



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. G01N 27/76 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년11월30일 10-0651700 2006년11월23일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2002-7007883	(65) 공개번호	10-2003-0022770
(22) 출원일자	2002년06월19일	(43) 공개일자	2003년03월17일
심사청구일자	2005년07월27일		
번역문 제출일자	2002년06월19일		
(86) 국제출원번호	PCT/US2000/020782	(87) 국제공개번호	WO 2001/57506
국제출원일자	2000년08월17일	국제공개일자	2001년08월09일

(81) 지정국                      국내특허 : 오스트레일리아, 캐나다, 일본, 대한민국, 멕시코,  
  
EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드,

(30) 우선권주장                      09/497,754                      2000년02월04일                      미국(US)

(73) 특허권자                      더 유나이티드 스테이츠 오브 아메리카 에즈 리프리젠티드 바이 더 세크리테리 오브 더 네이비  
미국 버지니아주 22217-5660 알링톤 노오쓰 퀸시 스트리트 800

(72) 발명자                      프린즈,제리,에이.  
미국,버지니아22301,알렉산드리아,듀프필드레인1789  
  
밀리,마이클,엠.  
미국,버지니아22308,알렉산드리아,윈스롭드라이브8801

(74) 대리인                      박경재

심사관 : 이창호

전체 청구항 수 : 총 30 항

## (54) 자기 입자들을 위한 고효율 자기 센서

### (57) 요약

자기 감지 소자는 결합 분석물내 자기 입자들의 존재를 검출한다. 자기 감지 소자는 물질이 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 평면층을 가진다. 자기 감지 소자는 그것에 부착된 제1특정 결합 군의 분자들을 가진다. 장치는, 또한 자기 감지 소자가 결합 분석 과정 동안 노출되는 유체 테스트 매체를 포함하고 있다. 상기 유체 테스트 매체는 상기 테스트 매체내 분석물의 양에 관련하여 분석 동안 고정되어 지는 자화가능한 입자들을 포함한다. 자화가능한 입자 및 자기 감지 소자의 상대적인 크기 및 상기 자기 감지 소자상의 제1특정 결합 군의

분자들의 위치는, 자기 입자가 자기 감지 소자에 관하여 고정되어질 때, 자기 입자의 방사형 프린징 필드가 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동되게 하여, 자기 감지 소자의 전기 저항의 검출 가능한 변화를 초래하도록 선택된다.

## 대표도

도 1

## 특허청구의 범위

### 청구항 1.

결합 분석용 자기 감지 소자에 있어서,

- (i) 물질이 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면층;
- (ii) 상기 층의 평면에 수직하고 상기 원형 자기 모멘트의 중심을 통과하는 축을 따라 한 점에서 자화가능한 입자를 고정시키기 위한 수단; 및
- (iii) 상기 자화가능한 입자를 상기 자기 감지 소자에 결합시킴으로써 유발된 자기 감지 소자의 자기저항의 변화를 감지하기 위한 수단;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

### 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 자화가능한 입자를 결합하기 위한 수단은 상기 자화가능한 입자에 직접 또는 간접적으로 결합하는 특정(specific) 결합 군의 분자들을 포함하며, 상기 특정 결합 군의 분자들은, 상기 자화가능한 입자가 층의 평면에 수직이고 상기 원형 자기 모멘트의 중심을 통과하는 축을 따라 한점에서 상기 자기 감지 소자에 결합되도록, 공간 배향으로 상기 자기 감지 소자에 부착되는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

### 청구항 3.

결합 분석용 자기 감지 소자에 있어서,

- (i) 층의 평면내에 고정 원형 자기 모멘트를 가지는, 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층,  
물질이 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층,  
상기 자기 강성의 물질의 층 및 상기 자기 연성 물질의 층을 분리하는 전기 전도성 비강자성 물질의 평면 층을 포함하며,  
상기 자기 연성 물질 및 상기 자기 강성 물질의 층들의 상기 원형 자기 모멘트들의 중심들은 동축인, 적층된 강자성 층들;
- (ii) 자화가능한 입자를, 층의 평면에 수직이고 상기 원형 자기 모멘트들의 상기 중심들을 통과하는 축을 따라 한 점에서 상기 자기 감지 소자에 결합시키기 위한 수단; 및
- (iii) 자화가능한 입자를 상기 자기 감지 소자에 결합시킴으로써 유발된 상기 자기 감지 소자의 자기저항의 변화를 검출하기 위한 수단;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

#### 청구항 4.

제3항에 있어서, 상기 자화가능한 입자를 결합하기 위한 수단은, 상기 자화가능한 입자에 직접 또는 간접적으로 결합하는 특정(specific) 결합 군의 분자들을 포함하며, 상기 특정 결합 군의 분자들은, 상기 자화가능한 입자가 층의 평면에 수직이고 상기 원형 자기 모멘트의 중심을 통과하는 축을 따라 한점에서 상기 자기 감지 소자에 결합되도록, 공간 배향으로 상기 자기 감지 소자에 부착되는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

#### 청구항 5.

결합 분석용 자기 감지 소자에 있어서,

(i) 각각 개개의 자기 강성 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며, 상기 자기 강성 물질의 층들의 자기 모멘트들은 서로에 대하여 평행하게 배열되는, 다수의 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층들; 및

각각의 층이 자기 연성 물질의 개개의 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며 자기 연성 물질의 층들의 자기 모멘트들이 서로에 대하여 평행하게 배열되는 초기 상태를 각각 가지는, 다수의 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층들;을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층들 및 자기 연성 물질의 층들은 비강자성 물질의 전기 전도성 평면 층들에 의해 서로 분리되고, 상기 자기 연성 물질 및 자기 강성 물질의 모든 층들의 원형 자기 모멘트들의 중심들은 동축인, 적층된 강자성 층들;

(ii) 상기 층의 평면에 수직하고 상기 원형 자기 모멘트들의 중심들을 통과하는 축을 따라 한 점에서 상기 자기 감지 소자에 자화가능한 입자를 결합하기 위한 수단; 및

(iii) 자화가능한 입자를 상기 자기 감지 소자에 결합함으로써 유발된 상기 자기 감지 소자의 자기저항의 변화를 검출하기 위한 수단;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

#### 청구항 6.

제5항에 있어서, 상기 자화가능한 입자를 결합하기 위한 수단은, 상기 자화가능한 입자에 직접 또는 간접적으로 결합하는 특정 결합 군의 분자들을 포함하며, 상기 특정 결합 군의 분자들은, 상기 자화가능한 입자가 층의 평면에 수직이고 상기 원형 자기 모멘트의 중심을 통과하는 축을 따라 한점에서 상기 자기 감지 소자에 결합되도록, 공간 배향으로 상기 자기 감지 소자에 부착되는 것을 특징으로 하는 자기 감지 소자.

#### 청구항 7.

결합 분석물내의 자기 입자의 존재를 고정 및 검출하기 위한 감지 장치에 있어서,

(i) 물질이 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면층을 포함하며, 이에 부착된 제1특정 결합 군의 분자들을 가지는 자기 감지 소자로서, 상기 제1특정 결합 군의 분자들은, 이들이 평면층에 관련한 위치의 결합 분석물에 자기 입자를 직접 또는 간접적으로 고정시켜 상기 자기 입자의 프린징 필드가 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동하도록 선택 및 위치됨으로써, 상기 자기 감지 소자의 전기저항의 검출가능한 변화를 초래하는, 자기 감지 소자; 및

(ii)상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단;을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 8.

제7항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하며, 상기 적층은,

상기 층의 평면내에 고정 원형 자기 모멘트를 가지는, 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층,

물질이 상기 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층 및 상기 자기 연성 물질의 층은 전기 전도성 비강자성 물질의 평면 층에 의해 서로 분리되는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 9.

제8항에 있어서, 상기 초기 상태에서, 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층의 상기 원형 자기 모멘트는 상기 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 상기 평면층의 상기 원형 자기 모멘트와 평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 10.

제8항에 있어서, 상기 초기 상태에서, 상기 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층의 상기 원형 자기 모멘트는 상기 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 상기 평면층의 상기 원형 자기 모멘트와 역평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 11.

제8항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 동축 강자성 링들을 포함하며, 상기 적층은,

상기 층의 평면내에 고정 원형 자기 모멘트를 가지는 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 링,

상기 물질이 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 링을 포함하며,

상기 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 링 및 상기 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 링은 전기 전도성 비강자성 물질의 링에 의해 서로 분리되고,

상기 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 링의 원형 자기 모멘트의 배향을 역전시키기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 12.

제11항에 있어서, 상기 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 링의 상기 원형 자기 모멘트의 상기 배향을 역전시키기 위한 상기 수단은, 상기 링들의 중심을 통해 축방향으로 통과하는 전류-전송 와이어를 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 13.

제7항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하며, 상기 적층은,

상기 층의 평면내에 고정 원형 자기 모멘트를 가지는, 전기 전도성 강자성 물질의 제1평면층,

상기 물질이 상기 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 제2평면층을 포함하며,

상기 전기 전도성 강자성의 물질의 제1평면층 및 상기 전기 전도성 비강자성 물질의 제2평면층은 전기 전도성 비강자성 물질의 평면 층에 의해 서로 분리되고, 상기 제1평면층 및 제2평면층은 등가의 자기 코아시비티(coercivities)를 가지며, 상기 제1평면층 및 제2평면층의 원형 자기 모멘트들은 역평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 14.

제7항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하며, 상기 적층은,

각각 개개의 자기 강성 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며, 상기 자기 강성 물질의 층들의 상기 자기 모멘트들은, 서로에 대하여 평행하게 배열되는, 다수의 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층들; 및

각각의 층이 상기 자기 연성 물질의 개개의 층의 상기 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며 자기 연성 물질의 층들의 상기 자기 모멘트들이 서로에 대하여 평행하게 배열되는 초기 상태를 각각 가지는, 다수의 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층들;을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층들 및 자기 연성 물질의 층들은 비강자성 물질의 전기 전도성 평면 층들에 의해 서로 분리되는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 15.

분석물의 존재를 검출하기 위한 감지 장치에 있어서,

(i)물질이 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면 층을 포함하며, 이에 부착된 제1특정 결합 군의 분자들을 가지는 자기 감지 소자;

(ii)이에 부착된 제2특정 결합 군의 분자들을 가지는 자화가능한 입자를 포함하는 유체 테스트 매체로서,

상기 자화가능한 입자는 방사형 및 수직 성분들을 가지는 프린징 필드(fringing field)를 가지며, 상기 제1특정 결합 군 및 상기 제2 특정 결합 군은, 상기 제1 특정 결합 군 및 상기 제2특정 결합 군이 상기 자화가능한 입자들이 상기 테스트 매체의 분석물의 양과 관련하여 상기 자기 감지 소자들에 관하여 고정되게 하기 위해 서로 상호작용하도록 선택되고,

상기 제1특정 결합 군의 분자들의 위치 및 상기 자화가능한 입자들 및 상기 자기 감지 소자들의 상대적인 크기는, 상기 자화가능한 입자가 상기 자기 감지 소자에 대하여 고정될 때, 상기 자화가능한 입자의 상기 방사형 프린징 필드는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 상기 자기 모멘트가 원형에서 방사형으로 이동되게 하여, 상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 검출가능한 변화를 초래하도록 선택되는, 유체 테스트 매체; 및

(iii)상기 자기 감지 소자의 상기 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단;을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 16.

제15항에 있어서, 상기 자화가능한 입자는 연성 강자성 비드인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 17.

제15항에 있어서, 상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단은, 전기 저항의 변화에 응답하여 상기 전기 리드들 사이의 전압 또는 전류 흐름의 변화를 검출하기 위한 수단 및 평면층에 대해 평행한 상기 자기 감지 소자를 통해 전류 흐름을 지향하기 위해 위치되는 전기 리드들을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 18.

제15항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하며, 상기 적층은,

상기 층의 평면내에 고정 원형 자기 모멘트를 가지는, 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층, 및

상기 물질이 상기 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층 및 상기 자기 연성 물질의 층은 전기 전도성 비강자성 물질의 평면 층에 의해 서로 분리되는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 19.

제15항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하고, 상기 적층은,

상기 층의 평면 내에 고정된 원형 자기 모멘트를 가지는, 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 제1평면층, 및

상기 물질이 상기 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 제2평면층을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층 및 상기 자기 연성 물질의 층이 전기 전도성 비강자성 물질의 평면층에 의해 서로 분리되며, 상기 제1평면 층 및 제2평면층의 원형 자기 모멘트들은 역평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 20.

제18항에 있어서, 상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단은,

상기 평면층들에 수직한 상기 자기 감지 소자를 통해, 그리고 상기 원형 자기 모멘트들의 축을 통해 전류 흐름을 지향하기 위해 위치되는 전기 리드들; 및

상기 전기 저항의 변화에 응답하여 상기 전기 리드들 사이의 전류 흐름 또는 전압의 변화들을 검출하기 위한 수단;을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 21.

제18항에 있어서, 상기 자기 연성 물질의 층의 초기 상태에서, 상기 자기 연성 물질의 층의 상기 원형 자기 모멘트는, 상기 층 자기 강성 물질의 상기 원형 자기 모멘트와 관련하여 역평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 22.

제18항에 있어서, 상기 자기 연성 물질의 층의 초기 상태에서, 상기 자기 연성 물질의 층의 자기 모멘트는, 상기 층 자기 강성 물질의 자기 모멘트에 평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 23.

제15항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하며, 상기 적층은,

각각 개개의 자기 강성 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며, 상기 자기 강성 물질의 층들의 상기 자기 모멘트들은 서로에 대하여 평행하게 배열되는, 다수의 전기 전도성의, 자기 강성 강자성 물질의 평면층들;

각각의 층이 상기 자기 연성 물질의 개개의 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지며 자기 연성 물질의 층들의 상기 자기 모멘트들이 서로에 대하여 평행하게 배열되는 초기 상태를 각각 가지는, 다수의 전기 전도성의, 자기 연성 강자성 물질의 평면층들;을 포함하며,

상기 자기 강성 물질의 층들 및 자기 연성 물질의 층들은 비강자성 물질의 전기 전도성 평면 층들에 의해 서로 분리되는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 24.

제23항에 있어서, 상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단은,

상기 평면층들에 수직한 상기 자기 감지 소자를 통해, 그리고 상기 원형 자기 모멘트들의 축을 통해 전류 흐름을 지향하기 위해 위치되는 전기 리드들; 및

상기 전기 저항의 변화에 응답하여 상기 전기 리드들 사이의 전류 흐름 또는 전압의 변화들을 검출하기 위한 수단;을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 25.

제23항에 있어서, 상기 자기 연성 물질의 층들의 비섭동(unperturbed) 상태에서, 상기 자기 연성 물질의 층들의 상기 자기 모멘트들은 상기 자기 강성 물질의 층들의 자기 모멘트들에 관련하여 역평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 26.

제23항에 있어서, 상기 자기 연성 물질의 층들의 초기 상태에서, 자기 연성 물질의 상기 층들의 상기 자기 모멘트들은 상기 자기 강성 물질의 층들의 자기 모멘트들에 평행인 것을 특징으로 하는 감지 장치.

### 청구항 27.

제15항에 있어서, 상기 자기 감지 소자는 적층된 강자성 층들을 포함하고, 상기 적층은,

물질이 상기 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 제1평면층,

물질이 상기 층의 평면 내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 제2평면층,

상기 전기 전도성 강자성 물질의 제1평면층과 상기 비전도성 강자성 물질의 제2평면층 사이의 비전도성, 비강자성 물질의 평면층을 포함하며,

상기 전기 전도성 강자성 물질의 상기 제1평면층, 상기 전기 전도성 강자성 물질의 제2평면층 및 상기 비전도성, 비강자성 물질의 평면층이 함께 자기 터널링 접합을 형성하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

## 청구항 28.

제15항에 있어서,

상기 자기 감지 소자는, 물질이 상기 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 평면층을 포함하며,

상기 자기 감지와 관련한 상기 자화가능한 입자의 고정은 이방성 자기저항 효과에 의해 상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 검출가능한 변화를 초래하고,

상기 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단은, 상기 이방성 자기저항 효과에 응답하여 상기 전기 리드들 사이의 전압 또는 전류 흐름의 변화를 검출하기 위한 수단 및 평면층에 대해 평행한 상기 자기 감지 소자를 통해 전류 흐름을 지향하기 위해 위치되는 전기 리드들을 포함하는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

## 청구항 29.

분석물의 존재를 검출하기 위한 감지 장치에 있어서,

센서는,

고체(solid) 표면;

물질이 상기 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면 층을 각각 포함하며, 이에 부착된 제1특정 결합 군의 분자들을 가지는, 상기 표면상의 다수의 자기 감지 소자들;

이에 부착된 제2특정 결합 군의 분자들을 가지는 다수의 자화가능한 입자들을 포함하는 유체 테스트 매체; 및

상기 자기 감지 소자들의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단;을 포함하며,

각각의 자화가능한 입자는 방사형 및 수직 성분들을 가지는 프린징 필드를 가지며,

상기 제1특정 결합 군 및 상기 제2 특정 결합 군은, 상기 제1 특정 결합 군 및 상기 제2특정 결합 군이 상기 자화가능한 입자들이 상기 테스트 매체의 분석물의 양과 관련하여 상기 자기 감지 소자들에 관하여 고정되게 하기 위해 서로 상호작용하도록 선택되고,

상기 제1특정 결합 군의 분자들의 위치 및 상기 자화가능한 입자들 및 상기 자기 감지 소자들의 상대적인 크기는, 자화가능한 입자가 자기 감지 소자에 대하여 고정될 때, 상기 자화가능한 입자의 방사형 프린징 필드는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 자기 모멘트가 원형에서 방사형으로 이동되게 하여, 상기 자기 감지 소자의 상기 전기 저항의 검출가능한 변화를 초래하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 감지 장치.

## 청구항 30.

테스트 샘플내 분석물의 존재 또는 양을 결정하는 방법에 있어서,



(1)(a) 각각 물질이 원형 자기 모멘트를 층의 평면내에 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면 층을 포함하며, 이에 부착된 제1특정 결합 군의 분자들을 각각 가지는, 다수의 자기 감지 소자들, 및 (b) 각각의 자기 감지 소자의 전기 저항의 변화를 검출하기 위한 수단을 포함하는 감지 장치를 제공하는 단계;

(2) 상기 감지 장치를 분석물을 함유하고, 각각 이에 부착된 제2특정 결합 군의 분자들을 가지는 다수의 자화가능한 입자들을 포함하는 것으로 의심되는 유체 테스트 매체에 노출시키는 단계로서,

상기 제1특정 결합 군 및 제2특정 결합 군은, 상기 제1특정 결합 군 및 제2특정 결합 군이 상기 테스트 매체의 분석물의 량에 직접 또는 역 관계로 상기 자기 감지 소자들에 관련하여 상기 자화가능한 입자들이 고정되게 하기 위해, 서로와 상호 작용하거나 또는 상기 분석물과 경쟁적으로 반응하도록 선택되며,

상기 제1특정 결합군의 분자들의 위치 및 상기 자화가능한 입자들 및 자기 감지 소자들의 상대적인 크기는, 특정 자화 가능한 입자가 특정 자기 감지 소자에 대하여 고정될 때, 상기 자화 가능한 입자의 상기 방사형 프린징 필드가 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동되게 하여, 상기 자기 감지 소자의 상기 전기 저항의 검출가능한 변화를 초래하도록 선택되는, 상기 노출단계;

(3) 상기 자화가능한 입자들을 자화시키는 단계; 및

(4) 상기 자화가능한 입자들의 상기 고정에 응답하여 상기 자기 감지 소자들의 상기 전기 저항의 어떤 변화라도 검출하기 위해 각각의 자기 감지 소자의 저항을 모니터링 하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 명세서

### 기술분야

본 발명은 일반적으로 분석물의 존재를 검출하기 위해 결합 분석에 사용하기 위한 감지 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 자기 입자의 방사상 프린징 필드(radial fringing field)에 응답하는 자기 감지 소자(magnetic sensing element)를 가지는 감지 장치(sensing device)에 관한 것이다.

### 배경기술

면역분석(immunoassays) 같은, 결합 분석(binding assays), DNA 교잡(hybridization) 분석, 및 수용기-기반(receptor-based) 분석은 광범위한 표적 분자들 또는 분석물들을 위한 진단 시험으로서 의료계에서 광범위하게 사용되고 있다. 결합 분석은 표적 분자들을 특정하게 결합시키기 위해, 본문에서 "특정 결합 군들(specific binding members)"로 칭해지는 특정 분자들의 능력을 활용한다. 항체, 폴리핵산(polynucleic acids)(DNA 또는 RNA)의 스트랜드(strands) 및 분자 수용기 같은 특정 결합 군들은 폴리핵산, 효소 및 다른 단백질, 폴리머, 금속 이온, 및 독신, (illicit drug), 폭발물과 같은 저 분자량 유기종과 같은 잠재적 표적 분자들에 선택적으로 결합("인식(recognizing)")할 수 있다. 고체상 분석에 있어서, 인식 이벤트는 유체 테스트 매체의 결합 군들이 매체에 존재하는 분석물의 양과 관련하여 고정 기질에 대하여 고정되도록 한다.

통상적으로, 작은 크기의 분자들이 포함되기 때문에, 결합 분석의 인식 이벤트들이 직접 관측될 수 없다. 이런 문제는 측정 가능한 신호의 발생을 통해 이들의 존재를 지시하는, 라벨링된 결합 분자들의 사용을 통해 극복된다. 방사성, 형광성, 화학 발광성, 또는 효소 라벨들을 사용하는 다양한 형태의 결합 분석들이 고안되었다. 라벨로서 자기 입자들을 사용하는 결합 분석들이 기술되어 왔다. 다양한 수단이 자기 입자들을 검출하기 위해 기술되었다.

예를 들면, 배셀트 박사 등의, 본문에 참고로 인용되는 "Biosensor Based on Force Microscope Technology", J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 14, no.2, pp.789-793, (1996) 및 리(Lee) 등에게 허여된 미국 특허 제5,807,758호는 자기장이 인가될 때 자기 입자들을 부착함으로써 발휘되는 총 자기력을 측정하기 위해, 캔틸레버-빔 힘 변환기(cantilever-beam force transducer)를 사용하는 소위 힘 증폭 생물학 센서(FABS: Force Amplified Biological Sensor)를 기술한다.

본문에 참고로 인용되는, 로르(Rohr)에게 허여된 미국 특허 제5,445,970호 및 제5,445,971호는 자기장이 인가될 때 자기 입자들을 접착시킴으로써 발휘되는 힘을 측정하기 위해, 캔틸레버-빔 힘 변환기 보다는 오히려 미량천칭(microbalance)을 사용하는 장치를 기술하고 있다. 자기장이 인가될 때 자기 입자들을 부착함으로써 발휘되는 힘의 측정을 포함하는 분석 방법들은 로르에게 허여된 미국 특허 제5,998,224호에 기술되어 있다.

본문에 참고로 인용되는, 알. 코티즈(R. Kotitz) 등은(1996년 11월, 자력 및 자기 물질에 관한 41차 정기회의; 요약서 p73 참고) 자기 입자들이 테스트 관의 측면 상에 생물학 인식 이벤트에 의해 고정되었는지를 검출하기 위해, 초전도 양자 간섭 소자(SQUID)를 사용하는 결합 분석을 기술하고 있다.

본문에 참고로 인용되는, 배셀트에게 허여된 미국 특허 제5,981,297호는 자화된 입자들에 대한 자기장 센서의 자기저항 또는 자기 일그러짐 응답을 모니터링 함으로써 자화된 입자들을 검출하기 위한 결합 분석 방법 및 장치를 기술한다.

자화가능한 입자의 모멘트의 배향은 일반적으로 입자에 인가된 외부 자기장의 방향에 의해 규정된다. 그 자장이 자기장 센서의 평면에 수직하게 인가된다면(자기 층들의 평면내 모멘트들에 영향을 미치는 것을 회피하기 위하여), 입자로부터의 자기 프린징 필드는 입자 축상에 중심된 원형의 대칭 패턴을 나타낸다. 이런 필드는 센서의 평면내 방사형 성분들 및 센서의 평면에 수직한 성분들을 포함한다. 미국 특허 제5,981,297호에 기술된 실시예들에서, 자기저항 감지 소자들은 박막 자기 저항 스트립들의 형태로 된다. 통상적으로, 그러한 자기저항 감지 소자들은 자기장들에 대한 직선 대칭(rectilinear symmetry) 및 단축 감도(uniaxial sensitivity)을 가진다. 이런 감지 소자들은, 방사형 성분들이 아닌 자기 입자의 자기 프린징 필드의 수직 성분들에 기본적으로 응답한다. 그러므로, 검출가능한 신호를 발생시킬시의 자기 입자의 전체 유용성은 이용되지 않는다.

#### 발명의 요약

따라서, 본 발명의 목적은 부착된 자기 입자를 검출하기 위해 자기 감지 소자의 능력을 최대화시키는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 검출가능한 신호를 발생시키기 위해 센서 소자에 부착된 자화된 자기 입자에 의해 발생된 프린징 필드의 방사형 성분들을 효과적으로 사용하는 자기 감지 소자를 제공하는 것이다.

이런 그리고 다른 목적들은, 물질이 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 평면층을 가지는 자기 감지소자를 포함하는 감지 장치에 의해 달성된다. 자기 감지 소자는 그것에 부착된 제1특정 결합 균의 분자들을 가진다. 장치는 또한 자기 감지 소자가 분석 과정동안 노출되는 유체 테스트 매체를 포함한다. 유체 테스트 매체는 상기 테스트 매체내 분석물의 양과 관련하여 분석동안 고정되는 자화가능한 입자들을 포함한다. 자기 입자 및 자기 감지 소자의 상대적인 크기 및 자기 감지 소자 상의 제1특정 결합 균의 분자들의 위치는, 자기 입자가 자기 감지 소자에 관련하여 고정될 때, 자기 입자의 방사형 프린징 필드가 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동되게 하여, 자기 감지 소자의 전기 저항의 검출가능한 변화를 초래하도록 선택된다.

본 발명은, 부가적으로, 상기 장치를 사용하여 테스트 샘플내 분석물을 검출하는 방법에 관한 것이다.

본 발명의 보다 완벽한 이해는, 이하 발명의 상세한 설명 및 다른 도면들에서 동일한 도면부호가 동일한 구성 또는 요소들을 나타내는 첨부된 도면들을 참고로 용이하게 얻어질 것이다.

### **발명의 상세한 설명**

본 발명의 장치는 라벨들로서 자화가능한 입자들의 사용을 포함하는 임의 형태의 고체상 결합 분석물과 사용되도록 의도되며, 분석물의 양 및 존재는 장치의 표면에 관하여 고정되는 자화가능한 입자들의 수와 상호관련될 수 있다. 상기 상호관련(correlation)은 직접적(예를 들면, 샌드위치 분석에서와 같이)이거나 또는 간접적(예를 들면, 경쟁 분석에서와 같이)일 수 있다. 장치의 표면에 대한 자화가능한 입자들의 고정은 자화가능한 입자들상의 특정 결합 균들을 장치의 표면상의 특정 결합 균들에 직접 결합함으로써 될 수 있거나, 또는 그 자신들이 분석 분자들 같은 매개자 및 이차 항체 같은 다른 인식 분자들을 통해 될 수 있다. 공통적인 주제는 테스트 샘플내 분석물의 양 및 존재여부가 특정 결합 이벤트들에 의해 장치상에 고정되는 자화가능한 입자들의 갯수에 관련될 수 있는 것이다. 본 발명은 자화가능한 입자들이 고정되었는지의 여부를 검출하기 위한 수단을 제공한다.

본문에 사용된 바와 같이, 용어 "특정 결합 군(specific binding member)"은 화학적 또는 물리적 수단을 통해 다른 분자에 특정하게 결합시키는 분자를 칭한다. 통상적으로는, 용어 "특정 결합 군"이 항원-항체 결합 쌍들 같은 결합 쌍의 군을 칭한다. 다른 결합 쌍들은, 비오틴 및 애비딘으로 국한되지 않고, 탄수화물 및 렉틴, 상보적 뉴클레오티드 서열, 상보적 펩타이드 서열, 효과기(effector) 및 수용기 분자들, 효소 보인자(cofactors) 및 효소들, 효소 억제제 및 효소들, 펩타이드 서열 및 이 서열 또는 전체 단백질에 특정한 항체, 폴리머 산 및 염기, 염료 및 단백질 결합체, 펩타이드 및 특정 단백질 결합체(예를 들면, 리보뉴클레아제, S-펩타이드 및 리보뉴클레아제 S-단백질), 당 및 붕소 산, 및 결합 분석물에서의 이들의 결합을 허용하는 친화성을 가지는 유사한 분자들을 포함한다. 결합 군은 또한 재조합 기술 또는 분자 공학에 의해 만들어질 수 있다. 결합 군이 면역반응체(immunoreactant)라면, 예를 들면, 그것은 항체, 항원, 합텐(hapten), 또는 그것의 복합물일 수 있고, 항체가 사용된다면, 그것은 모노클로날 또는 폴리클로날 항체, 재결합 단백질 또는 항체, 키메라 항체, 혼합물(들) 또는 그 단편(들) 뿐만 아니라 항체 및 다른 결합 군들의 혼합물일 수 있다. 그러한 항체, 펩타이드 및 뉴클레오티드들의 준비 및 결합 분석물에서의 결합 군들로서의 사용을 위한 이들의 적절성에 대한 세부적인 사항은 당업자들에게 잘 공지되어 있다. 결합 군은 또한 세포, 바이러스, 또는 표면 또는 입자상에 고정되는 다른 생물학적 구성요소의 일부일 수 있다.

본문에 사용되는 바와 같이, 용어 "제1 결합 군"은 자기 감지 소자의 표면에 부착되는 결합 군을 칭하며, 용어 "제2결합 군"은 입자에 부착되는 결합 군을 칭한다. 상기된 바와 같이, 본 발명의 장치는 결합 이벤트들이 중간 분자들을 통해 발생하는 유형의 분석물들과 사용될 수 있다. 그러므로, 제1특정 결합 군 및 제2특정 결합 군이 서로 직접 결합되는 것은 "제1특정 결합 군" 및 "제2특정 결합 군"의 정의의 필요요건은 아니다.

명세서 및 이하의 청구항들을 통해, 용어 "상부(upper)", "하부(lower)", "상단(top)" 및 "하단(bottom)"은 서로에 대하여 그리고 층들이 구성되는 기관에 대하여 다양한 표면들 및 층들을 용이하게 식별하기 위한 용어들로서 사용된다. 명세서 및 이하 청구항들에 사용되는 "상부", "하부", "상단", 또는 "하단" 그 어느것도 중력장에 관해서 임의의 요소에 관한 배향을 의미하지는 않는다. 마찬가지로, 용어 "시계 방향" 및 "반시계방향"은 서로에 대한 회전 방향들을 용이하게 식별하기 위한 용어들로서 사용된다.

용어 "자기 강성 물질(magnetically hard material)" 및 "자기 연성 물질(magnetically soft material)"은 이들이 통상적으로 자기저장 장치들의 자장에 사용되는 바와 같이 본문에 사용된다. 특히, 용어 "자기 강성 물질"은 자기 연성 물질의 자기 모멘트를 재배향시키기 위해 요구되는 것 보다 상당히 큰 재배향을 위한 자기장 세기를 요구하는 자기 모멘트를 가지는 물질을 칭한다. 통상 자기 강성 또는 자기 연성 물질들로 분류된 물질들은, 일반적으로 본 발명의 이러한 목적들을 위해 유용하다. 부가적으로, 반강자성(antiferromagnetic) 층은 덮개층 강자성 층의 자기 모멘트를 고정시켜(pin), 본 명세서 및 청구항들의 의미 내에서 상기 고정된 강자성 층을 자기 강성 층에 제공한다(rendering). 더욱이, 동일한 물질들을 사용한 층들은 단지 다른 두께들을 사용함으로써 서로에 대해 상대적으로 강성 또는 연성으로 제조될 수 있다.

본문에 사용된 바와 같이, 용어 "자화가능한 입자(magnetizable particle)", "자기 입자(magnetic particle)" 및 "자화 입자(magnetized particle)"는 이미 자화된 입자 또는 자기장의 인가에 의해 용이하게 자화될 수 있는 입자를 칭하도록 교체가 가능하게 사용된다.

본문에 사용되는 바와 같이, 용어 "링" 및 "원형"은 페루프를 의미한다. 링이 바람직하게는 원형 와서 형태이지만, 페루프를 수용할 수 있는, 타원형(elliptical), 계란형(oval), 정사각형, 원통형 등의 다른 형태들도 허용된다.

본 발명의 자기 감지 소자는 물질이 층의 평면내에 원형 자기 모멘트를 가지는 초기 상태를 가지는 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 하나의 평면층을 포함한다. 본 발명의 장치의 작동에 있어서, 자화 입자가 자기 감지 소자에 고정되거나 또는 부착될 때, 자기 입자의 방사형 프린징 필드는 자기 감지 소자와 상호 작용하고 평면층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동하게 한다. 이것은 장치를 통해 전류 또는 전압의 변화로서 측정될 수 있는, 상기 소자의 전기 저항의 변화를 초래한다. 이하 기술되는 바와 같이, 이런 원리에 기반한 여러 다른 실시예들이 기술될 수 있다. 대부분의 실시예들에서, 저항의 변화는, 예를 들면, 둘다 참고로 인용되는, 프린즈에게 허여된 미국 특허 제5,477,482호(이 특허의 도18을 참고) 및 프린즈에게 허여된 미국 특허 제5,541,482호에 기술되는 스핀-밸브 효과(spin-valve effect)에 기인해 발생된다. 미국 특허 제5,541,868호는 자기 연성 물질들의 링들과 교번되는 강성 강자성 물질들의 링들의 자기 적층(stack)들을 포함하는 비휘발성 강자성 램 소자들을 기술하고 있다. 프린즈의 '868 특허에 기술된 자기 적층들이 본 발명의 자기 감지 소자로의 사용을 위해 채택될 수 있다.

통상적인 자기 감지 소자가 도1에 도시되어 있다. 자기 감지 소자(10)는, 고체 표면(60)상에 위치되는 통상적으로 강성 강자성 물질의 하단 링(20), 및 그것에 부착된 제1결합 군의 분자(50)들을 가지는 통상적으로 연성 강자성 물질의 상단 링(30)의 두 강자성 링들의 적층을 포함하고 있다. 비강자성(nonferromagnetic) 링(40)은 상단 및 하단 강자성 링들을 분할

시킨다. 링들은 한 세트의 와셔들처럼 모두 적층되고 각각의 링은 인접 링과 전기 접촉된다. 자기 감지 소자는 또한 상단 링 상부에 패시베이션(passivation) 층(도시되지 않음)을 포함하고 있다. (도면의 명료화를 위해, 자기저항의 변화를 검출하도록 하는 전기 리드들은 도시되지 않음). 본 발명은 그 구성이 제한되지 않는데, 여기에서, 강성 강자성 층은 하단 층이며 연성 강자성 층은 상단층이다. 층들의 순서는 역전될 수 있다.

센서 소자는 하나 이상의 강성 층 및 하나 이상의 연성 강자성 층을 가질 수 있다. 그러한 구성이 도2에 도시되어 있으며, 여기에서, 자기 감지 소자(100)는 비자기 전도성 또는 절연성 층들인, 비강자성 링(400)들에 의해 분리된, 강성 강자성 링(200)들 및 연성 강자성 링(300)들을 가진다. 자기 감지 소자는 상단-대부분의 층에 부착된 제1결합 군의 분자(500)들을 가진다. (자기 감지 소자는 또한 상단 링 상의 패시베이션 층(도시되지 않음)을 포함할 수 있다.) 다층의 적층(stack)들에 있어서, 강성 층들은 일반적으로 보다 연성의 강자성 층들과 교번된다. (도면의 명료화를 위해, 자기저항의 변화를 검출하도록 하는 전기 리드들은 도시되지 않았다.). 본 발명은 도시된 정확한 구성으로 제한되지 않는다. 층들의 갯수는 도시된 것 이상 또는 이하일 수 있으며, 연성 및 강성 층들의 순서는 역전될 수 있다.

본 발명의 통상적인 장치에 있어서, 자기 강성 강자성 층은 그 모멘트가 층의 중심 둘레를 시계방향 또는 반시계 방향으로 지향하는 폐자기 회로의 형태로 고정된 자기 상태를 가진다. 보다 연성의 강자성 층은 그 모멘트가 초기 또는 휴지 상태에서, 자기 연성 층 둘레를 시계방향 또는 반시계방향으로, 자기 강성 층의 자기 모멘트에 대해 평행 또는 역평행하게 지향하는 폐 자기 회로를 가진다. 하나 이상의 강성 층 및 하나 이상의 연성 층이 존재할 때, 모든 강성 층들은 서로 시계방향으로 또는 반시계방향으로 동일한 방향으로 지향된 자기 모멘트들을 가지며 모든 연성 층들은 서로, 시계방향 또는 반시계방향으로 동일한 방향으로 지향된 그들의 자기 모멘트들을 가질 것이다. 전압이 장치를 가로질러 인가될 때, 이 장치를 통한 저항은 강성 강자성 층들의 자기 모멘트들이 연성 강자성 층들에 관련하여 동일한 방향 또는 반대 방향으로 정렬되는지에 의존한다. 전류 흐름에 대한 저항은 이들의 자기 모멘트들이 동일한 방향으로 정렬되지 않은 때, 즉, 역평행(역-정렬)일 때, 보다 크다. 전류 흐름에 대한 저항은 이들의 자기 모멘트들이 본질적으로 동일한 방향(평행)으로 정렬될 때 보다 낮다. 전류 흐름에 대한 저항은 하나의 층이 원형 자기 모멘트를 가지며 다른 층이 방사형 자기 모멘트를 가질 때와 같이, 자기 모멘트들이 평행도 아니고 역평행도 아닐 때 중간 량이된다. 이하 기술되는 바와 같이, 장치의 연성 층의 자기 모멘트의 정렬은 자기 입자에 의해 발생된 방사형 자기장에 의해 영향받는다.

장치의 저항은 평면내 전류(current-in-plane:CIP) 구성 또는 평면에 수직한 전류(current-perpendicular-to-plane:CPP) 구성으로 측정될 수 있다. 도3은 전기 리드(12,14)들이 전류가 장치의 평면들에 평행한, 장치의 길이방향 축을 가로질러 지나가도록 장치(10)에 연결되는 CIP 구성을 나타낸다. (도면의 명료화를 위해, 제1결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 장치의 저항은 이후 장치의 두 측면들의 전기 단자들 사이에서의 전압 강하에 의해 결정된다. 도4는 전기 리드(16,18)들이 전류가 장치의 평면들에 수직한, 적층의 상단 및 하단 상의 단자들을 통해 지나가도록 장치(10)에 연결되는 CPP 구성을 나타낸다. (도면의 명료화를 위해, 제1결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 다시, 장치의 저항은 이후 장치의 상단 및 하단의 전기 단자들 사이에서의 전압 강하에 의해 결정된다.

본 발명의 통상적인 장치에 있어서, 자화가능한 입자들 및 자기 감지 소자의 상대적인 크기, 및 상기 자기 감지 소자 상의 제1결합 군의 위치는 자기 입자가 자기 감지 소자에 부착될 때, 자기 입자의 방사형 필드가 전기 전도성 강자성 물질의 적어도 한 층의 자기 모멘트가 원형으로부터 방사형으로 이동하도록 할 수 있게 선택된다.

통상적으로, 제1결합 군의 분자들은 자기 입자가 자기 감지 소자에 대해 결합될 때, 강자성 층의 원형 자기 모멘트들의 중심들과 동축이되는 영역에서 그렇게 되도록 자기 감지 소자의 상단 중심 영역에 위치된다. 이것은 입자의 방사형 프린징 필드가 모든 방향으로 전기 전도성 강자성 물질의 층들과 상호 작용하도록 한다.

도5는 "샌드위치 분석법(sandwich assay)"으로 공지된 통상적인 결합 분석 동안의 자기 감지 장치를 나타내는 사시도이다. 분석물 분자(90)는 제1결합 군의 분자(50)들을 통해 자기 감지 장치(10)의 상단에 결합된다. 제2결합 군의 분자(80)들로 코팅되는 자기 입자(70)는 입자가 자기 감지 장치에 관하여 중심 위치에 고정되도록 분석물에 결합된다. (이런 경우에, 제1결합 군 및 제2결합 군들은 분석물에 대한 항체들이다.) 제1결합 군의 분자(50)들은 이들이 모든 측면으로부터의 분석물을 결합시키도록 자기 감지 소자의 상단 중심부 둘레에 위치되기 때문에, 자기 입자가 층의 평면에 수직하고 원형 자기 모멘트의 중심을 통과하는 Y축을 따라 근사하게 한점에서 고정된다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들은 도시되지 않았다.)

자기 입자가 이런 센서들의 자기 구성에 어떻게 영향을 미치는지의 상세한 설명이 이하 이어진다. 도6은 반시계방향의 원형 자기 모멘트(화살표 A로 도시)를 가지는 강성 자기 물질의 하단 층(20), 비강자성 물질의 중간 층(40) 및 시계방향의 원형 자기 모멘트(화살표 B로 도시)를 가지는 연성 자기 물질의 상단 층(30)으로 구성된 통상적인 3-층 장치의 분해 사시도이다. (강성 및 연성 층들의 상대적인 위치는 상단 층으로서의 강성층 및 하단 층으로서의 연성 층을 가지고 역전될 수 있

다.) (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 층들의 자기 모멘트들의 정렬이 역-평행이기 때문에, 그러한 장치는 상대적으로 높은 전기 저항을 가진다. 도7은 연성 층의 자기 모멘트가 어떻게 장치 상의 자기 입자의 고정에 의해 영향을 받는지를 나타낸다. 자기 감지 소자(10)는 연성 층(30), 비강자성 층(40) 및 강성 층(20)에 의해 표시된다. 입자(70)의 자기 프린징 필드는 수직 성분(화살표 C로 도시) 및 방사형 성분(화살표 D로 도시)을 가진다. 방사형 필드는 연성 층(30)과 상호작용하여, 이런 층의 자기 모멘트(화살표 E로 도시)가 방사형이 되도록 하지만, 강성 층(20)은 영향받지 않도록 한다. 결과적으로, 층들은 더 이상 역 평행하지 않으며 장치의 전기 저항은 하강된다. 초기 구성에서, 강성 층 및 연성 층이 자기 모멘트들의 평행 정렬을 가지면, 연성 층의 원형으로부터 방사형으로의 자기 모멘트의 이동의 효과는 장치를 통해 전기 저항을 증가시킬 것이다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.)

이하 고려들은 자기 감지 소자의 치수들을 선택하는데 고려될 수 있다: 균일하게 자화된 구체(sphere)는 다음으로 주어진 순수 쌍극성 자기장을 나타낸다:

(1)

여기에서,  $m$ 은 자화된 구체의 자기 모멘트이고  $r$ 은 구체의 중심으로부터의 거리이다. 자기 감지 소자의 연성 자기 층의 자기 모멘트들을 정렬하기 위해 사용된 자기장은 장치의 평면내에서 방사형으로 지향된다. 이하 식들에 사용된 관련 기하형태가, 자기 감지 소자(10)상에 고정된 반경의 자기 입자(70)를 나타내는 단면도인 도8에 도시되어 있다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 입자의 자기 모멘트( $m$ )는  $z$ 를 따라 지향된다. 자기장의 방사상 성분은

$$B_{\rho} = \frac{3mz\rho}{r^5} \quad (2)$$

여기에서

$$r = \sqrt{z^2 + \rho^2} \quad (3)$$

$B$ 의 최대 성분은 모멘트에 수직인 평면에 원으로 될 것이다.

$$\rho_{\max} = \frac{z}{2} \quad (4)$$

반경  $a$ 를 갖는 비드(bead)에 대해, 비드에 대해 접하는 평면내 최대 필드는  $=a/2$ 일 것이다. 일반적으로 가장 효과적인 구성은 약  $z/2$ 의 평균 반경을 가진 환형 링 센서에 대한 것으로, 여기에서,  $z$ 는 비드의 반경에 비드가 센서로부터 갖는 임의의 "스탠드오프(standoff)" 거리를 더하여 결정된다. 이런 스탠드오프 거리는 센서를 덮을 수 있는 임의의 패시베이션 층들에 기인한다. 예를 들면, 비드의 반경이  $a$ 이고 패시베이션 층의 두께가  $t$ 라면, 센서의 최적의 평균 반경은,

(5)

이상적으로, 링의 내부 및 외부 반경들은 가능한 평균 반경에 근접할 것이다. 그러나, 링은 유한한 폭을 필요로 하며, 그러므로, 특정한 폭은 자기장이 최대 값의 약 80% 내에 있도록 소정의 값으로 설계될 것이다. 이들의 치수에 대한 세부항목은 자기 입자 물질의 기능 및 크기, 스탠드오프 거리, 및 자기 및 비자기 물질들 및 센서의 층 두께들일 것이다. 도9는 방사상 거리  $\rho$ 의 함수로서 스탠드오프 거리  $z$ (비드(bead) 반경의 단위로서) 상에  $B_{\rho}$ 의 종속성을 나타내는 그래프이다.

본문에 기술된 본 발명의 실시예들은, 자기 감지 소자의 다양한 층들이 방사상 프린징 필드의 존재에 반응하는 방식 및 자기 저항의 변화가 검출되는 방식으로, 갯수 및 자기 층들의 형태에서 변동된다. 각각의 실시예에서, 실시예들은 기존의 리소그래픽 기술을 사용하여 용이하게 구성될 수 있다.

이미 상기되었고 도1,2,6 및 7에 도시된, 제1실시예는 연성 층 또는 층들의 모멘트를 원주형 배향으로부터 방사형 배향으로 회전시키기 위해 방사형 자기장을 사용하는 자이언트 자기저항(GMR) 장치이다. 이 실시예는 고정되는 자기 모멘트를 가지는 강성 층 또는 층들을 포함한다. 이런 소자의 저항은 강성 및 연성 층들의 최초 배향이 최초에 평행 또는 역평행이었는지에 따라 증가 또는 감소한다. 이후 자기 입자의 효과는 낮거나 높은 저항 상태(평행 또는 역평행)로부터 중간 저항의 상태로- 강성과 연성 층 모멘트들 사이의 90°배향- 감지 소자의 상태를 변화시키는 것이다. 이런 실시예는 "반-가위(half-scissors)" 모드로 칭해진다. 이 실시예는 고정된 자기 입자를 가지지 않는 그리고 가지는 자기 감지 소자(10)의 단면도인 도10a 및 10b에 더 도시되어 있다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되어 있지 않다). 도면에서, ×는 페이지속으로 가리키는 원형자기 모멘트의 부분을 나타내고, ⊙는 페이지로부터 외부로 가리키는 원형 자기 모멘트의 부분을 나타낸다. 도10a에 도시된 바와 같이, 고정된 입자가 없을 경우에, 연성 층(30)의 자기 모멘트 A는 시계방향이고 강성 층(20)의 자기 모멘트 B는 반시계방향이다. 도10b에 도시된 바와 같이, 수직 성분 C 및 방사형 성분 D를 갖는 자기 프린징 필드를 가지는 고정된 입자(70)가 존재하는 경우에, 연성 층(30)의 자기 모멘트가 화살표 E로 표시되는 바와 같이 방사형이 된다. 저항의 측정을 위해, 이런 실시예는 평면-내-전류(CIP) 구성이거나 또는 평면에-수직인-전류(CPP) 구성을 가질 수 있다. 이런 실시예에서, 교번 층들의 초기 상태는 역-평행(도시되어 있는 바와 같이) 또는 평행일 수 있다. 층들은, 본문에 참고로 인용되는 S.S.P. 파킨(Parkin)의 Physical Review Letters 67, 3598(1991), "Systematic Variation of the Strength and Oscillation Period of Indirect Magnetic Exchange Coupling through the 3d, 4d, and 5d Transition Metals"에 기술된 바와 같이, 교체 커플링 방식으로 자기 층들을 교번시키는 안티-강자성 커플에 대한 전도성 스페이서 층의 두께를 선택함으로써 역평행되도록 만들어질 수 있다. 그러나, 어떤 의미에서, 초기 상태는 이런 실시예가 연성층만의 회전에서 기인된 저항의 순 변화(net change)에 의존하기 때문에 임의적이다. 부가적으로, 일부 또는 모든 강자성 층들의 환형 배향은 링과 동축인 보조 전류-전송(current-carrying) 와이어를 사용하여 제어 또는 설정될 수 있다. 도11은 장치의 링들과 동축인 보조 전류-전송 와이어(19)를 가지는 본 발명의 장치를 나타낸다. 그러한 와이어는 장치의 중심부를 통과하고 강자성 링들로부터 전기적으로 절연된다. 이런 와이어내 전류는 원주(circumferential) 자기장을 발생시킨다.(도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 유사한 구성이 상기된, 프린츠의 '868에 기술되어 있다. 변형적으로, 보조 전류는 프린츠의 '898에 기술된 바와 같이, 층들에 수직인, 적층된 층들을 통해 직접 통과될 수 있다.

또한, 제2실시예, 자이언트 자기저항(GMR) 장치(device)는, 링 적층을 통과하는 전류가 연성층 자화가 역전되도록 하는 프린츠 '868에 기술된 추가적인 효과를 갖는 상기 구조체를 사용한다. 역전 유도된 이런 전류와 결합된 자기 입자의 방사형 자기장은 전류 또는 입자 필드에 의해 임계치가 설정되도록 허용하거나 또는 임계치가 입자 필드 또는 전류에 의해 교차되도록 허용한다. 입자로부터의 자기장의 효과는 연성 층 모멘트가 방사형 배향에 대해 회전되도록 한다. 링, 동축 전류 리드(상기 참고) 또는 이들의 복합체를 통해 전송된 전류는 이후 최초 배향에 대해 연성 층(들)에서 모멘트들을 역회전시킬 것이다. 추가적인 "상승(boost)"을 제공하는 현재의 비드를 가지고, 소자는 고 또는 저 상태로 "래치"하도록 된다. 이런 실시예는 또한 평면-내-전류(CIP;current-in-plane) 구성 또는 평면에 수직인-전류(CPP;current-perpendicular to plane) 구성을 가질 수 있다.

제3실시예, 자이언트 자기저항(GMR) 장치는 동일한 또는 거의 동일한 보자성(coercivities)(예를 들면, 2개 이상의 자기 연성 층들 같은)을 가지는 2개 이상의 자기 층들을 포함하며, 상기 층들은 비-자기 전도성 스페이서들에 의해 분리된다. 스페이서 두께의 적절한 선택을 통해, 교번 자기 층들은 S.S.P. 파킨(Parkin)의 Physical Review Letters 67, 3598 (1991), "Systematic Variation of the Strength and Oscillation Period of Indirect Magnetic Exchange Coupling through the 3d, 4d, and 5d Transition Metals"에 기술된 바와 같이, 교체 커플링 방식으로 역-배열(anti-align)되도록 만들어져, 장치가 그것의 높은 저항 상태에 있도록 한다. 고정된 자기 입자가 존재하는 경우에, 모든 강자성 층들의 자기 모멘트들이 방사형 배향으로 이동하고 장치를 통해 저항이 하강한다. 모든 층들의 모멘트들이 역평행으로부터 이동하기 때문에, 이런 실시예는 "가위 모드(scissors mode)"로 칭해진다. 이런 실시예의 작동이 고정된 자기 입자(70)를 가지지 않는 그리고 가진 자기 감지 소자(120)의 단면도인 도12a 및 12b에 더 도시되어 있다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들 및 제1결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 도면들에서, ×는 페이지속으로 가리키는 원형 자기 모멘트의 부분을 나타내고, ⊙는 페이지로부터 외부로 가리키는 원형 자기 모멘트의 부분을 나타낸다. 도12a에 도시된 바와 같이, 고정된 입자가 없을 경우에, 상단 연성 층(320)의 자기 모멘트 F는 시계방향이고 하단 연성 층(220)의 자기 모멘트 G는 반시계방향이다. 도12b에 도시된 바와 같이, 수직 성분 C 및 방사상 성분 D를 갖는 자기 프린징 필드를 가지는 고정된 입자(70)가 존재하는 경우에, 상단 연성 층(320) 및 하단 연성층(220) 모두의 자기 모멘트가 화살표 H 및 J로 표시되는 바와 같이, 방사형이 된다. 자기 모멘트들이 역-평행으로부터 평행으로 이동될 때, 저항은 감소된다. 저항의 측정을 위해, 이런 실시예는 평면-내-전류(CIP) 구성 또는 평면에 수직인-전류(CPP) 구성을 가질 수 있다.

도13에 기술된 제4실시예는, 비자기 절연체(430)에 의해 분리된, 두개의 강자성 층들, 하나의 강성 층(230) 및 하나의 연성 층(330)을 포함하는 자기 터널 접합(MTJ;magnetic tunnel junction) 장치이다. (기본적으로, 비강자성 층이 컨덕터 대신에 절연체인 것을 제외하고 그것은 제1실시예와 동일한 구조체이다. 또한, 제1실시예에서와 같이, 강성 및 연성 층들의 상대적인 위치는 반전될 수 있다.) 도전성 리드(160,180)들이 강자성 층들의 자기 모멘트들에 수직인, 강자성 층들을 관통하도록 전류를 제공한다. (도면의 명료화를 위해, 제1 결합 군의 분자들 및 제2결합 군의 분자들은 도시되지 않았다.) 이런 실시예는 제1실시예에서와 같은 "반-가위(half-scissors)" 모드를 사용한다. 그러나, 자기 터널 접합은 일반적으로 GMR 구조체에 비교되는, 보다 큰 저항 변화를 제공한다.

또한 제5실시예인, 제4실시예와 같은 자기 터널 접합(MTJ) 장치는 제2실시예에서와 같이 장치를 "래치"하기 위해 전류를 사용한다. 원칙적으로, "스위칭" 전류가 층들의 자화를 역회전시키기 위해 링 아래로 전송될 수 있다. 실질적으로 말하자면, 이것을 위해 필요한 큰 전류는 아마도 터널 접합을 손상시킬 것이다. 보다 바람직한 것은 이런 목적을 위해 동축의 보조 전류 리드(lead)를 사용해야 할 것이다.

제6실시예인, 이방성 자기저항(AMR;anisotropic magnetoresistive) 장치는, 하나 이상의 강자성 층들 및 원주 평면-내-전류(CCP) 배향의 감지 소자를 통해 전류를 지향시키는 전류 리드들을 포함한다. 자기 입자로부터의 섭동(perturbing) 필드가 없다면, 강자성 층들의 자화는 전류에 대해 평행 또는 역평행이다. 자기 입자의 프린징 필드의 방사형 성분은 강자성 층들의 모멘트들이 방사형으로 정렬되게하고 전류 흐름에 수직하게 된다. 이것은 감지 전류와 물질의 내부 자화 사이의 각도의 함수로서 자기 저항의 관측가능한 차이를 초래한다. 저항 비  $\Delta R/R$ 은 이하와 같이 변동된다.

$$\frac{\Delta R}{R_o} = \alpha \cos^2 \Phi \quad (6)$$

여기에서,  $\Phi$ 는 전류와 자화 사이의 각도이며  $\alpha$ 는 물질에 따라  $\pm 0.04$  사이의 범위인 AMR 계수이다. 저항은 AMR계수의 부호에 의존하여, 물질의 내부 자화와 감지 전류 사이의 각도가 변화함에 따라, 증가 또는 감소할 수 있다. 이런 실시예에 따라 평면-내-전류 자기 감지 소자로부터 달성가능한 신호가 이하와 같이 예측될 수 있다: 링 디바이스의 저항은 이하와 같이 주어진다:

$$R = \frac{2\pi}{t \ln(r_o/r_i) \sigma} \quad (7)$$

여기에서,  $\sigma$ 는 전기 전도율이고,  $r_i$  및  $r_o$ 는 각각 링의 내경 및 외경이며,  $t$ 는 링의 두께이다. 두께  $t=250\text{\AA}$  및  $r_o/r_i=1.5$ 를 갖는 퍼멀로이 링에 대해, 저항은 약  $3k\Omega$ 일 것이다. 그러므로, 1.5% AMR에 대해, 자기 입자로부터의 저항  $\Delta R$ 의 변화는 거의  $50\Omega$ 일 것이다. GMR-기반 평면-내-전류 장치는 동일한 순차의 저항을 갖지만 10% 또는 그 이상 높은  $\Delta R/R$ 을 가질 것으로 예상된다.

도14a 및 14b는 상기된 바와 같이, 고정된 자기 입자를 가지지 않은 그리고 가진 AMR-기반 장치의 사시도이다. (도면의 명료화를 위해, 제1결합 군 분자들 및 입자) 자기 감지 소자는 링을 통해 전류  $I$ 를 지향시키는 전류 리드(112,114)들을 가지는 강자성 링(140)을 포함한다. 고정된 입자가 없을 경우, 강자성 링은, 화살표  $K$ 로 도시되는, 원형 자기 모멘트를 가진다. 자기 모멘트는 전류의 흐름에 대해 평행하거나 또는 역평행하다. 고정된 자기 입자가 존재하는 경우, 화살표  $J$ 로 도시되는 자기 모멘트는 전류 흐름에 대해 수직하고 방사형이 된다. 저항의 측정 가능한 변화는 상기된 바와 같이, 이에 의해 생성된다.

상기된 바와 같은, 감지 장치들 및 자기 감지 소자들은 통상적인 리소그래피를 포함하는, 공지된 물질 증착의 방법에 의해 용이하게 제조될 수 있다. 결합 군들은 분자들을 표면들 및 입자들에 부착하는 통상적인 방법들에 의해 자기 감지 소자 및 자화가능한 입자들에 부착될 수 있다.

자기 감지 소자들의 재료들 및 치수들은 통상적으로 프린즈 '868에 기술되는 바와 같을 수 있다. 특히, 강자성 링들은 바람직하게는 약  $10\text{\AA}$  내지 약  $100\text{\AA}$ 의 두께를 가진다. 바람직하게는, 비자기 전도성 층들 및 링들은 약  $10\text{\AA}$  내지 약  $100\text{\AA}$ 의 두께를 가진다.



통상적으로, 강자성 링들은 Fe, Co 또는 Ni이다. 통상적으로, 강성 강자성 물질은 본문에 참고로 인용되는, 쿤(Koon)에게 허여된 미국 특허 제4,402,770호에 기술된 합금들로부터 선택된다. 통상적으로, 연성 자기 물질은 본문에 참고로 인용되는, 쿤(Koon)에게 허여된 미국 특허 제4,402,043호에 기술된 합금들로부터 선택된다. 통상적으로, 고정된 자기 상태를 가지는 강자성 링들은 역강자성적으로(antiferromagnetically) 고정된다(pinned). 통상적으로, 강성 또는 역강자성-고정된 강자성 링은 적어도 100 Oe의 보자력 필드를 가지며 연성 강자성 링은 100 Oe 이하의 보자력 필드를 가진다.

통상적으로, 역강자성 피닝(pinning) 층은 산화철과 같은 금속 산화물을 포함한다. 통상적으로, 역강자성 피닝 층은 FeMn 같은, Cr 또는 Mn의 합금들 같은, Cr 또는 Mn을 포함하고 있다. 바람직하게는, 강자성 링들(특히 연성 강자성 링들)은 그들의 자기 모멘트들의 완전한 축(easy axis)이 링들에 대하여 시계방향 또는 반시계방향이 되게 지향되도록 폴드(poled)된다.

통상적으로, 비강자성 층은 Cu, Au, Pt, 또는 Ag를 포함한다.

본 발명의 실시예에 적합한 자기 또는 자화가능한 입자들은 통상적으로 베셀트(Baselt)에게 허여된 미국 특허 제5,981,297호에 개시되어 있다. 특히, 입자들은 비드들, 또는 나노미터 크기의 산화철 미세결정(crystallites), 나노미터 크기의 산화철 미세결정이 침투된 폴리머, 또는 산화철 미세결정이 충전된 다공질 유리로 제조된 다른 입자들일 수 있다. 그러한 입자들은 통상적으로 분자 생물학에서 자기 분리를 위해 사용되며, 뉴욕, 레이크 석세스의, 다이날, 인코포레이티드(Dynal, Inc.); 인디애나, 카멜의 뱅스 라보라토리스, 인코포레이티드; 뉴저지, 링컨 파크의 씨피지, 인코포레이티드; 및 매사추세츠 파밍햄의 퍼셉티브 바이오시스템즈에 의해 제조된다. 결합 분석에 유용한 통상적인 자화가능한 입자들은 약 0.8 $\mu$ m 내지 약 3 $\mu$ m의 크기 범위이다. 이런 입자들은 스트랩타비딘, 항체, 또는 DNA 같은 분자들을 고정시키기 위해 사용될 수 있는 표면 기능 그룹들로 얻어질 수 있다. 필수적으로 상자성(paramagnetic) 방식으로 동작하고; 즉, 이들의 자화는 외부 자기장의 함수이고, 필드가 제거될 때, 입자들의 자화는 0으로 가라앉는다. 이런 "완화(relaxation)"는 즉각 발생하지 않지만, 마이크로초 또는 밀리초로 통상 측정되는 주기 이상으로 발생한다. 강성 강자성 물질들(NdFeB), 연성 강자성 물질들(철 같은), 페리자성(ferrimagnetic) 물질들(미크론-크기의 산화철 또는 페라이트 입자들 같은)로 제조된 입자들은 자기 라벨들로 사용될 수 있다. 다른 것들 사이에서, 자기 물질의 이들의 보다 큰 총 체적 때문에, 이런 3가지 유형의 물질들은 상기 물질들 보다 실질적으로 큰 자기 모멘트로 자화될 수 있다. 그러나, 강성 강자성 물질들은 또한 외부 자기장이 존재하지 않는 경우에 이들의 자력을 보유한다. 구형의 연성 강자성 및 페리자성 물질은 자기장이 존재하지 않는 경우에, 자발적으로 탈자화될(demagnetize) 것이다. 이런 입자들은, 자화된 입자들이 집합하여, 분석에서의 사용을 보다 어렵게 만드는 경향 때문에, 영구적으로 자화된 입자들을 통해 본 발명의 실시를 위해 바람직하다.

도15에 도시된 바와 같이, 본 발명의 통상적인 분석 장치는 고체 표면(60)상의 자기 감지 소자(10)들의 어레이를 포함하고 있다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들은 도시되지 않았다.) 현대의 마이크로제조 기술들을 사용하여, 수천 또는 수백만 자기 감지 소자들을 가지는 분석 장치들이 구성될 수 있다. 도15에 도시된 바와 같이, 각각의 자기 감지 소자는 소자의 상단 중심부에 부착된 제1 결합 군(15)의 분자들을 가진다.

그러나, 수천 또는 수백만 자기 감지 소자들의 어레이를 구성하기 위해, 정밀하게 위치된 제1결합 군의 분자들을 가지는 그 각각은 엄청나게 비싸질 수 있다. 도16은 제1결합 군(50)의 분자들이 자기 감지 소자(10)들을 포함하는 고체 표면(60)의 전체 면적 이상으로 무작위로 패턴닝되는 변형 구성을 도시한다. (도면의 명료화를 위해, 전기 리드들은 도시되지 않았다.) 무작위 패턴닝의 결과로서, 일부 자기 감지 소자들은 유용한 위치 및 방향으로 부착된 제1 결합 군의 분자들을 가질 것이고 일부는 아닐 것이다. 자기 입자들의 검출은 통계적 기초상에 결정될 수 있다. 이런 센서들의 큰 패킹 밀도는 표면의 큰 충전 인자(약 50%)를 허용하며, 그것은 대략 다수의 자기 감지 소자들의 중심에 부착되는 비드들의 상당한량을 산출한다. 그러한 구현은 링 센서들이 센서 비드들을 벗어난 것들에 비감지되기 때문에, 센서들 상의 비드들과 센서들 외부의 비드들 사이에서의 큰 식별의 부가 혜택을 가진다.

명백하게, 본 발명의 다수의 수정들 및 변형들은 상기의 교시들의 관점에서 가능하다. 그러므로 첨부된 청구항들의 범위내에서, 본 발명은 특별히 기술된 것 이외에 달리 시행될 수도 있다.

### 도면의 간단한 설명

도1은 하나의 연성 강자성 층, 하나의 비강자성 층 및 하나의 강성 강자성 층을 가지는 본 발명의 자기 감지 소자의 실시예를 나타내는 사시도이다.



도2는 하나 이상의 연성 강자성 층, 하나 이상의 강성 강자성 층 및 하나 이상의 비강자성 층을 가지는 본 발명의 자기 감지 소자의 실시예를 나타내는 사시도이다.

도3은 평면-내-전류(CIP) 구성에 전류 리드들을 가지는 실시예의 자기 감지 소자를 나타내는 사시도이다.

도4는 평면에-수직한-전류(CPP) 구성에 전류 리드들을 가지는 실시예의 자기 감지 소자를 나타내는 사시도이다.

도5는 통상적인 결합 분석 동안 자기 감지 장치를 나타내는 사시도이다.

도6은 각각의 층들의 자기 모멘트들을 도시하는 통상적인 3-층 소자의 분해 사시도이다.

도7은 통상적인 자기 감지 소자의 자화가 장치 상의 자기 입자의 고정에 의해 어떻게 영향을 받는지를 나타낸다.

도8은 자기 감지 소자 상에 고정된 자기 입자를 나타내는 측단면도이다.

도9는 자기 감지 소자상에 고정된 자기 입자의 중첩된 측 단면도 및 방사형 거리  $\rho$ 의 함수로서 스탠드오프 거리  $z$ (비드 반경의 유니트들내) 상의  $B \rho$ 의 종속성을 나타내는 그래프이다.

도10a 및 10b는 고정된 자기 입자를 가지지 않은 그리고 가진, 제1실시예의 자기 감지 소자의 측 단면도이다.

도11은 보조 전류 전송 와이어를 갖는 자기 감지 소자의 사시도이다.

도12a 및 12b는 고정된 자기 입자를 가지지 않은 그리고 가진, 제3실시예의 자기 감지 소자의 측 단면도이다.

도13은 제4 실시예의 자기 감지 소자를 나타내는 사시도이다.

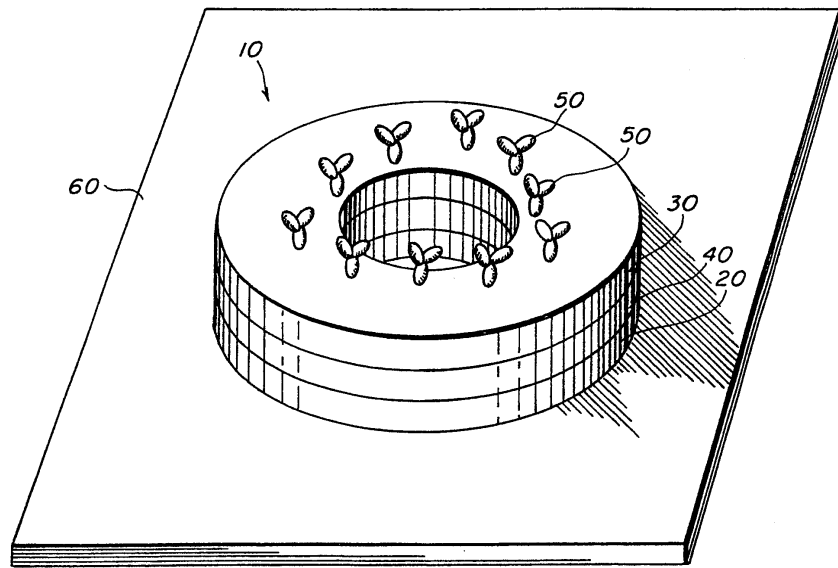
도14a 및 14b는 고정된 자기 입자를 가지지 않은 그리고 가진, 제6실시예의 자기 감지 소자를 나타내는 측 단면도이다.

도15는, 각각의 감지 소자가 제1결합 균을 가지고 패터닝되는 자기 감지 소자들의 어레이를 가지는 감지 장치의 실시예를 나타내는 사시도이다.

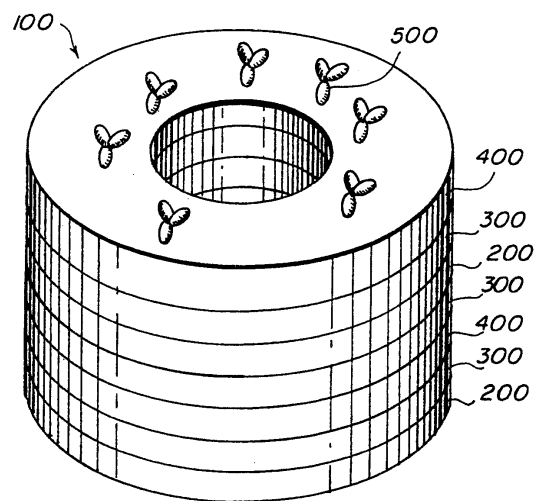
도16은 전체 어레이가 제1결합 균을 가지고 무작위로 패터닝되는 자기 감지 소자의 어레이를 가지는 감지 장치의 실시예를 나타내는 사시도이다.

도면

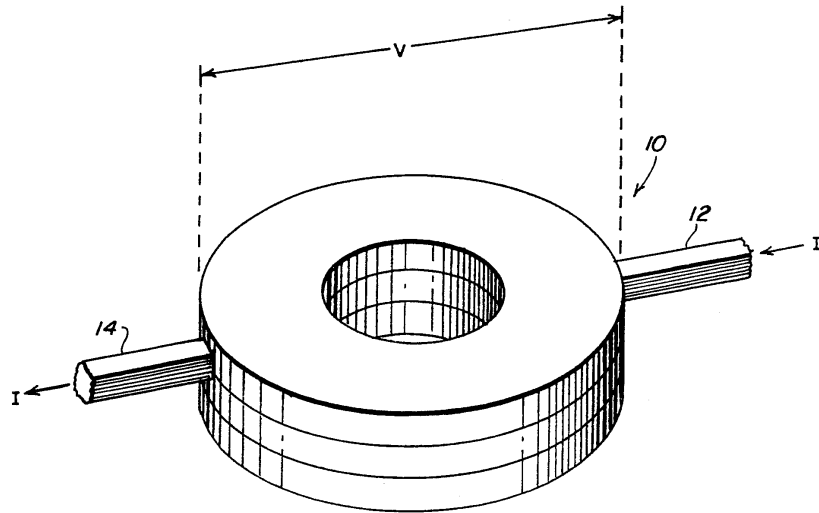
도면1



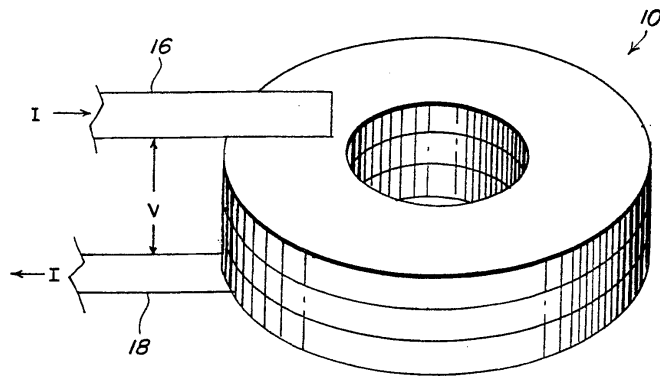
도면2



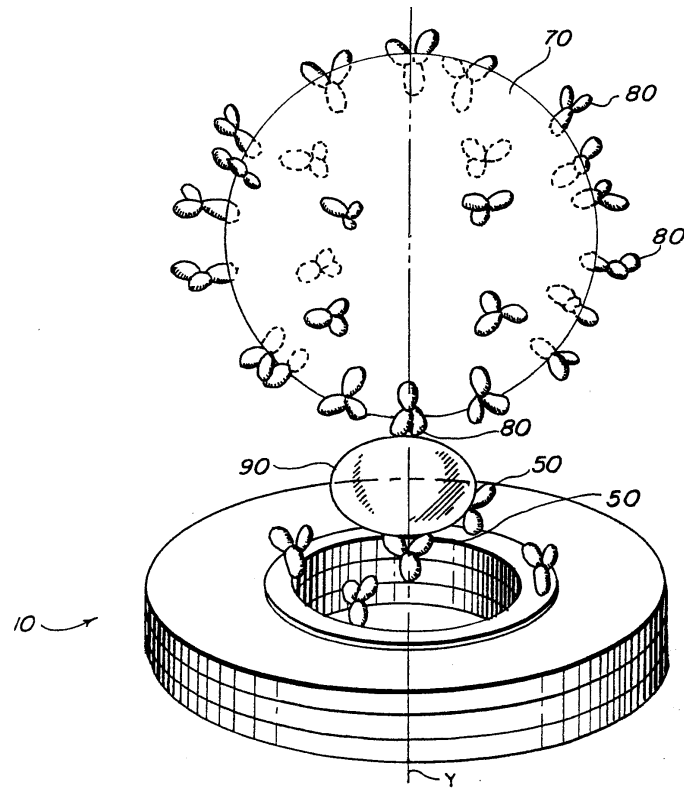
도면3



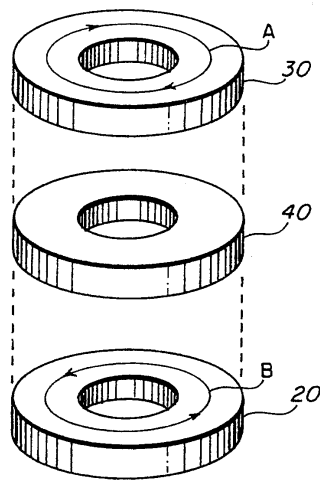
도면4



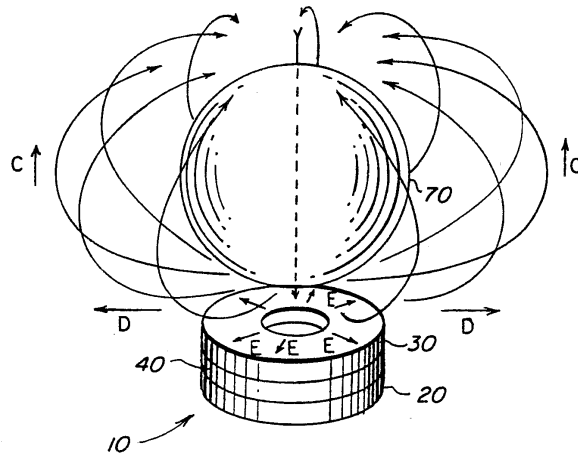
도면5



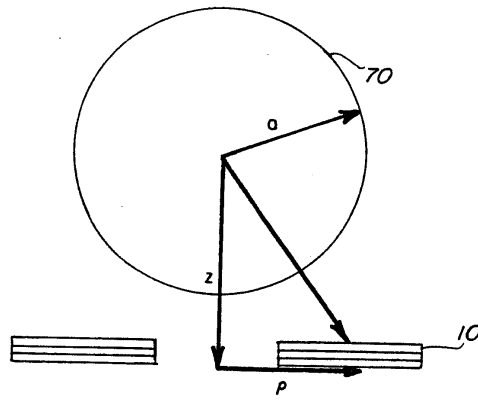
도면6



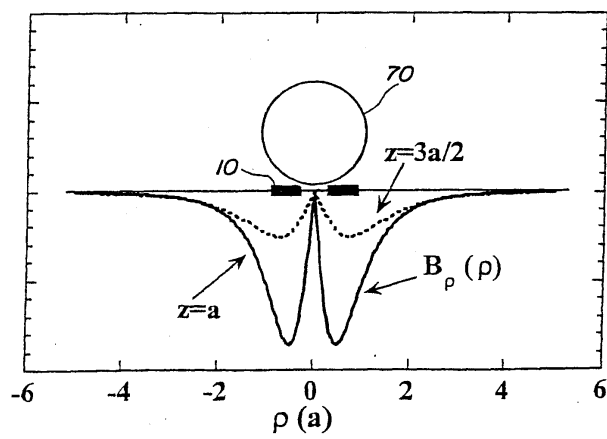
도면7



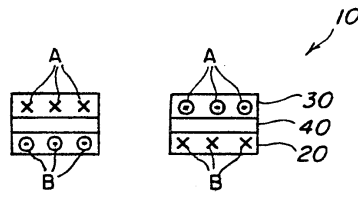
도면8



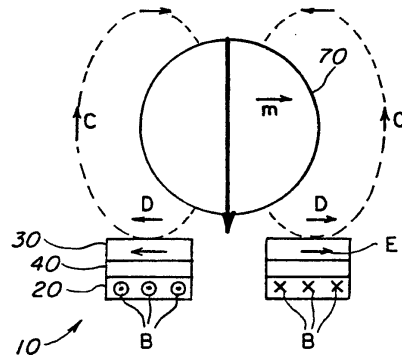
도면9



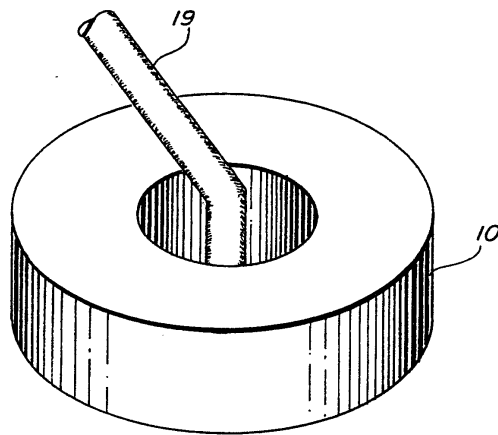
도면10a



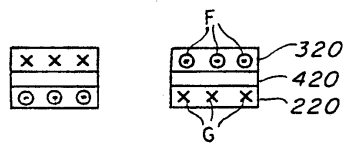
도면10b



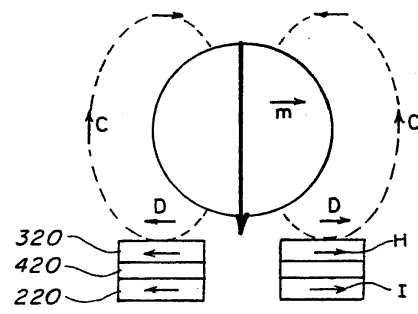
도면11



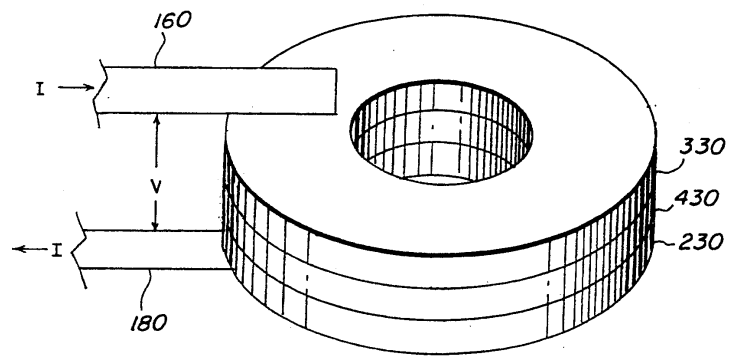
도면12a



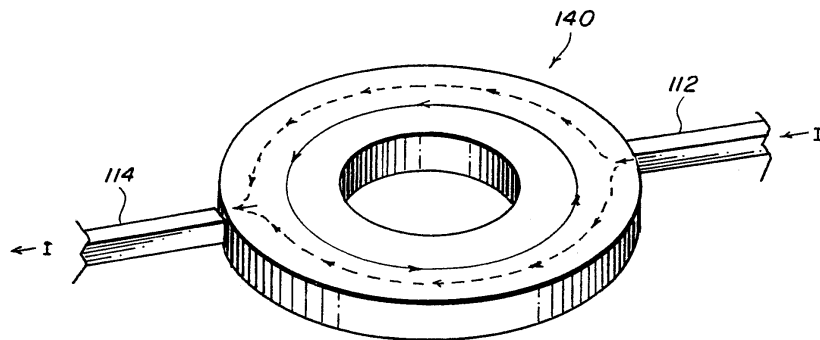
도면12b



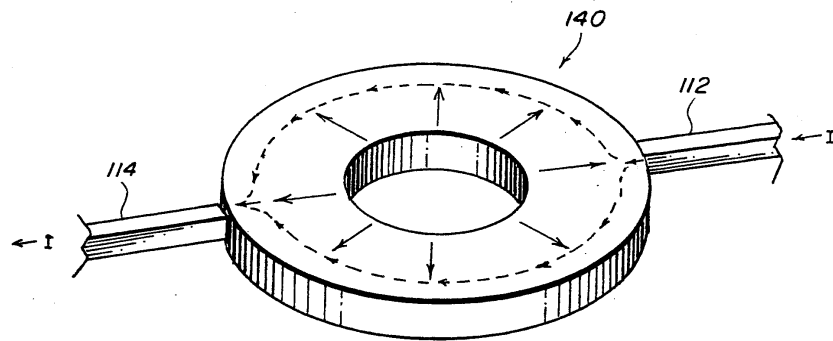
도면13



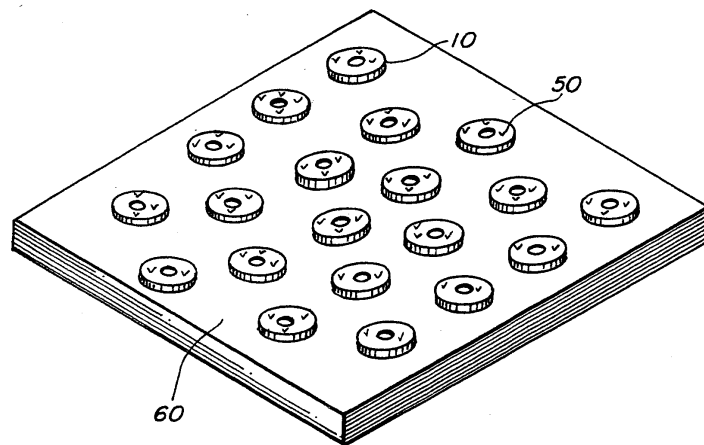
도면14a



도면14b



도면15



도면16

