



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0056495
(43) 공개일자 2013년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/78 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0122134
(22) 출원일자 2011년11월22일
심사청구일자 2011년11월22일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
김도현
서울특별시 동작구 등용로 116-13 (대방동)
(74) 대리인
특허법인주원

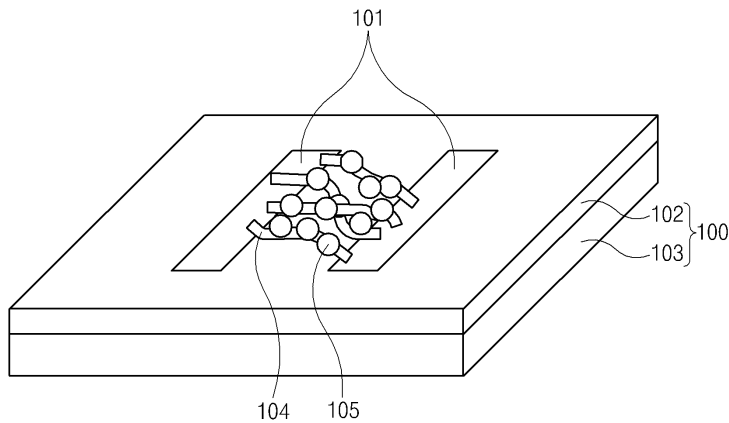
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자, 및 그 제조 방법

(57) 요약

반도체 소자의 활성층 형성에 탄소 나노튜브를 사용하는 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자 및 그 제조 방법이 개시되어 있다. 반도체 소자는 기판상의 두 전극들 사이에 형성되는 활성층을 포함하며, 상기 활성층은 탄소 나노튜브로 형성되며, 상기 탄소 나노튜브는 금속 또는 금속 산화물에 의해 도핑된다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

기관상의 두 전극들 사이에 형성되는 활성층을 포함하며,

상기 활성층은 탄소 나노튜브로 형성되며, 상기 탄소 나노튜브는 금속 및/또는 금속 산화물에 의해 도핑되는 것을 특징으로 하는 반도체 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 금속, 및 상기 금속 산화물은 각각 전이 금속, 및 전이 금속 산화물인 것을 특징으로 하는 반도체 소자.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 전이 금속, 및 상기 전이 금속 산화물은 각각 코발트, 및 코발트 산화물인 것을 특징으로 하는 반도체 소자.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 반도체 소자는 트랜지스터 소자인 것을 특징으로 하는 반도체 소자.

청구항 5

a) 기관상에 두 개의 전극들을 형성하는 단계;

b) 상기 두 개의 전극들 사이에 탄소 나노튜브 층을 형성하는 단계; 및

c) 상기 탄소 나노튜브 층에 금속 또는 금속 산화물을 도핑하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 단계 b)는

b-1) 탄소 나노튜브 분산 용액을 준비하는 단계;

b-2) 상기 탄소 나노튜브 분산 용액을 상기 기관상의 상기 두 개의 전극들 사이에 소정량을 제공하는 단계; 및

b-3) 상기 단계 b-2)에 의한 상기 기관을 건조시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 탄소 나노튜브 분산 용액은

물, 탄소 나노튜브, 및 계면 활성제를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 단계 b)는

b-4) 상기 계면 활성제를 제거하기 위해 단계 b-2)에 의해 건조된 기관을 세척하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 9

제 5항에 있어서,

상기 금속, 및 금속 산화물은 각각 전이 금속, 및 전이 금속 산화물인 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 전이 금속, 및 상기 전이 금속 산화물은 각각 코발트, 및 코발트 산화물인 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 11

제 5항 내지 제 10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 단계 c)는

c-1) 상기 금속 및/또는 금속 산화물을 포함하는 도핑 용액을 준비하는 단계;

c-2) 상기 도핑 용액의 소정량을 상기 탄소 나노튜브 층에 제공하는 단계; 및

c-3) 상기 도핑 용액의 소정량이 상기 탄소 나노튜브 층에 제공된 기판을 건조시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서, 상기 도핑 용액은

알콜, 물 및 코발트 염화물을 포함하며,

상기 단계 c)는

c-4) 상기 c-3) 단계에 의해 건조된 기판을 아르곤 분위기에서 가열하여 상기 코발트 염화물로부터 코발트 또는 코발트 산화물을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 13

제 12항에 있어서, 상기 단계 c-4)는

100~1500℃에서 10~180분 동안 수행되는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 14

제 12항에 있어서,

상기 코발트 염화물은 상기 알콜, 물 1~1000ml에 대해 1~1000mg인 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 15

제 11항에 있어서, 상기 단계 c-2)는

상기 도핑 용액을 상기 탄소 나노튜브층에 떨어뜨리는 것인 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 16

제 11항에 있어서, 상기 단계 c-2)는

상기 탄소 나노튜브 층이 형성된 기판을 상기 도핑 용액에 담그는 것인 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

청구항 17

a) 기판상에 두 개의 전극들을 형성하는 단계;

b) 탄소 나노튜브에 금속 및/또는 금속 산화물을 도핑하는 단계; 및

c) 상기 두 개의 전극들 사이에 상기 금속 또는 금속 산화물이 도핑된 탄소 나노튜브 층을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자를 제조하는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자, 및 그 제조 방법에 관한 것으로 특히, 반도체 소자 또는 트랜지스터의 활성층 형성에 탄소 나노튜브를 사용하는 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자, 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 탄소 나노튜브는 튜브가 가지는 독특한 육각형의 탄소 배열 방향성(Chirality)에 따라 반도체 성질과 금속 성질로 구분이 되며, 이 두 성질의 탄소 나노튜브는 합성된 최종 생산물에 항상 공존하게 된다.

[0003] 그런데 금속성 탄소 나노튜브가 반도체 특성이 요구되는 분야에 사용될 경우, 그 성능을 현저하게 저하시키는 원인이 된다. 따라서, 탄소 나노튜브에 반도체 특성을 더욱 강화하기 위해서 도핑(doping)이라 불리는 과정을 통해 p-형 또는 n-형의 반도체 성질을 부과할 수 있는 물질을 탄소 나노튜브에 도핑하게 된다.

[0004] 이때 사용되는 물질을 도펀트(Dopant)라 하는데, 현재 사용되는 대부분의 도펀트들은 유기물이거나 액체이어서 도핑한 직후에는 반도체적 특성을 나타내지만, 시간이 지남에 따라 도펀트가 증발하기 때문에, 탄소 나노튜브는 도핑을 통해서 부여한 반도체적 성질을 잃게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 이에, 본 발명은 상술한 사정을 감안하여 창출된 것으로서, 본 발명의 목적은 탄소 나노튜브를 도핑한 후에도 그 도핑 효과를 장시간 유지하는 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자, 및 그 제조 방법을 각각 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 관점에 따른 반도체 소자는 기판상의 두 전극들 사이에 형성되는 활성층을 포함하며, 상기 활성층은 탄소 나노튜브로 형성되며, 상기 탄소 나노튜브는 금속 및/또는 금속 산화물에 의해 도핑되는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 금속, 및 상기 금속 산화물은 각각 전이 금속, 및 전이 금속 산화물일 수 있으며, 상기 전이 금속, 및 상기 전이 금속 산화물은 각각 코발트, 및 코발트 산화물일 수 있다.

[0008] 상기 반도체 소자는 트랜지스터 소자일 수 있다.

[0009] 본 발명의 제 2 관점에 따른 반도체 소자를 제조하는 방법은 a) 기판상에 두 개의 전극들을 형성하는 단계; b) 상기 두 개의 전극들 사이에 탄소 나노튜브 층을 형성하는 단계; 및 c) 상기 탄소 나노튜브 층에 금속 및/또는 금속 산화물을 도핑하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 단계 b)는 b-1) 탄소 나노튜브 분산 용액을 준비하는 단계; b-2) 상기 탄소 나노튜브 분산 용액을 상기 기판상의 상기 두 개의 전극들 사이에 소정량을 제공하는 단계; 및 b-3) 상기 단계 b-2)에 의한 상기 기판을 건조시키는 단계를 포함한다.

[0011] 실시 예에 따라서는, 상기 탄소 나노튜브 분산 용액은 물, 탄소 나노튜브 및 계면 활성제를 포함한다.

[0012] 바람직하게는, 상기 단계 b)는 b-4) 상기 계면 활성제를 제거하기 위해 단계 b-2)에 의해 건조된 기판을 세척하는 단계를 더 포함한다.

[0013] 상기 금속, 및 상기 금속 산화물은 각각 전이 금속, 및 전이 금속 산화물일 수 있으며, 상기 전이 금속, 및 상기 전이 금속 산화물은 각각 코발트, 및 코발트 산화물일 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 단계 c)는 c-1) 상기 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 도핑 용액을 준비하는 단계; c-2)

상기 도핑 용액의 소정량을 상기 탄소 나노튜브 층에 제공하는 단계; c-3) 상기 도핑 용액의 소정량이 상기 탄소 나노튜브 층에 제공된 기판을 건조시키는 단계를 포함한다.

[0015] 상기 도핑 용액은 에탄올 및 코발트 염화물을 포함하며, 상기 단계 c)는 c-4) 상기 c-3) 단계에 의해 건조된 기판을 아르곤 분위기에서 가열하여 코발트 또는 코발트 산화물을 형성하는 단계를 더 포함한다.

[0016] 실시 예에 따라서는 상기 단계 c-4)는 100~1500℃에서 10~180분 동안 수행된다.

[0017] 실시 예에 따라서는, 상기 코발트 염화물은 상기 에탄올 5~1000ml에 대해 1~1000mg이 혼합된다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 의하면, 종래의 유기물 혹은 액체 상태의 도핑 물질을 탄소 나노튜브에 직접 떨어뜨려 도핑을 하여 반도체 성질을 얻는 방법과 달리, 그 물질의 반도체 특성이 지속적으로 나타나며, 본 발명에서와 같이 금속 또는 금속 산화물이 도핑된 탄소 나노튜브를 가지고 트랜지스터를 제조하면 시간이 지나도 안정된 소자 특성 보이는 트랜지스터의 제작이 가능하기 때문에 상용화 가능한 것에 그 발명의 효과가 있다.

[0019] 또한, 코발트 금속이나 금속 산화물의 종류 및 그 입자 크기를 제어함으로써 탄소나노튜브의 반도체 특성 정도를 제어할 수 있으며, 금속 물질을 사용하기 때문에 열에 대한 강한 안정성을 가지고 있으며, 배치 프로세스(batch process)에 의해 트랜지스터를 대량으로 생산할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 공정 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 탄소 나노튜브를 이용한 반도체 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 공정 흐름도이다.

도 3은 도 1 또는 도 2에 도시된 방법에 따라 제조된 반도체 소자의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3의 반도체 소자의 단면을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 5는 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 이전의 소자의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이다.

도 6 내지 도 8은 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 후의 소자의 전기적인 특성을 나타낸 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현 예 및 실시 예를 상세히 설명한다.

[0022] 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현 예 및 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본원을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0023] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0024] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용 오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.

[0025] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 반도체 소자를 나타낸 도면이다.

[0026] 도 3에서 바텀 게이트 구조가 적용된 반도체 소자를 통해 본 발명이 설명되었지만, 본 발명에 따른 반도체 소자는 이에 국한하지 않으며, 탑 게이트 구조 등 다양한 형태로 구현될 수 있다.

[0027] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 반도체 소자는 기판(100), 두 개의 전극들(101) 및 활성층(104, 105)을 포함한다.

[0028] 상기 기판(100)은 실리콘 또는 반도체성 플라스틱일 수 있다.

- [0029] 상기 두 개의 전극들(101)은 상기 기판(100)의 절연층(102) 상에 상호 소정의 간격을 두고 형성된다. 예컨대, 상기 전극들(101)의 간격은 대략 $1\mu\text{m}$ ~ 1cm 이며, 실시 예에 따라서는 대략 $300\mu\text{m}$ 이다. 상기 전극들(101)은 예컨대, 전자선 증착(Electron-Beam Evaporation) 방법, 열증착(Thermal Evaporation) 방법, 또는 스퍼터링(Sputtering) 방법에 의해 형성될 수 있다.
- [0030] 상기 활성 층(104, 105)은 본 발명에 따라 탄소 나노튜브(104)를 포함하며, 상기 탄소 나노튜브(104)는 네트워크 구조를 갖는다. 또한, 상기 활성층(104, 105)은 금속 또는/및 금속 산화물(105)을 포함하며, 상기 금속 또는/및 금속 산화물(105)은 상기 탄소 나노튜브(104)로의 도핑에 의해 형성된다.
- [0031] 상기 금속(105)은 전이 금속을 포함하며, 상기 전이 금속은 예컨대 코발트이다. 상기 금속 산화물(105)은 전이 금속 산화물을 포함하며, 상기 전이 금속 산화물은 예컨대, 코발트 산화물이다.
- [0032] 도 4는 도 3의 반도체 소자의 단면을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0033] 언급한 바와 같이, 본 실시예에서 바텀 게이트 구조의 반도체 소자가 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 국한하지 않으며, 탑 게이트 구조 등 다양한 형태에 적용될 수 있다.
- [0034] 도 4를 참조하면, 상기 본 발명의 실시 예에 따른 트랜지스터는 기판층(103), 상기 기판(103) 상에 형성되는 절연 층(102), 소오스 전극(107), 드레인 전극(106), 및 활성 층(104, 105)을 포함한다.
- [0035] 상기 절연 층(102)은 일반적인 방법에 의해 상기 기판층(103) 상에 형성될 수 있다. 상기 기판층(103)은 실리콘 또는 반도체성 플라스틱일 수 있다.
- [0036] 상기 소오스 전극(107) 및 상기 드레인 전극(106)은 도 3에 나타난 바와 같이, 상기 절연 층(102) 상에 상호 소정의 간격을 두고 형성된다. 예컨대, 상기 소오스 전극(107) 및 상기 드레인 전극(106)의 간격은 대략 $1\mu\text{m}$ ~ 1cm 이며, 실시 예에 따라서는 대략 $300\mu\text{m}$ 이다. 상기 소오스 전극(107) 및 상기 드레인 전극(106)은 예컨대, 전자선 증착(Electron-Beam Evaporation) 방법, 열증착(Thermal Evaporation) 또는 스퍼터링(Sputtering) 방법에 의해 형성될 수 있다.
- [0037] 상기 활성 층(104, 105)은 본 발명에 따라 탄소 나노튜브(104)를 포함하며, 상기 탄소 나노튜브(104)는 네트워크 구조를 갖는다. 또한, 상기 활성 층(104, 105)은 금속 또는/및 금속 산화물(105)을 포함하며, 상기 금속 또는/및 금속 산화물(105)은 상기 탄소 나노튜브(104)에 도핑을 통하여 형성된다.
- [0038] 상기 금속(105)은 전이 금속을 포함하며, 상기 전이 금속은 예컨대 코발트이다. 상기 금속 산화물(105)은 전이 금속 산화물을 포함하며, 상기 전이 금속 산화물은 예컨대, 코발트 산화물이다.
- [0039] 이하, 상술한 반도체 소자 및 트랜지스터를 제조하는 과정을 도 1 및 도 2를 참조하여 상세히 설명한다.
- [0040] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따라 도 3 및 도 4에 각각 도시된 반도체 소자 및/또는 트랜지스터를 제조하는 과정을 설명하기 위한 공정 흐름도이다.
- [0041] 도 1을 참조하면, 먼저, 상기 기판(100) 상에 두 개의 전극들(101)을 형성한다(S110). 도 4에 도시된 트랜지스터의 경우, 기판층(103) 상에 절연 층(102)을 형성한 후, 상기 절연층(102) 상에 상기 소오스 전극(107) 및 상기 드레인 전극(106)을 형성한다.
- [0042] 상기 두 개의 전극들(101)과, 상기 소오스 전극(107) 및 상기 드레인 전극(106)은 동일 또는 유사한 구성이므로, 이하에서는 두 개의 전극들(101)로 통일하여 설명한다. 상기 두 개의 전극들(101)은 실시 예에 따라서는 전자선 증착 방법, 열증착 또는 스퍼터링 방법에 의해 형성될 수 있다.
- [0043] 이어, 상기 두 개의 전극들(101) 사이에 탄소 나노튜브 층을 형성하기 위해, 탄소 나노튜브 분산 용액을 준비한다(S120).
- [0044] 상기 탄소 나노튜브 분산 용액은 증류수, 탄소 나노튜브 및 계면 활성제를 포함한다. 예컨대, 탄소 나노튜브 분산 용액은 대략 증류수 5~1000mg에 대해, 1~1000mg의 탄소 나노튜브 및 0.001~100g의 계면 활성제 혼합한 후, 상기 혼합액을 초음파를 이용하여 분산시킨다.
- [0045] 바람직하게는, 탄소 나노튜브 분산 용액은 대략 증류수 10mg에 대해, 50mg의 탄소 나노튜브 및 0.1g의 계면 활성제를 혼합한 후, 대략 15분 동안 초음파 분산시킨다. 상기 계면 활성제는 SDS(sodium dodecyl sulfate) 또는 SDBS(4-dodecylbenzenesulfonic acid)일 수 있다.

- [0046] 이어, 상기 탄소 나노튜브 분산 용액을 상기 기관(100) 상의 상기 두 개의 전극들(101) 사이에 소정 량 예컨대, 대략 $3\mu\text{l}$ 을 제공한다(S130).
- [0047] 이어, 상기 탄소 나노튜브 분산 용액이 제공된 상기 기관(100)을 건조시킨다(S140). 이때, 건조 온도는 대략 100°C 이다.
- [0048] 이어, 상기 건조 후, 상기 계면 활성제를 제거하기 위해 상기 기관(100)을 예컨대, 증류수로 세척한 후, 다시 건조시킨다(S150). 상기 재건조는 대략 100°C 온도에서 대략 5분 동안 수행한다.
- [0049] 이어, 상기 탄소 나노튜브 층을 금속 또는/및 금속 산화물로 도핑한다(S160).
- [0050] 이하, 단계 S160의 과정을 상세히 설명한다.
- [0051] 먼저, 상기 금속 또는/및 금속 산화물을 포함하는 도핑 용액을 준비한다(S161). 상기 도핑 용액은 예컨대, 대략 에탄올 1~1000ml에 1~1000mg의 질산코발트($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)를 녹여 준비한다. 바람직하게는, 상기 도핑 용액은 예컨대, 대략 에탄올 20ml에 60mg의 질산코발트를 녹인다.
- [0052] 이어, 상기 도핑 용액의 소정량 예컨대, 대략 $4\mu\text{l}$ 을 상기 탄소 나노튜브 층(104)에 제공한다(S162).
- [0053] 이어, 상기 도핑 용액의 소정량이 상기 탄소 나노튜브 층에 제공된 기관(100)을 예컨대 상온에서 건조시킨 후, 상기 건조된 기관을 아르곤 분위기에서 가열하여 상기 코발트 금속 및/또는 코발트 금속 산화물을 형성한다(S163, S164). 예컨대, 상기 가열은 $100\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 에서 10~180분 동안 수행되며, 바람직하게는 300°C 에서 60분 동안 수행한다.
- [0054] 도 5는 상술한 금속 또는/및 금속 산화물 도핑이 없을 때의 소자의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이다.
- [0055] 도 5에 도시된 바와 같이, 활성층이 도핑되지 않는 경우, 트랜지스터 특성이 전혀 없음을 알 수 있다.
- [0056] 도 6은 상술한 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 후의 소자의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이며, 도 7은 대략 3주 이후의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이다.
- [0057] 도 6 및 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 반도체 소자 또는/및 트랜지스터는 일반적인 트랜지스터의 전기적 특성을 갖게 됨을 알 수 있으며, 3주 후에도 트랜지스터의 전기적 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.
- [0058] 도 2는 본 발명의 다른 실시 예에 따라 도 3 및 도 4에 각각 도시된 반도체 소자 및/또는 트랜지스터를 제조하는 과정을 설명하기 위한 공정 흐름도이다.
- [0059] 도 2에서, 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 과정(S170)을 제외하고는 도 1의 방법과 동일하므로, 도 2의 단계 S110 내지 S150의 상세한 설명은 생략한다.
- [0060] 도 2를 참조하면, 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 과정은 먼저, 상기 금속 또는/및 금속 산화물을 포함하는 도핑 용액을 준비한다(S171). 상기 도핑 용액은 예컨대, 대략 에탄올 1~1000ml에 1~1000mg의 질산코발트($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)를 녹여 준비한다. 바람직하게는, 상기 도핑 용액은 예컨대, 대략 에탄올 20ml에 60mg의 질산코발트를 녹인다.
- [0061] 이어, 상기 도핑 용액에 상기 기관(100)을 소정 시간 동안 담근다(S172). 상기 담금은 짧게는 1분에서 길게는 24시간 바람직하게는, 대략 4시간 동안 수행한다.
- [0062] 이어, 상기 도핑 용액의 소정 량이 상기 탄소 나노튜브 층에 제공된 기관(100)을 아르곤 분위기에서 가열하여 코발트 금속 및/또는 코발트 금속 산화물을 형성한다(S173). 예컨대, 상기 가열은 $100\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 에서 10~180분 동안 수행되며, 바람직하게는 300°C 에서 60분 동안 수행한다.
- [0063] 도 8은 도 2에 따라 금속 또는/및 금속 산화물 도핑 후의 소자의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이며, 도 8에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 반도체 소자 또는/및 트랜지스터는 일반적인 트랜지스터의 전기적 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.
- [0064] 이제까지, 도 1과 도 2를 통해 전극 사이에 이미 형성된 탄소 나노튜브층에 금속 또는 금속 산화물을 도핑함으로써 도핑된 탄소 나노튜브층을 형성하는 실시예를 설명하였다. 그러나 도핑된 탄소 나노튜브 활성층은 이미 금속 또는 금속 산화물이 도핑된 탄소 나노튜브들을 기관상의 전극들 사이에 형성하는 방식으로도 형성할 수

있다.

[0065] 이와 같이, 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

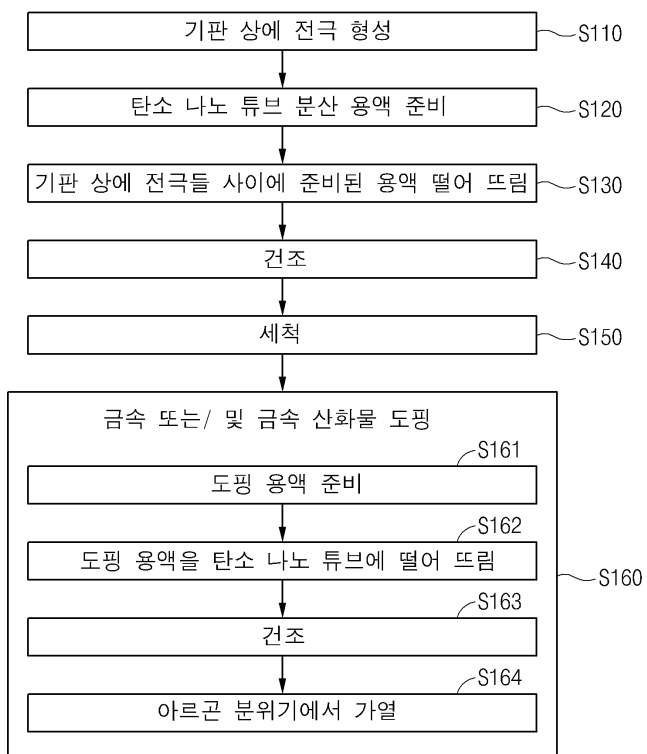
부호의 설명

[0066]

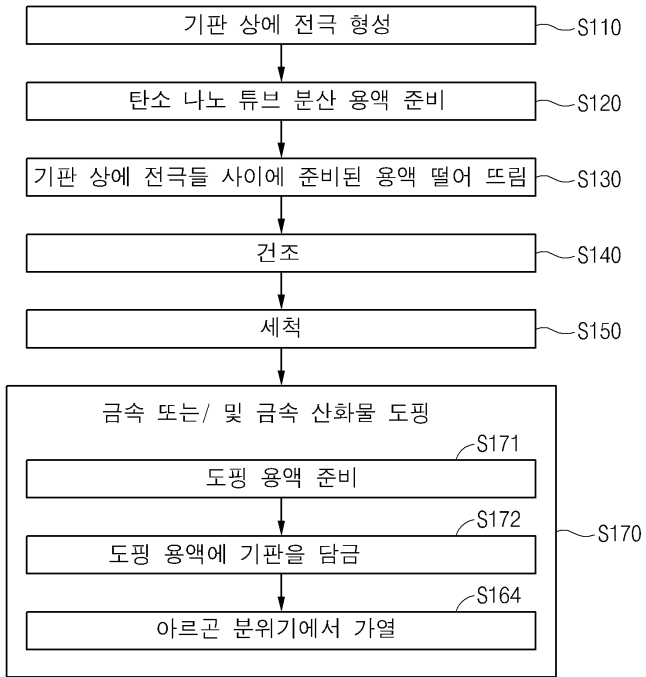
100: 기관	101: 전극
102: 절연층	103: 기관층
104: 탄소 나노튜브	105: 금속 및/또는 금속산화물
106: 드레인 전극	107: 소오스 전극

도면

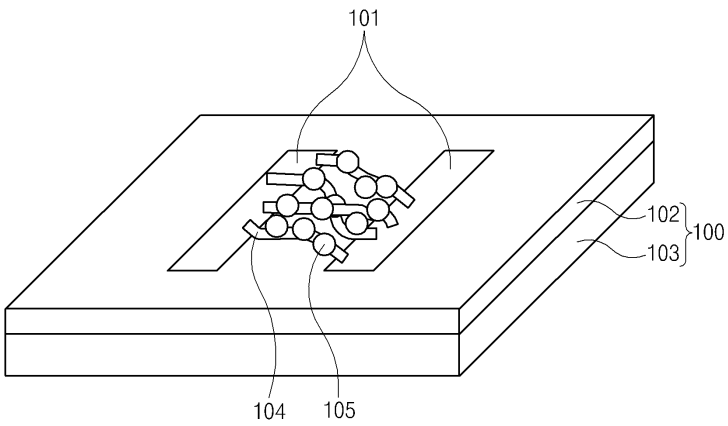
도면1



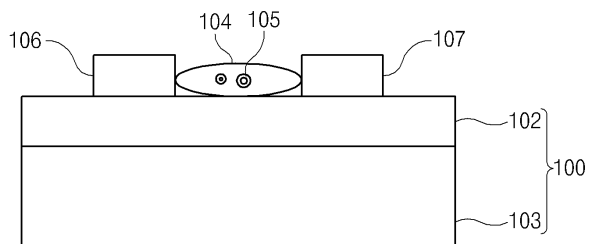
도면2



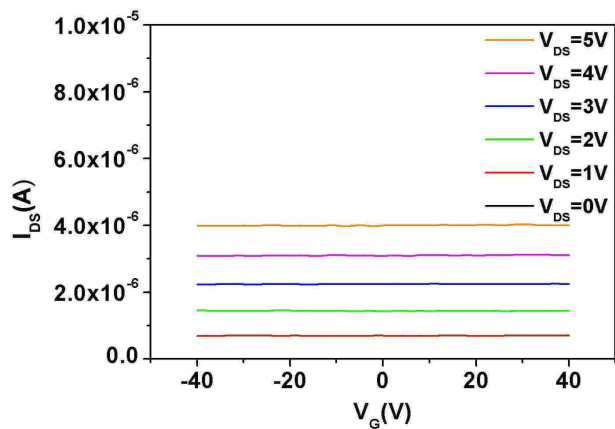
도면3



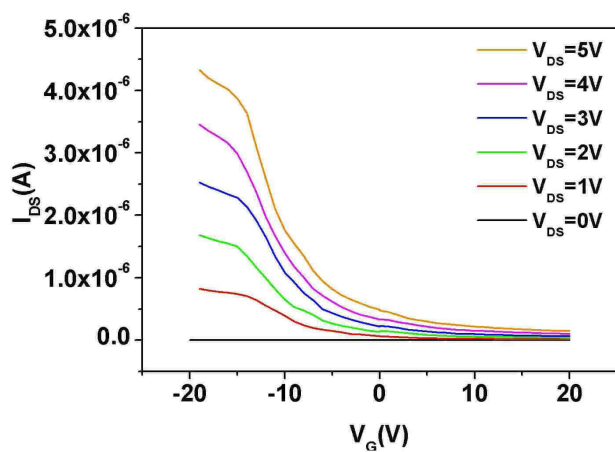
도면4



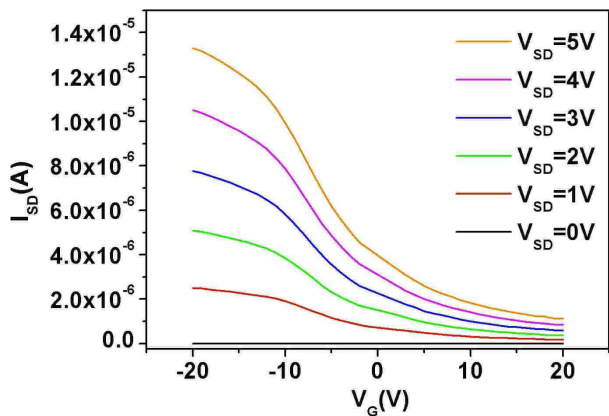
도면5



도면6



도면7



도면8

