



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01L 21/335 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년08월07일 10-0746863 2007년08월01일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2006-7004025	(65) 공개번호	10-2006-0036487
(22) 출원일자	2006년02월27일	(43) 공개일자	2006년04월28일
심사청구일자	2006년02월27일		
번역문 제출일자	2006년02월27일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP2004/012402	(87) 국제공개번호	WO 2005/022134
국제출원일자	2004년08월27일	국제공개일자	2005년03월10일

(30) 우선권주장      JP-P-2003-00307798      2003년08월29일      일본(JP)

(73) 특허권자      도쿠리쓰교세이호정 가가쿠 기주쓰 신코 기코  
일본 사이타마켄 가와구치시 혼쇼 4쵸메 1반 8고

(72) 발명자      마츠모토 가즈히코  
일본 이바라키켄 츠클바시 마츠시로 5-612-1

고지마 아츠히코  
일본 이바라키켄 츠클우라시 아라카와오키히가시 3-9-22-507

나카오 사토루  
일본 지바켄 아비코시 츠클시노 1-21-1-311

카토우 마사노리  
일본 가나가와켄 오다와라시 나카소네 315-103

야마다 유타카  
일본 이바라키켄 츠클우라시 사쿠라가오카마치 28-19

나카이케 가즈히로  
일본 가나가와켄 사가미하라시 사카에쵸 5-7

이후쿠 야스오  
일본 가나가와켄 사가미하라시 히가시린칸 5-6-2 사운드피아 2비02

미타니 히로시  
일본 가나가와켄 야마토시 쥬오린칸 2-4-9-501

(74) 대리인      특허법인코리아나

(56) 선행기술조사문헌  
JP08094577 A

심사관 : 김동국

전체 청구항 수 : 총 21 항

**(54) 전계 효과 트랜지스터 및 단일 전자 트랜지스터 그리고 그것을 사용한 센서**

**(57) 요약**

기관 (2) 과 기관 (2) 에 형성된 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 과 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 사이의 전류 통로가 되는 채널 (6) 을 구비한 전계 효과 트랜지스터 (1A) 를 가지고 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 있어서, 전계 효과 트랜지스터 (1A) 가 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질 (10) 을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트 (9) 와 상호작용을 전계 효과 트랜지스터 (1A) 의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트 (7) 를 갖도록 구성함으로써, 고감도의 검출 감도가 요구되는 검출대상물질의 검출을 가능하게 하는 센서를 제공한다.

**대표도**

도 1

**특허청구의 범위**

**청구항 1.**

기관과, 상기 기관에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터를 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서로서,

상기 전계 효과 트랜지스터가,

상기 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와,

상기 상호작용을 상기 전계 효과 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것으로 하는 센서.

**청구항 2.**

제 1 항에 있어서,

상기 채널이, 나노튜브 형상 구조체로 이루어지는 것을 특징으로 하는 센서.

**청구항 3.**

제 2 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체가, 카본 나노튜브, 보론 나이트라이드 나노튜브 및 티타니아 나노튜브로 이루어지는 군으로부터 선택되는 구조체인 것을 특징으로 하는 센서.

**청구항 4.**

제 2 항 또는 제 3 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성이 반도체적 성질을 갖는 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 5.

기판과, 상기 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 단일 전자 트랜지스터를 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서로서,

상기 단일 전자 트랜지스터가,

상기 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와,

상기 상호작용을 상기 단일 전자 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 6.

제 5 항에 있어서,

상기 채널이, 나노튜브 형상 구조체로 이루어지는 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체가, 카본 나노튜브, 보론 나이트라이드 나노튜브 및 티타니아 나노튜브로 이루어지는 군으로부터 선택되는 구조체인 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 8.

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체에 결합이 도입되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 9.

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성이 금속적 성질을 갖는 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 10.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 상호작용 감지 게이트가, 상기 게이트와는 상이한 다른 게이트인 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 11.

제 10 항에 있어서,

상기 다른 게이트가, 상기 기관의 표면측에 형성된 탑 게이트, 상기 기관 표면의 채널 측면에 형성된 사이드 게이트, 및 이면측에 형성된 백게이트 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 12.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 채널이, 상기 기관으로부터 격리된 상태에서 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 가교되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 13.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 채널이, 실온에서 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 느슨해진 상태로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 14.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관이, 절연성 기관인 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 15.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 채널이, 절연성 부재로 피복되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 16.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 채널과 상기 상호작용 감지 게이트 사이에 저유전율의 절연성 재료의 층이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 17.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 채널과 상기 게이트 사이에 고유전율의 절연성 재료의 층이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 센서.

### 청구항 18.

제 1 항 내지 제 3 항, 제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 상호작용 감지 게이트에 상기 특정 물질을 고정화시킨 것을 특징으로 하는 센서.

#### 청구항 19.

기관과, 상기 기관에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 사용되는 전계 효과 트랜지스터로서,

상기 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와,

상기 상호작용을 상기 전계 효과 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 하는 전계 효과 트랜지스터.

#### 청구항 20.

삭제

#### 청구항 21.

삭제

#### 청구항 22.

삭제

#### 청구항 23.

삭제

#### 청구항 24.

기관과, 상기 기관에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 사용되는 단일 전자트랜지스터로서,

상기 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와,

상기 상호작용을 상기 단일 전자 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 하는 단일 전자 트랜지스터.

#### 청구항 25.

삭제

#### 청구항 26.

삭제

#### 청구항 27.

삭제

#### 청구항 28.

삭제

## 청구항 29.

제 24 항에 있어서,

상기 나노튜브 형상 구조체에 결합이 도입되어 있는 것을 특징으로 하는 단일 전자 트랜지스터.

### 명세서

#### 기술분야

본 발명은 전계 효과 트랜지스터 및 단일 전자 트랜지스터, 그리고 그것을 사용한 센서에 관한 것이다.

#### 배경기술

전계 효과 트랜지스터 (FET) 및 단일 전자 트랜지스터 (SET) 는 게이트에 입력되는 전압 신호를 소스 전극 또는 드레인 전극으로부터 출력되는 전류 신호로 변환하는 소자이다. 소스 전극과 드레인 전극 사이에 전압을 가하면, 채널에 존재하는 하전 입자가 소스 전극과 드레인 전극 사이를 전계 방향을 따라 이동하여, 소스 전극 또는 드레인 전극으로부터 전류 신호로서 출력된다.

이 때 출력되는 전류 신호의 강도는 하전 입자의 밀도에 비례한다. 절연체를 통해 채널의 상방, 측면 또는 하방 등에 설치한 게이트에 전압을 가하면, 채널에 존재하는 하전 입자의 밀도가 변화하기 때문에, 이것을 이용하여 게이트 전압을 변화시킴으로써 전류 신호를 변화시킬 수 있다. 또한, 이하에서 전계 효과 트랜지스터와 단일 전자 트랜지스터를 구별하지 않고 서술하는 경우, 간단히 「트랜지스터」라고 한다.

현재 알려져 있는, 트랜지스터를 사용한 화학물질 검출소자 (센서) 는 위에 서술한 트랜지스터의 원리를 응용한 것이다. 구체적인 센서의 예로는, 특허문헌 1 에 기재되어 있는 것을 들 수 있다. 특허문헌 1 에는 트랜지스터의 게이트에 검출해야 할 물질과 선택적으로 반응하는 물질을 고정화시킨 구조를 갖는 센서가 기재되어 있다. 검출해야 할 물질과 게이트에 고정화된 물질의 반응에 의한 게이트 상의 표면 전하의 변화에 따라 게이트에 걸리는 전위가 변화되기 때문에, 채널에 존재하는 하전 입자의 밀도가 변화한다. 이에 따라 생기는 트랜지스터의 드레인 전극 또는 소스 전극으로부터의 출력 신호의 변화를 관측함으로써, 검출해야 할 물질을 검출할 수 있다.

특허문헌 1 : 일본 특허공개공보 제 10-260156 호

#### 발명의 개시

##### 발명이 해결하고자 하는 과제

그러나 이러한 센서는, 예컨대 매우 고감도의 검출 감도를 요하는 항원-항체 반응을 이용한 면역 센서 등에 대한 응용을 생각하는 경우, 검출 감도에 기술적 제한이 있어 실용화되어 있지 않다.

본 발명은 상기의 과제를 감안하여 창안된 것으로서, 고감도의 검출 감도가 요구되는 검출대상물질의 검출을 가능하게 하는 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

##### 과제를 해결하기 위한 수단

본 발명의 발명자들은 트랜지스터를 사용하여 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 있어서, 이 트랜지스터가 소스 전극, 드레인 전극 및 채널 외에, 이 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와, 이 상호작용을 이 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 가짐으로써, 이 검출대상물질을 고감도로 검출하는 것이 가능하다는 것을 발견하고, 본 발명을 완성시켰다.

즉, 본 발명의 센서는 기관과, 이 기관에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터를 가지고 검출대상물질을 검출하기 위한 센서로서, 이 전계 효과 트랜지스터가, 이 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와, 이 상호작용

용을 이 전계 효과 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 한다 (청구항 1). 이 센서에 의하면, 트랜지스터의 전달 특성이 최고 감도가 되는 상태에서 이 상호작용의 검출을 실시할 수 있기 때문에, 센서를 고감도로 할 수 있다.

또, 본 발명의 다른 센서는 기관과, 이 기관에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 단일 전자 트랜지스터를 가지고 검출대상물질 검출을 위한 센서로서, 이 단일 전자 트랜지스터가, 이 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와, 이 상호작용을 이 단일 전자 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 한다 (청구항 5). 이 센서에 의하면, 트랜지스터의 전달 특성이 최고 감도가 되는 상태에서 이 상호작용의 검출을 실시할 수 있기 때문에, 센서를 고감도로 할 수 있다.

또, 이 채널은 나노튜브 형상 구조체로 이루어지는 것이 바람직하다 (청구항 2, 6). 이에 따라, 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

또, 상기의 나노튜브 형상 구조체는 카본 나노튜브, 보론 나이트라이드 나노튜브 및 티타니아 나노튜브로 이루어지는 군으로부터 선택되는 구조체인 것이 바람직하다 (청구항 3, 7).

또, 상기의 전계 효과 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성은 반도체적 성질을 갖는 것이 바람직하다 (청구항 4).

또, 상기의 단일 전자 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체는 결함이 도입되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 8). 이에 따라, 나노튜브 형상 구조체 안에 양자 도트 구조를 형성할 수 있다.

또, 상기의 단일 전자 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성은 금속적 성질을 갖는 것이 바람직하다 (청구항 9).

또, 이 상호작용 감지 게이트는 이 게이트와는 상이한 다른 게이트인 것이 바람직하다 (청구항 10). 이에 따라, 간단한 구성으로 트랜지스터를 구성할 수 있다.

또, 상기의 다른 게이트는 이 기관의 표면의 채널 상면에 형성된 탑 게이트, 이 기관 표면의 채널 측면에 형성된 사이드 게이트, 및 이면측에 형성된 백게이트 중 어느 하나인 것이 바람직하다 (청구항 11). 이에 따라, 검출시의 조작을 간단히 실시할 수 있다.

또, 이 채널은 이 기관으로부터 격리된 상태에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 가교되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 12). 이에 따라, 상호작용 감지 게이트와 채널 사이의 유전율이 낮아지고, 상호작용 감지 게이트의 전기 용량을 작게 할 수 있기 때문에, 양호한 감도로 검출하는 것이 가능해진다.

또, 이 채널은 실온에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 느슨해진 상태로 형성되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 13). 이에 따라, 온도 변화로 인해 채널이 파손될 가능성을 낮출 수 있다.

또, 이 기관은 절연성 기관인 것이 바람직하다 (청구항 14).

또, 이 채널은 절연성 부재로 피복되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 15).

이에 따라, 트랜지스터 내의 전류가 확실히 채널을 흐르도록 할 수 있어, 안정되게 검출을 실시할 수 있다.

또, 이 채널과 이 상호작용 감지 게이트 사이에는 저유전율의 절연성 재료의 층이 형성되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 16). 이에 따라, 상호작용 감지 게이트에서 생기는 상호작용에 의한 전하의 변화가 보다 효율적으로 채널에 전달되기 때문에, 센서의 감도를 높일 수 있다.

이 채널과 이 게이트 사이에는 고유전율의 절연성 재료의 층이 형성되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 17). 이에 따라, 게이트의 게이트 전압에 따라 트랜지스터의 전달 특성을 보다 효율적으로 변조시킬 수 있어, 센서의 감도를 높일 수 있다.

또, 본 발명의 센서는 이 상호작용 감지 게이트에 이 특정 물질을 고정화시킨 것도 포함한다 (청구항 18).

본 발명의 전계 효과 트랜지스터는 기판과, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 사용되는 전계 효과 트랜지스터로서, 이 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와, 이 상호작용을 이 전계 효과 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 한다 (청구항 19).

본 발명의 다른 전계 효과 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이, 이 기판으로부터 격리된 상태에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 가교된 나노튜브 형상 구조체인 것을 특징으로 한다 (청구항 20).

본 발명의 다른 전계 효과 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이 나노튜브 형상 구조체로 구성되고, 이 나노튜브 형상 구조체가 실온에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 느슨해진 상태로 가교되어 있는 것을 특징으로 한다 (청구항 21).

본 발명의 다른 전계 효과 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이 나노튜브 형상 구조체이고, 이 기판이 절연성 기판인 것을 특징으로 한다 (청구항 22).

본 발명의 다른 전계 효과 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이 절연성 부재로 피복된 나노튜브 형상 구조체인 것을 특징으로 한다 (청구항 23).

본 발명의 단일 전자 트랜지스터는 기판과, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비하고, 검출대상물질을 검출하기 위한 센서에 사용되는 단일 전자 트랜지스터로서, 이 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시키기 위한 상호작용 감지 게이트와, 이 상호작용을 이 단일 전자 트랜지스터의 특성의 변화로서 검출하기 위해 전압이 인가되는 게이트를 갖는 것을 특징으로 한다 (청구항 24).

본 발명의 다른 단일 전자 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 단일 전자 트랜지스터로서, 이 채널이, 이 기판으로부터 격리된 상태에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 가교된 나노튜브 형상 구조체인 것을 특징으로 한다 (청구항 25).

본 발명의 다른 단일 전자 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 단일 전자 트랜지스터로서, 이 채널이 나노튜브 형상 구조체로 구성되고, 이 나노튜브 형상 구조체는, 실온에서 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 느슨해진 상태로 가교되어 있는 것을 특징으로 한다 (청구항 26).

또, 본 발명의 다른 단일 전자 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이 나노튜브 형상 구조체이고, 이 기판이 절연성 기판인 것을 특징으로 한다 (청구항 27).

또, 본 발명의 다른 단일 전자 트랜지스터는 기판과, 게이트와, 이 기판에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극과, 상기의 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류 통로가 되는 채널을 구비한 전계 효과 트랜지스터로서, 이 채널이 절연성 부재로 피복된 나노튜브 형상 구조체인 것을 특징으로 한다 (청구항 28).

상기의 나노튜브 형상 구조체는 카본 나노튜브, 보론 나이트라이드 나노튜브 및 티타니아 나노튜브로 이루어지는 군으로부터 선택되는 구조체인 것이 바람직하다.

또, 상기의 전계 효과 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성은 반도체적 성질을 갖는 것이 바람직하다.

또, 상기의 단일 전자 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체는 결함이 도입되어 있는 것이 바람직하다 (청구항 29). 이에 따라, 나노튜브 형상 구조체 안에 양자 도트 구조를 형성할 수 있다.

또, 상기의 단일 전자 트랜지스터가 갖는 나노튜브 형상 구조체의 전기 특성은 금속적 성질을 갖는 것이 바람직하다.



발명의 효과

본 발명의 센서에 의하면, 검출대상물질을 고감도로 검출하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[도 1] 도 1(a), 도 1(b)는 본 발명의 제 1 실시형태로서의 센서를 도시한 것으로서, 도 1(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 1(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 2] 도 2(a), 도 2(b)는 본 발명의 제 2 실시형태로서의 센서를 도시한 것으로서, 도 2(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 2(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 3] 도 3(a), 도 3(b)는 본 발명의 제 3 실시형태로서의 센서를 도시한 것으로서, 도 3(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 3(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 4] 도 4(a), 도 4(b)는 본 발명의 제 4 실시형태로서의 센서를 도시한 것으로서, 도 4(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 4(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 5] 도 5(a), 도 5(b)는 본 발명의 제 5 실시형태로서의 트랜지스터를 도시한 것으로서, 도 5(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 5(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 6] 도 6(a), 도 6(b)는 본 발명의 제 6 실시형태로서의 트랜지스터를 도시한 것으로서, 도 6(a)는 트랜지스터의 사시도, 도 6(b)는 트랜지스터의 측면도이다.

[도 7] 도 7(a)~도 7(d)는 모두 본 발명의 일 실시형태에 관련된 트랜지스터의 제조방법의 일례를 설명하는 도면이다.

[도 8] 본 발명의 일 실시형태에 관련된 트랜지스터의 제조방법의 일례를 설명하는 도면이다.

[도 9] 본 발명의 일 실시형태에 관련된 트랜지스터의 제조방법의 일례를 설명하는 도면이다.

[도 10] 도 10(a)~도 10(c)는 모두 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 11] 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 12] 도 12(a)~도 12(c)는 모두 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 13] 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 14] 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 15] 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 16] 본 발명의 실시예를 설명하는 도면이다.

[도 17] 본 발명의 실시예의 결과를 도시한 그래프이다.

부호의 설명

1A~1F : 트랜지스터

2 : 기판

3 : 저유전층

- 4 : 소스 전극
- 5 : 드레인 전극
- 6 : 채널
- 7 : 사이드 게이트
- 9 : 백게이트 (전압 비인가 전극 구조 부재)
- 10 : 항체
- 11 : 고유전층
- 12 : 백게이트
- 13 : 절연막
- 14 : 탑 게이트 (전압 비인가 전극 구조 부재)
- 15 : 사이드 게이트 (전압 비인가 전극 구조 부재)
- 16 : 포토레지스트 (채널 보호층)
- 17 : 촉매
- 18 : CVD (화학 기상 퇴적법) 로
- 19 : 카본 나노튜브
- 20 : 스페이서층 (절연층)
- 21 : 절연체

#### 발명을 실시하기 위한 최선의 형태

이하에서 본 발명의 실시형태를 설명하는데, 본 발명은 이하의 실시형태에 한정되지 않고, 그 요지를 일탈하지 않는 범위에서 적절히 변형하여 실시할 수 있다. 또한, 나중에 상세히 설명하겠지만, 이하의 제 1~제 5 실시형태에서 간단히 「트랜지스터」라고 기재한 경우, 전계 특성 트랜지스터와 단일 전자 트랜지스터를 구별하지 않고 가리키는 용어로 한다. 또, 하기의 각 실시형태간에 실질적으로 동일한 부분에는 동일한 부호를 붙여 설명한다.

#### [제 1 실시형태]

도 1(a), 도 1(b)는 본 발명의 제 1 실시형태로서의 센서를 설명하는 도면이다.

도 1(a)에 나타난 바와 같이, 트랜지스터 (1A)의 기판 (2)은 절연성의 소재로 형성되어 있으며, 그 상면(도면 상측의 면)에는, 전체면에 걸쳐 절연성이면서 또한 저유전율의 산화규소의 층(이하, 적절히 「저유전층」이라고 함; 3)이 형성되어 있다. 또, 저유전층(3)의 표면에는 금으로 형성된 소스 전극(4) 및 드레인 전극(5)이 설치되어 있으며, 소스 전극(4) 및 드레인 전극(5) 간에는 카본 나노튜브로 형성된 채널(6)이 가교되어 있다.

채널(6)은 소스 전극(4)과 드레인 전극(5) 사이를 연결하는 브릿지 형상으로 설치됨으로써 소스 전극(4)과 드레인 전극(5) 사이에 가교되고, 저유전층(3) 표면으로부터 격리되어 있다. 요컨대, 채널(6)은 소스 전극(4)과의 접속부 및 드레인 전극(5)과의 접속부의 2 점에서 트랜지스터(1A)에 고정되고, 다른 부분은 공중에 뜬 상태로 되어 있다. 또한, 도 1

(b)에 나타낸 바와 같이, 채널 (6)은 소정 각도만큼 느슨해진 상태로 가교되어 있다. 여기에서, 채널 (6)이 느슨해진 소정 각도란, 예컨대, 온도 변화에 따라 기관 (2)이 변형되거나 하여 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 사이의 거리가 변동된 경우에, 그 변동에 따라 채널 (6)에 걸리는 인장 응력 또는 압축 응력을 흡수할 수 있을 정도이다. 또한, 통상은 센서를 사용하는 온도 조건 하에서 채널 (6)이 소정 각도만큼 느슨해지게 되어, 센서를 사용하는 온도 주변에서의 온도 변화에 따라 발생하는 응력을 흡수할 수 있도록 한다. 단, 본 실시형태에서는 실온에서 채널 (6)이 소정 각도만큼 느슨해지도록 설정되어 있다.

저유전층 (3) 표면의 채널 (6)에 대향하는 위치에는 금으로 형성된 사이드 게이트 (7)가 설치되어 있다. 사이드 게이트 (7)는 채널 (6)에 게이트 전압을 인가하기 위해 설치된 것이다. 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7)는 도시하지 않은 외부 전원에 접속되어 있으며, 이 외부 전원으로부터 전압이 인가되도록 설정되어 있다. 또한, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 각각을 흐르는 전류 및 각각에 인가되는 전압은 도시하지 않은 측정기에 의해 측정되고 있다.

본 실시형태의 센서에 사용하는 트랜지스터 (1A)에서는, 추가로 기관 (1A)의 이면 (도면 중, 하측면), 즉 저유전층 (3)과 반대측의 면에, 상호작용 감지 게이트로서 금으로 형성된 백게이트 (다른 게이트; 9)가 전체면에 걸쳐 설치되어 있다. 이 백게이트 (9)에는, 본 실시형태의 센서를 사용하여 검출하는 검출대상물질과 선택적으로 상호작용을 하는 특정 물질 (본 실시형태에서는 항체; 10)이 고정화되어 있다.

또, 백게이트 (9)에는 외부로부터 전혀 전압이 인가되지 않도록 되어 있다.

본 실시형태의 센서는 이상과 같이 구성되어 있기 때문에, 측정의 개시 전, 또는 한창 측정 중에 사이드 게이트 (7)에 인가하는 게이트 전압을 조정하여, 트랜지스터 (1A)의 전달 특성이 최고 감도를 갖는 최적의 게이트 전압을 조사한다. 최적의 게이트 전압이 판명되면, 사이드 게이트 (7)에 인가하는 게이트 전압을 최적의 게이트 전압으로 설정한다.

그 후, 게이트 전압을 최적의 게이트 전압 또는 최적의 게이트 전압 근방으로 유지하면서, 검출해야 할 검출대상물질을 함유하는 시료를 특정 물질과 상호작용시킨다. 또한, 최적의 게이트 전압 근방이란, 검출대상물질의 검출시에, 트랜지스터의 특성값의 변동이 검출대상물질을 검출하기 위해 충분한 크기가 될 것으로 기대할 수 있을 정도의 범위를 말한다. 시료가 검출대상물질을 함유하고 있으면, 특정 물질과 검출대상물질의 상호작용에 따라 백게이트 (9)의 전위가 변동되기 때문에, 소스 전극과 드레인 전극 사이에 흐르는 전류의 전류값, 문턱값 전압, 드레인 전압의 게이트 전압에 대한 기울기, 또 다음에 드는 것은 단일 전자 트랜지스터 특유의 특성이지만, 쿨롱 진동의 문턱값, 쿨롱 진동의 주기, 쿨롱 다이아몬드의 문턱값, 쿨롱 다이아몬드의 주기 등의 트랜지스터의 특성값에 그 상호작용에 기인하는 변동이 생긴다. 이 변동을 검출함으로써, 검출대상물질과 특정 물질의 상호작용을 검출할 수 있으며, 나아가서는 시료 중의 검출대상물질을 검출하는 것이 가능해진다.

이상과 같이, 본 실시형태의 센서에 의하면, 사이드 게이트 (7)를 사용하여 트랜지스터 (1A)의 전달 특성이 최고 감도를 갖는 상태가 되도록, 즉 트랜지스터 (1A)의 상호 컨덕턴스가 최대가 되는 상태가 되도록 트랜지스터 (1A)를 설정할 수 있다. 이에 따라, 특정 물질과 검출대상물질 사이의 상호작용에 의해 생기는 게이트 전위의 변화가 채널 (6)의 하전 입자의 밀도 변화에 주는 효과를 최대로 하는 것이 가능해진다. 그 결과, 특정 물질과 검출대상물질 사이의 상호작용을 트랜지스터 (1A)의 특성의 큰 변화로서 측정하는 것이 가능해진다. 즉, 본 실시형태의 센서에 의하면, 특정 물질 및 검출대상물질 사이의 상호작용에 기인하는 트랜지스터의 특성의 변화량을 증폭시켜서 센서를 고감도로 할 수 있는 것이다.

또, 채널 (6)로서 나노튜브 형상 구조체인 카본튜브를 사용했기 때문에, 더욱 고감도로 검출대상물질을 검출할 수 있다. 일반적으로, 트랜지스터를 사용한 센서의 검출 감도의 한계는, 트랜지스터의 게이트의 전기 용량 (이하, 적절히 「게이트 용량」이라고 함)에 관계하고 있다. 게이트 용량이 작을수록, 게이트의 표면 전하의 변화를 큰 게이트 전위의 변화로서 포착할 수 있어, 센서의 검출 감도가 향상되는 것이다. 게이트 용량은 채널의 길이 (L)와 채널의 폭 (W)의 곱 (L×W)에 비례하기 때문에, 게이트 용량의 감소에는 채널의 미세화가 효과적이다. 본 실시형태에 사용한 나노튜브 형상 구조체는 매우 미세하기 때문에, 상기의 이유로 인하여 매우 고감도로 검출대상물질을 검출할 수 있다.

또, 상호작용 감지 게이트로서 백게이트 (9)를 사용하여, 백게이트 (9)에 항체를 고정시키고 있기 때문에, 간단한 구성으로 고감도의 검출을 실시할 수 있다. 특히, 백게이트 (9)는 기관 (1A)의 이면에 형성되어 있기 때문에, 검출시의 조작을 간단히 실시할 수 있다.

또, 채널 (6)이 소스 전극 (4)과 드레인 전극 (5) 사이에 느슨하게 가교되어 있기 때문에, 검출시나 보존시에 온도 변화가 있더라도, 채널 (6)이 온도 변화로 인한 변형에 의해 파손될 가능성을 낮출 수 있다.

또, 기관 (2) 을 절연성 기관으로 함으로써, 백게이트 (9) 에서의 상호작용을 확실히 검출할 수 있다.

또, 채널 (6) 과 백게이트 (상호작용 감지 게이트; 9) 사이에 저유전층 (3) 이 형성되어 있기 때문에, 이에 따라, 백게이트 (9) 에 있어서의 상호작용에 의한 표면 전하의 변화가 보다 효율적으로 채널 (6) 내의 전하 밀도의 변화로서 전달되어, 트랜지스터 (1A) 의 특성의 큰 변화로서 나타난다. 이에 따라 본 실시형태의 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 실시간 측정도 가능하고, 물질간 상호작용을 모니터링할 수 있다.

또, 예컨대, 종래의 다른 검출 원리에 기초하는 면역 반응을 이용한 검출 기기는, 라디오 이뮤노 에세이, 화학 발광 이뮤노 에세이 등 표지체를 사용한 것은 검출 감도로서는 거의 만족할 수 있는 상태에 있었다. 그러나, 이들은 전용의 시설, 기기 시스템이 필요하고, 검사 센터나 병원의 검사실에서 전문가인 임상검사기사가 측정하지 않으면 안 되었다. 따라서, 개업의 등은, 검사 센터에 외주를 주어 검사하고 있기 때문에, 신속한 검사 결과를 얻을 수 없다. 또, 반응 시간이 길기 때문에 긴급 검사에 대응할 수 있는 경우는 적다. 이들은 현재의 면역 측정법이 표지체를 사용하는 것이기 때문에, 반응 공정에 세정 등이 복잡한 조작을 필요로 하는 것에 기인한다.

또, 비표지법에 의한 면역 센서로는, 표면 플라즈몬 공명 (SPR) 등 여러 가지의 검출 원리에 기초하는 것이 개발되었지만, 모두 연구 기기로서 이용되고 있는 것에 불과하고, 임상 검사 용도에는 감도가 충분치 않아 실용화 단계에는 도달해 있지 않다. 또, 상기의 면역 센서는 광학적 검출법을 사용하기 때문에, 장치 전체가 대형이라는 과제도 있었다.

그러나, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 센서의 소형화, 검출의 신속화, 조작의 간편 등의 이점을 얻을 수 있다.

## [제 2 실시형태]

도 2(a), 도 2(b) 는 본 발명의 제 2 실시형태로서의 센서를 설명하는 도면이다.

도 2(a) 에 나타난 바와 같이, 본 발명의 제 2 실시형태로서의 센서를 구성하는 트랜지스터 (1B) 는 제 1 실시형태에서 설명한 트랜지스터 (1A) 와 동일한 구성을 갖고 있다.

또한, 본 실시형태의 트랜지스터 (1B) 는, 저유전층 (3) 표면의 전체면에 걸쳐 절연성이면서 또한 고유전율의 감광성 수지의 층 (이하, 적절히 「고유전층」 이라고 함; 11) 이 형성되어 있다. 이 고유전층 (11) 은 채널 (6) 의 전체와, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 의 측면을 덮도록 형성되어 있지만, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 의 상측 (도면 중 상방) 의 면은 피복하고 있지 않다. 또한, 도 2(a), 도 2(b) 안에서는, 고유전층 (11) 은 2 점 채 선으로 나타낸다.

본 실시형태의 센서는 상기와 같이 구성되어 있기 때문에, 제 1 실시형태의 센서와 동일하게 하여, 트랜지스터 (1B) 의 전달 특성이 최고 감도를 갖는 상태가 되도록 설정함으로써, 특정 물질 및 검출대상물질 사이의 상호작용을 트랜지스터 (1B) 의 특성의 큰 변화로서 측정할 수 있다. 이에 따라, 본 실시형태의 센서의 감도를 향상시키는 것이 가능해진다.

또, 상기 제 1 실시형태와 동일하게, 다음과 같은 효과를 나타낼 수 있다. 즉, 채널 (6) 로서 카본 나노튜브를 사용했기 때문에, 센서를 더욱 고감도로 할 수 있다. 또, 상호작용 감지 게이트로서 백게이트 (9) 를 사용하고 있기 때문에, 간단한 구성 및 간단한 조작으로 고감도의 검출을 실시할 수 있다. 또, 기관 (2) 이 절연성 기관이기 때문에, 검출대상물질과 특정 물질의 상호작용을 확실히 검출할 수 있다. 또, 채널 (6) 과 백게이트 (9) 사이에 저유전층 (3) 이 형성되어 있기 때문에, 이에 따라, 백게이트 (9) 에 있어서의 상호작용에 의한 표면 전하의 변화를 보다 효율적으로 채널 (6) 에 전달할 수 있어, 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다. 또, 채널 (6) 이 느슨해져 있기 때문에, 온도 변화 등으로 인한 길이의 변화에 기인하는 파손을 방지할 수 있다. 또한, 본 실시형태에서는 채널 (6) 주위에는 고감도층 (11) 이 충전되어 있지만, 고감도층 (11) 을 구성하는 감광 수지 (포토투레지스트) 는 채널 (6) 의 변형을 허용할 수 있는 정도로 연한 물질이기 때문에, 상기와 같이 파손을 방지할 수 있는 것이다.

또한, 본 실시형태에서는, 채널 (6) 과 사이드 게이트 (7) 사이에 고유전율의 절연성 재료의 층인 고유전층 (11) 을 갖고 있기 때문에, 사이드 게이트 (7) 의 게이트 전압 인가로 인해, 트랜지스터 (1B) 의 전달 특성을 보다 효율적으로 변조시킬 수 있어, 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

또, 채널 (6) 이 절연성의 고유전층 (11) 으로 피복되어 있기 때문에, 채널 (6) 내의 하전 입자가 채널 (6) 외부로 새는 것, 및 소스 전극이나 드레인 전극 이외로부터 채널 (6) 외부의 전하 입자가 채널 (6) 로 침입하는 것을 방지할 수 있다. 이에 따라, 특정 물질과 검출대상물질의 상호작용을 안정되게 검출하는 것이 가능해진다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 실시간 측정도 가능하고, 물질간 상호작용의 모니터링을 할 수 있다. 또한, 집적화가 용이하기 때문에, 동시 다발적으로 일어나는 물질간 상호작용의 현상을 한 번에 측정할 수 있다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 센서의 소형화, 검출의 신속화, 조작의 간편 등의 이점을 얻을 수 있다.

**[제 3 실시형태]**

도 3(a), 도 3(b) 는 본 발명의 제 3 실시형태로서의 센서를 설명하는 도면이다.

도 3(a) 에 나타낸 바와 같이, 제 1 실시형태와 동일하게, 본 실시형태의 센서를 구성하는 트랜지스터 (1C) 는, 절연성의 소재로 형성된 기판 (2), 절연성이면서 또한 저유전율의 저유전층 (3), 금으로 형성된 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 을 갖고 있으며, 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 간에는 카본 나노튜브로 형성된 채널 (6) 이 가로되어 있다.

기판 (2) 의 이면에는, 트랜지스터 (1C) 에 게이트 전압을 인가하는 백게이트 (12) 가 전체면에 형성되어 있다. 또, 백게이트 (12) 는 도시하지 않은 전원에 접속되고, 그 전원에 의해 전압이 인가된다. 또한, 백게이트 (12) 에 인가되는 전압은, 도시하지 않은 측정기에 의해 측정 가능하게 되어 있다.

저유전층 (3) 표면의, 채널 (6) 중간부부터 도면 안쪽 방향의 가장자리부에 걸쳐, 저유전율의 절연체인 산화규소의 막 (절연막; 13) 이 형성되어 있다.

채널 (6) 은 이 절연막 (13) 을 횡방향으로 관통하고 있다. 바꾸어 말하면, 채널 (6) 의 중간부는 절연막 (13) 에 의해 피복되어 있다.

또, 절연막 (13) 의 상측 표면에는 금으로 형성된 상호작용 감지 게이트인 탑 게이트 (14) 가 형성되어 있다. 즉, 탑 게이트 (14) 는 절연막 (13) 을 통해 저유전층 (3) 상에 형성되어 있는 것이 된다. 탑 게이트 (14) 에는 외부로부터 전압은 인가되지 않도록 구성되어 있다. 또한, 탑 게이트 (14) 의 상측 표면에는 특정 물질인 항체 (10) 가 고정되어 있다.

저유전층 (3) 의 표면에는 전체면에 걸쳐 절연체 (21) 가 형성되어 있다. 이 절연체 (21) 는 채널 (6) 의 절연막 (13) 에 피복되어 있지 않은 부분 전체와, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5), 절연막 (13) 및 탑 게이트 (14) 각각의 측면을 덮도록 형성되어 있는데, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 탑 게이트 (14) 의 상측의 면은 피복하지 않고 있다. 또한, 도 3(a), 도 3(b) 중, 절연체 (21) 는 2 점 쇄선으로 나타낸다.

본 발명의 제 3 실시형태로서의 센서는 상기와 같이 구성되어 있기 때문에, 제 1 실시형태의 센서와 동일하게, 트랜지스터 (1C) 의 전달 특성이 최고 감도를 갖는 상태가 되도록 설정함으로써, 특정 물질 및 검출대상물질 사이의 상호작용을 트랜지스터 (1C) 의 특성의 큰 변화로서 측정할 수 있어, 센서를 고감도로 할 수 있다.

또, 상기 제 1 실시형태와 동일하게, 채널 (6) 로서 카본 나노튜브를 사용했기 때문에, 센서를 더욱 고감도로 할 수 있다. 또, 기판 (2) 이 절연성 기판이기 때문에, 검출대상물질과 특정 물질의 상호작용을 확실히 검출할 수 있다.

본 실시형태에서는 상호작용 감지 게이트로서 탑 게이트 (14) 를 사용하고 있기 때문에, 간단한 구성 및 간단한 조작으로 고감도의 검출을 실시할 수 있다.

또, 채널 (6) 과 탑 게이트 (14) 사이에 저유전율의 절연막 (13) 이 형성되어 있기 때문에, 이에 따라, 탑 게이트 (14) 에 있어서의 상호작용에 의한 표면 전하의 변화를 보다 효율적으로 채널 (6) 에 전달할 수 있어, 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

또, 채널 (6) 이 절연체 (21) 로 피복되어 있기 때문에, 채널 (6) 내의 하전 입자가 채널 (6) 외부로 새는 것, 및 소스 전극이나 드레인 전극 이외로부터 채널 (6) 외부의 전하 입자가 채널 (6) 에 침입하는 것을 방지할 수 있다. 이에 따라, 특정 물질과 검출대상물질의 상호작용을 안정되게 검출하는 것이 가능해진다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 실시간 측정도 가능하고, 물질간 상호작용의 모니터링을 할 수 있다. 또한, 집적화가 용이하기 때문에, 동시 다발적으로 일어나는 물질간 상호작용의 현상을 한 번에 측정할 수 있다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 센서의 소형화, 검출의 신속화, 조작의 간편 등의 이점을 얻을 수 있다.

**[제 4 실시형태]**

도 4(a), 도 4(b) 는 본 발명의 제 4 실시형태로서의 센서를 설명하는 도면이다.

도 4(a) 에 나타낸 바와 같이, 제 1 실시형태와 동일하게, 본 실시형태의 센서를 구성하는 트랜지스터 (1D) 는, 절연성의 소재로 형성된 기판 (2), 절연성이면서 또한 저유전율의 저유전층 (3), 금으로 형성된 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 을 갖고 있으며, 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 사이에는 카본 나노튜브로 형성된 채널 (6) 이 가교되어 있다. 또, 사이드 게이트 (7) 를 갖고 있다.

또한, 본 실시형태의 트랜지스터 (1D) 는, 저유전층 (3) 상에서의 사이드 게이트 (7) 에 대해 반대측의 가장자리부에, 상호작용 감지 게이트로서 사이드 게이트 (15) 를 구비하고 있으며, 그 표면에는 항체 (10) 가 고정되어 있다. 또, 사이드 게이트 (15) 는 외부로부터 전압이 인가되지 않도록 구성되어 있다.

또, 도 4(b) 에 나타낸 바와 같이, 본 실시형태의 트랜지스터 (1D) 는, 저유전층 (3) 의 표면이 전체면에 걸쳐 절연체 (21) 가 형성되어 있다. 이 절연체 (21) 는 채널 (6) 의 전체와, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7, 15) 각각의 측면을 덮도록 형성되어 있는데, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7, 15) 의 상측 (도면 중 상방) 의 면은 피복하지 않고 있다. 또한, 도 4(a), 도 4(b) 안에서는, 절연체 (21) 는 2 점 쇄선으로 나타낸다.

본 실시형태의 센서는 상기와 같이 구성되어 있기 때문에, 제 1 실시형태의 센서와 동일하게 하여, 트랜지스터 (1D) 의 전달 특성이 최고 감도를 갖는 상태가 되도록 설정함으로써, 특정 물질 및 검출대상물질 사이의 상호작용을 트랜지스터 (1D) 의 특성의 큰 변화로서 측정할 수 있다. 이에 따라, 본 실시형태의 센서의 감도를 향상시키는 것이 가능해진다.

또, 상기 제 1 실시형태와 동일하게, 다음과 같은 효과를 나타낼 수 있다. 즉, 채널 (6) 로서 카본 나노튜브를 사용했기 때문에, 센서를 더욱 고감도로 할 수 있다. 또, 상호작용 감지 게이트로서 사이드 게이트 (15) 를 사용하고 있기 때문에, 간단한 구성으로 고감도의 검출을 실시할 수 있다. 또, 기판 (2) 이 절연성 기판이기 때문에, 검출대상물질과 특정 물질의 상호작용을 확실히 검출할 수 있다.

또, 채널 (6) 이 절연성의 절연체 (21) 로 피복되어 있기 때문에, 채널 (6) 내의 하전 입자가 채널 (6) 외부로 새는 것, 및 소스 전극 (4) 이나 드레인 전극 (5) 이외로부터 채널 (6) 외부의 전하 입자가 채널 (6) 에 침입하는 것을 방지할 수 있다. 이에 따라, 특정 물질과 검출대상물질의 상호작용을 안정되게 검출하는 것이 가능해진다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 실시간 측정도 가능하고, 물질간 상호작용의 모니터링을 할 수 있다. 또한, 집적화가 용이하기 때문에, 동시 다발적으로 일어나는 물질간 상호작용의 현상을 한 번에 측정할 수 있다.

또, 본 실시형태의 센서를 사용하면, 센서의 소형화, 검출의 신속화, 조작의 간편 등의 이점을 얻을 수 있다.

**[제 5 실시형태]**

도 5(a), 도 5(b) 는 본 발명의 제 5 실시형태를 도시한 도면이다.

도 5(a), 도 5(b) 에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 제 5 실시형태로서의 트랜지스터 (1E) 는 백게이트 (9) 및 항체 (10) 를 갖고 있지 않은 것 외에는, 제 1 실시형태에서 설명한 트랜지스터 (1A) 와 동일한 구성으로 되어 있다.

즉, 도 5(a) 에 나타낸 바와 같이, 트랜지스터 (1E) 의 기판 (2) 은 절연성의 소재로 형성되어 있으며, 그 상면 (도면 상측의 면) 에는 전체면에 걸쳐 절연성이면서 또한 저유전율의 산화규소의 층 (저유전층 ; 3) 이 형성되어 있다. 또, 저유전층 (3) 의 표면에는, 금으로 형성된 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 이 설치되어 있으며, 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 간에는 카본 나노튜브로 형성된 채널 (6) 이 가교되어 있다.

채널 (6) 은 소스 전극 (4) 과 드레인 전극 (5) 사이를 연결하는 브릿지 형상으로 설치됨으로써 소스 전극 (4) 과 드레인 전극 (5) 사이에 가교되고, 저유전층 (3) 표면으로부터 격리되어 있다. 요컨대, 채널 (6) 은 소스 전극 (4) 과의 접촉부 및 드레인 전극 (5) 과의 접촉부의 2 점만으로 트랜지스터 (1A) 에 고정되고, 다른 부분은 공중에 뜬 상태로 되어 있다. 또한, 도 5(b) 에 나타난 바와 같이, 채널 (6) 은 소정 각도만큼 느슨해진 상태로 가교되어 있다. 여기에서, 채널 (6) 이 느슨해진 소정 각도란, 예컨대, 온도 변화로 인해 기판 (2) 이 변형되거나 하여 소스 전극 (4) 및 드레인 전극 (5) 사이의 거리가 변동된 경우에, 그 변동에 따라 채널 (6) 에 걸리는 인장 응력 또는 압축 응력을 흡수할 수 있는 정도이다. 또한, 통상은 센서를 사용하는 온도 조건 하에서 채널 (6) 이 소정 각도만큼 느슨해져, 센서를 사용하는 온도 주변에서의 온도 변화로 인해 생기는 응력을 흡수할 수 있도록 한다. 단, 본 실시형태에서는 실온에서 채널 (6) 이 소정 각도만큼 느슨해지도록 설정되어 있다.

저유전층 (3) 표면의 채널 (6) 에 대항하는 위치에는 금으로 형성된 사이드 게이트 (7) 가 설치되어 있다. 사이드 게이트 (7) 는 채널 (6) 에 게이트 전압을 인가하기 위해 설치된 것이다. 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 는 도시하지 않은 외부 전원에 접속되어 있으며, 이 외부 전원으로부터 전압이 인가되도록 설정되어 있다.

본 실시형태의 트랜지스터 (1E) 는 이상과 같이 구성되어 있기 때문에, 채널 (6) 이 소스 전극 (4) 과 드레인 전극 (5) 사이에 느슨하게 가교되어 있어, 검출시나 보존시에 온도 변화가 있더라도, 채널 (6) 이 온도 변화로 인한 변형에 의해 파손될 가능성을 낮출 수 있다.

또, 본 실시형태에서는 기판 (2) 이 절연성 기판이기 때문에, 기판 (2) 의 유전율을 낮출 수 있고, 게이트 용량을 저하시킬 수 있기 때문에, 트랜지스터 (1E) 의 감도를 향상시킬 수 있다.

#### [제 6 실시형태]

도 6(a), 도 6(b) 는 본 발명의 제 6 실시형태를 도시한 도면이다.

도 6(a), 도 6(b) 에 나타난 바와 같이, 본 발명의 제 6 실시형태로서의 트랜지스터 (1F) 는 백게이트 (9) 및 항체 (10) 를 갖고 있지 않은 것 외에는, 제 2 실시형태에서 설명한 트랜지스터 (1B) 와 동일한 구성으로 되어 있다.

즉, 도 6(a) 에 나타난 바와 같이, 본 발명의 제 6 실시형태로서의 센서를 구성하는 트랜지스터 (1F) 는, 제 5 실시형태에서 설명한 트랜지스터 (1E) 와 동일한 구성을 갖고 있다.

또한, 본 실시형태의 트랜지스터 (1F) 는, 저유전층 (3) 의 표면이 전체면에 걸쳐 절연성이면서 또한 고유전율의 감광성 수지의 층 (고유전층; 11) 이 형성되어 있다. 이 고유전층 (11) 은 채널 (6) 의 전체와, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 의 측면을 덮도록 형성되어 있지만, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 (7) 의 상측(도면 중, 상방) 의 면은 피복하고 있지 않다. 또한, 도 6(a), 도 6(b) 안에서는, 고유전층 (11) 은 2 점쇄선으로 나타낸다.

본 실시형태의 센서는 상기와 같이 구성되어 있다. 따라서, 본 실시형태에서는, 채널 (6) 과 사이드 게이트 (7) 사이에 고유전율의 절연성 재료의 층인 고유전층 (11) 을 갖고 있기 때문에, 사이드 게이트 (7) 의 게이트 전압 인가로 인해 트랜지스터 (1E) 의 전달 특성을 보다 효율적으로 변조시킬 수 있다.

또, 채널 (6) 이 절연성의 고유전층 (11) 으로 피복되어 있기 때문에, 채널 (6) 내의 하전 입자가 채널 (6) 외부로 새는 것, 및 소스 전극 (4) 이나 드레인 전극 (5) 이외로부터 채널 (6) 외부의 전하 입자가 채널 (6) 로 침입하는 것을 방지할 수 있다. 이에 따라, 트랜지스터 (1E) 의 거동을 안정시킬 수 있다.

#### [기타]

이상에서 제 1~제 6 실시형태를 사용하여 본 발명을 설명했지만, 본 발명은 상기의 각 실시형태에 한정되지 않고, 적절히 변형하여 실시할 수 있다.

예컨대, 상기 실시형태를 임의로 조합하여 실시해도 된다.

또, 소스 전극, 드레인 전극, 게이트, 채널 및 상호작용 감지 게이트는 각각 적절히 복수로 형성해도 된다.

또, 상기 실시형태에서는 센서에서 트랜지스터가 노출된 구성으로 설명했지만, 상기 트랜지스터를 적당한 하우징 내에 형성하거나 다른 장치에 설치하기도 해도 된다.

또, 상기 실시형태에서는 센서에 특정 물질을 고정시킨 예를 나타내어 설명했지만, 상기 센서는 제조 단계나 출하 단계에서는 특정 물질이 고정되지 않아, 사용자가 특정 물질을 고정화시키는 것이어도 된다. 즉, 본 발명의 실시형태로서의 센서는, 특정 물질이 고정화되어 있지 않은 것도 포함하는 것으로서 이해해야 한다.

또, 상기 실시형태에서는 상호작용 감지 게이트로서 탑 게이트, 사이드 게이트 및 백게이트를 사용했지만, 상호작용 감지 게이트를 상기 게이트 이외의 다른 게이트로 형성해도 되고, 또 추가로 게이트 이외의 다른 부재로 구성해도 된다는 것은 말할 것까지도 없다.

또, 상기 실시형태에서는 채널 (6) 을 느슨하게 하여 형성했지만, 물론 느슨하게 하지 않고 기둥 형상으로 형성해도 된다.

또, 상기 실시형태에서는 채널 (6) 은 소스 전극 (4) 과 드레인 전극 (5) 사이에 가교되어 있지만, 채널 (6) 은 기판 (2) 이나 저유전층 (3) 등에 접촉하여 형성되어도 된다. 또, 기판 (2) 이나 저유전층 (3) 에 채널 (6) 이 접촉하고 있는 상태라 하더라도, 채널 (6) 이 느슨해진 상태라면, 온도 변화로 인한 파손의 가능성을 저하시키는 것은 가능하다.

또한, 상호작용 감지 게이트에는 전압을 인가할 수도 있다.

### [구성 요소]

계속해서, 상기의 각 실시형태의 구성 요소에 대하여 상세하게 설명한다.

상기 기술한 바와 같이, 상기 실시형태에서 「트랜지스터」란, 전계 효과 트랜지스터 및 단일 전자 트랜지스터 중 어느 하나의 것을 가리킨다.

전계 효과 트랜지스터와 단일 전자 트랜지스터는 그 기본 구조는 공통되지만, 양자는 전류 통로가 되는 채널이 상이하다. 구체적으로는, 단일 전자 트랜지스터의 채널은 양자 도트 구조를 갖고, 전계 효과 트랜지스터의 채널은 양자 도트 구조를 갖지 않는다. 따라서, 양자는 구조적으로는 양자 도트 구조의 유무에 따라 구별할 수 있다.

#### 〈기판〉

기판(상기 실시형태에서는, 부호 2 로 나타낸 것)은 절연성 기판 또는 절연된 반도체 기판이라면 다른 제한은 없으며, 임의의 소재로 형성된 것을 사용할 수 있다. 단, 센서로서 사용하는 경우, 절연성 기판 또는 표면을 절연성 기판을 구성하는 소재로 피복한 기판인 것이 바람직하다. 절연성 기판을 사용한 경우, 반도체 기판에 비해 유전율이 낮기 때문에 부유 용량을 저감시킬 수 있고, 그 때문에 백게이트를 상호작용 감지 게이트로 한 경우에 상호작용의 감지 감도를 높일 수 있다.

절연성 기판은 절연체로 형성된 기판이다. 또한, 본 명세서에서는 특별히 언급하지 않는 한 전기 절연체인 것을 의미하는 것으로 한다. 절연성 기판을 형성하는 절연체의 구체예로는, 산화규소, 질화규소, 산화알루미늄, 산화티탄, 플루오르화칼슘, 아크릴 수지, 폴리이미드, 테프론(등록 상표) 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

반도체 기판은 반도체로 형성된 기판이다. 반도체 기판을 형성하는 반도체의 구체예로는, 실리콘, 갈륨비소, 질화갈륨, 산화아연, 인듐인, 탄화실리콘 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

또한, 반도체 기판 상에 절연막을 형성하여 절연하는 경우에는, 절연막을 형성하는 절연체의 구체예로는, 상기의 절연성 기판을 형성하는 절연체와 동일한 것을 들 수 있다. 이 경우, 반도체 기판은 후술하는 게이트로서도 작용시킬 수 있다.

기판의 형상은 임의이지만, 통상은 평판 형상으로 형성한다. 또, 그 치수에 대해서도 특별히 제한은 없지만, 기판의 기계적 강도를 유지하기 위해 100 $\mu$ m 이상인 것이 바람직하다.

#### 〈소스 전극, 드레인 전극〉



소스 전극 (상기 실시형태에서는, 부호 4 로 나타낸 것) 은, 상기 트랜지스터의 캐리어를 공급할 수 있는 전극이라면 다른 제한은 없다. 또, 드레인 전극 (상기 실시형태에서는, 부호 5 로 나타낸 것) 은, 상기 트랜지스터의 캐리어를 받아들일 수 있는 전극이라면, 다른 제한은 없다.

소스 전극 및 드레인 전극은 각각 임의의 도체로 형성할 수 있으며, 구체예로는, 금, 백금, 티탄, 탄화티탄, 텅스텐, 알루미늄, 몰리브덴, 크롬 규화 텅스텐, 질화 텅스텐, 다결정 실리콘 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

#### <게이트>

게이트 (상기 실시형태에서는, 부호 7, 12 로 나타낸 것) 는, 상기 트랜지스터의 채널 내의 하전 입자의 밀도를 제어할 수 있는 것이라면 제한은 없으며, 임의의 것을 사용할 수 있다. 통상적으로, 게이트는 채널로부터 절연된 도체를 갖고 구성되며, 일반적으로는 도체 및 절연체로 구성된다.

게이트를 구성하는 도체의 구체예로는, 금, 백금, 티탄, 탄화티탄, 텅스텐, 규화 텅스텐, 질화 텅스텐, 알루미늄, 몰리브덴, 크롬, 다결정 실리콘 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

게이트를 배치하는 위치는 채널에 대해 게이트 전압을 인가할 수 있는 위치라면 다른 제한은 없으며, 예컨대, 기판의 상방에 배치하여 탑 게이트로 해도 되고, 기판의 채널과 동일한 측면 상에 배치하여 사이드 게이트로 해도 되고, 기판의 이면에 배치하여 백게이트로 해도 된다.

또한, 게이트 중에서도 탑 게이트 및 사이드 게이트는, 채널의 표면에 절연막을 개재시켜 게이트를 형성해도 된다. 여기에서 말하는 절연막으로는, 절연성의 소재라면 특별히 제한은 없지만, 구체예로는 산화규소, 질화규소, 산화알루미늄, 산화티탄, 플루오르화칼슘 등의 무기 재료, 아크릴 수지, 에폭시 수지, 폴리이미드, 테프론 (등록 상표) 등의 고분자 재료를 들 수 있다.

#### <상호작용 감지 게이트>

상호작용 감지 게이트 (상기 실시형태에서는, 부호 9, 14, 15 로 나타낸 것) 는, 검출대상물질과 상호작용을 하는 특정 물질을 고정시킬 수 있는 것이면 되기 때문에, 고정 부재라고 할 수 있다. 또, 상호작용 감지 게이트는 외부로부터 전압이 인가되지 않는 것이 바람직하다. 따라서, 상호작용 감지 게이트는 전압 비인가형 고정 부재라고 할 수도 있다. 또, 상호작용 감지 게이트는 예컨대, 도체, 반도체, 절연체 등 여러 가지의 것을 사용할 수 있다. 단, 통상은 소스 전극이나 드레인 전극과 동일하게 도체를 사용한다. 따라서, 상호작용 감지 게이트는 전극 구조 부재라고 할 수도 있으며, 전압이 인가되지 않음과 아울러 전압 비인가형 전극 구조 부재라고도 할 수 있다. 상호작용 감지 게이트를 형성하는 도체의 구체예로는, 금, 백금, 티탄, 탄화티탄, 텅스텐, 규화 텅스텐, 질화 텅스텐, 알루미늄, 몰리브덴, 크롬, 다결정 실리콘 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

또, 상호작용 감지 게이트로는, 트랜지스터에서 게이트 전압의 인가에 사용되고 있지 않은 게이트를 사용하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 탑 게이트, 사이드 게이트 및 백게이트에서 선택되는 것 중 어느 하나인 것이 바람직하고, 탑 게이트 및 백게이트 중 어느 하나인 것이 보다 바람직하다. 탑 게이트를 상호작용 감지 게이트로 하면, 일반적으로 채널과 탑 게이트의 거리는 채널과 다른 게이트의 거리에 비해 가깝기 때문에, 센서의 감도를 높일 수 있다. 또, 백게이트를 상호작용 감지 게이트로 한 경우에는, 상호작용 감지 게이트에 특정 물질을 간단하게 고정시킬 수 있다.

#### <채널>

채널 (상기 실시형태에서는, 부호 6 으로 나타낸 것) 은 소스 전극 및 드레인 전극 사이의 전류의 통로가 될 수 있는 것이며, 공지된 채널을 적절히 사용할 수 있다.

채널은 절연성 부재에 의해 피복하여, 패시베이션 또는 보호하는 것이 바람직하다. 이 절연성 부재로는, 절연성의 부재라면 임의의 부재를 사용하는 것이 가능하지만, 구체예로는, 포토레지스트 (감광성 수지), 아크릴 수지, 에폭시 수지, 폴리이미드, 테프론 (등록 상표) 등의 고분자 재료, 아미노프로필에톡시실란 등의 자기조직화막, PER-플루오로폴리에테르, 폼볼

린 (상품명) 등의 루브리컨트, 플러렌류 화합물, 또는 산화규소, 플루오르화규산염 유리, HSQ (Hydrogen Silsesquioxane), MSQ (Methyl Lisesquioxane), 다공질 실리카, 질화규소, 산화알루미늄, 산화티탄, 플루오르화칼슘, 다이아몬드 박막 등의 무기 물질을 사용할 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

또, 상호작용 감지 게이트와 채널간에는, 절연성이면서 또한 저유전율의 재료의 층 (저유전율층) 이 형성되어 있는 것이 바람직하다. 또한, 상호작용 감지 게이트에서 채널까지의 사이가 전체적으로 (즉, 상호작용 감지 게이트에서 채널까지의 사이에 있는 층이 전부) 저유전율의 성질을 갖는 것이 보다 바람직하다. 여기에서, 저유전율이란 비유전율이 4.5 이하인 것을 의미한다.

저유전율층을 구성하는 재료는, 상기와 같이 절연성이고 저유전율의 재료라면 다른 제한은 없다. 그 구체예로는, 이산화규소, 플루오르화규산염 유리, HSQ (Hydrogen Silsesquioxane), MSQ (Methyl Lisesquioxane), 다공질 실리카, 다이아몬드 박막 등의 무기 재료, 폴리이미드, Parylene-N, Parylene-F, 플루오르화폴리이미드 등의 유기 재료를 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

요컨대, 채널에서 상호작용 감지 게이트에 걸친 사이가 절연성이면서 또한 저유전율이기 때문에, 상호작용 감지 게이트 상에서 생긴 표면 전하의 변화가 채널 내의 전하 밀도의 변화로서 보다 효율적으로 전달되는 것이다. 이에 따라, 상기 상호작용을 트랜지스터의 큰 출력 특성의 변화로서 검출할 수 있기 때문에, 상기의 트랜지스터를 센서에 사용한 경우에 센서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

또, 트랜지스터에 게이트 전압을 인가하는 게이트와 채널 사이에는, 절연성이면서 또한 고유전율의 재료의 층 (고유전층) 이 형성되어 있는 것이 바람직하다. 또한, 게이트에서 채널까지의 사이가 전체적으로 (즉, 게이트에서 채널까지의 사이에 있는 층이 전부) 고유전율의 성질을 갖는 것이 보다 바람직하다. 여기에서, 고유전율이란 비유전율이 4.5 이상인 것을 의미한다.

고유전층을 형성하는 재료는, 상기와 같이 절연성을 가지면서 또한 고유전율인 것이라면 다른 제한은 없다. 그 구체예로는, 질화규소, 산화알루미늄, 산화탄탈 등의 무기 물질, 고유전율 특성을 갖는 고분자 재료 등을 들 수 있다. 또, 이들은 임의의 종류 및 비율로 조합하여 사용해도 된다.

요컨대, 게이트에서 채널에 걸친 사이가 절연성이면서 또한 고유전율인 고유전층을 형성함으로써, 게이트의 전압 인가에 따라, 트랜지스터의 전달 특성을 보다 효율적으로 변조시킬 수 있는 것이다. 이에 따라, 상기의 트랜지스터를 센서로서 사용한 경우, 센서로서의 감도를 보다 향상시킬 수 있다.

다음으로, 전계 효과 트랜지스터의 채널 (이하, 적절히 「FET 채널」 이라고 함) 과, 단일 전자 트랜지스터의 채널 (이하, 적절히 「SET 채널」 이라고 함) 에 대하여 각각 설명한다. 또한, 상기 기술한 바와 같이 전계 효과 트랜지스터와 단일 전자 트랜지스터는 채널에 따라 구별할 수 있으며, 상기 각 실시형태에서 설명한 각 트랜지스터가 FET 채널을 갖는 경우에는, 그 트랜지스터는 전계 효과 트랜지스터이고, SET 채널을 갖는 경우에는 그 트랜지스터는 단일 전자 트랜지스터라고 인식해야 한다.

FET 채널은 전류의 통로가 될 수 있는 것이며, 공지된 채널을 적절히 사용할 수 있지만, 통상은 그 크기가 미세한 것이 바람직하다.

이러한 미세한 채널의 예로는, 예컨대, 나노튜브 형상 구조체를 들 수 있다. 나노튜브 형상 구조체란, 튜브 형상의 구조체로서, 그 길이 방향에 직교하는 단면의 직경이 0.4nm 이상 50nm 이하인 것을 말한다. 또한, 여기에서 튜브 형상이란, 구조체의 길이 방향의 길이와, 이것에 수직인 방향 중 가장 긴 한 방향의 길이의 비가 10 이상 10000 이하의 범위에 있는 형상을 가리키며, 로드 형상 (단면 형상이 대략 원형), 리본 형상 (단면 형상이 편평한 대략 사각형) 등의 각 형상을 포함한다.

나노튜브 형상 구조체는 전하 수송체로서 사용할 수 있으며, 직경이 수 나노미터인 1 차원 양자 세션 구조를 갖기 때문에, 종래의 센서에 사용된 전계 효과 트랜지스터의 경우와 비교하여 게이트 용량은 현저히 저감된다. 따라서, 특정 물질 및 검출대상물질 사이의 상호작용에 의해 생기는 게이트 전위의 변화는 매우 커지고, 채널에 존재하는 하전 입자의 밀도의 변화는 현저히 커진다. 이에 따라 검출물질의 검출 감도는 극적으로 향상된다.

나노튜브 형상 구조체의 구체예로는, 카본 나노튜브 (CNT), 보론 나이트라이드 나노튜브, 티타니아 나노튜브 등을 들 수 있다. 종래의 기술에서는, 반도체 미세 가공 기술을 사용해도, 10nm 급의 채널 형성은 곤란하고, 그로 인해 센서로서의 검출 감도도 제한되어 있었지만, 이들의 나노튜브 형상 구조체를 사용함으로써, 종래부터도 미세한 채널을 형성할 수 있다.

나노튜브 형상 구조체는, 그 카이랄리티(chirality)에 따라 반도체적인 전기적 성질 및 금속적인 전기적 성질의 양쪽을 나타내지만, 반도체적 FET 채널에 사용하는 경우, 나노튜브 형상 구조체는 그 전기적 성질로서 반도체적 성질을 갖는 것이 보다 바람직하다.

한편, SET 채널도 FET 채널과 동일하게 전류의 통로가 될 수 있는 것이며, 공지된 채널을 적절히 사용할 수 있고, 또 통상은 그 크기가 미세한 것이 바람직하다. 또한, SET 채널도 FET 채널과 동일하게, 나노튜브 형상 구조체를 사용할 수 있으며, 구체예로서 카본 나노튜브(CNT), 보론 나이트라이드 나노튜브, 티타니아 나노튜브 등을 사용할 수 있는 것도 동일하다.

그러나, FET 채널과 다른 점으로는, SET 채널은 양자 도트 구조를 갖는 점을 들 수 있다. SET 채널은 양자 도트 구조를 갖는 공지된 물질을 임의로 사용할 수 있지만, 통상은 결합을 도입한 카본 나노튜브를 사용한다. 구체적으로는 결합과 결합 사이에 통상적으로 0.1nm 이상 4nm 이하의 양자 도트 구조를 갖는 카본 나노튜브를 사용한다. 이들은, 결합을 갖지 않는 카본 나노튜브에 수소, 산소, 아르곤 등의 분위기 가스 중에서의 가열 또는 산 용액 등 중에서의 자비(煮沸) 등의 화학적 처리를 실시함으로써 제작할 수 있다.

즉, 나노튜브 형상 구조체에 결합을 도입함으로써, 나노튜브 형상 구조체 내에 결합과 결합 사이에 영역이 수 나노미터 크기의 양자 도트 구조가 형성되어, 더욱 게이트 용량은 저감한다. 양자 도트 구조를 갖는 나노튜브 형상 구조체에서는 양자 도트 구조 내로의 전자의 유입이 제한되는 쿨롱 블로케이드 현상이 생기기 때문에, 그러한 나노튜브 형상 구조를 채널에 사용하면 단일 전자 트랜지스터가 실현된다.

예컨대, 종래의 실리콘계 MOSFET(메탈·옥사이드·세미컨덕터·전계 효과 트랜지스터)의 게이트 용량은  $10^{-15}F$ (패럿) 정도이고, 이에 대해 상기의 결합을 도입한 나노튜브 형상 구조체를 사용한 단일 전자 트랜지스터의 게이트 용량은  $10^{-19}F \sim 10^{-20}F$  정도이다. 이와 같이, 단일 전자 트랜지스터에서는 종래의 실리콘계 MOSFET과 비교하여, 게이트 용량이 만~10 만분의 일 정도 감소한다.

그 결과, 이러한 나노튜브 형상 구조체를 채널에 사용한 단일 전자 트랜지스터를 형성하면, 종래의 나노튜브 형상 구조체를 사용하지 않는 전계 효과 트랜지스터에 비해 게이트 전위의 변화를 매우 큰 것으로 할 수 있으며, 채널에 존재하는 하전 입자의 밀도의 변화는 현저히 커진다. 이에 따라, 검출물질의 검출 감도를 크게 향상시킬 수 있다.

또, SET 채널이 FET 채널과 다른 또 하나의 점으로는, 나노튜브 형상 구조체를 SET 채널로서 사용하는 경우, 이들은 전기적 특성으로서 금속적 성질을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 나노튜브 형상 구조체가 금속적인지 반도체적인지를 확인하는 수법의 예로는, 라만 분광법으로 카본 나노튜브의 카이랄리티를 결정함으로써 확인하는 수법이나, 주사 터널 현미경(STM) 분광법을 사용하여 카본 나노튜브의 전자 상태 밀도를 측정함으로써 확인하는 수법을 들 수 있다.

#### <검출대상물질 및 특정 물질>

검출대상물질에 대해서는 특별히 제한은 없으며, 임의의 물질을 사용할 수 있다. 또, 특정 물질(상기 실시형태에서는, 부호 10으로 나타낸 것)은, 검출대상물과 선택적으로 상호작용할 수 있는 것이라면 특별히 제한은 없으며, 임의의 물질을 사용할 수 있다. 이들의 구체적 예로는, 효소, 항체, 렉틴 등의 단백질, 펩티드, 호르몬, 핵산, 당, 올리고당, 다당 등의 당쇄, 지질, 저분자 화합물, 유기 물질, 무기 물질 또는 이들의 용합체 또는 바이러스 또는, 세포, 생체 조직이나 이들을 구성하는 물질 등을 들 수 있다.

단백질로는 단백질의 전체 길이어도 되고 결합 활성 부위를 포함하는 부분 펩티드이어도 된다. 또, 아미노산 서열 및 그 기능이 이미 공지된 단백질이어도 되고, 미지의 단백질이어도 된다. 이들은 합성된 펩티드 사슬, 생체로부터 정제된 단백질, 또는 cDNA 라이브러리 등으로부터 적당한 번역계를 사용하여 번역하고, 정제된 단백질 등에서도 표적 분자로서 사용할 수 있다. 합성된 펩티드 사슬은, 이것에 당쇄가 결합된 당 단백질이어도 된다. 이들 중 바람직하게는, 아미노산 서열이 이미 공지된 정제된 단백질이나, 또는 cDNA 라이브러리 등으로부터 적당한 방법을 사용하여 번역, 정제된 단백질을 사용할 수 있다.

핵산으로는 특별히 제한은 없으며, DNA 또는 RNA도 사용할 수 있다. 또, 염기 배열 또는 기능이 이미 공지된 핵산이어도 되고, 미지의 핵산이어도 된다. 바람직하게는 단백질에 결합 능력을 갖는 핵산으로서의 기능 및 염기 배열이 이미 공지된 것이거나, 또는 게놈 라이브러리 등으로부터 제한효소 등을 사용하여 절단 단리(單離)해 온 것을 사용할 수 있다.

당쇄로는 그 당 배열 또는 기능이 이미 공지된 당쇄이어도 되고, 미지의 당쇄이어도 된다. 바람직하게는 이미 분리 해석되어, 당 배열 또는 기능이 이미 공지된 당쇄가 사용된다.

저분자 화합물로는 상호작용하는 능력을 갖는 한 특별히 제한은 없다. 기능이 미지의 것이어도 되고, 또는 단백질과 결합 또는 반응하는 능력이 이미 알려져 있는 것이어도 사용할 수 있다.

상기와 같이, 상호작용 감지 게이트 상에는 수많은 특정 물질을 고정화시킬 수 있다. 특정 물질이 고정화된 상호작용 감지 게이트는, 그 기능성 물질과 상호작용하는 물질을 검출하는 바이오센서에 바람직하게 사용할 수 있다. 또, 검출되는 시그널의 증폭이나 특정을 목적으로 하여 특정 물질과 상호작용한 물질과 더욱 상호작용하는 물질을 효소 또는 전기 화학적 반응이나 발광 반응을 갖는 물질, 하전(荷電)을 갖는 고분자 및 입자 등으로 표지하는 것도 가능하고, 이들은 이뮤노 에세이나 인터카터 등을 이용한 DNA 해석의 영역에서는 표지화 측정법으로서 널리 사용되고 있는 방법이다 (참고 문헌: 이마이 이치요우, 생물 발광과 화학 발광, 1989년, 히로카와 서점, P. TIJSEN 엔자임 이뮤노 에세이, 생화학 실험법 11, 도쿄 화학 동인, Takenaka, Anal. Biochem., 218, 436 (1994) 등 다수).

이들 특정 물질과 검출대상물질의 「상호작용」은 특별히 한정되지 않지만, 통상은 공유 결합, 소수(疎水) 결합, 수소 결합, 반데르 발스 결합 및 정전력에 의한 결합 중 적어도 하나로부터 생기는 분자 간에 작용하는 힘에 의한 작용을 나타낸다. 단, 본 명세서에서 말하는 「상호작용」이라는 용어는 매우 광의로 해석해야 하며, 어떠한 의미에 있어서도 한정적으로 해석해서는 안 된다. 공유 결합으로는, 배위 결합, 쌍극자 결합을 포함한다. 또, 정전력에 의한 결합이란, 정전 결합 외에, 전기적 반발도 포함한다. 또, 상기 작용의 결과 생기는 결합 반응, 합성 반응, 분해 반응도 상호작용에 함유된다.

상호작용의 구체예로는, 항원과 항체간의 결합 및 해리, 단백질 리셉터와 리간드간의 결합 및 해리, 접착 분자와 상대방 분자간의 결합 및 해리, 효소와 기질간의 결합 및 해리, 아포 효소와 보효소간의 결합 및 해리, 핵산과 그에 결합하는 단백질간의 결합 및 해리, 핵산과 핵산간의 결합 및 해리, 정보 전달계에 있어서의 단백질끼리 사이의 결합과 해리, 당 단백질과 단백질간의 결합 및 해리, 또는 당쇄와 단백질간의 결합 및 해리, 세포 및 생체 조직과 단백질간의 결합 및 해리, 세포 및 생체 조직과 저분자 화합물간의 결합 및 해리, 이온과 이온 감응성 물질간의 상호작용 등을 들 수 있는데, 이 범위로 한정되는 것은 아니다. 예컨대, 이뮤노글로불린 또는 그 파생물인 F(ab')<sub>2</sub>, Fab', Fab, 리셉터나 효소와 그 파생물, 핵산, 천연 또는 인공의 펩티드, 인공 폴리머, 당질, 지질, 무기 물질 또는 유기 배위자, 바이러스, 세포, 약품 등을 들 수 있다.

또, 상호작용 감지 게이트에 고정화되는 특정 물질과 다른 물질의 「상호작용」으로서, 물질 이외에도 pH 나 이온, 온도, 압력 등의 외부환경의 변화에 대해 게이트에 고정화되는 기능성 물질이 관여하는 응답도 들 수 있다.

[트랜지스터의 제작 방법]

다음으로, 채널로서 카본 나노튜브를 사용한 경우를 예로 들어, 상기 실시형태에서 설명한 트랜지스터의 제작 방법의 일례를 도 7(a)~도 7(d)를 사용하여 설명한다.

카본 나노튜브를 사용한 트랜지스터의 제작은 아래와 같이 실시한다.

트랜지스터에 사용하는 카본 나노튜브는 그 위치와 방향을 제어하여 형성하지 않으면 안 된다. 이 때문에, 통상은 포토리소그래피법 등에 의해 패터닝한 촉매를 이용하여 카본 나노튜브의 성장 위치와 방향을 제어하여 제작한다.

구체적으로는 다음에 서술하는 공정에서 카본 나노튜브를 형성한다.

(공정 1) 도 7(a)에 나타낸 바와 같이, 기판(2) 상에 포토레지스트(16)를 패터닝한다.

카본 나노튜브를 형성하고자 하는 위치 및 방향에 따라 형성하는 패턴을 결정하고, 그 패턴에 맞춰 기판(2) 상에 포토레지스트(16)로 패터닝을 실시한다.

(공정 2) 도 7(b)에 나타낸 바와 같이, 금속의 촉매(17)를 증착시킨다.

패터닝을 실시한 기판(2) 면에 촉매(17)가 되는 금속을 증착한다. 촉매(17)가 되는 금속의 예로는, 철, 니켈, 코발트 등의 철이금속, 또는 이들의 합금 등을 들 수 있다.

(공정 3) 도 7(c) 에 나타낸 바와 같이, 리프트오프를 실시하여 촉매 (17) 의 패턴을 형성한다.

촉매 (17) 의 증착 후, 리프트오프를 실시한다. 리프트오프에 의해, 포토레지스트 (16) 는 기판 (2) 으로부터 제거되기 때문에, 포토레지스트 (16) 표면에 증착된 촉매 (17) 도 함께 기판 (2) 으로부터 제거된다. 이에 따라, 공정 1 에서 형성한 패턴에 맞춰 촉매 (17) 의 패턴이 형성된다.

(공정 4) 도 7(d) 에 나타낸 바와 같이, CVD (화학 기상 퇴적법) 로 (18) 에서, 고온에서 메탄 가스나 알코올 가스 등의 원료 가스를 흐르게 하여, 촉매 (17) 와 촉매 (17) 사이에 카본 나노튜브 (19) 를 형성한다.

고온에서는 금속 촉매 (17) 는 직경 수 nm 의 미립자 형상이 되고, 이것을 핵으로 하여 카본 나노튜브가 성장한다. 또한, 여기에서 통상적으로 고온이란 300℃ 이상 1200℃ 이하를 가리킨다.

이상에서 공정 1~공정 4 에 의해 카본 나노튜브 (19) 를 형성한 후, 그 카본 나노튜브 (19) 의 양단에 소스 전극 및 드레인 전극을 형성한다. 여기에서는 소스 전극 및 드레인 전극은 오믹 전극을 형성한 것으로 한다. 이 때, 소스 전극이나 드레인 전극은 카본 나노튜브 (19) 의 선단에 부착해도 되고, 측면에 부착해도 된다. 또, 소스 전극이나 드레인 전극의 전극 형성시에, 보다 양호한 전기적 접촉을 목적으로 하여, 예컨대, 300℃~1000℃ 범위의 열처리를 실시해도 된다.

또한, 적당한 위치에 게이트 및 상호작용 감지 게이트를 형성하여, 트랜지스터를 제작한다.

이상의 방법을 사용하면, 위치 및 방향을 제어하면서 카본 나노튜브 (19) 를 형성하여 트랜지스터를 제작할 수 있다. 그러나, 상기의 방법에서는 촉매인 금속간에 카본 나노튜브 (19) 가 형성되는 확률은 작다 (발명자들의 시험에서는 10% 정도). 그래서, 도 8 에 나타낸 바와 같이, 촉매 (17) 의 형상을 선단이 급준(急峻)한 형상으로 하고, 카본 나노튜브 (19) 의 성장중에 이 2 개의 촉매 사이에 전하를 인가한다. 이에 따라, 급준한 촉매 사이의 전기력선을 따라 카본 나노튜브 (19) 가 성장하는 것을 기대할 수 있다.

촉매 (17) 간에 전하를 인가함으로써, 상기와 같이 전기력선을 따라 카본 나노튜브 (19) 가 성장하는 이유는 확실하지 않지만, 다음의 2 가지가 추찰(推察)된다. 하나는, 전극(여기에서는, 촉매 (17)) 으로부터 성장을 개시한 카본 나노튜브 (19) 는 큰 분극 모멘트를 갖고 있기 때문에, 전계에 따른 방향으로 성장하는 것이라는 생각이다. 또 다른 하나는, 고온에서 분해한 카본 이온이 전기력선을 따라 카본 나노튜브 (19) 를 형성해 간다는 생각이다.

또, 카본 나노튜브 (19) 의 성장을 저해하는 요인으로서, 기판 (2) 과 카본 나노튜브 (19) 사이에 작용하는 반데르 발스의 힘의 영향으로 카본 나노튜브 (19) 가 기판 (2) 에 밀착하여, 방향 제어가 곤란해지는 것을 생각할 수 있다. 이 반데르 발스의 힘의 영향을 작게 하기 위해, 상기의 트랜지스터의 제작 방법에 있어서, 도 9 에 나타낸 바와 같이, 촉매 (17) 와 기판 (2) 사이에 산화규소 등으로 형성한 스페이서층 (20) 을 형성하여, 카본 나노튜브 (19) 를 기판 (2) 으로부터 띄워 성장을 실시하도록 하는 것이 바람직하다.

이상의 제작 방법에 의해, 전계 특성 트랜지스터를 제작할 수 있다.

또한, 제작한 전계 특성 트랜지스터의 카본 나노튜브 (19) 에 수소, 산소, 아르곤 등의 분위기 가스에서의 가열, 산 용액 중에서의 자비(煮沸) 등의 화학 처리를 실시하고, 결합을 도입하여 양자 도트 구조를 형성시킴으로써, 단일 전자 트랜지스터를 제작할 수 있다.

#### [상호작용 감지 게이트에 대한 특정 물질의 고정화 방법]

상호작용 감지 게이트에 대한 특정 물질의 고정화 방법으로는, 상호작용 감지 게이트에 특정 물질을 고정시킬 수 있는 방법이라면 특별히 제한은 없다. 예컨대, 상호작용 감지 게이트에 직접 물리 흡착으로 결합시키는 것도 가능하지만, 미리 상호작용 감지 게이트 상에 앵커부를 갖는 플렉서블 스페이서를 개재시켜 결합시켜도 된다.

상호작용 감지 게이트에 금 등의 금속을 사용한 경우, 플렉서블 스페이서는 구조식  $(CH_2)_n$  ( $n$  은 1 부터 30 까지의 자연수를 나타내지만, 2 부터 30 까지가 바람직하고, 2 부터 15 까지가 더욱 바람직하다) 의 알킬렌을 함유하는 것이 바람직하다. 스페이서 분자의 일단은, 금 등의 금속에 대한 흡착으로서 적합한 앵커부로서 티올기나 디술피드기를 사용하고, 스페이서 분자의 상호작용 감지 게이트로부터 떨어진 쪽을 향하고 있는 타단에는 고정화하고자 하는 특정 물질을 결합시킬 수 있는

결합부를 1 개 또는 복수 개 함유한다. 이러한 결합부는 예컨대, 아미노기나 카르복실기, 히드록실기, 숙시미드기 등 여러 가지의 반응성 관능기나 비오틴 및 비오틴 유도체, 디곡신, 디곡시게닌, 플루오레세인 및 유도체, 테오픈린 등의 합텐이나 킬레이트를 사용해도 된다.

또, 상호작용 감지 게이트에 직접 또는 이들 스페이서를 개재시켜 도전성 고분자, 친수성 고분자, LB 막 등이나 매트릭스를 결합시키고, 그 도전성 고분자, 친수성 고분자, LB 막 등이나 매트릭스에 고정화시키고자 하는 특정 물질을 1 또는 복수종 결합 또는 포괄/담지시켜도 되고, 미리 도전성 고분자, 친수성 고분자나 매트릭스에 고정화시키고자 하는 물질을 1 또는 복수종 결합 또는 포괄/담지시킨 후에 상호작용 감지 게이트에 결합시켜도 된다.

도전성 고분자로는 폴리피롤, 폴리티오펜, 폴리아닐린 등이 사용되고, 친수성 고분자로는 텍스트란, 폴리에틸렌옥시드 등 전하를 갖지 않는 고분자이어도 되고, 폴리아크릴산, 카르복시메틸텍스트란 등 전하를 가진 고분자이어도 되고, 특히 전하를 가진 고분자의 경우, 고정화시키고자 하는 물질과 반대의 하전을 갖는 고분자를 사용함으로써 전하 농축 효과를 이용하여 결합 또는 담지시킬 수 있다. (인용 : 팔마시아 특허, 특허 제2814639호)

특히, 특정한 이온을 검출하는 경우에는, 상호작용 감지 게이트 상에 특정한 이온에 대응하는 이온 감응막을 형성시킬 수 있다. 또한, 이온 감응막 대신 또는 함께 효소 고정막을 형성시킴으로써 검출대상물질에 대해 효소가 촉매로서 작용한 결과 생기는 생성물을 측정함으로써 검출대상물질을 검출할 수도 있다.

또, 고정화시키고자 하는 특정 물질을 고정화시킨 후, 소혈청 알부민, 폴리에틸렌옥시드 또는 다른 불활성 분자에 의해 표면을 처리하거나, UF 막으로 피복함으로써 비특이적 반응을 억제하거나, 투과할 수 있는 물질을 선택하거나 할 수도 있다.

또, 상호작용 감지 게이트로서, 금속 이외에 얇은 절연막을 사용해도 된다. 절연막으로는, 산화규소, 질화규소, 산화알루미늄, 산화티탄, 플루오르화칼슘 등의 무기 재료, 아크릴 수지, 에폭시 수지, 폴리이미드, 테프론 (등록 상표) 등의 고분자 재료를 사용할 수 있다.

H<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 등의 이온을 측정할 때에는 추가로 필요하면 이 절연막 상에 각각 측정 대상이 되는 이온에 대응하는 이온 감응막을 형성시킬 수 있다. 또한, 이온 감응막 대신 또는 함께 효소 고정막을 형성시킴으로써 검출대상물질에 대해 효소가 촉매로서 작용한 결과 생기는 생성물을 측정함으로써 검출대상물질을 검출할 수도 있다. (참고문헌, 스텔리 슈이치 : 바이오센서, 1984, 코오단사, 카루베 등 : 센서의 개발과 실용화, 제 30 권, 제 1 호, 별책화학공업, 1986)

#### [이용 분야]

본 발명의 센서는 임의의 분야에서 적절히 사용할 수 있지만, 예컨대, 다음과 같은 분야에서 사용할 수 있다.

상호작용을 응용한 바이오센서로서 사용하는 경우에는, 혈액이나 뇨 등의 임상 검사용 센서를 들 수 있으며, pH, 전해질, 용존 가스, 유기물, 호르몬, 알러젠, 약품, 항생 물질, 효소 활성, 단백질, 펩티드, 변이 원성(原性) 물질, 미생물 세포, 혈액 세포, 혈액형, 혈액 응고능, 유전자 해석의 측정이 가능해진다. 측정 원리로서 이온 센서, 효소 센서, 미생물 센서, 면역 센서, 효소 면역 센서, 발광 면역 센서, 군 계수 센서, 혈액 응고 전기 화학 센싱 및 각종 전기 화학적 반응을 이용한 전기 화학 센서 등을 생각할 수 있는데, 최종적으로 전기적 시그널로서 빼낼 수 있는 원리를 모두 포함한다. (참고문헌, 스텔리 슈이치 : 바이오센서, (1984), 코오단사, 카루베 등 : 센서의 개발과 실용화, 제 30 권, 제 1 호, 별책화학공업, 1986))

또한, 생체 내에서의 현장 (in situ) 측정도 가능하고, 이들의 예로는 카테터에 장착한 삽입형 마이크로센서 외에도 매립형 마이크로센서나 의료용 캡슐을 이용한 캡슐 탑재형 마이크로센서 등을 생각할 수 있다. (참고 문헌, 카루베 등 : 센서의 개발과 실용화, 제 30 권, 제 1 호, 별책화학공업, 1986)

#### 실시에

이하, 도면을 사용하여 본 발명의 실시예를 설명한다.

카본 나노튜브를 채널로 한 전계 효과 트랜지스터의 제작은 이하와 같이 실시하였다.

#### [1. 센서의 제작]

## (기판의 준비)

n-형 Si (100) 기판 (2) 을, 체적비로 황산 : 과산화 수소 = 4 : 1 이 되도록 혼합한 산에 5 분간 침지 (浸漬) 하여 표면을 산화시킨 후, 흐르는 물에서 5 분간 행구고, 그 다음으로 체적비로 플루오르화수소산 : 순수 = 1 : 4 가 되도록 혼합한 산으로 산화막을 제거하고, 마지막으로 흐르는 물에서 5 분간 행귀 Si 기판 표면을 세정하였다. 세정한 Si 기판 (2) 표면을 산화로를 사용하여 1100℃, 30 분간, 산소 유량 3 L/min 의 조건으로 열 산화하여, 두께 약 100nm 의 SiO<sub>2</sub> 를 절연막 (20) 으로서 막을 형성하였다.

## (채널의 형성)

다음으로, 절연층 (20) 표면에 카본 나노튜브 성장 촉매를 형성하기 위해, 포토리소그래피법에 의해 포토레지스트 (16) 를 패터닝하였다 {도 10(a)}. 우선, 절연층 (20) 상에, 헥사메틸디실라잔 (HMDS) 을 500rpm, 10 초간, 4000rpm, 30 초간의 조건으로 스핀 코팅하고, 그 위에 포토레지스트 (시프레이 · 파이스트사 제조, microposit S1818) 를 동일한 조건으로 스핀 코팅하였다.

스핀 코팅한 후, Si 기판 (2) 을 핫플레이트 상에 놓고, 90℃, 1 분간의 조건으로 베이킹하였다. 베이킹 후, 모노클로로벤젠 중에 포토레지스트 (16) 를 코팅한 Si 기판 (2) 을 5 분간 침지시키고, 질소 블로로 건조시킨 후, 오븐에 넣어 85℃, 5 분간의 조건으로 베이킹하였다. 베이킹 후, 얼라이너를 사용하여 촉매 패터를 노광하고, 현상액 (클러리언트사 제조, AZ300MIF 디벨로퍼 (2.38%)) 중에서 4 분간 현상한 후, 흐르는 물에서 3 분간 린스하고, 질소 블로로 건조시켰다.

포토레지스트 (16) 를 패터닝한 Si 기판 (2) 상에, EB 진공 증착기를 사용하여 Si, Mo 및 Fe 촉매 (17) 를 두께가 Si/Mo/Fe=100Å/100Å/30Å 가 되도록 증착 레이트 1Å/sec.로 증착하였다 {도 10(b)}. 증착 후, 아세톤을 자비하면서 리프트 오프하고, 아세톤, 에탄올, 흐르는 물의 순으로 각 3 분간 시료를 세정하고, 질소 블로로 건조시켰다 {도 10(c)}.

촉매 (17) 를 패터닝한 Si 기판 (2) 을 CVD 로에 설치하고, Ar 을 사용하여 버블링한 에탄올을 750cc/min. 및 수소를 500cc/min. 흐르게 하면서 900℃, 20 분간의 조건으로, 채널이 되는 카본 나노튜브 (19) 를 성장시켰다 (도 11). 이 때, 승온 및 강온은 Ar 을 1000cc/min. 흐르게 하면서 실시하였다.

## (소스 전극, 드레인 전극 및 사이드 게이트 전극의 형성)

카본 나노튜브의 성장 후, 소스 전극, 드레인 전극 및 사이드 게이트 전극을 각각 제작하기 위해, 다시 상기 기술한 포토리소그래피법에 의해 Si 기판 (2) 상에 포토레지스트 (16) 를 패터닝하였다 {도 12(a)}.

패터닝 후, EB 증착에 의해 Ti 및 Au 의 순으로 Ti/Au=300Å/3000Å, Ti 의 증착 레이트가 0.5Å/sec., Au 의 증착 레이트가 5Å/sec. 의 조건으로, Si 기판 (2) 에 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 전극 (7) 을 증착하였다 {도 12(b)}. 증착한 후, 상기 기술한 바와 동일하게, 아세톤을 자비하면서 리프트오프하고, 아세톤, 에탄올, 흐르는 물의 순으로 각 3 분간 시료를 세정하고, 질소 블로로 건조시켰다 {도 12(c)}.

소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 전극 (7) 을 패터닝한 후, 소자를 보호하기 위해, Si 기판 (2) 표면에 HMDS 를 500rpm, 10 초간, 4000rpm, 30 초간의 조건으로 스핀 코팅하고, 그 위에 상기 기술한 포토레지스트를 동일한 조건으로 스핀 코팅하였다. 그 다음으로, 오븐에서 110℃, 30 분간의 조건으로 포토레지스트를 베이킹하여 굳혀 소자 보호막을 형성하였다.

## (백게이트 전극의 제작)

Si 기판 (2) 이면의 SiO<sub>2</sub> 막 (20) 을 RIE (리액티브 이온 에칭) 장치를 사용하여 건식 에칭하여 제거하였다. 이 때, 사용한 에천트(etchant)는 SF<sub>6</sub> 로, RF 출력 100W 의 플라즈마 중에서 6 분간 에칭을 실시하였다. 이면의 SiO<sub>2</sub> 막 (20) 을 제거한 후, EB 증착에 의해 Pt 및 Au 의 순으로 Pt/Au=300/2000Å, Pt 의 증착 레이트가 0.5Å/분간, Au 의 증착 레이트가 5Å/분간의 조건으로, Si 기판 (2) 에 백게이트 전극 (상호작용 감지 게이트 ; 9) 을 증착하였다 (도 13).

## (채널층의 형성)

다음으로, Si 기판 (2) 표면에 형성한 소자 보호막을, 자비한 아세톤, 아세톤, 에탄올, 흐르는 물의 순으로 각 3 분간 세정하여 제거하였다. 다음으로, 카본 나노튜브 (19) 를 보호하기 위해, 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 전극 (7) 을 패터닝할 때의 포토리소그래피법과 동일하게 하여, 포토레지스트를 소자 표면의 소스 전극 (4), 드레인 전극 (5) 및 사이드 게이트 전극 (7) 이외의 부분에 패터닝하여 채널 보호층 (16) 으로 하였다 (도 14). 이상의 공정을 거쳐 완성한 카본 나노튜브-전계 효과 트랜지스터 (이하, 적절히 「CNT-FET」 이라고 함) 의 개략도를 도 15 에 도시하였다.

## [2. 센서를 사용한 특성 측정]

제작한 CNT-FET 를 사용하고, 이하의 수법에 의해 항체 고정화 전후의 특성 측정을 실시하였다.

백게이트 전극 (9) 에 아세트산 버퍼 용액으로 희석한 농도  $100[\mu\text{g}/\text{mL}]$  의 마우스 IgG 항체를  $50\mu\text{L}$  적하 (滴下) 하고, 습도 90% 의 습윤 상자에서 약 15 분간 반응시키고, 순수로 표면을 세정하여 항체의 고정화를 실시하였다. 고정화한 결과, 도 16 과 같이 백게이트 전극 (9) 에 특정 물질로서 상기 IgG 항체 (10) 가 고정되었다. 또한, 도 16 에서는 채널 보호층 (16) 은 2 점 쇄선으로 나타낸다.

CNT-FET 의 전기 특성 평가는, Agilent 사 제조의 4156C 반도체 파라미터 애널라이저를 사용하여 실시하였다. 항체를 고정화하는 전후에서 전기 특성의 1 종인 전달 특성 ( $V_{SG}-I_{SD}$  특성) 을 측정하고, 측정값을 항체 고정화의 전후에서 비교함으로써 실시하였다. 그 측정 결과를 도 16 에 도시하였다. 이 때, 사이드 게이트 전압  $V_{SG}=-40\sim 40\text{V}$  (0.8V 스텝) 에서 스위프시키고, 그 각 점에서 소스 전압  $V_S=0\text{V}$ , 드레인 전압  $V_D=-1\sim 1\text{V}$  (0.02V 스텝) 를 스위프시켰을 때에 소스 전극·드레인 전극 사이에 흐르는 전류 (소스 드레인 전류;  $I_{SD}A$ ) 를 측정하였다. 또한, 도 17 에서 소스 드레인 전류가 부의 영역인 그래프가  $V_{SD}=-1.0\text{V}$  에서의 측정 결과를 나타내고, 소스 드레인 전류가 정의 영역인 그래프가  $V_{SD}=+1.0\text{V}$  에서의 측정 결과를 나타낸다.

도 17 의 소스 드레인 전류가  $5\mu\text{A}$  부분에 주목하면, 항체 고정화 후의 사이드 게이트 전압은, 고정화 전의 사이드 게이트 전압과 비교하여  $+47\text{V}$  로 매우 크게 변화하고 있었다. 이 측정 결과로부터, 항체 고정화 전후에서 CNT-FET 의 전달 특성이 매우 크게 변화하여, 백게이트 표면 근방에서 일어나는 항체 고정화에 의한 상호작용을 직접 측정할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이 사실로부터, 본 발명에 의한 센서가 매우 고감도의 화학물질 검출능력을 갖고 있다는 것이 나타나, 검출 대상물질-특정 물질 사이의 상호작용의 검출에 이용할 수 있음이 추찰된다.

## 산업상이용가능성

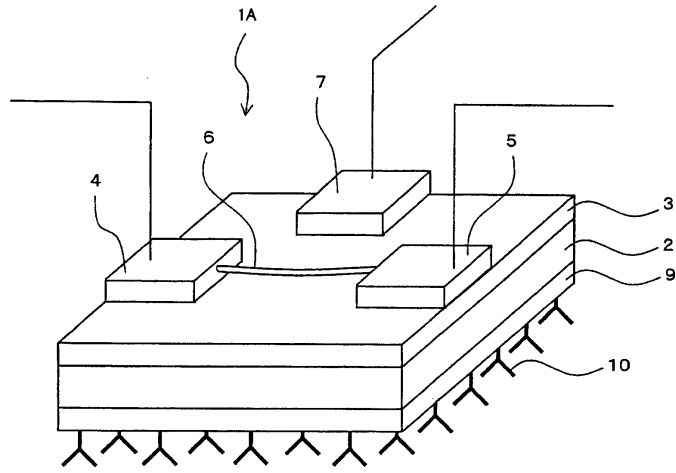
본 발명은 화학분석, 물리분석, 생물분석 등의 분석에 널리 이용할 수 있으며, 예컨대, 의료용 센서나 바이오센서로서 사용하기에 바람직하다.

## 도면

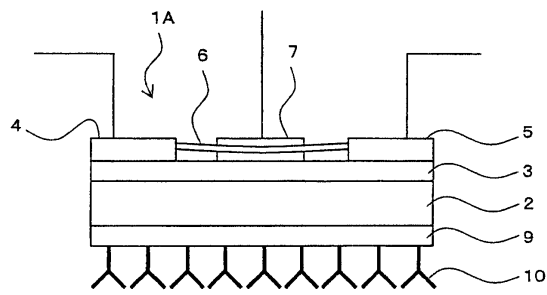


도면1

(a)

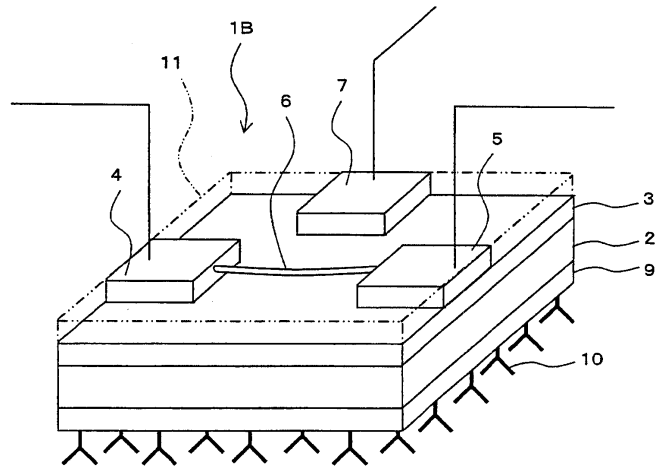


(b)

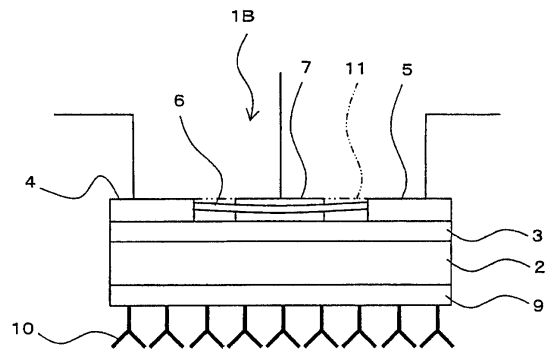


도면2

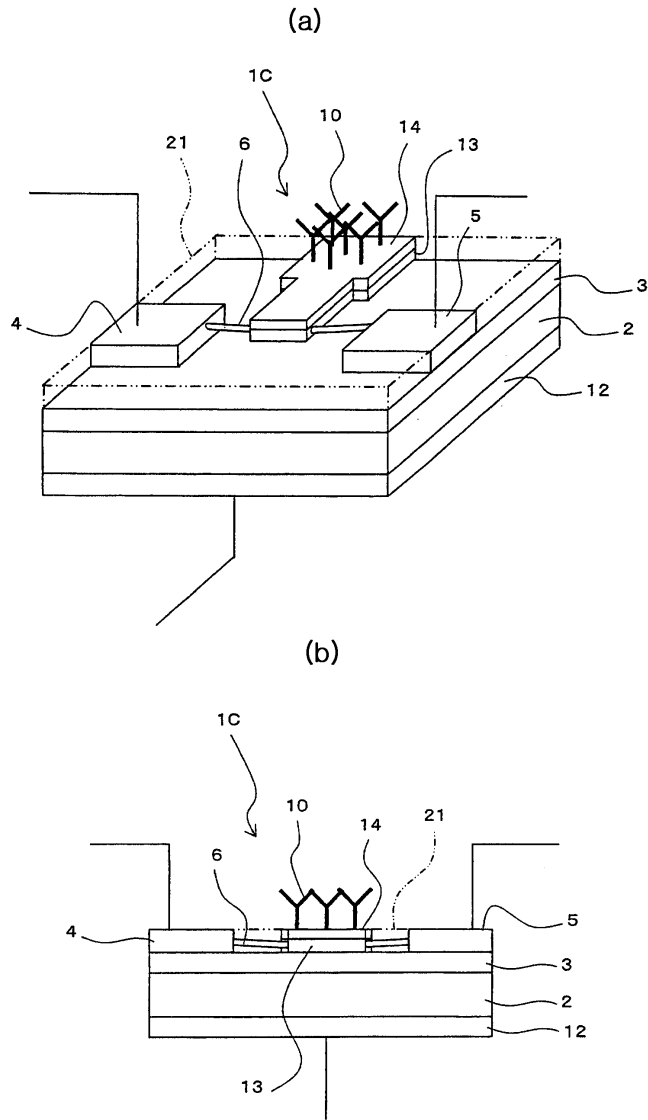
(a)



(b)

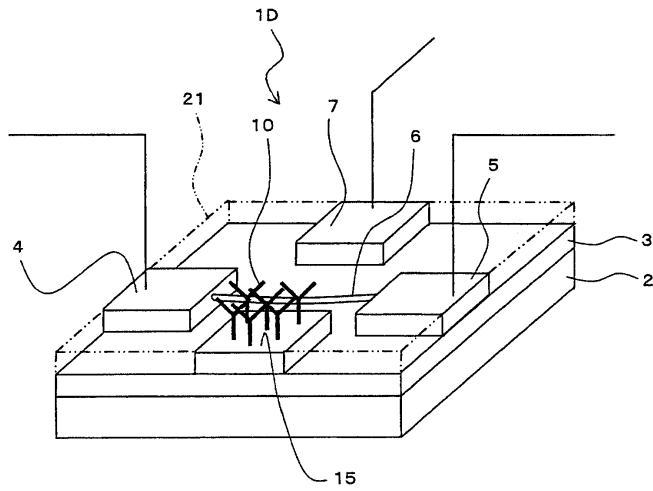


도면3

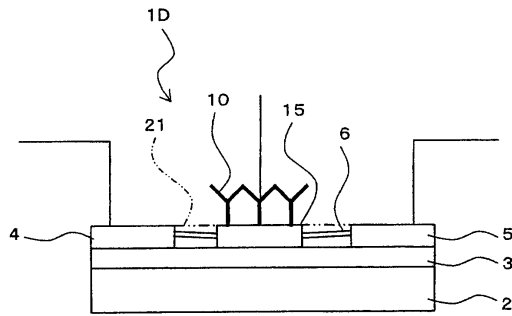


도면4

(a)

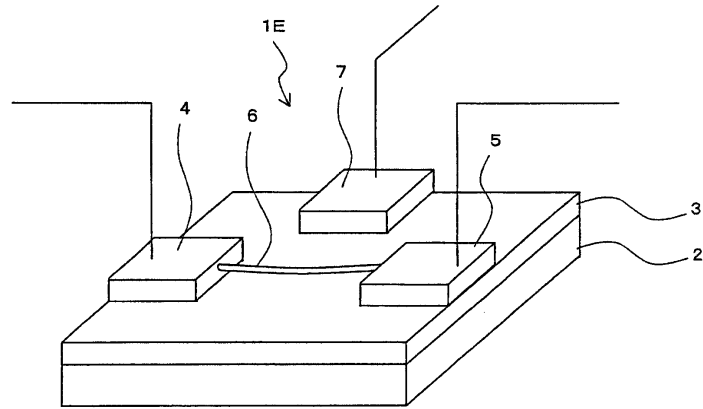


(b)

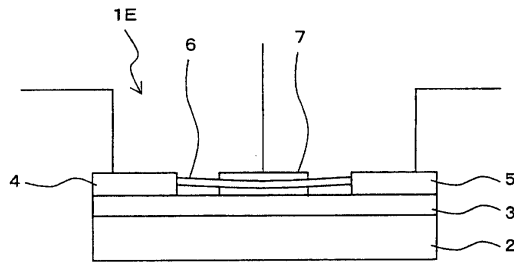


도면5

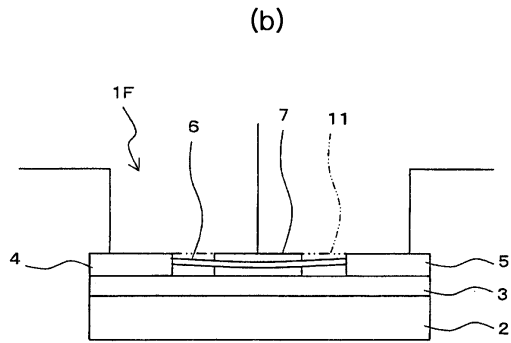
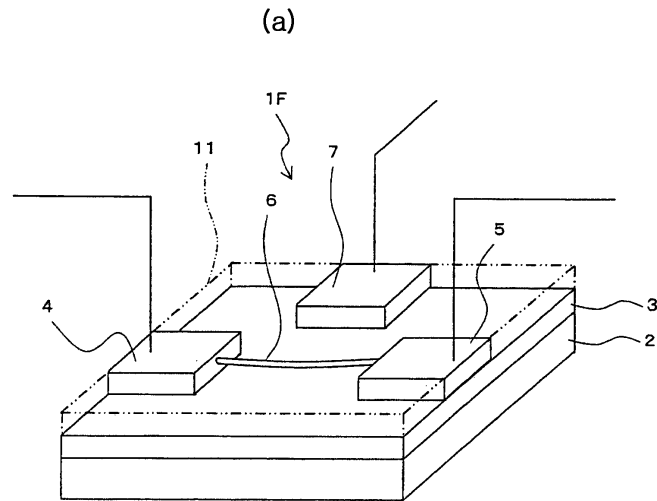
(a)



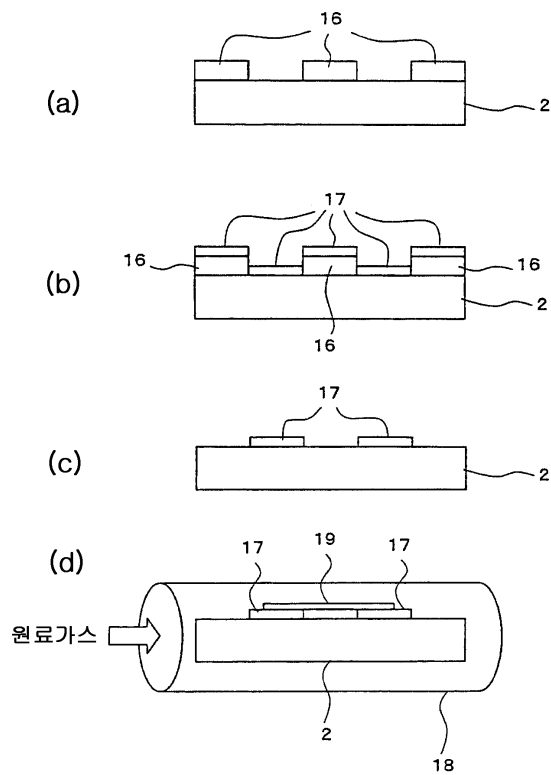
(b)



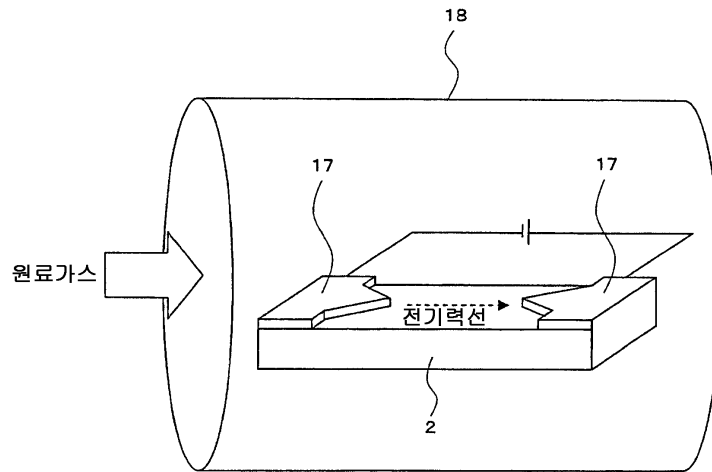
도면6



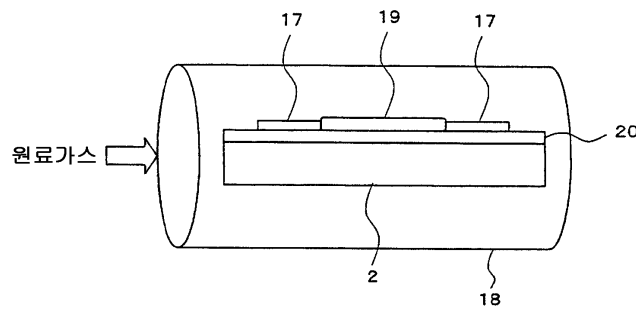
도면7



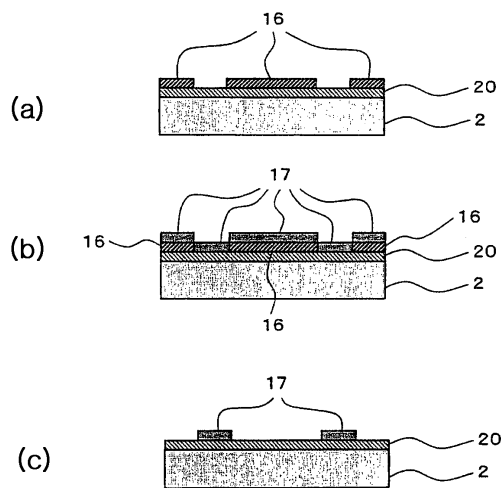
도면8



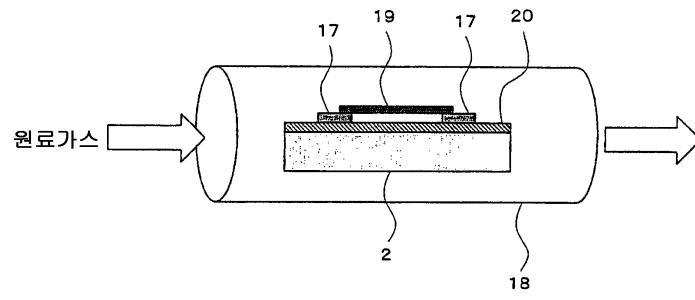
도면9



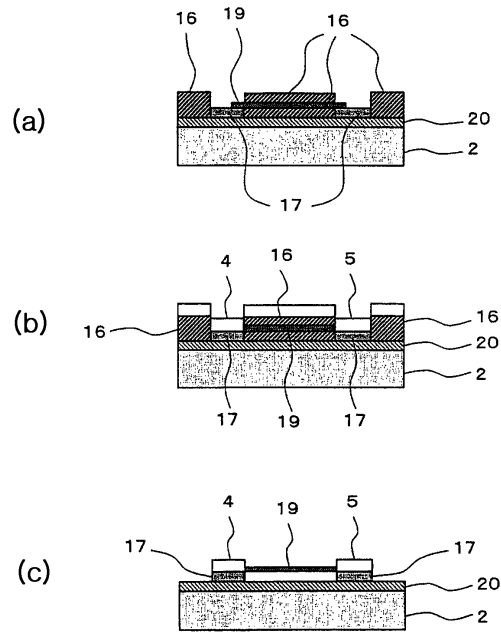
도면10



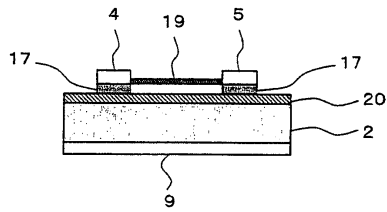
도면11



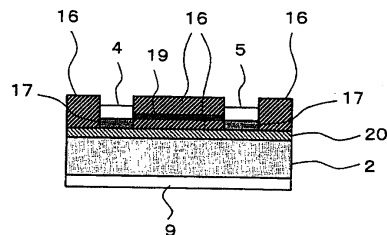
도면12



도면13

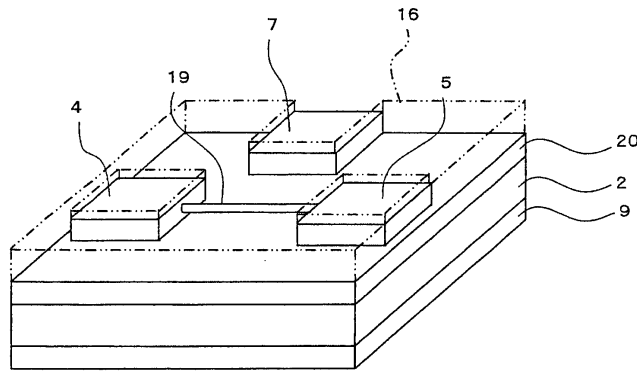


도면14

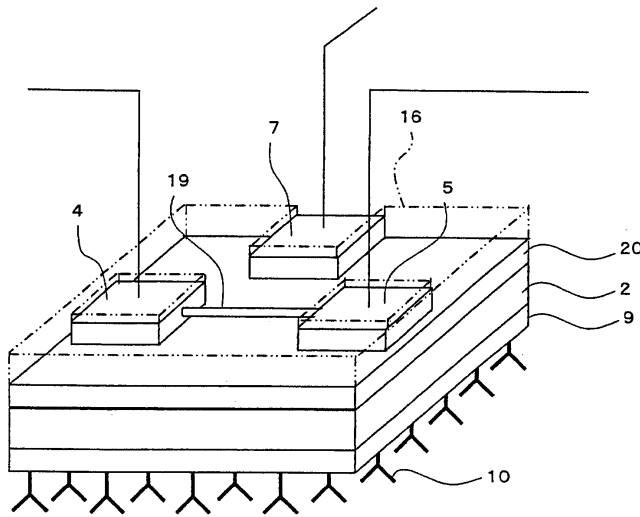




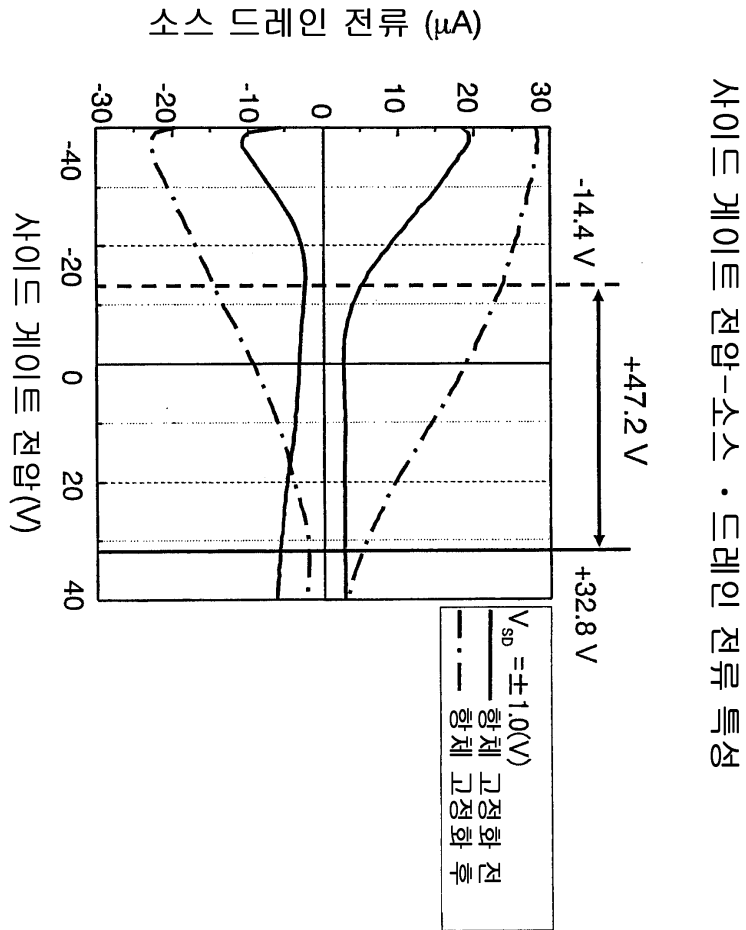
도면15



도면16



도면17



사이드 게이트 전압-소스 · 드레인 전류 특성