

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2011-0019613 (43) 공개일자 2011년02월28일
(51) Int. Cl. <i>G02B 3/12</i> (2006.01) <i>G02B 26/00</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2009-0077227 (22) 출원일자 2009년08월20일 심사청구일자 2009년08월20일	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가 1 (72) 발명자 박정호 서울시 강남구 대치3동 우성2차아파트 205동 901호 장중현 서울특별시 동대문구 용두2동 187-63번지 501호 (74) 대리인 송경근, 박보경	

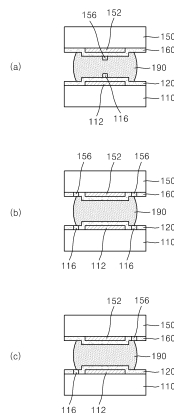
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 전기습윤 효율 개선을 위한 전기습윤 장치

(57) 요약

전기습윤 효율 개선을 위한 전기습윤 장치를 제공한다. 본 발명에 따른 전기습윤 장치는 대향하는 제1 기판과 제2 기판 사이에 액적을 배치시켜 이동시키는 전기습윤 장치에 있어서, 상기 제1 기판과 제2 기판은 상기 액적과 접촉하는 면에 액적 구동을 위한 전극 어레이와, 상기 전극 어레이를 덮는 유전체층을 포함하고, 상기 제1 기판과 제2 기판 중 적어도 어느 하나는 상기 액적과 접촉하는 면에 상기 액적의 접지(ground)를 위한 기준 전극(reference electrode)을 더 포함한다. 본 발명에 따르면, 기존의 접지식 구성 방식에 비해 전기습윤 구동력을 배가시킬 수 있어 액적을 효과적으로 조작하는 데 필요한 전압을 감소시킬 수 있다.

대표도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090075886

부처명 한국학술진흥재단

연구관리전문기관

연구사업명 (이공)일반연구자지원-기본연구

연구과제명 디지털 마이크로펌프의 개발 및 랩온어칩 응용

기여율

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2009년 05월 01일 ~ 2010년 04월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

대향하는 제1 기관과 제2 기관 사이에 액적을 배치시켜 이동시키는 전기습윤 장치에 있어서,

상기 제1 기관과 제2 기관은 상기 액적과 접촉하는 면에 액적 구동을 위한 전극 어레이와, 상기 전극 어레이를 덮는 유전체층을 포함하고,

상기 제1 기관과 제2 기관 중 적어도 어느 하나는 상기 액적과 접촉하는 면에 상기 액적의 접지(ground)를 위한 기준 전극(reference electrode)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 기관과 제2 기관은 상기 전극 어레이, 유전체층 및 기준 전극을 모두 포함하며 대응되는 각각의 요소가 서로 동일한 쌍둥이 기관인 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 기준 전극은 상기 액적의 중앙에서 상기 액적에 접촉하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 기준 전극은 상기 액적의 가장자리 두 곳 중 적어도 어느 한 곳에서 상기 액적에 접촉하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 기준 전극은 상기 유전체층 상에 형성되는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 기준 전극은 상기 유전체층을 통해 노출되어 상기 액적에 접촉하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 전극 어레이는 상기 액적의 위와 아래에 놓이도록 형성되고 상기 기준 전극은 상기 전극 어레이 양 측면 중 적어도 어느 한 곳에 형성되는 것을 특징으로 하는 전기습윤 장치.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전기습윤(electrowetting) 기반의 기술에 의해 전해질 액적(droplet)을 조작하는 장치에 관한 것으로, 특히 전극과 액적 사이에 유전체(dielectric)를 적용하는, 이른바 EWOD(electrowetting on dielectric) 방식의 전기습윤 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전극 위에 전해질 액적을 놓고 전극-용액 계면에 전기에너지를 공급하면 계면장력(interfacial tension)의 변화에 의해 액적의 접촉각(contact angle)이 변하는데 이를 전기습윤이라 한다. 전극-전해질 계면의 전기이중층은 높은 전압을 견딜 수 없어 액적 구동을 위한 충분한 접촉각 변화를 기대할 수 없기 때문에, 이를 위하여 전극과 액적 사이에 유전체를 적용하는 EWOD가 제안되어 있다. 유전체 아래의 전극을 어레이로 구성하면 전압이 인가된 전극 위로 액적을 이동시킬 수 있어 LOC(lab on a chip)을 구현하기 위해 필요한 분배, 분리, 결합, 혼합 등 다양한 유체 작용이 가능하다.

[0003] 전기습윤은 전력소모가 적고 응답 속도가 빠른 장점으로 인해 LOC 뿐만 아니라 액체 렌즈(liquid lens), 디스플레이(display) 등의 다양한 분야에 응용되고 있다. 전기습윤 현상을 이용한 미세 유체공학 시스템은 기존의 연속적인 유체의 흐름을 이용하는 것과는 달리 유체를 액적 단위로 조작하므로 이를 디지털 미세 유체공학(digital micro fluidics, DMF)이라 부르기도 한다.

[0004] 유전체를 적용한 기존의 전기습윤 장치는 유전체에 의해 액적의 전기분해를 방지할 수 있는 장점은 있지만, 동시에 액적을 조작하기 위해 수십 V의 높은 전압을 필요로 하는 단점이 있다. 그리하여, EWOD를 이용한 액적 조작에서 구동 전압(V)을 감소시키기 위한 다양한 노력들이 진행되어 왔다. EWOD에서의 접촉각 변화($\theta_0 \rightarrow \theta_v$)는 립만-영(Lippmann-Young) 식에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\cos\theta_v - \cos\theta_0 = \frac{\epsilon}{2d\gamma_{LV}} V^2$$

[0005]

[0006] 이 식에 따라 기존의 연구자들은 EWOD 구동 전압을 낮추기 위한 방법으로 계면활성제를 사용하거나 액적을 둘러싼 유체(filler fluid)로 오일을 사용하여 계면장력(γ_{LV})을 낮추기도 하고, 고유전율(ϵ) 유전체를 얇은 두께(d)로 형성하는 방법을 사용해 왔다. 그러나 이러한 방법으로는 구동 전압을 낮추는 데 한계가 있어 새로운 구조의 전기습윤 장치가 요구되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 EWOD의 구조를 변경하여 구동 전압을 낮출 수 있는 전기습윤 장치를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0008] 상기의 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 전기습윤 장치는 대향하는 제1 기판과 제2 기판 사이에 액적을 배치시켜 이동시키는 전기습윤 장치에 있어서, 상기 제1 기판과 제2 기판은 상기 액적과 접촉하는 면에 액적 구동을 위한 전극 어레이와, 상기 전극 어레이를 덮는 유전체층을 포함하고, 상기 제1 기판과 제2 기판 중 적어도 어느 하나는 상기 액적과 접촉하는 면에 상기 액적의 접지(ground)를 위한 기준 전극(reference electrode)을 더 포함한다.

[0009] 바람직한 실시예에서, 상기 제1 기판과 제2 기판은 상기 전극 어레이, 유전체층 및 기준 전극을 모두 포함하며 대응되는 각각의 요소가 서로 동일한 쌍둥이 기판(twin-plate)이다.

[0010] 상기 기준 전극은 상기 액적의 중앙에서 상기 액적에 접촉하거나 상기 액적의 가장자리 두 곳 중 적어도 어느 한 곳에서 상기 액적에 접촉하도록 형성되어 있을 수 있다. 또한, 상기 기준 전극은 상기 유전체층 상에 형성되거나 상기 유전체층을 통해 노출되어 상기 액적에 접촉하도록 형성될 수 있다.

효과

[0011] 본 발명에 따르면, 전기습윤 장치를 구성하는 상판(top plate)과 하판(bottom plate)에 모두 액적 구동을 위한 전극 어레이와 유전체층이 형성되고, 상판과 하판 중 적어도 하나에 액적 접지를 위한 기준 전극이 형성된 구조이므로, 액적을 접지시키면서 상판과 하판에서 동시에 EWOD 구동력을 발생시킬 수 있게 된다. 따라서, 기존의 접지식 구성 방식에 비해 전기습윤 구동력을 배가시킬 수 있어 액적을 효과적으로 조작하는 데 필요한 전압을 감소시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들에 대해 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.
- [0013] 먼저 본 발명의 이해를 돕기 위하여 DMF를 위한 EWOD 장치의 구성을 살펴본다. DMF를 위한 EWOD 장치는 크게 두 기판 구성(dual-plate configuration)과 단일 기판 구성(single-plate configuration)으로 나누어 볼 수 있다.
- [0014] 먼저 두 기판 구성에서는 도 1의 (a)와 같이 하판(10)에는 액적(90) 구동을 위한 전극 어레이(12, 14)가 형성되고, 상판(50)은 액적(90)의 접지를 위한 기준 전극(56)이 형성되므로, 전극(12)을 활성화시킬 경우 하판(10)에서만 전기습윤에 의한 접촉각 변화가 일어난다. 즉, 도 1의 (a)에 도시한 바와 같이 상판(50)의 기준 전극(56)이 액적(90)과 접촉된 접지식 구성에서는 하판(10)의 유전체층(20)에서만 일어나는 전압 강하(voltage drop)에 의해 발생하는 구동력(F)으로 액적(90)이 이동하게 되는 것이다. 전기습윤에 의한 구동력은 유전체층(20)에 인가된 전압의 제곱에 비례한다($F \propto V^2$).
- [0015] 만약 도 1의 (b)에 도시한 것과 같이 상판(50)에도 전극 어레이(54, 56)를 형성하고 유전체층(60)을 적용하여 액적(90)과 기준 전극(56)이 격리된 비접지식으로 구성한다면 상판(50)과 하판(10) 모두에서 전기습윤 효과가 나타난다. 그러나, 상판(50)과 하판(10)의 각 유전체층(60, 20)에 인가되는 전압이 반감되어 구동력은 각각 F/4로 줄어들고, 전체 구동력은 F/2가 되어 효율이 반감된다.
- [0016] 단일 기판 구성에서는 상판 없이 하판만으로 액적을 이동시켜야 하는데, 도 2의 (a)는 액적(90)의 중앙 또는 액적(90)의 가장자리에 기준 전극(16)이 있는 접지식 구성을 보여주며, 도 2의 (b)는 액적(90)과 기준 전극(16)이 격리된 비접지식 구성을 보여준다.
- [0017] 앞에서 살펴 본 두 기판 구성과 마찬가지로 단일 기판 구성에 있어서도 접지식에 비해 비접지식이 전기습윤 효율을 감소시킨다. 도 2의 (b)에 도시한 비접지식 단일 기판 구성은 유전체층(20)에 인가되는 전압이 반감될 뿐만 아니라, 도 1의 (b)에 도시한 두 기판 구성의 비접지식과 달리 하판(10)에서만 전기습윤이 일어나므로 구동력은 F/4가 된다.
- [0018] 도 3을 참조하여 본 발명의 전기습윤 장치를 상세히 살펴보면, 전기습윤 장치(100)는 대향하는 제1 기판(110)과 제2 기판(150)을 포함하며 제1 기판(110)과 제2 기판(150) 사이에 액적(190)을 배치시켜 이동시키는 것이다. 제1 기판(110)과 제2 기판(150)은 PMMA(polymethylmethacrylate), PC(polycarbonate), COC(cycloolefin copolymer), PDMS(polydimethylsiloxane), PA(polyamide), PE(polyethylene), PP(polypropylene), PPE(polyphenylene ether), PS(polystyrene), POM(polyoxymethylene), PEEK(polyetheretherketone), PTFE(polytetrafluoroethylene), PVC(polyvinylchloride), PVDF(polyvinylidene fluoride), PBT(polybutyleneterephthalate), FEP(fluorinated ethylenepropylene), PFA(perfluoralkoxyalkane) 등을 포함한 다양한 폴리머, 또는 알루미늄, 구리, 철 등을 포함한 다양한 금속과 더불어 실리콘, 유리, PCB(Printed Circuit Board) 등의 단일 물질을 사용하거나 두 가지 이상의 조합으로 이루어진 하이브리드형으로 사용할 수 있다.
- [0019] 액적(190)은 서브 마이크로리터 사이즈일 수 있고, 다음에 설명하는 각 전극에의 전압을 제어함에 의해 자유롭게 이동될 수 있다. 액적(190)을 배치시키기 위해 제1 기판(110)과 제2 기판(150)은 그 사이에 적절한 간극을 가지면서 서로 접합되어 있을 수 있다. 접합은 액체형의 접착재료 뿐만 아니라 분말형이나 종이와 같은 얇은 판 형태의 접착재료도 사용될 수 있다. 또한, 클립형태의 부가구조물을 이용하여 강제적으로 체결할 수도 있다.
- [0020] 도시와 설명의 편의를 위하여 제1 기판(110)은 액적(190)의 하측에 있는 기판, 즉 하판, 제2 기판(150)은 액적(190)의 상측에 있는 기판, 즉 상판으로 도시하고 설명하지만 "상측"과 "하측"이라는 용어는 본 문맥에서 단지 이들 2 개의 기판(110, 150)을 구분하도록 사용되며, 수평면에 대하여 기판(110, 150)의 배향에 대한 제한으로서 사용되지는 않는다.
- [0021] 제1 기판(110)은 액적(190)과 접촉하는 면에 액적 구동을 위한 전극 어레이(112, 114)와 전극 어레이(112, 114)를 덮는 유전체층(120)을 포함하고, 제2 기판(150)도 액적(190)과 접촉하는 면에 액적 구동을 위한 전극 어레이

이(152, 154)와 전극 어레이(152, 154)를 덮는 유전체층(160)을 포함한다.

- [0022] 전극 어레이(112, 114, 152, 154)는 예컨대 크롬(Cr)과 같은 금속의 증착과 패터닝 또는 리프트 오프 등의 방법으로 형성되며 독립적으로 어드레스 가능한 전극들로서, 도면에서는 예를 들어 전극(112, 152)은 활성화된 전극이고, 전극(114, 154)은 비활성화된 전극을 나타낸다. 여기서는 예로써 직렬의 4개의 전극을 각 기관에 도시하였지만 원과 같은 비선형 경로를 따라서 전극들이 배치될 수도 있으며 여기에 도시한 전극은 통상 2 차원 전극 어레이 또는 그리드를 집합적으로 형성하는 다수의 전극의 일부임도 알 수 있을 것이다.
- [0023] 유전체층(120, 160)은 전극 어레이(112, 114, 152, 154)를 덮어서 전기적으로 절연시키도록 형성되어 있다. 유전체층(120, 160)은 단일층 또는 연속층일 수 있고, 변형예로서 전극 어레이(112, 114, 152, 154)가 존재하는 각 기관(110, 150) 상의 영역만을 덮도록 패터닝될 수 있다.
- [0024] 이 때 제1 기관(110)과 제2 기관(150) 중 적어도 어느 하나는 액적(190)과 접촉하는 면에 액적(190)의 접지를 위한 기준 전극을 더 포함한다. 기준 전극이 액적 전체를 접지시키기 때문에 상판과 하판 둘 중 하나에만 접지를 위한 전극이 형성되어도 좋다. 도 4의 (a) 내지 (c)는 도 3의 IV-IV' 단면에 해당하는 것으로, 제1 기관(110)에만 기준 전극(116)이 형성된 예를 도시한다.
- [0025] 먼저, 도 4의 (a)를 보면 기준 전극(116)은 유전체층(120) 상에 형성되어 있으며 액적(190)의 중앙에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다.
- [0026] 도 4의 (b)에 도시한 기준 전극(116)은 액적(190)의 가장자리 두 곳 모두에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다. 이 때의 기준 전극(116)은 유전체층(120)을 통해 노출되어 액적(190)과 바로 접촉할 수 있게 되어 있다. 전극 어레이(112, 152)는 액적(190)의 위와 아래에 놓이도록 형성되고 기준 전극(116)은 전극 어레이(112) 양 측면으로 형성된다.
- [0027] 한편 도 4의 (c)에서 기준 전극(116)은 액적(190)의 가장자리 두 곳 중 한 곳에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다. 이 때의 기준 전극(116)도 유전체층(120)을 통해 노출되어 액적(190)과 바로 접촉할 수 있게 되어 있다. 전극 어레이(112, 152)는 액적(190)의 위와 아래에 놓이도록 형성되고 기준 전극(116)은 전극 어레이(112) 양 측면 중 한 곳에 형성된다.
- [0028] 이상의 전기습윤 장치(100)에서, 대향하는 제1 기관(110)과 제2 기관(150)의 전극들 사이에서 전기장이 발생된다. 이 전기장은 액적(90)이 전압이 인가된, 다시 말해 활성화된 전극(112, 152)을 부분적으로 덮도록 하여 그 전극 방향으로 이동하게 하는 접촉각 변화를 만든다. 전극 어레이의 배열 및 전압 인가 시퀀스 등의 조절을 통해 액적(90)을 원하는 곳으로 이동하게 구성할 수 있으며 이러한 구성은 액적의 분배, 분리, 결합, 혼합, 검출, 분석 및 그 밖의 것들과 같은 액적 기반의 조작을 도구화하는 다양한 목적 및 용도로의 전기습윤 장치로 구현될 수 있다.
- [0029] 이상에서 설명한 전기습윤 장치(100)는 전기습윤 효율을 개선하기 위해 본 발명에서 제시하는 것으로, 하나의 기관 위에 액적 구동을 위한 전극 어레이와 액적의 접지를 위한 기준 전극이 동시에 형성될 수 있는 것으로, 액적을 접지시키면서 상판과 하판에서 동시에 EWOD에 의한 구동력을 발생시킨다. 이 구성은 접촉선의 길이를 배가시키면서 입력 전압이 상판과 하판의 각 유전체층에 그대로 인가되도록 한다. 따라서, 기존의 접지식 구성 방식에 비해 전기습윤 구동력은 2배가 되기 때문에, 같은 구동력을 얻는 데 다른 접지식 EWOD 구성에 비해 구동 전압을 $1/\sqrt{2}$ 배 감소시킬 수 있다.
- [0030] 도 1 및 도 2에서 설명한 구조와 도 3 및 도 4를 참조하여 설명한 본 발명 전기습윤 장치에 있어서 전압 강하, 유효 접촉선의 길이, 전기습윤 구동력, 구동 전압을 다음의 표 1에 정리하였다.

표 1

구성	도1(a)	도1(b)	도2(a)	도2(b)	본발명
전압강하	1	1/2	1	1/2	1
유효 접촉선의 길이	1	2	1	1	2
전기습윤 구동력	1	1/2	1	1/4	2
구동전압	1	$\sqrt{2}$	1	2	$1/\sqrt{2}$

[0031]

[0032]

한편, 제1 기관(110)과 제2 기관(150)을 동일한 프로세스에 의해 제작하면 도 5의 (a) 내지 (c)에 도시한 것과 같은 전기습윤 장치를 얻을 수 있으며, 본 발명자들은 이것을 "쌍둥이 기관 구성(twin-plate configuration)"이라고 명명하였다.

[0033]

도 5의 (a) 내지 (c)는 도 3의 IV-IV' 단면에 해당하는 것으로, 제1 기관(110)과 제2 기관(150)이 동일한 프로세스에 의해 제작되어 제1 기관(110)이 전극 어레이(112, 114), 유전체층(120) 및 기준 전극(116)을 포함하고, 제2 기관(150)도 전극 어레이(152, 154), 유전체층(160) 및 기준 전극(156)을 포함하며, 대응되는 각각의 요소가 서로 동일하므로 쌍둥이 기관이라고 할 수 있다.

[0034]

도 5의 (a)를 보면 기준 전극(116, 156)은 각각 유전체층(120, 160) 상에 형성되어 있으며 액적(190)의 중앙에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다.

[0035]

도 5의 (b)에 도시한 기준 전극(116, 156)은 액적(190)의 가장자리 두 곳 모두에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다. 이 때의 기준 전극(116, 156)은 각각 유전체층(120, 160)을 통해 노출되어 액적(190)과 바로 접촉할 수 있게 되어 있다. 전극 어레이(112, 152)는 액적(190)의 위와 아래에 놓이도록 형성되고 기준 전극(116, 156)은 각각 전극 어레이(112, 152) 양 측면으로 형성된다.

[0036]

도 5의 (c)에 도시한 기준 전극(116, 156)은 액적(190)의 가장자리 두 곳 중 한 곳에서 액적(190)에 접촉하도록 형성되어 있다. 이 때의 기준 전극(116, 156)도 각각 유전체층(120, 160)을 통해 노출되어 액적(190)과 바로 접촉할 수 있게 되어 있다. 전극 어레이(112, 152)는 액적(190)의 위와 아래에 놓이도록 형성되고 기준 전극(116, 156)은 각각 전극 어레이(112, 152) 양 측면 중 한 곳에 형성된다.

[0037]

이와 같이 쌍둥이 기관 구성으로 하면 전기습윤 장치의 상판과 하판을 동일한 프로세스에 의해 제작하여 쉽게 제조할 수 있게 된다.

[0038]

이상에서 본 발명의 바람직한 실시예들에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예들에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0039]

도 1은 두 기관 구성의 전기습윤 장치를 보여주기 위한 도면이다.

[0040]

도 2는 단일 기관 구성의 전기습윤 장치를 보여주기 위한 도면이다.

[0041]

도 3은 본 발명에 따른 전기습윤 장치의 측면도이다.

[0042]

도 4는 본 발명에 따른 다양한 전기습윤 장치의 단면도이다.

[0043]

도 5는 본 발명에 따른 전기습윤 장치에서 특히 쌍둥이 기관 구성을 취한 경우의 단면도이다.

[0044]

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

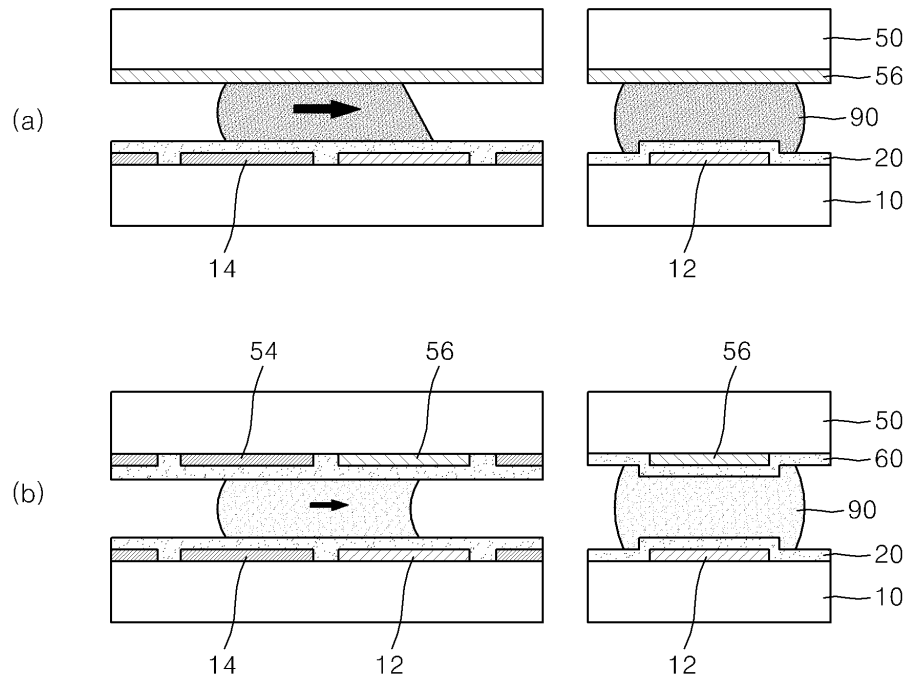
[0045]

110...제1 기관

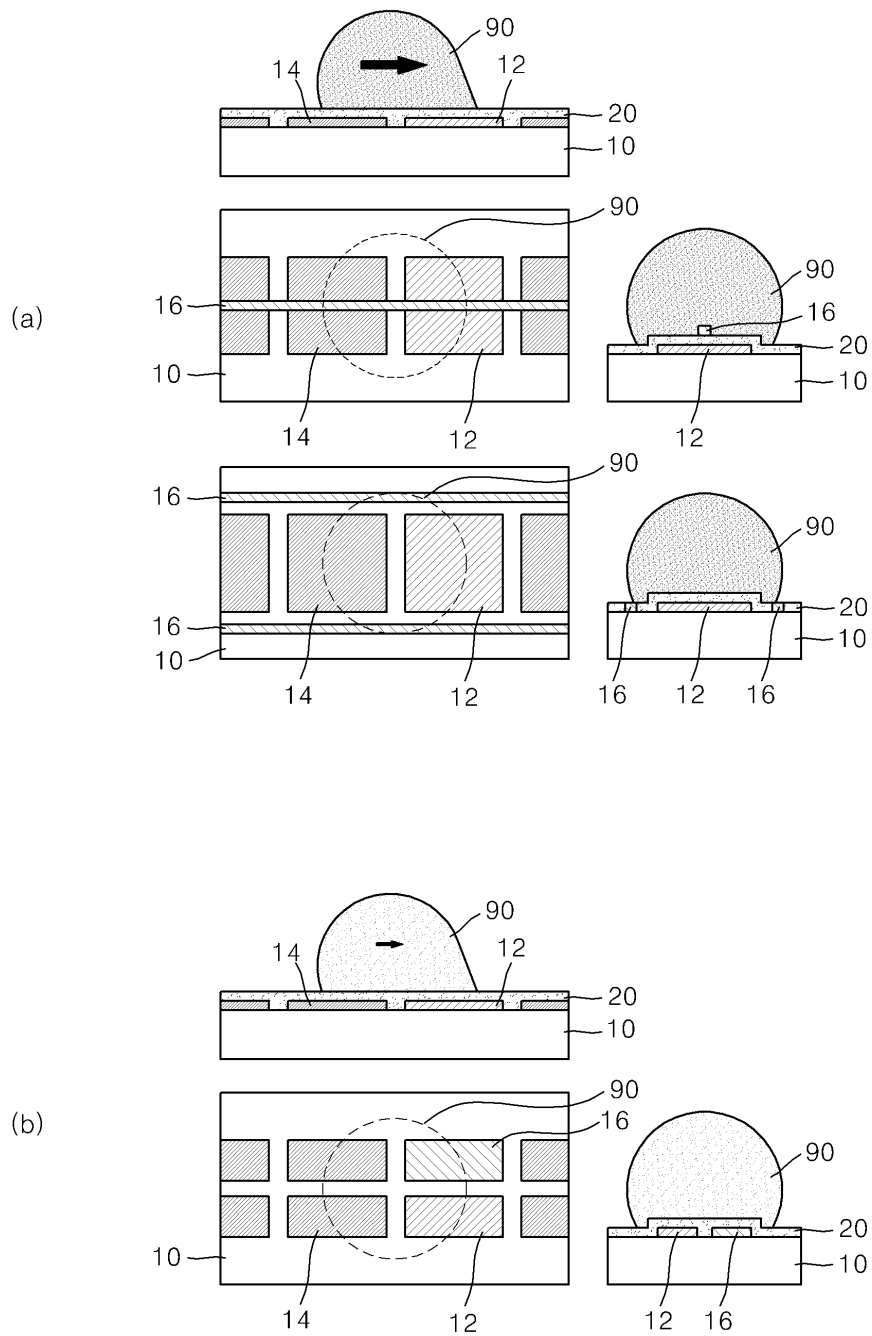
- [0046] 112, 114, 152, 154...전극 어레이
- [0047] 116, 156...기준 전극
- [0048] 120, 160...유전체층
- [0049] 150...제2 기판
- [0050] 190...액적

도면

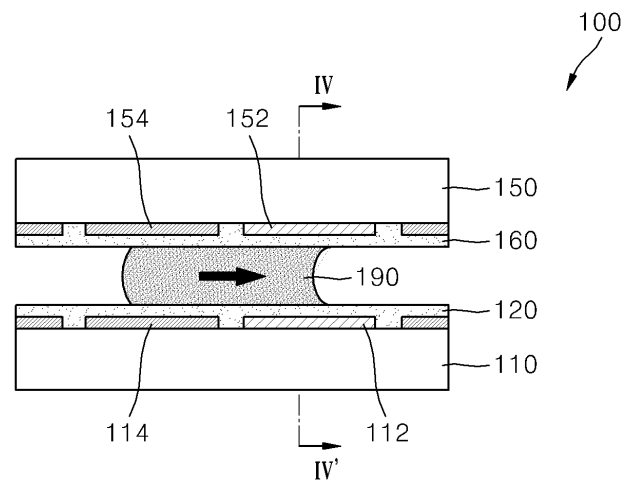
도면1



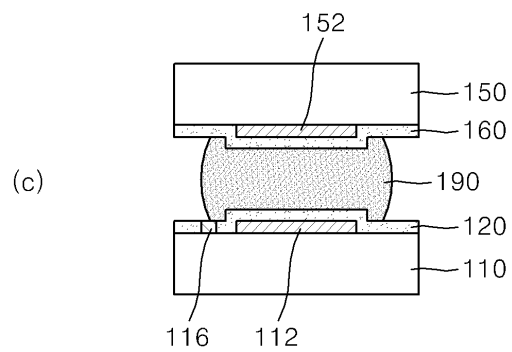
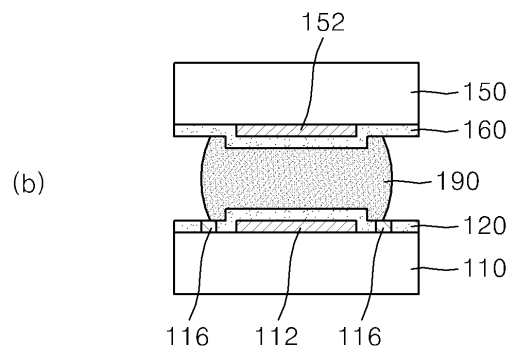
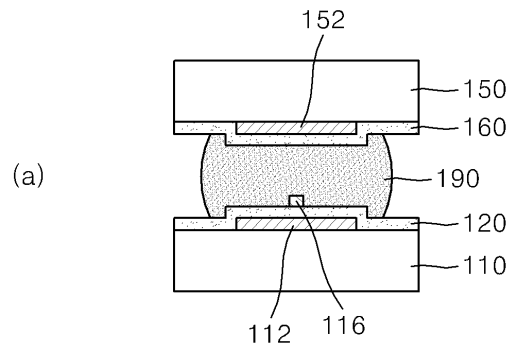
도면2



도면3



도면4



도면5

