



(52) CPC특허분류

*A61K 9/0051* (2013.01)

*A61K 9/009* (2013.01)

*A61M 2205/0244* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201746032.01

부처명 중소벤처기업부

연구관리전문기관 사단법인 한국산학연합회

연구사업명 산학협력 기술개발사업(도약협력)

연구과제명 초소형 마이크로 펌프가 내제된 On-Demand 약물방출 스마트 콘택트렌즈의 개발

기 여 율 1/1

주관기관 (주)네오비전

연구기간 2017.09.01 ~ 2018.08.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

약액 챔버, 상부 일측에 형성된 중간 배출구 및 상부 타측에 형성된 개방구를 포함하는 마이크로 바디;

상기 개방구를 덮는 제1 멤브레인;

상기 중간 배출구의 덮으며 상기 중간 배출구로부터 이격된 위치에 형성된 약액 배출구를 포함하는 제2 멤브레인; 및

상기 제1 멤브레인에 형성되는 마그네틱 구동부;를 포함하며,

상기 마그네틱 구동부가 자기장 내에서 일 방향으로 이동하면서 상기 제1 멤브레인이 상기 약액 챔버 내의 약액을 가압하고, 상기 약액 중 일부가 상기 중간 배출구를 통해 상기 제2 멤브레인 및 상기 마이크로 바디의 상면 사이로 이동하고, 상기 제2 멤브레인이 부분적으로 변형되면서 상기 약액 배출구를 통해 약액을 배출하는 초박형 약액 펌프.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 멤브레인 및 상기 제2 멤브레인은 동일 멤브레인으로 형성된 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 개방구에서의 멤브레인 변형과 상기 중간 배출구에서의 멤브레인 변형을 차단하기 위해 상기 개방구 및 상기 중간 배출구 사이의 상기 멤브레인 중 일부를 상기 마이크로 바디의 상면에 고정시킨 고정 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 마이크로 바디는 바닥을 형성하는 제1 레이어, 상기 제1 레이어 상에서 상기 약액 챔버를 위한 최외곽 측벽을 형성하는 제2 레이어, 상기 제2 레이어 상에 제공되며 상기 개방구 및 상기 중간 배출구를 제공하는 제3 레이어, 상기 제3 레이어 상에 상기 멤브레인이 제공되고, 그리고 상기 멤브레인 상에 제공되며 상기 고정 영역을 포함한 상기 개방구 및 상기 중간 배출구 주변을 덮는 제4 레이어를 포함하고,

상기 제3 및 제4 레이어에 의해서 상기 멤브레인이 상기 마이크로 바디에 고정되며, 상기 고정 영역에서 상기 멤브레인은 상기 제3 및 제4 레이어에 의해서 고정되어 상기 개방구 주변에서의 상기 멤브레인 일부의 변형이 상기 중간 배출구 주변의 상기 멤브레인으로 전달되지 않는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제3 레이어에서 상기 주변 배출구 주변으로 비접촉 영역을 형성하는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 비접촉 영역에 대응하여 상기 멤브레인과 접하는 상기 제3 레이어의 상면에 복수의 홈을 형성하는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

**청구항 7**

제5항에 있어서,

상기 비접촉 영역에 대응하여 상기 멤브레인의 저면 및 상기 제3 레이어의 상면을 마스크 처리하고, 산소 플라즈마에 노출시키는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 마그네틱 구동부는 상기 개방구의 직경의 중앙에 위치하며,

상기 개방구의 직경에 대한 상기 마그네틱 구동부의 직경은 0.42~0.60인 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 마이크로 바디는 오스테머를 이용하여 제공되고, 상기 멤브레인은 PDMS를 이용하여 제공되는 것으로 하는 초박형 약액 펌프.

**청구항 10**

제1항에 있어서,

상기 마그네틱 구동부는 PDMS와 자성 나노입자를 교반하여 제공되는 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

**청구항 11**

제1항에 있어서,

상기 마그네틱 구동부는 상기 제1 멤브레인의 저면에서 상기 약액 챔버를 향하도록 형성된 것을 특징으로 하는 초박형 약액 펌프.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 주기적으로 또는 외부 명령에 의해 생체 내에서 공급할 수 있는 약액 펌프에 관한 것으로서, 보다 자세하게는 콘택트 렌즈에도 설치가 가능할 정도로 초박형으로 제작이 가능한 약액 펌프에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 한국등록특허 제10-1839846호는 "외부 자기장으로 작동이 가능한 생체이식용 약액 펌프"를 포함하고 있다. 상기 생체이식용 약액 펌프는 노인성황반변성(AMD), 망막정맥폐색증(RVO), 당뇨병성 황반부종(DME), 안구후방 포도막염 등과 같은 망막변증을 치료하기 위한 것으로서, 유리체강 내로 직접 삽입되어 약액을 주기적으로 또는 외부 조작에 따라 공급하는 약액 펌프를 개시하고 있다.

[0003] 상기 한국등록특허에서 멤브레인, 마이크로 바디, 저항 판막 및 마그네틱 구동부가 상하로 적층되어, 렌즈와 같이 얇은 두께를 갖는 장비에 적용되기가 어렵다는 단점을 갖는다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 본 발명은 렌즈 등에 설치 또는 삽입될 수 있을 정도로 초박형의 약액 펌프를 제공한다.

[0005] 본 발명은 신체의 특정 위치에 이식 또는 머물러 있다가 필요시 나노복합-약물방출을 제거할 수 있는 초박형 약액 펌프를 제공한다.

[0006] 본 발명은 신체의 특정 위치에서 약물의 1회 방출에만 그치지 않고, 필요시 2회 이상 특정 위치에 머물면서 지

속적으로 약물을 방출할 수 있는 초박형 약액 펌프를 제공한다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] 상술한 본 발명의 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 예시적인 일 실시예에 따르면, 초박형 약액 펌프는 약액 챔버, 상부 일측에 형성된 중간 배출구 및 상부 타측에 형성된 개방구를 포함하는 마이크로 바디, 개방구를 덮는 제1 멤브레인, 중간 배출구의 덮으며 중간 배출구로부터 이격된 위치에 형성된 약액 배출구를 포함하는 제2 멤브레인, 및 약액 챔버를 향하도록 제1 멤브레인에 형성되는 마그네틱 구동부를 포함한다.
- [0008] 외부의 자기장에 의해서 마그네틱 구동부가 일 방향으로 이동하면서 제1 멤브레인이 약액 챔버 내의 약액을 가압하고, 약액 중 일부가 중간 배출구를 통해 제2 멤브레인 및 마이크로 바디의 상면 사이로 이동하고, 제2 멤브레인이 부분적으로 변형되면서 약액 배출구를 통해 약액을 배출할 수 있다.
- [0009] 개방구 및 중간 배출구가 마이크로 바디의 상면에 같이 형성되며, 약액 챔버 내에서의 약액이 수평하게 이동하여 중간 배출구 및 약액 배출구를 통해서 배출될 수 있다.
- [0010] 특히, 본 발명에서는 개방구 및 중간 배출구가 같은 면에 형성되기 때문에 제1 멤브레인 및 제2 멤브레인을 동일 멤브레인으로 형성할 수가 있다. 제1 멤브레인 및 제2 멤브레인을 독립적으로 형성할 수도 있지만, 하나의 멤브레인으로 동시에 형성을 하게 되면 구조를 간단하게 형성할 수 있고, 제조 과정도 용이하게 할 수 있다.
- [0011] 다만, 제1 멤브레인을 약액 챔버 쪽으로 이동시키는 것과 동시에 제2 멤브레인은 약액 챔버로부터 반대로 이동해야 하기 때문에, 같은 멤브레인으로 형성하게 되면 서로의 이동을 상쇄시켜 펌핑 작용이 원활하게 이루어지지 않을 수 있다. 이를 해결하기 위해서 본 실시예에서는 하나의 멤브레인을 이용하되, 개방구에서의 멤브레인 변형과 중간 배출구에서의 멤브레인 변형을 차단하기 위해 개방구 및 중간 배출구 사이의 멤브레인 중 일부를 마이크로 바디의 상면에 고정시킨 고정 영역을 형성할 수가 있다.
- [0012] 마이크로 바디는 오스테머(Ostemers 322 crystal clear)나 PDMS(폴리디메틸실록산) 등을 이용하여 형성할 수가 있다. 이를 위해서 다층의 레이어를 이용하여 마이크로 바디를 형성할 수 있는데, 구체적으로 마이크로 바디는 바닥을 형성하는 제1 레이어, 제1 레이어 상에서 약액 챔버를 위한 최외곽 측벽(중간 지지대 포함)을 형성하는 제2 레이어, 제2 레이어 상에 제공되며 개방구 및 중간 배출구를 제공하는 제3 레이어, 제3 레이어 상에 하나의 통합 멤브레인이 제공되고, 그 위로 고정 영역, 개방구 주변 및 중간 배출구 주변을 덮는 제4 레이어를 적층하여 제공될 수 있다.
- [0013] 제3 및 제4 레이어에 의해서 멤브레인이 마이크로 바디에 고정될 수 있으며, 고정 영역에서 멤브레인은 제3 및 제4 레이어에 의해서 고정되어 개방구 주변에서의 멤브레인 일부의 변형이 중간 배출구 주변의 멤브레인으로 전달되지 않도록 하며, 그 반대의 경우도 방지한다.
- [0014] 제3 레이어에서 주변 배출구 주변으로 비접착 영역을 형성할 수 있다. 비접착 영역은 주변 배출구의 주변과 멤브레인이 상호 교착되는 것을 방지할 수 있다. 이를 위해서 비접착 영역에 대응하여 멤브레인과 접하는 제3 레이어의 상면에 복수의 홈을 형성할 수 있으며, 멤브레인 및 제3 레이어를 오스테머나 PDMS로 형성하는 경우 비접착 영역에 대응하는 멤브레인의 저면 및 제3 레이어의 상면을 마스킹 처리하고, 산소 플라즈마에 노출시키는 것도 가능하다.
- [0015] 전체적으로 약 500 $\mu$ m의 두께 이하로 형성되어야 할 수도 있기 때문에, 전체적으로 유효한 치수를 찾는 것이 매우 중요하다. 약액 배출량은 자기장에 노출된 상태에서 멤브레인이 이동하면서 가압하는 부피에 의해서 결정될 수 있다. 이를 위해 마그네틱 구동부는 개방구의 직경의 중앙에 위치하는 것이 바람직하며, 개방구 및 마그네틱 구동부가 원형이라 가정할 때, 개방구의 직경에 대한 마그네틱 구동부의 직경은 약 0.42~0.60인 것이 가장 양호한 배출량을 확보할 수 있다.
- [0016] 마그네틱 구동부는 PDMS와 자성 나노입자를 교반하여 제공될 수 있으며, 마그네틱 구동부는 제1 멤브레인의 저면에서 약액 챔버를 향하도록 형성되어 외부로 노출되는 영역을 최소로 유지할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0017] 본 발명의 초박형 약액 펌프는 신체의 특정 위치에 이식되어 있다가 필요시 약액의 방출을 제어할 수 있으며, 신체에서 약액의 1회 방출에만 그치지 않고, 필요시 2회 이상 생체 내에 머물면서 지속적으로 약액을 방출할 수 있다.

[0018] 특히, 이러한 작용을 하는 것은 약 500 $\mu$ m 이하의 두께에서 구현할 수 있다는 점에서, 개방구 및 중간 배출구의 동일면 배치, 약액의 수평 이동 구조, 하나의 멤브레인을 사용, 고정 영역을 이용한 멤브레인 간의 간섭 억제 등을 통해 초박형의 두께를 형성할 수 있다.

[0019] 또한, 자기장의 세기나 자기장에 노출되는 시기를 조절해서 약액의 배출량과 시기를 결정할 수 있기 때문에, 과도한 약물 주입으로 주위 조직의 독성을 야기하는 것을 방지할 수 있고, 반대로 필요시에는 주입량을 증가시켜 높은 도즈(dose)의 약물을 전달할 수 있어서 치료효과를 극대화할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈에 설치 가능한 초박형 약액 펌프의 사용례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 단면을 도시한 도면이다.
- 도 3은 도 2의 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 평면을 도시한 도면이다.
- 도 4는 도 2의 초박형 약액 펌프의 분해된 구조를 도시한 도면이다.
- 도 5는 도 2의 초박형 약액 펌프의 작동 상태를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 약액이 토출되는 과정을 나열한 사진들이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 멤브레인과 제3 레이어를 본딩하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 개방구의 치수 및 마이크로 구동부의 치수에 따른 약액 챔버 내의 변동을 예상하기 위한 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 평면 사진을 도시한 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 측면 사진을 도시한 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 자기장 세기에 따른 토출량 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 단면을 도시한 도면이다.
- 도 13은 도 12의 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 평면을 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 참고로, 본 설명에서 동일한 번호는 실질적으로 동일한 요소를 지칭하며, 상기 규칙 하에서 다른 도면에 기재된 내용은 인용하여 설명할 수 있고, 당업자에게 자명하다고 판단되거나 반복되는 내용은 생략될 수 있다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈에 설치 가능한 초박형 약액 펌프의 사용례를 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 단면을 도시한 도면이고, 도 3은 도 2의 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 평면을 도시한 도면이며, 도 4는 도 2의 초박형 약액 펌프의 분해된 구조를 도시한 도면이고, 도 5는 도 2의 초박형 약액 펌프의 작동 상태를 설명하기 위한 도면이다.
- [0023] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 초박형 약액 펌프(100)는 콘택트 렌즈(10)와 같이 얇은 구조에 설치될 수 있다. 참고로, 본 실시예에서는 콘택트 렌즈를 예시하고 있지만, 얇은 두께를 이용하여 다른 구조물이나 신체의 조직이나 혈관 벽면 등에 고정되어 장착될 수가 있다.
- [0024] 콘택트 렌즈(10)에 장착되는 경우, 초박형 약액 펌프(100)가 설치된 콘택트 렌즈를 사용자가 착용하면 되고, 신체의 일부에 고정되는 경우에는 1회의 시술이나 수술이 필요할 수가 있다.
- [0025] 초박형 약액 펌프(100)의 재질에 따라 폴리에스터나 폴리우레탄과 같은 재질로 형성되어 생체 내에서 생분해될 수도 있지만, 경우에 따라서는 1~2년 이상과 같이 장기간 머물러야 하는 경우 생분해되지 않는 소재로도 형성될 수가 있고, 이 경우 약액 펌프(100)를 제거하기 위해서 별도의 수술이 추가될 수가 있다.
- [0026] 특히, 콘택트 렌즈 등에 삽입하기 위해서 얇고 단단한 약액 펌프를 제작해야 하는데, 이를 위해서 생체적합성

있는 몇 가지 재료(PDMS, PUA, Ostemers 등)를 비교할 수 있다. PUA는 UV로 경화되고 영 모듈계수(Youngs modulus)가 높지만(약 19.8 MPa), 인성(toughness)이 떨어져 잘 부서질 수 있다. 오스테머스 322 크리스탈 클리어(Ostemers 322 crystal clear)는 PDMS나 PUA보다 단단하고 경화시킬 때 UV 및 열을 두 차례 걸쳐서 원하는 모양을 편하게 낼 수 있는 장점이 있다. 오스테머의 영 모듈계수는 1차 경화되면 60 MPa 정도이며, 충분히 경화되면 1 GPa 정도이다.

- [0027] 참고로, 본 실시예에 따른 초박형 약액 펌프는 한국등록특허 제10-0647133호의 샌드위치공법에 따른 콘택트 렌즈에 적용될 수가 있다.
- [0028] 도 2를 참조하면, 초박형 약액 펌프(100)는 약액 챔버(112), 상부 일측에 형성된 중간 배출구(114) 및 상부 타측에 형성된 개방구(116)를 포함하는 마이크로 바디(110), 중간 배출구(114) 및 개방구(116)를 동시에 덮는 멤브레인(130), 및 멤브레인(130)에 형성되는 마그네틱 구동부(140)를 포함한다.
- [0029] 하나의 멤브레인(130)에 의해서 개방구(116) 및 중간 배출구(114)가 가려지며, 멤브레인(130)에는 중간 배출구(114)로부터 이격된 위치에 약액 배출구(134)가 형성될 수 있다. 멤브레인(130)은 비록 하나의 요소이지만, 본 실시예의 약액 펌프(100)에서 다양한 기능을 할 수 있다. 예를 들어, 약액 챔버(112)와 함께 약액 챔버(112)의 개방구(116)를 덮는 기능, 마그네틱 구동부(140)에 의해서 이동하여 약액 챔버(112) 내의 약액을 가압하는 기능, 마이크로 바디(110)의 상부 일측에 형성된 중간 배출구(114)를 차단하는 기능, 및 약액 챔버(112) 내에 소정의 압력 이상의 압력이 형성되면 부분적으로 변형되면서 약액 배출구(134)를 통해 약액을 배출하는 기능을 할 수 있다.
- [0030] 약액 펌프(100) 중 마이크로 바디(110)는 얇고 단단한 몸체 형성을 위해 오스테머(ostemers 322 crystal clear)를 이용하여 형성될 수 있으며, 멤브레인(130)은 상대적으로 유연한 특성이 필요하기 때문에 PDMS를 이용하여 형성되는 것이 바람직하다. 이 외에도 마이크로 바디나 멤브레인은 다른 특성의 PDMS, 하이드로겔 구조체, 실리콘 중합체 등을 이용하여 형성될 수 있다. 마이크로 바디나 멤브레인은 소프트 리소그래피(soft lithography) 공정 등을 통해서 형성될 수가 있다. 생체 내에서 무해하며 생체 내에서 유지되어야 하는 기간에 따라 생분해성 또는 비생분해성 재질을 이용하여 형성될 수가 있다.
- [0031] 마이크로 바디(110) 및 멤브레인(130)은 일시적으로 밀폐된 약액 챔버(112)를 형성할 수 있다. 약액 챔버(112) 내에는 투입구(123)를 통해서 약액(20)이 진입할 수 있으며, 약액 펌프(100)가 작동하는 동안 약액(20)을 저장할 수 있다. 상술한 바와 같이, 저장된 약액(20)은 마이크로 바디(110)의 일측에 형성된 중간 배출구(114)를 통해서 외부로 배출될 수 있다.
- [0032] 본 실시예에서 멤브레인(130)이 형성된 개방구(116)와 약액(20)이 통과하는 중간 배출구(114)는 서로 같은 방향에 형성되어 있다.
- [0033] 멤브레인(130)은 PDMS 등을 이용하여 형성될 수 있으며, 마이크로 바디(110)의 레이어(약 100 $\mu$ m)에 비해서 상대적으로 얇은 두께(약 25 $\mu$ m)로 형성될 수 있으며, 멤브레인(130)은 마이크로 바디(110)의 변형보다 먼저 변형됨으로써 마이크로 바디(110)의 형상 및 약액 챔버(112)의 형상을 유지할 수 있다.
- [0034] 본 실시예에서, 마이크로 바디(110)는 다층의 오스테머 레이어를 이용하여 형성될 수 있다. 구체적으로 도 4를 보면, 마이크로 바디(110)는 하부에서부터 바닥을 형성하는 제1 레이어(122), 제1 레이어(122) 상에서 약액 챔버(112)를 위한 최외곽 측벽을 형성하는 제2 레이어(124), 제2 레이어(124) 상에 제공되며 개방구(116) 및 중간 배출구(114)를 제공하는 제3 레이어(126), 멤브레인(130)을 사이에 두고 그 위에 적층되는 제4 레이어(128)를 포함할 수 있다.
- [0035] 참고로, 제1 레이어(122), 제3 레이어(126) 및 제4 레이어(128)는 약 100 $\mu$ m의 두께로 형성될 수 있고, 제2 레이어(124)는 상하 약 200 $\mu$ m의 두께로 형성될 수 있으며, 멤브레인(130)은 약 25 $\mu$ m의 두께로 형성될 수 있다. 또한, 몰드를 이용하여 형성하는 경우에는 제2 레이어와 제3 레이어를 함께 일체로 형성할 수도 있다.
- [0036] 본 실시예에서, 제4 레이어(128)는 고정 영역(129), 개방구(116)의 주변 및 중간 배출구(114)의 주변을 덮으며, 제3 레이어(126) 및 제4 레이어(128)는 멤브레인(130) 중 일부의 변형이 다른 기능에 영향을 주는 것을 방지할 수 있다. 즉, 제3 레이어(126) 및 제4 레이어(128)에 의해서 멤브레인(130)이 마이크로 바디(110)에 고정될 수 있으며, 고정 영역(129)에서 멤브레인(130)은 제3 및 제4 레이어에 의해서 고정되어 개방구(116)의 주변에서의 멤브레인 일부의 변형이 중간 배출구(114) 주변의 멤브레인(130)에 영향을 주지 않도록 하며, 중간 배출구(114) 주변에서의 멤브레인 일부의 변형이 개방구(116) 주변의 멤브레인(130)에 영향을 주지 않도록 할 수 있다.

- [0037] 도 5의 (a)를 보면, 약액 펌프(100)가 작동하지 않는 동안 멤브레인(130)이 중간 배출구(114) 및 약액 배출구(134) 간의 약액 이동을 제한하기 때문에 확산(diffusion)을 통한 누출을 방지하고 있으며, 멤브레인(130)이 마이크로 바디(110)의 개방구(116)를 폐쇄하여 외부 물질이 약액 챔버(112)로 유입되거나 챔버 내의 약액이 외부로 누출되는 것을 방지할 수 있다.
- [0038] 도 5의 (b)를 보면, 자기장이 가해지면 마그네틱 구동부(140)가 하방으로 이동할 수 있으며, 마그네틱 구동부(140)와 함께 멤브레인(130)의 일부가 하방으로 작동을 하면서 약액 챔버(112) 내의 압력이 증가하게 되고, 반대 측에 위치한 멤브레인(130)의 일부는 반대로 위를 향해 부풀어 오르면서 중간 배출구(114) 및 약액 배출구(134)가 열리면서 약액이 외부로 토출될 수 있다.
- [0039] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 다른 초박형 약액 펌프에서 약액이 토출되는 과정을 나열한 사진들이다.
- [0040] 도 6을 보면, 압력이 가해지지 않은 경우 멤브레인은 부풀지 않고 있다(0.00s), 압력이 가해지면서 멤브레인의 일부가 부풀게 되고 좌측에 형성된 약액 배출구를 통해서 약액의 일부가 배출되기 시작할 수 있다(0.18s). 마그네틱 구동부에 의해서 압력이 점가 증가하면서 정해진 양의 약액이 배출되면(0.20s), 약액 배출구가 다시 닫히면서 정해진 양의 약액만 외부로 배출될 수 있다(4.00s). 참고로, 사진은 약 0.02초 단위로 촬영한 것으로서, 자기장 내에 위치하면서 발생하는 과정을 확인할 수 있다.
- [0041] 다시 도 2 및 도 4를 참조하면, 중간 배출구(114)의 주변으로 제3 레이어(126) 및 멤브레인(130) 사이에 비접착 영역(125)이 형성된 것을 확인할 수 있다. 비접착 영역(125)은 제3 레이어(126) 및 멤브레인(130) 간의 교착을 방지하기 위한 것으로서, 본 실시예에서는 비접착 영역(125)에 대응하여 복수개의 홈(127)이 형성될 수 있다.
- [0042] 복수개의 홈(127)은 마이크로 바디(110)에서 중간 배출구(114)의 주변으로 약 25 $\mu$ m 또는 이 이하 깊이의 격자 형태로 형성될 수 있으며, 이러한 패턴링을 통해서 멤브레인(130)이 마이크로 바디(110)의 외면에 교착(adhesion)되는 문제를 해결할 수가 있다.
- [0043] 멤브레인(130)과 마이크로 바디(110)는 중간 배출구(114)의 주변으로 비접착 영역(125)을 형성하여 멤브레인(130)은 부분적으로 변형이 가능하며, 그 변형이 가능한 영역 중 일측에 약액 배출구(134)가 형성될 수 있다. 약액 배출구(134)는 중간 배출구(114)로부터 이격되어 있을 수 있으며, 약액 배출구(134)의 크기, 이격된 거리, 멤브레인(130)의 복원력 등에 의해서 1회 배출되는 약액의 토출량이 조절될 수 있다.
- [0044] 멤브레인(130)에는 마그네틱 구동부(140)가 일체로 결합될 수 있다. 본 실시예에서 마그네틱 구동부(140)는 PDMS와 자기 나노입자를 상호 혼합하여 형성될 수 있으며, 자기장 내에서 일방향으로 움직일 수가 있다. 또한, 개방구(116)의 중앙에 형성되며, 멤브레인(130)의 내측에 형성되어 외부로 돌출되지 않도록 제공될 수 있다.
- [0045] 본 실시예에 따른 약액 펌프(100)는 소프트 리소그래피(soft lithography) 공정을 기반으로 제작될 수 있으며, 마그네틱 구동부(140)는 자기 나노입자(magnetic nanoparticle)를 유연한 PDMS 소재와 결합한 MCP(magnetic composite polymer) 멤브레인을 통해 형성될 수 있다.
- [0046] 오스테머/PDMS 소재로 만들어진 약액 펌프를 제작하기 위해서 제4 레이어(128), 마그네틱 구동부(140) 및 멤브레인(130)을 포함하는 제1 파트를 제작하고, 제1 레이어(122) 내지 제3 레이어(126)로 제2 파트를 제작한 후, 제1 파트와 제2 파트를 조립하여 마이크로 바디(110) 및 멤브레인(130)의 조립을 완성할 수 있다. 개방구(116), 중간 배출구(114), 약액 배출구(134), 투입구(123) 등은 레이저 커팅을 통해서 형성할 수 있으며, 투입구(123)를 통해 주사기와 마이크로 니들(microneedle)을 이용해 약물을 펌프 내부에 주입하고, PDMS로 투입구(123)를 실링(sealing)하여 약액 펌프(100)를 완성할 수 있다.
- [0047] 마그네틱 구동부(140)는 기관 위에 스핀 코팅으로 멤브레인(130)을 위한 PDMS(폴리디메틸실록산)층을 코팅하고, 또 다른 기관 위로 마그네틱 구동부(140)를 위한 마그네틱-PDMS층을 스핀 코팅하고, 패턴에 따라 펀칭할 수가 있다. 본 실시예에서 기관으로는 실란(silane) 처리가 된 실리카(silica)를 이용할 수가 있으며, 마그네틱-PDMS층은 페로테크(ferrotec)사의 EMG1200 자성 나노 입자와 Sylgard 184 PDMS를 1:1로 섞어 제작할 수 있다. 그리고, PDMS층 상에 펀칭된 마그네틱 구동부(140)를 본딩하고, 제4 레이어(128)와 일체로 접착할 수 있다.
- [0048] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 멤브레인과 제3 레이어를 본딩하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0049] 도 7을 참조하면, 중간 배출구(114)가 형성된 제3 레이어(126)에 PDMS를 이용한 마스크를 비접착 영역(125)에 대응하여 적층하고, 이를 산소(O<sub>2</sub>) 플라즈마로 처리할 수 있다. 또한, 약액 배출구(134)가 형성된 멤브레인

(130)에 역시 PDMS를 이용한 마스크를 비접촉 영역(125)에 대응하여 적층하고, 이 역시 산소(O<sub>2</sub>) 플라즈마로 처리할 수 있다.

- [0050] 따라서, 제3 레이어(126)와 멤브레인(130)을 본딩하는 과정에서, 중간 배출구(114) 주변으로 비접촉 영역(125)이 형성될 수 있으며, 상대적으로 얇은 멤브레인(130)의 움직임은 통해서 멤브레인(130)이 일종의 밸브로서 원활하게 작동하게 할 수가 있다.
- [0051] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 개방구의 치수 및 마이크로 구동부의 치수에 따른 약액 챔버 내의 변동을 예상하기 위한 그래프이다.
- [0052] 본 실시예에 따른 약액 펌프는 크기가 콘택트 렌즈 내에 삽입할 수 있을 정도로 얇아야 하기 때문에, 이러한 크기 제한으로 인해 정량적 목표를 달성하기 위하여 사전에 치수를 최적화하는 것이 필요하다. 이를 위해서, 시뮬레이션 프로그램이 Comsol을 이용하여 마그네틱 구동부 및 멤브레인을 설계하여 사이즈를 최적화할 수 있다.
- [0053] 도 8을 참조하면, 멤브레인과 마그네틱 구동부의 직경을 달리하여 시뮬레이션을 하였다. 예를 들어, 멤브레인의 직경은 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm 및 3.5mm 와 같이 다양하게 하였고, 각각의 멤브레인에서 마그네틱 구동부를 중앙에 배치하되, 그 직경을 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm로 다양하게 하였다. 여기서 멤브레인의 두께는 25  $\mu$ m으로 하고, 마그네틱 구동부의 두께는 45  $\mu$ m으로 하였다.
- [0054] 시뮬레이션 결과에 따르면, 멤브레인의 직경이 증가할수록 구동변위 또한 증가하는 경향성을 보였고, 이에 따라 최대의 변위를 보인 멤브레인의 직경이 3.5mm이고 마그네틱 구동부의 직경이 1.5mm일 때 부피의 변화가 가장 크게 나타났다. 또한, 멤브레인 직경에 대한 마그네틱 구동부의 직경의 비율이 0.42~0.60의 범위에서 가장 양호한 부피 변화를 보였다.
- [0055] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 평면 사진을 도시한 도면이고, 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 측면 사진을 도시한 도면이다.
- [0056] 도 9 및 도 10을 참조하면, 멤브레인 하부로 약액 챔버가 형성된 마이크로 바디가 제공되며, 멤브레인의 저면에 마그네틱 구동부가 일체로 형성된다. 평면적으로도 중간 배출구와 약액 배출구가 상호 이격된 위치에 형성되되, 마이크로 바디의 외면에 격자 무늬 홈이 형성되어 멤브레인과 마이크로 바디 간의 교착을 방지할 수 있다.
- [0057] 참고로 개방구에 의해서 노출된 멤브레인의 사이즈는 약 3.5 mm이고, 약액 배출구의 지름은 약 350  $\mu$ m이고, 중간 배출구의 지름은 약 500  $\mu$ m이다. 약액 펌프의 두께가 약 500  $\mu$ m 이하였으므로, 콘택트 렌즈 내에 충분히 삽입될 수 있는 크기라 할 수 있다. 이 때, 약액 펌프의 총 약물 함유량은 약 4.5  $\mu$ l 정도된다.
- [0058] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프에서 자기장 세기에 따른 토출량 변화를 도시한 그래프이다.
- [0059] 도 11을 참조하면, 자기장 세기에 따른 약액 펌프의 토출량을 영상을 통하여 측정할 수 있다. 그에 따르면, 자기장 세기가 약 152 mT인 경우는 1회 약물 토출량이 약 0.02  $\mu$ l 정도였고, 자기장 세기가 약 217 mT인 경우는 1회 약물 토출량이 약 0.07  $\mu$ l, 자기장 세기가 약 319 mT인 경우는 1회 약물 토출량이 약 0.18  $\mu$ l, 자기장 세기가 약 469 mT인 경우는 1회 약물 토출량이 약 0.29  $\mu$ l 정도였다.
- [0060] 또한, 약액 펌프의 작동 횟수에 따른 토출되는 약물의 양의 변화를 측정한 결과, 약 152 mT ~ 217 mT의 자기장에서 약액 펌프의 약물 토출량이 거의 일정하게 유지되는 것으로 보였다.
- [0061] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 단면을 도시한 도면이고, 도 13은 도 12의 초박형 약액 펌프의 구조를 설명하기 위해 평면을 도시한 도면이다.
- [0062] 도 12 및 도 13을 참조하면, 초박형 약액 펌프(200)는 약액 챔버(212), 개방구(216)를 덮는 제1 멤브레인(231), 중간 배출구(214)의 덮으며 중간 배출구(214)로부터 이격된 위치에 형성된 약액 배출구(234)를 포함하는 제2 멤브레인(232), 및 제1 멤브레인(231)에 형성되는 마그네틱 구동부(240)를 포함한다.
- [0063] 이전 실시예와 달리, 본 실시예에서는 멤브레인이 제1 멤브레인(231)과 제2 멤브레인(232)으로 분리되며, 각각 개방구(216) 및 중간 배출구(214)를 가릴 수 있다.
- [0064] 제1 멤브레인(231)은 약액 챔버(212)와 함께 약액 챔버(212)의 개방구(216)를 덮는 기능 및 마그네틱 구동부(240)에 의해서 이동하여 약액 챔버(212) 내의 약액을 가압하는 기능을 할 수 있으며, 제2 멤브레인(232)은 마이크로 바디(210)의 상부 일측에 형성된 중간 배출구(214)를 차단하는 기능 및 약액 챔버(212) 내에 소정의 압

력 이상의 압력이 형성되면 부분적으로 변형되면서 약액 배출구(234)를 통해 약액을 배출하는 기능을 할 수 있다.

[0065] 제1 멤브레인(231)과 제2 멤브레인(232)이 분리되었으므로, 고정 영역을 별도로 형성하지 않아도 제1 멤브레인(231)과 제2 멤브레인(232)이 서로 반대로 움직여도 상호 영향을 미치지 않을 수가 있다.

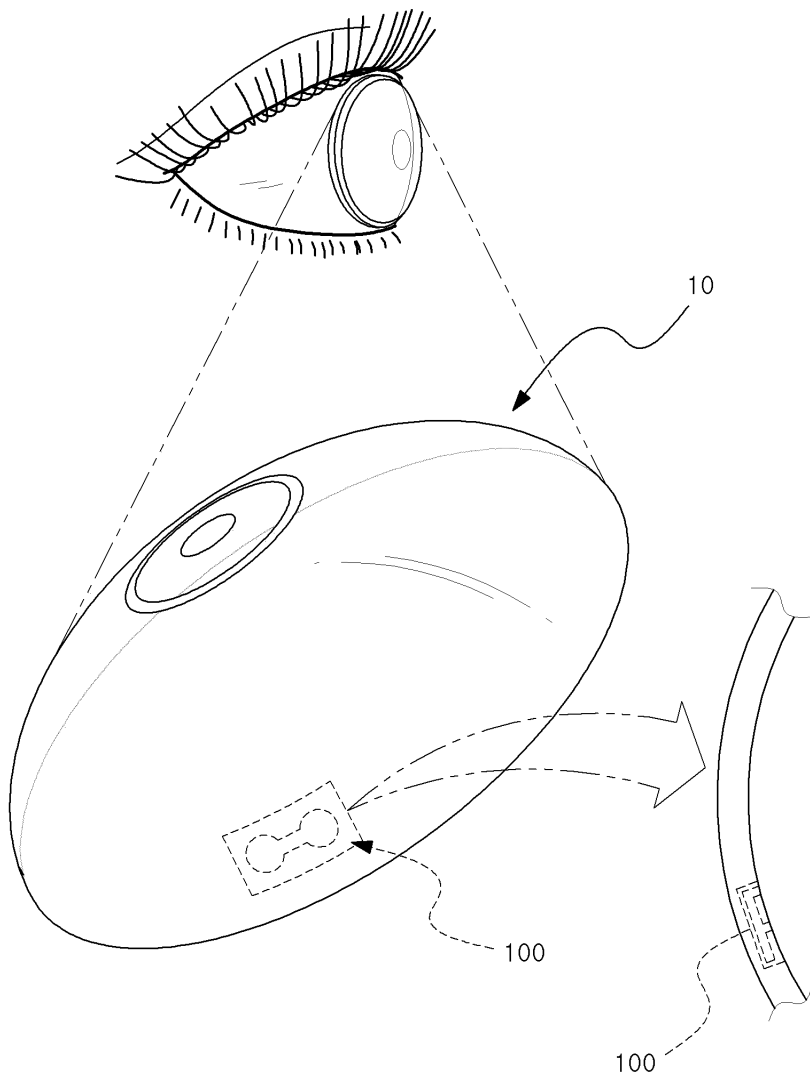
[0066] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만 해당 기술분야의 숙련된 당업자라면 하기의 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

**부호의 설명**

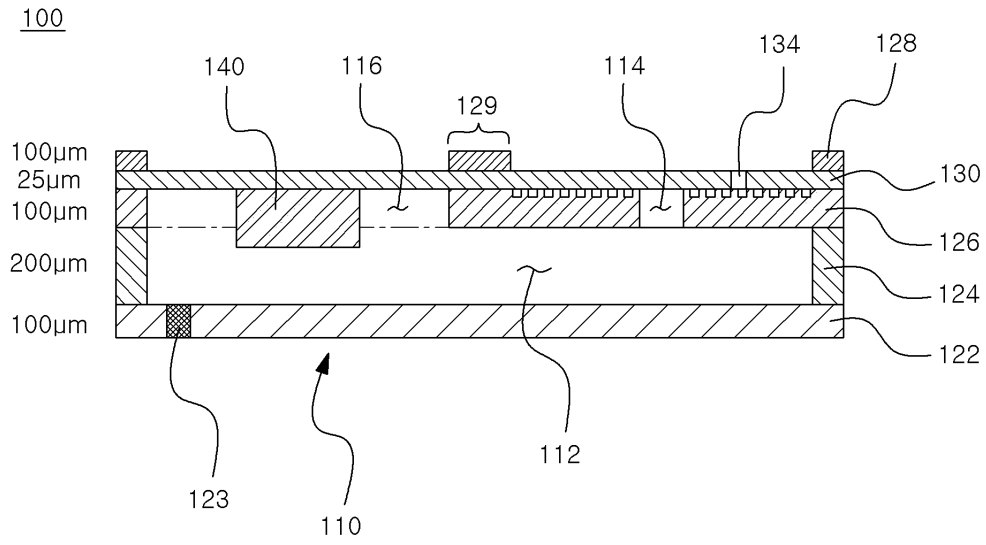
- [0067]
- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 100 : 초박형 약액 펌프 | 110 : 마이크로 바디 |
| 112 : 약액 챔버     | 114 : 중간 배출구  |
| 130 : 멤브레인      | 134 : 약액 배출구  |
| 140 : 마그네틱 구동부  |               |

**도면**

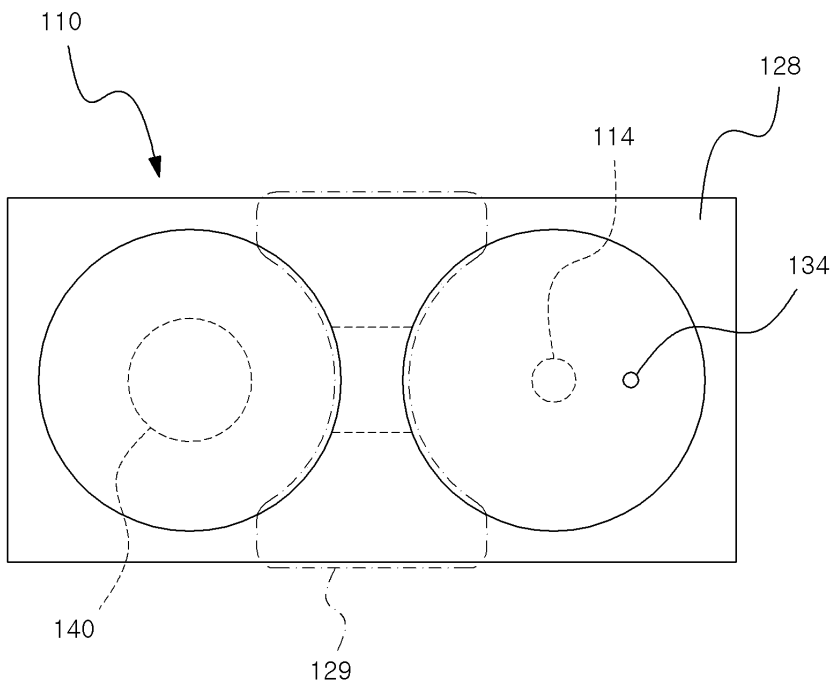
**도면1**



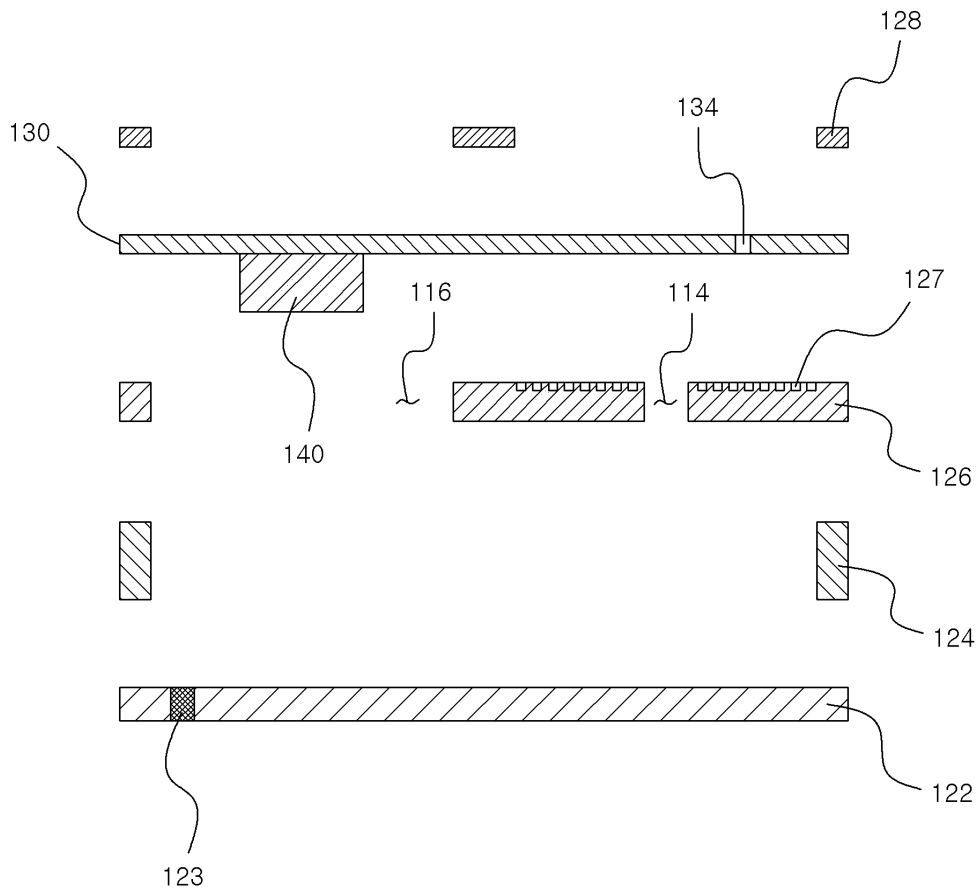
도면2



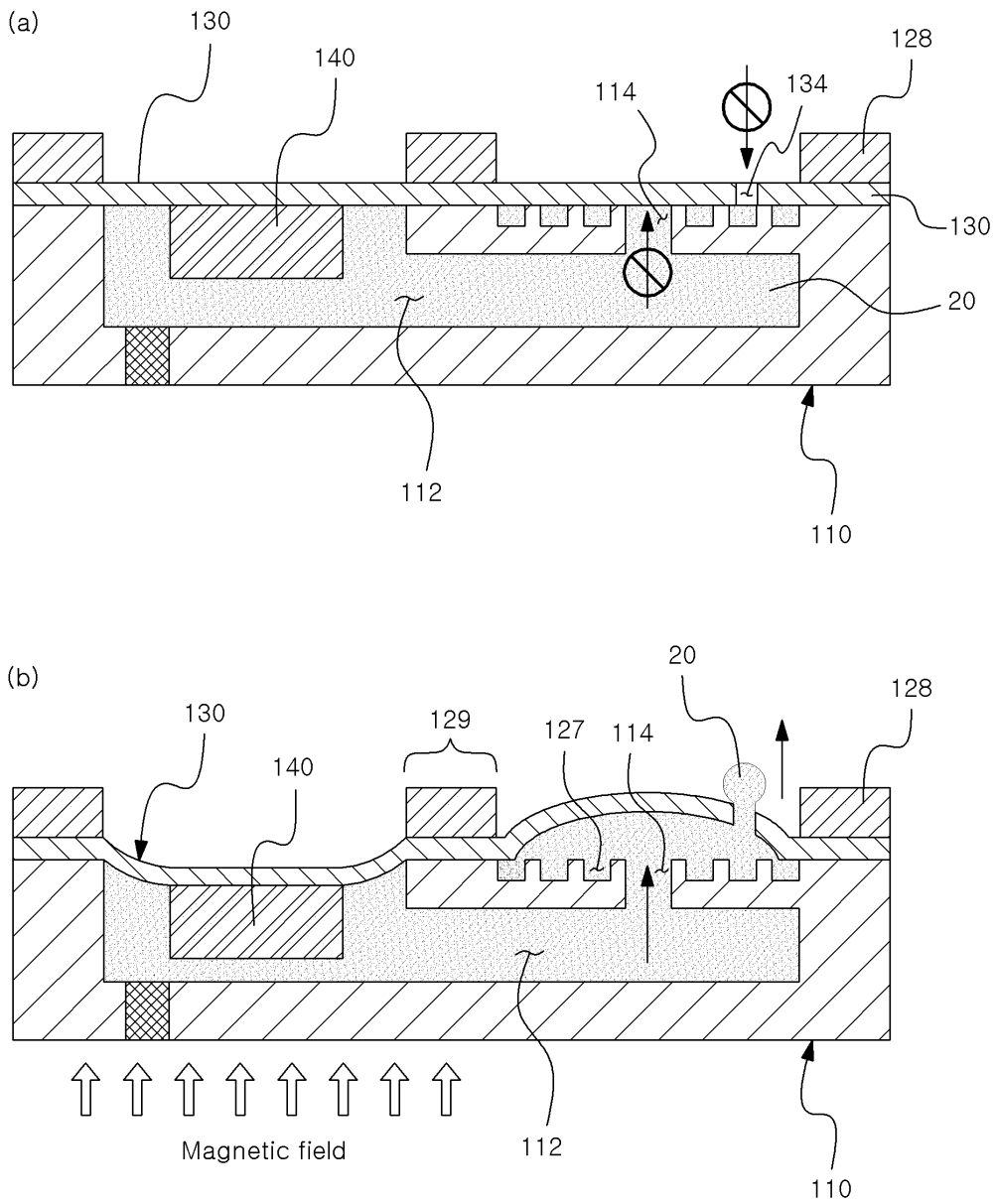
도면3



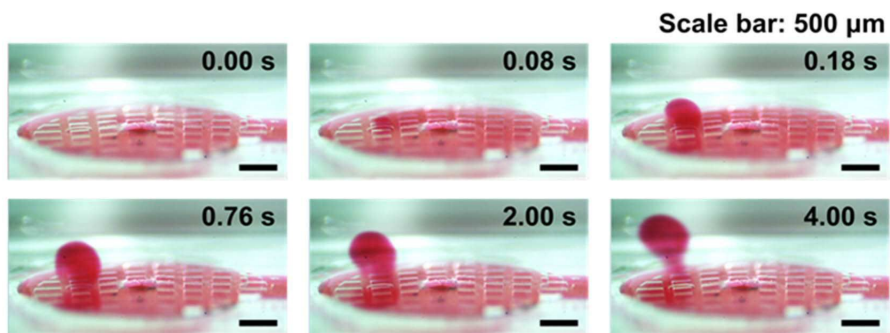
도면4



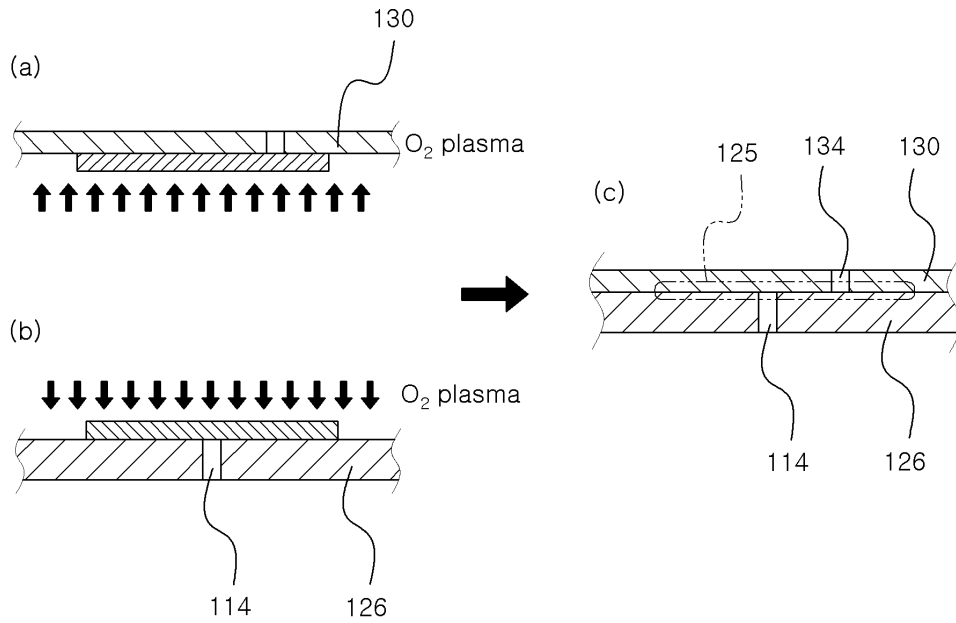
도면5



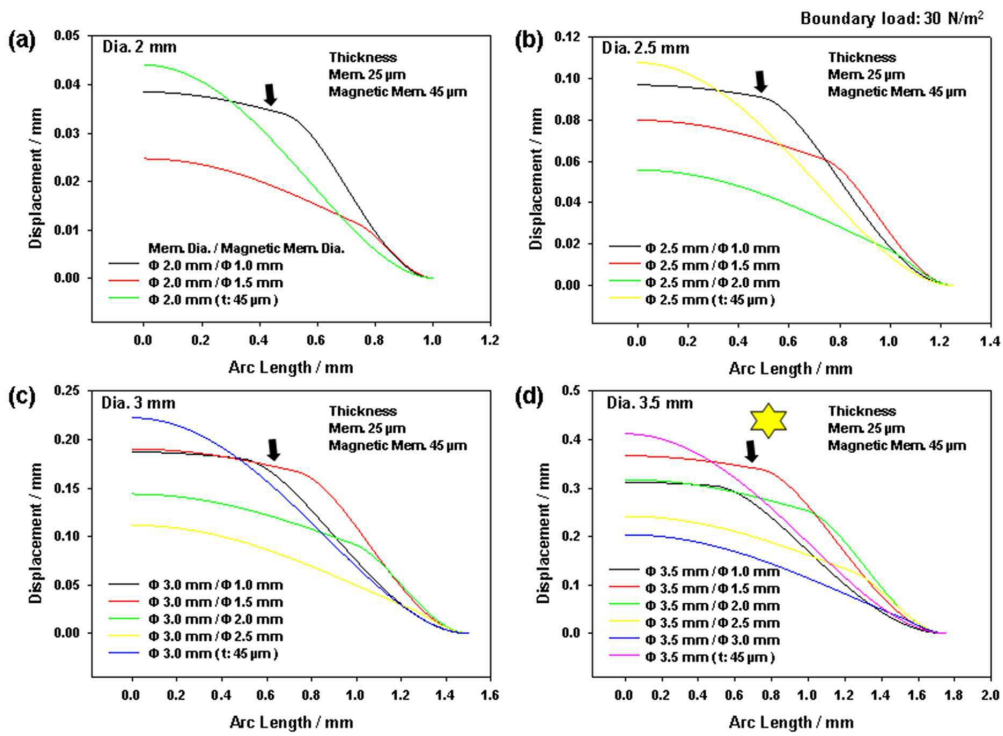
도면6



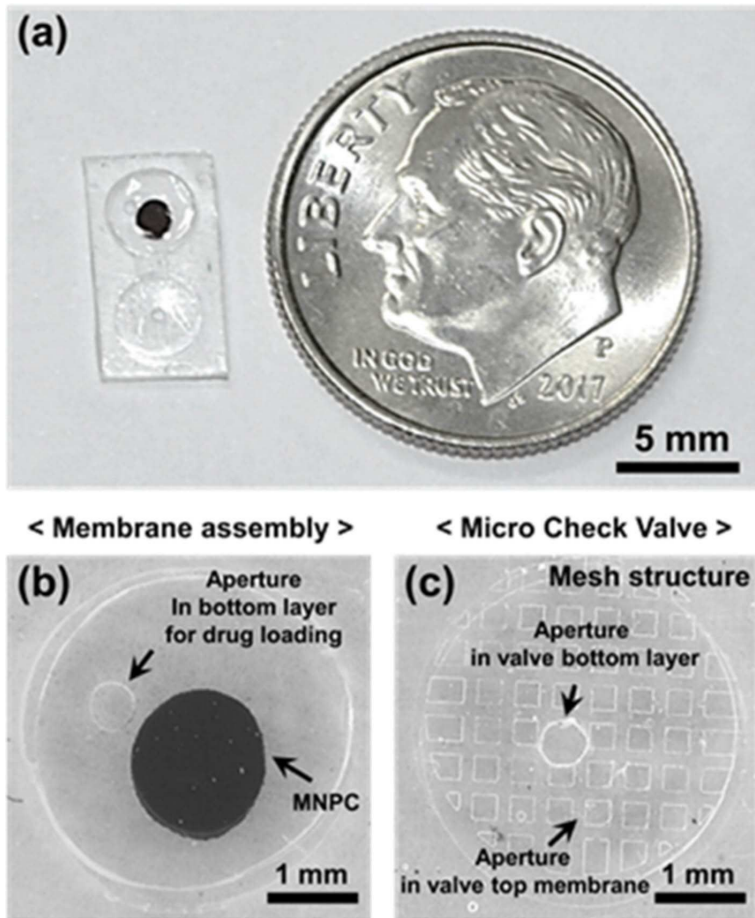
도면7



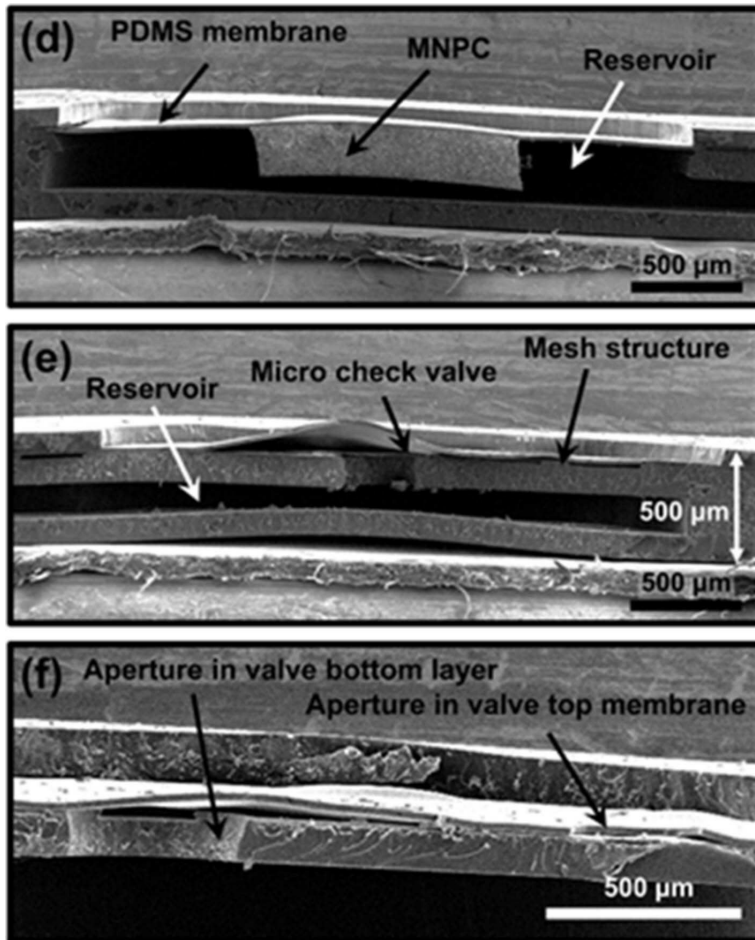
도면8



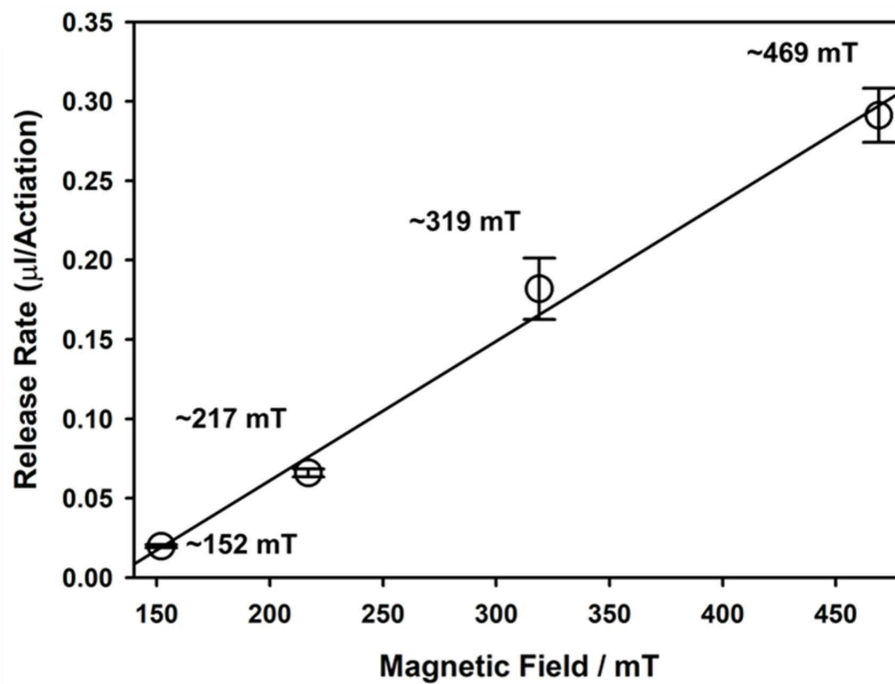
도면9



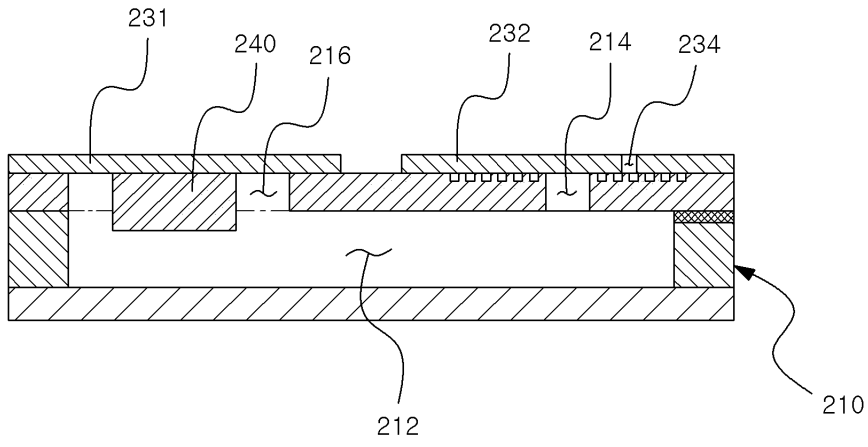
도면10



도면11



도면12



도면13

