



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년02월11일  
 (11) 등록번호 10-1360404  
 (24) 등록일자 2014년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 35/10 (2006.01) G01N 27/00 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0046284  
 (22) 출원일자 2012년05월02일  
 심사청구일자 2012년05월02일  
 (65) 공개번호 10-2013-0123115  
 (43) 공개일자 2013년11월12일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR100602811 B1  
 KR100801670 B1  
 US20110111517 A1  
 JP2011253546 A

(73) 특허권자  
 서강대학교산학협력단  
 서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)  
 (72) 발명자  
**신관우**  
 서울 마포구 백범로 35, 화학과 (신수동, 서강대학교)  
**고효진**  
 서울 마포구 백범로 35, 화학과 (신수동, 서강대학교)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**양부현**

전체 청구항 수 : 총 9 항

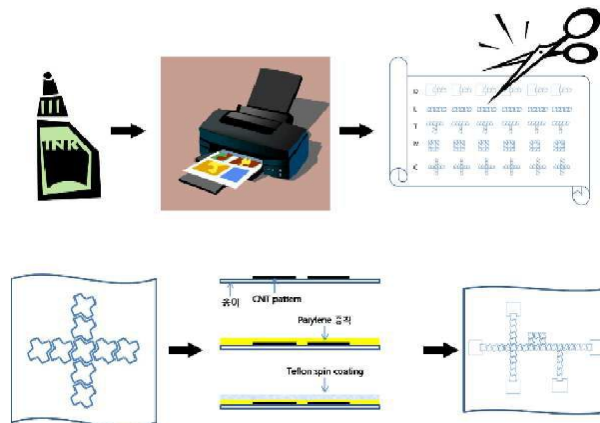
심사관 : 최성수

(54) 발명의 명칭 **잉크젯 프린팅을 이용한 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작방법**

**(57) 요약**

본 발명은 (a) 전도성 잉크(conductive ink) 및 잉크젯 프린팅을 이용하여 기관에 전극 패턴을 인쇄하는 단계; (b) 상기 인쇄된 전극 패턴을 절단하는 단계; 및 (c) 상기 절단된 전극 패턴을 조립하여 모듈형 마이크로유체 칩을 제작하는 단계를 포함하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법에 관한 것이다. 본 발명의 방법은 종래의 패터닝제 또는 패터닝 장치를 이용하는 인쇄 회로 기판 제작 방식과 달리 잉크젯 프린터를 이용한 간편한 인쇄과정을 거칠 뿐이며, 이로써 패터닝 방법을 간소화하고 전극 패턴의 조립 형태에 따라 다양한 종류의 칩을 제작할 수 있고, 따라서 본 발명의 방법을 이용하여 저가의 경제적이고 활용성 높은 마이크로유체 칩을 제공할 수 있다.

**대표도** - 도3



(72) 발명자

**권오선**

서울 마포구 백범로 35, 화학과 (신수동, 서강대학교)

**김한수**

서울 마포구 백범로 35, 화학과 (신수동, 서강대학교)

**최재학**

대전 유성구 유성대로783번길 38, 106동 202호 (장대동, 월드컵패밀리타운)

**이병노**

서울 마포구 백범로 35, 화학과 (신수동, 서강대학교)

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

다음 단계를 포함하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법:

- (a) 전도성 잉크(conductive ink) 및 잉크젯 프린팅을 이용하여 기판에 전극 패턴을 인쇄하는 단계;
- (b) 상기 인쇄된 전극 패턴을 절단하는 단계;
- (c) 상기 절단된 전극 패턴을 조립하여 모듈형 마이크로유체 칩을 제작하는 단계; 및
- (d) 상기 모듈형 마이크로유체 칩의 전극 패턴 상에 보강 재료를 코팅하는 단계.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 전도성 잉크는 금속 잉크, 세라믹 잉크 또는 분자 잉크인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 세라믹 잉크는 탄소나노튜브(CNT) 잉크인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 단계 (c) 이후에 상기 전극 패턴 상에 절연층을 형성하기 위하여 절연체를 증착시키는 단계를 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 절연체는 유리, 자기(porcelain) 또는 폴리머 조성물인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 폴리머 조성물은 파릴렌인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 7

삭제

### 청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 보강 재료는 폴리테트라플루오로에틸렌인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

### 청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 기판은 종이 또는 필름인 것을 특징으로 하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법.

**청구항 10**

제 1 항 내지 제 6 항 및 제 8 항 내지 제 9 항의 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법 중 어느 한 항의 방법에 의해 제작된 모듈형 마이크로유체 종이 칩.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 잉크젯 프린팅을 이용한 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 기존의 디지털 마이크로유체칩은 유리나 실리콘 기판 위에서 포토리소그래피(photolithography)와 에칭(etching) 등의 복잡한 제작과정을 거치며(R. B. Fair, *Microfluid Nanofluid*, 3:245281(2007)), 이때 사용되는 장비와 화학 물질들은 고가일 뿐만 아니라 인체와 환경에 매우 유해하다. 대부분의 디지털 마이크로유체칩은 폐쇄 시스템(closed system)으로(Robert J. Linhardt et al., *J. AM. CHEM. SOC.*, 131:11041-11048(2009)) 칩 위에서 여러 가지 반응 뒤에 결과물 분석을 위해서는 커버 플레이트(cover plate)를 제거해야 하는 단점이 있었다. 개방 칩 시스템(open chip system)(Abdelgawad, Park, and Wheeler J. *Appl. Phys.*, 105:094506(2009)) 역시 제작 과정에서는 전극 패턴을 제작하는 과정에서 기존의 방법들을 사용하기 때문에 같은 문제점들이 발생한다.

[0003] 전기습윤법(Electrowetting)으로 유체의 움직임은 전기로 제어할 수 있으며, 이를 이용한 것이 디지털 마이크로유체칩이다. 전기습윤현상이란 쉽게 말해 전기로 표면장력이 바뀌는 현상이다. 이 현상은 1870년 가브리엘 리프만(Gabriel Lippmann, 1845~1921)에 의해 처음 발견되었다. 유리관에 물을 담으면 유리관 벽은 중심부보다 물의 높이가 더 높는데 이는 물과 유리관 벽 사이의 표면장력 때문이다. 그런데 유리관 대신 금속관을 쓰고 전기를 걸면 벽을 따라 올라오는 물의 높이가 더 높아진다. 전기로 표면장력이 더욱 세졌기 때문이다. 리프만은 이를 ‘전기모세관’ 현상이라고 불렀지만 그 뒤로 1백 년간 이 기술은 별다른 빛을 보지 못했다. 전기모세관 현상은 1V 이하의 낮은 전압에서만 일어났고, 이보다 높은 전압을 걸면 물이 산소와 수소로 분해되어 버렸다. 이후 1990년 높은 전압으로도 표면장력을 제어할 수 있는 전기습윤현상이 발견되었다. 프랑스 브루노 버지(Bruno Berge) 박사는 금속관을 얇은 절연체로 씌운 뒤 그 위에 물을 한 방울 떨어뜨렸다. 다음에 금속관과 물방울에 전기를 걸자 전압이 높아질수록 물방울이 얇게 퍼졌다. 이 방법을 쓰자 수십 V의 높은 전압에서도 물방울의 모양을 바꾸는 것이 가능해졌다.

[0004] 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT)란, 탄소 6개로 이루어진 육각형들이 서로 연결되어 관 모양을 이루고 있는 신소재로서, 1991년 일본전기회사(NEC) 부설 연구소의 이치마 스미오[飯島澄男] 박사가 전기방전법을 사용하여 흑연의 음극상에 형성시킨 탄소덩어리를 분석하는 과정에서 발견하였다. 형태는 탄소 6개로 이루어진 육각형 모양이 서로 연결되어 관 모양을 이루고 있다. 관의 지름이 수~수십 나노미터에 불과하여 탄소나노튜브라고 일컬어지게 되었다. 나노미터는 10억 분의 1 m로 보통 머리카락의 10만 분의 1 굵기이다. 탄소나노튜브는 전기 전도도가 구리와 비슷하고, 열전도율은 자연계에서 가장 뛰어난 다이아몬드와 같으며, 강도는 철강보다 100배나 뛰어나다. 탄소섬유는 1%만 변형시켜도 끊어지는 반면 탄소나노튜브는 15%가 변형되어도 견딜 수 있다. 이 물질이 발견된 이후 과학자들은 합성과 응용에 심혈을 기울여왔는데, 반도체와 평판 디스플레이, 배터리, 초강력 섬유, 생체 센서, 텔레비전 브라운관 등 탄소나노튜브를 이용한 장치가 수없이 개발되고 있다.

[0005] 대한민국 등록특허 제10-0523765호는 유기초분자의 나노패턴을 이용한 탄소나노튜브 어레이의 제작방법을 제공한다. 보다 상세하게는 기판 상에 유기 초분자 박막을 형성시킨 다음, 열처리에 의해 유기분자들의 자기조립(self-assembly)을 유도하고, 이에 따라 형성된 일정한 유기 초분자 구조에 UV를 조사하여 구멍모양의 나노패턴을 형성한 후, 상기 나노패턴에 탄소나노튜브(CNT)를 배열하는 것을 특징으로 하는 CNT 어레이를 제작하는 방법에 관한 것이다. 상기 발명은 CNT 칩의 제작과정에 있어서 유기 초분자의 자기조립과 UV 에칭을 이용하여 패턴을 형성한 후 상기 패턴에 CNT를 결합 또는 배열시키는 방식으로 패터닝을 하므로, 본 발명과 비교하여 패터

닝의 형성과정이 복잡하고, 추가적으로 UV 에칭을 이용하여야 한다는 단점이 있다.

[0006] 대한민국 공개특허 제10-2011-0060028호는 탄소나노튜브-고분자 복합체 및 이를 이용하여 기판에 탄소나노튜브를 특정 방향으로 직접 패터닝하는 방법을 제공한다. 보다 상세하게는 탄소나노튜브 분산용액, 계면활성제 및 점성을 가지는 고분자 용액을 포함하는 기판에 특정 방향으로 배향성을 가지는 패터닝을 형성하기 위해, 탄소나노튜브-고분자 복합체 및 상기 고분자 복합체를 이용하여 기판에 탄소나노튜브를 특정 방향으로 직접 패터닝하는 방법을 제공한다. 상기 발명은 탄소나노튜브를 흡착하는 방법으로서 황산/과산화수소 혼합용액 또는 UV/오존 처리를 하고, 탄소나노튜브-고분자 복합체에서 고분자 부분을 별도의 화학적 처리를 통해 제거함으로써 기판에 패터닝하므로, 본 발명의 패터닝 방법과 비교하여 그 과정이 복잡하고, 추가적인 화학공정이 필요하다는 단점이 있다.

[0007] 상기 기존 디지털 마이크로유체칩의 문제점들 때문에 종이와 같이 경제적이면서도, 복잡한 제작공정을 단순화하며, 여러 가지 합성 등의 공정에 활용할 수 있는 새로운 기술의 개방형 칩(open chip)을 기반으로 한 디지털 마이크로유체 칩 기술의 개발이 절실히 요구된다. 본 발명은 전도성 잉크인 탄소나노튜브 잉크 및 잉크젯 프린팅을 이용한 다양한 형태의 패턴을 프린트하여 이를 절단 및 결합시킨 경제적인 모듈형 미세유체칩(Modular microfluidic chip)에 관한 것으로서 경제적이고 활용도가 높은 모듈형 마이크로유체 칩을 제공하여 상기 문제점들을 해결하고자 한다.

[0008] 본 명세서 전체에 걸쳐 다수의 논문 및 특허문헌이 참조되고 그 인용이 표시되어 있다. 인용된 논문 및 특허문헌의 개시 내용은 그 전체로서 본 명세서에 참조로 삽입되어 본 발명이 속하는 기술 분야의 수준 및 본 발명의 내용이 보다 명확하게 설명된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 본 발명자들은 저가의 경제적이고 실용적이며 간편한 방법으로 제작할 수 있는 마이크로유체 칩을 개발하고자 예의 연구 노력하였다. 그 결과, 탄소나노튜브(CNT) 잉크 및 잉크젯 프린팅을 이용해 다양한 형태의 전극 패턴(patterns)을 프린트한 후 이를 절단 및 결합시킨 모듈형 마이크로유체(microfluidic) 종이 칩을 개발하였다. 본 발명의 마이크로유체 종이 칩은 한 장의 종이에 다양한 모양의 전극 패턴을 한 번에 인쇄하고 필요한 패턴들을 잘라 이어붙일 수 있는 조립식 종이 칩으로서, 종래의 패턴링제 또는 패턴링 장치를 이용하는 인쇄 회로 기판 제작 방식과 달리 잉크젯 프린터를 이용한 간편한 인쇄과정을 거칠 뿐이며, 이로써 패턴링 방법을 간소화하고 전극 패턴의 조립 형태에 따라 다양한 종류의 칩을 제작할 수 있어 경제성 및 활용성이 우수하다.

[0010] 따라서 본 발명의 목적은 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작방법을 제공하는데 있다.

[0011] 본 발명의 다른 목적은 모듈형 마이크로유체 종이 칩을 제공하는데 있다.

[0012] 본 발명의 다른 목적 및 이점은 하기의 발명의 상세한 설명, 청구범위 및 도면에 의해 보다 명확하게 된다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 양태에 따르면, 본 발명은 다음 단계를 포함하는 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법을 제공한다:

[0014] (a) 전도성 잉크(conductive ink) 및 잉크젯 프린팅을 이용하여 기판에 전극 패턴을 인쇄하는 단계;

[0015] (b) 상기 인쇄된 전극 패턴을 절단하는 단계; 및

[0016] (c) 상기 절단된 전극 패턴을 조립하여 모듈형 마이크로유체 칩을 제작하는 단계.

[0017] 본 발명자들은 저가의 경제적이고 실용적이며 간편한 방법으로 제작할 수 있는 마이크로유체 칩을 개발하고자 예의 연구 노력하였다. 그 결과, 탄소나노튜브(CNT) 잉크 및 잉크젯 프린팅을 이용해 다양한 형태의 전극 패턴(patterns)을 프린트한 후 이를 절단 및 결합시킨 모듈형 마이크로유체(microfluidic) 종이 칩을 개발하였다. 본 발명의 마이크로유체 종이 칩은 한 장의 종이에 다양한 모양의 전극 패턴을 한 번에 인쇄하고 필요한 패턴

들을 잘라 이어붙일 수 있는 조립식 종이 칩으로서, 종래의 패터닝제 또는 패터닝 장치를 이용하는 인쇄 회로 기판 제작 방식과 달리 잉크젯 프린터를 이용한 간편한 인쇄과정을 거칠 뿐이며, 이로써 패터닝 방법을 간소화 하고 전극 패턴의 조립 형태에 따라 다양한 종류의 칩을 제작할 수 있어 경제성 및 활용성이 우수함을 확인하였다.

[0018] 전기습윤법(electrowetting)으로 물방울의 움직임은 전기로 제어할 수 있으며, 이를 이용한 것이 디지털 마이크로유체 칩(digital microfluidic chip)이다. 이때 필요한 전극을 손쉽게 잉크젯 프린터와 전도성 잉크를 이용하여 종이 위에 인쇄하고 다양한 모양의 칩을 조립하는 것이 본 발명의 핵심이다. 디지털 마이크로유체 칩을 만들기 위해서는 다양한 모양의 전극 패턴을 만드는 것이 중요한데, 일반적으로는 포토리소그래피(photolithography)와 같은 복잡한 공정이 요구된다. 그러나 본 발명에서는 여러 가지 전도성 잉크 중 CNT 잉크를 이용하여 잉크젯 프린터로 종이 위에 여러 가지 모양의 패턴을 한 번에 인쇄할 수 있고, 또한 뽑아낸 패턴을 필요한 부분만 잘라내서 원하는 모양의 칩을 손쉽게 제작할 수 있도록 하였다.

[0019] 아래에서 이와 같은 본 발명의 모듈형 마이크로유체 칩의 제작방법에 대하여 구체적으로 설명한다:

[0020] 단계 (a): 전극 패턴의 인쇄

[0021] 우선, 전도성 잉크(conductive ink) 및 잉크젯 프린팅을 이용하여 기판에 전극 패턴을 인쇄한다.

[0022] 본 발명에서 사용되는 잉크젯 프린팅(inkjet printing)은 컴퓨터의 대표적인 출력 장치인 프린터 장치 중 압전 헤드(piezo electric head)를 사용하는 프린터로, 용지 상에 잉크를 분사함으로써 문자를 형성한다. 즉, 전하(轉荷)한 잉크 입자를 발산시켜 이것을 글자형과 글자 위치에 따라 제어된 전압을 가한 편향판(偏向板)에 따라 편향시키면서 지면(紙面)에 쳐서 붙여 인자(印字)하는 방식의 프린터이다. 잉크는 처음에 잉크 헤드에 주입되어 있고 수정 발전기 작용에 따라 입자 모양으로 발사되어 점차로 지면에 쳐서 붙여져 도트 매트릭스 자형이 표현된다.

[0023] 본 발명의 명세서에서 용어 “전도성 잉크(conductive ink)”는 분말 또는 조각상태의 은 및 탄소와 같은 전도성 물질을 포함하고 있으며, 종이 또는 필름 등과 같은 다양한 고체 기판(substrate)상에 그려지거나 프린트될 수 있는 물질들을 포함하는 잉크를 의미한다. 전도성 잉크는 예컨대 금속 잉크(예컨대 금, 은, 동, 니켈, 금, 플라티늄, 구리 및 팔라듐), 세라믹 잉크(예컨대, 금속산화물 및 탄소소(또는 탄소나노튜브)) 및 분자 잉크(예컨대, 특수 유기물 및 고분자 재료)를 포함하며, 이에 한정되지 않는다.

[0024] 본 발명의 방법에 사용될 수 있는 전도성 잉크(conductive ink)는 전극으로 사용되기 위해 일정량 이상의 전도도가 요구되며, 바람직하게는 상기 전도성 잉크는 탄소나노튜브(CNT)이다. 상기 탄소나노튜브는 알루미늄과 구리와 같이 비교적 전기전도성이나 비저항이 우수한 금속 물질 보다 더 우수한 전기적 성질을 가진다. 따라서 이러한 탄소나노튜브를 도전성 물질로 이용할 경우, 전기적 저항을 줄일 수 있고 열전도도 역시 우수하여 인쇄회로기판 내부의 열을 효과적으로 외부로 방출할 수 있는 장점이 있다.

[0025] 상기 탄소나노튜브는 예컨대, 단일벽 탄소나노튜브, 이중벽 탄소나노튜브, 다중벽 탄소나노튜브 및 다발형탄소나노튜브를 포함하고, 바람직하게는 다중벽 탄소나노튜브 이다. 상기 다중벽 탄소나노튜브 전극은 일반 A4 용지 위에서 1 kΩ/sq (square)의 저항을, 사진 인쇄용지 위에서 200 Ω/sq의 저항 값을 나타낸다.

[0026] 상기 전도성 잉크는 적합한 용매, 전도성 물질, 접착증진제(adhesive improver), 환원제 또는 커플링제(coupling agent) 등을 사용하여 제작할 수 있다. 상기 용매는 글리시딜 에테르류, 글리콜 에테르류, 식물성 기름, 알파-테르피네올 또는 NMP(N-메틸-2-피롤리돈pyrrolidone)를 사용할 수 있으며 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 접착증진제는 아크릴계 수지 또는 비닐계 수지를 사용할 수 있으며, 비닐계 수지를 이용하는 경우 실란(silane) 화합물을 포함하는 혼합물을 사용할 수 있다. 상기 환원제는 전도성 물질이 산화될 때 이를 환원시킴으로써 전기 도전성이 떨어지는 것을 방지하는 역할을 하며, 예컨대 히드라진계 환원제 또는 알데하이드계 환원제를 포함한다. 상기 히드라진계 환원제는 히드라진, 히드라진 수화물, 히드라진 설페이트, 히드라진 카보네이트 및 히드라진 하이드로클로라이드를 포함하고, 알데하이드계 환원제는 포름알데하이드, 아세트알데하이드, 프로피온 알데하이드를 포함하며 이에 한정되는 것은 아니다.

[0027] 본 발명의 구체적인 일 실시예에 따르면, 다양한 CNT 전극 패턴을 잉크젯 프린터로 인쇄하기 위해 다중벽(multiwall) CNT에 분산제를 넣고 볼밀링(ball milling) 작업을 통해 물에 고르게 분산된 CNT 잉크를 만들 수 있다. 포토샵 또는 CAD 등과 같은 프로그램을 이용하여 전극 패턴의 도면을 그리고 원하는 모양의 전극을 일

반 A4용지 또는 사진 인화용지에 인쇄한 후, 상기 인쇄된 전극 패턴을 절단 도구를 사용하여 자른 뒤, 상기 패턴들을 다양한 모양으로 조립함으로써 원하는 형태로 패터닝(patterning)할 수 있다.

- [0028] 본 발명의 명세서에서 용어 “전극 패턴”은 전압을 가했을 때 유체(fluid)가 이동할 수 있는 경로를 구성하는 일 단위의 모양을 의미하며, 상기 전극 패턴은 다양한 모양으로 제작될 수 있다.
- [0029] 본 발명의 구체적인 일 실시예에 따르면, 디지털 마이크로유체 칩을 만들기 위해 상기 전극 패턴은 다양한 형태로 제작될 수 있으며, 예컨대 (i) 물방울이 처음 만들어지는 시작점(dispensing), (ii) 물방울들이 직선으로 나열된 전극 위에서 선형 움직임(linear transport), (iii) 여러 개의 방울이 만나서 합쳐지는 것(merging), (iv) 합쳐진 방울이 움직임에 의해 섞이는 것(mixing) 또는 (v) 여러 개의 방울이 만나서 합쳐지거나 교차되는 것(crossing)의 형태로 제작될 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0030] 본 발명의 마이크로유체 칩의 특징 중 하나는 취급 및 절단이 용이한 고상 기판을 사용하여 다양한 전자 패턴을 용이하게 얻을 수 있다. 상기 기판은 당업계에서 이용되는 다양한 고상 기판을 이용할 수 있으며, 예컨대 취급이 용이한 종이(예: 일반 A4 용지, 사진 인화용지), 필름(예: OHP 필름) 또는 플라스틱 시트를 포함하며, 바람직하게는 상기 기판은 종이 또는 필름이며, 보다 바람직하게는 종이이다.
- [0031] 단계 (b): 인쇄된 전극 패턴의 절단
- [0032] 이어, 상기 단계 (a)에서 인쇄된 전극 패턴을 적합한 기구를 사용하여 절단한다.
- [0033] 본 발명의 구체적인 일 실시예에 따르면, 상기 전극 패턴은 종이 위에 인쇄되므로, 당업계에 공지된 다양한 절단 도구, 예컨대 가위, 절단기 등을 이용하여 쉽게 절단할 수 있다. 상기 전극 패턴을 OHP 필름에 인쇄한 경우에도 가위로 절단할 수 있다.
- [0034] 단계 (c): 전극 패턴의 조립
- [0035] 상기 절단된 전극 패턴을 조립하여 모듈형 마이크로유체 칩의 회로를 패터닝(patterning)한다.
- [0036] 본 발명의 명세서에서 용어 “패터닝(patterning)”은 상기 절단된 전극 패턴을 이용하여 원하는 형태의 회로를 구성하는 것을 의미한다.
- [0037] 본 발명의 바람직한 구현예에 따르면, 상기 단계 (c) 이후에 상기 전극 패턴 상에 절연층을 형성하기 위하여 추가적으로 절연체를 증착시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0038] 상기 절연체는 유리, 자기(porcelain) 또는 폴리머 조성물을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 폴리머 조성물이다. 절연체로서 폴리머 조성물을 사용하는 경우 파릴렌을 사용할 수 있으며, 예컨대 파릴렌 N, 파릴렌 C, 파릴렌 D, 파릴렌 F를 사용할 수 있으며, 바람직하게는 파릴렌 C이다.
- [0039] 본 발명의 다른 바람직한 구현예에 따르면, 상기 단계 (c) 이후에 상기 전극 패턴 상에 추가적으로 보강 재료를 코팅하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 코팅층은 스핀 코팅, 스프레이 코팅 또는 프린팅에 의하여 복수의 칩들 표면의 적어도 일부 영역에 형성될 수 있다. 또한 상기 코팅층은 물리적 기상 증착법(physical vapor deposition), 화학적 기상 증착법(chemical vapor deposition) 또는 도금(electroplating)에 의하여 복수의 칩들 표면의 적어도 일부 영역에 형성될 수 있다.
- [0040] 상기 보강 재료는 본 발명의 마이크로 유체 종이 칩을 사용하는 과정 중 열, 압력 등에 견딜 수 있도록 하는 기능을 하며, 당업계에 공지된 다양한 물질을 사용할 수 있다. 바람직하게는 폴리테트라플루오로에틸렌이다.
- [0041] 상술한 본 발명의 방법은 (a) 전극 패턴의 인쇄, (b) 전극 패턴의 절단, 및 (c) 전극 패턴의 조립 등을 각각의 단계로서 실시하는 것으로 표현되어 있으나, 좀 더 빠른 시간 내에 마이크로유체 종이 칩을 제작하기 위하여, 단계 (a)에서 전극 패턴의 도면을 작성할 당시 조립 또는 패터닝이 완성된 형태로서 인쇄할 수도 있다. 하기 실시예에 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작방법에 대해 자세히 개시하고 있으며, 본 발명의 명세서 도 3에 대략적인 방법을 도시하였다.
- [0042] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 본 발명은 상기 본 발명의 방법에 의해 제작된 모듈형 마이크로유체 종이 칩을

제공한다.

- [0043] 본 발명의 모듈형 마이크로유체 종이 칩은 상술한 본 발명의 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작방법을 이용한 것으로서, 이 둘 사이에 공통된 내용은 본 명세서의 과도한 복잡성을 피하기 위하여, 그 기재를 생략한다.
- [0044] 상기 모듈형 마이크로유체 종이 칩에는 전극 패턴 및 유체를 수용할 수 있는 유체를 수용하고, 유체의 흐름(flow)이 이루어지는 전극 패턴이 포함된다. 본 발명의 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 전극 패턴에 유체를 떨어뜨리고 전압을 걸어주면, 도 4에서와 같이 칩 표면에서 물방울의 움직임을 조절할 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 균일화된 다양한 전극 패턴을 이용하여 여러 단계의 화학 합성 등에 활용 수 있다. 본 발명의 구체적인 일 실시예에 따르면, 본 발명의 모듈형 마이크로유체 종이 칩은 나노입자 합성용도로 사용할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0045] 본 발명의 특징 및 이점을 요약하면 다음과 같다:
- [0046] (a) 본 발명은 한 장의 종이에 다양한 모양의 전극 패턴을 한 번에 인쇄하고 필요한 패턴들을 잘라 이어붙일 수 있는 조립식 종이 칩에 관한 것이다.
- [0047] (b) 본 발명의 방법은 종래의 패터닝제 또는 패터닝 장치를 이용하는 인쇄 회로 기판 제작 방식과 달리 잉크젯 프린터를 이용한 간편한 인쇄과정을 거칠 뿐이며, 이로써 패터닝 방법을 간소화하고 전극 패턴의 조립 형태에 따라 다양한 종류의 칩을 제작할 수 있다.
- [0048] (c) 따라서 본 발명의 방법을 이용하여 저가의 경제적이고 활용성 높은 마이크로유체 칩을 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0049] 도 1은 전기습윤법의 원리를 나타내는 모식도이다.  $\theta(V)$ 는 전압 V인 경우의 접촉각을 의미한다.
- 도 2는 탄소나노튜브(CNT) 잉크를 이용한 종이 칩에서의 접촉각 측정결과를 나타낸 것이다.
- 도 3은 잉크젯 프린팅을 이용한 모듈형 마이크로유체 종이 칩의 제작과정을 모식적으로 나타낸 것이다.
- 도 4는 나열된 전극 위에서의 물방울의 움직임을 모식적으로 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 종이 칩 제작에 사용한 5가지 전극 패턴의 모식도이다.
- 도 6은 CMT 칩의 조립 예를 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0050] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 요지에 따라 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에 있어서 자명할 것이다.

[0051] **실시예**

[0052] **1. 탄소나노튜브(CNT) 잉크의 제작**

- [0053] 전극 패턴을 인쇄하기 위해 CNT를 이용하여 잉크를 제작하였고, 종이 위에 인쇄한 후 전극으로 사용하였다. 상기 CNT 전극을 잉크젯 프린터로 인쇄하기 위해 먼저 다중벽(multiwall) CNT에 분산제를 넣고 볼밀링(ball milling) 작업을 통해 물에 고르게 분산된 CNT 잉크를 만들었다. 전극으로 사용하기 위해서는 일정량 이상의 전도도가 요구되는데, 본 발명에서는 CNT 전극은 일반 A4 용지 위에서 1 k $\Omega$ /sq의 저항을, 사진 인화용지 위에서 200  $\Omega$ /sq의 저항 값을 얻어 전극으로 사용하기에 충분한 전도도를 보였다.

[0054] **2. 탄소나노튜브(CNT) 잉크를 이용한 디지털 마이크로 유체 종이 칩의 DLTC 패턴 제작**



[0055] 디지털 마이크로 유체 종이 칩의 제작에 사용할 전극 패턴을 제작하기 위하여 포토샵이나 CAD 등과 같은 프로그램을 이용하여 도면을 그리고, 원하는 모양의 전극을 일반 A4용지 또는 사진 인화용지에 잉크젯 프린터 및 상기 CNT 잉크를 이용하여 수십  $\mu\text{m}$  해상도로 인쇄하였다.

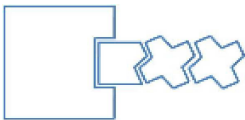

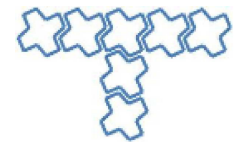
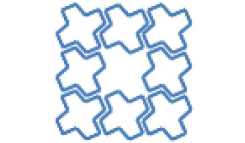
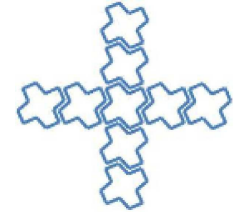
[0056] 이후, 인쇄된 종이에서 필요한 만큼의 전극 패턴을 잘라내어 패터닝(patterning)을 한 후, 그 위에 절연층을 씌우기 위해 파릴렌 C(parylene C)를 증착시키고 테플론(Teflon) AF1600을 스피코팅(spin coating)해주었다. 상기 파릴렌 C 및 테플론이 증착된 종이 칩의 전극 패턴 상에 물방울을 떨어뜨리고 전압(V)을 걸어준 경우, 도 4에서와 같이 칩 표면에서 물방울의 움직임을 조절할 수 있음을 확인하였다.

[0057] 한편, 디지털 마이크로유체 칩을 만들기 위해서는 물방울이 처음 만들어지는 시작점(dispensing), 물방울들이 직선으로 나열된 전극 위에서 선형 움직임(linear transport), 여러 개의 방울이 만나서 합쳐지는 것(merging), 합쳐진 방울이 움직임에 의해 섞이는 것(mixing) 등의 움직임이 가능해야 하므로, 본 발명에서는 총 5가지 종류의 전극 패턴을 한 장의 종이에 인쇄하여 표 1과 같은 DLTMC 패턴을 제작하였다.

표 1

DLTMC 패턴

[0058]

이름	패턴	용도
D		디스펜싱(Dispensing): 반응에 필요한 용액이 처음에 방울(drop)로 형성되어 나오는 시작점
L		선형 수송(Linear transport): 물방울(또는 용액)이 전극을 따라 직선으로 움직이게 하는 길
T		합류(Merging): 양쪽에서 온 방울이 하나로 합쳐지는 T자형 지점
M		혼합(Mixing): 방울이 사각형 모양의 전극을 돌면서 내부에서 용액이 섞임
C		교차(Cross): 여러 개의 방울이 만나서 합쳐지거나(Merging) 방울이 움직이는 방향을 여러 가지로 만들어줌

[0059]

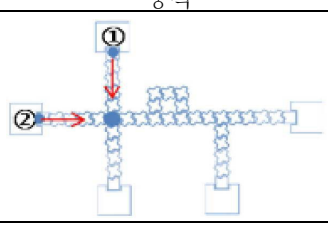
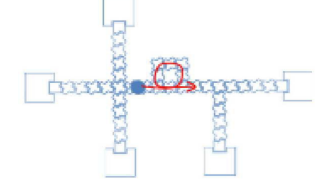
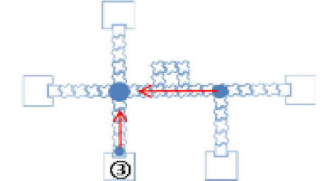
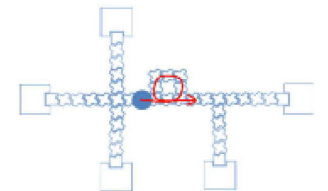
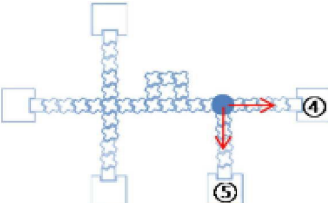
[0060] 3. CMT 패턴을 결합한 모듈칩 및 이를 이용한 금 나노입자의 합성

[0061] 상기 표 1에서 패턴 D 5개와 패턴 C, M, T를 각각 하나씩 사용하여 CMT 패턴을 결합한 모듈칩을 조립하였다. 상기 패턴 및 3 종류의 용액( $\text{HAuCl}_4$ ,  $\text{NaBH}_4$ , 리신)을 이용하여 금(gold) 나노입자를 합성하였다. 도 5는 CMT 패턴을 결합한 모듈칩의 조립 예를 나타낸 것이며, 표 2는 CMT 패턴을 결합한 모듈칩 상에서 유체의 이동경로에 따른 각 지점에서의 동작 및 금 나노입자의 형성 단계를 나타낸다.

표 2

[0062]

금 나노입자의 형성

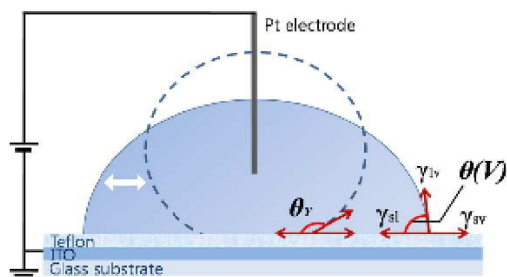
단계	동작	설명
1		①로부터의 $\text{HAuCl}_4$ 용액과 ②로부터의 $\text{NaBH}_4$ 용액이 만나 + 모양에서 합쳐짐
2		만남 용액이 □ 모양의 패턴을 돌면서 섞임(콜로이드성 금 나노입자가 형성됨)
3		③에서 캡핑(capping) 시약인 리신용액이 나와 단계 2의 용액과 만남
4		단계 3에서 만들어진 방울이 □ 모양의 패턴을 돌면서 섞임
5		캡핑된 금 나노입자 용액이 ④로 이동하여 다른 장치와 연동함으로써 검출됨. 필요없는 부산물은 ⑤로 이동

[0063]

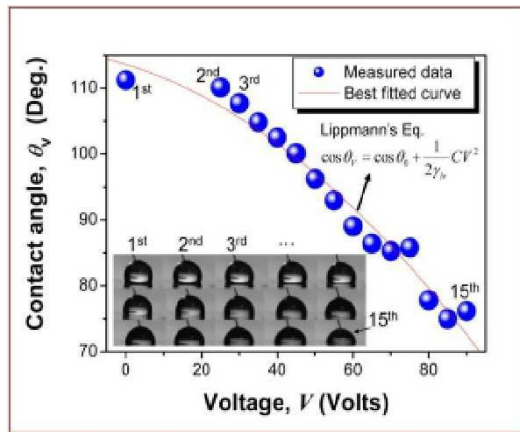
이상으로 본 발명의 특정한 부분을 상세히 기술하였는 바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 구현 예일 뿐이며, 이에 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백하다. 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항과 그의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

도면

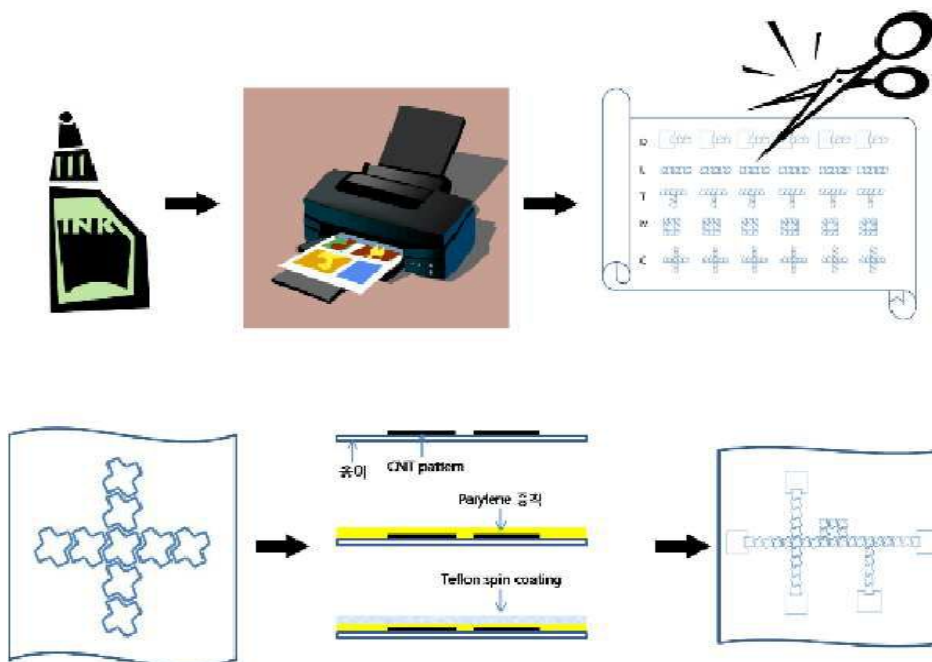
도면1



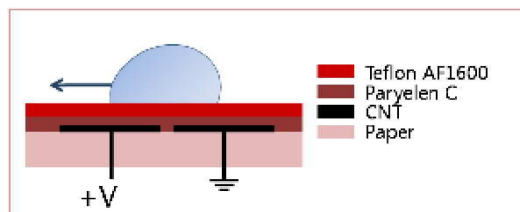
도면2



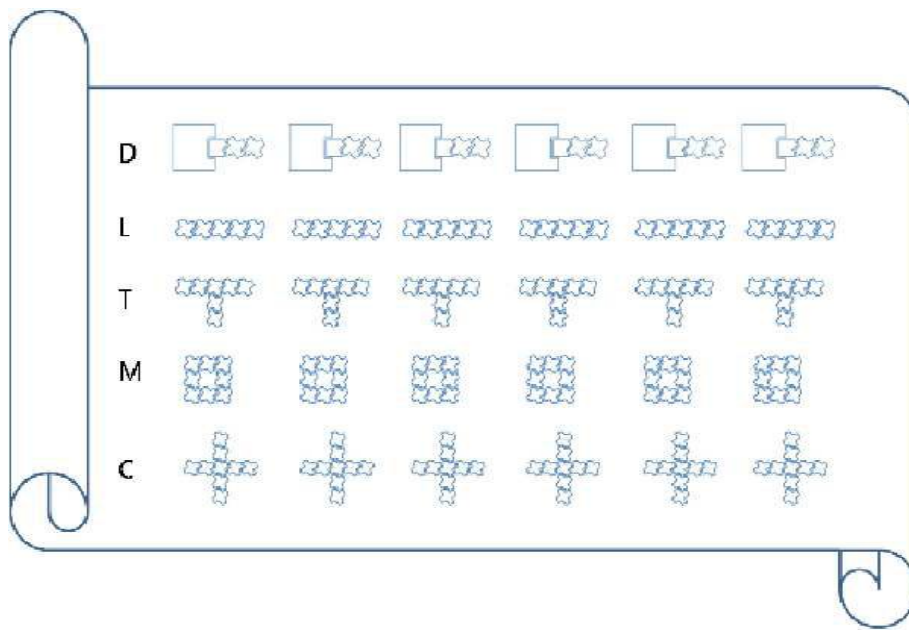
도면3



도면4



도면5



도면6

