



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0053821  
(43) 공개일자 2011년05월24일

(51) Int. Cl.

H01L 41/09 (2006.01) H01L 41/193 (2006.01)

H02N 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0110503

(22) 출원일자 2009년11월16일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자

권종오

경기도 수원시 영통구 영통동 신나무실6단지아파트 645동 104호

최승태

경기도 화성시 반송동 시범다운마을월드메르디앙 반도유보라아파트 343동 1102호

(74) 대리인

특허법인 신지, 유경열

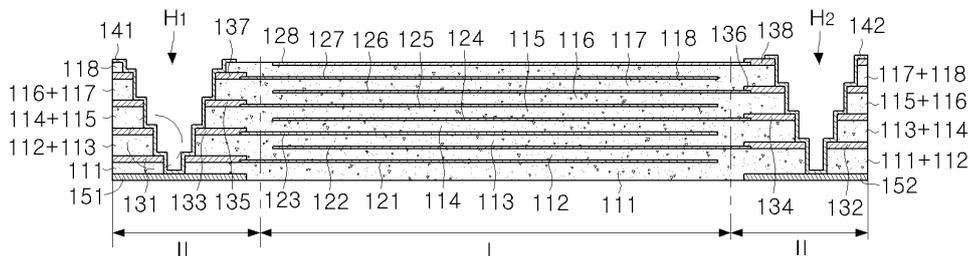
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 전기활성 폴리머 액츄에이터 및 그 제조방법

(57) 요약

다층 전기활성 폴리머 액츄에이터와 이의 제조방법이 개시된다. 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터는 액츄에이팅 영역과 비액츄에이팅 영역으로 구획될 수 있다. 액츄에이팅 영역에는 일면에 구동전극이 형성되어 있는 폴리머 층이 복수 개가 적층되어 있다. 비액츄에이팅 영역에는 구동전극과 각각 연결되는 복수의 연장전극과 이 복수의 연장전극들 수직으로 연결하는 공통전극을 포함한다. 비액츄에이팅 영역에는 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있으며, 공통전극은 이 비아 홀에 형성된다. 구동전극은 알루미늄과 구리의 합금으로 형성될 수 있으며, 연장전극은 폴리머보다 레이지에 대하여 반응성이 낮은 물질로 형성될 수 있다.

대표도 - 도3



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

상면에 연장전극(extension electrode)이 형성되어 있는 폴리머층이 복수 개가 적층되어 있으며, 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있는 복수의 비엑츠헤이팅층; 및

상기 복수의 비엑츠헤이팅층의 연장전극들을 연결하도록 상기 비아 홀에 형성된 공통전극(common electrode)을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체(interconnection electrode structure).

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 공통전극은 층계 형상의 프로파일을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 연장전극은 상기 폴리머층보다 레이저에 대하여 반응성이 낮은 물질로 형성되는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수의 비엑츠헤이팅층의 아래에 형성된 식각 정지층(etch stopping layer)을 더 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 연장전극들 각각은 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 짝수 번째 층의 구동전극 또는 홀수 번째 층의 구동전극과 연결되는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 구동전극은 알루미늄과 구리의 합금으로 형성되고, 상기 연장전극은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al)을 포함하는 집합에서 선택된 하나의 금속으로 형성되는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 비아 홀은 상기 연장전극의 양 단부 사이에 위치하거나 또는 상기 연장전극의 일측 가장자리에 위치하는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터의 연결전극 구조체.

### 청구항 8

순차적으로 적층되어 있으며, 액츠헤이팅 영역과 비엑츠헤이팅 영역으로 구획되는 복수의 폴리머층들; 및

적어도 상기 액츠헤이팅 영역을 커버하도록 상기 복수의 폴리머층들 각각의 일면에 알루미늄과 구리의 합금으로 형성된 복수의 구동전극들을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠헤이터.

### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복수의 폴리머층들은 두께가 2.5 $\mu$ m 이하인 적어도 하나의 폴리머층을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터.

**청구항 10**

제8항 또는 제9항에 있어서,

상기 비액츄에이팅 영역은 상기 액츄에이팅 영역의 양쪽 측부에 위치하는 제1 비액츄에이팅 영역과 제2 비액츄에이팅 영역을 포함하며,

상기 복수의 구동전극은 상기 액츄에이팅 영역으로부터 상기 제1 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제1 구동전극 그룹과 상기 액츄에이팅 영역으로부터 상기 제2 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제2 구동전극 그룹을 포함하되, 상기 제1 구동전극 그룹의 구동전극과 상기 제2 구동전극 그룹의 구동전극은 수직방향으로 교번하여 배치되어 있는 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 제1 비액츄에이팅 영역에서 상기 제1 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제1 연결전극 구조체와 상기 제2 비액츄에이팅 영역에서 상기 제2 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제2 연결전극 구조체를 더 포함하고,

상기 제1 및 제2 연결전극 구조체는 각각

상기 연장 형성된 구동전극들 각각과 연결되어 있는 연장전극(extension electrode)을 포함하고, 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있는 복수의 비액츄에이팅층; 및

상기 복수의 비액츄에이팅층의 연장전극들을 연결하도록 상기 비아 홀에 형성된 공통전극(common electrode)을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 연장전극은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 및 알루미늄(Al)을 포함하는 집합에서 선택된 하나의 금속으로 형성된 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터.

**청구항 13**

제10항에 있어서,

상기 연장전극들은 각각 상기 액츄에이팅 영역의 가장자리를 따라서 상기 비액츄에이팅 영역에 바아 형상으로 형성되어 있는 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터.

**청구항 14**

순차적으로 적층되어 있으며, 액츄에이팅 영역과 상기 액츄에이팅 영역의 양측에 제1 및 제2 비액츄에이팅 영역으로 구획되는 복수의 폴리머층들;

적어도 상기 액츄에이팅 영역을 커버하도록 상기 복수의 폴리머층들 각각의 일면에 형성되어 있으며, 상기 액츄에이팅 영역으로부터 상기 제1 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제1 구동전극 그룹과 상기 액츄에이팅 영역으로부터 상기 제2 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제2 구동전극 그룹을 포함하되, 상기 제1 구동전극 그룹의 구동전극과 상기 제2 구동전극 그룹의 구동전극은 수직방향으로 교번하여 배치되어 있는 복수의 구동전극들; 및

상기 제1 비액츄에이팅 영역에서 상기 제1 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제1 연결전극 구조체와 상기 제2 비액츄에이팅 영역에서 상기 제2 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제2 연결전극 구조체를 포함하고,

상기 제1 및 제2 연결전극 구조체는 각각

상기 연장 형성된 구동전극들 각각과 연결되어 있는 연장전극(extension electrode)을 포함하고, 위쪽으로 갈수록

록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있는 복수의 비엑츠티어링층; 및

상기 복수의 비엑츠티어링층의 연장전극들을 연결하도록 상기 비아 홀에 형성된 공통전극(common electrode)을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠티어터.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

상기 구동전극은 알루미늄(Al)과 구리의 합금으로 형성되고, 상기 연장전극은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 및 알루미늄(Al)을 포함하는 집합에서 선택된 하나의 금속으로 형성된 다층 전기활성 폴리머 액츠티어터.

**청구항 16**

제15항에 있어서,

상기 복수의 폴리머층들은 두께가 2.5 $\mu$ m 이하인 적어도 하나의 폴리머층을 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠티어터.

**청구항 17**

엑츠티어링 영역과 상기 액츠티어링 영역의 양쪽 측부에 각각 위치하는 제1 및 제2 비엑츠티어링 영역으로 구획될 수 있는 기관 상에 제1 폴리머층을 형성하는 제1 단계;

상기 제1 폴리머층 상에 적어도 상기 액츠티어링 영역을 커버하고 상기 제1 비엑츠티어링 영역으로 연장되는 제1 구동전극을 형성하는 제2 단계;

상기 제1 비엑츠티어링 영역의 상기 제1 폴리머층 상에 상기 제1 구동전극과 연결되는 제1 연장전극을 형성하는 제3 단계;

상기 제1 구동전극과 제1 연장전극이 형성되어 있는 상기 제1 폴리머층의 전면 상에 제2 폴리머층을 형성하는 제4 단계;

상기 제2 폴리머층 상에 적어도 상기 액츠티어링 영역을 커버하고 상기 제2 비엑츠티어링 영역으로 연장되는 제2 구동전극을 형성하는 제5 단계;

상기 제2 비엑츠티어링 영역의 상기 제2 폴리머층 상에 상기 제2 구동전극과 연결되는 제2 연장전극을 형성하는 제6 단계;

상기 제1 단계 내지 제6 단계로 구성된 주기를 1회 이상 추가로 반복 수행하여 상기 제1 및 제2 비엑츠티어링 영역에 각각 복수의 비엑츠티어링층을 형성하는 제7 단계;

상기 복수의 비엑츠티어링층을 식각하여 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀을 형성하는 제8 단계; 및

상기 복수의 비엑츠티어링층의 연장전극을 연결하는 공통전극을 상기 비아 홀에 형성하는 제9 단계를 포함하는 다층 전기활성 폴리머 액츠티어터의 제조방법.

**청구항 18**

제17항에 있어서,

상기 구동전극은 알루미늄과 구리의 합금으로 형성하고, 상기 연장전극은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 및 알루미늄(Al)을 포함하는 집합에서 선택된 하나의 금속으로 형성하는 다층 전기활성 폴리머 액츠티어터의 제조방법.

**청구항 19**

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 폴리머층과 상기 연장전극 사이에 반응성의 차이가 큰 레이저를 이용하여 상기 복수의 비엑츠티어링층을

식각하여 상기 비아 홀을 형성하는 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터의 제조방법.

**청구항 20**

제8항 또는 제15항의 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터를 포함하는 가변초점 액체렌즈.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 액츄에이터(actuator)에 관한 것으로, 보다 구체적으로 다층(multi-layers) 전기활성 폴리머(ElectroActive Polymer, EAP) 액츄에이터와 그 제조방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 액츄에이터는 원격 조작(remote operation)이나 자동 제어(automatic control) 등을 할 수 있도록 하는 동력처리기구를 가리킨다. 액츄에이터는 빈번한 구동에 대한 내구성과 높은 신뢰성, 제어의 정확성과 용이성, 빠른 응답성 등을 기본적으로 갖추어야 한다. 액츄에이터의 종류로는 유압 액츄에이터, 공기압 액츄에이터, 전자력 모터, 형상기억합금, 마이크로 모터, 전기활성 폴리머(ElectroActive Polymer, EAP) 액츄에이터 등이 있다.

[0003] 이들 액츄에이터 중에서 최근에는 EAP 액츄에이터가 많은 관심을 받고 있다. EAP는 전기적인 자극에 의하여 변형을 할 수 있는 고분자 재료를 통칭하는데, 넓게는 전기적인 자극뿐만 아니라 화학적 자극이나 열적 자극 등에 의하여 변형되는 고분자 재료도 EAP에 포함하기도 한다. EAP의 종류로는 이온 폴리머 금속 복합물(Ionic Polymer Metal Composite, IPMC), 유전성 탄성중합체(dielectric elastomer), 도전성 폴리머(conducting polymer), 폴리머 젤(polymer gel), PVDF(Polyvinylidene Fluoride) 수지, 탄소 나노튜브(carbon nanotube), 형상 기억 폴리머(shape memory polymer) 등이 있다. EAP 액츄에이터는 마이크로 카메라(micro camera), 폴리머 MEMS(polymer Micro Electro Mechanical Systems), 바이오 시스템(bio system), 에너지 수확기술(energy harvesting) 등과 같은 다양한 활용 분야를 가지고 있다.

[0004] EAP 액츄에이터는 기존의 다른 액츄에이터에 비하여 변형율이 크기 때문에, 소형으로 제작하더라도 상대적으로 큰 변위의 구동을 얻을 수가 있다. 예를 들어, EAP 액츄에이터는 크기가 작고 두께가 얇은 모바일 전자 기기를 위한 고성능 촬상 장치를 위한 가변초점 액체렌즈(vari-focal fluidic lens)의 구동 액츄에이터로서 사용될 수 있다. 가변초점 액체렌즈는 촬상 장치에 자동 초점(Auto-Focus, AF) 기능, 줌(zoom) 기능, 이미지 안정화(Optical Image Stabilization, OIS) 기능 등을 구현하기 위하여 사용된다.

[0005] 그런데, EAP 액츄에이터를 이용하여 큰 변위를 일으킬 수 있는 구동력을 얻기 위해서는 수백 볼트(V) 이상의 구동 전압이 필요하다. 높은 구동 전압은 모바일 전자 기기(예컨대, 24V 이하) 등과 같이 구동 전압이 상대적으로 낮은 응용 장치에는 기존의 EAP 액츄에이터를 그대로 적용하기 어렵게 한다. EAP 액츄에이터의 구동 전압을 낮추기 위해서 두께가 얇은 복수의 폴리머층을 적층하고 폴리머층들 사이에 서로 다른 전위의 구동전극을 교번하여 배치하는 구조의 다층 EAP 폴리머 액츄에이터가 제안되었다.

**발명의 내용**

**해결하고자하는 과제**

[0006] 구동전극들 사이의 전기적 연결성이 향상된 다층 EAP 액츄에이터를 위한 연결전극 구조체 및 그 제조방법과 이를 포함하는 다층 EAP 액츄에이터를 제공한다.

[0007] 각 폴리머층의 두께가 얇을 뿐만 아니라 장시간 우수한 구동 성능을 보이는 다층 EAP 액츄에이터 및 그 제조방법을 제공한다.

**과제 해결수단**

- [0008] 일 실시예에 따른 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터의 연결전극 구조체는 복수의 비액츄에이팅층과 공통전극을 포함한다. 복수의 비액츄에이팅층은 상면에 구동전극(driving electrode)과 연장전극(extension electrode)이 형성되어 있는 폴리머층이 복수 개가 적층되어 있는 것으로서, 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있다. 공통전극은 비아 홀에 형성되어 있으며 복수의 비액츄에이팅층의 연장전극들을 서로 연결한다.
- [0009] 일 실시예에 따른 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터는 순차적으로 적층되어 있으며, 액츄에이팅 영역과 비액츄에이팅 영역으로 구획되는 복수의 폴리머층들을 포함한다. 그리고 복수의 폴리머층들 각각의 일면에는 적어도 액츄에이팅 영역을 커버하도록 복수의 구동전극들이 형성되어 있는데, 이 구동전극은 알루미늄과 구리의 합금으로 형성된다.
- [0010] 다른 실시예에 따른 다층 전기활성 폴리머 액츄에이터는 복수의 폴리머층들, 복수의 구동전극들, 및 한 쌍의 연결전극 구조체를 포함한다. 복수의 폴리머층들은 순차적으로 적층되어 있으며, 액츄에이팅 영역과 그 양측의 제1 및 제2 비액-에이팅 영역으로 구획될 수 있다. 복수의 구동전극들은 적어도 액츄에이팅 영역을 커버하도록 복수의 폴리머층들 각각의 일면에 형성되어 있는데, 액츄에이팅 영역으로부터 제1 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제1 구동전극 그룹과 액츄에이팅 영역으로부터 제2 비액츄에이팅 영역까지 연장 형성되는 제2 구동전극 그룹을 포함한다. 그리고 제1 구동전극 그룹의 구동전극과 제2 구동전극 그룹의 구동전극은 수직방향으로 교번하여 배치되어 있다. 한 쌍의 연결전극 구조체는 제1 비액츄에이팅 영역에서 제1 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제1 연결전극 구조체와 제2 비액츄에이팅 영역에서 제2 구동전극 그룹의 구동전극들을 연결하는 제2 연결전극 구조체를 포함한다. 제1 및 제2 연결전극 구조체는 각각 복수의 비액츄에이팅층과 공통전극을 포함하는데, 복수의 비액츄에이팅층은 연장 형성된 구동전극들 각각과 연결되어 있는 연장전극(extension electrode)을 포함하고, 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀이 형성되어 있으며, 공통전극은 복수의 비액츄에이팅층의 연장전극들을 연결하도록 비아 홀이 형성되어 있다.
- [0011] 일 실시예에 따른 다층 폴리머 액츄에이터의 제조방법에서는 우선 액츄에이팅 영역과 이의 양쪽 측부에 위치하는 제1 및 제2 비액츄에이팅 영역으로 구획될 수 있는 기판 상에 제1 폴리머층을 형성하고, 제1 폴리머층 상에 적어도 액츄에이팅 영역을 커버하고 제1 비액츄에이팅 영역으로 연장되는 제1 구동전극을 형성하며, 제1 비액츄에이팅 영역의 제1 폴리머층 상에는 제1 구동전극과 연결되는 제1 연장전극을 형성한다. 그리고 제1 구동전극과 제1 연장전극이 형성되어 있는 제1 폴리머층의 전면 상에 제2 폴리머층을 형성한 다음, 제2 폴리머층 상에 적어도 액츄에이팅 영역을 커버하고 제2 비액츄에이팅 영역으로 연장되는 제2 구동전극을 형성하며, 제2 비액츄에이팅 영역의 제2 폴리머층 상에는 제2 구동전극과 연결되는 제2 연장전극을 형성한다. 계속해서, 전술한 과정들을 1회 이상 추가로 반복 수행하여 제1 및 제2 비액츄에이팅 영역에 각각 복수의 비액츄에이팅층을 형성한다. 그리고 이 복수의 비액츄에이팅층을 식각하여 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀을 형성한 다음, 복수의 비액츄에이팅층의 연장전극을 연결하는 공통전극을 비아 홀에 형성한다.

**효 과**

- [0012] 이러한 다층 EAP 액츄에이터의 연결전극 구조체와 그 제조방법에 의하면, 구동전극들 사이의 전기적 연결성이 향상될 뿐만 아니라 제조 비용을 절감할 수 있다. 그리고 다층 EAP 액츄에이터는 폴리머층의 두께를 얇게 제조할 수 있으므로, 구동전압을 낮출 수 있을 뿐만 아니라 장시간 구동되더라도 우수한 구동 성능을 보인다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- [0013] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다. 사용되는 용어들은 실시예에서의 기능을 고려하여 선택된 용어들로서, 그 용어의 의미는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 후술하는 실시예들에서 사용된 용어의 의미는, 본 명세서에 구체적으로 정의된 경우에는 그 정의에 따르며, 구체적인 정의가 없는 경우는 당업자들이 일반적으로 인식하는 의미로 해석되어야 할 것이다.

- [0014] 도 1은 일 실시예에 따른 다층 전기활성 폴리머(EAP) 액츄에이터(100)의 개략적인 구조를 보여 주는 도면이다. 도 1에는 다층 EAP 액츄에이터(100)의 평면 형상이 사각형인 것으로 도시되어 있으나, 이것은 단지 예시적인 것

이다. 다층 EAP 액츄에이터의 평면 형상은 제한이 없는데, 다층 EAP 액츄에이터가 이용되는 응용 장치에 따라서 달라질 수 있다. 예를 들어, 다층 EAP 액츄에이터는 도 6a와 도 6b에 도시되어 있는 것과 같은 다각형 형상이 될 수도 있다.

[0015] 도 1을 참조하면, 다층 EAP 액츄에이터(100)는 액츄에이팅 영역(I)과 비액츄에이팅 영역(II)으로 구획될 수 있다. 이러한 구획은 물리적인 구조에 기초한 것은 아니며 해당 영역의 기능에 기초한 것이다. 액츄에이팅 영역(I)은 구동전압이 인가되었을 때 변위를 제공하는 영역을 가리킨다. 따라서 액츄에이팅 영역(I)의 평면 형상은 중첩되는 구동전극들의 평면 형상에 대응한다. 액츄에이팅 영역(I)의 평면 형상도 특별한 제한이 없으며, 필요에 따라서 다양한 형상으로 만들어질 수 있다. 예를 들어, 액츄에이팅 영역(I)은 사다리꼴과 같이 적어도 하나의 평행한 변을 갖는 다각형 형상일 수 있다.

[0016] 비액츄에이팅 영역(II)은 넓은 의미로는 액츄에이팅 영역(I) 이외의 부분을 가리킨다. 이 경우에 비액츄에이팅 영역(II)은 적층된 구동전극(120)들을 전기적으로 연결하거나 또는 EAP 액츄에이터(100)가 이용되는 응용장치에 물리적으로 고정하는 것과 같은 부수적인 용도로 이용될 수 있다. 그리고 비액츄에이팅 영역(II)은 좁은 의미로는 적층된 구동전극(120)들을 전기적으로 연결하는 연결전극 구조체(도시하지 않음, 도 3 참조)를 포함하는 부분만을 가리킬 수 있다. 본 명세서에서 사용된 '비액츄에이팅 영역(II)'이라는 용어가 좁은 의미로 해석되어야 하는지 또는 넓은 의미로 해석되어야 하는지는, 전체적인 문맥에 따라서 적응적으로 해석될 수 있다.

[0017] 도 1을 참조하면, 다층 EAP 액츄에이터(100)는 복수의 '폴리머 및 전극층'들을 포함한다(이하에서는 액츄에이팅 영역(I)의 '폴리머 및 전극층'을 지시하고자 할 경우에는 '액츄에이팅층'이라고 하고, 비액츄에이팅 영역(II)의 '폴리머 및 전극층'을 지시하고자 할 경우에는 '비액츄에이팅층'이라고 칭하기로 한다). 그리고 각각의 폴리머 및 전극층은 폴리머층(polymer layer, 110), 구동전극(driving electrode, 120), 및 연장전극(extension electrode, 130)을 포함한다. 각 폴리머층(110)의 액츄에이팅 영역(I)의 일면, 예컨대 상면에는 구동전극(120)이 형성되어 있다. 구동전극(120)은 적어도 액츄에이팅 영역(I)의 전체를 커버하며, 일부가 비액츄에이팅 영역(II)까지 연장되는 크기를 갖는다. 비액츄에이팅 영역(II)까지 연장되는 구동전극(120)의 부분은 연장전극(130)과의 접속을 위한 것으로서, 그 크기나 형태에는 제한이 없다. 각 폴리머층(110)의 비액츄에이팅 영역(II)의 일면(예컨대, 상면)에는 연장전극(130)이 형성되어 있는데, 연장전극(130)은 구동전극(120)과 접속되어 적층되어 있는 구동전극(120)들을 전기적으로 연결하는데 이용된다. 다만, 도 1과 함께 후술하는 도 2a 및 도 2b에서는, 설명의 편의를 위하여 각 폴리머층(110)의 연장전극들(130)을 연결하는 구성요소(예컨대, 도 3의 비액츄에이팅 영역(II)에 형성된 비아 홀(via hole, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>) 및 공통전극(141, 142))에 대한 도시는 생략하였다.

[0018] 도 2a 및 도 2b는 도 1의 다층 EAP 액츄에이터(100)를 구성하는 한 쌍의 '폴리머 및 전극층(즉, 액츄에이팅층과 비액츄에이팅층)'의 구성의 일례를 개략적으로 보여 주는 도면이다. 즉, 다층 EAP 액츄에이터(100)는 도 2a와 도 2b에 도시되어 있는 '폴리머 및 전극층'의 조합으로 구성된다. 보다 구체적으로, 다층 EAP 액츄에이터(100)에는 두 가지 유형의 '폴리머 및 전극층'이 번갈아 적층되어 있을 수 있다. 예를 들어, 도 3에 도시된 것과 같은 8개의 층으로 구성된 다층 EAP 액츄에이터(100)인 경우에, 홀수 번째(즉, 1, 3, 5, 7번째) 층(이하, '제1 그룹 층'이라 한다)에는 도 2a의 구조를 갖는 '폴리머 및 전극층'이 배치되고, 다층 EAP 액츄에이터(100)의 짝수 번째(즉, 2, 4, 6, 8번째) 층(이하, '제2 그룹 층'이라 한다)에는 도 2b에 도시되어 있는 '폴리머 및 전극층'이 배치될 수 있다. 또는, 반대로 다층 EAP 액츄에이터(100)의 제1 그룹 층에는 도 2b의 구조를 갖는 '폴리머 및 전극층'이 배치되고, 다층 EAP 액츄에이터(100)의 제2 그룹 층에는 도 2a에 도시되어 있는 '폴리머 및 전극층'이 배치될 수 있다.

[0019] 제1 그룹 층과 제2 그룹 층의 '폴리머 및 전극층'은 각각 폴리머층(111, 112, 이것들은 도 1에 도시되어 있는 폴리머층(110)의 일례이다), 구동전극(121, 122, 이것들은 도 1에 도시되어 있는 구동전극(120)의 일례이다), 및 연장전극(131, 132, 이것들은 도 1에 도시되어 있는 연장전극(130)의 일례이다)을 포함한다는 점에서 서로 공통점을 갖는다. 다만, 구동전극(121, 122)에 대하여 연장전극(131, 132)이 배치되어 있는 위치는 제1 그룹 층과 제2 그룹 층에서 서로 상이하다. 예를 들어, 제1 그룹 층의 연장전극(131)과 제2 그룹 층의 연장전극(132)은 구동전극(121, 122)의 바깥쪽에 구동전극(121, 122)에 대하여 서로 대향하도록 배치될 수 있다. 이와 같이 연장전극(131, 132)의 위치를 그룹 층에 따라서 다르게 하는 것은, 다층 EAP 액츄에이터(100, 도 1 참조)의 제1 그룹 층의 구동전극들과 제2 그룹 층의 구동전극들을 각각 별개의 그룹으로 묶어서 서로 간에 동일한 전위에서 전기적으로 접속되도록 하기 위한 것이다. 그 결과, 다층 EAP 액츄에이터(100)는 양의 전위를 갖는 구동전극과 음의 전위를 갖는 구동전극이 얇은 두께의 폴리머층을 사이에 두고 교번된 형태로 배치될 수 있다.

- [0020] 폴리머층(111, 112)은 전기적인 자극에 의하여 변형을 일으키는 유전성 폴리머 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 폴리머층(111, 112)은 실리콘(silicone) 또는 아크릴(acrylate) 등과 같은 유전성 탄성체(dielectric elastomer), PVDF(Poly Vinylidene Fluoride) 등과 같은 강유전성 폴리머(ferro-electric polymer), P(VDF-TrFE-CFE)(Poly(Vinylidene Fluoride-TriFluoroEthylene-CloroFluoroEthylene)) 등과 같은 완화형 강유전성 폴리머(relaxor ferro-electric polymer)로 형성될 수 있다. 이러한 재료로 형성되는 폴리머층(111, 112)은 두께를 얇게 하여 복수 개를 적층하고 반대의 전위를 갖는 구동전극을 폴리머층들 사이에 교번되게 배치하면, 낮은 전압에서도 구동하는 액츄에이터를 만들 수가 있다. 폴리머층(111, 112)은, 예컨대 2.5 $\mu$ m 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0021] 구동전극(121, 122)은 폴리머층(111, 112)의 변형을 유도하는 구동전압을 인가 받는 역할을 한다. 이를 위하여, 구동전극(121, 122)은 도전성 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 구동전극(121, 122)은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 알루미늄-구리 합금(Al-Cu alloy) 등과 같은 금속 물질로 형성되거나 또는 PEDOT[Poly(3,4-EthyleneDiOxyThiophene)]:PSS [Poly(4-StyreneSulfonic acid)], 폴리피롤(polypyrrole), 폴리아닐린(polyaniline) 등과 같은 도전성 폴리머로 형성될 수 있다. 이 중에서 구동전극(121, 122)을 알루미늄(Al)이나 알루미늄-구리 합금(Al-Cu alloy)으로 형성하면, 비록 폴리머층(111, 112)의 두께가 2.5 $\mu$ m 이하가 되더라도, 폴리머층(111, 112)의 기공을 통하여 교번된 연장전극들 사이에 통전(수k $\Omega$  이하)이 발생하는 문제를 방지할 수가 있다.
- [0022] 구동전극(121, 122)은 폴리머층(111, 112)의 변형에 영향을 주지 않기 위하여 가능한 얇은 두께로 형성되어야 한다. 예를 들어 구동전극(121, 122)이 금속 물질로 형성될 경우에, 구동전극(121, 122)은 50nm 이하의 두께로 형성할 수 있다. 그런데, 50nm 이하의 두께를 갖는 알루미늄(Al)으로 구동전극(121, 122)을 형성하면, 알루미늄(Al)의 근본적인 문제점인 일렉트로-마이그레이션(electro-migration) 현상 등으로 인하여 힐록(hillock) 현상이 발생할 수가 있다. 힐록 현상이 나타나면 장시간 구동 시에 구동전극(121, 122)의 구동 성능이 점차적으로 감소하게 된다.
- [0023] 알루미늄(Al) 전극이 갖는 이러한 문제점은 알루미늄-구리 합금(Al-Cu alloy)을 구동전극(121, 122) 물질로 이용하면 해결할 수가 있다. 알루미늄-구리 합금은 소량의 구리(Cu)가 알루미늄(Al) 내에 존재하므로 일렉트로-마이그레이션 현상을 방지할 수가 있다. 그 결과, 구동전극(121, 122)의 내전력성을 향상시켜서 장시간 구동에 따른 구동전극(121, 122)의 열화를 방지할 수가 있다.
- [0024] 연장전극(131, 132)은 각각 구동전극(121, 122)의 일 측부인 비액츄에이팅 영역(II)에 배치되어 구동전극(121, 122)과 전기적으로 접속된다. 그리고 구동전압은 연장전극(131, 132)을 통하여 구동전극(121, 122)으로 가해진다. 그런데, 구동전극(121, 122)의 두께가 얇으면 그 만큼 저항이 증가하므로, 구동전극(121, 122)에서는 전원(또는 연장전극(131, 132))으로부터 멀어질수록 구동수준이 낮아진다. 따라서 구동전극(121, 122)은 그 위치에 따라서 구동수준에 차이가 발생할 수 있으며, 이것은 EAP 액츄에이터의 구동 성능을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다.
- [0025] 이러한 구동 성능의 저하를 방지하기 위하여, 연장전극(131, 132)은 각각 구동전극(121, 122)의 일측 가장자리를 따라 바아(bar) 형상으로 길게 형성될 수 있다. 그리고 연장전극(131, 132)의 두께를 구동전극(121, 122)에 비하여 두껍게, 예컨대 50nm 이상이 되도록 하고 또한 금속물질(예컨대, 금, 구리, 티타늄, 크롬, 몰리브덴, 알루미늄 등)로 형성하여, 연장전극(131, 132)의 저항이 가능한 작게 되도록 할 수 있다. 이와 같이, 상대적으로 두꺼운 두께로 바아 형상의 연장전극(131, 132)을 각각 구동전극(121, 122)의 가장자리를 따라 길게 배치하면, 액츄에이팅 영역(I)(또는 구동전극(121, 122))의 전면에 균일하게 구동 전압이 걸리도록 할 수 있다. 따라서 액츄에이팅 영역(I)(또는 구동전극(121, 122))의 위치에 상관없이, 다층 EAP 액츄에이터는 전체적으로 일정한 수준으로 구동이 될 수 있다.
- [0026] 구동전극(121, 122)이 알루미늄과 구리의 합금으로 형성될 경우에, 연장전극(131, 132)은 알루미늄과 구리의 합금을 제외한 다른 금속 물질로 형성할 수 있다. 이것은 알루미늄과 구리의 합금이 레이저에 대한 반응성이 크기 때문인데, 그 구체적인 이유에 대해서는 후술하는 제조방법에서 설명한다. 반면, 구동전극(121, 122)이 레이저에 대하여 반응성이 작은 금속 물질로 형성될 경우에는, 연장전극(131, 132)은 구동전극(121, 122)과 동일한 금속 물질로 형성할 수 있다. 이 경우에, 연장전극(131, 132)의 두께는 구동전극(121, 122)과 같거나 더 두꺼운 두께로 형성할 수 있다(연장전극(131, 132)은 식각 과정(후술하는 도 7i 참조)에서 조사된 레이저가 일정 수준 이상의 에너지 소모가 생기는 두께를 가져야 한다). 따라서 본 명세서에서는 전체적으로 구동전극(121, 122)과 연장전극(131, 132)이 별개의 구성요소인 것으로 도시되어 있으나, 실시예에 따라서는 구동전극(121,

122)과 연장전극(131, 132)은 합쳐진 하나의 구성요소가 될 수도 있다는 것은 당업자에게 자명하다(그리고 이 경우에 연장전극(131, 132)은 비액츄에이팅 영역(II)으로 연장된 구동전극(121, 122)의 일 부분을 가리킬 수 있다).

[0027] 도 3은 도 1의 XX' 라인을 따라 절취한 다층 EAP 액츄에이터(100)의 단면도의 일례이다. 도 3에는 다층 EAP 액츄에이터(100)가 모두 8개의 '폴리머 및 전극층'으로 이루어진 것으로 도시되어 있으나, 이러한 '폴리머 및 전극층'의 개수는 단지 예시적인 것이다. 그리고 도 1과는 달리 도 3의 다층 EAP 액츄에이터(100)에는 적층된 구동전극들(111~118)을 그룹별로 전기적으로 연결하기 위한 연결전극 구조체도 함께 도시하였다.

[0028] 도 3을 참조하면, 액츄에이팅 영역(I)과 비액츄에이팅 영역(II)으로 구획되어 있는 다층 EAP 액츄에이터(100)는 8개의 '폴리머 및 전극층'을 포함한다. 각 폴리머 및 전극층은 폴리머층(111~118, 도 1의 참조번호 110에 대응함), 구동전극(121~128, 도 1의 참조번호 120에 대응함), 및 연장전극(131~138, 도 1의 참조번호 130에 대응함)을 포함한다.

[0029] 각 폴리머층(111~118)의 일면 상에 형성되어 있는 구동전극(121~128)은 적어도 액츄에이팅 영역(I)을 커버한다. 양과 음의 구동전압이 교번하여 구동전극(121~128)에 인가될 수 있도록, 구동전극들(121~128)은 두 개의 그룹으로 나누어져서(이에 따라서 폴리머 및 전극층도 두 개의 그룹으로 나누어 질 수 있다) 각각 양의 전위와 음의 전위에 연결될 수 있다. 이를 위하여, 각 그룹의 구동전극은 비액츄에이팅 영역(II)에 형성되어 있는 연결전극 구조체에 의하여 서로 전기적으로 연결된다. 보다 구체적으로, 제1 그룹 층(홀수 번째 폴리머 및 전극층)의 구동전극(121, 123, 125, 127)은 액츄에이팅 영역(I)의 왼쪽의 비액츄에이팅 영역(II)으로 연장 형성되어 제1 그룹 층의 연장전극(131, 133, 135, 137)과 접속되어 있으며, 제1 그룹 층의 연장전극(131, 133, 135, 137)은 제1 공통전극(common electrode, 141)에 의하여 서로 접속되어 있다. 그리고 제2 그룹 층(짝수 번째 폴리머 및 전극층)의 구동전극(122, 124, 126, 128)은 액츄에이팅 영역(I)의 오른쪽의 비액츄에이팅 영역(II)으로 연장 형성되어 제2 그룹 층의 연장전극(132, 134, 136, 138)과 접속되어 있으며, 제2 그룹 층의 연장전극(132, 134, 136, 138)은 제2 공통전극(142)에 의하여 서로 접속되어 있다.

[0030] 따라서 다층 EAP 액츄에이터(100)는 이러한 연결전극 구조체를 한 쌍으로 가질 수 있다. 연결전극 구조체는 좁은 의미로는 연장전극(131, 133, 135, 137, 또는 132, 134, 136, 138)과 공통전극(141, 142)과 같은 도전성 구성요소만을 가리킬 수 있다. 또는, 연결전극 구조체는 넓은 의미로는 이러한 도전성 구성요소 이외에 비액츄에이팅 영역(II)을 구성하는 그 주변의 구성요소(폴리머층, 비아 홀, 식각정지층(etch stopping layer) 등)를 모두 포함할 수 있다. 이하, 넓은 의미의 연결전극 구조체에 관하여 보다 구체적으로 설명한다.

[0031] 도 3에 도시된 비액츄에이팅 영역(II)을 참조하면, 연결전극 구조체는 각각 복수의 비액츄에이팅층들과 공통전극(141, 142)을 포함하며, 식각정지층(151, 152)을 더 포함할 수 있다. 왼쪽의 비액츄에이팅 영역(II)에서, 복수의 비액츄에이팅층들 각각은 폴리머층(111, 112+113, 114+115, 116+117, 또는 118)과 이 폴리머층의 일면에 형성되어 있는 연장전극(131, 133, 135, 또는 137)을 포함한다. 그리고 연장전극(131, 133, 135, 137)은 각각 제1 그룹 층의 구동전극(111, 113, 115, 117)과 접속되어 있다. 마찬가지로, 오른쪽의 비액츄에이팅 영역(II)에서, 복수의 비액츄에이팅층들 각각은 폴리머층(111+112, 113+114, 115+116, 또는 117+118)과 이 폴리머층의 일면에 형성되어 있는 연장전극(132, 134, 136, 또는 138)을 포함한다. 그리고 연장전극(132, 134, 136, 138)은 각각 제2 그룹 층의 구동전극(112, 114, 116, 118)과 접속되어 있다(이하, 왼쪽의 비액츄에이팅 영역(II)을 기준으로 설명하며, 후술하는 내용은 오른쪽의 비액츄에이팅 영역(II)에도 동일하게 적용될 수 있다는 것은 당업자에게 자명하다).

[0032] 연장전극(131~138)은 도전성 물질로 형성되며, 그 재질에 특별한 제한은 없다. 다만, 연장전극(131~138)은 레이저에 대하여 폴리머보다는 반응성이 낮은 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 연장전극(131~138)은 금, 구리, 티타늄, 크롬, 몰리브덴, 알루미늄 등으로 형성될 수 있다. 알루미늄과 구리의 합금은 레이저에 대하여 반응성이 크기 때문에, 연장전극(131~138)용 물질로는 적절하지 않다. 이와 같이, 연장전극(131~138)을 금속 물질 등으로 형성하면, 단 한번의 레이저를 적층된 비액츄에이팅층에 투사하여 후술하는 바와 같이 그 폭이 단계적으로 증가하는 구조의 비아 홀(H<sub>1</sub>)을 적층된 비액츄에이팅층에 형성할 수가 있다. 연장전극(131~138)은 구동전극(121~128)보다는 두꺼운 두께, 예컨대 50~5000nm의 두께로 형성할 수 있다.

[0033] 복수의 비액츄에이팅층들 내부에는 비아 홀(H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>)이 형성되어 있다. 비아 홀(H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>)은 위쪽 비액츄에이팅층으로 갈수록 그 폭이 증가하되, 층별로 단계적으로 증가하는 구조를 갖는다. 그 결과, 비액츄에이팅층, 즉 폴리머층(111, 112+113, 114+115, 116+117, 118)과 그 상면에 형성되어 있는 연장전극(131, 133, 135, 137)의 폭

은 상층으로 갈수록 작아진다. 마찬가지로, 폴리머층(111+112, 113+114, 115+116, 117+118)과 그 상면에 형성되어 있는 연장전극(132, 134, 136, 138)의 폭도 상층으로 갈수록 작아진다. 이러한 비아 홀(H<sub>1</sub>)의 구조는 연장전극(131, 133, 135, 137)의 상면 일부가 비아 홀(H<sub>1</sub>)에 의하여 외부로 노출되도록 한다. 즉, 연장전극(131, 133, 135, 137)은 그 일부는 상면에 형성되는 폴리머층에 의하여 가려지지만, 나머지 일부는 그 상면에 폴리머층이 형성되어 있지 않아서 비아 홀(H<sub>1</sub>)에 의하여 외부로 노출된다.

[0034] 그리고 비아 홀(H<sub>1</sub>)에는 공통전극(141)이 형성되어 있다(마찬가지로, 비아(H<sub>2</sub>)에는 공통전극(142)이 형성되어 있다). 공통전극(141)은 도시된 것과 같이 비아 홀(H<sub>1</sub>)의 프로파일을 따라서 균일한 두께로 형성되거나 또는 그 두께가 위치에 따라서 달라질 수도 있다. 또는, 공통전극은 비아 홀(H<sub>1</sub>) 전체를 거의 채울 수도 있다. 어떠한 형태로 형성되든, 공통전극(141)은 적어도 층계 형상의 프로파일을 포함한다. 이러한 공통전극(141)은 연장전극(131, 133, 135, 137)의 상면과 접촉되며, 적층되어 있는 복수의 연장전극들(131, 133, 135, 137) 및 이들 각각에 접촉되어 있는 복수의 구동전극들(121, 123, 125, 127)을 서로 전기적으로 연결시킨다.

[0035] 도 4는 도 3의 점선 원으로 표시되어 있는 부분을 확대한 부분 확대도이다. 도 4를 참조하면, 제2 및 제3 폴리머층(112+113)과 그 상면에 형성되어 있는 제3 연장전극(133)을 포함하는 제2 비액츄에이팅층의 폭은 제1 폴리머층(111)과 그 상면에 형성되어 있는 제1 연장전극(131)을 포함하는 제1 비액츄에이팅층의 폭보다 작다. 그 결과, 제1 연장전극의 일부의 상면(131a)에는 제2 비액츄에이팅층이 형성되어 있지 않다. 마찬가지로, 제3 연장전극의 일부의 상면(133a)에도 제3 비액츄에이팅층이 형성되어 있지 않다.

[0036] 이와 같이, 연장전극의 상면 일부(131a, 133a)가 노출되는 비액츄에이팅층들(또는 비액츄에이팅층들에서 그 폭이 단계적으로 증가하는 비아 홀(H<sub>1</sub>))의 구조는, 비아 홀(H<sub>1</sub>)에 형성되는 공통전극(141)이 층계 형상의 프로파일을 갖도록 한다. 이와 같이, 층계 형상의 프로파일을 포함하는 공통전극(141)은 비아 홀(H<sub>1</sub>)을 통해 외부로 노출된 측면은 물론 상면을 통해서도 연장전극(131, 133, 135, 137)과 접촉되기 때문에, 공통전극(141)과 접촉하는 연장전극(131, 133, 135, 137) 각각의 면적을 증가시킨다. 따라서 도 3에 도시된 연결전극 구조체의 구조는 공통전극(141)과 연장전극(131, 133, 135, 137)의 전기적 연결을 향상시킬 수가 있으며, 그 결과 적층되어 있는 연장전극들(131, 133, 135, 137) 및 구동전극들(121, 123, 125, 127)들 사이의 전기적 연결도 향상된다.

[0037] 도 5는 연결전극 구조체의 다른 예를 보여 주는 도면이다. 도 5를 참조하면, 연결전극 구조체는 복수의 비액츄에이팅층들과 공통전극(141')을 포함하며, 식각정지층(151')을 더 포함할 수 있다. 그리고 복수의 비액츄에이팅층들 각각은 폴리머층(111', 112'+113', 114'+115', 116'+117', 또는 118')과 이 폴리머층의 일면에 형성되어 있는 연장전극(131', 133', 135', 또는 137')을 포함한다. 그리고 연장전극(131', 133', 135', 137')은 각각 제1 그룹 층의 구동전극(111', 113', 115', 117')과 접촉되어 있다.

[0038] 내부에 비아 홀이 형성되어 있는 전술한 연결전극 구조체와는 달리, 도 5의 연결전극 구조체에서는 비액츄에이팅층들의 일 측부가 층계 형상, 즉 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 감소하는 구조를 갖는다. 따라서 폴리머층(111', 112'+113', 114'+115', 116'+117', 118')과 그 상면에 형성되어 있는 연장전극(131', 133', 135', 137')의 폭은 상층으로 갈수록 좁아진다. 이러한 비액츄에이팅층들의 구조에서도 연장전극(131', 133', 135', 137')의 상면 일부가 노출될 수 있으며, 노출된 연장전극(131', 133', 135', 137')의 상면에는 공통전극(141')이 접촉하고 있다. 따라서 적층된 연장전극(131', 133', 135', 137')을 연결하는 공통전극(141')은 층계 형상의 프로파일을 가지며, 공통전극(141')과 연장전극(131', 133', 135', 137') 사이에는 보다 확실한 전기적인 접촉이 이루어질 수 있다.

[0039] 이상에서 상세히 설명한 바와 같이, 다층 EAP 액츄에이터의 연결전극 구조체는 연장전극의 상면 일부가 노출되며, 적층된 연장전극들을 전기적으로 연결하는 공통전극은 이 노출된 연장전극의 상면과 접촉하도록 층계 형상의 프로파일을 갖는다. 따라서 연결전극 구조체에서는 적층된 연장전극들, 그리고 이 연장전극들에 각각 접촉되어 있는 적층된 구동전극들 사이의 전기적 연결성이 향상된다. 그리고 다층 EAP 액츄에이터에서는 구동전극을 알루미늄과 구리의 합금으로 형성함으로써, 구동전극들 사이에 개재되는 폴리머층의 두께가 아주 얇아지더라도, 구동전극들 사이의 전기적 통전을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 일렉트로 마이그레이션 현상도 방지할 수 있다.

[0040] 이상에서 설명한 다층 EAP 액츄에이터는 크기가 작고 가벼울 뿐만 아니라 대변위 구동을 제공할 수가 있기 때문

에, 다양하게 응용될 수 있다. 예를 들어, 다층 EAP 액츄에이터는 모바일 기기용 고성능 카메라에 사용되는 초소형 이미지 센서 모듈(Image Sensor Module, ISM)의 자동초점(AF) 기능, 광학 이미지 안정화(Optical Image Stabilization, OIS) 기능, 가변초점 기능 등을 구현하기 위한 장치의 하나인 가변초점 액체렌즈(vari-focal fluidic lens)에 이용될 수 있다.

- [0041] 도 6a 및 도 6b는 각각 다층 EAP 액츄에이터가 이용될 수 있는 가변초점 액체렌즈의 구조의 일례를 보이는 부분절단 사시도와 분리 사시도이다. 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 가변초점 액체렌즈는 기관(10), 스페이서 프레임(20), 멤브레인(30), 다층 EAP 액츄에이터(100), 및 고정 프레임(50)을 포함한다.
- [0042] 기관(10)은 투명한 재질로 만들어지는데, 예를 들어 유리 기관이나 투명한 폴리머 기관일 수 있다. 스페이서 프레임(20)은 광학 유체가 채워질 수 있는 소정의 내부 공간을 한정하는데, 실리콘(Si) 등과 같은 불투명한 재질로 형성될 수 있다. 이 내부 공간은 상측부(upper portion)와 하측부(lower portion)으로 구분될 수 있는데, 상측부(upper portion)는 중앙의 렌즈부와 복수의 구동부로 나누어지고, 하측부(lower portion)는 서로 관통되어 있을 수 있다. 서로 관통된 내부 공간은 광학 유체가 자유롭게 유동할 수 있도록 하기 위한 것이다.
- [0043] 멤브레인(30)은 적어도 렌즈부를 덮으며, 이 부분은 렌즈면이 된다. 그리고 멤브레인(30)은 구동부도 덮을 수 있는데, 실시예에 따라서는 구동부의 상측에는 멤브레인이 존재하지 않을 수도 있다. 렌즈부는 광학 유체가 채워져서 입사광이 통과하는 렌즈로서의 기능을 수행하는 부분이다. 그리고 구동부는 렌즈부를 덮고 있는 멤브레인(30)의 부분(렌즈면)의 프로파일을 변경시킬 수 있는 구동력을 전달하는 부분이다. 도면에서는 구동부가 렌즈부의 외측에 4개의 영역으로 구성되어 있지만, 이것은 단지 예시적인 것이다.
- [0044] 멤브레인(30)의 상측에 배치되는 다층 EAP 액츄에이터(100), 보다 구체적으로는 다층 EAP 액츄에이터(100)의 액츄에이팅 영역은 적어도 구동부를 커버한다. 구동전압이 가해지면, 다층 EAP 액츄에이터(100)는 아래쪽으로 변위를 일으키며 구동부에 소정의 압력을 가한다. 그리고 구동부의 상측으로부터 소정의 압력이 가해지면, 구동부에 있는 광학 유체는 렌즈부쪽으로 이동하게 된다. 그리고, 이동한 광학 유체에 의하여 렌즈부의 광학 유체의 양이 증가하면, 렌즈부는 위로 볼록하게 튀어나오는 형상으로 변형된다.
- [0045] 다층 EAP 액츄에이터(100) 상에는 고정 프레임(40)이 배치되어서, 멤브레인(30) 및/또는 다층 EAP 액츄에이터(100)를 스페이서 프레임(20)에 단단하게 고정시킨다. 고정 프레임(40)은 적어도 렌즈부를 노출시키는 평면 형상을 가지며, 다층 EAP 액츄에이터(100)도 노출시키는 형상이 될 수도 있다. 고정 프레임(40)은 실리콘 등으로 형성될 수 있다.
- [0046] 다음으로 도 7a 내지 도 7j를 참조하여 도 3에 도시되어 있는 다층 EAP 액츄에이터(100)의 제조방법에 대하여 설명한다. 다층 EAP 액츄에이터(100)의 제조방법은 크게 일면에 전극(구동전극과 연장전극)이 형성된 두 가지의 폴리머층(도 2a 및 도 2b 참조)을 교번하여 적층하는 과정과 적층된 폴리머층의 비액츄에이팅 영역(II)에 연결전극 구조체를 형성하는 과정을 포함한다.
- [0047] 먼저 도 7a를 참조하면, 기관(S) 상에 식각정지층(151, 152)을 형성한다. 식각정지층(151, 152)은 후술하는 비아 홀의 형성 과정(도 7i 참조)에서 기관(S)까지 식각이 진행되는 것을 방지한다. 따라서 식각정지층(151, 152)은 비액츄에이팅 영역(II)으로 예정된 위치에 형성된다. 그리고 비아 홀의 형성 과정에서 레이저 빔을 이용하는 경우라면, 식각정지층(151, 152)은 레이저 빔에 대하여 내성이 큰 물질로 형성할 수 있다.
- [0048] 도 7b를 참조하면, 식각정지층(151, 152)이 형성된 기관(S) 상에 제1 폴리머층(111)을 형성한다. 제1 폴리머층(111)을 형성하는 방법에는 특별한 제한이 없으며, 통상적인 폴리머 코팅 방법이 적용될 수 있다. 제1 폴리머층(111)은 식각정지층(151, 152)을 완전히 덮거나 또는 식각정지층(151, 152)을 노출시킬 수도 있다. 제1 폴리머층(111)은 예컨대 50 $\mu$ m 이하의 얇은 두께로 형성될 수 있다.
- [0049] 그리고 도 7c를 참조하면, 제1 폴리머층(111)의 상면에 제1 구동전극(121)을 형성한다. 제1 구동전극(121)은 액츄에이팅 영역(I)을 커버할 뿐만 아니라 그 일부가 왼쪽의 비액츄에이팅 영역(II)으로 연장된다. 제1 구동전극(121)은 금(Au), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 알루미늄과 구리의 합금 등과 같은 금속 물질이나 도전성 폴리머 등으로 형성될 수 있다. 금속 물질로 제1 구동전극(121)을 형성할 경우에, 스퍼터링(sputtering)법이나 물리기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD)법 등과 같은 통상적인 금속막의 증착 공정이 이용될 수 있다. 만일, 제1 폴리머층(111)의 두께가 50 $\mu$ m 이하인 경우에, 제1 구동전극(121)은 알루미늄과 구리의 합금으로 형성할 수 있다.

- [0050] 그리고 도 7d를 참조하면, 왼쪽의 비엑츠헤이팅 영역(II)에 제1 연장전극(131)을 형성한다. 제1 연장전극(131)은 제1 폴리머층(111)의 상면에 형성되어, 그 일부가 제1 구동전극(121), 보다 구체적으로 비엑츠헤이팅 영역(II)으로 연장된 제1 구동전극(121)의 부분과 접촉한다. 제1 연장전극(131)은 저항이 낮을 뿐만 아니라 폴리머에 비하여 레이저 빔에 대한 반응성이 낮은 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 제1 연장전극(131)은 금, 구리, 티타늄, 크롬, 몰리브덴, 알루미늄 등과 같은 금속 물질로 약 50~5000nm의 두께로 형성될 수 있다. 제1 연장전극(131)은 제1 구동전극(121)과 동일한 방법으로 형성할 수 있다.
- [0051] 그리고 도 7e를 참조하면, 상면에 제1 구동전극(121)과 제1 연장전극(131)이 형성되어 있는 제1 폴리머층(111)의 전면 상에 제2 폴리머층(112)을 형성한다. 제2 폴리머층(112)의 형성방법이나 두께, 재질 등은 제1 폴리머층(111)과 동일할 수 있으므로, 이에 대한 구체적인 설명은 생략한다. 계속해서 도 7f를 참조하면, 제2 폴리머층(112)의 상면에 제2 구동전극(122)을 형성한다. 제2 구동전극(122)은 엑츠헤이팅 영역(I)을 커버할 뿐만 아니라 그 일부는 오른쪽의 비엑츠헤이팅 영역(II)으로 연장된다. 제2 구동전극(122)의 형성방법이나 재질, 두께 등은 제1 구동전극(121)과 동일할 수 있으므로, 이하 이에 대한 부연 설명은 생략한다. 그리고 도 7g를 참조하면, 오른쪽의 비엑츠헤이팅 영역(II)에 제2 연장전극(132)을 형성한다. 연장전극(132)은 제2 폴리머층(112)의 상면에 형성되어, 그 일부가 제2 구동전극(122), 보다 구체적으로 비엑츠헤이팅 영역(II)으로 연장된 제2 구동전극(122)의 부분과 접촉한다. 제2 연장전극(132)의 형성방법이나 재질, 두께 등도 제1 연장전극(131)과 동일할 수 있으므로, 이하 이에 대한 부연 설명은 생략한다.
- [0052] 도 7b 내지 도 7g를 참조하여 위에서 설명한 폴리머층의 형성 공정, 구동전극의 형성 공정, 및 연장전극의 형성 공정을 소정의 횟수(본 실시예의 경우에 총 4회)만큼 반복하여 수행하면, 도 7h에 도시되어 있는 것과 같은 폴리머층(그 일면에 구동전극과 연장전극이 형성되어 있는 폴리머층)들의 적층 구조물이 만들어진다.
- [0053] 다음으로 도 7i를 참조하면, 적층 구조물의 비엑츠헤이팅 영역(II), 보다 정확하게는 비엑츠헤이팅층의 연장전극(131~138)의 중심부 위치에서 연장전극(131~138)과 폴리머층(111~118)을 식각하여 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )을 형성한다. 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )은 연장전극(131~138)의 상면 일부가 노출될 수 있도록 위쪽으로 갈수록 폭이 단계적으로 증가하는 층계 형상을 갖는다. 실시예에 따라서는, 도 5에 도시되어 있는 것과 같은 층계형 구조가 만들어질 수 있도록, 연장전극(131~138)의 바깥쪽 가장자리에서 연장전극(131~138)과 폴리머층(111~118)을 식각할 수도 있다.
- [0054] 연장전극(131~138)을 형성하는 금속 물질과 폴리머층(111~118)을 형성하는 강유전성 폴리머나 유전성 탄성체 등과 같은 폴리머 사이에는 물성(예컨대, 탄성 계수, 열팽창 계수 등)의 차이가 존재한다. 만일, 도 7h에 도시되어 있는 적층 구조물에서 비엑츠헤이팅 영역(II)에 비아 홀을 형성하기 위하여 폴리머층(111~118)과 연장전극(131~138)을 기계적인 방법으로 절단하면, 절단면에서 폴리머층(111~118)이 늘어나면서 연장전극(131~138)의 절단면을 감싸는 문제가 발생할 수 있다. 이것은 절단 과정에서 발생하는 열이나 폴리머의 고유한 물성으로 인한 것이다. 연장전극의 절단면이 외부로 노출되지 않으면, 적층된 연장전극(131~138)들을 서로 연결시키는 것이 어렵게 된다. 뿐만 아니라, 건식 식각이나 습식 식각 등과 같은 기존의 식각 기술은 폴리머층(111~118)을 손상시킬 수가 있을 뿐만 아니라 층간 박리 현상(delamination)을 일으켜서 비아 홀의 형성 공정에 적용하기 어렵다.
- [0055] 위쪽으로 갈수록 그 폭이 단계적으로 증가하는 형상의 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )을 형성하기 위하여, 본 실시예에서는 폴리머에 대한 반응성은 크기만 연장전극(131~138)을 형성하는 금속 물질에 대한 반응성이 낮은 레이저를 이용하여 폴리머층(111~118)과 연장전극(131~138)을 식각한다. 레이저는 예컨대, 이산화탄소( $CO_2$ ) 레이저나 녹색 레이저(green laser)일 수 있는데, 여기에만 한정되는 것은 아니다.
- [0056] 보다 구체적으로, 소정의 에너지를 갖는 이산화탄소 레이저 등과 같은 레이저를 상부로부터 적층 구조물의 왼쪽의 비엑츠헤이팅 영역(II)에 조사한다고 하자. 레이저가 조사되면, 레이저에 대하여 반응성이 높은 폴리머로 이루어진 제8 폴리머층(118)은 상대적으로 많은 양이 제거되며, 이 과정에서 에너지 소모도 거의 없다. 그리고 제8 폴리머층(118)을 통과한 레이저는 제7 연장전극(137)에 닿게 되는데, 반응성이 상대적으로 낮은 금속 물질로 이루어진 제7 연장전극(137)을 식각하기 위하여 레이저는 상대적으로 많은 에너지가 소모된다. 그 결과, 레이저에 의하여 제거되는 제7 연장전극(137)은 제8 폴리머층(118)에 비하여 적으며(단면으로 볼 경우에 그 폭이 좁다), 그 하부로도 감소된 파워를 갖는 레이저가 조사된다. 다만, 제6 및 제7 폴리머층(116+117)을 식각하는 과정에서는 에너지의 소모가 거의 없기 때문에, 식각되는 제6 및 제7 폴리머층(116+117)의 폭은 제8 연장전극(138)의 그것과 거의 동일하다.

[0057] 이러한 방식으로, 적층 구조물의 상측으로부터 조사된 레이저는 연장전극(131, 133, 135, 137)을 식각하기 위하여 상당한 양의 에너지가 소모되기 때문에, 아래층 쪽으로 갈수록 폴리머층과 연장전극에 가해지는 레이저의 파워는 단계적으로 또는 불연속적으로 줄어든다. 그 결과, 적층 구조물의 비엑츠페이팅 영역(II)에는 도식된 것과 같은 층계 형상의 프로파일을 갖는 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )이 형성된다. 그리고 이 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )을 통하여 잔류하는 연장전극(131~138)의 상면 일부가 노출된다.

[0058] 다음으로 도 7j를 참조하면, 비엑츠페이팅 영역(II)의 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )에 공통전극(141, 142)을 형성한다. 공통전극(141, 142)은 금속 등과 같은 도전성 물질로 형성되며, 그 형성 방법에 특별한 제한은 없다. 공통전극(141, 142)은 예컨대 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )의 프로파일을 따라서 소정의 두께(예컨대, 1000nm 이상의 두께)로 형성할 수 있다. 또는, 공통전극(141, 142)은 비아 홀( $H_1$ ,  $H_2$ )의 거의 채우도록 두껍게 형성할 수도 있다. 이러한 공통전극(141, 142)의 노출된 연장전극(131~138)의 상면과 접촉을 하므로, 적어도 층계 형상의 프로파일을 포함한다.

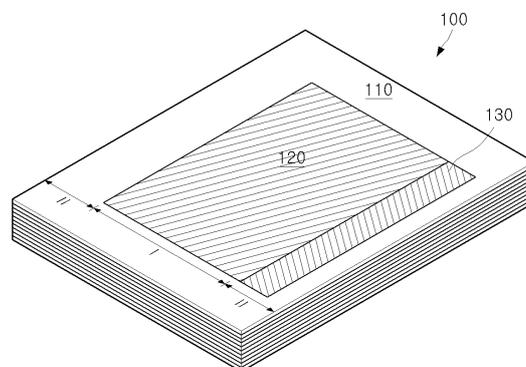
[0059] 이상의 설명은 본 발명의 실시예에 불과할 뿐, 이 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상이 한정되는 것으로 해석되어서는 안된다. 본 발명의 기술 사상은 특허청구범위에 기재된 발명에 의해서만 특정되어야 한다. 따라서 본 발명의 기술 사상을 벗어나지 않는 범위에서 전술한 실시예는 다양한 형태로 변형되어 구현될 수 있다는 것은 당업자에게 자명하다.

**도면의 간단한 설명**

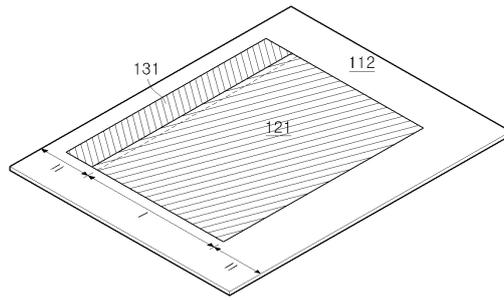
- [0060] 도 1은 일 실시예에 따른 다층 전기활성 폴리머 액츠페이터의 개략적인 구조를 보여 주는 도면이다.
- [0061] 도 2a 및 도 2b는 도 1의 다층 EAP 액츠페이터를 구성하는 한 쌍의 폴리머 및 전극층의 구성의 일례를 개략적으로 보여 주는 도면이다.
- [0062] 도 3은 도 1의 XX' 라인을 따라 절취한 다층 EAP 액츠페이터의 단면도의 일례이다.
- [0063] 도 4는 도 3의 점선 원으로 표시되어 있는 부분을 확대한 부분 확대도이다.
- [0064] 도 5는 연결전극 구조체의 다른 예를 보여 주는 도면이다.
- [0065] 도 6a 및 도 6b는 각각 다층 EAP 액츠페이터가 이용될 수 있는 가변초점 액체렌즈의 구조의 일례를 보이는 부분 절단 사시도와 분리 사시도이다.
- [0066] 도 7a 내지 도 7j는 공정 순서에 따라서 다층 EAP 액츠페이터의 제조방법을 도시한 단면도들이다.

**도면**

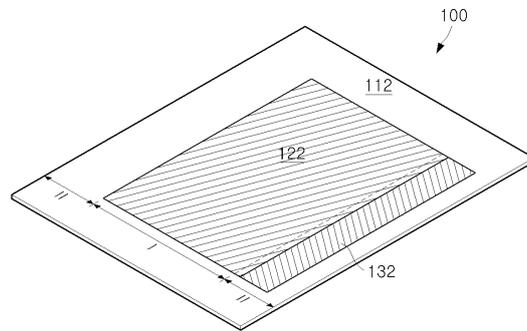
**도면1**



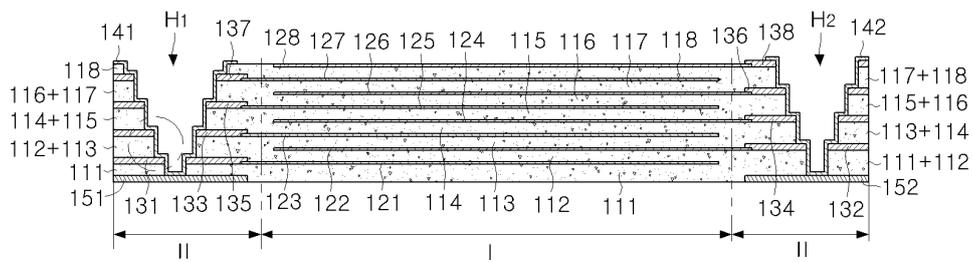
도면2a



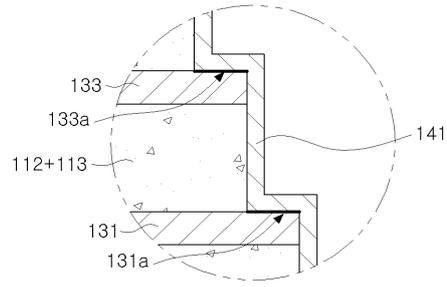
도면2b



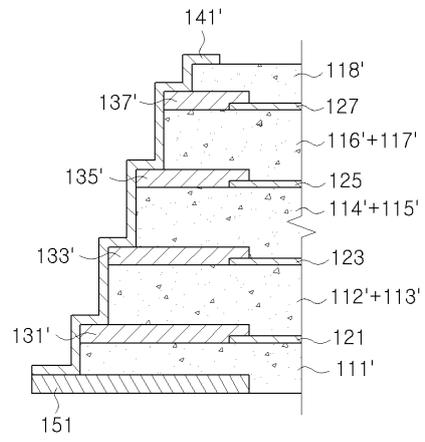
도면3



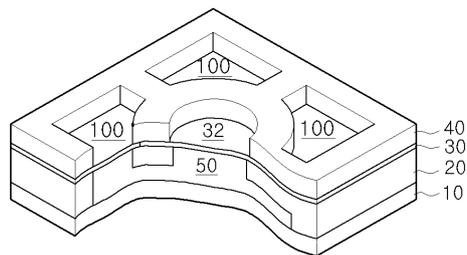
도면4



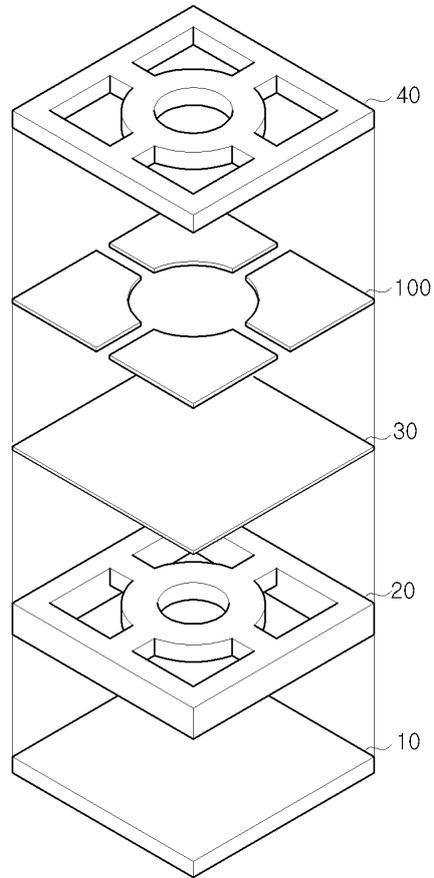
도면5



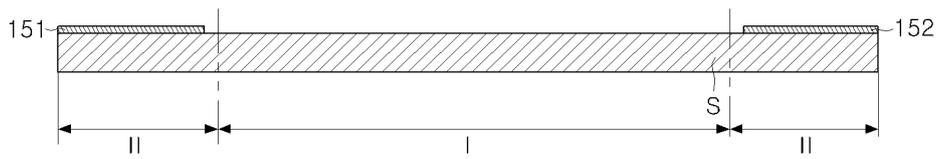
도면6a



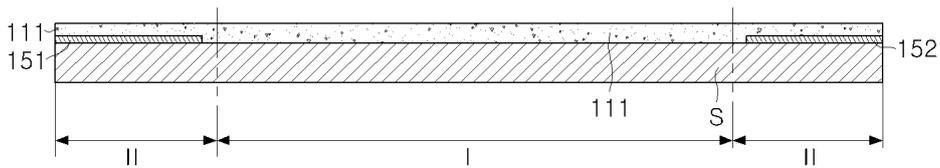
도면6b



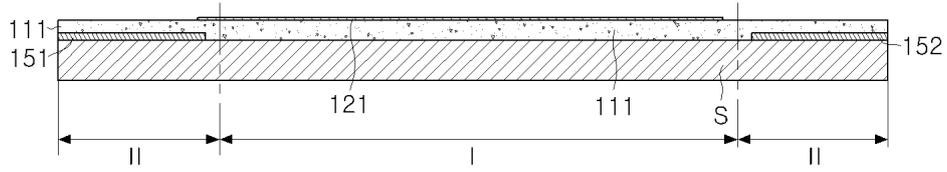
도면7a



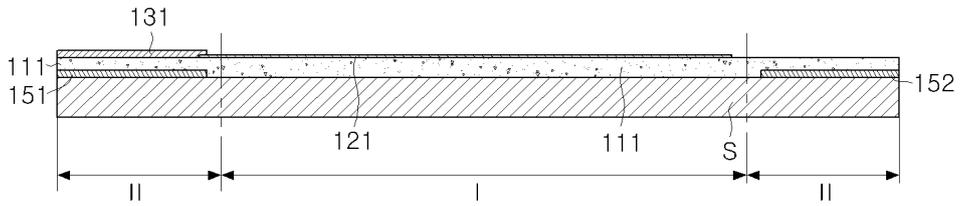
도면7b



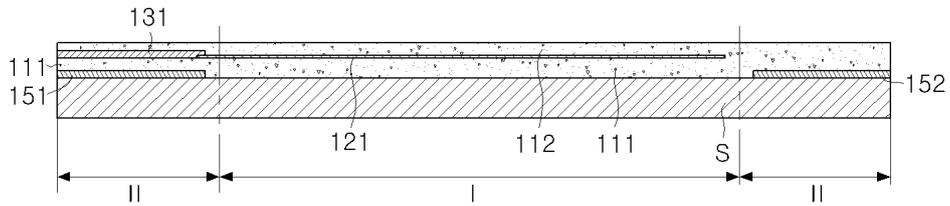
도면7c



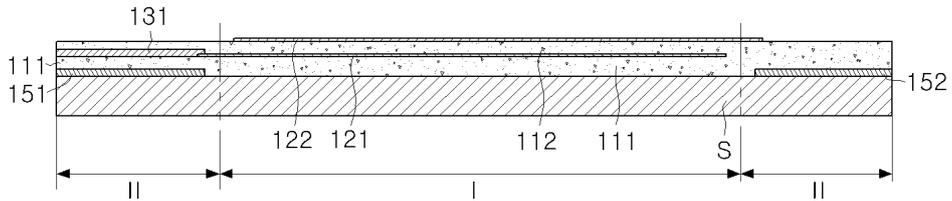
도면7d



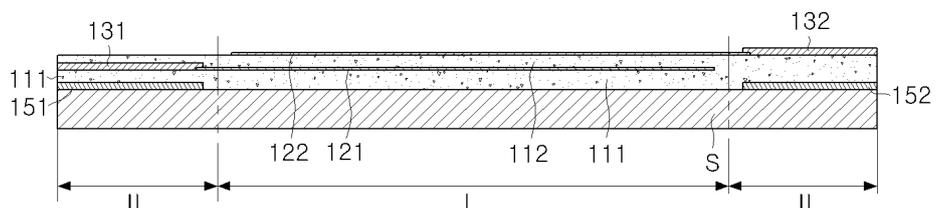
도면7e



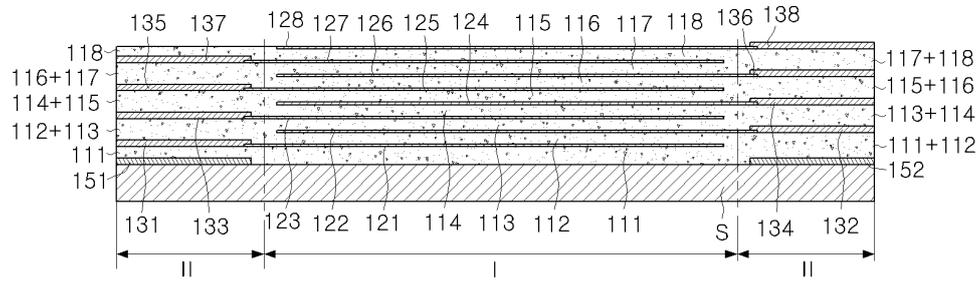
도면7f



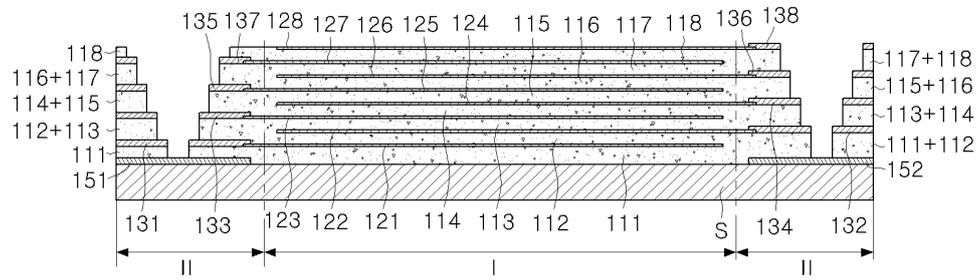
도면7g



도면7a



도면7i



도면7j

