(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월26일
(11) 등록번호 10-1486413
(24) 등록일자 2015년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*C12M 1/34* (2006.01) *B81B 1/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0101019
(22) 출원일자 2014년08월06일
심사청구일자 2014년08월06일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080096661 A*
KR1020140067421 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**경희대학교 산학협력단**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
**남영석**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교 국제캠퍼스
**류승걸**
부산광역시 금정구 금단로 113-5, 1503호 (남산동, 우남이채롬)
(74) 대리인
**김정대**

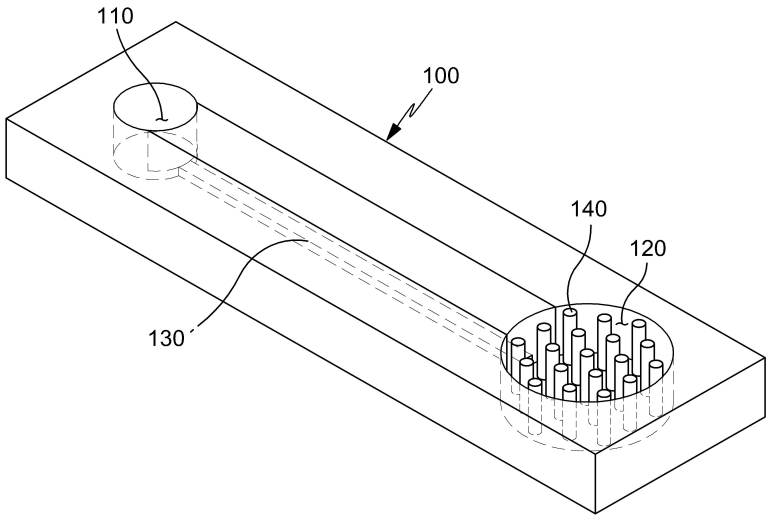
전체 청구항 수 : 총 9 항 심사관 : 이재영

(54) 발명의 명칭 **마이크로 포스트를 이용한 미세유동 칩 및 그 제조방법**

## (57) 요 약

본 발명은: 유체가 주입되는 칩 입구(Inlet); 상기 유체가 배출되는 칩 출구(Outlet); 상기 칩 입구와 칩 출구를 연결하며, 상기 유체의 통로를 이루는 유체 채널; 그리고 상기 유체가 칩 입구측에서 칩 출구측으로 자연유동하도록, 상기 칩 출구에 구비되어 상기 칩 입구와 칩 출구에 압력차를 형성하는 마이크로 포스트(Micro-post)들을 포함하여 구성되는 미세유동 칩을 개시한다. 본 발명에 따르면, 칩 출구에 구비되는 마이크로 포스트 구조물에 의해 칩 입구와 칩 출구에 자연적인 압력차가 형성되므로, 실린지 펌프 등에 의한 외부의 구동력이 없어도 일정 방향으로 유체의 자연 유동이 가능하며, 한정적인 양의 유체가 주입되는 경우에도 유체의 역류현상이 방지될 수 있으므로 안정적인 진단이나 실험을 수행할 수 있고, 진단이나 실험을 위한 미세유동 칩의 규모가 간소화될 수 있으며 비용이 절감될 수 있고, 혈액 검사 등 일회용 목적으로 적합하다.

*대 표 도* - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2012R1A1A1014845
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 마이크로/나노스케일 상변화 현상을 이용한 미세 열관리 모듈 개발
연구과제명 한국연구재단 신진 연구자 과제
기 여 율 1/2
주관기관 경희대학교
연구기간 2012.05.01 ~ 2014.04.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20140255
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 나노/마이크로 기술을 이용한 에너지 변환 효율 향상
연구과제명 BK 21 플러스
기 여 율 1/2
주관기관 경희대학교
연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

유체가 주입되는 칩 입구(Inlet);

상기 칩 입구보다 면적이 넓은 칩 출구(Outlet);

상기 칩 입구와 칩 출구를 연결하며, 상기 유체의 이동 통로를 이루는 유체 채널; 그리고

상기 유체가 칩 입구측에서 칩 출구측으로 자연유동하도록, 상기 칩 출구에 구비되어 상기 칩 입구와 칩 출구에 압력차를 형성하며, 상기 유체 채널을 통해서 상기 칩 입구에 모인 유체가 상기 칩 입구 방향으로 역류하는 것을 방지하는 마이크로 포스트(Micro-post)들을 포함하여 구성되는 미세유동 칩.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 칩 입구와 칩 출구는 원형의 단면이며, 상기 칩 입구의 반경이 상기 칩 출구의 반경보다 작은 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 칩 입구와 칩 출구는 상측을 향해 동일 방향으로 개구(Open)된 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 마이크로 포스트들은 상기 칩 출구의 바닥에서 상부로 솟은 형상인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 마이크로 포스트들은 원기둥 형상인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 미세유동 칩의 내부 표면은 친수 표면인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 미세유동 칩은 PEO-PDMS 재질인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 미세유동 칩의 내부 표면은 소수 표면인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 미세유동 칩은 PDMS(Polydimethylsiloxane) 재질인 것을 특징으로 하는 미세유동 칩.

# 명 세 서

## 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 미세 유체를 이동을 위한 미세유동 칩에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 입구와 출구의 압력차를 형성하여 외부 장치의 도움없이 미세 유체를 한 방향(입구→출구)으로 유동시키고 역류를 방지하는 구조의 미세유동 칩 및 그 제조방법에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0002] 미세유동 칩(microfluidic chip)은 미세 유체 칩이라고도 하며, 그 표면 또는 내부에 미세 채널(Micro-channel)이 형성되어 유체의 이동을 조작하는 구조물이다. 상기 미세유동 칩(microfluidic chip)은 최근 마이크로 및 나노 구조물의 제작기술이 발달함에 따라 다양한 분야에 적용되고 있다.

[0003] 특히, 미세유동 칩은 시료 분석(sample analysis), 초소형 반응기(micro reactor), 입자 분리(particle separation), 및 조직 공학(tissue engineering) 분야에 적용되고 있으며, 종래에 비해 정확하고 빠른 유체의 분석 또는 그 합성이 가능해지고 있다.

[0004] 상기 미세유동 칩은 사용 분야 및 사용 목적에 적합한 형태로 제작되며, 이를 위하여 미세유동 칩의 제작 기술도 함께 활발하게 이루어지고 있다. 상기 미세유동 칩의 제작 기술로는 일반적으로 반도체 공정 기술을 응용한 제작 기술 등이 있다.

[0005] 반도체 공정 기술을 응용한 제작 기술은 유리(Glass) 또는 석영(Quartz) 기판을 식각(etching)하는 방법으로 미세유동 칩을 제작하는 기술이다. 그리고, 상술한 반도체 공정 기술을 응용하여 제조되는 미세유동 칩은 유리 또는 석영 기판에 대한 소재 특성상 높은 투명도 및 뛰어난 열적, 화학적 안정성이 있다.

[0006] 그리고, PDMS(Polydimethylsiloxane)를 이용한 제작 기술은 미세 유체칩의 시작품(Prototype) 제작에 주로 이용되는데, 제작 공정이 간단하고 접합 성능이 우수하며, 제조 단가도 낮은 장점이 있다. 또한, 고온 엠보싱(hot embossing) 공정을 이용한 미세 가공 기술은 다양한 플라스틱 소재를 이용할 수 있으며, 사용성(Disposability)과 생산성이 높은 장점이 있다.

[0007] 한편, 상기 미세유동 칩을 이용한 실험 즉 상기 미세유동 칩의 작동을 위해서는 외부 여러 요소들이 필요하다. 즉, 상기 미세유동 칩은 유체를 상기 미세유동 칩에 공급하고 강제 유동을 위한 압력을 가하는 주사펌프(Syringe Pump) 및 미세유동 칩의 유로 내부로 유체를 유입시키는 여러 종류의 튜브(tube) 등의 외부 장치에 연결된다.

[0008] 상술한 미세유동 칩 즉 미세 유체 칩은 바이오(Biochip) 칩 영역의 한 부분으로서, 샘플 주입에서 검출에 이르기까지 전 과정을 하나의 작은 칩으로 자동적으로 처리할 수 있기 때문에 랩온어칩(Lab-on-a-chip, LOC)이라고도 불리며, 실험실에서 플라스크와 시험관을 사라지게 할 획기적인 첨단 기술 제품이다.

[0009] 상기 미세유동 칩은 전술한 바와 같이 유리, 석영, 플라스틱 또는 실리콘 등의 다양한 재료로 제조되며, 빠른 진단과 실험을 위해 특수 표면 처리되거나 시약이 고정된 미세유동 칩이 개발되고 있다.

[0010] 일반적인 미세유동 칩에서는 외부 구동력(예, 실린지 펌프의 구동력)에 의해 압력이 가해져야 유체의 유동이 일어난다. 그러나, 외부 구동력의 도움없이 미세유동 칩에 일정량 이하의 유체가 한정적으로 공급되면, 일정 시간이 경과한 후에 압력이 역전되어 입구의 유체 압력이 출구의 유체 압력보다 낮아지고 유체가 역류하는 치명적인 문제가 발생한다. 다시 말해서 한정된 양의 유체가 미세유동 칩에 공급된 후에 일정 시간이 지나면, 미세유동 칩의 입구측과 출구측 유체의 표면장력에 의한 압력이 역전되어 입구와 출구의 압력차가 역전되는 문제가 발생하므로, 압력 역전을 방지하기 유지하기 위해 외부 장치의 지속적인 도움이 필요하며, 결과적으로 미세유동 칩을 이용한 각종 진단이나 실험 및 장치 간소화에 장애요인이 된다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1183436호, 2012년 9월 10일 등록

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 제10-2013-0086016호, 2013년 7월 30일 공개

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-0885074호, 2009년 2월 16일 등록

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로서, 본 발명의 목적은 외부 구동력의 도움없이 입구와 출구의 압력차를 형성하고 입구와 출구의 압력차가 역전되는 것을 방지하는 구조의 미세유동 칩 및 그 제조방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 상술한 목적을 해결하기 위하여, 본 발명은: 유체가 주입되는 칩 입구(Inlet); 상기 유체가 배출되는 칩 출구(Outlet); 상기 칩 입구와 칩 출구를 연결하며, 상기 유체의 통로를 이루는 유체 채널; 그리고 상기 유체가 칩 입구측에서 칩 출구측으로 자연 유동하도록, 상기 칩 출구에 구비되어 상기 칩 입구와 칩 출구에 압력차를 형성하고 더 나아가 압력 역전을 방지하는 마이크로 포스트(Micro-post)들을 포함하여 구성되는 미세유동 칩을 제공한다.

[0014] 상기 칩 출구는 상기 칩 입구보다 면적이 넓다. 예를 들어, 상기 칩 입구와 칩 출구는 원형의 단면이며, 상기 칩 입구의 반경이 상기 칩 출구의 반경보다 작게 구성될 수 있다.

[0015] 상기 칩 입구와 칩 출구는 상측을 향해 동일 방향으로 개구(Open)된다. 그리고 상기 마이크로 포스트들은 상기 칩 출구의 바닥에서 상부로 솟은 형상으로 구성된다. 상기 마이크로 포스트들은 원기둥 형상이나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0016] 그리고, 상기 미세유동 칩의 내부 표면, 즉 상기 칩 입구와 칩 출구와 유체 채널의 내부 표면과 상기 마이크로 포스트의 외주면은 친수 표면으로 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 미세유동 칩은 PEO-PDMS 재질을 가질 수 있다.

[0017] 반면, 상기 미세유동 칩의 내부 표면은 발수 표면으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 상기 미세유동 칩은 PDMS(Polydimethylsiloxane) 재질을 가질 수도 있다. 그리고 PDMS 재질의 미세유동 칩의 표면을 친수처리하면 친수 표면을 갖는 미세유동 칩이 제조될 수 있다.

### 발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 미세유동 칩은 다음과 같은 효과가 있다.

[0019] 첫째, 본 발명에 따르면, 칩 출구에 구비되는 마이크로 포스트 구조물에 의해 칩 입구와 칩 출구에 자연적인 압력차가 형성되므로, 실린지 펌프 등에 의한 외부의 구동력이 없어도 일정방향으로 유체의 자연 유동이 가능하며, 한정적인 양의 유체가 주입되는 경우에도 유체의 역류현상이 방지될 수 있으므로 안정적인 진단이나 실험을 수행할 수 있고, 진단이나 실험을 위한 미세유동 칩의 규모가 간소화될 수 있으며 비용이 절감될 수 있고, 혈액 검사 등 일회용 목적에 적합한 구조가 될 수 있다.

[0020] 둘째, 본 발명에 따르면, 마이크로 포스트의 밀도(Density) 보다 구체적으로는 상기 마이크로 포스트의 간격이나 직경이나 높이에 따라 칩 입구와 칩 출구의 압력차가 달라질 수 있으므로, 사용 조건이나 목적에 적합한 유속의 미세유동 칩이 다양하게 설계될 수 있고, 일방향 유동 제어가 가능하므로 다양한 분야에 손쉽게 적용 가능하다.

[0021] 셋째, 본 발명에 따르면, PEO-PDMS 또는 PDMS 재질로 주조 틀의 형상에 따라 다양한 구조의 미세유동 칩이 제조될 수 있으며, 단순화된 공정으로 대량생산이 가능하다.

### 도면의 간단한 설명

[0022] 본 발명의 특징 및 장점들은 후술되는 본 발명의 실시예들에 대한 상세한 설명과 함께 다음에 설명되는 도면들

을 참고하여 더 잘 이해될 수 있으며, 상기 도면들 중:

도 1은 본 발명에 따른 미동유동 칩의 일 실시 예를 개략적으로 나타낸 사시도;

도 2a는 도 1에 도식된 미세유동 칩의 단면도;

도 2b는 도 2a의 I-I선에 따른 단면도;

도 3은 도 1에 도식된 미세유동 칩의 평면도;

도 4a와 도 4b는 본 발명에 따른 미동유동 칩의 다른 실시 예를 나타낸 사시도와 단면도;

도 5는 본 발명에 따른 미세유동 칩의 제조를 위한 틀을 개략적으로 나타낸 평면도;

도 6은 본 발명에 따른 미세유동 칩의 제조공정을 개략적으로 나타낸 도면;

도 7은 마이크로 포스트에 의한 입/출구의 압력차이를 이용하여 유체의 유동을 구현한 미세유동 칩에서의 단계별 유동 상태도;

도 8은 마이크로 포스트의 배치 구조를 개략적으로 나타낸 평면도;

도 9a와 도 9b는 도 8의 "A"부로서 마이크로 포스트의 단위 구조를 나타낸 도면과 시뮬레이션 이미지;

도 10a 내지 도 10c는 마이크로 포스트의 밀도가 서로 다른 미세유동 칩들을 나타낸 평면도들; 그리고

도 11은 마이크로 포스트의 고체분율에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0023] 이하 본 발명의 목적이 구체적으로 실현될 수 있는 본 발명의 바람직한 실시예가 첨부된 도면을 참조하여 설명된다. 본 실시예를 설명함에 있어서, 동일 구성에 대해서는 동일 명칭 및 동일 부호가 사용되며 이에 따른 부가적인 설명은 하기에서 생략된다.

[0024] 먼저, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명에 따른 미세유동 칩의 일 실시예가 설명된다. 도 1은 본 발명에 따른 미동유동 칩의 일 실시 예를 개략적으로 나타낸 사시도이고, 도 2a는 도 1에 도식된 미세유동 칩의 단면도이며, 도 2b는 도 2a의 I-I선에 따른 단면도이고, 도 3은 도 1에 도식된 미세유동 칩의 평면도이다.

[0025] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 미세유동 칩(Microfluidic Chip)의 일 실시 예(100)는, 유체 즉 미세유체가 주입되는 칩 입구(Inlet; 110)와, 칩 출구(Outlet; 120)와, 상기 칩 입구와 칩 출구를 연결하는 유체 채널(130)과, 상기 칩 출구에 구비되는 마이크로 포스트(140)들을 포함하여 구성된다.

[0026] 보다 구체적으로 설명하면, 상기 유체 채널(130)은 상기 칩 입구(110)와 칩 출구(120)를 연결해서 유체의 통로 즉 유동로를 형성하며, 상기 칩 입구(110)에 주입되는 유체는 상기 유체 채널(130)을 통해 상기 칩 출구(120)로 유입된다.

[0027] 그리고, 상기 마이크로 포스트(140)들은, 상기 유체가 칩 입구(120)측에서 칩 출구(120)측으로 자연유동하도록, 상기 칩 출구(120)에 구비되어 상기 칩 입구(110)와 칩 출구(120)에 압력차를 형성하며, 상기 유체가 칩 입구(110)측으로 다시 역류하는 것을 방지한다. 본 발명에서 자연 유동이라 함은, 외부 구동원 즉 유체의 흐름을 강제하는 별도 구동원의 도움을 받지 않고, 상기 미세유동 칩의 구조 자체에 의해 입/출구의 압력차 즉 압력구배가 형성되고, 상기 압력 구배에 의해 자연적으로 유체의 유동이 구현되고 또한 입구측으로의 역류가 방지되는 것을 의미한다.

[0028] 보다 구체적으로 설명하면, 상기 미세유동 칩(100)에 유체가 주입되는 경우에, 칩 입구(110)에 구현되는 자유표면(액체와 기체의 계면)의 곡률(이하 '입구측 계면 곡률'이라 칭함)과 칩 출구(120)에 구현되는 자유표면의 곡률(이하 '출구측 계면 곡률'이라 칭함)에 따라 칩 입구의 자유표면과 칩 출구의 자유표면에 압력차이가 발생하며, 이러한 압력차이에 의해 칩 출구측으로 유체가 펌핑(Pumping)되고 또한 칩 입구측으로 유체가 역류하지 않게 된다.

[0029] 즉, 상기 마이크로 포스트(130)들이 유체의 입구측 경계면 곡률과 출구측 경계면 곡률의 차이를 크게 형성해서, 유체의 입구측 계면과 출구측 계면에서 압력차를 발생시키며, 이에 따라 상기 칩 입구(110)에서 칩 출구(120)측으로 압력(삼투압처럼 외부 구동력의 도움없이 형성되는 압력이므로, 이하에서는 '삼투압'이라 칭함)이 발생되고, 상기 마이크로 포스트(130)들이 발생시키는 삼투압은 기존의 표면 장력에 의해 발생되는 입출구부의 압력차

이보다 더 큰 압력차이를 형성하며, 이를 통해 출구측으로 유동력이 발생되고 채널 내부에서의 역류가 방지될 수 있다.

[0030] 상술한 입출구의 압력차 형성(삼투압 형성)에 대해 보다 상세하게 설명하면 다음과 같다.

[0031] 상기 칩 입구(110)에 유체를 떨어뜨리면, 유체가 칩 입구(110)를 통해 채널 내부 즉 상기 유체 채널(130)로 유입된다. 이때 상기 유체 채널(130) 내부에 생기는 오목한 계면(자유표면)에 의해 압력차(삼투압)가 발생하고, 상기 칩 입구(110)에서 칩 출구(120)로 유체의 유동이 이루어진다. 그리고 유체가 칩 출구(120)에 이르면, 칩 출구(120)에 설치된 마이크로 포스트(140)를 통해 칩 입구측와 칩 출구측 간에 압력구배(삼투압)가 형성 되며, 칩 입구(110)로 투입된 유체가 최종적으로 마이크로 포스트로 인해 생긴 삼투압에 의해서 칩 출구(120)로 유동하게 된다.

[0032] 상술한 자연 유동 구조의 미세유동 칩 설계를 위하여, 고체분율(후술되는 수학식 1 참조)의 범위를 정하고, 고체분율의 값을 통해 마이크로 포스트의 직경 및 간격의 범위를 정할 수 있다. 고체분율은 단위구조(도 8의 "A" 및 도 9a와 도 9b 참조)의 면적과 포스트의 면적의 비율로 구할 수 있다.

[0033] 보다 구체적으로 설명하면, 상기 고체 분율의 범위는 0.1~0.6 이 될 수 있다. 이러한 범위로 고체분율의 값을 정한 것은 고체분율이 높아지면 삼투압이 크게 발생 하지만 마이크로 포스트의 사이를 지나가는 유체의 유로가 좁아지는 즉, 투과율이 작아지기 때문이다

[0034] 상기 고체 분율의 범위는 0.1~0.6일 때, 고체분율에 따른 포스트의 직경은 10㎛~300㎛, 포스트 중심간의 간격은 12㎛~900㎛의 범위로 정해질 수 있다. 고체분율의 범위를 알고 포스트의 직경을 알면, 포스트 중심간의 간격을 구할 수 있기 때문에, 최소/최대의 범위가 설정될 수 있다.

[0035] 본 실시 예에 있어서, 상기 칩 출구(120)는 상기 칩 입구(110)보다 면적이 넓다. 상술한 마이크로 포스트에 의한 압력 즉 삼투압에 의해 상기 칩 출구(120)측으로 펌핑된 유체가 상기 칩 출구(120)에서 넘치지 않고 상기 칩 출구의 내부 공간에 수용되고, 더 나아가 상기 칩 출구(120)를 넘치기 직전까지 상기 미세유동 칩(100)에 유체가 투입되더라도 유체의 역류가 방지될 수 있도록, 상기 칩 출구(120)는 상기 칩 입구(110)보다 넓은 구조이다. 예를 들어, 상기 칩 입구(110)와 칩 출구(120)는 원형의 단면이며, 상기 칩 입구(110)의 반경이 상기 칩 출구(120)의 반경보다 작게 구성될 수 있다.

[0036] 일반적으로 상기 미세유동 칩(100)은 일회용이므로, 일정량의 유체를 미세유동 칩에 주입하고 분석 후에는 미세유동 칩(100)을 폐기한다. 그러므로, 상기 칩 출구(120)가 넘치도록 상기 미세유동 칩(100)에 유체를 투입하는 것은 상기 미세유동 칩(100)의 사용시에 고려되지 않아도 무방하다. 따라서, 미세유동 칩(100)에 투입된 일정량의 유체는 상기 마이크로 포스트(140)에 의해 칩 출구(120)측으로 펌핑되고 상기 칩 출구(120)가 넘치지 않는 상태로 분석이나 측정이 종료되므로, 칩 출구(120)측으로 펌핑된 유체가 상기 칩 출구(120)에서 넘쳐나지 않고 수용될 수 있도록 상기 칩 출구(120)의 면적이 칩 입구(110)보다 넓게 설계되어야 한다.

[0037] 상기 칩 입구(110)와 칩 출구(120)는 상측을 향해 동일 방향으로 개구(Open)된다. 그리고 상기 마이크로 포스트(140)들은 상기 칩 출구(120)의 바닥에서 상부로 솟은 형상으로 원기둥 형상으로 구성되나, 상기 마이크로 포스트(140)의 형상이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0038] 그리고, 상기 미세유동 칩(100)의 내부 표면(칩 입구와 칩 출구와 유체 채널의 내부 표면과 상기 마이크로 포스트의 외주면) 특히 마이크로 포스트(140)의 표면(외주면)은 친수 표면으로 구성된다. 예를 들어, 상기 미세유동 칩은 PEO-PDMS 재질을 가질 수도 있다. 이에 따라, 상기 미세유동 칩(100)은 표면장력이 큰 유체에도 적용 가능하게 되고, 손쉽게 대량 생산이 가능하고 마이크로 포스트의 규격(크기, 간격)이 다양하게 변경될 수 있으며, 결과적으로 삼투압을 다양화할 수 있다.

[0039] 반면, 상기 미세유동 칩(100)의 내부 표면이 소수 표면으로 구성되어, 상기 미세유동 칩(100)이 표면 장력이 작은 유체에 사용될 수도 있다. 예를 들어, 상기 미세유동 칩이 PDMS(Polydimethylsiloxane) 재질로 제조되면 상기 미세유동 칩(100)의 내부 표면이 소수 표면으로 구현된다. 물론, 상기 미세유동 칩의 표면 재질이 상술한 PEO-PDMS나 PDMS에 한정되는 것은 아니다. 그리고 PDMS 재질의 미세유동 칩의 표면(내부 표면)을 친수처리해서 친수 표면을 갖는 미세유동 칩이 제조될 수도 있다.

[0040] 상술한 실시 예에서, 상기 유체 채널(130)은 상부가 덮여서 상하/좌우가 막힌 구조이며, 도 4a 및 도 4b에 도시된 실시 예(100A)에서와 같이 유체 채널(130)의 상부가 개방(Open)된 구조로 제조된 후 유체 채널의 상측을 막으면 상하/좌우가 막힌 유체 채널을 갖는 미세유동 칩 구조의 일 예가 완성될 수 있다.

[0041] 이하에서는, 도 5 및 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시 예에 따른 미세유동 칩의 제조과정에 대한 일 예가 설명된다.

[0042] 먼저, 포토리소그라피(Photolithography)를 통해 상기 미세유동 칩의 구조가 음각된 형상의 틀(10; 주조 틀)을 제조한다. 따라서 상기 틀(10)에는 상기 마이크로 포스트를 형성하는 포스트 홀들이 형성된다. 그리고 도 6의 (a)에 도시된 틀(10) 위에 도 6의 (b)와 같이 미세유동 칩의 재료 예를 들면 PEO-PDMS 또는 PDMS를 부은 후, 재료가 경화되면 주조물을 상기 틀(10)에서 분리함으로써, 도 6의 (c)에 도시된 미세유동 칩(100A)이 제조될 수 있다

[0043] 그리고 유체 채널의 상부를 플레이트로 덮으면 도 1에 도시된 구조의 미세유동 칩(100)과 같이, 상하좌우가 막힌 유체 채널을 갖는 미세유동 칩이 제조될 수 있다.

[0044] 한편, 도 7은 마이크로 포스트에 의한 입/출구의 압력차이를 이용하여 유체의 유동을 구현한 미세유동 칩에서 시간변화에 따른 단계별 유체 흐름의 진화를 나타낸 도면으로서, 유체의 주입 초기부터 유체 유동이 정지되는 최후단계까지를 4단계로 나누어 나타낸 것이다.

[0045] 도 7의 (a)는 칩 입구(110)에 유체를 투입하는 초기단계로서 유체의 계면(자유표면)이 칩 입구에 볼록하게 형성된 상태이다. 그리고, 도 7의 (b)는 유체가 칩 입구(110)에서 채널 내부 즉 유체 채널(130)로 유입되는 단계로서, 유체의 선단에 오목한 계면(채널 내부의 생기는 오목한 자유표면)이 형성되고 칩 입구와 채널 내부의 압력차에 의해 유체의 유동이 형성된다. 따라서, 칩 입구(110)에서 유체 채널(130)의 내부로 유체가 이동하게 된다.

[0046] 다음으로, 도 7의 (c)를 참조하면, 유체가 칩 입구(110)에서 유체 채널(130)을 통해 칩 출구(120)에 도달하게 된다. 이때, 칩 출구(120)에 있는 마이크로 포스트(140)들에 의해 유체의 선단(유동 선단)과 유체의 후단(유동 후단)간에 압력차 소위 삼투압이 생기며, 결과적으로, 칩 입구와 칩 출구 간에 압력차(압력구배)가 형성된다. 칩 입구에 생기는 자유 표면의 곡률 반경과 마이크로 포스트로 인해서 생기는 자유 표면의 곡률 반경이 차이가 있으므로 삼투압이 생기며, Young-Laplace Equation에서 각각의 삼투압을 구할 수 있고, 최종적으로 도 7의 (d)와 같이 모든 유체가 칩 출구(120)에 모이게 된다.

[0047] 본 발명에서 제시하는 미세유동 칩(100)에 의하면, 마이크로 포스트(140)에 의해 형성되는 유체의 표면 장력을 통해 입출구에 서로 다른 압력이 발생되고, 이런 압력차이를 이용하여 유체가 미세유동 칩의 유체 채널을 이동하는 구조이다.

[0048] 이런 현상 즉 자연유동 현상을 구현하는 장치를 본 발명에서는 패시브 펌핑 장치(Passive Pumping Device)라고 칭하며, 패시브 펌핑 장치를 이용한 미세유동칩은 PDMS 및 PEO-PDMS와 같은 고분자 재질을 통해 편리하고 용이하게 제조될 수 있고, 이렇게 제조된 장치는 많은 응용 분야에서 사용될 수 있다.

[0049] 상술한 바와 같이, 상기 미세유동 칩은, 미세유동 칩 내부의 역류 현상을 막기 위하여, 미세유동 칩 내부 특히 칩 출구에 마이크로 포스트를 설치한 것이다. 상기 마이크로 포스트가 발생시키는 삼투압은 기존의 표면장력에 의해 발생되는 입, 출구부의 압력차이보다 더 큰 압력차이를 만들 수 있고, 이를 통해 채널 내부의 역류를 방지할 수 있다.

[0050] 본 발명의 실시 예에서는, 유체의 분석 및 미세유동 칩 제조의 용이성을 고려하여 기존에 원기둥, 원뿔, 소결된 파우더의 포스트 형태와[Suresh V. Garimella et al, 2011, *Nanoscale and MicroscaleThermo-physical Engineering*, 15, pp 179~194], 육각형구조, 사각형구조, 클러스터, 파이형태 등의 포스트배열[Y. Sungtaek Ju et al, 2012, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, pp 6163~6169]중에서 원기둥형태와 육각형구조의 배열을 선택하였다.

[0051] 그리고, 상술한 바와 같이 Photo-Lithography 방법을 통하여 실리콘 웨이퍼(Si wafer)위에 마이크로 포스트의 패턴이 음각된 형상을 만들 수 있다. 또한 Si wafer에 드라이 에칭(Dry etching)을 이용하여 수직적으로 원하는 높이를 깎아냄으로써 다양한 형태의 마이크로 포스트의 배열을 만들 수 있다. 상기 마이크로 포스트에 의해 발생되는 삼투압 영향은 포스트 사이의 간격 즉 포스트의 밀도에 따라 달라지는데, 이를 위하여 칩 출구에서 마이크로 포스트의 간격을 각기 다르게 설계함으로써 삼투압을 변화시킬 수 있다.

[0052] 상기 미세유동 칩 성형용 PDMS의 제조를 위해서, 베이스(Slygard 184A)와 경화제(Slygard 184B)를 10:1의 질량비율로 섞은 후, 5분간 진공상태를 유지하여 PDMS 내에 발생한 기포를 제거한다. 그리고 PDMS를 칩 입구와 칩 출구와 유체 채널 및 마이크로 포스트 패턴이 형성되어 있는 틀 위에 붓고, 80℃의 오븐 안에서 30분간 경화시켜 미세유동 칩을 제작한다.

[0053] 그리고, PEO-PDMS 재질을 갖는 미세유동 칩의 경우 PDMS의 제작 방법에서 Poly (Dimethylsiloxane-ethylene Oxide)가 추가되며, 그 외에 공정은 동일하게 진행된다. PDMS로 제조된 미세유동 칩은 자연상태에서 소수성(Hydrophobic)을 가지므로, 표면장력이 작은 유체에 사용가능하며 투명한 재질로 이루어져 관찰이 용이하다. 반면, PEO-PDMS로 제조된 미세유동 칩의 경우 친수성(Hydrophiilc)을 가지므로, 표면장력이 큰 유체에도 적용 가능하지만, Dimethylsiloxane-ethylene Oxide Polymeric 비율에 따라 불투명도가 증가하므로 관찰에 장애요인이 될 수 있다. 물론, PDMS 재질로 미세유동 칩의 골격을 제조하고, 내부 표면을 친수성으로 후처리할 수도 있다.

[0054] 본 발명의 실시 예에서는 칩 출구의 마이크로 포스트로 인하여 발생할 수 있는 삼투압을 에너지 최소화 알고리즘(Energy minimization algorithm)을 사용한 “Surface Evolver”[Brakke, K. A., 1992, “The Surface Evolver,” *Exp. Math.*, 1, pp. 141-165]을 통해서 예측하였다. 그리고, 에너지 최소화 알고리즘을 통해 예측된 삼투압에 의해 마이크로 포스트의 사이를 유체가 잘 흐를 수 있는지를 판단하기 위해서, 유한요소 해석법을 이용하여 운동량 방정식(Navier-stroke equations)을 푼다. 유한요소 해석법을 통해서 도출되는 마이크로 포스트 사이의 평균 속도를 계산하고 Darcy's law를 통해 투과율을 수치화할 수 있다.

[0055] 마이크로 포스트의 직경과, 포스트 사이의 간격을 하나의 변수로 잡기 위하여 고체 분율(Solid Fraction)을 사용한다. 상기 고체 분율은 단위구조(도 8의 "A" 및 도 9a와 도 9b 참조)의 면적과 포스트의 면적의 비율로 나타내며, 다음과 같이 [수학식 1]로 표현된다.

*수학식 1*

[0056] $$f_s = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}\left(\frac{D}{P}\right)^2$$

[0057] 상기 수학식 1에서 $f_s$는 고체 분율이고, D는 마이크로 포스트의 직경이며, P는 마이크로 포스트들의 중심간 거리이다.

[0058] 마이크로 포스트에 의해 발생되는 삼투압은 접촉각, 마이크로 포스트 사이의 간격과 직경 및 높이에 따라 달라지게 된다. 삼투압 예측을 위해서 각각의 변수들을 아래 [표 1]과 같이 설정 하였다.

*표 1*

[0059]

| Solid Fraction | 접촉각 | 직경(㎛) | 높이(㎛) |
|---|---|---|---|
| 0.1807 | 10/50 | 25/50/70 | 100 |
| 0.2512 | | | |
| 0.3138 | | | |
| 0.4031 | | | |
| 0.5366 | | | |

[0060] 도 11은 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 나타낸 것이다. 도 11을 참조하면, 접촉각이 커짐에 따라 압력(Capillary Pressure) 즉 삼투압이 작아짐을 알 수 있고, 또한 고체분율이 증가하고 마이크로 포스트의 직경이 작아질수록 삼투압이 증가함을 알 수 있다. 즉, 높은 삼투압을 얻기 위해서는 마이크로 포스트의 직경이 작고 고체 분율이 커야 함을 알 수 있다.

[0061] 참고로 도 10a 내지 도 10c는 중심간의 거리를 달리하여 마이크로 포스트의 밀도가 서로 다른 미세유체 칩의 개념도이다.

[0062] 마이크로 포스트를 이용한 미세유동 칩 즉 패시브 펌핑 장치는, 도 10a 내지 도 10c에 도시된 바와 같이 마이크로 포스트의 간격을 바꾸거나 직경을 바꿔가면서 다양한 입출구 압력 구배를 얻을 수 있다. 이를 통해 미세유동 칩 내부의 유체의 속도를 손쉽게 제어할 수 있으며, 또한 마이크로 포스트를 통해 계속적인 압력 차이를 형성함으로써, 압력의 역전 없이 유체의 유동이 일정한 방향으로 유지되는 미세유동 칩을 설계할 수 있다.

[0063] 그리고, 마이크로 포스트를 이용한 미세유동 칩은 PDMS 또는 PEO-PDMS를 이용하여 대량 생산이 가능하다. 따라서 미세유동 칩은 손쉽게 제작이 가능하며 일회용으로 적합하다. 이는 위생이 많이 요구되는 진단 검사 등이 필요한 의료분야에 활용될 수 있다. 또한, 마이크로 포스트를 이용하여 유체가 일정한 방향으로 유동 할 수 있게

설계할 수 있는 동시에 마이크로 포스트의 간격의 변화를 통해 크기에 따른 분류가 가능하다. 이런 장점을 이용해 원심분리기를 이용해 혈액을 분류하는 방법 이외에 마이크로 포스트의 간격을 이용해 혈액을 분리 할 수 있다.

[0064] 한편, 의료 분야 이외에도 표면장력에 의해 압력차이를 유체 이동의 추진력으로 사용하는 다양한 분야가 존재한다. 예를 들면, 양분유체를 투과함으로 단백질을 성장시키는 세포합성 분야, 식물의 성장을 촉진시키는 생물학 분야 등에서 표면장력에 의해 압력차이를 유체 이동의 추진력으로 이용하고 있다.

[0065] 상기와 같이 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화 될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다.

[0066] 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

## 부호의 설명

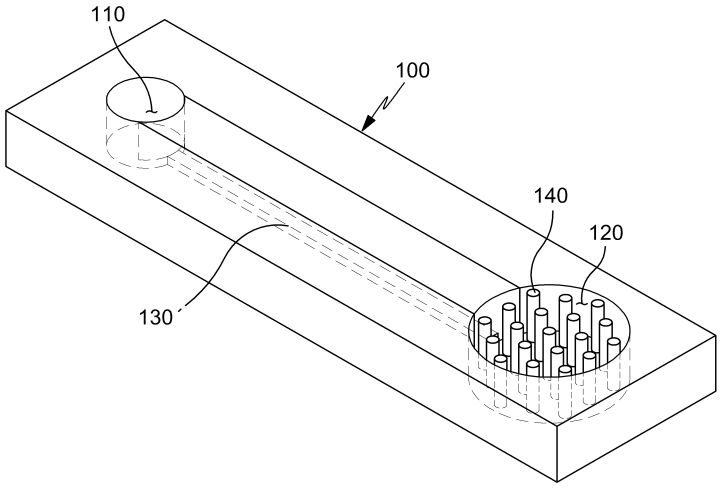
[0067] 100: 미세유동 칩 110: 칩 입구

120: 칩 출구 130: 유체 채널

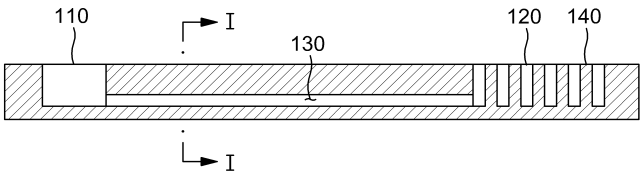
140: 마이크로 포스트

## 도면

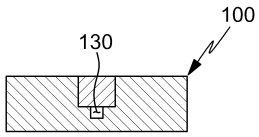
### 도면1



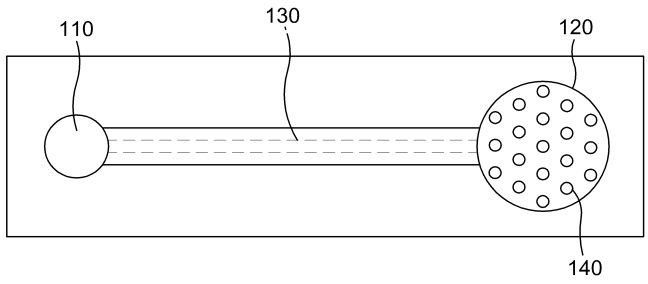

### 도면2a



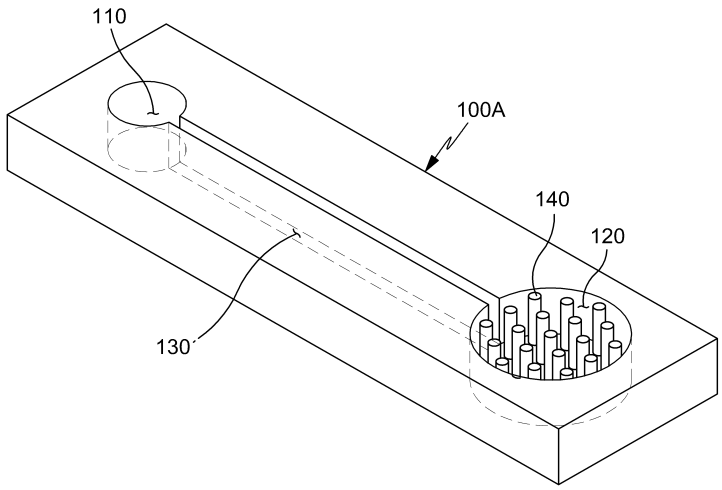
도면2b



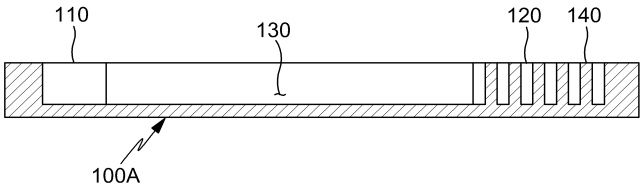

도면3



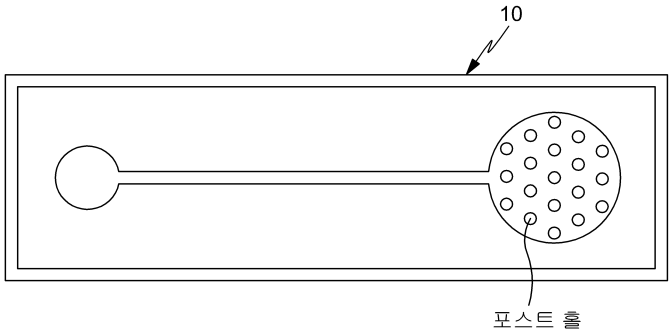

도면4a



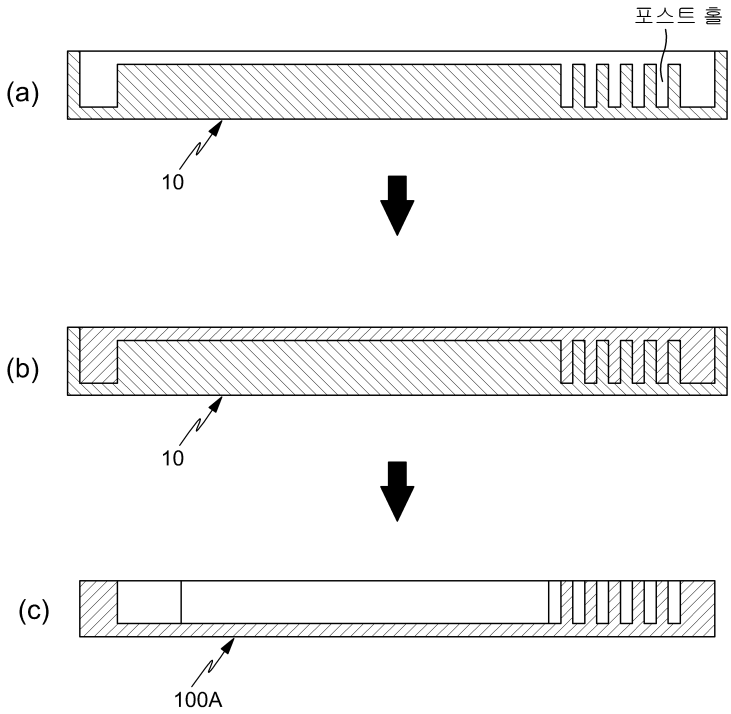

도면4b



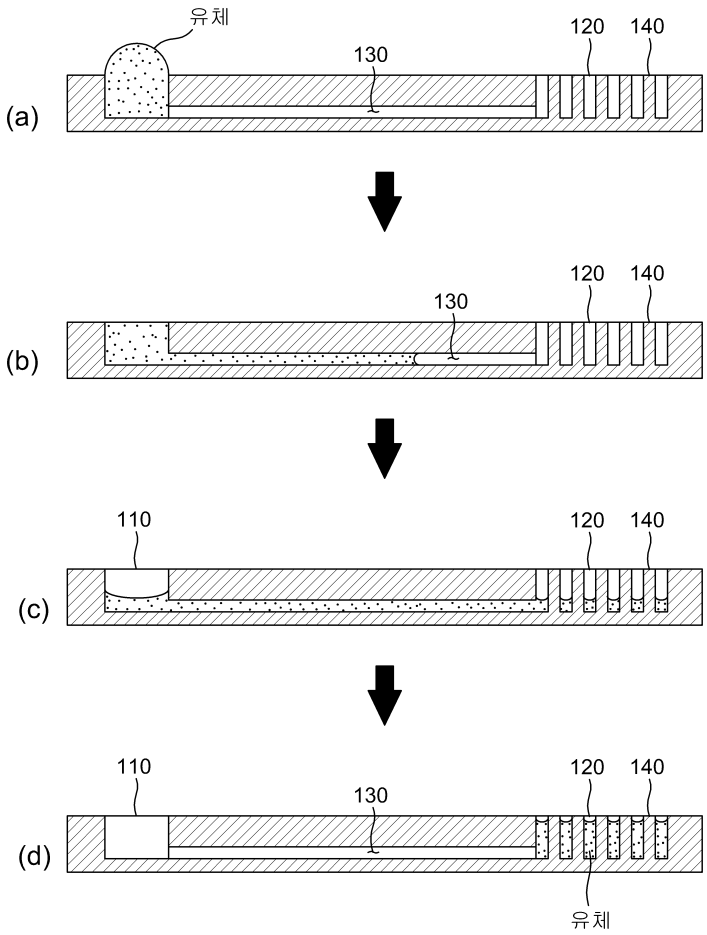
도면5



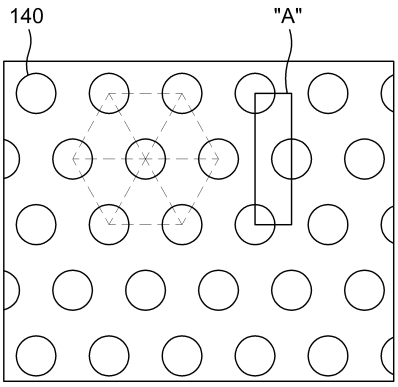

도면6



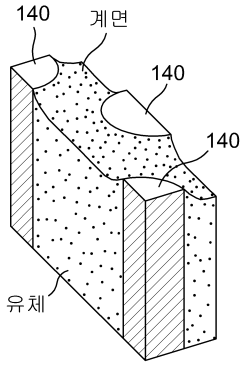
도면7


유체
130
120
140
(a)
130
120
140
(b)
110
120
140
(c)
110
130
120
140
(d)
유체

도면8


140
"A"

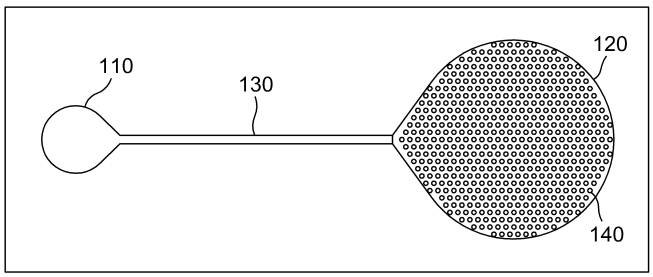
도면9a



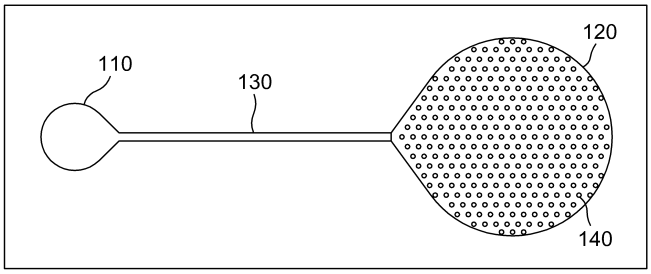

도면9b



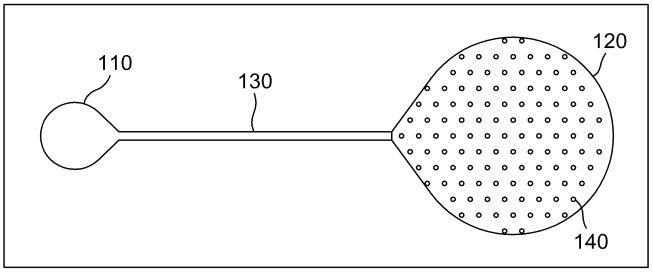
도면10a



도면10b




도면10c




도면11

