



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년08월27일  
(11) 등록번호 10-1300570  
(24) 등록일자 2013년08월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/283 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)  
B82Y 40/00 (2011.01)  
(21) 출원번호 10-2007-0052802  
(22) 출원일자 2007년05월30일  
심사청구일자 2012년02월01일  
(65) 공개번호 10-2008-0105338  
(43) 공개일자 2008년12월04일  
(56) 선행기술조사문헌  
US20010007783 A1\*  
KR1020050086161 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
삼성전자주식회사  
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)  
(72) 발명자  
최준희  
경기도 성남시 분당구 미금일로 58, 신원아파트  
305-103 (구미동, 까치마을)  
줄카니브, 안드레이  
경기도 수원시 팔달구 매탄동 동남아파트 1동 71  
0호  
(74) 대리인  
김 순 영

전체 청구항 수 : 총 27 항

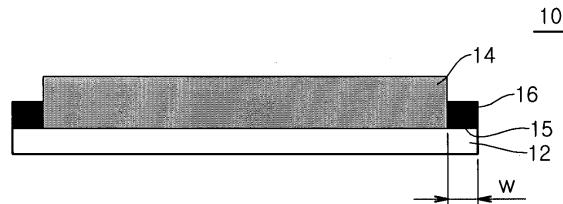
심사관 : 정구원

(54) 발명의 명칭 전극, 전자 소자, 전계 효과 트랜지스터, 그 제조 방법 및 탄소나노튜브 성장 방법

**(57) 요약**

본 발명은 전극, 이를 포함하는 전자 소자와 전계 효과 트랜지스터 및 그 제조 방법과 이들을 이용한 탄소나노튜브 성장 방법에 관한 것이다. 상기 전극은 투명 전극 층, 상기 투명 전극 층 상에 존재하는 불투명 전극 층 및 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면에 존재하는 촉매를 포함한다.

대표도 - 도1a



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

투명 전극 층; 및

상기 투명 전극 층의 표면과 접촉하는 불투명 전극 층;을 포함하는 전극이고,

상기 투명 전극 층의 표면의 일부는 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버되지 않고 부분적으로 노출되어 오픈 면을 형성하고,

상기 전극은 상기 오픈 면에 존재하는 촉매 및 상기 촉매로부터 상기 오픈 면에 평행하도록 수평 성장한 하나 이상의 탄소나노튜브;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전극.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

삭제

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 전극.

### 청구항 5

삭제

### 청구항 6

투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계;

상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면을 형성하는 제 2 단계;

상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 투명 전극 층의 후면으로부터 노광하여 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면에 있는 포토레지스트층을 현상하는 제 3 단계;

상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상의 포토레지스트층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및

상기 촉매가 형성된 포토레지스트 층을 리프트 오프하는 제 5 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전극 제조 방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 3 단계에서는, 위치에 따라 선택적으로 노광을 수행함으로써 상기 오픈 면 상의 촉매의 형성을 제어하는 것을 특징으로 하는 전극 제조 방법.

### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 선택적 노광을 위하여, 상기 제 1 단계에서 노광 차단 층을 상기 투명 전극 층 하부에 구비하는 것을 특징으로 하는 전극 제조 방법.

### 청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 전극 제조 방법은, 상기 오픈 면 상의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시키는 제 6 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전극 제조 방법.

**청구항 10**

기관; 및

상기 기관상에 구비되는 전극;을 포함하는 전자 소자로서,

상기 전극은 투명 전극 층 및 상기 투명 전극 층의 표면과 접촉하는 불투명 전극 층을 포함하는 전극이고,

상기 투명 전극 층의 표면의 일부는 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않고 부분적으로 노출되어 오픈 면을 형성하고,

상기 전극은 상기 오픈 면에 존재하는 촉매 및 상기 촉매로부터 상기 오픈 면에 평행하도록 수평 성장한 하나 이상의 탄소나노튜브를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

기관; 및 상기 기관상에 구비되는 전극;을 포함하는 전자 소자로서,

상기 전극은 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층이 존재하는 것이고, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면에 촉매가 존재하는 것이며,

상기 전자 소자에서는 상기 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층이 가열 요소이며, 상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재하는 것을 특징으로 하는 전자 소자.

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

제 10 항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 전자 소자.

**청구항 15**

제 10 항에 있어서, 상기 전자 소자는,

기관;

상기 기관상에서 서로 나란히 형성된 상기 전극인 제 1 전극 및 제 2 전극; 및

상기 제 1 전극 또는 상기 제 2 전극의 촉매로부터 수평 성장하여 상기 제 2 전극 또는 상기 제 1 전극에 연결된 탄소나노튜브;를 포함하고,

상기 제 1 전극 및 제 2 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층은 가열 요소이며,

상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재하는 것을 특징으로 하는 전자 소자.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 이격 공간은 상기 기관이 식각되어 형성된 것을 특징으로 하는 전자 소자.

**청구항 17**

제 15 항에 있어서,

상기 전자 소자에서는, 상기 기관과 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극 사이에 희생 층이 존재하고, 상기 이격 공간은 상기 희생 층이 식각되어 형성된 것이거나, 또는 상기 희생 층과 상기 기관이 함께 식각되어 형성된 것을 특징으로 하는 전자 소자.

#### 청구항 18

제 15 항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 전자 소자.

#### 청구항 19

삭제

#### 청구항 20

기관 또는 기관상에 형성된 희생 층 상에 투명 전극 층을 형성하고 상기 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계;

상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층을 패터닝하되, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 투명 전극 층 상의 오픈 면을 형성하고, 상기 기관 또는 희생 층 상의 면 중 상기 투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 기관 또는 희생 층 상의 오픈 면을 형성하는 제 2 단계;

상기 기관 또는 희생 층 상의 오픈 면, 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 기관의 후면으로부터 노광하고 현상하는 제 3 단계;

포토레지스트층이 현상된 면과 현상되지 않고 남아 있는 포토레지스트층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및

상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하거나, 또는 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 기관 또는 희생 층의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행하는 제 5 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 제 5 단계에서는, 상기 기관 또는 희생 층상의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행한 후 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행하거나, 또는 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행한 후 상기 기관 또는 희생 층상의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 22

제 20 항에 있어서,

상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 기관 또는 희생 층의 오픈 면 주위를 일부 리프트 오프한 후, 일부 리프트 오프된 기관 또는 희생 층 상에 촉매를 형성하며,

상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 일부 리프트 오프된 기관 또는 희생 층을 추가로 리프트 오프하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 23

제 20 항에 있어서,

상기 제 3 단계에서는, 위치에 따라 선택적으로 노광을 수행함으로써 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 촉매의 형성을 제어하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 선택적 노광을 위하여, 상기 제 1 단계에서 노광 차단 층을 상기 기판과 상기 투명 전극 층 사이에 구비하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

**청구항 25**

제 20 항에 있어서,

상기 제 3 단계에서, 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 포토레지스트층 만이 현상되도록 상기 기판의 후면으로부터 선택적으로 노광하고,

상기 제 5 단계에서, 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

**청구항 26**

제 20 항에 있어서,

상기 전자 소자 제조 방법은, 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시키는 제 6 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

**청구항 27**

제 26 항에 있어서,

상기 제 2 단계에서, 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층으로 이루어지는 전극 두 개가 기판상에서 서로 마주 보도록 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하고,

상기 제 1 단계 내지 제 5 단계 중 어느 하나의 단계에서, 가열 요소인 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층의 하방에서 상기 가열 요소가 하방의 부재와 이격하는 공간을 형성하며,

상기 제 6 단계에서, 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극의 투명 전극 층의 오픈 면 상에 형성된 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시켜 제 2 전극 또는 제 1 전극에 연결시키는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

**청구항 28**

제 27 항에 있어서,

상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 기판 또는 희생 층의 오픈 면 주위를 먼저 리프트 오프한 후, 리프트 오프된 기판 또는 희생 층 상에 촉매를 형성하며,

상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

**청구항 29**

기판;

상기 기판에 형성된 게이트 전극;

상기 기판상에서 상기 게이트 전극을 사이에 두고 서로 나란히 형성된 제 1 항에 의한 전극인 제 1 전극 및 제 2 전극; 및

상기 게이트 전극의 상방을 따라서 상기 제 1 전극 또는 상기 제 2 전극의 촉매로부터 수평 성장하여 상기 제 2 전극 또는 상기 제 1 전극에 연결된 탄소나노튜브;를 포함하고,

상기 제 1 전극 및 제 2 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층은 가열 요소이며,

상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재하는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터.

**청구항 30**

제 29 항에 있어서,

상기 전계 효과 트랜지스터에서, 상기 기판과 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극 사이에는 희생 층이 존재하고, 상기 이격 공간은 상기 희생 층이 식각되어 형성된 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터.

**청구항 31**

제 29 항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터.

**청구항 32**

기관상에 게이트 전극을 형성하고, 상기 게이트 전극 층 상에 희생 층을 형성하고, 상기 희생 층 상에 투명 전극 층을 형성하고, 상기 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계;

상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층을 패터닝하되, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 투명 전극 층 상의 오픈 면을 형성하고, 상기 희생 층 상의 면 중 상기 투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 희생 층 상의 오픈 면을 형성하며, 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층으로 이루어지는 전극 두 개가 기관상에서 서로 마주보도록 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하는 제 2 단계;

상기 희생 층 상의 오픈 면, 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 기관의 후면으로부터 노광하고 현상하는 제 3 단계;

포토레지스트층이 현상된 면과 현상되지 않고 남아 있는 포토레지스트층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및

상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하거나, 또는 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 기관 또는 희생 층의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행하는 제 5 단계; 및

상기 제 1 전극 또는 제 2 전극의 투명 전극 층의 오픈 면 상에 형성된 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시켜 제 2 전극 또는 제 1 전극에 연결시키는 제 6 단계;를 포함하며,

상기 제 1 단계 내지 상기 제 5 단계 중 어느 하나의 단계에서, 가열 요소인 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층의 하방에서 상기 가열 요소가 하방의 부재와 이격하는 이격 공간을 형성하는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터 제조 방법.

**청구항 33**

제 32 항에 있어서,

상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 희생 층의 오픈 면 주위를 먼저 리프트 오프한 후, 리프트 오프된 희생 층 상에 촉매를 형성하며,

상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터 제조 방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

- [0034] 본 발명은 전극, 전자 소자, 전계 효과 트랜지스터, 그 제조 방법 및 탄소나노튜브 성장 방법에 관한 것이다.
- [0035] 탄소나노튜브(carbon nanotube; CNT)는 기계적, 화학적 특성이 좋고, 수 나노미터 또는 수십 나노미터의 직경에서 마이크로미터 단위로 길게 형성시킬 수 있으며, 전기적 도전성이 우수하여 전자 소자로서의 응용성이 매우 뛰어나다.
- [0036] 탄소나노튜브를 다양한 소자에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행중이며, 트랜지스터나 전극 간 인터커넥터 등

각종 전자 소자, 광통신 분야의 광스위치 또는 바이오 소자 등에 적용되고 있다.

- [0037] 탄소나노튜브는 아크 방전법, 레이저 용발법, 촉매를 이용한 화학 기상 증착, 스크린 프린팅, 스핀 코팅 방법에 의해 수직 또는 수평 성장하여 제조한다.
- [0038] 탄소나노튜브를 수직 성장없이 수평 성장시키기 위하여는 측면에서 촉매가 형성될 것이 요구된다.
- [0039] 종래의 기술들에서는 촉매 두께를 용이하게 제어하거나 특정 위치에서만 균일하게 촉매를 형성하는 방법을 제시하고 있지 않으며, 특히 고정밀도의 얼라인먼트(alignment) 없이 촉매를 형성하는 방법을 제시하고 있지 않다.
- [0040] 또한, 종래의 기술들에 의하면 탄소나노튜브의 성장 부위의 제어가 어렵고 결국 트랜지스터 등의 전자 소자 제작시 채널 길이 제어가 어려우며, 대면적이 요구되는 경우에 적합하지 않다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

- [0041] 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은, 전극 측면 부근 미세 수평면의 원하는 위치에서 촉매를 얇은 두께로 용이하게 형성할 수 있고, 특히 고정밀도의 얼라인먼트 없이도 원하는 위치에서 촉매를 형성할 수 있으며, 이로부터 탄소나노튜브가 수평 성장하여 탄소나노튜브 성장 위치의 정밀한 조절과 소자 제작 시의 채널 길이 제어가 용이하고 대면적용에도 적합한, 전극, 전자 소자, 전계 효과 트랜지스터, 그 제조 방법 및 탄소나노튜브 성장 방법을 제공하는 것이다.

**발명의 구성 및 작용**

- [0042] 본 발명의 목적은, 투명 전극 층; 상기 투명 전극 층 상에 존재하는 불투명 전극 층; 및 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면에 존재하는 촉매;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전극에 의하여 달성된다.
- [0043] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 투명 전극 층의 외곽으로부터 내측으로 소정 거리 이격하여 불투명 전극 층이 존재하고, 상기 이격된 부위가 오픈 면이 된다.
- [0044] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 촉매로부터 수평 성장한 탄소나노튜브가 더 구비된다.
- [0045] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브이다.
- [0046] 본 발명의 목적은, 상기 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평 성장시키는 것을 특징으로 하는 탄소나노튜브 성장 방법에 의하여 달성된다.
- [0047] 본 발명의 목적은, 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계; 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면을 형성하는 제 2 단계; 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 투명 전극 층의 후면으로부터 노광하여 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면에 있는 포토레지스트층을 현상하는 제 3 단계; 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상의 포토레지스트층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및 상기 촉매가 형성된 포토레지스트 층을 리프트 오프하는 제 5 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전극 제조 방법에 의하여 달성된다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 3 단계에서는, 위치에 따라 선택적으로 노광을 수행함으로써 상기 오픈 면 상의 촉매의 형성을 제어한다.
- [0049] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 선택적 노광을 위하여, 상기 제 1 단계에서 노광 차단 층을 상기 투명 전극 층 하부에 구비한다.
- [0050] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전극 제조 방법은, 상기 오픈 면 상의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시키는 제 6 단계를 더 포함한다.
- [0051] 본 발명의 목적은, 기관; 및 상기 기관상에 구비되는 전극;을 포함하는 전자 소자로서, 상기 전극은 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층이 존재하는 것이고, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면에 촉매가 존재하는 것을 특징으로 하는 전자 소자에 의하여 달성된다.
- [0052] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 투명 전극 층의 외곽으로부터 내측으로 소정 거리 이격하여 불투명 전극 층이 존재하고, 상기 이격된 부위가 오픈 면이 된다.
- [0053] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전자 소자에서는, 상기 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층이 가열 요소이

며, 상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재한다.

- [0054] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전자 소자에는 상기 촉매로부터 수평 성장한 탄소나노튜브가 더 구비된다.
- [0055] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브이다.
- [0056] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전자 소자는, 기관; 상기 기관상에서 서로 나란히 형성된 상기 전극인 제 1 전극 및 제 2 전극; 및 상기 제 1 전극 또는 상기 제 2 전극의 촉매로부터 수평 성장하여 상기 제 2 전극 또는 상기 제 1 전극에 연결된 탄소나노튜브;를 포함하고, 상기 제 1 전극 및 제 2 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층은 가열 요소이며, 상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재한다.
- [0057] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 이격 공간은 상기 기관이 식각되어 형성된다.
- [0058] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전자 소자에서는, 상기 기관과 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극 사이에 희생 층이 존재하고, 상기 이격 공간은 상기 희생 층이 식각되어 형성된 것이거나, 또는 상기 희생 층과 상기 기관이 함께 식각되어 형성된다.
- [0059] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브이다.
- [0060] 본 발명의 목적은, 상기 전자 소자의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평 성장시키는 탄소나노튜브 성장 방법에 의하여 달성된다.
- [0061] 본 발명의 목적은, 기관 또는 기관상에 형성된 희생 층 상에 투명 전극 층을 형성하고 상기 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계; 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층을 패터닝하되, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 투명 전극 층 상의 오픈 면을 형성하고, 상기 기관 또는 희생 층 상의 면 중 상기 투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 기관 또는 희생 층 상의 오픈 면을 형성하는 제 2 단계; 상기 기관 또는 희생 층 상의 오픈 면, 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 기관의 후면으로부터 노광하고 현상하는 제 3 단계; 포토레지스트층이 현상된 면과 현상되지 않고 남아 있는 포토레지스트층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하거나, 또는 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 기관 또는 희생 층의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행하는 제 5 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법에 의하여 달성된다.
- [0062] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 5 단계에서는, 상기 기관 또는 희생 층상의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행한 후 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행하거나, 또는 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행한 후 상기 기관 또는 희생 층상의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행한다.
- [0063] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 기관 또는 희생 층의 오픈 면 주위를 일부 리프트 오프한 후, 일부 리프트 오프된 기관 또는 희생 층 상에 촉매를 형성하며, 상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정을 수행하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 일부 리프트 오프된 기관 또는 희생 층을 추가로 리프트 오프한다.
- [0064] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 3 단계에서는, 위치에 따라 선택적으로 노광을 수행함으로써 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 촉매의 형성을 제어한다.
- [0065] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 선택적 노광을 위하여, 상기 제 1 단계에서 노광 차단 층을 상기 기관과 상기 투명 전극 층 사이에 구비한다.
- [0066] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 3 단계에서, 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 포토레지스트층 만이 현상 되도록 상기 기관의 후면으로부터 선택적으로 노광하고, 상기 제 5 단계에서, 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행한다.
- [0067] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전자 소자 제조 방법은, 상기 투명 전극 층의 오픈 면 상의 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시키는 제 6 단계를 더 포함한다.
- [0068] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 2 단계에서, 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층으로 이루어지는 전극 두 개가 기관상에서 서로 마주보도록 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하고, 상기 제 1 단계 내지 제 5 단계 중



어느 하나의 단계에서, 가열 요소인 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층의 하방에서 상기 가열 요소가 하방의 부재와 이격하는 공간을 형성하며, 상기 제 6 단계에서, 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극의 투명 전극 층의 오픈 면 상에 형성된 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시켜 제 2 전극 또는 제 1 전극에 연결시킨다.

- [0069] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 기판 또는 희생 층의 오픈 면 주위를 먼저 리프트 오프한 후, 리프트 오프된 기판 또는 희생 층 상에 촉매를 형성하며, 상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행한다.
- [0070] 본 발명의 목적은, 기판; 상기 기판에 형성된 게이트 전극; 상기 기판상에서 상기 게이트 전극을 사이에 두고 서로 나란히 형성된 제 1 항 또는 제 2 항에 의한 전극인 제 1 전극 및 제 2 전극; 및 상기 게이트 전극의 상방을 따라서 상기 제 1 전극 또는 상기 제 2 전극의 촉매로부터 수평 성장하여 상기 제 2 전극 또는 상기 제 1 전극에 연결된 탄소나노튜브;를 포함하고, 상기 제 1 전극 및 제 2 전극의 투명 전극 층과 불투명 전극 층은 가열 요소이며, 상기 가열 요소의 하방에는 상기 가열 요소를 하방의 부재와 이격시키는 이격 공간이 존재하는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터에 의하여 달성된다.
- [0071] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전계 효과 트랜지스터에서, 상기 기판과 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극 사이에는 희생 층이 존재하고, 상기 이격 공간은 상기 희생 층이 식각되어 형성된다.
- [0072] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 탄소나노튜브는 단일 벽 탄소나노튜브이다.
- [0073] 본 발명의 목적은, 기판상에 게이트 전극을 형성하고, 상기 게이트 전극 층 상에 희생 층을 형성하고, 상기 희생 층 상에 투명 전극 층을 형성하고, 상기 투명 전극 층 상에 불투명 전극 층을 형성하는 제 1 단계; 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층을 패터닝하되, 상기 투명 전극 층 상의 면 중 상기 불투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 투명 전극 층 상의 오픈 면을 형성하고, 상기 희생 층 상의 면 중 상기 투명 전극 층에 의하여 커버 되지 않는 희생 층 상의 오픈 면을 형성하며, 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층으로 이루어지는 전극 두께가 기판상에서 서로 마주보도록 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하는 제 2 단계; 상기 희생 층 상의 오픈 면, 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면 및 상기 불투명 전극 층 상에 포토레지스트층을 형성한 후, 상기 기판의 후면으로부터 노광하고 현상하는 제 3 단계; 포토레지스트층이 현상된 면과 현상되지 않고 남아 있는 포토레지스트 층 상에 촉매를 형성하는 제 4 단계; 및 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행하거나, 또는 상기 촉매가 형성된 포토레지스트층을 리프트 오프하고 또한 상기 촉매가 형성되어 있는 기판 또는 희생 층의 오픈 면 부위를 리프트 오프하는 공정을 수행하는 제 5 단계; 및 상기 제 1 전극 또는 제 2 전극의 투명 전극 층의 오픈 면 상에 형성된 촉매로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시켜 제 2 전극 또는 제 1 전극에 연결시키는 제 6 단계;를 포함하며, 상기 제 1 단계 내지 상기 제 5 단계 중 어느 하나의 단계에서, 가열 요소인 상기 투명 전극 층 및 불투명 전극 층의 하방에서 상기 가열 요소가 하방의 부재와 이격하는 이격 공간을 형성하는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터 제조 방법에 의하여 달성된다.
- [0074] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제 4 단계에서, 포토레지스트층이 현상된 희생 층의 오픈 면 주위를 먼저 리프트 오프한 후, 리프트 오프된 희생 층 상에 촉매를 형성하며, 상기 제 5 단계에서, 상기 포토레지스트층을 리프트 오프하는 공정만을 수행한다.
- [0075] 이하, 본 발명에 따른 전극, 전자 소자, 전계 효과 트랜지스터, 그 제조 방법 및 탄소나노튜브 성장 방법을 상세하게 설명한다.
- [0076] 도 1a는 본 발명의 실시예에 따른 전극의 단면도이고, 도 1b는 도 1a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0077] 도 1a를 참조하면, 전극(10)은 투명 전극 층(12)과 상기 투명 전극 층 상에 형성된 불투명 전극 층(14)으로 이루어진다. 상기 불투명 전극 층(14)은 상기 투명 전극 층(12) 상의 면을 커버 하되 투명 전극 층(12)의 외곽으로부터 내측으로 소정 거리로 이격된 부위의 면을 커버 하지 않는다. 이에 따라 오픈 면(15)이 형성되며, 상기 오픈 면(15) 상에는 촉매(16)가 형성된다. 상기 오픈 면(15)의 폭(W)은 불투명 전극 층(14)의 두께와 대비하여 2 내지 3 배 정도로 형성하며 3배를 초과하는 경우 탄소나노튜브의 수평 성장 제어가 어려워질 수 있다.
- [0078] 상기 투명 전극 층(12) 재료로서는 인듐 주석 산화물(ITO)을 사용하거나 통상 전극으로 사용되는 금속으로서 두께가 50nm 이하의 얇은 금속을 사용한다. 상기 불투명 전극 층(14) 재료로서는 통상 전극으로 사용되는 금속으로서 두께가 50nm 초과 두께가 두꺼운 금속을 사용한다. 상기 촉매로는 철(Fe), 니켈(Ni) 또는 인바(Invar) 등을 하나 이상 사용한다.

- [0079] 이상의 전극 구조에서는 전극 상의 특정 위치 특히 전극 측벽 부근의 미세 수평면에서 촉매가 수 nm 정도로 형성된다.
- [0080] 도 1b를 참조하면, 전극(10) 측벽 부근의 촉매(16)가 형성된 부위에서 탄소나노튜브(18)가 수평으로 성장한다. 전계 인가의 경우 탄소나노튜브(18)는 전계 방향을 따라서 한쪽 방향으로만 성장하게 된다. 전극(10) 구조에서 촉매(16) 옆에 있는 불투명 전극(14)은 탄소나노튜브(18)가 한쪽 방향으로만 성장하도록 전계를 인가하며 또한 물리적인 마스크로서 작용한다. 탄소나노튜브(18)는 바람직하게는 단일 벽 탄소나노튜브(SWCNT)로서 다중 벽 탄소나노튜브나 폴리실리콘 보다 전자 이동도가 우수하다.
- [0081] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전극의 제조 방법을 단계별로 나타내는 단면도이다.
- [0082] 도 2를 참조하면, 전극(10)을 형성하기 위하여, 우선 투명 전극 층(12) 상에 불투명 전극 층(14)을 증착한다(S1).
- [0083] 다음으로, 투명 전극 층(12)의 외곽 측으로부터 소정 거리 이격된 부위의 불투명 전극 층(14)을 패터닝하여 투명 전극 층(12) 상의 면 중 불투명 전극 층(14)에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면(15)을 형성한다(S2).
- [0084] 다음으로, 포토레지스트를 코팅하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상에 포토레지스트층(26)이 형성된다. 그 후 투명 전극 층(12)의 후면으로부터 자외선(L) 노광하면, 자외선(L)이 투명 전극 층(12)을 통과하여 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상의 포토레지스트층(26)은 현상 되는 반면 자외선(L)이 불투명 전극 층(14)을 통과하지 못하여 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26)은 현상 되지 않는다(S3).
- [0085] 다음으로, 촉매를 증착하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26) 상에 촉매가 형성된다(S4). 촉매는 앞서 설명한 바와 같이 철(Fe), 니켈(Ni) 또는 인바(Invar) 등을 스퍼터링이나 전자빔증착법(e-beam evaporation)을 사용하여 얇게 증착한다.
- [0086] 다음으로, 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26)을 리프트 오프하면 상기 포토레지스트층(26) 상에 증착된 촉매도 함께 리프트 오프 되고, 이에 따라 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상에 형성된 촉매만이 남게 된다(S5).
- [0087] 이상과 같이 투명 전극 층 상에 오픈 면을 형성하고 후면 노광을 수행하며, 나아가 포토레지스트층의 리프트 오프 공정을 수행함으로써 전극 측면 부근에서 촉매가 셀프 얼라인된 구조를 얻을 수 있다.
- [0088] 다음으로, 상기 전극(10)을 챔버에 배치하고 챔버에 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>나 CH<sub>4</sub> 등 탄소를 함유하는 탄화수소가스를 투입한 후, DC 또는 펄스 전압을 인가하여 전계를 인가하면 오픈 면(15) 상의 촉매로(16)부터 탄소나노튜브가 수평으로 성장한다(S6).
- [0089] 도 3a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자의 단면도이고, 도 3b는 도 3a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0090] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 제 1 실시예에 따른 전자 소자(20)는 전극(10)과 상기 전극 하부의 기판(22)으로 이루어지는 최소한의 구성을 가지는 것이다.
- [0091] 상기 전극(10) 구조와 그 측면 부근의 촉매(16)가 형성된 부위로부터 수평 성장한 탄소나노튜브(18)는 도 1a 및 도 1b를 참조하여 설명한 바와 동일하다. 상기 기판(22)의 재료는 예컨대 실리콘이나 유리이다.
- [0092] 도 4a는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자를 보여주는 단면도이고, 도 4b는 도 4a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0093] 도 4a 및 4b를 참조하면, 제 2 실시예에 따른 전자 소자(30)는 제 1 실시예에 따른 전자 소자(20)와 대부분 구성이 동일하지만, 희생 층(24)이 기판(22)과 투명 전극 층(12) 사이에 더 구비되어 있다.
- [0094] 희생 층(24)의 재료는 예컨대 실리콘옥사이드이며, 이와 같이 실리콘 옥사이드로 희생 층(24)을 구성하는 경우 희생 층(24)은 절연층의 역할을 수행할 수 있다. 희생 층(24)에 대하여 아래에서 더욱 상술한다.
- [0095] 도 5a는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 평면도이고, 도 5b~5d 및 5e~5g는 각각 도 5a의 A-A 및 B-B의 선단면도로서, 5b~5d 및 5e~5g는 세 가지 서로 다른 변형예를 각각 나타낸다. 도 5h는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 전극에 각각 소정의 전압을 인가할 때의 전계의 등전위를 묘사한 도면이다.

- [0096] 도 5a를 참조하면, 제 3 실시예에 따른 전자 소자(40)는 기판(22) 상에 제1 및 제 2의 두 개의 전극(10)이 서로 나란히 형성되어 있으며, 상기 전극(10)의 측매(16)로부터 수평으로 성장한 탄소나노튜브(18)가 맞은 편의 전극(10)에 연결되어 있다.
- [0097] 도 5를 참조하면, 제 3 실시예에 따른 전자 소자(40)에서는 전극(10)의 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)이 가열 요소로서 작용한다. 상기 전극(10)의 양단에 소정의 전압을 인가하게 되면 상기 전극(10)의 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)에서는 줄열(Joule's heat)이 발생하며, 이 줄열이 측매(16)를 가열하게 된다.
- [0098] 투명 전극 층(12) 및 불투명 전극 층(14)으로 이루어지는 가열 요소(12, 14)의 하방에는 상기 가열 요소(12, 14)를 하방의 부재와 이격시키기 위한 이격 공간(S)이 존재하며 이에 따라 가열 요소(12, 14)는 이격 공간(S) 상에서 브리지 형상이 된다. 이러한 이격 공간(S)은 전류 인가시 발생하는 열이 가열 요소의 하방의 부재로 흐르는 것을 방지함으로써 국부적인 가열 지역을 형성하도록 한다.
- [0099] 도 5b 및 5e를 참조하면, 가열 요소(12, 14)의 하방에 희생 층(24)이 형성된 경우 희생 층(24)의 일부가 식각되어 이격 공간(S)이 형성된다.
- [0100] 도 5c 및 5f를 참조하면, 가열 요소(12, 14)의 하방에 희생 층(24)이 형성된 경우 필요하다면 희생 층(24)의 일부뿐만 아니라 기판(22)의 일부도 식각되어 이격 공간(S)이 형성된다.
- [0101] 도 5d 및 5g를 참조하면, 가열 요소(12, 14)의 하방에 별도의 희생 층이 형성되지 않는 경우 기판(22)이 식각되어 이격 공간(S)이 형성된다.
- [0102] 도 5a를 다시 참조하면, 기판(22) 상에서 소정 온도 예컨대 900 내지 1000℃의 온도로 가열된 가열 요소(12, 14)는 탄소 함유 가스를 사용하여 가열 요소(12, 14)의 측면 부근에 형성되어 있는 측매(16)로부터 탄소나노튜브를 수평으로 성장시킨다. 수평으로 성장된 탄소나노튜브는 맞은 편 전극(10)에 연결된다.
- [0103] 도 5h를 참조하면, 각각의 전극(10)의 양단에 소정의 DC 또는 펄스 전압을 인가하는 경우 전계의 방향은 두 등전위선 사이의 수직 방향(화살표 방향)이며, 전계를 따라서 일정한 방향으로 탄소나노튜브가 성장한다. 제 1 및 제 2 전극(10)은 상호 대략 13 $\mu$ m 이격 되어 있고, 제 1 및 제 2 전극(10) 간의 전계의 세기는 대략 1 V/ $\mu$ m이다.
- [0104] 도 6은 본 발명의 제 4 실시예에 따른 전자 소자의 평면도이다.
- [0105] 도 6을 참조하면, 제 4 실시예에 따른 전자 소자(50)는 제 3 실시예에 따른 전자 소자(40)와 대부분 구성이 동일하지만, 전극(10) 중 측매(16)의 형성 위치가 오픈 면(15)의 일부에 형성되도록 제어되어 있다. 따라서, 탄소나노튜브(18)는 상기 오픈 면(15)의 일부에 형성된 측매(16)로부터 수평으로 성장하게 된다. 측매(16)의 형성 위치 제어에 관하여는 아래에서 더욱 상술한다.
- [0106] 도 7은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법을 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0107] 도 7을 참조하면, 우선, 기판(22) 상에 투명 전극 층(12)을 증착하고, 상기 투명 전극 층(12) 상에 불투명 전극 층(14)을 증착하여 기판상에 각 층을 형성한다(S1).
- [0108] 다음으로, 투명 전극 층(12)의 외곽 측으로부터 소정 거리 이격된 부위까지 불투명 전극 층(14)을 패터닝하여 투명 전극 층(12) 상의 면 중 불투명 전극 층(14)에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면(15)을 각각 형성하고, 또한, 기판(22)상의 투명 전극 층(12)을 일부에서 패터닝하여 기판(22) 상의 면 중 투명 전극 층(12)에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면(25)을 각각 형성한다(S2). 여기서, 예컨대, 상기 투명 전극 층(12)은 비등방성 식각을 하고 상기 불투명 전극 층(14)은 등방성 식각을 한다.
- [0109] 다음으로, 포토레지스트를 코팅하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15), 상기 기판상의 오픈 면(25) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상에 포토레지스트층(26)이 형성된다. 그 후, 기판(22)의 후면으로부터 자외선(L)노광하면, 자외선(L)이 기판(22)과 투명 전극 층(12)을 통과하여 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 및 기판상의 오픈 면(25) 위에 존재하는 포토레지스트층(26)은 현상 되는 반면 자외선(L)이 불투명 전극 층(14)을 통과하지 못하여 불투명 전극 층(14) 위에 존재하는 포토레지스트층(26)은 현상 되지 않는다(S3).
- [0110] 다음으로, 측매를 증착하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15), 기판상의 오픈 면(25) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26) 상에 측매가 형성된다(S4).
- [0111] 다음으로, 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26)을 포토레지스트 식각액을 사용하여 리프트 오프하게 되면 상기 포토레지스트층(26) 상에 증착된 측매도 함께 리프트 오프된다.

- [0112] 또한, 상기 기관상의 오픈 면(25) 상의 촉매를 제거하기 위하여 해당 부위에서 기관을 식각하여 리프트 오픈한다.
- [0113] 촉매(16)는 통상 10nm 이하로 매우 얇으며 기관(22)의 식각액이나 포토레지스트 식각액은 촉매(16)를 투과한다. 또한, 기관(22)의 식각액은 투명 금속 층(12) 및 불투명 금속 층(14)과 포토레지스트층(26)에 대하여도 선택성을 가진다.
- [0114] 이상에서 상기 포토레지스트층(26)이나 기관(22)의 리프트 오픈은 그 순서를 바꾸어 하여도 무방하다.
- [0115] 상기 포토레지스트층(26)이나 기관(22)의 리프트 오픈에 따라 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상에 증착된 촉매만이 남게 된다(S5).
- [0116] 다음으로, 상기 전극(10)을 진공 챔버에 배치하고 챔버에 탄소 함유 가스를 투입한 후, DC 또는 펄스 전압을 인가하여 전계를 인가하면 오픈 면(15) 상에 증착되어 있는 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평으로 성장한다(S6).
- [0117] 이상과 같이 투명 전극 층 상에 오픈 면을 형성하고 후면 노광을 수행하며, 나아가 포토레지스트층 내지 기관의 리프트 오픈(아래에서 설명하는 도 9의 경우 희생 층의 리프트 오픈) 공정을 수행함으로써 전극 측면 부근에서 촉매가 셀프 얼라인된 구조를 얻을 수 있다.
- [0118] 도 8은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법에서 선택적 노광을 수행하는 경우를 설명하는 단면도이다.
- [0119] 도 8을 참조하면, 우선 기관(22) 상에서 노광을 원하지 않는 부위에 노광 차단 층(28)을 형성한 후, 이어서 투명 전극 층(12)을 증착하고, 상기 투명 전극 층(12) 상에 불투명 전극 층(14)을 증착한다(S1).
- [0120] 다음으로, 패터닝을 수행하고(S2), 이어서, 포토레지스트층(26)을 코팅하고, 기관(22)의 후면으로부터 자외선(L) 노광하면, 노광 차단 층(28)이 존재하는 부위에서는 자외선(L)이 투과를 하지 못하고 노광 차단 층(28)이 존재하지 않는 부위에서만 자외선(L)이 투과를 한다. 도 8은 투명 전극 층 상의 오픈 면(15)에서만 포토레지스트층(26)이 현상된 것을 보여준다(S3).
- [0121] 다음으로, 촉매를 증착하여 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 및 남아 있는 포토레지스트층(26) 상에 촉매를 형성한다(S4).
- [0122] 다음으로, 상기 포토레지스트층(26)을 리프트 오픈하게 되면 상기 포토레지스트층(26) 상에 증착된 촉매도 함께 리프트 오픈된다(S5).
- [0123] 앞서 설명한 도 7의 경우와 대비할 때, 노광 차단 층을 개재시켜 선택적 노광을 수행한 결과 기관을 별도로 식각 하는 과정을 수행하지 않고도 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상에만 촉매가 형성되도록 할 수 있다.
- [0124] 도 9는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법을 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0125] 도 9를 참조하면, 우선, 기관(22) 상에 희생 층(24)을 형성한 후, 상기 희생 층(24) 상에 투명 전극 층(12)을 증착하고, 상기 투명 전극 층(12) 상에 불투명 전극 층(14)을 증착하여 형성한다(S1). 제 2 실시예의 전자 소자 제조 방법에서는 제 1 실시예의 전자 소자 제조 방법과 다르게 희생 층(24)을 더 형성하는데, 만일 기관(22) 재질이 희생 층(24)의 재질과 같다면 제 1 실시예의 경우와 같이 굳이 희생 층(24)을 형성할 필요가 없다.
- [0126] 다음으로, 투명 전극 층(12)의 외곽 측으로부터 소정 거리 이격된 부위의 불투명 전극 층(14)을 패터닝하여 투명 전극 층(12) 상의 면 중 불투명 전극 층(14)에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면(15)을 형성하고, 또한, 희생 층(24)상의 투명 전극 층(12)을 일부에서 패터닝하여 희생 층(24) 상의 면 중 투명 전극 층(12)에 의하여 커버 되지 않는 오픈 면(23)을 형성한다(S2).
- [0127] 다음으로, 포토레지스트를 코팅하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15), 상기 희생 층상의 오픈 면(23) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상에 포토레지스트층(26)이 형성된다. 그 후, 기관(22)의 후면으로부터 자외선(L) 노광하면, 자외선(L)이 기관(22)과 희생 층(24), 투명 전극 층(12)을 통과하여 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 및 희생 층 상의 오픈 면(23) 위에 존재하는 포토레지스트층(26)은 현상 되는 반면 자외선(L)이 불투명 전극 층(14)을 통과하지 못하여 불투명 전극 층(14) 위에 존재하는 포토레지스트층(26)은 현상 되지 않는다(S3).
- [0128] 다음으로, 촉매를 증착하면 상기 투명 전극 층 상의 오픈 면(15), 상기 희생 층상의 오픈 면(23) 및 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26) 상에 촉매가 형성된다(S4).



- [0129] 다음으로, 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26)을 포토레지스트 식각액을 사용하여 리프트 오프하게 되면 상기 포토레지스트층(26) 상에 증착된 촉매도 함께 리프트 오프된다.
- [0130] 또한, 상기 희생 층상의 오픈 면(23) 상의 촉매를 제거하기 위하여 해당 부위 희생 층(24)을 리프트 오프한다.
- [0131] 촉매(16)는 통상 10nm 이하로 매우 얇으며 희생 층(24)의 식각액이나 포토레지스트 식각액은 촉매(16)를 투과한다.
- [0132] 또한, 희생 층(24)의 식각액은 투명 금속 층(12) 및 불투명 금속 층(14)과 포토레지스트층(26)에 대하여도 선택성을 가진다.
- [0133] 여기서, 상기 포토레지스트층(26)의 리프트 오프나 희생 층(24)의 리프트 오프는 그 순서를 바꾸어 하여도 무방하다.
- [0134] 위와 같은 포토레지스트층(26)의 리프트 오프나 희생 층(24)의 리프트 오프에 따라 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상에만 촉매만이 남게 된다(S5).
- [0135] 다음으로, 상기 전극(10)을 진공 챔버에 배치하고 챔버에 탄소 함유 가스를 투입한 후, DC 또는 펄스 전압을 인가하여 전계를 인가하면 오픈 면(15) 상에 증착되어 있는 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평으로 성장한다(S6).
- [0136] 도 10은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법의 변형예를 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0137] 도 10을 참조하면, 도 9에서 설명한 바와 S1 내지 S3 단계는 동일하다. 다만, S4 단계에서 촉매를 증착하기 전 희생 층(24)의 일부를 먼저 리프트 오프 한다.
- [0138] 이어서, 촉매를 증착하여 일부 리프트 오픈 된 희생 층(24)과 투명 전극 층상의 오픈 면(15) 및 불투명 전극 층상의 포토레지스트층(26) 상에 촉매를 형성한다(S4).
- [0139] 다음으로, 상기 불투명 전극 층(14) 상의 포토레지스트층(26)을 리프트 오프하게 되면 상기 포토레지스트층(26) 상에 증착된 촉매도 함께 리프트 오프된다. 또한, 상기 일부 리프트 오프 된 희생 층(24)상의 촉매를 제거하기 위하여 희생 층(24)을 추가로 리프트 오프한다. 이에 따라 투명 전극 층 상의 오픈 면(15) 상에만 촉매만이 남게 된다(S5). 여기서도, 상기 포토레지스트층(26)의 리프트 오프나 상기 일부 리프트 오프된 희생 층(24)의 추가 리프트 오프는 그 순서를 바꾸어 하여도 무방하다.
- [0140] 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법에서처럼 희생 층을 형성하는 경우에도, 앞서 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법의 경우와 같이, 선택적 노광을 실시함으로써 촉매 형성 위치를 제어할 수 있다. 나아가, 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법에서처럼 희생 층을 형성하는 경우에는 선택적 노광을 함에 있어서 얼라인먼트의 정밀도를 더욱 낮출 수 있다. 이하 도 11을 참조하여 상술한다.
- [0141] 도 11은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법에서 선택적 노광을 수행하는 경우를 설명하는 단면도이다.
- [0142] 도 11을 참조하면, 기관(22) 상에 노광을 원하지 않는 부위에 노광 차단 층(28)을 형성한 후, 이어서 희생 층(24)을 형성하며, 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)을 각각 형성한 후 패터닝한다(S1 및 S2).
- [0143] 다음으로, 포토레지스트층(26)을 코팅하고, 기관(22)의 후면으로부터 자외선(L) 노광하면, 노광 차단 층(28)이 존재하는 부위에서는 자외선(L)이 투과를 하지 못하고 노광 차단 층(28)이 존재하지 않는 부위에서만 자외(L)선이 투과를 하여 포토레지스트층(26)이 현상 된다. 도 11에 도시된 바와 같이, 원하는 위치에서 선택적으로 노광하는 경우에도 해당 부위(투명 전극 층의 오픈 면 중 촉매 형성을 원하는 부위)를 노광 차단 층(28) 중 오픈된 부분이 포함하기만 하면 되므로 고정밀도의 얼라인먼트가 요구되지 않는다. 즉, 낮은 정도의 얼라인먼트로도 원하는 위치에서 용이하게 촉매 형성을 충분히 제어할 수 있는 것이다(S3).
- [0144] 다음으로, 촉매를 증착하고(S4), 포토레지스트층(26)을 리프트 오프하고, 또한, 희생 층(24)을 리프트 오프함으로써, 투명 전극 층의 오픈 면 상의 원하는 위치에서 촉매 형성을 제어하게 된다(S5).
- [0145] 도 12는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법을 도 5e~5g에 도시된 바와 같이 B-B 선단면을 기준으로 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0146] 도 12를 참조하면, S2 단계에서, 두 개의 전극(10)을 서로 마주보도록 패터닝하고, S5 단계에서, 식각을 통하여 투명 전극 층(12) 하부에서 이격 공간(S)을 형성한 것을 제외하고 나머지는 도 9에서 설명한 바와 동일하다. 도

12는 S5 단계에서 이격 공간(S)을 형성하는 것을 보여주는데 반드시 S5 단계에서 이격 공간(S)을 형성할 필요는 없으며 S1 내지 S5 단계 중 어느 하나의 단계에서 이격 공간(S)을 형성할 수 있다.

- [0147] 도 13은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법의 변형예를 설명하는 단면도이다.
- [0148] 도 13을 참조하면, 나머지 단계는 도 12와 동일하되, S4 단계에서 촉매 형성 전, 희생 층(24)을 먼저 리프트 오프한 후 촉매를 형성하고, S5 단계에서는 희생 층(24)을 리프트 오프하지 않고 포토레지스트층(26)만을 리프트 오프한다. S5 단계에서 촉매가 형성된 희생 층(24)을 굳이 리프트 오프하지 않음으로써 공정을 간소화할 수 있는데, 이와 같이 할 수 있는 이유는 해당 부위에는 가열 요소가 없으므로 촉매로부터 탄소나노튜브가 성장할 우려가 없기 때문이다.
- [0149] 도 14a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 평면도이고, 도 14b 및 14c는 각각 도 14a의 C-C 및 D-D의 선단면도이다.
- [0150] 도 14a를 참조하면, 전계 효과 트랜지스터는(60)은 기판(22) 상에 게이트 전극(62)이 형성되어 있고, 게이트 전극(62)을 사이에 두고 소스 전극 및 드레인 전극인 제1 및 제 2의 두 개의 전극(10)이 서로 나란히 형성되어 있다. 또한, 상기 전극(10)의 촉매(16)로부터 수평으로 성장한 탄소나노튜브(18)가 맞은 편의 전극(10)에 연결되어 있다.
- [0151] 도 14a, 14b 및 14c를 참조하면, 게이트 전극(62)은 필요한 경우 희생 층(64) 상에 형성되어 있다. 전극(10)의 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)이 가열 요소로서 작용한다. 상기 전극(10)의 양단에 소정의 전압을 인가하게 되면 상기 전극(10)의 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)에서는 줄열(Joule's heat)이 발생하며, 이 줄열이 촉매(16)를 가열하게 된다.
- [0152] 투명 전극 층(12) 및 불투명 전극 층(14)으로 이루어지는 가열 요소(12, 14)의 하방에는 상기 가열 요소(12, 14)를 하방의 부재와 이격시키기 위한 이격 공간(S)이 존재하며 이에 따라 가열 요소(12, 14)는 이격 공간(S) 상에서 브리지 형상이 된다. 이러한 이격 공간(S)은 전류 인가시 발생하는 열이 가열 요소의 하방의 부재로 흐르는 것을 방지함으로써 국부적인 가열 지역을 형성한다.
- [0153] 앞서 설명한 바와 같이, 전극(10)의 양단에 소정의 DC 또는 펄스 전압을 인가하는 경우 전계의 방향을 따라서 탄소나노튜브가 성장하며, 전계의 세기는 대략  $1 \text{ V}/\mu\text{m}$ 이다.
- [0154] 도 15는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 제조 방법을 도 14c와 같은 D-D 선단면을 기준으로 나타내는 도면이다.
- [0155] 도 15를 참조하면, 희생 층(64)을 형성한 후 게이트 전극(62)을 형성하고 패터닝한다. 이어서 다시 희생 층(24)을 형성한 후, 투명 전극 층(12)과 불투명 전극 층(14)을 형성한다. 나머지 단계는 도 9에 대하여 설명한 바와 동일하지만, 이격 공간(S)을 형성하는 것이 필요하며, 도 15는 특히 S5 단계에서 식각을 통하여 투명 전극 층(12) 하부에서 이격 공간(S)을 형성한 것을 보여준다. 물론, 반드시 S5 단계에서 이격 공간(S)을 형성할 필요는 없으며 S1 내지 S5 단계 중 어느 하나의 단계에서 이격 공간(S)을 형성할 수 있다.
- [0156] 도 16은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 제조 방법의 변형예를 나타내는 단면도이다.
- [0157] 도 16을 참조하면, 나머지 단계는 도 15와 동일하되, S4 단계에서 촉매 형성 전, 희생 층(24)을 먼저 리프트 오프한 후 촉매를 형성하고, S5 단계에서는 희생 층(24)을 리프트 오프하지 않고 포토레지스트층(26)만을 리프트 오프한다. 앞서 설명한 바와 마찬가지로 S5 단계에서 촉매가 형성된 희생 층(24)을 굳이 리프트 오프하지 않음으로써 공정을 간소화할 수 있는데 이와 같이 할 수 있는 이유는 해당 부위에는 가열 요소가 없으므로 촉매로부터 탄소나노튜브가 성장할 우려가 없기 때문이다.
- [0158] 도 17은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자에 있어서의 탄소나노튜브 성장을 보여주는 SEM 사진으로서, 도 17a는 촉매(16)가 오픈 면(15)에 형성된 전극(10) 구조를 보여주는 것이고, 도 17b, 17c 및 17d는 촉매(16)로부터 각각 1분, 2분 및 10분 후의 탄소나노튜브 성장을 보여주는 것이다.
- [0159] 참고로, 투명 전극 층(12)은 20 nm Cr, 불투명 전극 층(14)은 1  $\mu\text{m}$ 의 Mo이고, 촉매(16)는 Al/Invar가 사용되었다. 탄소나노튜브 성장을 위한 증착은 상온,  $\text{C}_2\text{H}_2$  200 sccm, Ar 500 sccm, 압력 8 torr의 조건하에서 이루어졌다.
- [0160] 도 17로부터 알 수 있듯이, 전극의 측면에서만 단일 벽 탄소나노튜브가 정확히 성장됨을 확인할 수 있다. 이상에서 본 바와 같이, 본 발명에 따르면 상온에서도 특히 단일 벽 탄소나노튜브를 구비하는 트랜지스터 등의 전자

소자의 제조가 가능하다.

**발명의 효과**

- [0161] 본 발명에 의하면, 전극 측면 부근 미세 수평면의 원하는 위치에서 촉매를 얇은 두께로 용이하게 형성할 수 있다. 특히 고정밀도의 얼라인먼트 없이도 원하는 위치에서 촉매를 형성할 수 있다. 이로부터 탄소나노튜브가 수평 성장하므로 탄소나노튜브 성장 위치의 정밀한 조절과 소자 제작 시의 채널 길이 제어가 용이하다. 또한, 본 발명에 따른 전극, 전자 소자, 트랜지스터는 대면적 용에 적합하며 얼라인먼트를 위한 고가의 장비를 별도로 사용할 필요가 없으므로 제조 비용이 저렴하다는 이점이 있다.
- [0162] 비록 본 발명이 상기 언급된 실시예와 관련하여 설명되었지만, 본 발명의 요지와 범위로부터 벗어남이 없이 다양한 수정이나 변형을 하는 것이 가능하다. 따라서 첨부된 특허청구의 범위는 본 발명의 요지에서 속하는 이러한 수정이나 변형을 포함할 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0001] 도 1a는 본 발명의 실시예에 따른 전극의 단면도이다.
- [0002] 도 1b는 도 1a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0003] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전극의 제조 방법을 단계별로 나타내는 단면도이다.
- [0004] 도 3a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자의 단면도이다.
- [0005] 도 3b는 도 3a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0006] 도 4a는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자를 보여주는 단면도이다.
- [0007] 도 4b는 도 4a의 전극의 촉매로부터 탄소나노튜브가 수평 성장한 것을 보여주는 개략도이다.
- [0008] 도 5a는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 평면도이다.
- [0009] 도 5b~5d 및 5e~5g는 각각 도 5a의 A-A 및 B-B의 선단면도로서, 5b~5d 및 5e~5g는 세 가지 서로 다른 변형예를 각각 나타낸다.
- [0010] 도 5h는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 전극에 각각 소정의 전압을 인가할 때의 전계의 등전위를 묘사한 도면이다.
- [0011] 도 6은 본 발명의 제 4 실시예에 따른 전자 소자의 평면도이다.
- [0012] 도 7은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법을 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0013] 도 8은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법에서 선택적 노광을 수행하는 경우를 설명하는 단면도이다.
- [0014] 도 9는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자를 제조하는 방법을 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0015] 도 10은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법의 변형예를 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0016] 도 11은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법에서 선택적 노광을 수행하는 경우를 설명하는 단면도이다.
- [0017] 도 12는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법을 도 5e~5g에 도시된 바와 같이 B-B 선단면을 기준으로 단계별로 설명하는 단면도이다.
- [0018] 도 13은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자의 제조 방법의 변형예를 설명하는 단면도이다.
- [0019] 도 14a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 평면도이다.
- [0020] 도 14b 및 14c는 각각 도 14a의 C-C 및 D-D의 선단면도이다.
- [0021] 도 15는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 제조 방법을 도 14c와 같은 D-D 선단면을 기준으로 나타내는 도면이다.
- [0022] 도 16은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 전계 효과 트랜지스터의 제조 방법의 변형예를 나타내는 단면도이다.

[0023] 도 17은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 전자 소자에 있어서의 탄소나노튜브 성장을 보여주는 SEM 사진이다.

[0024] \*주요 도면 부호에 대한 설명\*

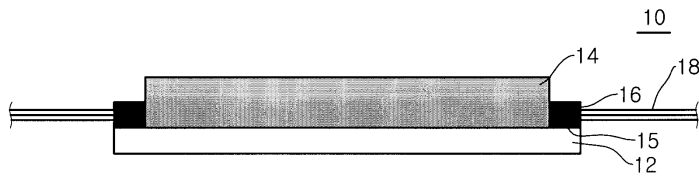
- [0025] 10 : 전극    12 : 투명 전극 층
- [0026] 14 : 불투명 전극 층                                        15 : 투명 전극 층 상의 오픈 면
- [0027] 16 : 촉매    18 : 탄소나노튜브
- [0028] 22 : 기판    23 : 희생 층 상의 오픈 면
- [0029] 24, 64 : 희생 층    25 : 기판상의 오픈 면
- [0030] 26 : 포토레지스트층                                        28 : 노광 차단 층
- [0031] 20, 30, 40, 50 : 전자 소자                                60 : 전계 효과 트랜지스터
- [0032] 62 : 게이트 전극    W : 오픈 면 15의 폭
- [0033] L : 자외선    S : 이격 공간

도면

도면1a

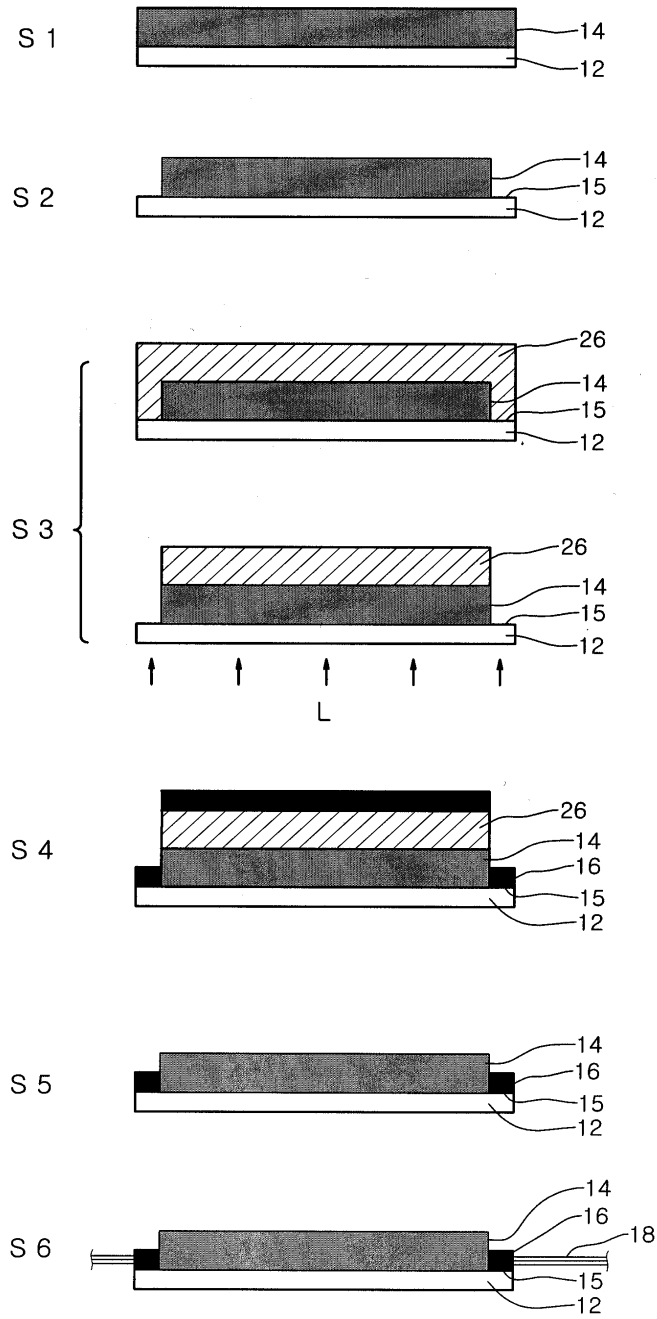


도면1b

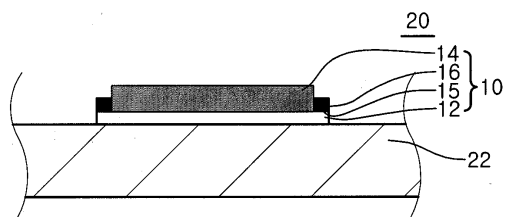




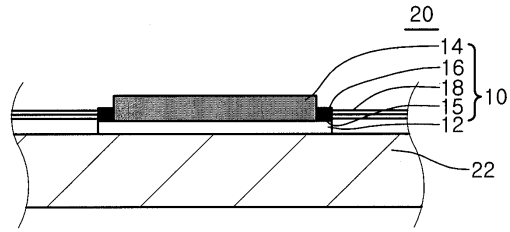
도면2



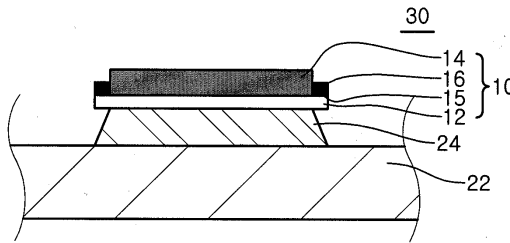
도면3a



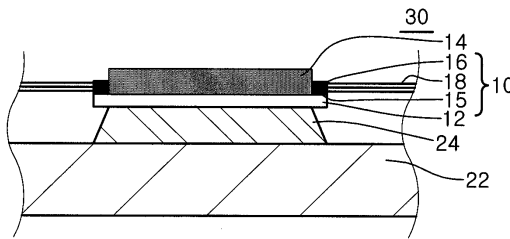
도면3b



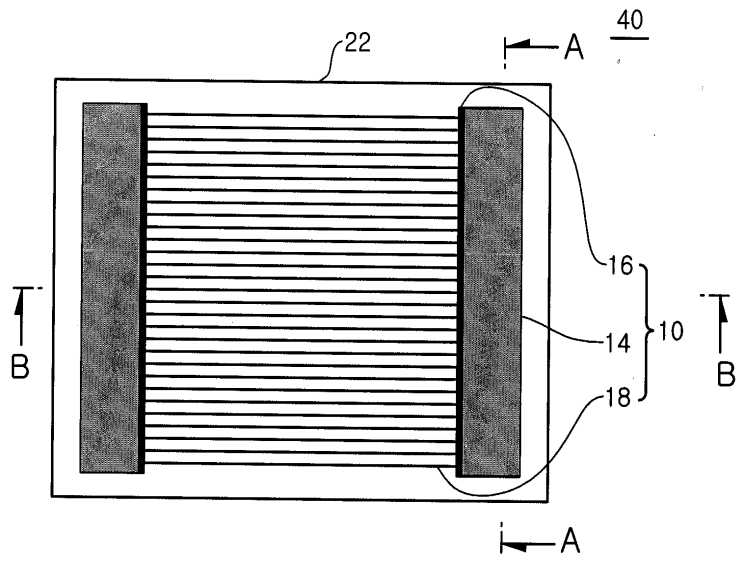
도면4a



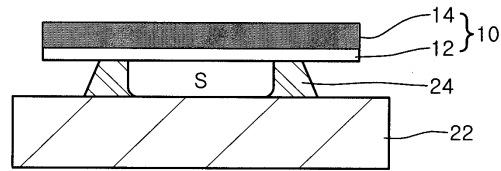
도면4b



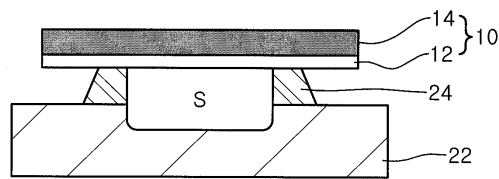
도면5a



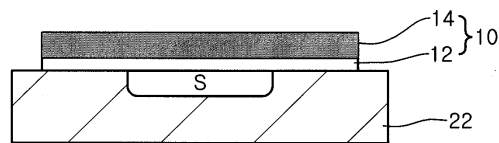
도면5b



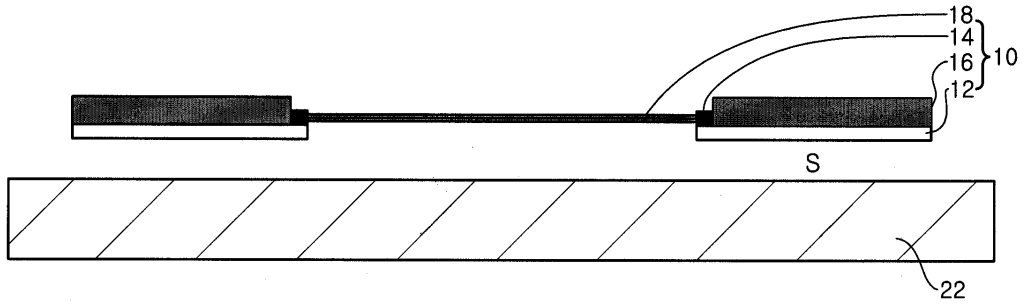
도면5c



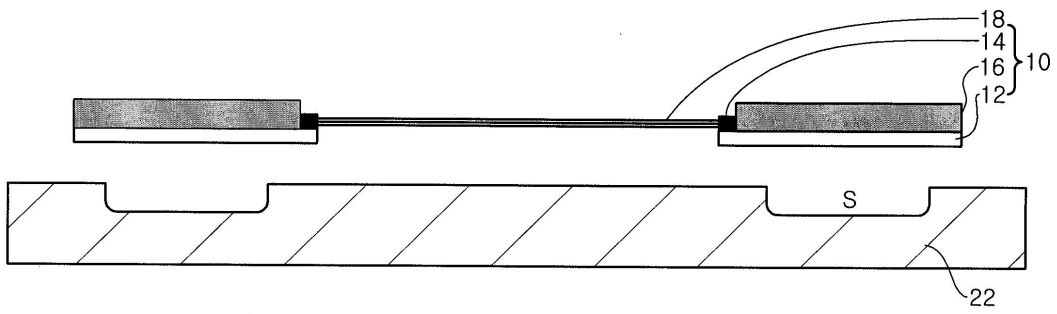
도면5d



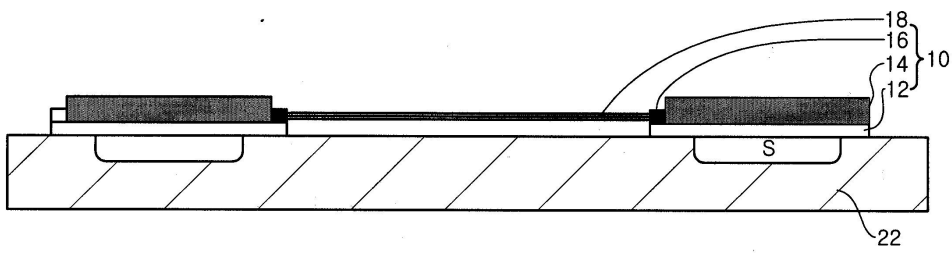
도면5e



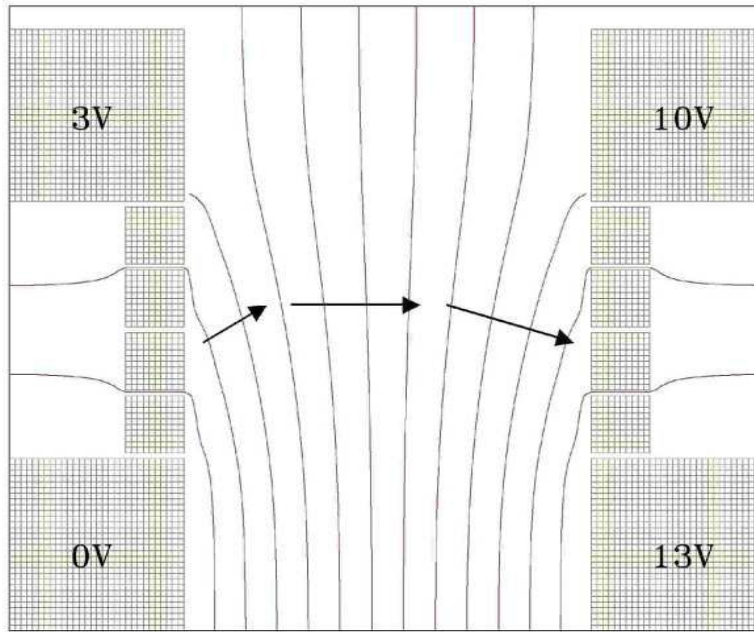
도면5f



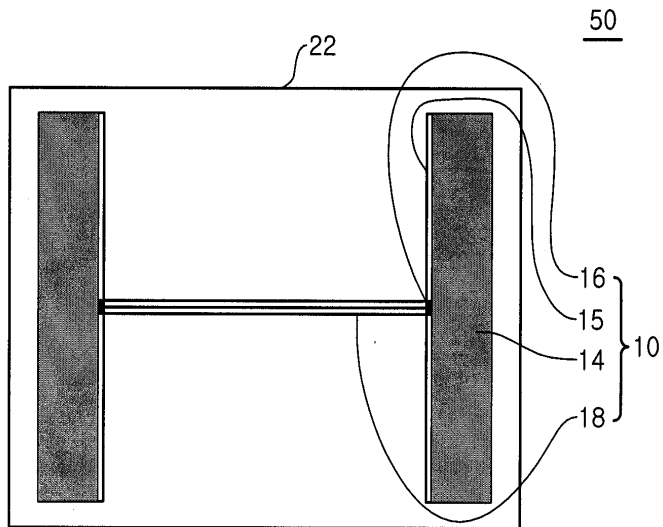
도면5g



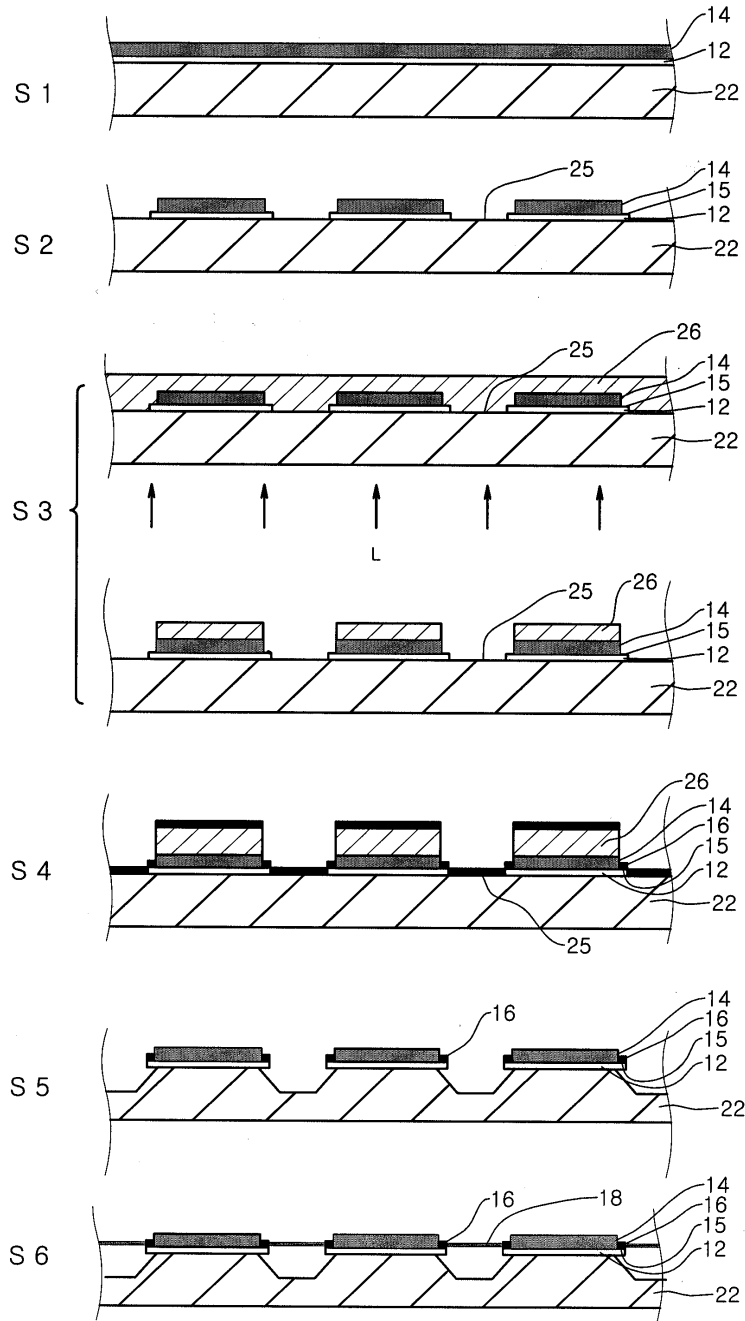
도면5h



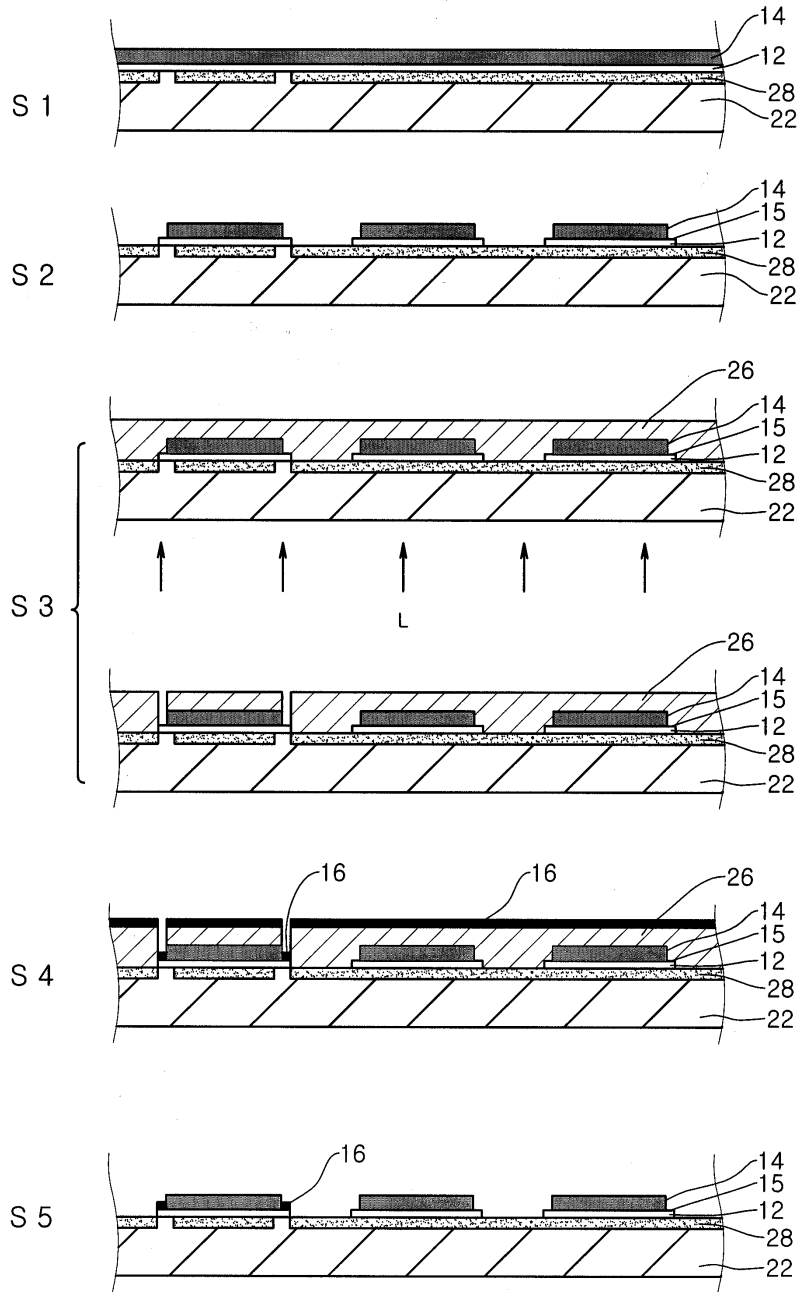
도면6



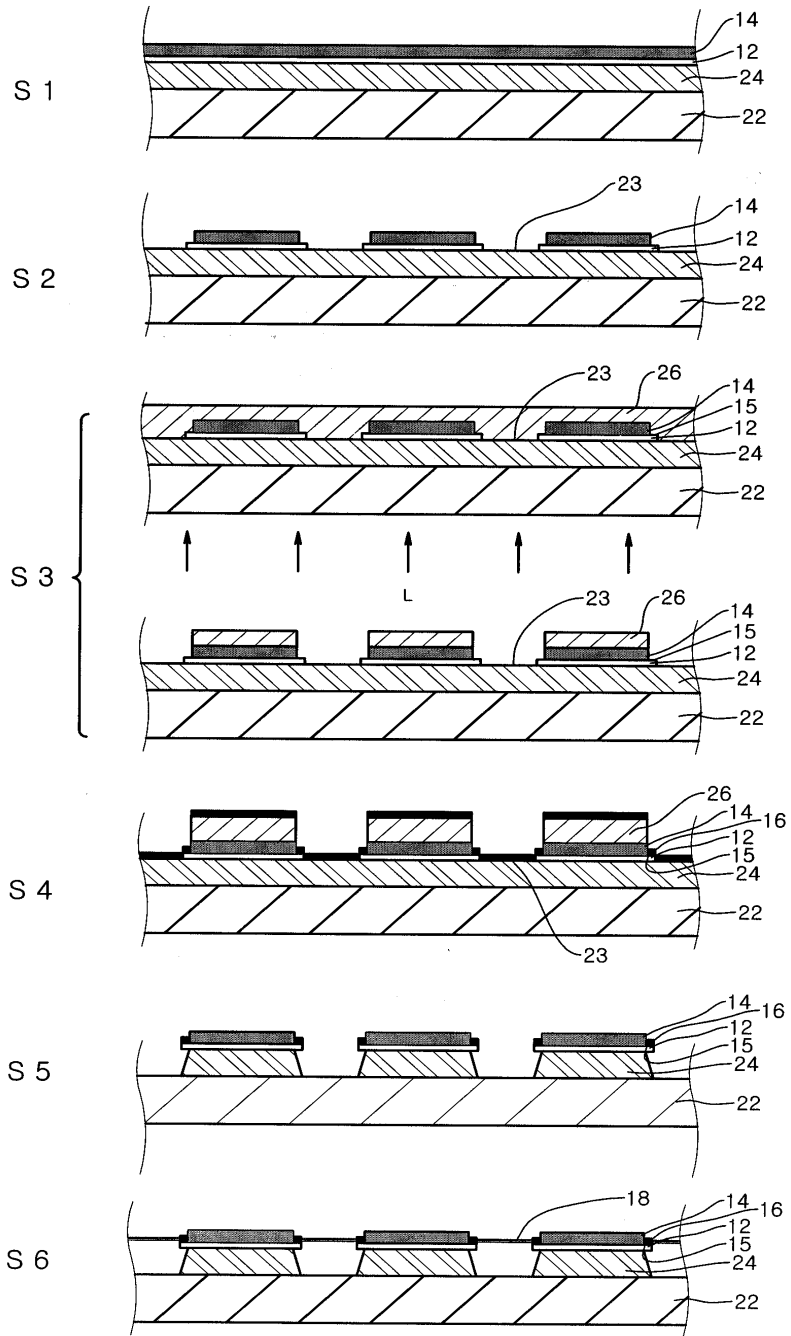
도면7



도면8

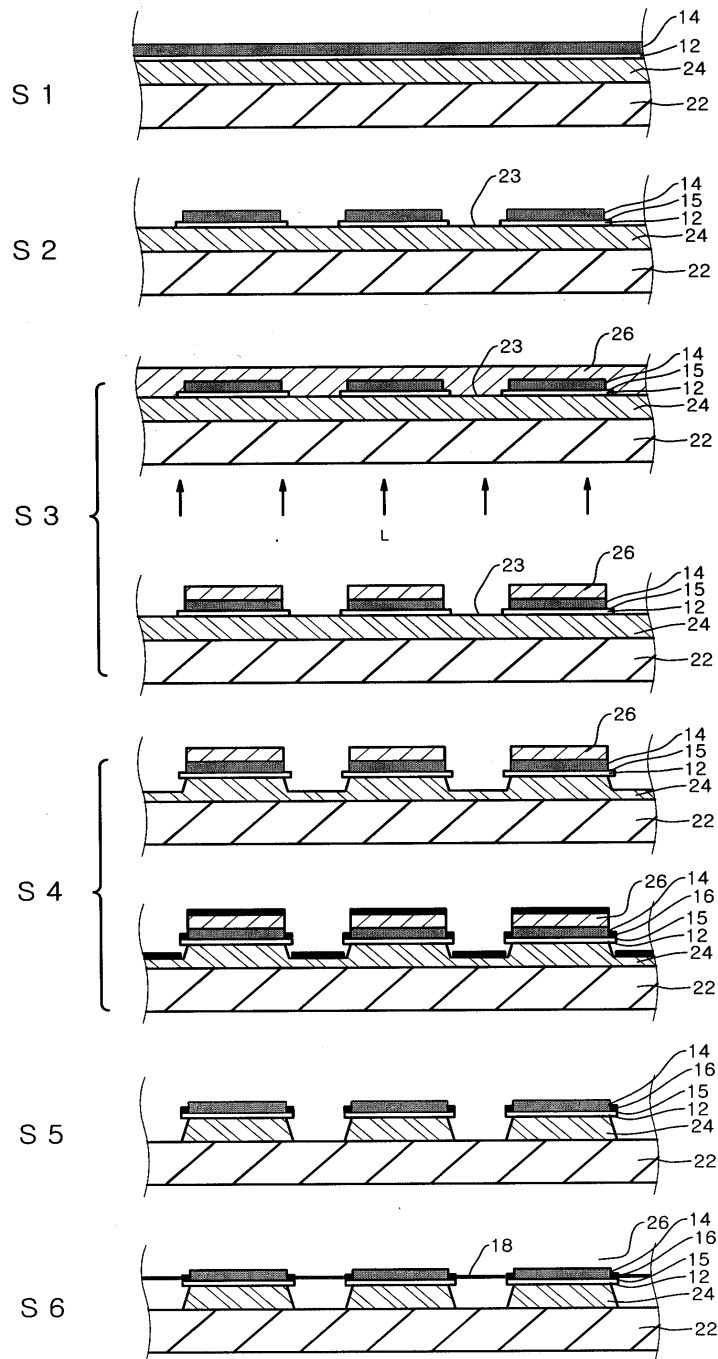


도면9

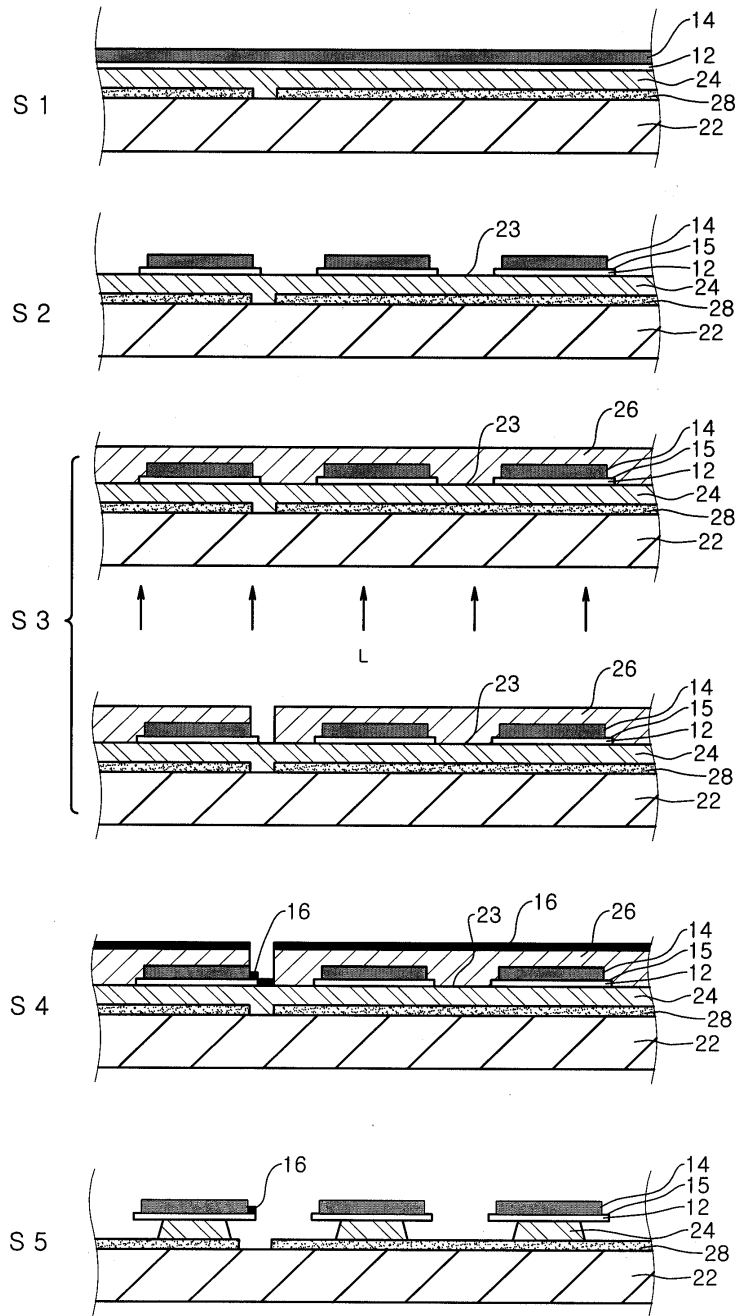




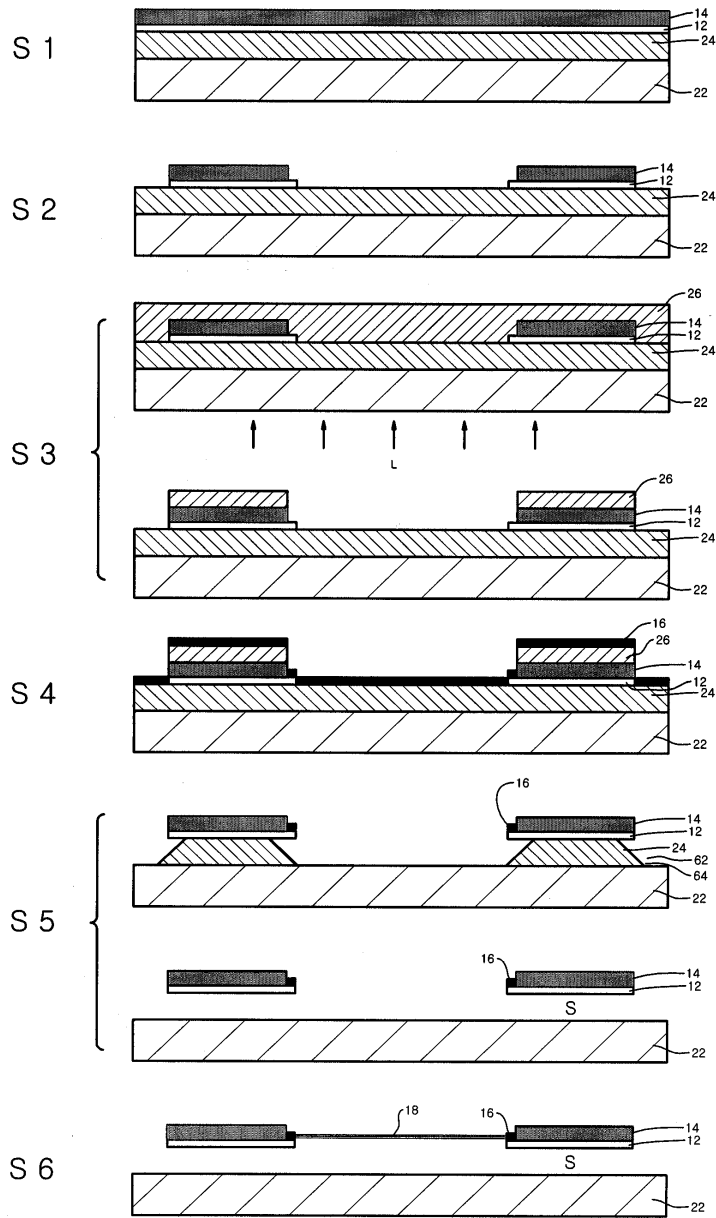
도면10



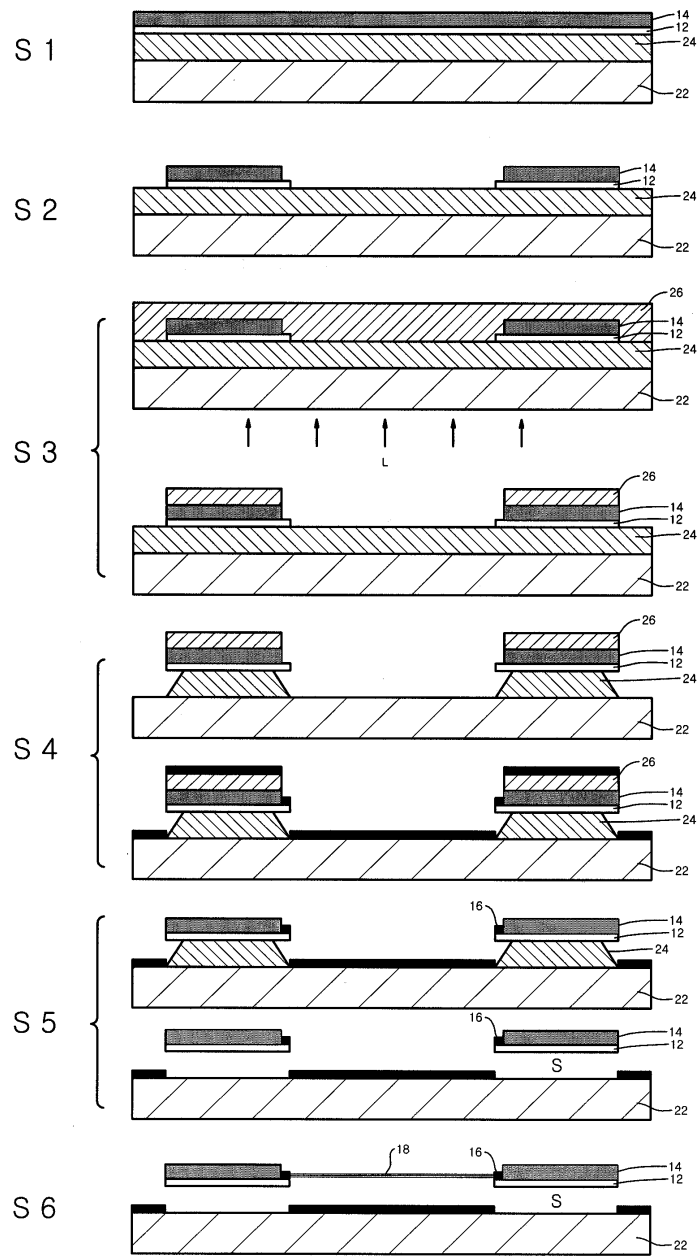
도면11



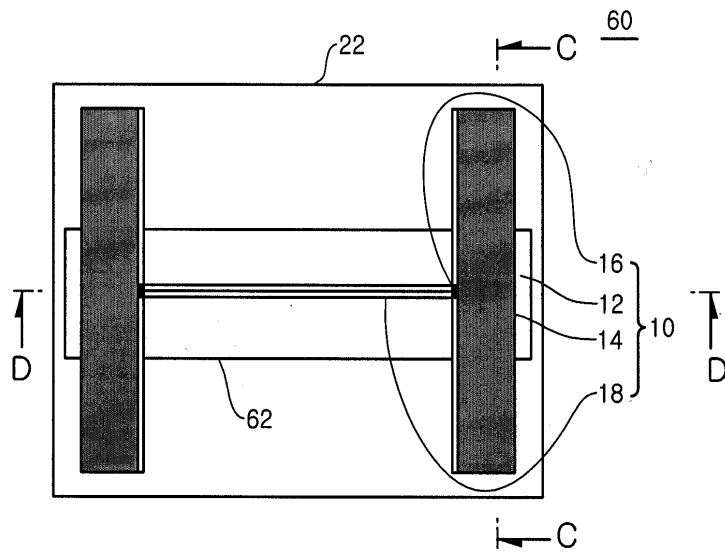
도면12



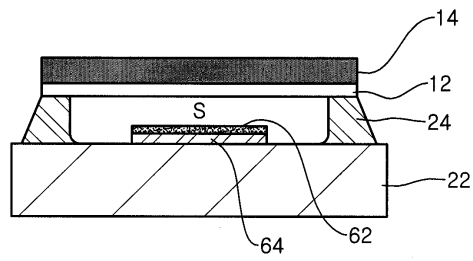
도면13



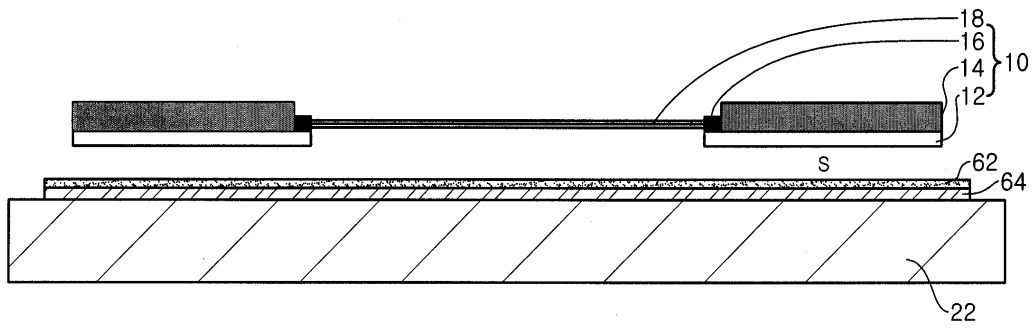
도면14a



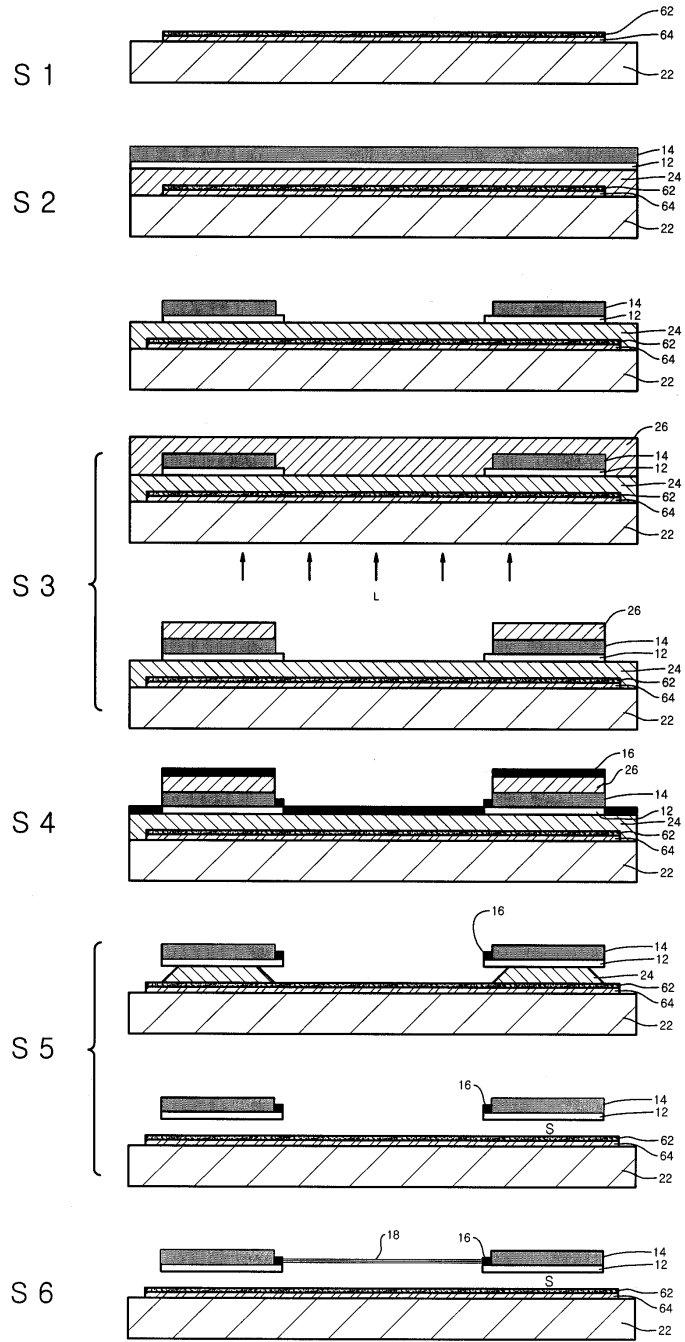
도면14b



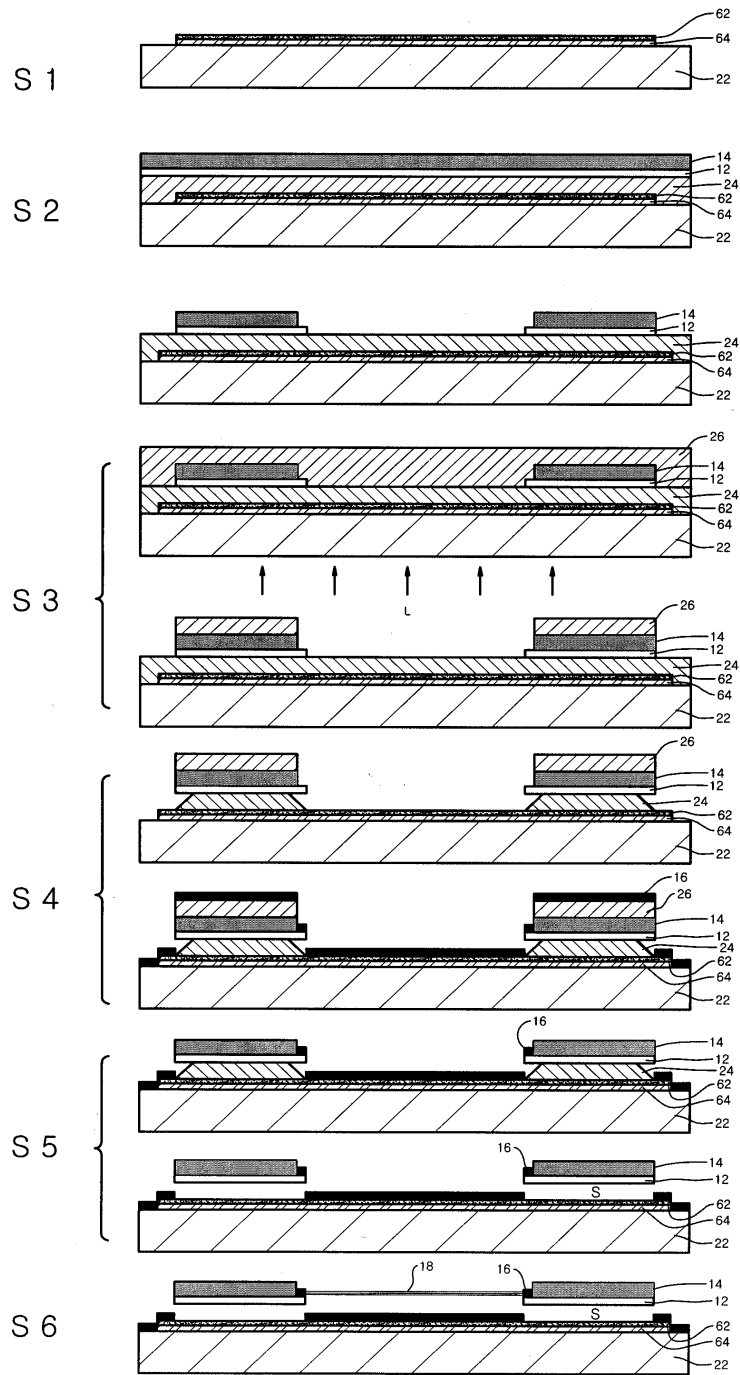
도면14c



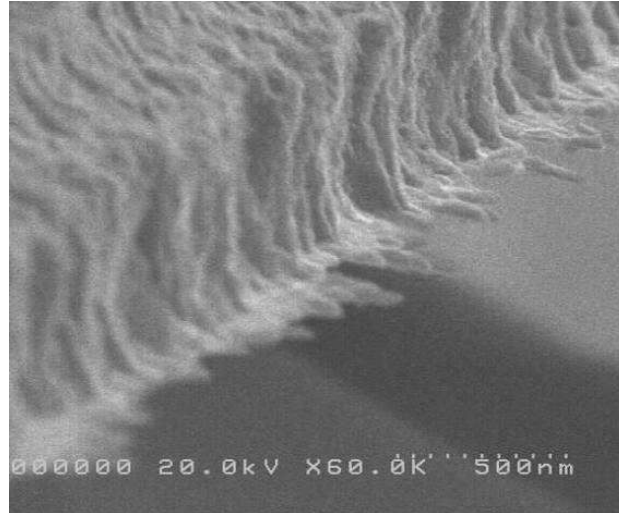
도면15



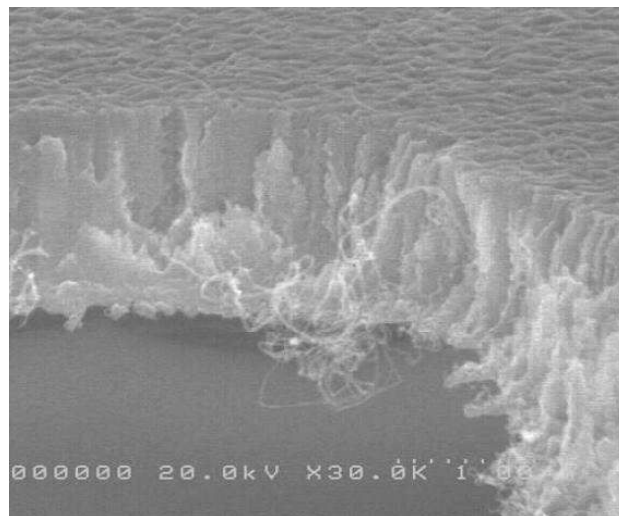
도면16



도면17a

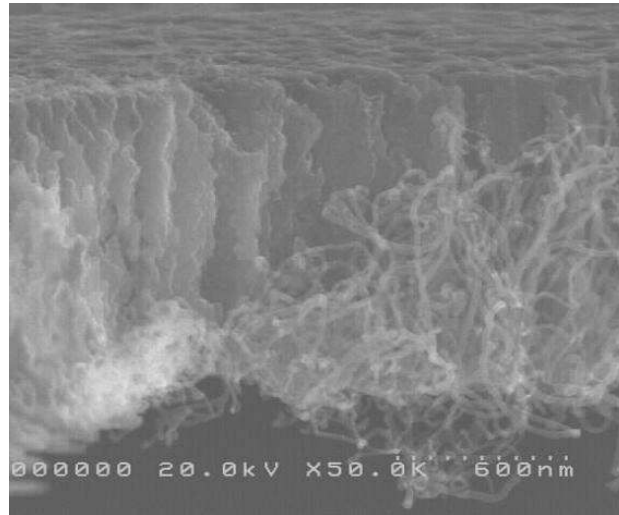


도면17b





도면17c



도면17d

