



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0102404  
(43) 공개일자 2011년09월16일

(51) Int. Cl.

G11C 11/16 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-7015470

(22) 출원일자(국제출원일자) 2009년12월03일

심사청구일자 2011년07월28일

(85) 번역문제출일자 2011년07월04일

(86) 국제출원번호 PCT/US2009/066602

(87) 국제공개번호 WO 2010/065753

국제공개일자 2010년06월10일

(30) 우선권주장

12/327,184 2008년12월03일 미국(US)

(71) 출원인

시게이트 테크놀로지 엘엘씨

미국 캘리포니아 95104 쿠퍼티노 사우스 디 엔자  
블러바드 10200

(72) 발명자

클린턴, 토마스

미국 15228 펜실베이니아 피츠버그 후드릿지 드라이브 65

시글러, 마이크

미국 55347 미네소타 에덴 프레리 토프트 코브 17591

(74) 대리인

남상선

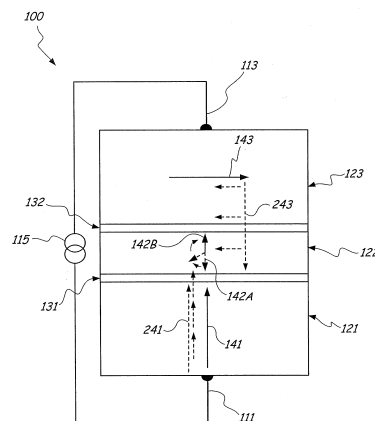
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 듀얼 스핀 토크 기준층들을 갖는 자기 랜덤 액세스 메모리

(57) 요약

스핀-토크 랜덤 액세스 메모리(ST-RAM)에 적용 가능한 자기 데이터 저장 셀이 개시된다. 자기셀은 제1 및 제2 피고정 자성층들 및 피고정 자성층들 사이에 위치된 프리 자성층을 포함한다. 자기셀은 또한 자성층들을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된 터미널들을 포함한다. 제1 피고정 자성층은 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 평행한 자화 방향을 갖고, 제2 피고정 자성층은 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 직교하는 자화 방향을 갖는다. 듀얼 피고정 자성층들은 프리 자성층에 기록하는데 강화된 스핀 토크를 제공하여, 요구되는 전류를 감소시키고, 자기 데이터 저장 셀들의 피쳐 크기를 감소시키고, 자기 스핀 토크 데이터 저장장치의 데이터 저장 밀도를 증가시킨다.

대표도 - 도2



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

자기셀(magnetic cell)로서,  
제1 피고정 자성층(fixed magnetic layer);  
제2 피고정 자성층;  
상기 제1 피고정 자성층과 상기 제2 피고정 자성층 사이에 위치된 프리 자성층; 및  
상기 자성층들을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된 터미널(terminal)들  
을 포함하는,  
자기셀.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
상기 제1 피고정 자성층은 상기 프리 자성층의 용이축(easy axis)과 실질적으로 평행한 자화 방향을 갖고, 상기 제2 피고정 자성층은 상기 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 직교하는 자화 방향을 갖는,  
자기셀.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,  
상기 자기셀은 상기 층들과 수직인 수직 배향 및 상기 층들과 평면인(planar) 직경(diametrical) 배향을 규정(define)하고, 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향 및 상기 프리 자성층의 용이축은 상기 수직 배향으로 배향되고, 상기 제2 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 직경 배향으로 배향되는,  
자기셀.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,  
상기 자기셀은 상기 층들과 수직인 수직 배향 및 상기 층들과 평면인 직경 배향을 규정하고, 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 수직 배향으로 배향되고, 상기 제2 피고정 자성층의 자화 방향 및 상기 프리 자성층의 용이축은 직경 배향으로 배향되는,  
자기셀.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,  
상기 자기셀은 상기 층들과 평면인 제1 직경 배향 및 상기 층들과 평면이고 상기 제1 직경 배향과 실질적으로 직교하는 제2 직경 배향을 규정하고, 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 제1 직경 배향으로 배향되고, 상기 제2 피고정 자성층의 자화 방향 및 상기 프리 자성층의 용이축은 상기 제2 직경 배향으로 배향되는,  
자기셀.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,  
상기 자성층들 중 적어도 하나는 강자성 물질로 적어도 부분적으로 구성되는,

자기셀.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 강자성 물질은 철, 코발트, 니켈, 붕소, 란타나이드(lanthanide), 네오디뮴(neodymium), 사마륨(samarium), 퍼멀로이(Permalloy) 및 호이스러 합금(Heusler alloy) 중 적어도 하나를 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제1 피고정 자성층과 상기 프리 자성층 사이 및 상기 프리 자성층과 상기 제2 피고정 자성층 사이에 중간층(interlayer)들을 더 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 중간층들은 전기 절연 물질을 포함하는 터널 배리어를 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 절연 물질은 알루미늄, 탄탈륨, 티타늄 또는 마그네슘 중 하나 이상의 산화물을 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 중간층들은 전기 전도성 물질을 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 전기 전도성 물질은 구리, 금, 은 또는 알루미늄 중 하나 이상을 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 제1 피고정 자성층은 상기 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 평행한 자화 방향을 갖고, 상기 제2 피고정 자성층은 상기 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 직교하는 자화 방향을 갖고, 상기 제1 피고정 자성층과 상기 프리 자성층 사이의 상기 중간층은 전기 절연 물질을 포함하고, 상기 제2 피고정 자성층과 상기 프리 자성층 사이의 상기 중간층은 전기 전도성 물질을 포함하는,

자기셀.

#### 청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 피고정 자성층들 각각은 상기 프리 자성층보다 실질적으로 더 큰 자기 볼륨(volume)을 갖는, 자기셀.

#### 청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 피고정 자성층들은 자기적으로 피고정(pinned)되는, 자기셀.

#### 청구항 16

용이축과 정렬된 초기 자화 방향 및 제1 면 및 제2 면을 갖는 프리 자성층을 포함하는 자기셀을 제공하는 단계; 및

상기 프리 자성층에 대한 제1 면에 제1 스핀 토크를 인가하고 상기 프리 자성층의 제2 면에 제2 스핀 토크를 인가하는 단계를 포함하고, 상기 제1 스핀 토크는 상기 프리 자성층의 초기 자화 방향에 실질적으로 직교하고, 상기 제2 스핀 토크는 상기 프리 자성층의 초기 자화 방향에 실질적으로 역평행(antiparallel)한, 방법.

#### 청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 자기셀에 판독 전류를 인가하는 단계; 및

상기 판독 전류에 응답하여 수신된 판독 출력 신호에 적어도 부분적으로 기초한 출력을 제공하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 18

데이터 저장 시스템으로서,

다수의 자기 데이터 저장 셀들; 및

상기 자기 데이터 저장 셀들 중 하나 이상과의 동작 신호 접속들을 포함하고,

상기 자기 데이터 저장 셀들 중 대표(representative) 셀은:

상기 자기 데이터 저장 셀을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된 제1 터미널 및 제2 터미널에 동작 가능하게 접속된 3 개 이상의 자성층들의 스택 —상기 3 개 이상의 자성층들은 상기 제1 터미널에 근접한 (proximate) 제1 피고정 자성층, 상기 제2 터미널에 근접한 제2 피고정 자성층 및 상기 제1 피고정 자성층 및 상기 제2 피고정 자성층 사이에 위치한 프리 자성층을 포함함— 을 포함하고;

상기 제1 피고정 자성층은 고정 자화 방향을 갖고, 제2 피고정 자성층은 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향과 실질적으로 직교하는 고정 자화 방향을 갖고, 상기 프리 자성층은 1차 기준층(reference layer)의 자화 방향에 실질적으로 평행하는 용이축을 갖고, 상기 1차 기준층은 상기 제1 피고정 자성층 또는 상기 제2 피고정 자성층 중 하나를 포함하여, 상기 프리 자성층이 상기 1차 기준층의 자화 방향에 평행하거나 역평행한 자화 방향을 갖게 하고;

상기 데이터 저장 시스템은 상기 신호 접속들을 통해 기록 신호들 및 판독 신호들을 제공하도록 구성되고, 이에 의해 상기 기록 신호들은 임계값 이상의 전류 밀도를 갖는 스핀-분극된 전류들로 하여금 상기 자기 데이터 저장 셀들의 프리 자성층들의 자화 방향을 제어 가능하게 설정하기 위해 상기 자기 데이터 저장 셀들을 통해 제공되도록 하고, 상기 판독 신호들은 상기 임계값 이하의 전류 밀도를 갖는 스핀-분극된 전류들로 하여금 상기 자기 데이터 저장 셀들의 프리 자성층들의 자화 방향을 표시(indicate)하는 판독 출력 신호를 생성하기 위해 상기 자

기 데이터 저장 셀들을 통해 제공되도록 하는,  
데이터 저장 시스템.

#### 청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 대표 자기 데이터 저장 셀은 일반적으로 상기 자성층들에 수직이고 일반적으로 상기 터미널들 사이에 연장하는 수직축을 규정하고, 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 수직축에 일반적으로 평행하게 배향되고, 상기 제2 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 수직축에 일반적으로 평행하거나 또는 일반적으로 직교하는 것 중 하나로 배향되고, 상기 프리 자성층의 용이축은 상기 제1 피고정 자성층 또는 상기 제2 피고정 자성층 중 하나의 자화 방향과 일반적으로 평행하게 배향되는,

데이터 저장 시스템.

#### 청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 대표 자기 데이터 저장 셀은 일반적으로 상기 자성층들에 수직이고 일반적으로 상기 터미널들 사이에 연장하는 수직축을 규정하고, 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 수직축에 일반적으로 직교하게 배향되고, 상기 제2 피고정 자성층의 자화 방향은 상기 수직축에 일반적으로 직교하게 그리고 상기 제1 피고정 자성층의 자화 방향에 일반적으로 직교하게 배향되고, 상기 프리 자성층의 용이축은 상기 제1 피고정 자성층 또는 상기 제2 피고정 자성층 중 하나의 자화 방향에 일반적으로 평행하게 배향되는,

데이터 저장 시스템.

### 명세서

#### 기술분야

[0001] 본 명세서는 일반적으로 자기 랜덤 액세스 메모리(MRAM)에 관한 것이고, 보다 구체적으로는 듀얼 스핀 토크 기준층들을 가진 자기 랜덤 액세스 메모리에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 자기 랜덤 액세스 메모리(MRAM) 또는 스핀 토크 RAM(STRAM)은 긴 전망성을 갖는 비-휘발성의 솔리드-스테이트(solid-state) 데이터 저장 기술이지만, 저장 밀도의 경쟁적 레벨들을 달성하는데 놓인 도전들을 갖는다.

[0003] 상기 논의는 단지 일반적 배경 정보를 위하여 제공되고, 본원 발명의 범위를 결정하는 도움으로써 사용되도록 의도되지는 않는다.

#### 발명의 내용

[0004] 스핀-토크 랜덤 액세스 메모리(ST-RAM)에 적용 가능한 자기 데이터 저장 셀이 개시된다. 자기셀은 제1 및 제2 피고정 자성층들 및 피고정 자성층들 사이에 위치한 프리 자성층을 포함한다. 자기셀은 또한 자성층들을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된 터미널들을 포함한다. 제1 피고정 자성층은 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 평행한 자화 방향을 갖고, 제2 피고정 자성층은 프리 자성층의 용이축과 실질적으로 직교하는 자화 방향을 갖는다. 듀얼 피고정 자성층들은 프리 자성층에 기록 중인 강화된 스핀 토크를 제공하여, 요구된 전류를 감소시키고, 자기 데이터 저장 셀들의 피쳐 크기를 감소시키고, 자기 스핀 토크 데이터 저장장치의 데이터 저장 밀도를 증가시킨다.

[0005] 본 명세서의 발명의 내용 및 요약서는 선택된 실시예들의 특정 양상들에 대한 설명적 서론을 제공하며, 해석될 수 있는 본원 발명의 범위에 대한 임의의 제한들 또는 함축들을 한정하는 것은 아니라고 이해된다.

#### 도면의 간단한 설명

[0006] 도 1은 예시적 예에 따라, 도시된 자화 방향들을 갖는 셀의 자성층들의 분해도들과 함께, 자기 데이터 저장 셀

의 투시도를 도시한다.

도 2는 예시적 예에 따라, 셀에 인가되는 중인 스핀 토크들의 그리고 자화 방향들의 개략적 도시들과 함께, 자기 데이터 저장 셀의 측평면도이다.

도 3은 예시적 예에 따라, 자화 방향들 사이의 각도들의 함수으로서 셀 내에서 작용하는 다수의 스핀 토크들의 중첩의 그래픽 표면을 도시한다.

도 4는 예시적 예에 따라, 상이한 자기 셀들에 대한 전류의 함수로서 자기 저항의 비교 그래픽 표현을 도시한다.

도 5는 또 다른 예시적 예에 따라, 자화 방향들을 갖는 셀의 자성층들의 분해도들과 함께, 자기 데이터 저장 셀의 투시도를 도시한다.

도 6은 또 다른 예시적 예에 따라, 자화 방향들을 갖는 셀의 자성층들의 분해도들과 함께, 자기 데이터 저장 셀의 투시도를 도시한다.

도 7은 또 다른 예시적 예에 따라, 자기 데이터 저장 셀들을 포함하는 데이터 저장 시스템을 도시한다.

도 8은 예시적 예에 따라, 자기 데이터 저장 셀과 연관된 방법을 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 도 1은 예시적 예에 따라, 도시된 자화 방향들을 갖는 셀의 자성층들(121, 122, 123)의 분해도들과 함께, 자기 데이터 저장 셀(100)의 투시도를 도시한다. 예시적 실시예에서, 자기 셀(100)과 같은 자기 데이터 저장 셀들은 데이터 저장 디바이스 또는 다른 데이터 저장 시스템 내에 함께 포함될 수 있고, 데이터를 저장하도록 구성된다. 본 예시적 실시예에서, 상보적 자화 방향들을 갖는 듀얼 피고정 자성층들(121, 123)은 기준층들로서 또한 지칭되고, 아래에서 더 설명되는 것처럼, 프리 자성층(122)의 자화 방향을 스위칭함으로써 프리 자성층(122)에 기록 중인 강화된 스핀 토크를 제공한다.

[0008] 듀얼 피고정 자성층들(121, 123)에 의해 제공된 강화된 스핀 토크는 프리 자성층(122)이, 단지 단일 피고정 자성층을 갖는 자기셀에 관하여, 보다 낮은 전류를 사용하여 스위칭되는 것을 가능하게 한다. 보다 낮은 전류는 단지 단일 피고정 자성층을 갖는 자기 셀에 관하여, 자기 데이터 저장 셀(100)의 피쳐 크기를 감소시키도록 허용하여, 이러한 자기 데이터 저장 셀들을 통합시키는 자기 스핀 토크 데이터 저장장치 내의 증가된 데이터 저장 밀도를 가능하게 한다. 특히, 단일 고정 기준층을 갖는 자기셀들은 집적 회로들을 대표하는 집적된 전계-효과 트랜지스터(FET's)들과 함께 제공될 수 있는 것보다 더 큰 전류를 요구할 수 있는데, 대조적으로, 상보적 자화 방향들을 갖는 듀얼 피고정 자성층들을 포함하는 자기셀들은 집적 회로의 통상의 전류 용량들 내의 보다 낮은 전류를 갖고 기능할 수 있다. 이들 양상들은 아래에서 상세히 설명된다.

[0009] 셀(100)의 자성층들은 제1 피고정 자성층(121), 제2 피고정 자성층(123) 및 제1 피고정 자성층(121)과 제2 피고정 자성층(123) 사이에 위치된 프리 자성층(122)을 포함한다. 아래에서 상세히 설명되는 것처럼, 자성층들(121 및 123)은 그들의 자화들이 각각 개별적인 고정 방향에 붙잡혀 있다는 점에서 고정되는 반면, 자성층(122)은 그것의 자화가 그것의 용이축을 따라 두 개의 대향(opposing) 방향들 중 하나로 정렬되기 위해 자유롭게 남겨진다는 점에서 자유롭다. "자화"는 적용가능할 때 자화 방향을 표시하는 것으로 이해될 수 있다. 자기 셀(100)은 또한 자성층들(121, 122, 123)의 스택을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된 터미널들(111, 113)을 포함한다. 터미널들(111, 113)은 부가적 신호 라인들(도 1에 도시되지 않음)에 접속될 수 있는 노드(115)로 접속된다. 자성층들의 분해도들은 자성층(121)의 고정 자화 방향을 표시하는 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141); 자성층(123)의 고정 자화 방향을 표시하는 피고정 자성층(123)의 자화 방향(143); 및 자성층(122)의 용이축을 표시하는 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)을 도시한다.

[0010] 자성층(121)의 자화는 수직(perpendicular) 배향을 갖고, 또한 때때로 층의 플랫(flat)한, 연장된 원형 표면에 일반적으로 수직으로 배향된 자화를 가진 평면-외(out-of-plane) 배향 또는 수직(vertical) 배향으로 지칭된다. 자성층(123)의 자화는 직경 배향을 갖고, 또한 때때로 평면-내(in-plane) 배향으로 지칭되고, 층의 플랫 표면들에 일반적으로 평행하게 배향된다. 당업자가 인식할 때, 자화 방향들의 상대적 배향들을 고려할 때 기술 분야에서 통상의 기술을 가진 사람에 의해 이해될 수 있는 것처럼, "일반적으로 직교하는" 및 "일반적으로 평행하는"을 포함하는 이들 설명들은 단순화되고, 각각의 층들의 내부에 있는 자화의 완전한 묘사를 설명하지 못하거나 정확히 직교하거나 정확히 평행하는 것을 표시하지는 못하지만, 자화들의 일반적 배향을 확인하는데

유용하다.

- [0011] 피고정 자성층들의 자화 방향들(141, 143)은 각각 실선들로 도시되고, 각각은 이들의 하나의 단부에 화살표를 갖고, 이들 자성층들의 자화 방향들이 고정된다는 것을 표시하는데, 프리 자성층의 자화 방향(142)은 점선들로서 도시되고 이들의 양 단부들 상에 화살표를 갖고, 자화 방향이 용이축을 나타낸다는 것을 표시하고, 층의 자화는 실질적으로 동일한 안정성(stability)을 갖는 용이축의 한쪽 극성으로 정렬될 수 있다. 이상적으로 이는 동일한 안정성일 수 있거나 또는 동일한 안정성의 노미널(nominal) 제조 허용 오차들 내 일 수 있어, 만약 프리 자성층의 자화 방향이 분열되고 환경적 영향들 없을 때 속행하도록 허용된다면, 자화 방향은 용이축과 일렬인 어느 한쪽 방향으로 동일하게 복귀할 것 이다.
- [0012] 프리 자성층(122)의 용이축은, 도 1의 예시적인 실시예에서, 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141)과 일직선이 되어, 수직 배향으로 설정된다. 그러므로, 도 1의 예시적 실시예에서, 제1 피고정 자성층(121)은 프리 자성층(122)의 용이축과 실질적으로 평행한 자화 방향(141)을 갖고, 제2 피고정 자성층(123)은 프리 자성층(122)의 용이축과 실질적으로 직교하는 자화 방향(143)을 갖는다. 임의의 시점에서 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)은, 자성층(121)의 고정 자화 방향(141)에 평행 또는 역평행 중 하나인, 용이축과 정렬을 안정하게 하는 경향(predispense)이 있다. 자화 방향들은 도 2를 참조하여, 아래에서 상세히 설명되는 의미에서 "실질적으로" 평행하고 "실질적으로" 직교한다.
- [0013] 용이축은 프리 자성층 내의 자기 결정 이방성(anisotropy) 또는 형상 이방성을 예시적으로 포함할 수 있는 다양한 기법들에 의해 설정될 수 있다. 피고정 자성층들(121 및 123)에서, 층들의 각각의 자화 방향은 예를 들어, 자기적으로 피고정(pinned)된 피고정 자성층들을 포함하는 것에 의해, 또는 각각이 프리 자성층보다 실질적으로 더 큰 자기 볼륨을 갖는 피고정 자성층들을 포함하는 것과 같은 다양한 기법 중 임의의 것에 의해 고정된 배향으로 유지될 수 있다.
- [0014] 자화의 배향은 또한 층의 차원들의 함수일 수 있다. 예를 들어, 자기 고정(pinning)이 없을 때는, 직경(diametrical) 자기 배향에서의 용이축(및 자화)을 갖는 층은 상대적으로 더 큰 반지름 및 상대적으로 더 작은 수직 두께와 일반적으로 상관(correlate)되는 반면, 수직 자기 배향에서의 용이축(및 자화)을 갖는 층은 상대적으로 더 작은 반지름 및 상대적으로 더 큰 수직 두께와 일반적으로 상관된다.
- [0015] 특히, 본 특정한 실시예에서, 프리 자성층(122)을 위한 수직 용이층을 갖는 것은 다른 용이축 배향들에 관한 프리층(free layer)의 이방성 에너지 밀도의 양을 증가시킬 수 있다. 이는 자기셀(100)로 하여금, 다른 배향들과 비교될 때, 상대적으로 더 큰 자기 안정성을 갖는 상대적으로 작은 크기를 갖는 것을 가능하게 한다. 어떻게 더 작은 자기셀(100)이 가능할지에 대한 중요한 제약은, 여전히 신뢰성 있게 기능하는 동안, 랜덤 열적 변동들로 의한 프리 자성층(122)의 자화 방향의 랜덤 역전에 대한 저항이다. 열적 방해(disturbance)들에 대한 프리 자성층의 자화 방향의 안정성은  $K_u V/kT$ 로 모델링 될 수 있고, 여기서  $K_u$ 는 자기 이방성 에너지 밀도,  $V$ 는 자성층의 볼륨,  $k$ 는 볼츠만 상수, 그리고  $T$ 는 온도이다. 일 예시적 실시예에서, 적어도 대략적으로 60(x가 차원이 없는 비율이기 때문에 단위들이 없음)의  $K_u V/kT$  값이 프리 자성층(122)의 자기 안정성의 유지를 위한 설계 표준으로서 사용된다.
- [0016] 자성층들(121, 122, 123)은 강자성체 물질로 적어도 부분적으로 이루어질 수 있다. 자성층들의 구성들을 위하여 사용될 수 있는 강자성체 물질들의 예들은 철, 코발트, 니켈, 퍼멀로이(Permalloy), 호이슬러 합금(Heusler alloy) 또는 임의의 다른 강자성체 물질들을 포함한다. 사용될 수 있는 호이슬러 합금들은, 예를 들어, 구리, 니켈, 코발트 또는 전술한 것의 조합물의 두 부분들; 망간, 크로뮴, 철, 또는 전술한 것의 조합물들의 일 부분, 주석, 알루미늄, 실리콘, 비소, 안티몬, 비스무트, 또는 붕소의 일 부분, 또는 전술한 것의 조성물의 조합으로 구성될 수 있다. 관련 분야들의 숙련된 사람들은 소정의 애플리케이션을 위하여 적절할 수 있는 물질들의 추가적 선택들을 인지할 것이다.
- [0017] 도 1의 예시적 실시예에서, 비-자성 중간층(131)과 같은 중간물은 피고정 자성층(121)과 프리 자성층(122) 사이에 위치되고, 비-자성 중간층(132)과 같은 중간물은 프리 자성층(122)과 피고정 자성층(123) 사이에 위치된다. 중간층들(131, 132)은 예를 들어, 양자 터널링 자기저항(TMR) 또는 거대 자기저항(GMR)과 같은 자기셀(100)을 위한 상이한 기술들에 기여하도록 구성될 수 있다. 사용될 수 있는 중간층의 일 형태는 양자 터널링 자기저항을 위하여 구성된 터널 배리어이다. 예를 들어, 터널 배리어는  $AlO$ ,  $TaO$ ,  $MgO$ , 또는 알루미늄, 탄탈륨, 티타늄, 마그네슘, 또는 다른 적절한 엘리먼트들의 임의의 다른 산화물, 전술한 것의 조합물들, 또는 다른 전기 절연성 물질들을 포함할 수 있는 금속 산화물과 같은 전기 절연성 물질로 이루어 질 수 있다. 사용될 수 있는



중간층의 또 다른 형태는 거대 자기저항을 위하여 구성된 전기 전도성 금속층이다. 이러한 중간물층은 예를 들어, 금, 은, 구리, 또는 알루미늄과 같은 높은-전도성 물질로 이루어질 수 있다. 반도체로 구성된 중간층들과 같은, 다른 목적들을 위하여 구성된 중간물층들의 다른 형태들은 다양한 다른 실시예들에서 사용될 수 있다.

[0018] 다양한 실시예들은 또한 동일한 셀에서의 양자 터널링 자기저항 및 거대 자기저항 기법들을 결합할 수 있다. 이는 예시적 실시예에서, 자기셀의 각 단부 상의 동일한 단일 터미널들(111, 113)을 갖는 동일한 자기셀 상에서 판독 및 기록 동작들 모두를 최적화하는 것과 상관될 수 있다. 예를 들어, 도 1에 대응하는 예시적 실시예에서, 제1 중간층(131)은 양자 터널링 자기저항을 위한 절연 물질로 이루어질 수 있는 반면, 제2 중간층(132)은 거대 자기저항을 위한 전도성 물질로 이루어질 수 있다. 본 예시적 실시예에서, 양자 터널링 자기저항을 위한 절연 물질로 이루어짐으로써, 프리 자성층(122)의 자화 방향을 설정하기 위해 사용되고 평행 용이축을 갖는 피고정 자성층(121)으로부터 프리 자성층(122)을 분리하는 제1 중간층(131)은 판독 동작을 위한 더 큰 출력 신호에 대비할 수 있다. 반면에, 거대 자기저항을 위하여 전도성 물질로 이루어짐으로써, 프리 자성층(122)의 자화 방향 상에 초기 토크 부스트(boost)를 제공하기 위하여 사용되고 수직 용이축을 갖는 피고정 자성층(123)으로부터 프리 자성층(122)을 분리하는 제2 중간층(132)이, 다른 장점들 중에서, 자기셀의 더 낮은 전체 임피던스에 대비할 수 있다.

[0019] 자기셀(100)은 이에 의해, 듀얼, 상보적 스핀 토크들을 프리 자성층(122)에 제공하기 위해 인에이블링되어, 프리 자성층의 용이축 자화 방향을 따른 방향이 배향된 형태의 자기셀(100)에 데이터를 저장하도록 상대적으로 낮은 전류를 사용한다. 어떻게 자기셀(100)이 이들 상보적 토크들을 제공하는지와, 그리고 어떻게 이에 의해 상대적으로 낮은 전류를 이용하여 데이터를 인코딩하는지에 대해 도 2를 참조하여 상세히 설명된다.

[0020] 도 2는, 자화 방향들(141, 142A, 142B, 143) 및 셀에 인가되는 중인 스핀 토크들(241, 243)의 개략적인 도시들과 함께, 도 1에 도시된 실시예에 대응하는 자기 데이터 저장 셀(100)의 측면면도를 도시한다. 도 2에서, 스핀-분극된 전류는 터미널(113)로부터 터미널(111)로 움직이는 전류와 함께(즉, 터미널(111)로부터 터미널(113)로 전달되는 전자들과 함께), 자기셀(100)을 통해 통과되는 중이다. 이러한 스핀-분극된 전류가 자화 방향(141)을 갖는 피고정 자성층(121)에서 나올 때, 그것은 프리 자성층(122) 상에 스핀 토크(241)를 가하고; 이러한 스핀-분극된 전류가 자화 방향(143)을 갖는 피고정 자성층(123)에서 나올 때, 그것은 프리 자성층(122) 상에 스핀 토크(243)를 가한다. 도 2에 도시된 것처럼, 프리 자성층(122)은 초기에, 피고정 자성층(121)의 자화 방향과 역평행하게 배향된(즉, 도시된 것처럼 아래쪽으로 배향된) 자화 방향(142A)을 가진다. 자기셀(100)을 통해 통과하는 중인 스핀-분극된 전류의 동작 및 피고정 자성층들(121, 123)과 연관된 스핀-분극된 전류에 기인한 스핀 토크들(241, 243)은 프리 자성층(122)의 자화 방향으로 하여금 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141)과 평행하게, 자화 방향(142B)으로 플립(flip)하게 한다.

[0021] 구체적으로, 스핀 토크(243)는 오직 피고정 자성층(121)으로부터 스핀 토크(241)에 비해 가능한 더 큰 스핀 토크를 이용하여, 프리 자성층(122)의 용이축을 더 빨리 넘 오프(knock off) 시키도록 자화 방향(142A)에 대해 초기 스핀 토크 부스트를 제공하는데; 피고정 자성층(121)으로부터의 스핀 토크(241)는 프리 자성층(122)의 자화 방향을 역전시키는 프로세스 중간 동안에 더 큰 토크를 제공하고, 기록 프로세스의 끝에서 프리 자성층(122)의 최종 자화 방향(142B)을 결정한다. 이들 양상들은 아래의, 도 3 및 도 4를 참조하여 더 설명된다.

[0022] 자성층들의 자기 배향을 조작하는(manipulate) 능력(capability)은 다음과 같이 추가적으로 상세히 설명된다. 스핀-분극된 전류가 자기 물질을 통해 통과할 때, 스핀들로부터의 각 운동량(angular momentum)의 전달은 물질의 자화 방향에 대해 토크를 가한다. 도 1 및 도 2의 고정층들(121, 123) 및 프리층(122)과 같은, 피고정 자성층들 및 프리층을 갖는 자기 스택들에서, 스핀-분극된 전류는 고정층들 각각의 자화로부터 프리층으로 각 운동량을 전달하고, 스핀-분극된 전류는 프리층의 자화에 대해 토크를 가한다. 도 2에 도시된 것처럼, 양의 바이어스(하부 터미널(111)로부터 상부 터미널(113)로 흐르는 전자)를 위하여, 스핀 토크가 평행 용이축을 갖는 고정층(121)의 자화와 평행한 최종 자화 방향(142B)으로 프리층(122)을 드라이브(drive)하도록, 자기 엘리먼트(110)에서, 터미널들(111 및 113) 사이에서, 전류는 스택을 통해 수직으로 드라이브된다. 음의 전류 바이어스(상부 터미널(113)로부터 하부 터미널(111)로 흐르는 전자)를 위하여, 스핀 토크는, 평행 용이축을 갖는 고정층(121)의 자화 방향에 역평행한 최종 자화 방향(142A)으로 프리층(122)을 드라이브한다(즉, 도 2에 도시된 프로세스의 반대).

[0023] 스핀-분극된 전류로부터의 자화의 영향들을 통합함으로써, 란다우-리프슈츠-길버트(Landau-Lifshitz-Gilbert) 방정식은 피고정 자성층들 각각을 참조로 하여 자유 고정층에 대한 프리층 역학에 대해 이 효과를 설명하기 위해 적용가능하므로, 프리 자성층(122)의 변화율은 다음과 같이 결정될 수 있다:



$$\frac{d\vec{M}_{free}}{dt} = -\frac{\mu_0\gamma\vec{M}}{(1+\alpha^2)} \times \vec{H} - \frac{\mu_0\gamma\alpha}{M_{s_{free}}(1+\alpha^2)} \vec{M}_{free} \times (\vec{M}_{free} \times \vec{H}) + \frac{\hbar}{2e} \frac{(\epsilon I)}{V} \frac{\gamma}{M_{s_{free}}^2 M_{s_{fixed}}} \vec{M}_{free} \times (\vec{M}_{free} \times \vec{M}_{fixed})$$

[0024]

[0025]

여기서  $I$ 는 자성층들의 평면에 대해 수직으로 흐르는 전류(current flowing perpendicular to the plane; CP P)이고,  $M_{s_{free}}$ 는 자유-층 포화 자화이고,  $M_{s_{fixed}}$ 는 고정층의 포화 자화이고,  $\epsilon$ 은 전류의 스핀 분극에 관련된 효율 계수이고,  $V$ 는 프리층의 볼륨이고,  $\mu_0$ 은 프리층의 투자율이다. 이 방정식에 대한 솔루션들은, 전류 흐름의 방향에 의존하여, 평행한 용이축을 갖는 고정층에 평행 또는 역평행 중 하나로 드라이브될 수 있는 프리층의 자화를 넘어서 임계 전류 밀도( $J_c$ )를 산출한다.

[0026]

도 1 및 도 2의 자기셀(100)과 함께, 두 개의 피고정 자성층들(121, 123) 각각은 프리 자성층(122)의 자화에 대해 토크를 가하고, 프리 자성층(122)의 자화(142)에서의 변화율 및 임계 전류 밀도 모두는 임계 전류 밀도 모두는 피고정 자성층들(121, 123) 각각으로부터의 기여들을 이용하여 상기 방정식에 의해 결정되는 것처럼 계산되어야 하고, 이는 단일 피고정 자성층보다 훨씬 낮은 임계 밀도 및 단일 피고정 자성층보다 훨씬 높은 프리층(122)의 자화의 변화율을 드라이브한다. (프리 자성층(122)의 자화 방향이 도 2의 142A 및 142B로 라벨링된 특정한 배향들로 도시되었지만, 이는 본 명세서에서 총칭적으로 자화 방향(142) 또는 자화(142)로 지칭된다.) 특히, 프리 자성층(122)의 자화에 대한 토크는 인접한 자성층 및 프리 자성층의 자화들의 외적에 대략적으로 비례한다(즉, 자화들의 크기들을 그들 사이의 각도의 사인값에 곱한다). 이는 도 3의 그래프(300)에 도시된다.

[0027]

도 3은 예시적 예에 따라, 자화 방향들 사이의 각도들의 함수로서, 셀 내에서 동작하는 다수의 스핀 토크들의 중첩의 그래프 표현(300)을 도시한다. 특히, 도 1 및 도 2의 예시적 실시예를 참조하여, 토크 컴포넌트(311)는 피고정 자성층(121)에 의해 프리 자성층(122)의 자화 방향에 대해 가해진 스핀 토크의 크기를 나타내고, 토크 컴포넌트(313)는 피고정 자성층(123)에 의해 프리 자성층(122)의 자화 방향에 대해 가해진 스핀 토크의 크기를 나타낸다.

[0028]

프리 자성층의 자화 방향이 가질 변화율은, 개별적으로 단일 피고정 자성층들에 의해서만 영향을 받는다면, 도시된 것처럼 스핀 토크들에 비례할 것이다. 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141)이 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)에 대해 초기에 역평행 또는 평행하기 때문에, 이것의 스핀-분극된 전류는 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)에 대해 매우 작은 토크를 초기에 가진다(즉, 제로에 대략적으로 비례하고(즉, 제로의 사인값), 실제로 이는 그것을 제로에 가깝게 만들지 않는 토크의 모델링에 대한 작은-규모의 수정들에 비례한다). 평행-모멘트 피고정 자성층(121)에 의한 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)의 대응하는 변화율 및 토크는 그러므로 기록 프로세스의 초기에는 매우 낮다. 단일 피고정 자성층만 갖는 자기셀에서, 이러한 매우 낮은 초기 변화율은 전체 자기셀 및 이러한 자기셀들과 통합된 임의의 디바이스의 속도 및 성능에 대한 실질적 제약일 수 있다. 그래프(300)의 컴포넌트(311)에서 도시된 것처럼, 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141)과 연관된 토크는 그 후에, 프리 자성층(122)의 자화 방향이 플립핑의 중간에 있고 피고정 자성층(121)의 자화 방향(141)에 수직일 때, 기록 프로세스의 중간에서, 피고정 자성층(121) 및 프리 자성층(122)의 자화들(141, 142) 각각의 곱의 전체 크기에 도달할 때까지 상승한다.

[0029]

동시에, 그래프(300)의 컴포넌트(313)에서 도시된 것처럼, 수직-모멘트 피고정 자성층(123)의 자화 방향(143)은 초기에 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)에 수직이다. 자화 방향(143)과 연관된 스핀 각 운동량은 그러므로 기록 프로세스의 초기에 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)에 대해 최대 토크를 제공한다(즉, 기록 프로세스의 초기에, 그것의 토크는 프리 자성층(122) 및 피고정 자성층(123)의 각각의 자화들(142, 143)의 크기들 곱의 1 배(즉, 90도의 사인값)에 대략적으로 비례한다). 수직-모멘트 피고정 자성층(123)으로부터의 토크는 또한, 평행-모멘트 피고정 자성층(121)으로부터의 토크가 다시 하락하는 중일 때, 기록 프로세스의 끝에서 다시 상승한다.

[0030]

평행-모멘트 고정 자화층(121) 및 수직-모멘트 고정 자화층(123)은 그러므로 서로에게 상보적인 토크들을 가하고, 기록 프로세스를 통해 프리 자성층(122)의 자화에 대해 높은 토크를 지속적으로 함께 부여한다(impose). 그래프(300)에 도시된 것처럼, 토크 컴포넌트들(311 및 313)은 전체 토크(321)를 형성하기 위해 중첩되고, 이는 기록 프로세스를 통해, 어느 하나의 피고정 자성층만에 의해 제공된 최대 토크 이상으로 유지된다. 이는 자기셀(100)의 듀얼, 상보적 피고정 자성층들 없이 가능한 것보다 프리 자성층(122)의 자화 방향(142)의 훨씬 빠른 스위칭을 제공한다. 스위칭을 위하여 요구된 시간의 훨씬 낮은 길이 외에도, 그것은 또한 스위칭을 위하여 요구된 임계 전류의 훨씬 낮은 레벨을 가능하게 한다. 기록 동작을 위한 프리층 자화 스위칭을 부여하기 위해 요구된 에너지가 전류의 제곱과 시간의 곱에 비례하기 때문에, 시간 및 전류 모두는 단일 기준층을 이용한 것보다

듀얼 기준층 자기셀(100)에 대한 것이 더 낮고, 기록 동작을 위하여 요구된 에너지는 또한 오직 하나의 피고정 자성층을 갖는 셀에 대한 것보다 자기셀(100)에 대한 것이 훨씬 낮다.

[0031] 도 4는 상기 설명된 실시예들과 일치하는 예시적 예에 따라, 상이한 자기셀들을 위한 전류(401)의 함수로서의 자기저항(403)의 비교 그래픽 표현(400)을 도시한다. 그래프(400)는 상기 논의된 것처럼 더 낮은 필요 전류의 장점을 더 도시한다. 비교를 위하여, 오직 단일 피고정 자성층 및 단일 프리층만을 가진 가상의 자기셀 및 듀얼 기준층 자기셀(100) 모두에 대하여, 그래프(400)는 전류와 자기저항 사이의 특정 관계들을 나타낸다. 그래프(400)에서, 시간의 한 지점에서 단일 프리 자성층을 갖는 자기셀은 더 낮은 자기저항(411) 또는 더 높은 자기저항(413) 중 하나를 가질 수 있고, 여기서 더 낮은 값(411)은 평행-용이-축 피고정 자성층(자기셀(100)에서의 고정 자화층(121)과 같음, 또는 이는 단일 고정층을 갖는 셀 내의 유일한 고정층임)의 자화 방향과 평행 중인 프리 자성층의 자화 방향에 대응하고, 더 높은 값(413)은 평행-용이-축 피고정 자성층의 자화 방향에 역평행 중인 프리 자성층의 자화 방향에 대응한다. 역평행으로부터 평행으로 프리층을 스위칭하기 위해 그리고 더 높은 자기저항(413)에서 더 낮은 자기저항(411)으로 강하시키기 위해 전류는 임계 전류의 값으로 양의-x 방향에서 인가되어야 한다. 반면에, 평행으로부터 역평행으로 프리층을 스위칭하기 위해 그리고 더 낮은 자기저항(411)으로부터 더 높은 자기저항(413)으로 이동시키기 위해 전류는 임계 전류의 값으로 음의-x 방향에서 인가되어야 한다. 그러나, 임계 전류의 값은 두 개의 셀들에 대해 상이하다.

[0032] 오직 하나의 피고정 자성층을 갖는 자기셀에서, 초기 토크(도 3의 유일한 토크 컴포넌트(311)에 비례하는)의 약점은 프리 자성층의 자화 방향을 스위칭하기 위해 큰 전류를 갖는 것에 대해 보상되어야 한다. 단일-고정-층 셀을 위한 이러한 상대적으로 큰 임계 전류는 도 4에서  $I_{CS}$ 로 표시되고, 그래프(400)에서 양의-x 방향 및 음의-x 방향 모두에서 전류의 더 큰 값에 있다. 전류(420)는, 임계 전류( $I_{CS}$ )로 제공되는 단일-고정-층에 대하여 도시되고 그리고 전류(420)는 더 높은 자기저항에서 더 낮은 자기저항으로 스위칭되는 중이다(또는 음의-x 축 상에서 거꾸로). 반면에, 듀얼 기준층을 갖는 자기셀(100), 프리층(122)의 용이축에 평행한 자화 방향(141)을 갖는 하나의 고정된 자성층(121), 및 프리층(122)의 용이축과 수직인 자화 방향(143)을 갖는 또 다른 피고정 자성층(123)에서, 프리층(122)의 자화 방향을 스위칭하기 위한 임계전류는 더 낮다. 듀얼-고정-층 셀을 위한 이러한 상대적으로 더 작은 임계 전류는 도 4에서  $I_C$ 로 표시되고, 그래프(400)에서 양의-x 방향 및 음의-x 방향 모두에서 전류의 더 작은 값들에 있다. 전류(421)는, 임계 전류( $I_C$ )에 제공되는 듀얼-고정-층에 대하여 도시되고 그리고 전류(421)는 더 높은 자기저항에서 더 낮은 자기저항으로 스위칭되는 중이다(또는 음의-x 면 상에서 거꾸로).

[0033] 상기 논의가 자기셀(100)에 기록 동작들을 수행하는 맥락에서 제공되는데, 판독 동작들도 또한 유사한 방법으로 동일 터미널들(111, 113)을 통해 수행될 수 있지만, 임계 전류보다 더 낮은 전류를 이용한다. 판독 동작은 자기셀(100)로 임계 전류보다 더 낮은 판독 쿼리(query) 전류를 제공함으로써 자기셀(100) 상에서 수행될 수 있다. 이러한 판독 쿼리 전류는 자기셀(100)의 더 높은 레벨의 자기저항(413) 또는 더 낮은 레벨의 자기저항(411) 중 하나를 경험하고, 어떤 자기 상태 프리층(122)이 상기 특정한 자기셀에 있는지에 대한 정보를 전하는(carry) 저항 및 전류의 곱과 동일한 판독 응답 전압으로 복귀한다. 보다 물리적으로 상세하게, 만약 자기셀이 결정(determining) 기준층(즉, 프리 자성층(122)의 용이축과 평행한 자화 방향을 갖는 피고정 자성층(121))의 자화 방향에 평행하게 정렬된 프리 자성층(122)의 자화 방향을 갖고, 어느 하나의 극성의 판독 전류가 셀을 통해 제공된다면, 그것은 낮은 자기저항을 경험하고, 출력 전압은 낮다. 반면에, 만약 자기셀이 피고정 자성층(121)의 자화 방향에 역평행하게 정렬되는 프리 자성층(122)의 자화 방향을 갖고, 판독 전류가 셀을 통해 제공된다면, 노드(115)를 통해 감지되는 것처럼 그것은 높은 자기저항을 경험하고, 출력 전압은 높다.

[0034] 도 5는, 도 1 및 도 2의 자기셀(100)의 예시적 실시예로부터 몇몇 차이점들 및 몇몇 유사점들을 갖는 또 다른 예시적 예에 따라, 자화 방향들(141, 542, 143)을 갖는 셀의 자성층들(121, 522, 123)의 분해도와 함께, 자기 데이터 저장 셀(500)의 투시도를 도시한다. 자기셀(500)은 도 1 및 도 2의 자기셀(100)과 동일한 컴포넌트들을 많이 갖고, 피고정 자성층들(121 및 123), 중간층들(131 및 132), 터미널들(111 및 113) 및 노드(115)를 포함한다. 자화 방향(141)에 의해 도시된 것처럼, 제1 피고정 자성층(121)의 자화는 수직 배향으로 배향되고, 자화 방향(143)에 의해 도시된 것처럼, 제2 피고정 자성층(123)의 자화는 직경 배향으로 배향된다. 자기셀(500)은 또한 프리 자성층(522)을 포함하고, 자화 방향(542)과 함께 도시된 것처럼, 프리 자성층(522)의 용이축은 직경 배향으로 배향된다. 프리 자성층(522)의 용이축은 그러므로 피고정 자성층(123)의 자화 방향과 평행하다.

[0035] 자기셀(100)과 마찬가지로, 자기셀(500)은 또한 프리 자성층(522) 상에서 동시에 수직 스핀 토크들을 가하고, 즉 스핀 토크들은 서로에 대해 수직이고, 그것들 중 하나는 프리 자성층(522)의 용이축과 수직이고 하나의 스핀

토크는 프리층(522)의 용이축과 평행하다. 이 경우에, 프리 자성층(522)의 용이축에 평행하고 프리층(522)의 자화 방향과 평행 또는 역평행한 스핀 토크를 제공하는 자화 방향을 가지는 피고정 자성층(123)인데, 피고정 자성층(121)은 프리 자성층(522)의 용이축과 직교하고 프리층(522)의 자화 방향과 직교하는 스핀 토크를 제공하는 자화 방향을 갖는다. 직경 용이축을 갖는 프리층(522)을 갖는 것은 다양한 예시적 실시예들에서 유리할 수 있고; 예를 들어 프리층이 그것의 반지름 및 그것의 두께 간의 상대적으로 높은 비율을 가질 때, 직경 배향은 다양한 실시예들에서, 더 자연스러울 수 있고 더 안정성을 갖는 그것의 자화 방향을 보유할 수 있다.

[0036] 직경 배향 또는 평면-내 배향에서 모든 세 개의 자성층들이 그들의 자화 방향들 및 용이축들을 갖는 또 다른 예시적 예에 따라, 자화 방향들(641, 542, 143)을 갖는 셀의 자성층들(621, 522, 123)의 분해도들과 함께, 도 6은 자기 데이터 저장 셀(600)의 투시도를 도시한다. 다시, 많은 컴포넌트들이 도 1, 도 2, 및 도 5의 자기셀들(100 및 500) 내에서도 동일하고, 자기셀(100) 내에서처럼 피고정 자성층(123) 및 자기셀(500) 내에서처럼 프리 자성층(522)을 포함한다. 자기셀(600)은 또한, 자화가 프리 자성층(522)의 용이축 및 고정 자성층(123)의 자화의 직경 배향에 실질적으로 직교하는 제2 직경 배향으로 배향되는 피고정 자성층(621)을 포함한다. 모든 자화 방향들이 현재 직경 배향들일지라도, 피고정 자성층들(123) 중 하나가 프리 자성층(522)의 용이축과 평행한 그것의 자화 방향을 갖고, 다른 피고정 자성층(621)은 프리 자성층의 용이축과 직교하는 그것의 자화 방향을 갖는 동일한 패턴(pattern)들이 다시 한번 인가된다. 그러므로, 다시 한번 동일한 방식으로, 자기셀(600)을 통해 제공된 스핀-분극된 전류들이 프리 자성층(522)의 자화 방향을 스위칭하도록 사용될 수 있고, 더 낮은 전류를 갖는 더 빠른 스위칭 프로세스를 인에이블링하도록 토크의 큰 초기 부스트를 제공하기 위해 결정 기준층을 보완하기 위해 직교-축 피고정 자성층(621)은 토크 부스터층처럼 동작하는데, 프리층(522)의 자화가 정지할(come to rest) 배향에서의 토크를 제공하는 평행-축 피고정 자성층(123)은 결정 기준층처럼 동작한다. 자기셀(600)의 실시예는 다양한 실시예들에서의 독특한 장점들을 제공할 수 있다(예를 들어, 직경 배향이 더 자연스러울 수 있도록 그리고 직경 배향이 피고정 자성층들(621, 123)의 경우에서의 더 낮은 자기 고정(pinning) 리소스(resource)들 또는 더 낮은 에너지 및 더 높은 안정성을 유지할 수 있도록, 예시적 예에서처럼, 모든 층들이 상대적으로 높은 반지름 대 두께 비율을 가질 때).

[0037] 또 다른 예시적 예에 따라, 도 7은 자기 데이터 저장 셀들을 포함하는 데이터 저장 시스템(700)을 도시한다. 데이터 저장 시스템(700) 내부로부터 확대된 내부도(internal view)에서 도시된 데이터 저장 셀들(702)의 예시적 샘플(701)처럼, 데이터 저장 시스템(700)은 다수의 자기 데이터 저장 셀들을 포함한다. 데이터 저장 셀들(702)의 예시적 샘플(701)은 확대되도록 나타나지 않고, 데이터 저장 시스템들의 다양한 실시예들은 상기 설명된 자기셀들(100, 500, 600) 중 임의의 것과 같은, 듀얼-기준-층 자기 데이터 저장 셀들과 동작가능하게 연결되는 임의의 수(수백만, 수십억, 수조 또는 그 이상까지 잠재적으로 올라가는)를 포함할 수 있다. 그리고 데이터 저장 시스템(700)은 도 7의 예시적 내에서의 단일 디바이스로서 도시되지만, 데이터 저장 시스템들의 다른 실시예들은 임의의 수의 네트워킹된 또는 아니면면 접속된 데이터 저장 디바이스들을 포함할 수 있고, 복합(compound) 자기 데이터 저장 셀들 및 공간의 임의의 볼륨을 넘어서 분배되지 않는 다른 것들을 포함하는 몇몇을 포함하는 디바이스들의 다양한 상이한 형태들을 포함할 수 있다. 데이터 저장 셀들(702)의 어레이는 셀들(702)의 모든 노드들 및 터미널들(상기 설명된 실시예들에서의 노드(115) 및 터미널들(111, 113)과 같이)에 접속된 동작 가능한 신호 라인들을 가진 샘플(701) 내에 도시되지만(이 도시는 단순화됨), 개별적 자기셀들로 신호들을 전송하고 개별적 자기셀들로부터 신호들을 수신하기 위한 임의의 동작 가능한 설계는 상이한 실시예들에서 사용될 수 있다.

[0038] 데이터 저장 시스템(700) 내부에 포함된 자기 데이터 저장 셀들(702)은 대표적 자기셀(702n)을 포함하고, 이는 분리되고 더 확대된 도면에서 도시된다. 대표적 자기 데이터 저장 셀(702n)은 제1 터미널(711n), 제2 터미널(713n), 자성층들의 인접한 쌍들 사이에 위치한 중간층들(731n, 732n)과 함께 세 개의 실질적으로 원통형인 자성층들(721n, 722n 및 723n)을 포함하는 자기셀(702n)을 포함한다. 자성층들(721n 및 723n)은 피고정 자성층들인데, 그들 사이에 위치한 것은 프리 자성층(722n)이다. 자기셀(710n) 및 자성층들(721n, 722n 및 723n)은 그들의 개별적인 자성층들 또는 임의의 다른 유사한 자기셀 및 자성층들의 배열을 가진, 상기 논의된 실시예들에서의 임의의 자기 셀들(100, 500 또는 600)의 형태를 취할 수 있다.

[0039] 자기셀(702n)에서, 터미널(711n) 및 터미널(713n)은 자기 데이터 저장 셀(702n)을 통해 스핀-분극된 전류를 제공하도록 구성된다. 피고정 자성층(721n)은 제1 터미널(711n)과 근접하도록 위치되고, 피고정 자성층(723n)은 제2 터미널(713n)과 근접하도록 위치된다. 터미널과 "근접"한 것은 임의의 다른 층들이 있는 것보다 적어도 실질적으로 더 가깝거나 이에 연결되어 있는 것을 의미할 수 있는데, 이는 예를 들어, 터미널들과 자성층들 사이 또는 근처의 영역 내의 추가적 층들, 코팅들, 서브-터미널들 또는 컴포넌트들과 일치될 수 있다. 프리 자성층



(722n)은 제1 및 제2 피고정 자성층들(721n, 723n) 사이에 위치된다. 상기 논의된 실시예들에서처럼, 피고정 자성층들(721n, 723n) 중 하나는, 피고정 자성층들(721n, 723n) 중 나머지 하나의 자화 방향에 실질적으로 직교하는 고정 자화 방향을 갖고, 프리 자성층(722n)은 1차 기준층(1차 기준층은 피고정 자성층들(721n, 723n) 중 어느 하나를 포함함)을 결정하는 평행-축의 자화 방향과 실질적으로 평행한 용이축을 갖는다. 이는 프리 자성층(722n)으로 하여금, 상기 설명된 기록 동작들에 따라, 1차 기준층의 자화 방향과 평행 또는 역평행 중 어느 하나의 자화 방향을 갖게 한다.

[0040] 예시적 실시예에서, 대표적 자기 데이터 저장 셀(702n)은 일반적으로 터미널들(711n, 713n) 사이를 지나고 자성층들(721n, 722n, 723n)에 일반적으로 수직인 수직축을 규정할 수 있다. 다양한 예시적 실시예들에서, 도 1, 도 5, 도 6을 참조로 하여 상기 논의된 다양한 실시예들과 유사하게, 제1 피고정 자성층(721n)의 자화 방향은 수직축과 일반적으로 평행하게 배향될 수 있고, 제2 피고정 자성층(723n)의 자화 방향은 수직축과 일반적으로 직교하거나 또는 일반적으로 평행한 것 중 하나로 배향될 수 있고, 그리고 프리 자성층(722n)의 용이축은 제1 피고정 자성층 또는 제2 피고정 자성층 중 하나의 자화 방향과 일반적으로 평행하게 배향될 수 있다.

[0041] 데이터 저장 시스템(700)은 신호 접속들을 통해 기록 신호들 및 판독 신호들을 제공하도록 구성되고, 기록 신호들은 임계값을 초과하는 전류 밀도를 갖는 스핀-분극된 전류들로 하여금 자기 데이터 저장 셀들(702)의 프리 자성층들의 자화 방향을 제어 가능하게 설정하기 위해 자기 데이터 저장 셀들(702)을 통해 제공되게 하고, 그리고 판독 신호들은 임계값 미만의 전류 밀도를 갖는 스핀-분극된 전류들로 하여금 자기 데이터 저장 셀들(702)의 프리 자성층들(722)의 자화 방향을 표시하는 판독 출력 신호를 생성하기 위해 자기 데이터 저장 셀들을 통해 제공되게 한다.

[0042] 이런 방식으로, 상기 논의된 것처럼, 데이터 저장 시스템(700)은 데이터 저장 시스템(700)의 많은 자기셀들(702)의 프리 자성층들의 자화 방향들 내에 인코딩된 많은 양의 데이터를 저장할 수 있고, 높은 속도 및 낮은 전류로 자기셀들(702) 상에서 판독 및 기록 동작들을 수행할 수 있다. 예시적 실시예에서, 요구된 전류는, 이러한 저장 디바이스의 전형적 컴포넌트들인 전계 효과 트랜지스터들(FET's)처럼, 저장 셀들의 동작들을 인에이블링하는 집적된 반도체 엘리먼트들과 더 양립 가능하기에 충분히 낮을 수 있다. 추가적으로, 요구된 전류는, 자기셀들로 전력을 공급하기 위해 크거나 거대한 전용(devoted) 전류원들을 요구하는 것이 아니라, 표준의 집적된 회로 전류원들에 의해 공급될 수 있게 충분히 낮을 수 있다. 낮은 전류는 또한 에너지 소비의 낮은 비율, 낮은 폐열 및 필요조건들을 내장하는 시스템에 낮은 기여 및 휴대용 디바이스 컨텍스트(context)에서의 데이터 저장의 경우에 연장된 배터리에 기여한다. 급속 스위칭 시간 및 빠른 판독 및 기록 동작들은 데이터 저장 시스템(700)의 높은-속도 성능에 기여한다.

[0043] 예시적 예에 따라, 도 8은 상기 논의된 자기 셀들, 데이터를 기록 또는 판독하기 위해 자기셀을 사용하는 것 중 하나와 연관된 방법(800)을 도시한다. 801에서 시작한 후에, 방법(800)은 제1 면 및 제2 면을 포함하는 프리 자성층, 용이축에 정렬된 초기 자화 방향을 갖는 프리 자성층을 제공하는 단계(803); 및 프리 자성층의 제1 면에 제1 스핀 토크를, 프리 자성층의 제2 면에 제2 스핀 토크를 인가하는 단계(805)를 포함하며, 제1 스핀 토크는 프리 자성층의 초기 자화 방향과 실질적으로 직교하고 제2 스핀 토크는 프리 자성층의 초기 자화 방향과 실질적으로 역평행하다. 이는 자기셀에 데이터를 기록하기 위한 방법으로서 적당할 수 있다. 방법(800)은 또한 프리 자성층에 판독 전류를 인가하는 단계(807); 및 판독 전류에 응답하여 수신된 판독 출력 신호에 적어도 부분적으로 기초한 출력을 제공하는 단계(809)를 포함하는 판독 프로세스를 포함할 수 있다. 임의의 종류의 데이터 또는 정보는 이에 의해 듀얼-기준-층 자기 셀들 내에 저장될 수 있고, 데이터 또는 정보는 실제적인 출력의 정보적 또는 유용한 형태를 제공하도록 사용될 수 있고 판독 프로세스에 의해 검색될 수 있고, 모니터 상에서 렌더링(rendered)된 디스플레이, 프린터를 이용해 출력된 정보, 스피커로 제공된 오디오 데이터, 촉감적(tactile) 출력, 또는 또 다른 컴퓨팅 시스템, 디바이스, 라우터, 노드 등으로 경-선(hard-wire) 또는 무선 신호 연결을 통해 제공된 데이터를 포함할 수 있고, 이는 사용자-인지 가능한 출력 포맷에서의 결합(incorporation)을 위하여 시간에서의 몇몇 포인트에서 이용될 수 있다.

[0044] 구조의 세부사항들 및 본 명세서의 다양한 구성들의 기능과 함께, 본 명세서의 다양한 양상들의 수많은 특징들 및 장점들이 진술한 명세서에서 설명되었을지라도, 본 명세서는 단지 예시적인 것이고, 첨부된 청구범위에 표현된 용어들의 광범위한 일반적 의미에 의해 나타난 전체 범위로 본 개시내용의 원리들 내의 부분들의 배열 및 구조의 내용들을 포함하는 변화들이 세부사항들에서 이루어질 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0045] 예를 들어, 자성층들 및 자기 엘리먼트들은 동일한 외부 반지름 및 원통 형태의 형상들로 도시되지만, 서로 서로에 관하여 변화하는 반지름들 및 변화하는 형태(morphology)들의 다양한 층들이 사용될 수 있고, 특히 저장 셀

의 크기가 발전의 후속된 반복들에서 가장 작아질 때, 특별히 형태들은 더 효율적일 수 있고 사용된 물질들의 하부(underlying) 결정 격자들에 대해 고유(inherent)할 수 있다. 또 다른 예로서, 상기 논의된 예들이 수직으로 또는 직경으로 중 하나로 배향된 자화들을 가진 원통형으로, 일-차원적으로 스택된 자성층들의 특정한 언급을 할 수 있지만, 다양한 층들이 임의의 배열로, 다중 차원들로 서로 인접하게 배열되거나 스택될 수 있고, 또한 수직으로 또는 직경으로 배향된 자화들로 또는 그것의 자화가 모나게(angular) 또는 "볼텍스(vortex)"로 고정될 수 있는 층들이 사용될 수 있고, 자화 방향이 층의 중심 수직층을 원형으로 둘러 구부러지는 다른 자기 셀들이 사용될 수 있다.

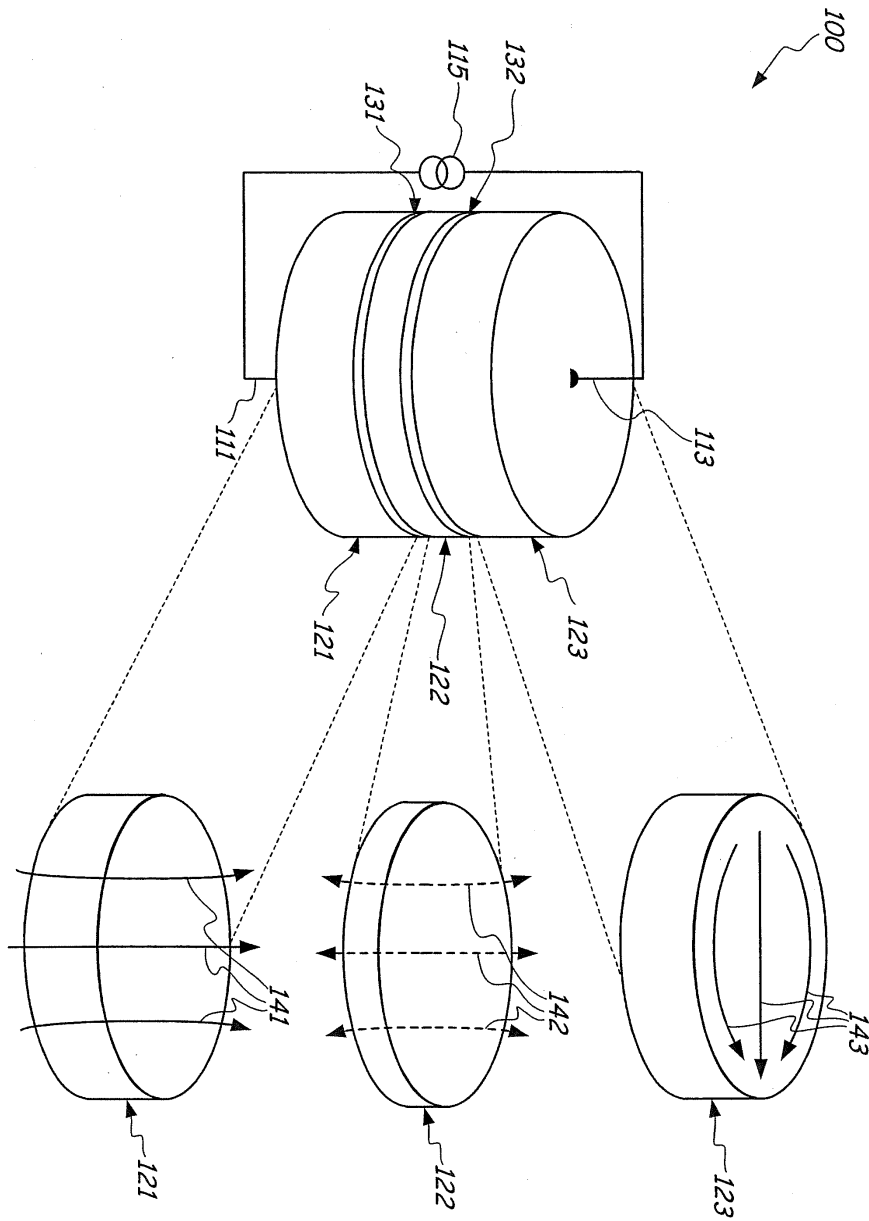
[0046] 평면-밖 및 두 개의 직교 평면-안 배향들을 포함하는 다양한 실시예들은 또한 층들의 자화 방향들 또는 용이축이 임의의 두 개의 배향들에서 쌍-안정(bi-stable)하거나; 상기 언급된 모든 세 개의 배향들로 3쌍-안정(tri-stable)하거나; 층의 두 개 이상의 직경으로 배향된 층들을 따른 직경 배향들에서 쌍-안정하거나 아니면 4쌍-안정(quasi-stable)한 층들을 사용할 수 있다. 다양한 실시예들은, 예를 들어, 층들의 내부의 환형의(annular) 반지름들을 규정하는 내부 캐비티(cavity)들과 같은, 임의의 자성층들의 용이축 또는 자화 방향의 안정한 또는 4쌍-안정한 배향들을 규정하기 위한 다른 기법들 및 구조들을 사용할 수 있다.

[0047] 또 다른 예에서처럼, 상기 논의된 실시예들은 단일 자성 프리층을 가진 자기셀의 맥락에서 논의되었는데, 예시적 예에 따라, 다른 실시예들은 다수의 이산(discrete) 자기 프리층들을 갖는 자기셀을 포함할 수 있고, 기록 동작은 전류 및 (전류의 방향뿐만 아니라) 전류가 셀에 인가되는 시간 기간을 변화시킬 수 있고, 제어가능하게 임의의 조합의 자기 프리층들을 스위칭하고, 이에 의해 정보의 다수의 비트들을 각 단일 자기셀에 기록한다. 예시적 실시예에서, 프리 자성층들은 프리 자성층들의 각 인접한 쌍들을 분리하는 중간층들을 가질 수 있고, 이는 반대 자화 방향들을 갖는 인접한 프리 자성층들 사이의 이산 구역 벽(domain wall)들을 규정할 수 있다. 예시적 실시예에서, 1차와 평행한 그들의 자화 방향들을 갖는 프리 자성층들, 평행-축 고정 층은 자성층의 스택 더 아래의 프리층들을 스위칭하는데 평행-축 고정층의 스핀 토크에 기여할 수 있다. 본 예시적 실시예에서, 다수의 프리 자성층들을 가진 자기셀들은 상대적으로 더 큰 셀들을 제공할 수 있지만 셀 당 더 많은 비트들을 가져, 더 높은 전체적인 데이터 저장 밀도를 제공한다.

[0048] 또 다른 예에서처럼, 본 개시내용의 데이터 저장 셀 또는 데이터 저장 시스템은 데이터의 저장 및/또는 조작(manipulation)을 위한 임의의 기술과 관련하여 사용될 수 있고, 자기저항, 거대 자기저항, 초거대(colossal) 자기저항, 플래쉬 메모리, 광학, 자기-광학, 포토닉스(photronics), 스핀트로닉스(spintronic), 홀로그래피 및 임의의 다른 기술을 수반(involve)하는 것을 포함한다. 다양한 실시예들은 또한, 데이터의 상이한 부분들을 저장하거나 조작하기 위한, 디스크 드라이브들 또는 플래쉬 드라이브들과 같은, 다른 기술들뿐만 아니라 자기셀들을 사용하는 상이한 컴포넌트들을 갖는 데이터를 저장하거나 아니면 조작하는 다중-기술(multi technology) 디바이스들에 통합될 수 있다. 게다가, 본 개시내용은 데이터를 저장 또는 조작하기 위한 시스템들에 제한되는 것은 아니지만, 또한 스핀 토크 자기 조작과 관련된 임의의 기술을 포함할 수 있다.

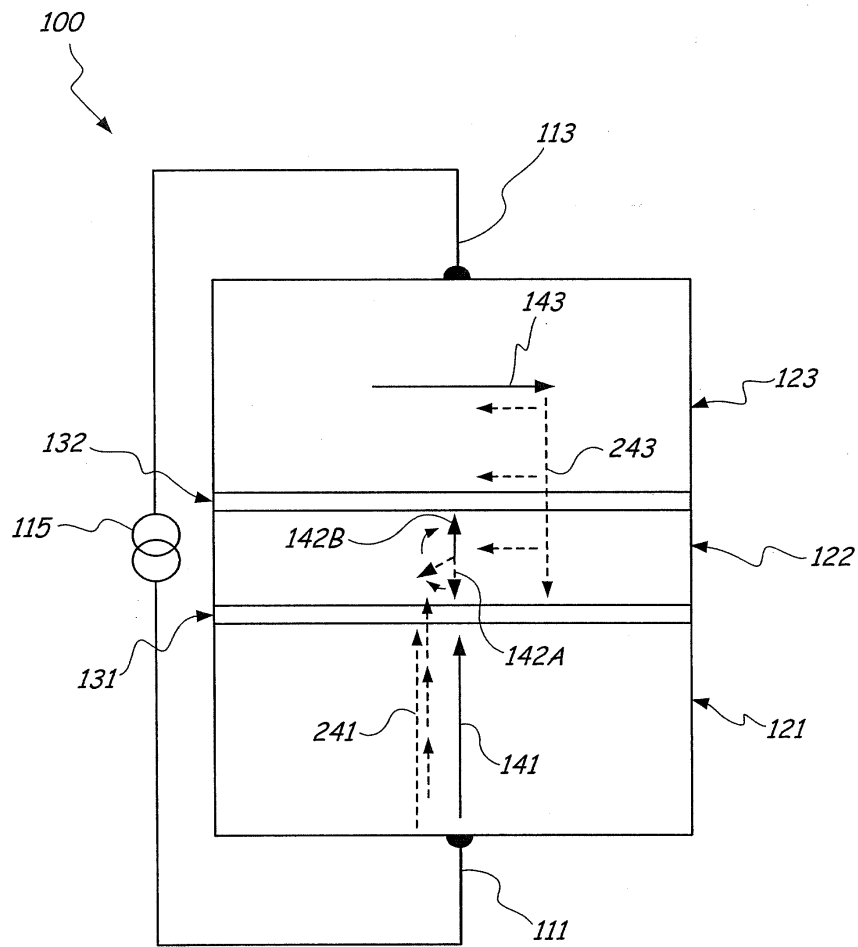
도면

도면1

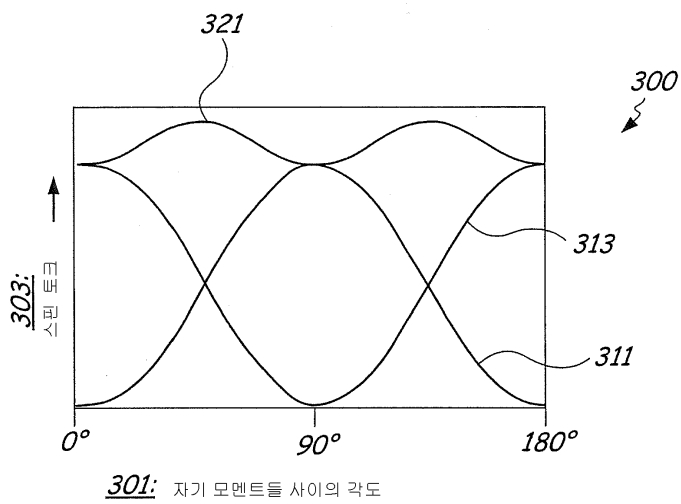




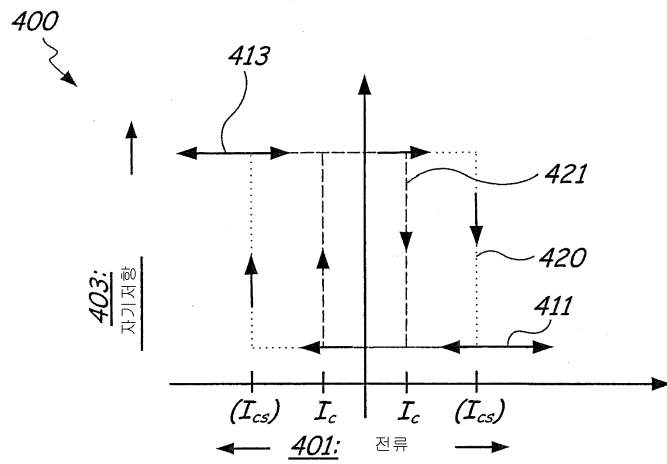
도면2



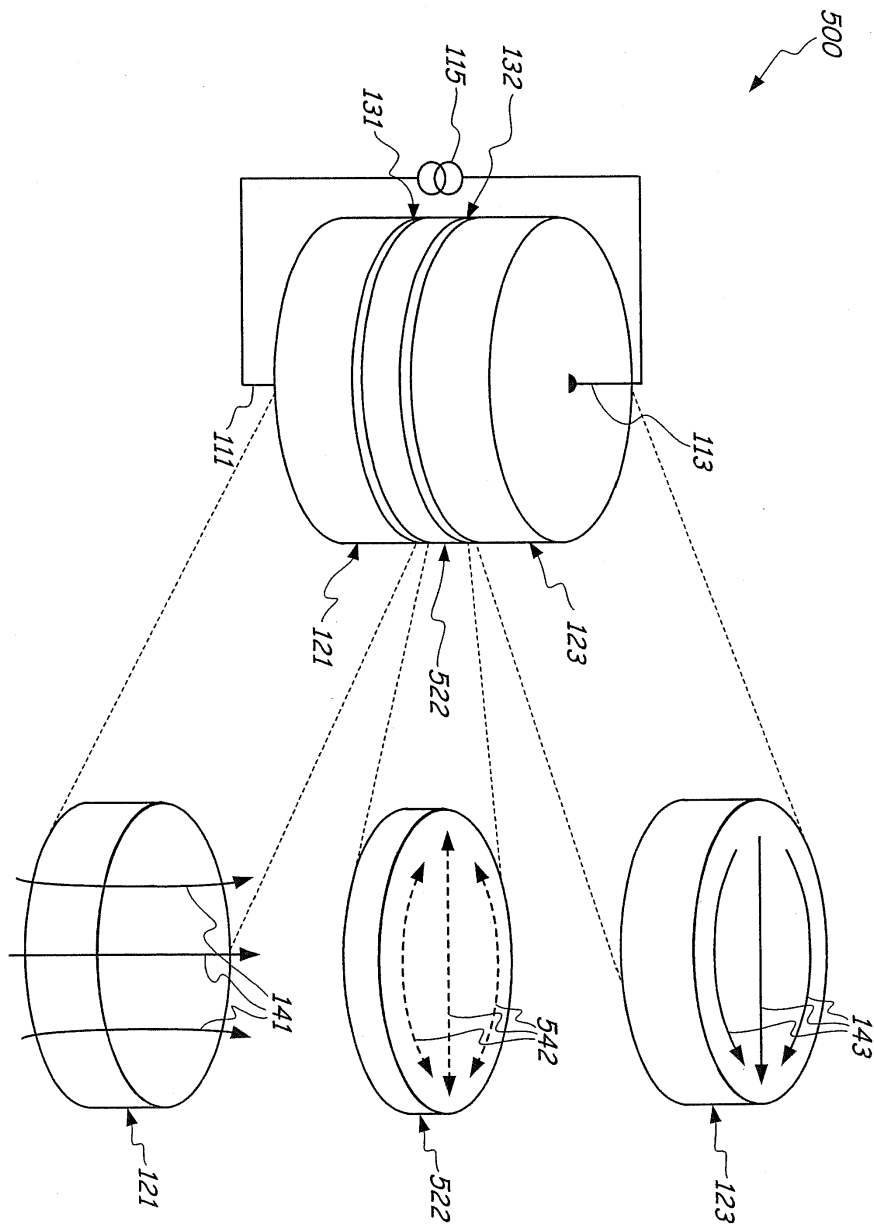
도면3



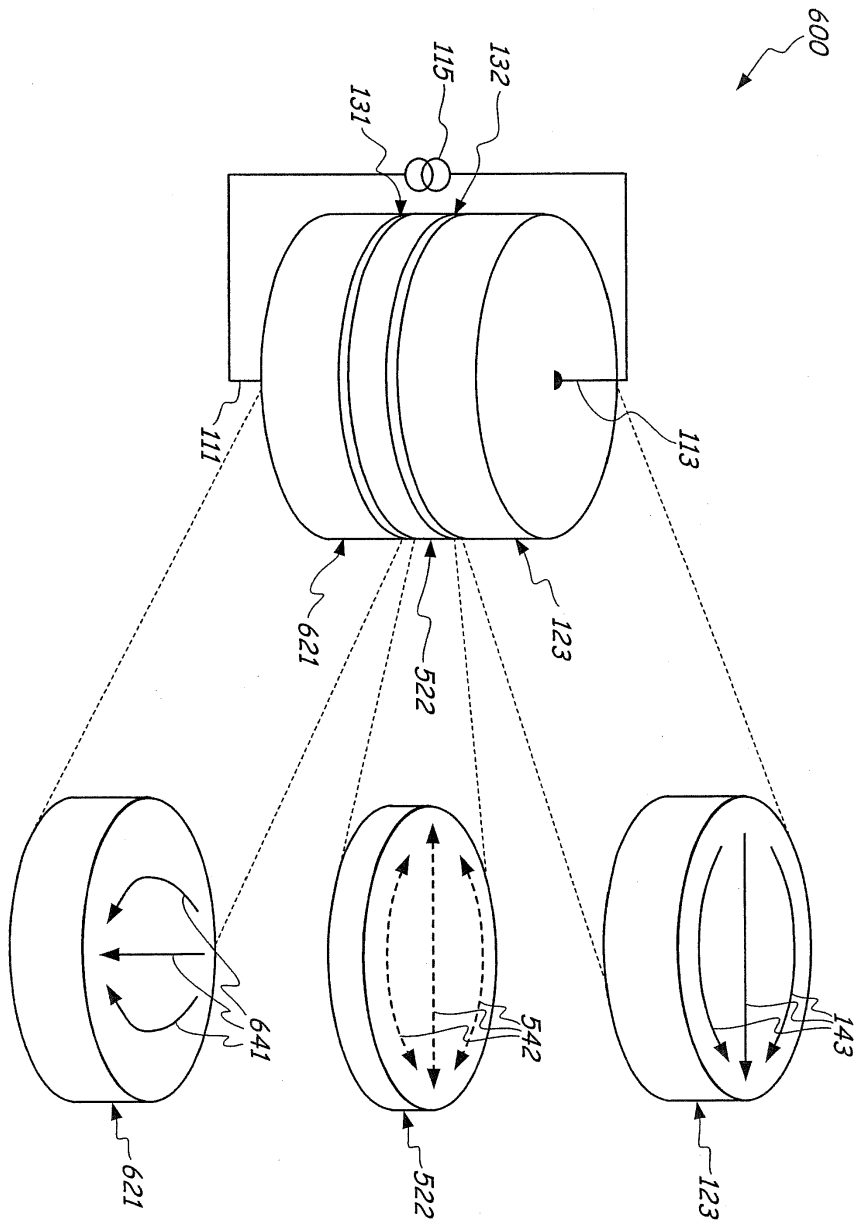
도면4



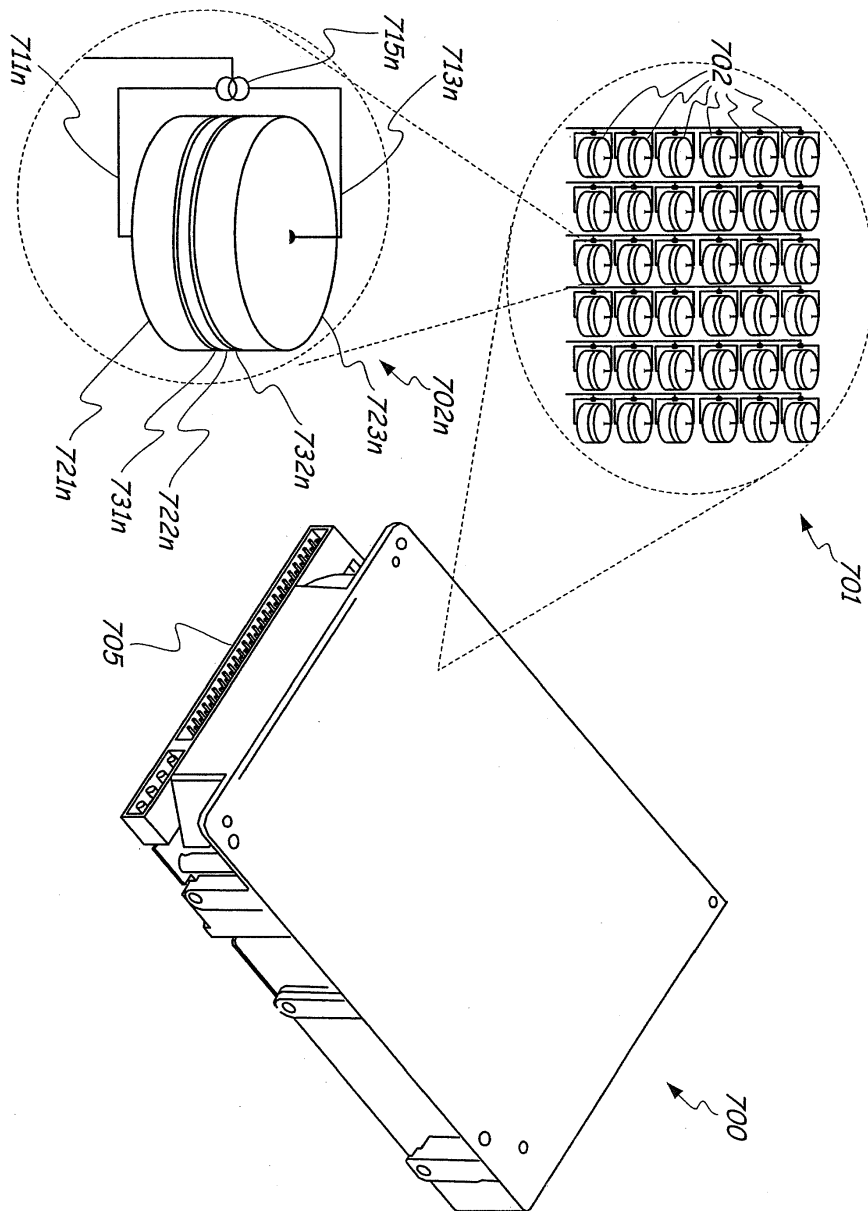
도면5



도면6



도면7



도면8

800  
↓

