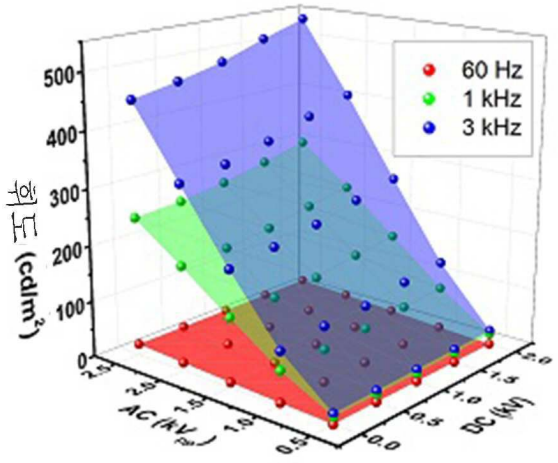
도면8


(a)
최대휘도 (cd/m²)
BaTiO₃ 0.02 g/cm³
BaTiO₃ 0 g/cm³
1 kHz, 2 kV DC, 2.5 kVpp AC
ZnS:Cu (g/cm³)
(b)
최대변형율 (%)
1 kHz, 4 kV DC, 0.5 kVpp AC
BaTiO₃ 0.02 g/cm³
BaTiO₃ 0 g/cm³
ZnS:Cu (g/cm³)

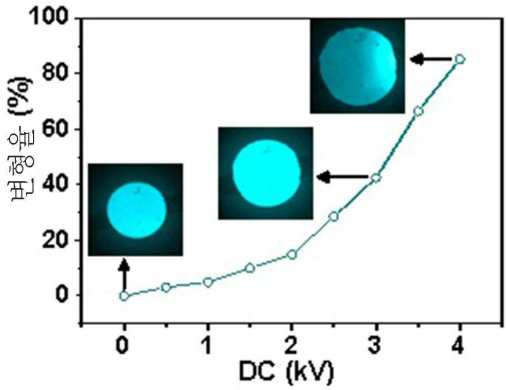
도면9


(a)
AC
2 kV DC
1 kHz
0.5 kVpp
1.5 kVpp
2.5 kVpp
(b)
DC
2 kVpp AC
1 kHz
0 kV
1 kV
2 kV
(c)
Freq.
2 kV DC
2.5 kVpp
60 Hz
1 kHz
3 kHz

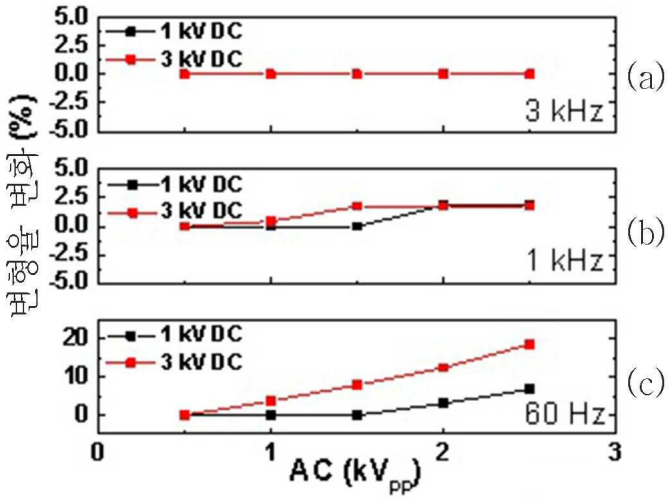
도면10



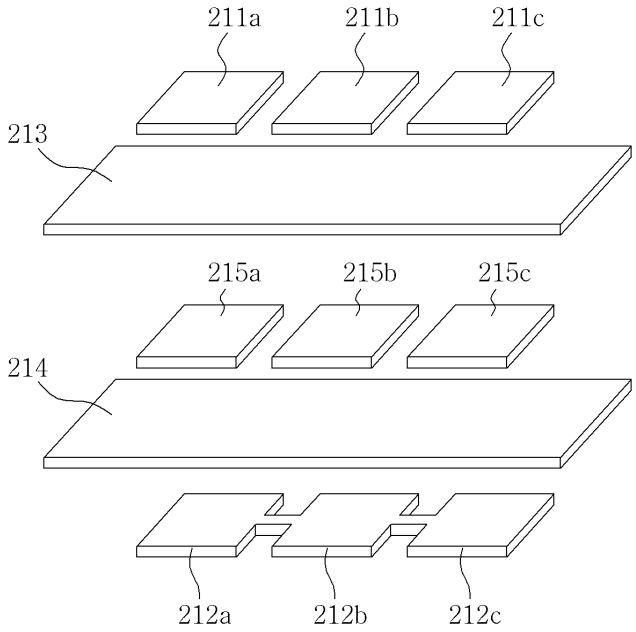
도면11



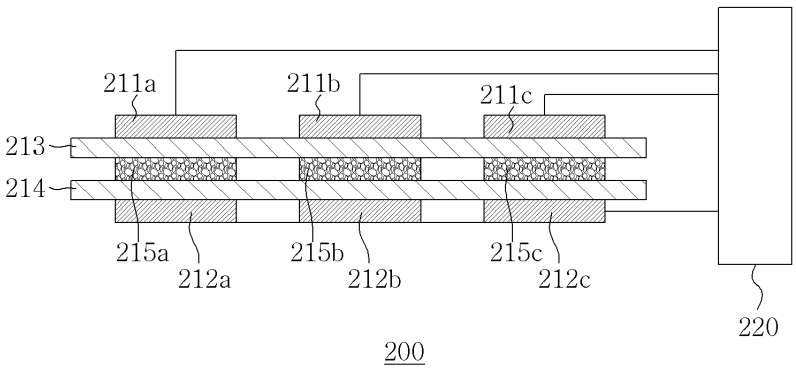
도면12



도면13


211a
211b
211c
213
215a
215b
215c
214
212a
212b
212c

도면14


211a
211b
211c
213
214
215a
215b
215c
212a
212b
212c
220
200

도면15

