



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월06일
(11) 등록번호 10-2052384
(24) 등록일자 2019년11월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 33/12 (2006.01) G01R 19/165 (2006.01)
G01R 33/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01R 33/1269 (2013.01)
G01R 19/165 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7004027
- (22) 출원일자(국제) 2013년07월12일
심사청구일자 2018년06월12일
- (85) 번역문제출일자 2015년02월13일
- (65) 공개번호 10-2015-0083072
- (43) 공개일자 2015년07월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2013/064775
- (87) 국제공개번호 WO 2014/009516
국제공개일자 2014년01월16일
- (30) 우선권주장
12305852.1 2012년07월13일
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2007500347 A
JP2009531706 A

- (73) 특허권자
유니베르시테 드 몽펠리에
프랑스 34090 몽펠리에 튀 어거스트 브로우소네트 163
쎄프레 나티오날 데 라 르세르쉬 생띠끄 (씨. 엔. 알. 에스)
프랑스 75794 파리 세텍스 16 튀 미셸 엔지 3-5
- (72) 발명자
테르키 페리알
프랑스 에프-34270 르 트리아도우 슈망 드 라 베즈리 1
보우스세크소우 아즈제디네
프랑스 에프-31100 툴루즈 튀 두 메데신 코로넬 칼바이락 8
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
정홍식, 김태현

전체 청구항 수 : 총 23 항

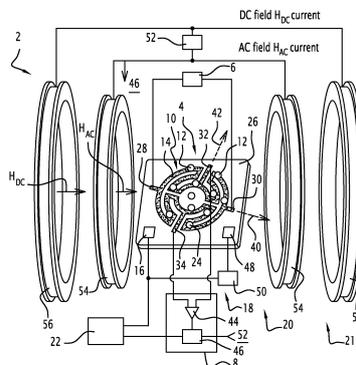
심사관 : 오용균

(54) 발명의 명칭 미세 자기 측정 검출 시스템 및 자성 재료들의 자기 시그니처를 검출하기 위한 방법

(57) 요약

매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 시스템은 휘스톤 브리지 전기 구성을 이용하는 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(4), 제 1 전류 소스(6), 제 1 전압 측정 장치(8), 제 1 자기 센서(4) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트, 상기 제 1 자기 센서(4) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트 및 적어도 하나의 침착된 자성 입자(12)의 존재를 나타내는 자속 시프트를 상이한 측정된 차동 전압들의 세트로부터 검출하기 위한 처리 유닛(22)을 포함한다. 미세 자기 측정 시스템은 10 Hz 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발진하는 교류 자계를 각각의 부동 자성 입자(12)에 의해 생성시키기 위해 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01R 33/02 (2013.01)

(72) 발명자

트란 쿠앙 홍

덴마크 디케이-2800 링비 브레데보베제이 37 5층

카마라 소우레이마네

프랑스 에프-34090 몽펠리에 에이피피4 알리 드 본
아큐에일 27

김철기

대전광역시 유성구 노은로 416 509동 203호 (하기
동, 송림마을아파트)

김건우

대전광역시 유성구 궁동로 66 302호 (궁동)

간디트 필리프

프랑스 에프-38250 생-니지 두 모우슈로페 슈망 두
테브제 292

명세서

청구범위

청구항 1

나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 시스템으로서,

기판(26) 위에 침착된 페루프형상을 갖는 자기 트랙(24)을 구비하는 활성면(14), 자성 재료로 만들어지는 상기 자기 트랙(24)과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자(28) 및 제 2 전류 단자(30), 상기 자기 트랙(24)과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압(Vb)이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자(32) 및 제 2 전압 단자(34), 상기 자기 트랙(24)의 교환 바이어스 필드 방향과 평행하고 상기 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선(42)에 수직인, 상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30)을 통과하는 제 1 축선(40)을 가지는 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(4);

전류(I)를 주입하기 위해 상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30) 사이에 접속되는 제 1 전류 또는 전압 소스(6);

상기 한 쌍의 전압 단자들(32, 34) 간의 상기 차동 전압(Vb)을 측정하기 위해 상기 제 1 및 제 2 전압 단자들(32, 34) 사이에 접속되는 제 1 전압 측정 장치(8);

상기 제 1 자기 센서(4)의 상기 활성면(14) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트; 및

적어도 하나의 침착된 자성 입자(12)의 존재를 나타내는 자속 시프트(magnetic flux shift)를 상이한 측정된 차동 전압들의 세트로부터 검출하기 위한 처리 유닛(22);을 포함하고,

상기 제 1 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서(4)의 상기 자기 트랙(24)은,

상기 제 1 자기 센서(4)의 제 1 사분면(106) 내에 정해지는 원형의 사행(meander) 경로들(104)의 18보다 적은 미리 정해진 링 수(m)의 제 1 세트로 만들어지는 제 1 아암(102)(최외측 사행 경로(108)는 상기 제 1 전류 단자(28)에 접속되고 최내측 사행 경로(110)는 상기 제 1 전압 단자(32)에 접속됨);

상기 제 1 자기 센서(4)의 제 2 사분면(116) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(114)의 동일한 미리 정해진 수(m)의 제 2 세트로 만들어지는 제 2 아암(112)(최외측 사행 경로(118)는 상기 제 2 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(120)는 상기 제 1 전압 단자(32)에 접속됨);

상기 제 1 자기 센서(4)의 제 3 사분면(126) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(124)의 동일한 링 수(m)의 제 3 세트로 만들어지는 제 3 아암(122)(최외측 사행 경로(128)는 상기 제 2 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(130)는 상기 제 2 전압 단자(34)에 접속됨); 및

상기 제 1 자기 센서(4)의 제 4 사분면(136) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(134)의 동일한 링 수(m)의 제 4 세트로 만들어지는 제 4 아암(132)(최외측 사행 경로(138)는 상기 제 1 전류 단자(28)에 접속되고 최내측 사행 경로(140)는 상기 제 2 전압 단자(34)에 접속됨);을 포함하고,

상기 자기 트랙(24)은, 강자성 필름 및 반-강자성 필름들을 구비하는 2중층 구조, 또는 스핀-밸브 구조, 또는 강자성 필름, 금속 및 반-강자성 필름을 구비하는 3중층 구조인, 미세 자기 측정 시스템에 있어서,

상기 미세 자기 측정 시스템은 각각의 자성 입자에 의해 표류 자계(stray magnetic flux)를 생성시키기 위해 자기 여기장(HAC)을 생성하기 위한 수단(20)을 포함하고, 상기 자기 여기장(HAC)은 10 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발전하고,

검출될 상기 자성 입자들(12)은 움직이지 않고 상기 자기 트랙(24)의 상기 활성면(14) 가까이 또는 접촉하여 배치되고,

상기 전류 단자들(28, 30)을 통과하는 상기 제 1 전류 또는 전압 소스(6)에 의해 주입되는 상기 전류(I)는 직류(DC), 또는 교류(AC), 또는 직류 및 교류의 합이고,

상기 처리 유닛(22)은,

미리 정해진 온도 범위에 걸쳐, 제 1의 알려진 미리 정해진 환경 물리 조건들 하에서, 및 인가된 상기 제 1 전류 또는 전압 소스(6)에 의해 주입된 그리고 상기 자기 여기장(HAC)의 상기 전류의 면에서 알려진 시스템 동작 조건들의 제 1 세트 하에서, 임의의 자성 입자들이 그 위에 침착되지 않은 상기 제 1 자기 센서(4)의 배경 열적 자기 응답(background thermal magnetic response)의 제 1 교정 곡선을 제공하고,

상기 제 1 자기 센서(4) 위에 미지의 양의 자성 입자들(12)의 침착 후, 보정된 또는 상기 제 1 자기 센서(4)로부터 출력된 차동 전압 측정치들의 세트로부터가 아니며, 동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 환경 물리 조건들 하에서 및 알려진 시스템 동작 조건들의 동일한 제 1 세트 하에서, 동일한 미리 정해진 온도 범위에 걸쳐 온도를 변화시켜 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도의 제 2 곡선을 결정하고,

동일한 온도 범위에 걸쳐 상기 제 2 곡선과 상기 제 1 교정 곡선과의 차이로서 제 3 곡선을 결정하고,

상기 제 3 곡선의 모든 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 유지되거나 또는 전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 적어도 하나의 자성 입자의 존재를 검출하고(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10 nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함), 또는,

상기 제 1 자기 센서(4) 위에 미지의 자성 입자들(12)의 침착 후(상기 자성 입자들은 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 및 알려진 시스템 동작 조건들 하에서 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시켜, 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘겨 분자 나노입자들을 스위칭 가능함), 보정된 또는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해진 차동 전압 측정치들의 변화 대 물리적 성질의 크기로부터가 아닌 차동 전압 측정치들의 변화의 제 1 곡선을 결정하고,

상기 물리적 성질 크기의 상기 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선(fitting curve)으로서 제 2 곡선을 결정하고(상기 제 1 곡선의 이 하측 부분은 상기 물리적 성질의 상기 미리 정해진 범위 내에 포함된 하측 구간에 대응하고, 상기 하측 구간은 상기 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가짐),

물리적 성질의 동일한 크기 범위 내에서 상기 제 2 곡선의 차동 전압들과 상기 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 스위칭 물리적 성질의 크기 대 상기 차이로서 제 3 곡선을 결정하고,

전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10 nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

환경 온도를 측정하기 위한 제 1 환경 온도 센서, 및 상기 제 1 자기 센서(4)의 상기 활성면(14) 가까이 배치된, 상기 환경 온도와는 다른 물리적 성질을 측정하기 위한 제 2 환경 센서를 더 포함하고, 상기 자성 입자들의 자화의 상기 스위칭은 온도 또는 온도와는 다른 상기 물리적 성질이 미리 정해진 스위칭 임계치 위 또는 아래에 있을 때 작동되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 환경 온도 및 상기 온도와는 다른 물리적 환경 특성을 제어 및 조절하기 위한 수단(18);을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

자기 여기장(HAC)을 생성하기 위한 상기 수단(20)은 AC 전류를 공급하는 제 2 전류 소스(52) 및 상기 제 2 AC 전류 소스(52)에 접속되는 적어도 하나의 코일(54)을 포함하고, 상기 적어도 하나의 코일(54)은 상기 자기 여기장(HAC)이 상기 제 1 축선(40)과 동일 선상에 있는 주 구성요소를 가지도록 상기 제 1 자기 센서(4)에 대해 위

치되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

최고 감도 영역으로 상기 제 1 자기 센서(4)의 동작점을 이동시키기 위해 자기 센서 바이어스 필드(HDC)를 생성하기 위한 수단(21)을 더 포함하고, 상기 자기 센서 바이어스 필드(HDC)는 시간에 따라 일정하고, 자기 여기장(HAC)을 생성하기 위한 수단(20)에 의해 생성된 상기 자기 여기장(HAC)과 동일 선상에 있는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30)을 통과하는 상기 제 1 축선(40)과 자기 센서 바이어스 필드(HDC)의 축선 사이에 형성되는 각도(α)는 상기 자기 센서의 감도가 최대가 되도록 [0도, 90도]범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

자기 여기장(HAC)을 생성하기 위한 상기 수단(20)은 상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30) 사이에 접속되는 전류 또는 전압 소스(326)이고, 상기 전류 또는 전압 소스(326)는 10 Hz 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발진하는 교류(AC)를 발생하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 8

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(4)와 동일한 구조를 가지는 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(404)를 더 포함하고,

상기 제 1 및 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서들(4, 404)은 자성 입자들이 상기 제 1 및 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서들(4, 404) 위에 침착되지 않을 때 동일한 자기장을 측정하기 위해 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판 위에서 서로 가까이에 배치되고,

상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(404)는 병렬로 접속되는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하고 상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서(4)의 동일한 제 1 전류 소스(326)를 공유하는 제 1 전류 단자(428) 및 제 2 전류 단자(430)를 가지며,

상기 미세 자기 측정 시스템은,

자성 입자들이 적하된(dropped) 용액에 포함되면 검출될 자성 입자들이 상기 제 1 자기 센서(4) 위에 침착되고 알려진 환경 조건들 및 시스템 동작 설정들의 세트 하에서 배치되는 제 1 구성에 대응하는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트, 및 알려진 환경 물리 조건들 및 시스템 동작 설정들의 동일한 세트 하에서 자성 입자들이 그 위에 침착되지 않는 제 2 구성에 대응하는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 기준 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를 차별화하고(differentiate) 대응하는 차이 곡선을 제공하고,

상기 차이 곡선으로부터 적어도 10nT의 최소 자화 필드 시프트에 대응하는 급격한 변동을 검출하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 9

나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 시스템으로서,

제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(4) 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)를 포함하고,

상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(4)는 기판(426) 위에 침착되는 제 1 자기 트랙(24)을 구비하는 제 1

활성면(14), 자성 재료로 만들어지는 상기 제 1 자기 트랙(24)과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자(28) 및 제 2 전류 단자(30), 상기 제 1 자기 트랙(24)과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자(32) 및 제 2 전압 단자(34), 상기 제1 자기 트랙(24)의 교환 바이어스 필드 방향과 평행하고 상기 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선(42)에 수직인, 상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30)을 통과하는 제 1 축선(40)을 가지는, 미세 자기 측정 시스템에 있어서,

상기 미세 자기 측정 시스템은 자성 입자들이 상기 제 1 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서들(4, 404) 위에 침착되지 않을 때 동일한 자기장을 측정하기 위해 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판(426) 위에서 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)에 가까이 배치되는 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)를 포함하고,

상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)는 동일한 기판(426) 위에 침착되는 제 2 자기 트랙을 구비하는 제 2 활성면, 자성 재료로 만들어지는 상기 제 2 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자(428) 및 제 2 전류 단자(430), 상기 제 2 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자(432) 및 제 2 전압 단자(434), 상기 제2 자기 트랙의 교환 바이어스 필드 방향에 평행하고 상기 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선(442)에 수직인, 상기 제 1 및 제 2 전류 단자들(428, 430)을 통과하는 제 1 축선(440)을 가지며,

상기 제 1 및 상기 제 2 자기 트랙들은 십자형, 단일 링 페루프형 및 멀티-링 페루프형 중에서 동일 형상을 가지며 동일한 층 구조를 가지며,

상기 제 1 및 상기 제 2 자기 트랙들의 상기 층 구조는 강자성 필름 및 반-강자성 필름들을 구비하는 2중층 구조, 또는 스핀-밸브 구조, 또는 강자성 필름, 금속 및 반-강자성 필름을 구비하는 3중층 구조이고,

상기 미세 자기 측정 시스템은,

상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(4) 및 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)에 접속되고 상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(4) 및 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)에 전류(I)를 병렬로 공급하는 동일한 제 1 전류 또는 전압 소스(6);

상기 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(4) 및 상기 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서(404)의 상기 제 1 및 제 2 전압 단자들(32, 34; 432, 434)에 그것의 입력이 접속되고 상기 제 1 자기 센서(4)의 상기 전압 단자들(32, 34)에서 검출된 증폭된 차동 전압과 상기 제 2 자기 센서(404)의 상기 전압 단자들(432, 434)에서 검출된 증폭된 차동 전압 간의 차이 전압을 결정하도록 구성되는 제 1 전압 측정 장치(8);

상기 제 1 자기 센서(4)의 상기 제 1 활성면(14) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트;

제 1 전압 측정 장치(8)에 의해 출력된 상이한 측정된 차동 전압들의 세트로부터 상기 제 1 자기 센서(4) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자(12)의 존재를 나타내는 자속 시프트를 검출하기 위한 처리 유닛(22); 및

각각의 자성 입자에 의해 표류 자계를 생성시키기 위해 자기 여기장(HAC)을 생성하기 위한 수단(20)(상기 자기 여기장(HAC)은 10 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발전함);을 포함하고,

검출될 상기 자성 입자들(12) 또는 상기 자성 물체는 움직이지 않고 단지 상기 제 1 자기 트랙(24)의 상기 제 1 활성면(14) 가까이 또는 접촉하여 배치되고,

상기 전류 단자들(28, 30)을 통과하는, 상기 제 1 전류 또는 전압 소스(6)에 의해 주입되는 전류(I)는 직류(DC), 또는 교류(AC), 또는 직류 및 교류의 합인 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

나노 또는 마이크로 스케일의 자성 입자들 또는 자성 물체는, 상기 제 2 자기 센서(404) 위에 침착되지 않고,

상기 처리 유닛(22)은,

상기 제 1 자기 센서(4) 위에 미지의 양의 자성 입자들(12) 또는 자성 물체를 침착한 후,

미리 정해진 물리적 조건들 하에서,

제 1 차이와 기준 차이 간의 차이로서의 제 2 차이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가질 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하도록 구성되고,

상기 기준 차이는 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와, 동일한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이이고,

상기 제 1 차이는 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 상기 제 1 전압 측정치와, 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 상기 제 2 전압 측정치 간의 차이로서 상기 제 1 전압 측정 장치(8)에 의해 결정되고,

상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응하거나, 또는,

상기 자성 입자들이 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들 또는 자성 물체일 때,

알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 물리적 성질 크기를 변화시켜,

차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질 크기 대 변화로서 곡선을 결정하고(전압 측정치들의 상기 제 1 세트는 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지고 전압 측정치들의 상기 제 2 세트는 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해짐),

전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 상기 곡선이 나타낼 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 11

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 자성 입자들은,

AhBk[M(CN)6]I.mH₂O 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자들(여기서 A는 Co, Ni, Fe일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(FeII, FeIII, MnII, MnIII, fml aCoII, CoIII)일 수 있고 C는 알칼리 금속 양이온임), 임의의 상자성 입자들(Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe@Fe₃O₄, CoFe@Fe₃O₄, Ni), 임의의 강자성 입자들(Fe, CoFe, Ni), 임의의 반강자성 입자들(다층 구조 Ti/Fe, Cr, NiO, Co₃O₄, a-Fe₂O₃, CuO, MnO, Cr₂O₃ 나노입자들을 갖는 임의의 입자들), 50 nm 내지 10 μm 범위의 임의의 크기 및 구형상(sphere shape)을 갖는 폴리머 매트릭스의 Fe₃O₄로 만들어진 임의의 자기 구슬(magnetic bead)의 패밀리(family)에 포함되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 12

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 자성 입자들은,

AhBk[M(CN)6]I.mH₂O 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자들(여기서 A는 Co, Ni, Fe일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(FeII, FeIII, MnII, MnIII, fml aCoII, CoIII)일 수 있고 C는 알칼리 금속 양이온임), 임의의 상자성 입자들(Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe@Fe₃O₄, CoFe@Fe₃O₄, Ni), 임의의 강자성 입자들(Fe, CoFe, Ni), 임의의 반강자성 입자들(다층 구조 Ti/Fe, Cr, NiO, Co₃O₄, a-Fe₂O₃, CuO, MnO, Cr₂O₃ 나노입자들을 갖는 임의의 입자들), 50 nm 내지 10 μm 범위의 임의의 크기 및 구형상(sphere shape)을 갖는 폴리머 매트릭스의 Fe₃O₄로 만들어진 임의의 자기 구슬(magnetic bead)의 패밀리(family)에 포함되는 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 13

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 정의된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 자성 입자들의 존재를

검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법으로서,

제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하의 온도에서, 상기 제 1 자기 센서를, 제 1 교정 배경 열 잡음 곡선을 제공하여 교정하는 단계;

상기 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계;

동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 미리 정해진 온도 범위 상에서 온도를 변화시켜, 상기 제 1 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도로서 제 2 곡선을 출력하는 단계;

동일한 온도 범위 내에서 상기 제 2 곡선의 차동 전압들과 상기 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 온도로서 제 3 곡선을 결정하는 단계; 및

상기 제 3 곡선의 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 안정된 채로 있고 또는 전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함); 를 포함하는 미세 자기 측정 시스템.

청구항 14

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 의해 정의된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법으로서,

상기 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계(502)(상기 자성 입자들은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들임);

다음 단계(504)로서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 상기 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 물리적 성질 크기를 변화시킴으로써, 상기 물리적 성질의 크기 대 상기 제 1 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화로서 제 1 곡선을 출력하는 단계; 그리고

상기 물리적 성질의 상기 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 제 2 곡선을 결정하는 단계(506)(상기 제 1 곡선의 이 하측 부분은 상기 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가지는 상기 물리적 성질의 상기 미리 정해진 범위 내에 포함되는 하측 구간에 대응함);

상기 물리적 성질의 동일한 크기의 범위 내에서 상기 제 1 곡선의 차동 전압들과 상기 제 2 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 상기 스위칭 물리적 성질의 크기로서 제 3 곡선을 결정하는 단계(508); 및

전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(510)(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함);를 포함하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 스위칭 물리적 성질은 온도, 압력, 광학 조사(optical irradiation), 전기장, 자기장, 화학적 손 분자들(chemical guest molecules)인 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 16

제 9 항 또는 제 10 항에 정의된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법으로서,

제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하의 온도에서, 상기 제 1 및 제2 자기 센서의 세트를, 제 1 교정 배경 열 잡음 곡선을 제공하여 교정하는 단계;

상기 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계;

동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 미리 정해진 온도 범위 상에서 온도를 변화시켜, 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를

출력하고, 차동 전압 측정치들의 상기 제 1 세트와 차동 전압 측정치들의 상기 제 2 세트 간의 차이의 변화 대 온도로서 제 2 곡선을 결정하는 단계;

동일한 온도 범위 내에서 상기 제 2 곡선의 차동 전압들과 상기 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 온도로서 제 3 곡선을 결정하는 단계; 및

상기 제 3 곡선의 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 안정된 채로 있고 또는 전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함); 를 포함하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 17

제 9 항 또는 제 10 항에 의해 정의된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법으로서,

상기 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계(502)(상기 자성 입자들은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들임);

다음 단계(504)로서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 상기 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 물리적 성질 크기를 변화시킴으로써, 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를 출력하고, 차동 전압 측정치들의 상기 제 1 세트와 차동 전압 측정치들의 상기 제 2 세트 간의 차이의 변화 대 물리적 성질로서 제 1 곡선을 결정하는 단계;

상기 물리적 성질의 상기 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 제 2 곡선을 결정하는 단계(506)(상기 제 1 곡선의 이 하측 부분은 상기 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가지는 상기 물리적 성질의 상기 미리 정해진 범위 내에 포함되는 하측 구간에 대응함);

상기 물리적 성질의 동일한 크기의 범위 내에서 상기 제 1 곡선의 차동 전압들과 상기 제 2 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 상기 스위칭 물리적 성질의 크기로서 제 3 곡선을 결정하는 단계(508); 및

전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 상기 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(510)(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함); 를 포함하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 스위칭 물리적 성질은 온도, 압력, 광학 조사(optical irradiation), 전기장, 자기장, 화학적 손 분자들(chemical guest molecules)인 것을 특징으로 하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 19

제 9 항 또는 제 10 항에 정의된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는 나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법으로서,

상기 제 1 자기 센서(4) 위에 미지의 양의 자성 입자들 또는 단일 자성 물체를 침착하는 단계(502);

미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치를 출력하고, 상기 제 1 전압 측정치와 상기 제 2 전압 측정치 간의 제 1 차이를 결정하는 단계; 및

상기 제 1 차이 및 기준 차이 간의 차이로서의 제 2 차이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가질 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하는 단계; 를 더 포함하고,

상기 기준 차이는, 동일한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기

제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이이고,

상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응하고,

상기 자성 입자들이 스위치 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들 또는 단일 물체일 때, 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 상기 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 상기 물리적 성질 크기를 변화시킨 다음, 자성 입자들을 그 위에 가지는 상기 제 1 자기 센서(4)에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 상기 제 2 자기 센서(404)에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 2 세트를 출력하는 단계, 및 차동 전압 측정치들의 상기 제 1 세트와 전압 측정치들의 상기 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질 크기 대 변화로서 곡선을 결정하는 단계; 및

전이가 상기 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 상기 곡선이 나타낼 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하는 단계(상기 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함);를 더 포함하는 미세 자기 측정 검출 방법.

청구항 20

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 정의된 미세 자기 측정 시스템을 포함하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템으로서,

상기 입자들은 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들이고, 상기 미리 정해진 온도 스위칭 임계치는 외부 분자들의 임의의 증기의 환경 농도 또는 습도 환경에 의존하고,

상기 처리 유닛은 외부 분자들의 상기 증기의 환경 농도 또는 습도에 민감한 자성 입자들의 자기장 변화 측정치들로부터, 또는 다른 방법에 의해 측정된 외부 분자들의 상기 증기의 교정된 습도 또는 교정된 환경 농도 간의 이전에 결정된 매핑 곡선 및 대응하는 파라미터 예컨대 온도 임계치, 전이 온도, 또는 상기 자성 입자들의 자기 특성 변화를 통해 결정된 히스테리시스 루프의 폭으로부터 외부 분자들의 상기 증기의 환경 농도 또는 습도를 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템.

청구항 21

제 9 항 또는 제 10 항 중 어느 한 항에 정의된 미세 자기 측정 시스템을 포함하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템으로서,

상기 입자들은 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들이고, 상기 미리 정해진 온도 스위칭 임계치는 외부 분자들의 임의의 증기의 환경 농도 또는 습도 환경에 의존하고,

상기 처리 유닛은 외부 분자들의 상기 증기의 환경 농도 또는 습도에 민감한 자성 입자들의 자기장 변화 측정치들로부터, 또는 다른 방법에 의해 측정된 외부 분자들의 상기 증기의 교정된 습도 또는 교정된 환경 농도 간의 이전에 결정된 매핑 곡선 및 대응하는 파라미터 예컨대 온도 임계치, 전이 온도, 또는 상기 자성 입자들의 자기 특성 변화를 통해 결정된 히스테리시스 루프의 폭으로부터 외부 분자들의 상기 증기의 환경 농도 또는 습도를 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템.

청구항 22

제 20 항에 있어서,

검출될 수 있는 외부 분자들의 상기 증기는 N₂, He, I₂, CO₂, 에탄올, 메탄올, 2-프로판올, 아세톤, D₂O, CS₂, CO, 요오드(I), 붕소(Br), 염소(Cl), 벤젠, 톨루엔, 클로로벤젠, 브로모벤젠, 요오드벤젠, 디클로로벤젠, 트리클로로벤젠, 피라진, 피리딘, 피롤, 티오펜, 푸란, thf로 구성되는 패밀리의 상기 외부 분자들 중 적어도 하나인 것을 특징으로 하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

검출될 수 있는 외부 분자들의 상기 증기는 N₂, He, I₂, CO₂, 에탄올, 메탄올, 2-프로판올, 아세톤, D₂O, CS₂, CO, 요오드(I), 붕소(Br), 염소(Cl), 벤젠, 톨루엔, 클로로벤젠, 브로모벤젠, 요오드벤젠, 디클로로벤젠, 트리

클로로벤젠, 피라진, 피리딘, 피롤, 티오펜, 푸란, thf로 구성되는 페밀리의 상기 외부 분자들 중 적어도 하나인 것을 특징으로 하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 오늘날 나노-크기 스핀 크로스오버(Spin Crossover: SCO) 입자들은 메조스코픽 규모(mesoscopic scale)에서 이들 재료들의 물리적 성질의 탐구뿐만 아니라 새로운 기능 재료의 개발을 위해 많은 관심을 받고 있다. 지금까지 스핀 천이 특성(spin transition property)의 관찰들은 근본적으로 상이한 정도의 크기 및 형상 분산을 갖는 나노-입자들의 거대 앙상블(huge ensemble)에서 자화 또는 광 흡수의 온도 의존성의 간단한 조사로 감소되었다. 이와 같은 노력들이 성과가 없을지라도, 단일 스핀 크로스오버(SCO) 입자 측정들을 위한 방법들의 개발은 기본적, 실용적인 관점에서 필요하다.

배경 기술

[0002] 나노-규모 자기 측정 분야에서, 최신 기술은 마이크로-SQUID 및 나노-SQUID 장치들에 의해 표현된다. 이들 장치들은 마이크로-브리지 조셉슨 접합들(micro-bridge Josephson junctions) 상에 나노-입자들을 직접 침착함으로써 소량의 자성 나노-입자들 또는 단일 분자 마그네틱들의 자화 역전(magnetization reversal)을 검출할 수 있다.

[0003] 그러나, 저잡음 동작(low noise operation)을 위해, 마이크로-브리지들은 보통 니오븀과 같은 저온 초전도 재료들로 만들어진다. 이와 같은 장치들은 예를 들어 제목이 "단일 코발트 나노클러스터의 자기 이방성(Magnetic Anisotropy of a Single Cobalt Nanocluster)"인 논문(M. Jamet and al., published in the Physical Review Letters, Vol. 86, number 20)에 기재되어 있다.

[0004] 지금까지 이와 같은 자기 측정 검출 시스템의 작동 온도는 수십 켈빈 아래로 제한된다.

[0005] 그 결과, 통상의 마이크로-SQUID 기술은 실온 범위 내에서 자화 특성들을 연구하고, 특히 SCO 재료의 작은 체적 또는 단일 나노-입자의 실온 스위칭 특성들의 정밀한 측정들을 실행하는 것은 적절하지 않다.

[0006] 현재의 초고감도(S)QUID 검출 방법은 매우 낮은 온도에서 사용되고 휴대성이 없고 유연하지 않은 복잡한 기구들을 요구하는 수개의 문제점들이 있다.

[0007] 대안의 방법들이 다음의 문헌들에 기재된 것과 같이 제안되었다.

[0008] "자기 방법을 이용하여 cTnl 모니터링하여 분석되는 횡류 멤브레인에서 분석적 키네틱스(Analytes kinetics in lateral flow membrane analyzed by cTnl monitoring using magnetic method)"(published in sensors and Actuators B: Chemical International devoted to Research and Development of Physical and Chemical Transducers, Elsevier S.A., Switzerland, vol. 160, n ° 1, 19 August 2011, pages 747-752)인 오성종 등의 논문, "하이브리드 AMR/PHR 링 센서(Hybrid AMR/PHR ring sensor)"인 오성종 등의 논문(published in Solid State Communications, Pergamon, GB, vol. 151, n ° 18, 29 May 2011, pages 1248-1251), 특허 출원 US 2006/194327 A1, 특허 출원 US 2010/231213 A1.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 기술적 과제는 이와 같은 약점들을 회피하고 덜 복잡하고 더 간단하고 유연한 구현을 제공하는, 실온에서 측정들을 수행하는 초고감도 자기 측정 시스템을 제공하는 것이다.

[0010] 또한, 다른 기술적 과제는 센서 활성면(sensor active surface)에 인접해서 "단일 마이크로/나노 물체(single micro/nano object)"에 의해 생성되는 나노 또는 피코테시아 필드(picotesia field)를 검출하기 위해 감도 검출 성능을 향상시키는 자기 측정 시스템 및 방법을 제안하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 따라서, 본 발명은 나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 제 1 미세 자기 측정 시스템으로서, 기관 위에 침착된 페루프형의

자기 트랙을 구비하는 활성면, 자성 재료로 만들어지는 페루프형 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자, 페루프 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압(V_b)이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자 및 제 2 전압 단자, 트랙 재료의 교환 바이어스 필드 방향과 평행하고 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선에 수직인, 제 1 및 제 2 전류 단자들을 통과하는 제 1 축선을 가지는 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서, 전류를 주입하기 위해 제 1 및 제 2 전류 단자들 사이에 접속되는 제 1 전류 또는 전압 소스, 한 쌍의 전압 단자들 간의 차동 전압(V_b)을 측정하기 위해 제 1 및 제 2 전압 단자들 사이에 접속되는 제 1 전압 측정 장치, 제 1 자기 센서의 활성면 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들의 세트, 적어도 하나의 침착된 자성 입자의 존재를 나타내는 자속 시프트를 상이한 측정된 차동 전압들의 세트로부터 검출하기 위한 처리 유닛을 포함하고, 제 1 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서의 자기 트랙은, 최외측 사행 경로는 제 1 전류 단자에 접속되고 최내측 사행 경로는 제 1 전압 단자에 접속되고, 제 1 자기 센서의 제 1 사분면 내에 정해지는 원형의 사행 경로들의 18보다 적은 미리 정해진 링 수(m)의 제 1 세트로 만들어지는 제 1 아암(arm), 최외측 사행 경로는 제 2 전류 단자에 접속되고 최내측 사행 경로는 제 1 전압 단자에 접속되고, 제 1 자기 센서의 제 2 사분면 내에 정해지는 원형의 사행 경로들의 동일한 미리 정해진 수(m)의 제 2 세트로 만들어지는 제 2 아암, 최외측 사행 경로는 제 2 전류 단자에 접속되고 최내측 사행 경로는 제 2 전압 단자에 접속되고, 제 1 자기 센서의 제 3 사분면 내에 정해지는 원형의 사행 경로들의 동일한 링 수(m)의 제 3 세트로 만들어지는 제 3 아암, 최외측 사행 경로는 제 1 전류 단자에 접속되고 최내측 사행 경로는 제 2 전압 단자에 접속되고, 제 1 자기 센서의 제 4 사분면 내에 정해지는 원형의 사행 경로들의 동일한 링 수(m)의 제 4 세트로 만들어지는 제 4 아암을 가지며, 자기 트랙은 강자성 필름 및 반-강자성 필름들을 구비하는 2중층 구조, 또는 스핀-밸브 구조, 또는 강자성 필름, 금속 및 반-강자성 필름을 구비하는 3중층 구조인, 제 1 미세 자기 측정 시스템에 있어서, 미세 자기 측정 시스템은 각각의 자성 입자에 의해 표류 자계를 생성시키기 위해 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단을 포함하고, 자기 여기장(H_{AC})은 10 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발진하고, 검출될 자성 입자들은 움직이지 않고 자기 트랙의 활성면 가까이 또는 접촉하여 배치되고, 전류 단자들을 통과하는 제 1 전류 또는 전압 소스에 의해 주입되는 전류(I)는 직류(DC), 또는 교류(AC), 또는 직류 및 교류의 합이고, 처리 유닛은 또한 미리 정해진 온도 범위에 걸쳐, 제 1의 알려진 미리 정해진 환경 물리 조건들 하에서, 및 인가된 제 1 전류 또는 전압 소스에 의해 및 자기 여기장(H_{AC})의 주입된 전류의 면에서 알려진 시스템 동작 조건들의 제 1 세트 하에서, 임의의 자성 입자들이 그 위에 침착되지 않은 제 1 자기 센서의 배경 열적 자기 응답의 제 1 곡선을 제공하고, 이후 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들의 침착 후, 보정된 또는 제 1 자기 센서로부터 출력된 차동 전압 측정치들의 세트로부터가 아니며, 동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 환경 물리 조건들 하에서 및 알려진 시스템 동작 조건들의 동일한 제 1 세트 하에서, 동일한 미리 정해진 온도 범위에 걸쳐 온도를 변화시켜 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도의 제 2 곡선을 결정하고, 이후 동일한 온도 범위에 걸쳐 제 2 곡선과 제 1 곡선과의 차이로서 제 3 곡선을 결정하고, 제 3 곡선의 모든 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 유지되거나 또는 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 적어도 하나의 자성 입자의 존재를 검출하고, 미리 정해진 검출 임계치는 10 nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응하며, 또는, 제 1 자기 센서 위에 미지의 자성 입자들의 침착 후, 자성 입자들은 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 및 알려진 시스템 동작 조건들 하에서 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시켜, 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘겨 분자 나노입자들을 스위칭 가능하고, 보정된 또는 제 1 자기 센서에 의해 행해진 차동 전압 측정치들의 변화 대 물리적 성질의 크기로부터가 아닌 차동 전압 측정치들의 변화의 제 1 곡선을 결정하고, 이후 물리적 성질 크기의 미리 정해진 범위에 걸쳐 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선(fitting curve)으로서 제 2 곡선을 결정하고, 제 1 곡선의 이 하측 부분은 물리적 성질의 미리 정해진 범위 내에 포함된 하측 구간에 대응하고, 하측 구간은 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가지며, 이후 물리적 성질의 동일한 크기 범위 내에서 제 2 곡선의 차동 전압들과 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 스위칭 물리적 성질의 크기 대 차이로서 제 3 곡선을 결정하고, 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출(미리 정해진 검출 임계치는 10 nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응)하도록 구성되는 것을 특징으로 하는, 제 1 미세 자기 측정 시스템에 관한 것이다.

[0012] 특정 실시예들에 따르면, 미세 자기 측정 시스템은 다음의 특징들 중 적어도 하나를 포함한다. 환경 온도를 측정하기 위한 제 1 환경 온도 센서, 및/또는 제 1 액티브 센서의 활성면 가까이에 배치된, 환경 온도와는 다른 물리적 성질을 측정하기 위한 제 2 환경 센서를 더 포함하고, 자성 입자들의 자화의 스위칭은 온도 또는 온도와

는 다른 물리적 성질이 미리 정해진 스위칭 임계치 위 또는 아래에 있을 때 작동되고, 환경 온도 및/또는 온도와는 다른 물리적 환경 특성을 제어 및/또는 조절하기 위한 수단, 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단은 AC 전류를 공급하는 제 2 전류 소스 및 제 2 AC 전류 소스에 접속되는 적어도 하나의 코일을 포함하고, 적어도 하나의 코일은 자기 여기장(H_{AC})이 제 1 축선과 동일 선상에 있는 주 구성요소를 가지도록 제 1 자기 센서에 대해 위치되고, 최고 감도 영역으로 제 1 자기 센서의 동작점을 이동시키기 위해 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})를 생성하기 위한 수단을 더 포함하고, 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})는 시간에 따라 일정하고, 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단에 의해 생성된 자기 여기장(H_{AC})과 동일 선상에 있고, 여기서 제 1 및 제 2 전류 단자들을 통과하는 제 1 축선과 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})의 축선 사이에 형성되는 각도(α)는 자기 센서의 감도가 최대가 되도록 범위 [0도, 90도]에서 선택되고 바람직하게는 범위 [15도, 25도] 내에 포함되고, 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단은 제 1 및 제 2 전류 단자들 사이에 접속되는 전류 또는 전압 소스이고, 전류 또는 전압 소스는 10 Hz 내지 3 KHz 범위의, 바람직하게는 50 Hz 내지 150 Hz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발진하는 교류(AC)를 발생하도록 구성되고, 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서와 동일한 구조를 가지는 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서를 더 포함하고, 제 1 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서들은 자성 입자들이 센서들 위에 침착되지 않을 때 동일한 자기장을 측정하기 위해 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판 위에서 서로 가까이 배치되고, 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서들은 병렬로 접속되는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하고 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서의 동일한 제 1 전류 소스를 공유하는 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자를 가지며, 미세 자기 측정 시스템은, 자성 입자들이 적하된(dropped) 용액에 포함되면 검출될 자성 입자들이 제 1 자기 센서 위에 침착되고 알려진 환경 조건들 및 시스템 동작 설정들의 세트 하에서 배치되는 제 1 구성에 대응하는 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트, 및 알려진 환경 물리 조건들 및 시스템 동작 설정들의 동일한 세트 하에서 자성 입자들이 그 위에 침착되지 않는 제 2 구성에 대응하는 제 2 센서에 의해 행해지는 기준 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를 차별화하고(differentiate) 대응하는 차이 곡선을 제공하고, 이후 차이 곡선으로부터 적어도 10nT의 최소 자화 필드 시프트에 대응하는 급격한 변동을 검출하도록 구성된다.

[0013] 본 발명은 또한 나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 제 2 미세 자기 측정 시스템으로서, 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서를 포함하고, 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서 기판 위에 침착되는 제 1 자기 트랙을 구비하는 제 1 활성면, 자성 재료로 만들어지는 제 1 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자, 제 1 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자 및 제 2 전압 단자, 트랙 재료의 교환 바이어스 필드 방향과 평행하고 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선에 수직인, 제 1 및 제 2 전류 단자들을 통과하는 제 1 축선을 가지며, 제 2 미세 자기 측정 시스템에 있어서, 미세 자기 측정 시스템은 자성 입자들이 센서들 위에 침착되지 않을 때 동일한 자기장을 측정하기 위해 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판 위에서 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서에 가까이 배치되는 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서를 포함하고, 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서는 동일한 기판 위에 침착되는 제 2 자기 트랙을 구비하는 제 2 활성면, 자성 재료로 만들어지는 제 2 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자, 제 2 자기 트랙과 접촉하여 서로 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자 및 제 2 전압 단자, 트랙 재료의 교환 바이어스 필드 방향에 평행하고 제 1 및 제 2 전압 단자들을 통과하는 제 2 축선에 수직인, 제 1 및 제 2 전류 단자들을 통과하는 제 1 축선을 가지며, 제 1 및 제 2 자기 트랙들은 십자형, 단일 링 페루프형 및 멀티-링 페루프형 중에서 동일 형상을 가지며 동일한 층 구조를 가지며, 제 1 및 제 2 자기 트랙들의 층 구조는 강자성 필름 및 반-강자성 필름들을 구비하는 2중층 구조, 또는 스핀-밸브 구조, 또는 강자성 필름, 금속 및 반-강자성 필름을 구비하는 3중층 구조이고, 미세 자기 측정 시스템은, 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서에 접속되고 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 센서에 전류를 병렬로 공급하는 동일한 제 1 전류 또는 전압 소스, 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서 및 제 2 자기 하이브리드 AMR/PHR 센서의 제 1 및 제 2 전압 단자들에 그것의 입력이 접속되고 제 1 자기 센서의 전압 단자들에서 검출된 증폭된 차동 전압과 제 2 자기 센서의 전압 단자들에서 검출된 증폭된 차동 전압 간의 차이 전압을 결정하도록 구성되는 제 1 전압 측정 장치, 제 1 자기 센서(4)의 활성면 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들의 세트, 제 1 전압 측정 장치에 의해 출력된 상이한 측정된 차동 전압들의 세트로부터 제 1 자기 센서 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자의 존재를 나타내는 자속 시프트를 검출하기 위한 처리 유닛,

각각의 자성 입자에 의해 표류 자계를 생성시키기 위해 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(자기 여기장(H_A)은 10 내지 3 KHz 범위의 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발진)을 포함하고, 검출될 자성 입자들 또는 자성 물체는 움직이지 않고 단지 제 1 자기 트랙의 활성면 가까이에 또는 접촉하여 배치되고, 전류 단자들을 통과하는, 제 1 전류 또는 전압 소스에 의해 주입되는 전류(I)는 직류(DC), 또는 교류(AC), 또는 직류 및 교류의 합인, 제 2 미세 자기 측정 시스템에 관한 것이다.

[0014] 제 2 미세 자기 측정 시스템의 특정 실시예의 따르면, 나노 또는 마이크로 스케일의 자성 입자들 또는 자성 물체는 제 2 센서 위에 침착되지 않고, 처리 유닛은 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들 또는 자성 물체를 침착한 후, 또한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 제 1 차이와 기준 차이 간의 차이로서의 제 2 차이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가질 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하도록 구성되고, 기준 차이는 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와, 동일한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이이고, 제 1 차이는 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와, 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이로서 제 1 전압 측정 장치에 의해 결정되고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응하고, 또는 자성 입자들이 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들 또는 자성 물체일 때, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시켜, 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질 크기 대 변화로서 곡선을 결정하고(전압 측정치들의 제 1 세트는 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지고 전압 측정치들의 제 2 세트는 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해짐), 이후 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 곡선이 나타낼 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출(미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)하도록 구성되는, 미세 자기 측정 시스템에 관한 것이다.

[0015] 제 1 및 제 2 미세 자기 측정 시스템들의 특정 실시예들에 따르면, 자성 입자들은, $A_nB_m[M(CN)_6]_l \cdot mH_2O$ 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자들(여기서 A는 Co, Ni, Fe 등일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , $fml aCo^{II}$, Co^{III} , ...)일 수 있고 C는 알칼리 금속 양이온임), 임의의 상자성 입자들(Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $Fe@Fe_3O_4$, $CoFe@Fe_3O_4$, Ni, ...), 임의의 강자성 입자들(Fe, CoFe, Ni), 임의의 반강자성 입자들(다층 구조 Ti/Fe, Cr, NiO, Co_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$, CuO, MnO, Cr_2O_3 나노입자들을 갖는 임의의 입자들), 50 nm 내지 10 μm 범위의 임의의 크기 및 구형상을 갖는 폴리머 매트릭스의 Fe_3O_4 로 만들어지는 임의의 자기 구슬의 패밀리에 포함된다.

[0016] 본 발명은 또한 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 제 1 검출 방법으로서, 먼저, 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하의 온도에서, 시스템이 단일의 제 1 자기 센서를 포함할 때 제 1 자기 센서를, 또는 자기 측정 시스템이 제 1 자기 센서 및 제 2 자기 센서를 포함할 때 제 1 및 제 2 자기 센서의 세트를, 제 1 교정 배경 열 잡음 곡선을 제공하여 교정하는 단계, 이후 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계, 이후, 동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 미리 정해진 온도 범위 상에서 온도를 변화시켜, 자기 측정 시스템이 제 1의 단일 자기 센서를 포함할 때, 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도로서 제 2 곡선을 출력하는 단계, 또는 자기 측정 시스템이 제 1 자기 센서 및 제 2 자기 센서를 포함할 때, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를 출력하고, 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 차동 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 변화 대 온도로서 제 2 곡선을 결정하는 단계, 동일한 온도 범위 내에서 제 2 곡선의 차동 전압들과 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 온도로서 제 3 곡선을 결정하는 단계 및 제 3 곡선의 전압 차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 안정된 채로 있고 또는 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)를 포함하는, 미세 자기 측정 시스템에 관한 것이다.

[0017] 본 발명은 또한 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는, 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위

한 제 2 검출 방법으로서, 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들을 침착하는 단계(자성 입자들은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들임), 이후 다음 단계에서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시켜, 자기 측정 시스템이 제 1의 단일 자기 센서를 포함할 때, 물리적 성질의 크기 대 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화로서 제 1 곡선을 출력하는 단계, 또는 자기 측정 시스템이 제 1 자기 센서 및 제 2 자기 센서를 포함할 때, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 2 세트를 출력하고, 변화 대 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 차동 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질로서 제 1 곡선을 결정하는 단계, 이후 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 제 2 곡선을 결정하는 단계(제 1 곡선의 이 하측 부분은 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가지는 물리적 성질의 미리 정해진 범위 내에 포함되는 하측 구간에 대응함), 물리적 성질의 동일한 크기의 범위 내에서 제 1 곡선의 차동 전압들과 제 2 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 스위칭 물리적 성질의 크기로서 제 3 곡선을 결정하는 단계, 및 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하는 단계(미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)를 포함하는, 제 2 검출 방법에 관한 것이다.

[0018] 특정 실시예들에 따르면, 매우 작은 양의 자기 입자들의 존재를 검출하기 위한 제 2 검출 방법에서, 스위칭 물리적 성질은 온도, 압력, 광학 조사(optical irradiation), 전기장, 자기장, 화학적 손 분자들(chemical guest molecules)이다.

[0019] 본 발명은 또한 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해지는 나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 제 3 검출 방법으로서, 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들 또는 단일 자성 물체를 침착하는 단계, 이후 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치를 출력하고, 제 1 전압 측정치와 제 2 전압 측정치 간의 제 1 차이를 결정하는 단계 이후 제 1 차이 및 기준 차이 간의 차이로서의 제 2 차이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가질 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하는 단계를 포함하고, 기준 차이는 동일한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이이고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응하고, 또는 자성 입자들이 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들 또는 단일 물체일 때, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시킨 다음, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 2 세트를 출력하는 단계, 및 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질 크기 대 변화로서 곡선을 결정하는 단계, 이후 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 곡선이 나타낼 때 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재를 검출하는 단계(미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응함)를 더 포함하는, 제 3 검출 방법에 관한 것이다.

[0020] 본 발명의 또한 미세 자기 측정 시스템을 포함하는 습도 또는 가스 감지 측정 시스템으로서, 입자들은 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들이고, 미리 정해진 온도 스위칭 임계치는 외부 분자들의 임의의 증기의 환경 농도 또는 습도 환경에 의존하고, 여기서, 처리 유닛은 외부 분자들의 증기의 환경 농도 또는 습도에 민감한 자성 입자들의 자기장 변화 측정치들로부터, 또는 다른 방법에 의해 측정된 외부 분자들의 증기의 교정된 습도 또는 교정된 환경 농도 간의 이전에 결정된 매핑 곡선 및 대응하는 파라미터 예컨대 온도 임계치, 전이 온도, 또는 위에 정의된 미세 자기 측정 방법에 의해 검출된 자성 입자들의 자기 특성 변화를 통해 결정된 히스테리시스 루프의 폭으로부터 외부 분자들의 증기의 환경 농도 또는 습도를 결정하도록 구성되는, 습도 또는 가스 감지 측정 시스템에 관한 것이다.

[0021] 특정 실시예에 따르면, 습도 또는 가스 감지 측정 시스템에서, 검출될 수 있는 외부 분자들의 증기는 N₂, He, I₂, CO₂, 에탄올, 메탄올, 2-프로판올, 아세톤, D₂O, CS₂, CO, 요오드(I), 붕소(Br), 염소(Cl), 벤젠, 톨루엔, 클로로벤젠, 브로모벤젠, 요오드벤젠, 디클로로벤젠, 트리클로로벤젠, 피라진, 피리딘, 피롤, 티오펜, 푸란,

thf로 구성되는 패밀리의 외부 분자들 가운데 있다.

[0022] 본 발명의 더 나은 이해는 예들로서만 그리고 도면들을 참조하여 주어지는 다음의 설명을 읽음으로써 도모될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 여기 자기장(H_{AC})이 센서 외부의 수단에 의해 발생하는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 미세 자기 측정 시스템의 아키텍처의 뷰,

도 2는 도 1의 미세 자기 측정 시스템에 의해 사용되는 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서의 평면 상세도,

도 3은 도 2의 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서의 전기 개략도,

도 4는 각각의 프로파일은 자기 센서의 자화 용이축과 외부 자기장 방향 사이에 형성된 배향각에 의해 특징되는 검출 전압 대 바이어스 자기장의 상이한 프로파일들의 뷰,

도 5는 도 4의 프로파일들로부터 추론된 감도 대 배향각의 변화의 뷰,

도 6은 여기 자기장(H_{AC})이 제 1 자기 센서 자신에 의해 부분적으로 발생하는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 미세 자기 측정 시스템의 아키텍처의 뷰,

도 7은 제 2 자기 센서가 교정 자기 센서로서 부착된 본 발명에 따른 제 3 실시예에 따른 미세 자기 측정 시스템의 아키텍처의 뷰,

도 8은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 자성 입자들이 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위치 가능 분자 나노입자인 경우 미세 자기 측정 검출 방법의 흐름도의 예,

도 9는 SCO 입자들이 제 1 자기 센서의 활성면 상에 침착될 때 도 1의 미세 자기 측정 시스템에 의해 제공되는 측정 전압들의 온도 대 변화의 제 1 곡선(온도는 300 K 내지 350 K 범위에 있음) 및 도 6의 방법에 의해 결정된 대응하는 맞춤 제 2 곡선의 예시적인 뷰,

도 10은 도 6의 방법에 따른 도 7의 제 1 및 제 2 곡선들로부터 결정된 제 3 곡선의 뷰,

도 11은 자화 스위칭 가능 분자 나노입자들, 상자성 입자들, 강자성 입자들, 반강자성 입자들, 폴리머 매트릭스에서 Fe_3O_4 로 만들어지는 자기 구슬들을 포함하는 자성 입자들의 더 넓은 패밀리(broader family)에 대해 행해지는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 미세 자기 측정 검출 방법의 흐름도의 예,

도 12는 어떠한 자성 입자들도 침착되지 않는 제 1 자기 센서의 열적 자기 응답(thermal magnetic response)을 나타내는 교정 배경 잡음 곡선의 뷰,

도 13은 2개의 상이한 습도 조건들, 즉 80% 및 60% 각각 하에서 검출되는 SCO 입자들의 전이 온도들의 뷰, 그리고,

도 14는 2개의 멀티-링 자기 센서들이 십자형 자기 센서들에 의해 대체되는 도 7의 미세 자기 측정 시스템의 변형예의 예의 부분도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 도 1에 따르면, 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 시스템(2)은 제 1 자기 하이브리드 이방성 자기 저항(Anisotropic Magnetic-Resistive: AMR)/평면 홀 저항(Planar Hall Resistive: PHR) 멀티-링 자기 센서(4), 제 1 전류 또는 전압 소스(6), 제 1 전압 측정 장치(8), 제 1 자기 센서(4)의 활성면(14) 위에 침착되는 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트(10), 제 1 환경 온도 센서(16), 자성 입자들의 환경 온도를 제어 및/또는 조절하기 위한 수단(18), 표류 자계(stray magnetic field)를 각각의 자성 입자에 의해 생성하기 위해 자기 교변 자기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20), 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})를 생성하기 위한 수단(21), 및 처리 유닛(22)을 포함한다.

[0025] 제 1 자기 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서(4) 또는 제 1 자기 센서는 기판(26) 위에 침착되는 페루프형의 자기 트랙(24)을 그것의 활성면(14) 위에 구비한다.

- [0026] 제 1 자기 센서(4)는 페루프 자기 트랙(24)과 서로 접촉하여 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자(28) 및 제 2 전류 단자(30)를 가진다.
- [0027] 제 1 자기 센서(4)는 페루프 자기 트랙(24)과 서로 접촉하여 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자(32) 및 제 2 전압 단자(34)를 가진다.
- [0028] 제 1 자기 센서(4)는 재료의 교환 바이어스 필드 방향에 평행하고 제 1 및 제 2 전압 단자들(32, 34)을 통과하는 제 2 축선(42)에 수직인, 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30)을 통과하는 제 1 축선(40) 또는 자화 용이축을 가진다.
- [0029] 제 1 및 제 2 전류 단자들 사이에 접속되는 제 1 전류 또는 전압 소스(6)는 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30)의 쌍을 통해 제 1 자기 센서(4)에 대해 DC 바이어스 전류(I)를 주입하도록 구성된다. 제 1 전류 소스(6)는 예를 들어 케슬리(Keithley) 2400 전류 소스이고 DC 바이어스 전류의 진폭은 1 mA와 같게 설정된다.
- [0030] 제 1 전압 측정 장치(8)는 전압 단자들(32, 34) 쌍 간의 차동 전압(V_b)을 측정하기 위해 제 1 및 제 2 전압 단자들(32, 34) 사이에 접속된다.
- [0031] 제 1 전압 측정 장치(8)는 검출된 차동 전압을 증폭하고 위상 고정 루프에 기초하여 동기화 증폭 장치(46)에 대해 얻어지는 출력 신호를 구동하기 위해 20 dB의 게인을 갖는 저 잡음 증폭기(44)를 포함한다. 동기화 증폭기는 자기 교번 여기장 신호로 측정된 차동 전압 신호를 고정하고 전압 단자들(32, 34)의 쌍의 출력에서 측정된 피크 측정된 차동 전압을 검출하도록 구성된다.
- [0032] 제 1 환경 온도 센서(16)는 자성 입자들(12) 및 제 1 자기 센서(4)의 실제 환경 온도(T)를 나타내는 온도를 측정하도록 구성되고, 바람직하게는 제 1 자기 센서(4)의 활성면(14)에 가까이에 위치된다. 예를 들어, 환경 온도 센서(16)는 100 Ohm의 백금 저항이다.
- [0033] 온도(T)를 제어 및/또는 조절하기 위한 수단(18)은 자성 입자들(12)의 환경을 제어된 방식으로 히터(48)에 의해 가열하도록 구성되고 바람직하게는 제 1 자기 센서(4)의 활성면(14)에 가까이에 위치된다. 히터(48)는 예를 들어 제 1 자기 센서(4)에 부착되고 300 K에서 350 K로 온도(T)를 변경하여 환경 온도(T) 변화를 제어하는 레이크쇼어(Lakeshore) 332 온도 제어기(50)에 접속되는 저항 민코(resistance Minco)이다.
- [0034] 교번 자기 여기장(alternating magnetic excitation field: H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)은 10 내지 3 KHz 범위, 여기서는 100 Hz로 설정된 일정 주파수(ω)로 시간에 따라 발전하는 교류 자계를 각각의 자성 입자(12)에 의해 생성시키도록 구성된다.
- [0035] 교번 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)은 여기서는 100 Hz의 주파수에서 발전하는 AC 전류를 공급하는 제 2 전류 소스(52), 및 제 2 AC 전류 소스(52)에 접속되는 적어도 하나의 코일, 여기서는 2개의 헬름홀츠 코일들(Helmholtz coils: 54)을 포함한다.
- [0036] 2개의 헬름홀츠 코일들(54)은 자기 여기장(H_{AC})의 주 구성요소가 제 1 축선(40)과 동일 선상에 있도록 제 1 자기 센서(4)에 대해 위치된다.
- [0037] 교번 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})를 생성하기 위한 수단(20)은 최고 감도 범위로 제 1 자기 센서(4)의 동작점을 이동시키도록 구성되고, 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})는 시간에 따라 일정하고, 교번 자기 여기장(H_{AC})과 동일 선상에 있다.
- [0038] 제 1 및 제 2 전류 단자들을 통과하는 제 1 축선(40)과 자기 센서 바이어스 필드(H_{DC})의 축선 사이에 형성되는 바이어스각이 [0도, 90도] 범위에서 선택되어 제 1 자기 센서(4)의 감도(S)는 최대가 된다. 여기서, 이 각(α)은 20도와 같다.
- [0039] 따라서, 전체 제 1 자기 센서(4) 및 그 위에 침착되는 후속의 모든 자성 입자들(12)은 하이브리드 교번 및 연속 자기장($H_{AC} + H_{DC}$) 아래에 배치되고 그것의 방향은 제 1 자기 센서(4)의 자화 용이축(40)과 20도의 각도를 형성한다.
- [0040] 양 H_{AC} 및 H_{DC} 장의 조합에 의해, 제 1 자기 센서(4)의 감도(S)가 향상된다.
- [0041] 여기서, H_{DC} 는 자기 센서(4)의 동작점을 최고 감도 범위로 이동시키며, 최적화된 자기장의 크기는 여기서 1.4 mT

와 같다.

- [0042] SCO 나노-입자들(12)의 표류 자계를 발생시키기 위해 도입된 장(H_{AC})은 여기서 100 Hz의 주파수에서 실효값(rms value)으로 0.5 mT와 동일하다.
- [0043] 적어도 하나의 자성 입자들(12)의 세트(10)는 자기 센서의 표면 위에 침착된다.
- [0044] 여기서, 자성 입자들(12)은 클로로폼의 균질 용액 중에 만들어지는 $[Fe(hptrz)_3](OTs)_2$ 스핀-크로스오버(Spin-Crossover) 나노입자들이다. 이들은 제 1 자기 센서의 전체 활성면(14) 위에 직접 떨어진다.
- [0045] 따라서, 검출될 자성 입자들(12)은 움직임이 없고 제 1 자기 센서(4)의 활성면(14) 가까이에 또는 접촉하여 배치된다.
- [0046] 이들 자기 SCO 나노입자들(12)은 상자성 천이(paramagnetic transition)에 대한 반자성체(diamagnetic)에 대응하는 자기 시그니처를 나타내고 여기서 미리 정해진 정도의 습도를 갖는 개방 공기 하에서의 전이 온도들 또는 스위칭 온도들은 각각 냉각 및 가열하는 동안 325 K와 동일한 $T_{1/2\downarrow}$ 및 331 K와 동일한 $T_{1/2\uparrow}$ 이다.
- [0047] 이들 전이 온도들은 동일한 습도 조건들 하에서 동일한 값들을 나타내는 광 반사율 변경 시험에 의해 입증되었다.
- [0048] 처리 유닛(22)은 제 1 자기 센서(4)의 활성면(14) 위의 적어도 하나의 침착된 자성 입자(12)의 존재를 나타내는 자속 시프트(magnetic flux shift)를 제 1 전압 측정 장치(8)에 의해 측정된 상이한 차동 전압들의 세트로부터 검출하기 위해 구성된다.
- [0049] 자성 입자들(12)은 여기서 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘을 때 2개의 자기 상태들 간의 전이의 면에서 스위칭 가능한 분자 나노입자들인 것으로 가정되고, 온도는 스위칭 또는 작동 명령으로서 동작한다.
- [0050] 처리 유닛(22)은, 제 1 자기 센서(22) 상의 미지의 양의 자성 입자들(12)의 침착 후 및 미리 정해진 온도에 걸쳐 온도(T)를 변화시킨 후, 제 1 전압 측정 장치(8)에 의해 출력되고 알려진 환경 물리 조건들 및 운영 시스템 설정들 하에서 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도의 제 1 곡선을 결정하도록 구성된다.
- [0051] 처리 유닛(22)은 그 뒤에 미리 정해진 온도 범위에 걸쳐 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 제 2 곡선을 결정하도록 구성되고, 제 1 곡선의 이러한 하측 부분은 미리 정해진 온도 범위 내에 포함되는 하측 구간 에 대응하고 하측 구간은 온도 스위칭 임계치보다 낮은 그것의 상한을 가진다.
- [0052] 처리 유닛(22)은 나중에 차이 대 제 1 곡선의 차동 전압들 및 동일한 범위의 온도들, 즉 [300K, 350K] 내의 제 2 곡선의 차동 전압들의 온도로서 제 3 곡선을 결정하도록 구성된다.
- [0053] 처리 유닛(22)은 나중에 제 3 곡선이 전압 전이가 일어나는 온도 구간을 나타낼 때 및 이러한 전이의 진폭이 미리 정해진 검출 임계치보다 클 때 적어도 하나의 자성 입자의 존재를 검출하도록 구성되고, 미리 정해진 검출 임계치는 10 nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.
- [0054] 변형예로서, 미세 자기 측정 시스템은 액티브 센서(active sensor)의 활성면 가까이에 배치되는, 온도와는 상이한 물리적 성질을 측정하기 위한 제 2 센서를 포함하고, 2개의 자화 상태들 간의 자성 입자들의 자화의 스위칭 은 온도와는 상이한 물리적 성질이 미리 정해진 스위치 임계치보다 높거나 낮을 때 작동된다.
- [0055] 변형예로서, 미세 자기 측정 시스템은 바람직하게는 액티브 센서의 활성면 가까이에 배치되는, 온도와는 상이한 물리적 환경 특성을 제어하고 및/또는 조절하기 위한 제 2 수단을 포함한다.
- [0056] 변형예로서, 처리 유닛은 그 위에 자성 입자들을 가지지 않는 제 1 자기 센서를 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하의 온도에서 교정하여 제 1 교정 배경 열 잡음 곡선을 제공하도록 구성된다.
- [0057] 처리 유닛은 동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 미리 정해진 온도 범위에 대해 온도를 변화시켜, 제 1 자기 센서 상의 미지의 양의 자성 입자들을 침착한 후, 이어서 보정된 또는 제 1 자기 센서에 의해 행해진 차동 전압 측정치들의 변화로부터가 아닌 차동 전압 측정치들의 변화 대 온도의 제 2 곡선을 결정하도록 구성된다.
- [0058] 처리 유닛은 나중에 동일한 온도 범위 내에서 제 2 곡선의 차동 전압들과 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 온도로서 제 3 곡선을 결정하도록 구성된다.

- [0059] 처리 유닛은 제 3 곡선의 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 안정된 채로 있고 또는 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 자성 입자들의 존재를 검출하도록 구성되고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.
- [0060] 도 2에 따르면, 제 1 자기 센서(4)는 멀티-링 아키텍처에 기초하고 리프트-오프 공정(lift-off process)을 갖는 클래스(class) 1000의 청정실에서 리소그래피 기술을 이용하여 제조된다.
- [0061] 여기서, 자기 트랙(24)은 3중층 재료(tri-layered material), 예를 들어 Ta(3)/NiFe(20)/Cu(0.2)/IrMn(10)/Ta(3)(nm)이다. 이러한 구조에서, 연자성층 NiFe는 수개의 원자 Cu 층을 통해 원거리 교환 바이어스 필드에 의해 반강자성층(IrMn)에 약하게 결합되는 감지 재료이다.
- [0062] 3중층 구조 Ta(3)/NiFe(20)/Cu(0.2)/IrMn(10)/Ta(3) nm은 약 10^{-8} Torr의 기저 진공(based vacuum)을 갖는 6 건(6 gun)-마그네트론 스퍼터링 시스템에 의해 침착된다.
- [0063] 오염을 방지하기 위해, 자기 센서는 200 나노미터의 공칭 두께를 갖는 Si_2O_3 Si_3N_4 2중층에 의해 보호된다.
- [0064] 제 1 자기 센서(4)의 외경(outer diameter)은 여기서 300 μm 와 같고 자기 트랙(24)의 폭(w)은 10 μm 와 같다.
- [0065] 제 1 자기 센서(4)의 자기 트랙(24)은, 자기 센서(4)의 제 1 사분면(126) 내에서 정해지는 원형의 사행 경로들(104)의 미리 정해진 링 수(m)의 제 1 세트로 만들어지는 제 1 아암(102)(최외측 사행 경로(128)는 제 1 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(110)는 제 1 전압 단자(32)에 접속됨), 자기 센서(4)의 제 2 사분면(116) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(114)의 동일한 미리 정해진 수(m)의 제 2 세트로 만들어지는 제 2 아암(112)(최외측 사행 경로(118)는 제 2 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(120)는 제 1 전압 단자(32)에 접속됨), 자기 센서(4)의 제 3 사분면(126) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(124)의 동일한 링 수(m)의 제 3 세트로 만들어지는 제 3 아암(122)(최외측 사행 경로(128)는 제 2 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(130)는 제 2 전압 단자(34)에 접속됨), 자기 센서(4)의 제 4 사분면(136) 내에 정해지는 원형의 사행 경로들(134)의 동일한 링 수(m)의 제 4 세트로 만들어지는 제 4 아암(132)(최외측 사행 경로(138)는 제 1 전류 단자(30)에 접속되고 최내측 사행 경로(140)는 제 2 전압 단자(34)에 접속됨)을 가진다. 이러한 멀티-링 아키텍처는 콤팩트 영역에서 자기 센서의 감도를 향상시킨다.
- [0066] 아암들의 길이가 링 수에 따라 증가함에 따라, 감지 사행 경로들을 충전하는 것은 활성 감지 영역을 증가시킨다. 현재의 방향은 연속 링 경로들을 교대로 변경시키고, 즉 도 2의 삽도(inset)에 나타낸 경로 1에 대해 전류각 범위 $\theta = \pi/2$ 내지 0, 및 도 2의 삽도에서 경로 2에 대해 전류각 범위 $\theta = \pi$ 내지 $3\pi/2$ 가 있다. 경로 1 및 2에 대해 계산된 값의 부호는 동일하고, 이것은 양 전류들에 대한 AMR 효과가 부가적이라는 것을 의미한다. 따라서, 프로파일들의 최대 전압 변동 및 따라서 아암 저항의 필드 감도는 링 수(ring number)를 증가시킨다.
- [0067] 전체 자기 링에 대한 전압 프로파일, 즉 AMR 및 PHR 효과들의 합은 링 아암 저항들의 셀프-밸런싱(self-balancing)으로 인해 인가된 장에 의해 반대칭 거동(anti-symmetric behavior)을 드러내고, 여기서 전압 변동들은 모든 접합 요소들(junction components)에 대해 부가적이다.
- [0068] 제 1 자기 센서의 감도는 작은 교환 결합 필드(exchange coupling field) 및 높은 유효 전류를 가지는 3중층 구조를 이용하여 증가된다. 이러한 멀티-링 아키텍처는 자기 센서의 활성 영역 및 필드 감도를 증가시킨다.
- [0069] 따라서, 제 1 자기 센서는 SCO 나노-입자들의 스핀 상태들의 스위칭을 검출할 수 있는 평면 홀 효과(Planar Hall Effect: PSE) 및 이방성 자기 저항(Anisotropic Magneto Resistive: AMR)을 결합하는 고감도 하이브리드 자기-저항(MR) 센서이다.
- [0070] 바람직하게는, 원형의 사행 경로들의 링 수(m)는 9와 13 사이에 포함된다. 여기서 각각의 아암은 11개의 사행 경로들 또는 원형 링들의 1/4들(quarters)을 가지며, 이러한 수는 제 1 자기 센서(4)의 감도를 최대화한다.
- [0071] 이러한 다층 스택은 약 $S = 15$ 볼트 / T^{-1} 의 매우 높은 감도 및 100 Hz에서 약 $1 \text{ nV}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$ 의 낮은 백색 잡음을 나타낸다.
- [0072] 도 3의 전기 방식(electrical scheme)에 따르면, 4개의 아암들의 접속성 및 트랙의 멀티-링 기하학은 휘스톤 브리지 구성(Wheatstone bridge configuration)을 발생시킨다.

[0073] 제 1 자기 센서의 출력 전압은 플레이너 효과(planar effect) 홀 효과로서 알려져 있고 식 $V_{PHE} = V_0 \sin \theta \cdot \cos \theta$ 에 의해 주어지고, 여기서 V_0 는 센서의 자화에 대한 평행 저항률 ρ_{\parallel} 및 수직 저항률 ρ_{\perp} 과 같은 센서의 구조 파라미터, 센서의 두께(t), 및 센서의 크기에 의존하고, θ 는 실제 자화의 방향과 인가된 자기장 간의 각도이다.

[0074] 링 아키텍처는 유리하게는 휘스톤 브리지 전기 구성으로 인해 높은 감지 성능을 제공한다.

[0075] 일반적인 경우에 있어서, 제 1 전압 단자의 제 1 전압(V1)과 제 2 전압 단자의 제 2 전압(V2) 사이에서 검출된 차동 전압(V_b)은,

$$[0076] V_b = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_0$$

[0077] 으로 기재되고, 여기서 R_1, R_2, R_3, R_4 는 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 아암들(102, 112, 122, 132)의 저항을 각각 나타낸다.

[0078] 3개의 상이한 검출 로딩 구성들이 도모된다.

[0079] "1/4 브리지 구성(quarter bridge configuration)"으로서 불리는 제 1 구성에 있어서, 자성 입자들은 단일 아암 위에, 예를 들어 제 4 아암(132) 위에 침착되고, 나머지 3개의 아암들(102, 112, 122)은 그 위에 자성 입자들을 가지지 않는다.

[0080] 이러한 제 1 구성에 있어서, 제 1, 제 2, 제 3 아암들(102, 112, 122)의 저항들(R_1, R_2, R_3)은 동일한 기준 저항값(R)과 같고, 제 4 아암(132)의 저항(R_4)은 $R + \Delta R$ 과 같다.

[0081] 이러한 제 1의 경우에 있어서, V_{b1} 로 나타낸 검출된 상이한 전압은,

$$[0082] V_{b1} = \left(\frac{\Delta R / R}{2(2 + \Delta R / R)} \right) \cdot V_0$$

[0083] 을 따른다.

[0084] "반 브리지 구성(half bridge configuration)"으로서 불리는 제 2 구성의 경우에 있어서, 자성 입자들(12)은 2개의 대향 아암들 위에, 예를 들어 제 2 및 제 3 아암들(112, 122) 위에 침착되고, 나머지 2개의 아암들(102, 132)은 그 위에 자성 입자들을 가지지 않는다.

[0085] 이러한 제 2 구성에 있어서, 제 1 및 제 4 아암들(102, 132)의 저항들(R_1, R_4)은 동일한 기준 저항값(R)과 같고, 로딩된 제 2 및 제 3 아암들(112, 122)의 저항(R_2, R_3)은 $R + \Delta R$ 과 같다.

[0086] 이러한 제 2 구성에 있어서, V_{b2} 로 나타낸 검출된 상이한 전압은,

$$[0087] V_{b2} = \left(\frac{\Delta R / R}{2 + \Delta R / R} \right) \cdot V_0$$

[0088] 을 따른다.

[0089] "풀 브리지 구성(full bridge configuration)"으로서 불리는 제 3 구성에 있어서, 자성 입자들은 자기 센서의 전체면, 즉 4개의 아암들 위에 침착된다.

[0090] 이러한 제 3 구성에 있어서, 제 1 및 제 4 아암들(102, 132)의 저항들(R_1, R_4)은 동일한 저항값(R) + ΔR 과 같고, 한편 로딩된 제 2 및 제 3 아암들(112, 132)의 저항들(R_2, R_3)은 $R - \Delta R$ 와 같다.

[0091] 이러한 제 3 구성에 있어서, V_{b3} 으로 나타낸 검출된 상이한 전압은,

$$[0092] V_{b3} = \frac{\Delta R}{R} \cdot V_0$$

- [0093] 을 따른다.
- [0094] 3개의 위에 기재한 구성들 중, 풀 브리지 구성은 최고의 감도를 나타낸다.
- [0095] 도 4에 따르면, 도 3에 기재된 제 1 마이크로-자기 측정 자기 센서는 자기 센서의 자화 용이축(40)과 자기 바이어스 필드 방향 사이에 형성된 바이어스각(α)의 상이한 값들에 의해 특정 지워진다.
- [0096] 여러 프로파일들(202, 204, 206, 208, 210, 212)의 세트(200)는 바이어스각 세트를 0, 10, 20, 45, 60, 90도에 대한 바이어스각(α)에 각각 대응지어 도시된다.
- [0097] 자기 센서(4)의 바이어스 전류는 1 mA로 설정된 채로 있다. 바이어스 자기장(H_{DC})은 -20 내지 20 mT 범위에서 펼쳐진다.
- [0098] 기울기 dV/dH 로서 정의된, 프로파일의 지점에서의 감도(S)는 전압 프로파일들로부터 추론되고, 각각의 바이어스각 값에 대한 감도의 최대치는 도 5에 나타난 곡선(220)으로 그려진다.
- [0099] 바이어스 자기장(H_{DC})과 자화 용이축(40) 사이에서 형성되는 바이어스각(α)은 감도(S)가 최대가 되도록 선택된다.
- [0100] 도 5에 나타난 곡선 220으로부터, 감도(S)는 20도와 같은 α 에 대해 최대이고 $16 \text{ V}\cdot\text{T}^{-1}$ 와 같다. 바이어스각(α)에 대한 20도의 이러한 값은 도 1에서 선택되었다.
- [0101] 미세 자기 측정 시스템(2)이 사용될 때, 2개의 전압 단자들 간의, 측정 전압 장치로부터 출력된 실효 측정 전압(V_{eff})은 2개의 기여들: 자성 입자들(V_{stray})로부터 발생하는 직선 필드에 의해 수평으로 야기되는 전압 응답 및 오목한 전압 응답(V_{drift})을 포함한다.
- [0102] 따라서, 실효 전압(V_{eff})은,
- [0103]
$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$
- [0104] 으로서 표현될 수 있다.
- [0105] 센서의 전압 응답은,
- [0106]
$$V_{drift} = C \frac{I}{t} (\rho_{||} - \rho_{\perp})$$
- [0107] 에 의해 기재될 수 있고, 여기서 I는 자기 센서(4)에 인가되는 DC 바이어스 전류이고, t, $\rho_{||}$, ρ_{\perp} 는 각각 자화 수직선에 평행한 전류의 경우의 감지층의 두께 및 저항율이다.
- [0108] 도 6에 따르면, 본 발명에 따른 미세 자기 측정 시스템(302)의 제 2 실시예는 도 1의 미세 자기 측정 시스템(2)으로부터 유도되고 동일한 참조 번호들로 나타난 몇몇 부품들을 포함한다.
- [0109] 도 6의 미세 자기 측정 시스템(320)은 제 1 자기 센서(4) 외부의 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)이 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30) 사이에 접속되는 변형된 제 1 전류 소스(326) 및 제 1 자기 센서(4)에 의해 형성되는 세트(320)에 의해 대체되고 제거되는 점이 도 1의 미세 자기 측정 시스템과 다르다.
- [0110] 이러한 제 2 실시예에 있어서, 변형된 제 1 전류 소스는 10 내지 3 KHz 범위의, 여기서는 100 Hz로 설정된 일정 주파수(ω)에서 시간에 따라 발전하는 교류(AC)를 발생하도록 구성된다.
- [0111] 자기-유도에 의해, 제 1 변형 전류 소스(326)에 의해 교류(AC)를 공급받는 제 1 자기 센서(4)의 자기 트랙(24)은 각각의 자성 입자에 의해 표류 자계를 생성시키기 위해 자기 여기장(H_{AC})을 발생시키고, 표류 자계는 제 1 자기 센서에 의해 검출 가능하다.
- [0112] 환언하면, AC 바이어스 전류(I)가 제 1 자기 센서(4)에 인가될 때, 자기 센서(4)는 자화 용이축(40)을 전체적으로 둘러싸는 자기장을 발생하고, 플럭스의 방향은 암페어의 법칙을 따른다.

[0113] 전압 단자들 간의 측정 전압(V_b)은,

$$V_b = S_0 \cdot \langle H_{\perp} \rangle + I \cdot R_{offset}$$

[0115] 으로서 기재될 수 있고, 여기서 I 는 자기 센서 전류이고, S_0 는 자기 센서의 감도이고, $\langle H_{\perp} \rangle$ 는 자기 센서의 표면에 걸쳐 평균화된 자기장이다.

[0116] 이들 측정들에 있어서, 센서의 활성면 가까이에 배치된 부동 자성 입자들은 센서 자기 자기장(H_{self})에 의해 자화된다.

[0117] H_{self} 가 I 에 비례하는 것을 이용하고 입자 자화가 인가된 장에 정비례하는 것으로 가정하면, 자기 센서 표면에 걸쳐 평균화된 자성 입자들로부터의 표류 자계 $\langle H_{stray} \rangle$ 는,

$$\langle H_{stray} \rangle = \gamma \cdot \chi \cdot I$$

[0119] 로서 기재될 수 있고, 여기서 χ 는 자성 입자의 민감성이고 γ 는 자기 센서 기하학 및 자성 입자들의 체적 분포에 의존한 비례항의 상수이다.

[0120] 자성 입자들을 자화하기 위한 셀프 필드(self field)를 이용하는 것은 제 1 자기 센서의 활성면 가까이에 침착된 자성 입자들만이 자화될 것을 보장한다.

[0121] 도 1의 미세 자기 측정 시스템과 유사하게, 2개의 전압 단자들의, 측정 전압 장치로부터 출력된 측정 전압(V_{eff})은 2개의 기여들(자성 입자들(V_{stray})로부터 발생된 직선 필드에 의해 수평으로 야기되는 전압 응답 및 오목한 전압 응답(V_{drift}))을 포함하고,

$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$

[0123] 으로서 표현된다.

[0124] 도 7에 따르면, 본 발명에 따른 미세 자기 측정 시스템(402)의 제 3 실시예는 도 1의 미세 자기 측정 시스템(2)으로부터 유도되고 동일한 참조 번호들로 나타낸 몇몇 부품들을 포함한다.

[0125] 도 7의 미세 자기 측정 시스템(402)은 그것이 제 2 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서(404)를 더 포함하고 도 1의 제 1 전압 측정 장치(8)가 변형된 전압 측정 장치(408)로 대체되는 점이 도 1의 미세 자기 측정 시스템과 다르다.

[0126] 제 2 자기 센서(404)는 제 1 자기 센서 중 하나와 동일한 구조를 가지며 동일한 형상 패턴을 갖는 페루프 자기 트랙(424)을 가진다.

[0127] 제 2 자기 센서(404)는 페루프 자기 트랙(424)과 서로 접촉하여 마주하는 한 쌍의 전류 단자들을 형성하는 제 1 전류 단자(428) 및 제 2 전류 단자(430)를 가진다.

[0128] 제 2 자기 센서(404)는 페루프 자기 트랙(424)과 서로 접촉하여 마주하고 출력 차동 전압이 검출되는 한 쌍의 전압 단자들을 형성하는 제 1 전압 단자(432) 및 제 2 전압 단자(434)를 가진다.

[0129] 제 2 자기 센서(404)는 제 1 전류 단자(428) 및 제 2 전류 단자(430)를 통과하는 축선으로 규정되는 자화 용이축(440)을 가진다.

[0130] 제 1 및 제 2 자기 센서들(4, 404)은 이들 각각의 자화 용이축(40, 440)이 동일 선상에 있도록 배치된다.

[0131] 제 1 및 제 2 자기 센서들(4, 404)이 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판 위에 서로 가까이에 배치되어 동일한 자기장이 자성 입자들이 동일한 잡음을 갖는 센서들 위에 침착되지 않을 때 수신되어 검출된다.

[0132] 제 2 자기 센서의 제 1 전류 단자(428) 및 제 2 전류 단자(430)는 제 1 자기 센서(4)의 제 1 전류 단자(28) 및 제 2 전류 단자(30)에 각각 접속된다.

- [0133] 따라서, 제 1 전류 또는 전압 소스(6)는 동일한 잡음 특성들을 가지는 각각의 전류를 갖는 제 1 자기 센서(4) 및 제 2 자기 센서(404)에 병렬로 공급된다.
- [0134] 변형된 제 1 전압 측정 장치(408)는 도 1의 제 1 전압 측정 장치(8)에 기초하고(여기서는 제 2의 저 잡음 증폭기(444) 및 차동 유닛(450)), 20 dB의 이득을 갖는 제 2의 저 잡음 증폭기(444)는 그것의 입력들이 제 1 전압 단자(432) 및 제 2 전압 단자(434)에 접속되고 그것의 출력이 차동 유닛(450)의 제 1 입력에 접속된다.
- [0135] 제 1의 저 잡음 증폭기(4)는 그것의 출력이 차동 유닛(450)의 제 2 입력에 접속된다.
- [0136] 차동 유닛(450)은 위상 고정 루프에 기초하여 동기화 증폭 장치(46)에 접속된 출력을 가진다.
- [0137] 차동 유닛(450)은 제 1 자기 센서(4)의 전압 단자들에서 검출된 증폭된 차동 전압과 제 1 자기 센서(404)의 전압 단자들에서 검출된 증폭된 차동 전압 간의 차이 전압을 결정하도록 구성된다. 따라서 2개의 자기 센서들에 공통인 잡음들의 소스들은 감산 유닛(450)에 의해 소거된다.
- [0138] 도 7의 미세 자기 측정 시스템(402)의 변형예로서, 제 1 자기 센서(4) 외부의, 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)은 제 1 및 제 2 전류 단자들(28, 30) 사이에서 접속되는, 변형된 제 1 전류 소스(326) 및 제 1 자기 센서(4)에 의해 형성되는 세트(320)에 의해 제거되어 대체된다.
- [0139] 도 8에 따르면, 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법(500)의 제 1 실시예는 도 1, 6 및 7에 규정된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해진다.
- [0140] 이러한 방법(500)은 스위칭 명령으로 동작하는 스위칭 물리적 성질 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘음으로서 스위칭 가능한 분자 나노 입자들인 자성 입자들 중 어느 하나에 적용 가능하다. 이와 같은 자성 입자들은 $A_nB_k[M(CN)_6]_l \cdot mH_2O$ 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자이고, 여기서 A는 Co, Ni, Fe 등일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , $fml aCo^{II}$, Co^{III} , ...)일 수 있고 C는 알칼리 금속이다.
- [0141] 미세 자기 측정 검출 방법(500)은 연속해서 실행되는 다음 단계들을 포함한다. 제 1의 단계 502에서, 미지의 양의 자성 입자들이 제 1 자기 센서 위에 침착되고, 자성 입자들은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 분자 나노입자들이다.
- [0142] 다음 단계 504에서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 물리적 성질 크기를 변화시킴으로써, 자기 측정 시스템이 제 1의 단일 자기 센서를 포함할 때, 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화 대 물리적 성질의 크기로서의 제 1 곡선이 제공되고, 또는 자기 측정 시스템이 제 1 자기 센서 및 제 2 자기 센서를 포함할 때, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 2 세트가 출력되고, 제 1 곡선은 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 차동 전압 측정치들 간의 차이의 물리적 성질 대 변화로서 결정된다.
- [0143] 이후, 다음 단계 506에서, 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐, 제 2 곡선은 제 1 곡선의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 결정되고, 제 1 곡선의 이러한 하측 부분은 그것의 하한이 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 물리적 성질의 미리 정해진 범위 내에 포함되는 하측 구간에 대응한다.
- [0144] 이후, 단계 508에서, 제 3 곡선은 물리적 성질의 동일 범위의 크기 내에서 제 1 곡선의 차동 전압들과 제 2 곡선의 차동 전압들 간의 스위칭 물리적 성질의 차이 대 크기로서 결정된다.
- [0145] 다음 단계 510에서, 자성 입자들의 존재는 전이가 일어날 때 스위칭 물리적 성질 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 및 전이의 진폭이 미리 정해진 검출 임계치보다 클 때 검출되고 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.
- [0146] 도 9에 따르면, 미세 자기 측정 시스템(2)에 의해 출력되는 실효 전압(V_{eff})의 대표 전압 프로파일(522) 변화(evolution) 대 환경 온도(T), 및 피팅 곡선(524)이 대표 프레임(520)에 도시된다.
- [0147] 대표 프레임(520)은 mV로 표현된 출력 전압의 세로축(526) 및 켈빈도(degree Kelvin)로 표현된 환경 온도축의 가로축(538)을 포함한다.
- [0148] 전압 프로파일(522)은 2개의 기여들, 즉 오목한 전압 응답(V_{drift}) 및 SCO 입자들(V_{stray})로부터 발생된 직선 필드에 의해 수평으로 생긴 전압 응답을 나타낸다.

- [0149] 따라서, 실효 전압(V_{eff})은,
- [0150]
$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$
- [0151] 으로서 표현될 수 있다.
- [0152] 전압 프로파일(522)은 또한 가열 방향(532)에서의 상측 곡선 부분 및 냉각 방향(534)에서의 하측 곡선 부분을 가지는 히스테리시스 루프(530)를 나타낸다. 이러한 히스테리시스 루프(530)는 SCO 입자들 전이의 자기 시그너처이다.
- [0153] 실제로, 자기 센서 V_{drift} 곡선(524)의 전압 응답은 온도 [300 K, 350 K] 범위에 걸쳐 전압 프로파일(522)의 하측 부분으로부터 피팅 곡선으로서 결정되고, 전압 프로파일(522)의 이 하측 부분은 그것의 하한이 미리 정해진 스위칭 임계치보다 낮은 물리적 성질의 미리 정해진 범위 내에 포함된 하측 온도 구간에 대응한다. 예를 들어, 하측 온도 구간은 [300 K, 320 K]이다.
- [0154] 도 10에 따르면, 표류 자계 전압(V_{stray}) 대 환경 온도(T)의 전압 프로파일(552) 변화가 대표 프레임(550)으로 도시된다.
- [0155] 표류 자계 전압(V_{stray})의 전압 프로파일(552) 변화는 실효 전압(V_{eff})(522)에 대한 전압 드리프트 V_{drift} 곡선(524)의 감산으로부터 유도된다.
- [0156] 감산은 검출 방법(500)의 단계 508에서 처리 유닛(22)에 의해 행해진다.
- [0157] 대표 프레임(550)은 mV로 표현되는 표류 자계 전압(V_{stray})의 세로축(554) 및 켈빈도로 표현되는 환경 온도축의 가로축(556)을 포함한다.
- [0158] 전압 프로파일(552)은 가열 방향(564)에서의 하측 곡선 부분(562) 및 냉각 방향(568)에서의 상측 곡선 부분(566)을 가지는 히스테리시스 루프(560)를 나타낸다.
- [0159] 이러한 히스테리시스 루프(560)는 SCO 입자들 전이의 자기 시그너처이다.
- [0160] 전이 온도들은 히스테리시스 루프(560)의 히스테리시스 곡선들의 중간의 8개에서 픽업된다.
- [0161] 여기서 위에 기재된 것과 같은 제 1 자기 센서(4)의 치수(dimensioning) 및 성능 및 SCO 입자들에 대한 250 nm의 평균 직경을 갖고, 자기 센서에 의해 검출될 수 있는 최소 자기장은 10 nT와 같다.
- [0162] 자력계(2)의 검출 능력은 센서 면적에 의존하기 때문에, 자기 센서를 500 nm의 크기로 함으로써, 단일 자성 입자는 25 nV의 양을 추론할 것으로 예상된다. 이것은 실온에서 단일 SCO 입자의 자기 시그너처를 검출하는 것을 가능하게 한다.
- [0163] 상이한 구성으로 자기 센서에 인접해서 또는 2개의 자기 센서들 근처에 증폭기를 통합함으로써 1 피코 테슬러(10^{-12} T)에 이르기까지 국부 자기장이 검출될 수 있다.
- [0164] 일반적으로, 센서 링의 하나의 아암의 폭은 나노-규모에서 마이크로-스케일까지의 범위에 있고 자기 측정치의 유효 크기는 50 nm에서 1 mm까지의 범위에 있다.
- [0165] 도 11에 따르면, 미세 자기 측정 검출 방법(600)의 제 2 실시예는 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위해 행해진다.
- [0166] 이러한 방법(600)은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들인 자성 입자들 중 어느 하나에 적용 가능하다. 이와 같은 자성 입자들은 $A_nB_k[M(CN)_6]_l \cdot mH_2O$ 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자이고, 여기서 A는 Co, Ni, Fe 등일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , $fml aCo^{II}$, Co^{III} , ...) 일 수 있고 C는 알칼리 금속 양이온이다.
- [0167] 이러한 방법은 Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $Fe@Fe_3O_4$, $CoFe@Fe_3O_4$, Ni와 같은 임의의 상자성 입자들에, Fe, CoFe, Ni와 같은 임의의 강자성 입자들에, 임의의 반강자성 입자들 즉 다층 구조 Ti/Fe, Cr, NiO, Co_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$, CuO, MnO, Cr_2O_3 나노입자들을 갖는 임의의 입자들, 및 구형상 및 50 nm 내지 10 μm 범위의 임의의 크기를 갖는 폴리머 매트릭스

의 Fe_3O_4 로 만들어진 임의의 자기 구슬에 적용 가능하다.

- [0168] 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위한 미세 자기 측정 검출 방법(600)은 도 1, 6 및 7에 규정된 미세 자기 측정 시스템에 의해 행해질 수 있다.
- [0169] 미세 자기 측정 검출 방법(600)은 연속해서 실행되는 다음 단계들을 포함한다. 제 1의 단계 602에 있어서, 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 시스템이 단일의 제 1 자기 센서(4)를 포함할 때, 제 1 자기 센서는, 또는 자기 측정 시스템이 제 1 자기 센서(4) 및 제 2 자기 센서(404)를 포함할 때, 온도가 교정되고 제 1 교정 배경 열 잡음 곡선이 제공된다.
- [0170] 다음 단계 604에 있어서, 미지의 양의 자성 입자들(12)이 제 1 자기 센서(4) 위에 침착된다.
- [0171] 이후 다음 단계 606에 있어서, 동일한 제 1의 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 미리 정해진 범위의 온도 상에서 온도를 변화시킴으로써, 자기 측정 시스템(2, 302)이 제 1의 단일 자기 센서(4)를 포함할 때, 제 2 곡선은 제 1 센서 대 온도에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 변화로서 출력되고, 또는 자기 측정 시스템(402)이 제 1 자기 센서(4) 및 제 2 자기 센서(404)를 포함할 때, 제 1 센서(4)에 의해 행해지는 차동 전압 측정치들의 제 1 세트는 그 위에 자성 입자들을 가지며 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서(404)에 의해 행해진 차동 전압 측정치들의 제 2 세트가 출력된다. 동일 단계 506에 있어서, 제 2 곡선은 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 차동 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 변화 대 온도로서 결정된다.
- [0172] 다음 단계 608에 있어서, 제 3 곡선은 동일 온도 범위 내에서 제 2 곡선의 차동 전압들과 제 1 곡선의 차동 전압들 간의 차이 대 온도로서 결정된다.
- [0173] 이후, 다음 단계 610에 있어서, 자성 입자들의 존재는 제 3 곡선의 전압차들의 절대값이 미리 정해진 검출 임계치 위에서 안정된 채로 있고 또는 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 온도 구간을 제 3 곡선이 나타낼 때 검출되고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.
- [0174] 도 12에 따르면, 제 1 교정 배경 열 잡음(650) 프로파일의 예가 도시된다.
- [0175] 제 1 자기 센서(4) 또는 제 1 및 제 2 자기 센서(4, 44)의 세트의 이러한 교정은 검출 방법(600)의 단계 602에서 행해진다. 이러한 열적 교정 단계 동안, 제 1 자기 센서(4)는 로딩되지 않고, 즉 어떠한 자성 입자들도 그 위에 침착되지 않고 온도는 일단 온도를 증가시키고 온도를 감소시킴으로써 온도가 변경된다.
- [0176] 프로파일(650)은 가열 방향에 대응하는 제 1 곡선(652) 및 냉각 방향에 대응하는 제 2 곡선(654)을 포함한다. 이들 곡선들은 동일하고 교정 프로파일(650)은 어떠한 히스테리시스 사이클도 나타내지 않는다.
- [0177] 도 13에 따르면, 이들의 대응하는 전이 온도들을 갖는 2개의 상이한 히스테리시스 사이클들 또는 루프들(672, 674)의 세트가 2개의 상이한 습도 조건들, 즉 80% 및 60% 각각 하에서 검출되는 동일한 사용되는 SCO 입자들에 대해 도시된다.
- [0178] 이들 2개의 히스테리시스 사이클들(672, 674)은 히스테리시스 사이클의 상측 전압 및 하측 전압에 대한 정규화된 출력 전압의 세로축(676) 및 켈빈도로 표현되는 환경 온도축의 가로축(678)을 포함하는 대표 프레임(670)으로 도시된다.
- [0179] 80% 습도에 대응하는 히스테리시스 루프(672)는 제 1 전이 온도(680) 및 제 2 전이 온도(682)를 나타낸다. 60% 습도에 대응하는 히스테리시스 루프(674)는 제 1 전이 온도(692) 및 제 2 전이 온도(694)를 나타낸다. 전이 온도들 및 히스테리시스 루프의 폭이 습도를 추정하는데 사용될 수 있는 것을 여기서 볼 수 있다.
- [0180] 그러므로, 이와 같은 거동은 도 1, 6, 및 7에 기재된 미세 자기 측정 시스템을 포함하는 습도 측정 시스템을 구축하기 위해 활용되고, 여기서 입자들은 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘고 습도에 민감한 스위칭 가능한 분자 나노입자들이고, 미리 정해진 온도 스위칭 임계치 또는 히스테리시스 루프 폭은 습도 환경에 의존한다.
- [0181] 처리 유닛은 자성 입자들의 자기 변화 측정치들, 및 다른 습도 측정 방법에 의해 측정된 교정된 습도들과 도 8 또는 도 11에 기재된 미세 자기 측정 방법에 의해 측정된 히스테리시스 사이클 폭 또는 대응하는 온도(T) 전이 간의 이전에 결정된 매핑 곡선으로부터 습도를 결정하도록 구성된다.
- [0182] 도 8 또는 도 11의 자기 측정 방법 및 스핀 크로스오버를 결합하여, 시스템은 가스를 검출하기 위한 가스 센서로서 사용될 수 있다. 습도와 같은, 시스템에 영향을 주는 임의의 외부 가스는 또한 환경 가스 농도의 함수로서

스핀 크로스오버 곡선들을 이동시킨다.

[0183] 따라서, 미리 정해진 온도 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 임의의 분자 나노-입자들(미리 정해진 온도 스위칭 임계치는 외부 분자들의 일부 증기의 환경 농도에 의존함)이 사용될 수 있다.

[0184] 이와 같은 경우에, 처리 유닛은 외부 분자들의 증기의 환경 농도에 민감한 자성 입자들의 자기 변화 측정치들로부터 및 다른 방법에 의해 측정된 외부 분자들의 증기의 교정된 환경 농도와, 온도 임계치, 전이 온도, 또는 도 8 또는 도 11에 기재된 미세 자기 측정 방법에 의해 검출된 자성 입자들의 자기 특성 변화를 통해 결정된 히스테리시스 루프의 폭과 같은 대응하는 파라미터 간의 이전에 결정된 매핑 곡선으로부터 외부 분자들의 증기의 환경 농도를 결정하도록 구성된다.

[0185] 검출될 수 있는 가스 또는 외부 분자들의 증기는 예를 들어, N₂, He, I₂, CO₂, 에탄올, 메탄올, 2-프로판올, 아세톤, D₂O, CS₂, CO, 요오드(I), 붕소(Br), 염소(Cl), 벤젠, 톨루엔, 클로로벤젠, 브로모벤젠, 요오드벤젠, 디클로로벤젠, 트리클로로벤젠, 피라진, 피리딘, 피롤, 티오펜, 푸란, thf 와 같은 것들이 있다.

[0186] 도 11에서 위에 기재된 검출 방법(600)은, A_nB_k[M(CN)₆]_l.mH₂O 형태의 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자들(여기서 A는 Co, Ni, Fe 등일 수 있고, B 및 M은 여러 전이 금속들(Fe^{II}, Fe^{III}, Mn^{II}, Mn^{III}, Co^{II}, Co^{III}, ...)일 수 있고 C는 알칼리 금속 양이온임), 임의의 상자성 입자들(Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe@Fe₃O₄, CoFe@Fe₃O₄, Ni,...), 임의의 강자성 입자들(Fe, CoFe, Ni), 임의의 반강자성 입자들(다층 구조 Ti/Fe, Cr, NiO, Co₃O₄, α-Fe₂O₃, CuO, MnO, Cr₂O₃, 나노입자들을 갖는 임의의 입자들), 50 nm 내지 10 μm 범위의 임의의 크기 및 구형상을 갖는 폴리머 매트릭스의 Fe₃O₄로 만들어진 임의의 자기 구슬과 같은 입자들의 검출을 위해 사용될 수 있다.

[0187] 이러한 시스템은 임의의 온도에서 상이한 형태들(미세결정 분말들, 나노입자들, 얇은 층 등 형태의 재료들)의 모든 자성 재료들(상자성체, 반자성체, 강자성체, 반강자성체, 페리자성체)의 자화 변동(자화 커뮤테이션)을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 대표 예들로서, 다음과 같은 것: 금속 재료들, 금속 산화물들, 희토류 원소들, 유기금속 착염들, 배위 착염들(자기 분자들, 마그넷 체인들, 및 특히 스핀 크로스-오버 재료들, 로드 재료들(load material)의 전이 등)이 예시될 수 있다.

[0188] 금속들, 금속 산화물들

[0189] 대표 금속 유도체들로서, Co, Ni, Fe 등과 같은 화합물들 및 합금들 AB(여기서 A = Co, Ni, Fe 등이고 B = Pt, Fe 등임)가 예시될 수 있다.

[0190] 또한, 대표 금속 산화물들 유도체들로서, FeO, Fe₂O₃, CuO, ZnO 등이 예시될 수 있다.

[0191] 자기 화합물들 및 분자 착물들

[0192] 대표 자기 화합물들 및 분자 착물들로서는 마그넷 분자들(Mn₁₂ 등), 마그넷 체인들(호모폴리머뉴클리어 및 헤테로폴리머뉴클리어 화합물들) 등이 예시될 수 있다.

[0193] 헤테로폴리머뉴클리어 자기 화합물들로서, 사람은 플러시안 블루(Prussian Blue) 및 일반식 M_x[M'(CN)₆]_y.nH₂O et A_xM_y[M'(CN)₆]. nH₂O의 그것의 유사물들을 예시할 수 있고, 여기서 A는 알칼리성 양이온을 나타내고 M 및 M'은 2가 또는 3가 전이 금속들의 양이온들 예컨대 Fe₄[Fe(CN)₆]₃.15H₂O, CsNi[Cr(CN)₆] 등을 나타낸다.

[0194] 스핀 크로스-오버 재료들로서 특히 식(I)의 철 착염들이 예시될 수 있고,



[0196] 여기서, L은 리간드(ligand) 예컨대 trz(triazole), NH₂trz, Fatrz((4-formylamino-1,2,4-triazol), Hptrz(heptyl triazole) 등을 나타내고, X는 음이온 반대이온 예컨대 OTf(triflate ou trifluoromethanesulfonate), p-tol 또는 tof(p-toly lsulfonate 또는 tosyl), tetrafluoroborate, nitrate, Br, Cl 등을 나타내고, x는 0과 10 사이에 포함되는 정수이다.

[0197] 대안의 스핀 크로스-오버 재료들로서, 사람은 일반식(II)의 유도체들을 예시할 수 있다.

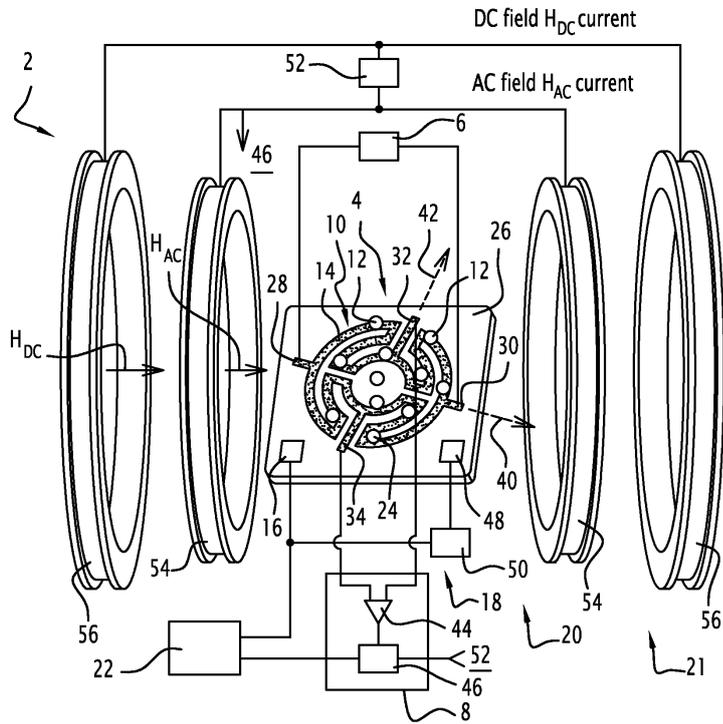


- [0199] 여기서, M은 금속 예컨대 Ni 또는 Co를 나타내고, M'은 Ni, Pd, Pt 등으로부터 선택된, M과 동일 또는 상이한 금속을 나타내고, L은 비스-모노덴트 리간드 예컨대 피라진(pz), 아조피리딘(azpy), bis(4-pyridyl)acetylene(bpac) 등을 나타내고, y는 엄밀히 말해 0 및 1과는 상이한, 0과 1 사이에 포함된다.
- [0200] 부하 전달 화합물로서, 사람은 식 $[Fe(Cp^*)_2][TCNE](TCNE = \text{tetracyanoethylene})$, $[Mn(Cp^*)_2][TCNQ](TCNQ = \text{tetracyanoquinodimethane})$ 등의 화합물과 같은, 도너/어셉터 쌍들에 의해 형성되는 유도체들을 예시할 수 있다.
- [0201] 본 발명에 따른 다른 부하 전달 재료들은 또한 일반식 $A_xM_y[M'(CN)_6] \cdot nH_2O$ 의 플러시안 블루의 유사물들을 포함하고, A는 알칼리성 양이온이고 M 및 M'은 2가 또는 3가 전이 금속들의 양이온들 예컨대 $Na_xCO_y[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$ 등을 나타낸다.
- [0202] 도 8에서 위에 기재한 검출 방법(500)은 위에 기재한 임의의 스위칭 가능 분자 나노입자들의 검출에 사용될 수 있다.
- [0203] 변형예에 있어서, 전류 단자들을 통과하는 제 1 전류 소스에 의해 주입되는 전류는 직류(DC) 및 교류(AC)의 합이다.
- [0204] 일반적으로, 자기 트랙은 강자성 필름 및 반-강자성 필름을 구비하는 2중층 구조, 또는 스핀-밸브 구조, 또는 강자성 필름, 금속 및 반-강자성 필름을 구비하는 3중층 구조이다.
- [0205] 도 7의 미세 자기 측정 시스템(402)의 변형예에 있어서, 제 1 및 제 2 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서들(4, 404)은 십자형 또는 단일 링 페루프형 중에서 동일 형상 및 동일 자기 구조를 가지는 자기 센서들로 대체된다.
- [0206] 십자형 또는 단일 링 페루프형 중에서 동일 형상을 갖는 제 1 및 제 2 자기 센서들은 이들 각각의 자화 용이축이 방향의 면에서 동일 선상에 있도록 즉 서로 평행하도록 배치된다.
- [0207] 제 1 및 제 2 자기 센서들이 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기관 상에서 가능한 한 가까이에 배치되어 자성 입자들이 동일한 잡음을 갖는 센서 위에 침착되지 않을 때 동일한 자기 및 온도 응답이 수신되어 검출된다.
- [0208] 제 2 자기 센서의 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자는 제 1 자기 센서의 제 1 전류 단자 및 제 2 전류 단자에 각각 접속된다.
- [0209] 따라서, 제 1 소스 전류는 제 1 자기 센서 및 제 2 자기 센서와 병렬로 공급되고 각각의 전류는 동일한 잡음 특성들을 가진다.
- [0210] 변형된 전압 측정 장치(408)의 구조는 동일하게 유지되고 변형된 전압 측정 장치는 제 1 자기 센서의 전압 단자들에서 검출된 증폭 차동 전압과, 제 2 자기 센서의 전압 단자들에서 검출된 증폭 차동 전압 간의 차이 전압을 결정하도록 구성된다.
- [0211] 따라서, 2개의 자기 센서들에 공통인 잡음들의 소스들이 제거된다.
- [0212] 도 7의 미세 자기 측정 시스템(402)에 대해, 제 1 자기 센서(4) 외부의, 자기 여기장(H_{AC})을 생성하기 위한 수단(20)은 제 1 자기 센서에 의해 형성된 세트에 의해 제거되어 대체되고, 제 2 자기 센서 및 변형된 제 1 전류 소스는 제 1 자기 센서의 제 1 및 제 2 전류 단자들 사이 및 제 2 자기 센서의 제 1 및 제 2 전류 단자들 사이에서 교류를 발생시킨다.
- [0213] 사실, 전류 바이어싱의 면에서 본원의 위에서 기술한 하나 또는 2개의 멀티-링 자기 센서들 및 외부 자기장을 생성하기 위한 수단을 이용하는 자기 측정 시스템에 대해 기술된 모든 변형예들은 십자형 또는 단일 링 페루프형 중에서 동일 형상을 가지며 상이한 방식으로 서로 접속되는 2개의 자기 센서들을 이용하는 자기 측정 시스템에 대해 이용될 수 있다.
- [0214] 도 5 및 8에서 기술된 것과 같은 검출 방법들이 또한 이용될 수 있다.
- [0215] 미세 자기 측정 시스템(702)의 이와 같은 변형예의 예는 도 14에 부분적으로 도시되고 여기서 도 7의 2개의 멀티-링 자기 센서들(4, 404)은 2개의 십자형 자기 센서들(706, 726)에 의해 대체된다.

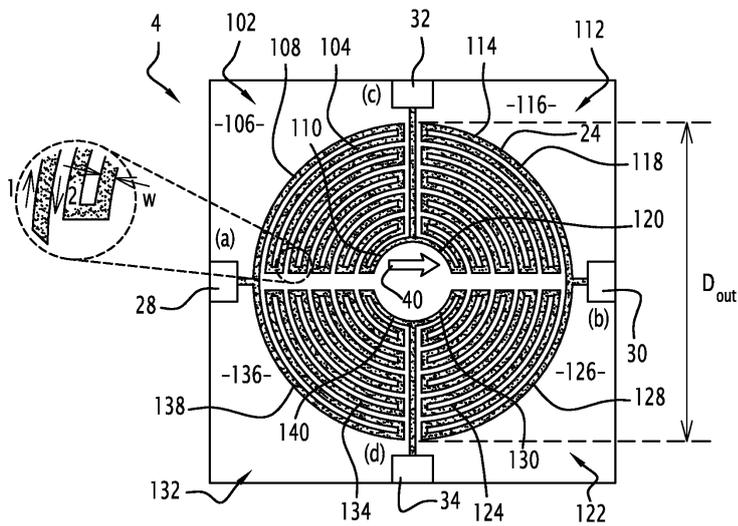
- [0216] 동일한 십자형을 갖는 제 1 및 제 2 자기 센서들(706, 726)이 동일한 알려진 물리적 조건들 하에서 동일한 기판 상에 서로 가까이 배치되어 자성 입자들이 동일한 잡음을 갖는 센서들 위에 침착될 때 동일한 자기장이 수신되어 검출된다.
- [0217] 제 1 및 제 2 자기 센서들(706, 726)은 이들 각각의 자화 용이축이 방향의 면에서 동일 선상에 있도록, 즉 서로 평행하도록 배치된다.
- [0218] 변형예에 있어서, 사용된 미세 자기 측정 시스템이 도 7에 기재된 제 1 및 제 2 하이브리드 AMR/PHR 멀티-링 자기 센서들(4, 404)을 포함하고 또는 십자형 또는 단일 링 페루프형 중에서 동일 형상 및 동일 자기 구조를 가지는 2개의 자기 센서들을 포함할 때, 직접 검출 방법이 이용될 수 있다.
- [0219] 이와 같은 미세 자기 측정 직접 검출 방법은 나노 또는 마이크로 스케일의 단일 자성 입자 또는 단일 자성 물체에 이르기까지 매우 작은 양들의 자성 입자들의 존재를 검출하기 위해 이용된다.
- [0220] 제 1 실시예에 따른 미세 자기 측정 직접 검출 방법은 다음 단계들을 포함한다. 제 1 자기 센서 상에 미지의 양의 자성 입자들 또는 자성 물체를 침착한 후, 제 1의 단계에 있어서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 자성 입자들을 그 위에 갖는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치, 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치가 출력된다.
- [0221] 제 2 단계에 있어서, 제 1 전압 측정치와 제 2 전압 측정치 간의 제 1 차이가 결정된다.
- [0222] 제 3 단계에 있어서, 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재는 제 1 차이와 기준 차이 간의 차이로서의 제 2 차이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가질 때 검출되고, 기준 차이는 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 1 센서에 의해 행해지는 제 1 전압 측정치와, 동일한 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서에 의해 행해지는 제 2 전압 측정치 간의 차이이고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.
- [0223] 제 2 실시예에 따른 미세 자기 측정 직접 검출 방법은 스위칭 명령으로서 동작하는 스위칭 물리적 성질의 면에서 미리 정해진 스위칭 임계치를 넘어 스위칭 가능한 분자 나노입자들 또는 단일 물체일 때 적용 가능하다.
- [0224] 직접 검출 방법은 다음 단계들을 포함한다. 제 1 자기 센서 위에 미지의 양의 자성 입자들 또는 자성 물체를 침착한 후, 제 1 단계에 있어서, 알려진 미리 정해진 물리적 조건들 하에서, 물리적 성질 크기가 물리적 성질의 미리 정해진 범위에 걸쳐 변경된다.
- [0225] 제 1 단계와 병렬로 행해지는 제 2 단계에 있어서, 자성 입자들을 그 위에 가지는 제 1 센서(4)에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 1 세트 및 자성 입자들을 그 위에 가지지 않는 제 2 센서(404)에 의해 행해지는 전압 측정치들의 제 2 세트가 출력된다.
- [0226] 제 3 단계에 있어서, 곡선이 차동 전압 측정치들의 제 1 세트와 전압 측정치들의 제 2 세트 간의 차이의 물리적 성질의 크기 대 변화로서 결정된다.
- [0227] 제 4 단계에 있어서, 자성 입자들 또는 자성 물체의 존재는 전이가 미리 정해진 검출 임계치보다 큰 진폭을 가지고 일어나는 스위칭 물리적 성질 구간을 곡선이 나타낼 때 검출되고, 미리 정해진 검출 임계치는 10nT의 검출 가능한 최소 자화 필드 시프트에 대응한다.

도면

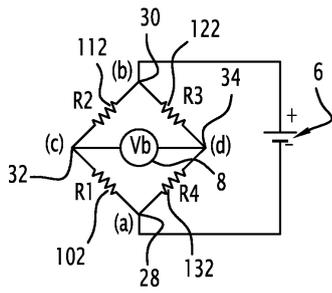
도면1



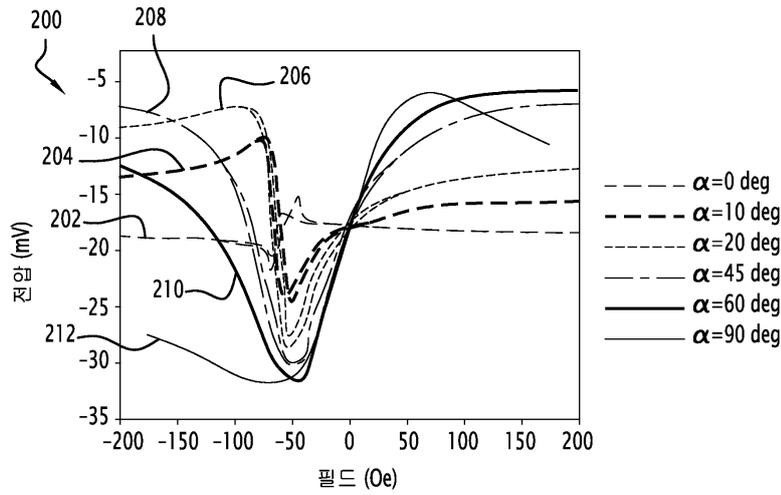
도면2



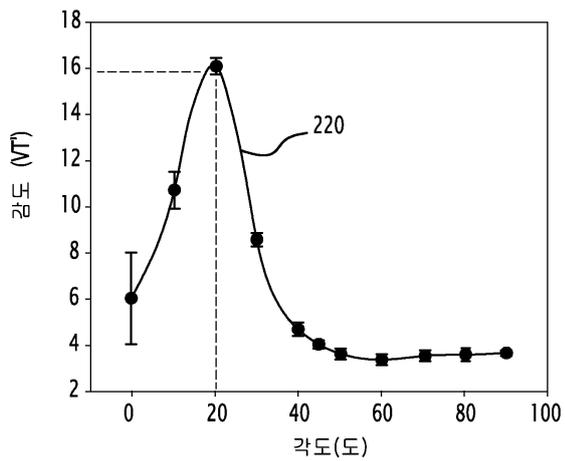
도면3



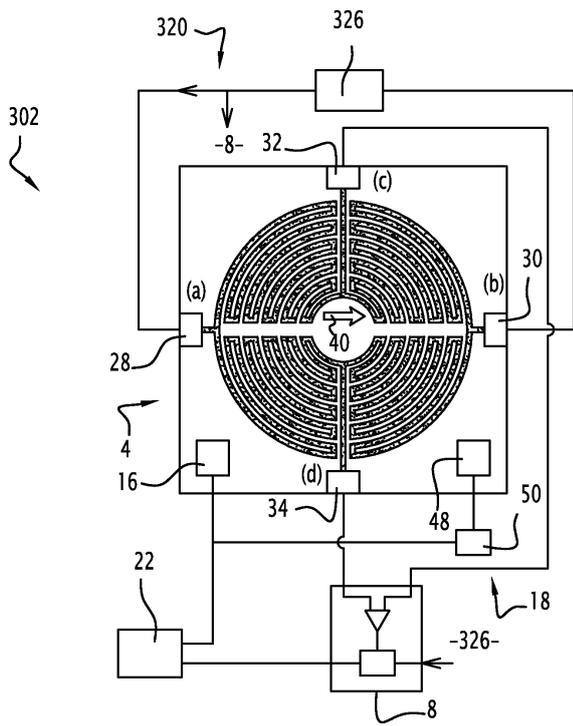
도면4



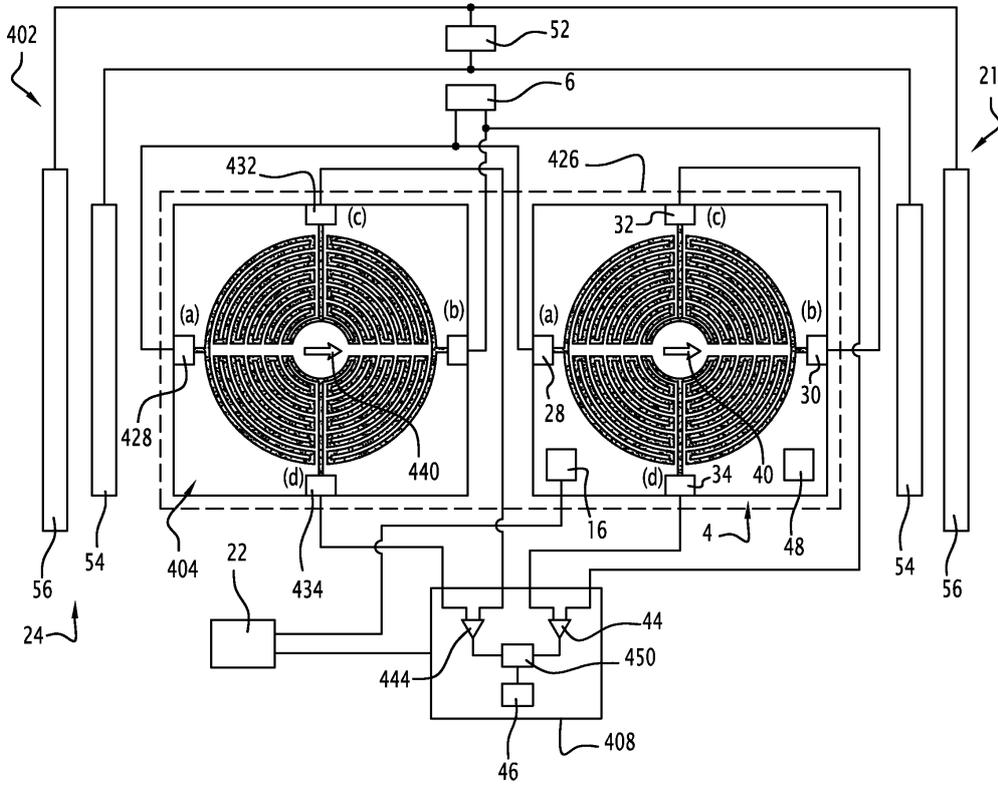
도면5



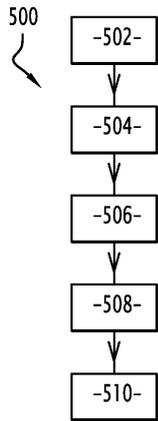
도면6



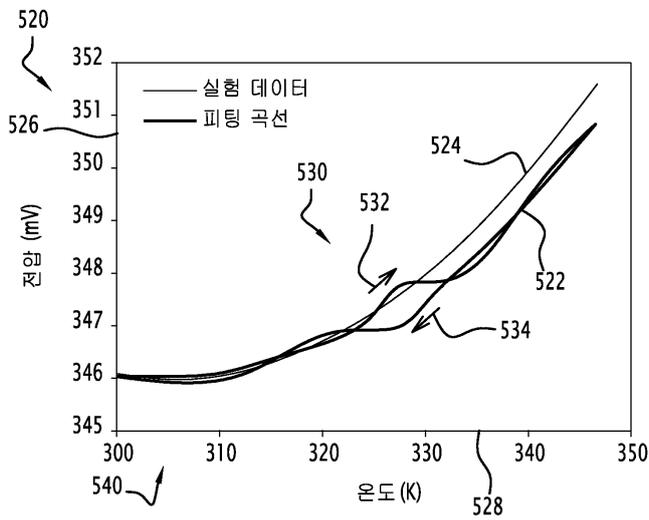
도면7



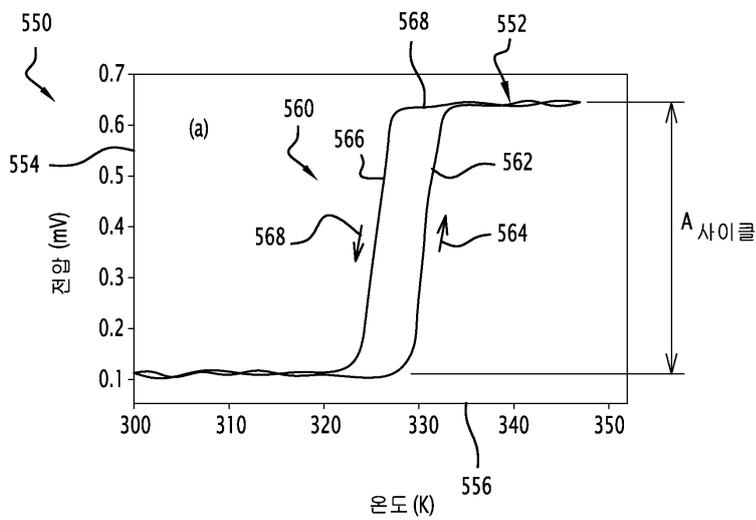
도면8



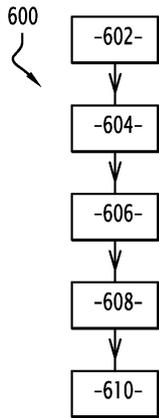
도면9



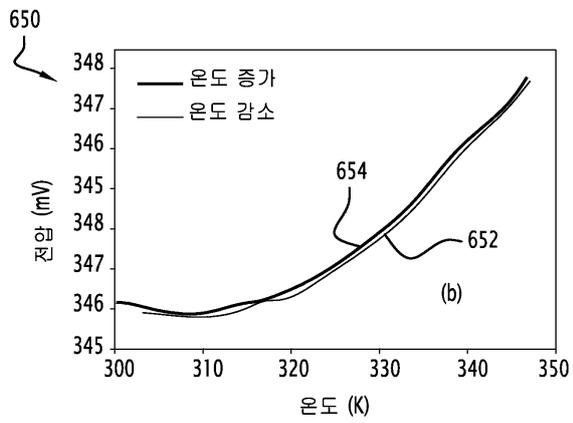
도면10



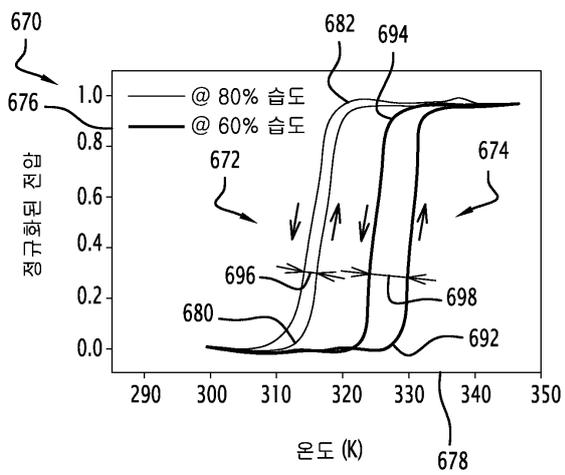
도면11



도면12



도면13



도면14

