



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0072100  
(43) 공개일자 2020년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01R 33/12 (2006.01) G01R 33/032 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01R 33/1215 (2013.01)  
G01R 33/032 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0159881  
(22) 출원일자 2018년12월12일  
심사청구일자 2018년12월12일

(71) 출원인  
한국표준과학연구원  
대전 유성구 가정로 267(가정동, 한국표준과학연구원)  
한국기초과학지원연구원  
대전광역시 유성구 과학로 169-148 (어은동)  
한국과학기술연구원  
서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)  
(72) 발명자  
문경용  
대전광역시 유성구 대덕대로 596번길 407호  
황찬용  
서울특별시 강남구 도곡로78길 22, 301동 301호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
이준성

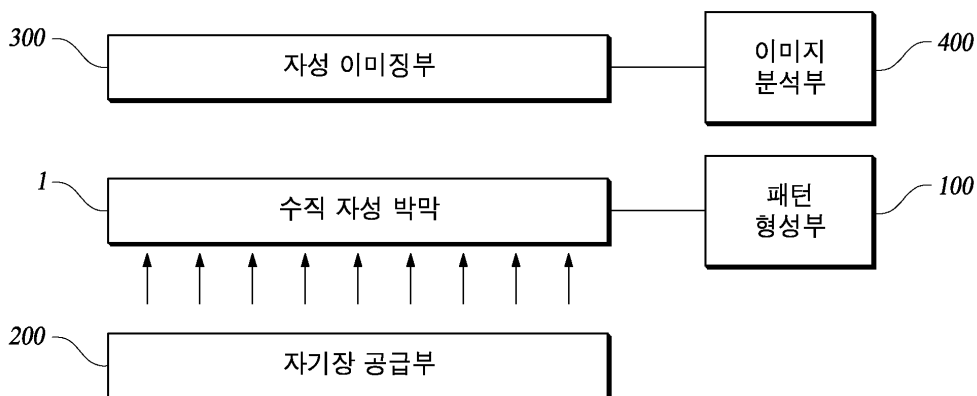
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법 및 장치

**(57) 요약**

본 발명의 실시예에 따른 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법은, xy 평면에서 연장되는 수직자성박막에, y 방향으로 연장되고 z 방향으로 자화되는 제1 자구(magnetic domain)와, 상기 y 방향으로 연장되고 상기 z 방향과 반대 방향으로 자화되는 제2 자구가, x 방향으로 교대로 배열되는 스트라이프 패턴을 형성하는 단계; 상기 수직자성박막에 z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가함으로써 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 변화시키는 단계; 및 상기 제1 자구와 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하는 단계를 포함한다.

**대표도** - 도2



(72) 발명자

**민병철**

서울시 성북구 화랑로 14길 5

**박승영**

대전시 서구 문예로 174 (둔산동 샘머리아파트)

114동 405호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CAP-16-01-KIST

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 융합연구사업 : 창의형 융합연구사업(CAP)

연구과제명 초저전력 및 초고속 스핀소자 물성평가 기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국표준과학연구원, 한국과학기술연구원, 한국기초과학지원연구원

연구기간 2016.07.01 ~ 2019.06.30

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

xy 평면에서 연장되는 수직자성박막에, y 방향으로 연장되고 z 방향으로 자화되는 제1 자구(magnetic domain)와, 상기 y 방향으로 연장되고 상기 z 방향과 반대 방향으로 자화되는 제2 자구가, x 방향으로 교대로 배열되는 스트라이프 패턴을 형성하는 단계;

상기 수직자성박막에 z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가함으로써 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 변화시키는 단계; 및

상기 제1 자구와 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하는 단계

를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 x 방향에서 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구가 반복되는 주기( $\lambda$ ), 상기 제2 자구의 상기 x 방향의 폭(W), 상기 수직자성박막의 z 방향의 두께(d), 상기 z 방향으로 인가되는 자기장의 크기( $H_z$ ) 및 상기 수직자성박막의 자화의 크기(M)는 하기의 식을 만족하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

$$\mu_0 M = \frac{2\lambda H_z}{\pi d R}$$

단, 상기 식에서,

$\mu_0$ 는  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m의 투자율을 나타내고,

M은 단위가 A/m이고,

$\lambda$ , W 및 d의 단위는 m이고,

$H_z$ 는 단위가 T이고,

$$R = (\lambda - 2W) / \lambda \text{ 이다.}$$

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하는 단계는,

상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 폭이 변화된 수직자성박막의 이미지를 생성하는 단계;

상기 이미지로부터 상기 제1 자구와 상기 제2 자구가 반복되는 주기( $\lambda$ )를 측정하는 단계;

상기 이미지로부터 상기 R을 측정하는 단계; 및

상기 주기 및 R에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 크기를 산출하는 단계

를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

**청구항 4**

제3항에 있어서,

상기 R을 측정하는 단계는,

상기 수직자성박막의 이미지로부터, 밝기에 따른 픽셀의 수를 나타내는 히스토그램을 생성하는 단계;

상기 히스토그램에서, 좌측의 봉우리를 중심으로 하는 제2 자구 분포 및 우측의 봉우리를 중심으로 하는 제1 자구 분포를 추정하는 단계; 및

상기 제1 자구 분포의 면적과 상기 제2 자구 분포의 면적을 기초로 상기 R 값을 계산하는 단계를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 R 값을 계산하는 단계에서,

상기 제1 자구 분포의 면적을  $N_{+z}$ , 상기 제2 자구 분포의 면적을  $N_{-z}$ 라고 할 때, 상기 R 값은 하기의 식을 만족하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

$$R=(N_{+z}-N_{-z})/(N_{+z}+N_{-z})$$

**청구항 6**

xy 평면에서 연장되는 수직자성박막에 전류를 공급함으로써, 상기 수직자성박막에, y 방향으로 연장되고 +z 방향으로 자화되는 제1 자구와, 상기 y 방향으로 연장되고 -z 방향으로 자화되는 제2 자구가, x 방향으로 교대로 배열되는 스트라이프 패턴을 형성하는 패턴 형성부;

상기 수직자성박막에 z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가함으로써 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 변화시키는 자기장 공급부; 및

상기 변화된 제1 자구와 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 크기를 산출하는 이미지 분석부

를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 패턴 형성부는,

x 방향으로 배열된 톱니 형상의 단부를 갖는 전극과,

상기 전극에 전류를 공급하는 전류공급부

를 포함하고,

상기 톱니 형상의 단부는 상기 수직자성박막에 접촉하는, 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 패턴 형성부는,

상기 수직자성박막에 자기장을 인가하는 제2 자기장 공급부;

상기 자기장이 인가된 수직자성박막의 어느 한 지점에 레이저를 조사함으로써 상기 수직자성박막을 가열하는 레이저 공급부; 및

상기 레이저를 y 방향으로 이동시키는 이동부를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 9**

제6항에 있어서,  
 상기 패턴 형성부는,  
 자성을 갖고 자기장을 발생시키며, 상기 수직자성박막을 자화시키는 MFM(Magnetic Force Microscope) 팁(tip); 및  
 상기 MFM 팁을 y 방향으로 이동시키는 제2 이동부를 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 10**

제9항에 있어서,  
 상기 MFM 팁은 x 방향으로 배열된 복수의 MFM 팁을 포함하고,  
 상기 제2 이동부는, 상기 복수의 MFM 팁을 y 방향으로 동시에 이동시키는, 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 11**

제6항에 있어서,  
 상기 자기장이 인가된 수직자성박막의 밝기를 측정하는 자성 이미징부를 더 포함하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 12**

제11항에 있어서,  
 상기 이미지 분석부는, 상기 수직자성박막의 밝기에 기초하여 상기 제1 자구의 x 방향의 폭과 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율을 산출하는, 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치.

**청구항 13**

제12항에 있어서,  
 상기 이미지 분석부는, 하기의 식에 의해 상기 수직자성박막의 자화의 크기를 산출하는 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법.

$$\mu_0 M = \frac{2\lambda H_z}{\pi d R}$$

단, 상기 식에서,

$\mu_0$ 는  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m의 투자율을 나타내고,

M은 단위가 A/m인, 수직자성박막의 자화의 크기를 나타내고,

$\lambda$ 는 단위가 m인, 상기 x 방향에서 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구가 반복되는 주기를 나타내고,

$H_z$ 는 단위가 T인 자기장의 크기를 나타내고,

d는 단위가 m인, 상기 수직자성박막의 z 방향의 두께를 나타내고,

W는 단위가 m인, 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 나타내고,

$$R = (\lambda - 2W) / \lambda$$

이다.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 자화의 크기를 측정하는 것에 관한 것으로, 특히 수직자성박막에 스트라이프(stripe) 패턴을 형성함으로써 자화의 크기를 측정하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 자화(magnetization)는 자성체의 기본적인 물성으로, 크기와 방향을 가지는 벡터값이다. 그러나 종래 자성 이미징 기술은 자화의 상대적인 방향만을 측정하는 것에 관한 것이 많다.

[0003] 이와 관련하여 미국 물리학 협회(American Institute of Physics)에서 발간된 Appl. Phys. Lett. 104, 122404 (2014)에 게재된 논문 "Measurement of magnetization using domain compressibility in CoFeB films with perpendicular anisotropy"에서는 자화의 크기를 측정하는 것을 기술하고 있다.

[0004] 그러나, 상기 논문은 한 개의 스트라이프, 즉 한 개의 자구(magnetic domain)가 형성된 경우 자화의 크기를 측정하는 것만을 기술한다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 수직자성박막에 복수의 자구가 배열된 스트라이프 패턴을 형성함으로써, 수직자성박막의 자화의 크기를 측정 가능한 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

#### 과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 실시예에 따른 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 방법은, xy 평면에서 연장되는 수직자성박막에, y 방향으로 연장되고 +z 방향으로 자화되는 제1 자구(magnetic domain)와, 상기 y 방향으로 연장되고 -z 방향으로 자화되는 제2 자구가, x 방향으로 교대로 배열되는 스트라이프 패턴을 형성하는 단계; 상기 수직자성박막에 z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가함으로써 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 변화시키는 단계; 및 상기 제1 자구와 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하는 단계를 포함한다.

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치는, xy 평면에서 연장되는 수직자성박막에, y 방향으로 연장되고 +z 방향으로 자화되는 제1 자구(magnetic domain)와, 상기 y 방향으로 연장되고 -z 방향으로 자화되는 제2 자구가, x 방향으로 교대로 배열되는 스트라이프 패턴을 형성하는 패턴 형성부; 상기 수직자성박막에 z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가함으로써 상기 제1 자구 및 상기 제2 자구의 x 방향의 폭을 변화시키는 자기장 공급부; 및 상기 변화된 제1 자구와 상기 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율에 기초하여 상기 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하는 산출부를 포함한다.

#### 발명의 효과

[0008] 본 발명의 실시예에 의하면 수직자성박막의 자화의 크기를 측정할 수 있다.

#### 도면의 간단한 설명

[0009] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 스트라이프 패턴을 갖는 수직자성박막을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자화 측정 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3(a)는 도 1의 패턴 형성부의 일 예이고, 도 3(b) 및 도 3(c)는 패턴 형성부에 포함되는 전극의 다른

예이다.

도 4는 도 1의 패턴 형성부의 일 예이다.

도 5는 도 1의 패턴 형성부의 일 예이다.

도 6(a) 및 도 6(b)는 도 1의 패턴 형성부의 일 예이다.

도 7(a) 및 도 7(b)는 도 1의 자성 이미징부에 의해 촬영된 수직자성박막의 이미지이다.

도 8은 도 1의 이미지 분석부의 구성을 나타내는 도면이다.

도 9는 도 8의 주기 산출부의 처리를 나타내는 순서도이다.

도 10은 도 8의 밝기 히스토그램 생성부에 의해 생성된, 수직자성박막의 이미지의 밝기 히스토그램의 일 예이다.

도 11은 도 8의 분포 추정부에 의해 도 8의 히스토그램의 분포를 추정한 것을 나타내는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0010] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정되어 해석되지 말아야 하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.
- [0011] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0012] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0013] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 스트라이프 패턴을 갖는 수직자성박막(1)을 설명하기 위한 도면이다. 수직자성박막(1)은 xy 평면에서 연장되고 z방향으로 두께 d를 갖는다고 가정한다. 본 명세서에서 x 방향, y 방향 및 z 방향은 임의의 서로 수직인 세 방향을 나타내며, 특정의 절대적인 방향을 나타내는 것은 아니다.
- [0014] 도 1a는 수직 방향(z 방향)의 자기장이 인가되지 않은 상태의 수직자성박막(1)을 나타낸다.
- [0015] 도 1a를 참조하면, 수직자성박막(1)은 +z 방향으로 자화된 제1 자구(10)와 -z 방향으로 자화된 제2 자구(20)가 교대로 배열된 스트라이프 패턴을 가질 수 있다. 제1 자구(10) 및 제2 자구(20)는 y방향으로 연장되며, x 방향으로 연장된다. 수직자성박막(1)은 자기 쌍극자 에너지를 최소화하기 위해, 제1 자구(10)와 제2 자구(20)의 폭이 동일한 상태(half-up and half-down magnetization)가 선호된다. 즉, 수직자성박막(1)의 스트라이프 패턴의 주기를  $\lambda$ 라고 했을 때, 제1 자구(10)의 폭(w1) 및 제2 자구(20)의 폭(w)은 모두  $\lambda/2$ 가 된다.
- [0016] 도 1b는 수직 방향(+z 방향)의 자기장이 인가된 상태의 수직자성박막(1)을 나타낸다.
- [0017] 도 1a의 스트라이프 패턴을 갖는 수직자성박막(1)에 +z 방향으로 자기장을 인가하면, 자기장의 방향과 동일한 방향으로 자화된 제1 자구(10)의 폭(w1)은 증가하고 자기장의 방향과 반대 방향으로 자화된 제2 자구(20)의 폭(w)은 감소한다. 즉, 도 1b에서,  $w1 > \lambda/2$  이고,  $w < \lambda/2$  이다.
- [0019] 본 출원의 발명자는 제1 자구(10)와 제2 자구(20)가 반복되는 주기를  $\lambda$ 라 하고, R을 하기의 식 (1)과 같이 정의했을 때,
- [0020] 
$$R = (\lambda - 2w) / \lambda \quad \dots(1)$$
- [0021] 하기의 식 (2)가 성립함을 밝혀냈다.

$$\mu_0 M = \frac{2\lambda H_z}{\pi d R}$$

[0023] ... (2)

[0024] 여기에서 M은 단위가 A/m인 수직자성박막의 자화의 크기를 나타내고,

[0025]  $\mu_0$ 는  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m의 투자율을 나타내고,

[0026]  $H_z$ 는 단위가 T인 자기장의 크기를 나타내고,

[0027]  $\lambda$ ,  $w$ ,  $d$ 의 단위는 m이다.

[0029] 상기 식 (2)를 살펴보면,  $\mu_0$ 는 상수이고,  $\lambda$ 와  $d$ 는 수직자성박막을 측정함으로써 알 수 있는 값이고,  $H_z$ 는 인가한 자기장의 크기이므로 역시 알 수 있는 값이다. 따라서, 수직자성박막의 자화의 크기는 R을 측정함으로써 알 수 있다.

[0030] 이때,  $\lambda = w1 + w$  임을 이용하여 상기 식 (1)을 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$R = (\lambda - 2w) / \lambda = (w1 + w - 2w) / (w1 + w) = (w1 - w) / (w1 + w) = (1 - w/w1) / (1 + w/w1) \quad \dots (3)$$

[0034] 상기 식 (3)으로부터 R은  $w/w1$ 에 의해 결정됨을 알 수 있다. 결과적으로 수직자성박막의 자화의 크기 역시  $w/w1$ , 즉 제1 자구(10)와 제2 자구(20)의 폭의 비율에 의해 결정됨을 알 수 있다.

[0036] 이하, 이러한 원리를 이용하여 수직자성박막의 자화의 크기를 측정하는 장치 및 방법에 대하여 설명한다.

[0037] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자화 측정 장치(1)의 구성을 나타내는 도면이다.

[0038] 도 2를 참조하면, 자화 측정 장치(1)는 패턴 형성부(100), 자기장 공급부(200), 자성 이미징부(300) 및 이미지 분석부(400)를 포함한다.

[0039] 패턴 형성부(100)는 수직자성박막(1)에 도 1a에 도시한 바와 같은 스트라이프 패턴의 자성을 형성한다. 즉, 패턴 형성부(100)는 xy 평면에서 연장되는 수직자성박막(1)에, y 방향으로 연장되고 +z 방향으로 자화되는 제1 자구(10)와, 상기 y 방향으로 연장되고 -z 방향으로 자화되는 제2 자구(20)가, x 방향으로 교대로 배열되도록 스트라이프 패턴의 자성을 형성한다. 스트라이프 패턴을 형성하는 방법은 다양하며, 이에 대해서는 후술한다. 도 2에는 패턴 형성부(100)가 수직자성박막(1)에 연결되는 것으로 도시하였지만, 물리적으로 접촉할 수도 있고 비접촉할 수도 있다.

[0040] 자기장 공급부(200)는 수직자성박막(1)에 +z 방향으로 소정의 크기의 자기장을 인가한다. 이에 따라, 도 1a 및 도 1b를 참조하여 설명한 바와 같이 수직자성박막(1)의 제1 자구의 폭( $w1$ ) 및 제2 자구의 폭( $w$ )이 변화한다. 자기장 공급부(200)는 자석 또는 전자석일 수 있다. 인가하는 자기장의 세기를 조절할 수 있다는 점에서 전자석이 바람직할 수 있다.

[0041] 자성 이미징부(300)는 자기장이 인가된 수직자성박막의 밝기를 측정한다. 예를 들어, 수직자성박막의 밝기는 +z 방향으로 자화된 부분, 즉 제1 자구(10)는 밝게 나타나고, -z 방향으로 자화된 부분, 즉 제2 자구(20)는 어둡게 나타날 수 있다. 자성 이미징부(300)로서는 자성 이미징을 위해 이용되는 MOKE 현미경, Faraday 현미경, SEMPA, SPLEEM, MFM 등의 기존의 장치가 이용될 수 있다.

[0042] 이미지 분석부(400)는 제1 자구와 제2 자구의 x 방향의 폭의 비율( $w/w1$ )에 기초하여 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출한다. 이때, 이미지 분석부(400)는 전술한 식(1) 및 식(2)를 이용하거나, 식(2) 및 식(3)을 이용할 수 있다. 이미지 분석부(400)는 프로세서일 수 있다.

[0043] 도 3(a)은 도 1의 패턴 형성부의 일 예이다. 패턴 형성부(100a)는 도 3(a)에 도시된 전극(110a)과, 전극(110a)

에 도전체(112)를 통해 연결되어 전극(110a)에 전류를 인가하는 전류공급부(114)를 포함할 수 있다.

- [0044] 전극(110a)은 도 3(a)에 도시된 바와 같이, +전극 및 -전극에 해당하는 2개의 전극이 포함될 수 있으며, 각 전극(110a)은 x 방향으로 일정 간격으로 형성된 톱니 형상의 단부를 가질 수 있다. 전극(110a)의 단부는 수직자성박막(1)과 접촉한다. 전극(110a)의 단부에는 전류가 집중되기 때문에 도 1(a)에 도시된 스트라이프 패턴을 형성하기가 용이하다.
- [0045] 도 3(b) 및 도 3(c)는 패턴 형성부(100a)에 포함되는 전극의 다른 예이다. 도 3(b)에 도시된 바와 같이, 전극(110b)은 단부가 전극(110a)에 비해 뭉툭한 형상을 갖거나, 도 3(c)에 도시된 바와 같이, 전극(110c)은 단부가 전극(110a)에 비해 뾰족한 형상을 가질 수 있다. 도 3(b) 및 도 3(c)에는 각각 한 개의 전극만을 도시하였지만, 도 3(a)에 도시한 바와 같이 +전극과 -전극에 대응하도록 각각 2개의 전극이 구비될 수 있다.
- [0046] 도 3(a)은 도 1의 패턴 형성부(100b)의 일 예이다. 패턴 형성부(100a)는 도 3(a)에 도시된 전극(110a)과, 전극(110a)에 도전체(112)를 통해 연결되어 전극(110a)에 전류를 인가하는 전류공급부(114)를 포함할 수 있다.
- [0047] 도 4는 도 1의 패턴 형성부의 일 예(100b)이다. 도 4는 도 3(a)와 전극(110) 및 수직자성박막(1a)의 형상만이 상이하고, 나머지 구성은 동일하다.
- [0048] 본 실시예에서 전극(110)은 x축 방향을 따라 연장되는 직사각형이다. 수직자성박막(1a)에는 x 방향으로 복수의 구멍이 형성되어 있다. 이에 따라, 전류가 +전극에서 -전극으로 흐를 때, 구멍 주위의 점선으로 표시한 부분에 집중된다. 따라서, 도 3a에서와 마찬가지로 도 1(a)의 스프라이프 패턴을 형성할 수 있다.
- [0049] 도 5는 도 1의 패턴 형성부의 일 예(100c)이다.
- [0050] 도 5를 참조하면, 패턴 형성부(100c)는 레이저 공급부(120), 자기장 인가부(122) 및 이동부(124)를 포함할 수 있다.
- [0051] 레이저 공급부(120)는 도 5의 좌측에 도시된 바와 같이 수직자성박막(1)의 어느 한 지점에 레이저를 조사함으로써 수직자성박막(1)을 가열한다. 자기장 인가부(122)는 수직자성박막(1) 전체에 자기장을 인가한다. 이에 따라, 수직자성박막(1)에서 가열된 부분은 인가된 자기장의 방향으로 자화 방향이 정렬된다. 이동부(124)는 레이저 공급부(120)를 y 방향으로 이동시킨다.
- [0052] 이에 따라, 도 5의 우측에 도시된 바와 같이, y 방향으로 연장되는 제1 자구(10)를 형성할 수 있다. 마찬가지로의 방식으로, 자기장 인가부(122)에 의해 -z 방향으로 자기장이 인가된 상태에서 레이저 공급부(120)가 레이저의 위치를 y방향으로 이동시킴으로써 y방향으로 연장되는 제2 자구(20)를 형성할 수 있다.
- [0053] 도 6(a) 및 도 6(b)는 도 1의 패턴 형성부의 일 예(100d, 100e)이다.
- [0054] 도 6(a)를 참조하면, 패턴 형성부(100c)는 MFM(Magnetic Force Microscope) 팁(130) 및 이동부(132a)를 포함할 수 있다.
- [0055] 도 6(a)의 좌측을 참조하면, MFM 팁(130)은 끝부분에 자성을 가지고 있기 때문에, 끝부분에서 자기장이 발생한다. 이에 따라, MFM 팁(130)을 수직자성박막(1)에 근접시키면, MFM 팁(130) 부근의 수직자성박막(1)의 자화 상태가 변화된다. 도 5(a)의 우측에 도시된 바와 같이, MFM 팁(130)을 수직자성박막(1)에 근접시킨 상태에서, 이동부(132a)에 의해 MFM 팁(130)을 y방향으로 이동시킴으로써, 도 1의 제1 자구(10) 또는 제2 자구(20)를 형성할 수 있다.
- [0056] 도 6(b)를 참조하면, 패턴 형성부(100d)는 복수의 MFM 팁(130\_1, 130\_2, 130\_3, 130\_4) 및 이동부(132b)를 포함할 수 있다. 복수의 MFM 팁(130\_1, 130\_2, 130\_3, 130\_4)은 x 방향으로 나란히 배열된다. 이동부(132b)가 복수의 MFM 팁(130\_1, 130\_2, 130\_3, 130\_4)을 y방향으로 이동시킴으로써, 도 6(b)의 좌측에 도시된 바와 같이 수직자성박막(1)에 스트라이프 패턴이 형성될 수 있다.
- [0057] 다음으로, 이미지 분석부(400)에 대하여 설명한다. 전술한 바와 같이 이미지 분석부(400)는 제1 자구(10)와 제2 자구(20)의 폭의 비율(w/w1)에 기초하여 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출한다. 다시 말해, 수직자성박막의 자화의 절대값을 산출하기 위해서는 제1 자구(10)와 제2 자구(20)의 폭의 비율(w/w1)을 산출하여야 한다.
- [0058] 이와 관련하여 도 7(a) 및 도 7(b)는 도 1의 자성 이미징부(300)에 의해 촬영된 수직자성박막(1)의 이미지를 나타낸 것으로, 도 7(a)는 이상적인 경우를, 도 7(b)는 실제의 경우를 나타낸다.
- [0059] 도 7(a)에 도시된 바와 같이, 제1 자구(10) 및 제2 자구(20) 각각이 균일한 밝기를 갖는 이상적인 경우에는 제1

자구(10)의 폭의 평균 및 제2 자구(20)의 평균을 각각 계산함으로써 제1 자구(10)의 폭(w1) 및 제2 자구(20)의 폭(w)을 용이하게 산출할 수 있다.

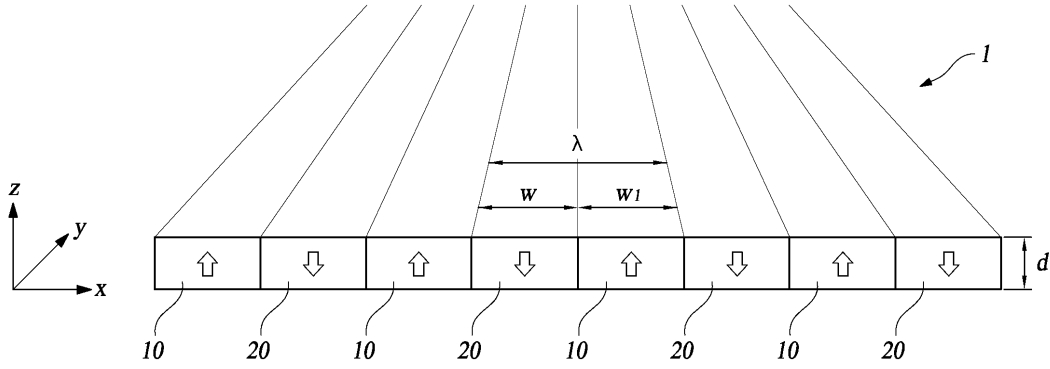
- [0060] 그러나, 실제로는 도 7(b)에 도시된 바와같이 제1 자구(10) 및 제2 자구(20)의 밝기가 불균일하기 때문에, 제1 자구(10)의 폭(w1) 및 제2 자구(20)의 폭(w)을 산출하기 위해 수직자성박막(1)의 이미지를 분석하는 과정이 필요하다.
- [0061] 도 8은 도 1의 이미지 분석부(400)의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0062] 도 8을 참조하면, 이미지 분석부(400)는 주기 산출부(410), R 산출부(420) 및 자화 크기 계산부(430)를 포함할 수 있다.
- [0063] 주기 산출부(410)는 수직자성박막(1)의 스트라이프 패턴의 주기( $\lambda$ )를 산출한다. 주기( $\lambda$ )는, 도 6(b)의 수직자성박막(1)의 이미지의 x 방향의 길이를, 밝은 색으로 나타난 제1 자구(10)와 어두운 색으로 나타난 제2 자구(20)로 이루어진 한 세트가 x 방향으로 나타난 횟수로 나눔으로써 계산될 수 있다.
- [0064] R 산출부(420)는 전술한 식 (1) 또는 식 (3)에 의해 정의되는 R을 산출하며, 밝기 히스토그램 생성부(421), 분포 추정부(422) 및 R 계산부(423)를 포함할 수 있다.
- [0065] 자화 크기 산출부(430)는 주기 산출부(410)에서 산출된 주기( $\lambda$ )와, R 산출부(420)에서 산출된 R과, 상기 식 (2)를 이용하여 자화의 크기를 산출한다.
- [0066] 도 9는 도 8의 주기 산출부(410)의 처리를 나타내는 순서도이다.
- [0067] 도 9를 참조하면, 주기 산출부(410)는 제1 자구(10)와 제2 자구(20)를 구분하기 위한 기준값을 설정한다(S100). 예를 들어, 기준값은 제1 자구(10)의 밝기와 제2 자구(20)의 밝기의 중간값이 될 수 있다.
- [0068] 다음으로, 수직자성박막(1)의 이미지의 y 방향의 위치, 즉 y 좌표를 0으로 설정한다(S110).
- [0069] 다음으로, 수직자성박막(1)의 이미지의 x 방향의 위치, 즉 x 좌표를 0으로 설정한다(S120).
- [0070] 다음으로, 설정된 좌표, 즉 (0,0)의 수직자성박막(1)의 이미지의 밝기를, S100 단계에서 설정된 기준값과 비교한다(S130).
- [0071] 다음으로, 수직자성박막(1)의 이미지의 x 방향의 위치, 즉 x 좌표를 1만큼 증가시킨다(S140). 이에 따라, x 좌표는 1이 된다.
- [0072] 다음으로, 설정된 좌표, 즉 (1,0)의 수직자성박막(1)의 이미지의 밝기를, S100 단계에서 설정된 기준값과 비교한다(S150).
- [0073] 다음으로, S130 단계에서의 비교 결과와, S150 단계에서의 비교 결과에 기초하여 자구의 변경을 카운트한다(S160). 예를 들어, S130 단계에서 (0,0)의 밝기가 기준값보다 작고, S150 단계에서 (1,0)의 밝기가 기준값보다 크면, 자구가 변경된 것으로 판단할 수 있다. 반대로, S130 단계에서 (0,0)의 밝기가 기준값보다 크고, S150 단계에서 (1,0)의 밝기가 기준값보다 작은 경우에도, 자구가 변경된 것으로 판단할 수 있다. S130 단계에서 (0,0)의 밝기가 기준값보다 크고 S150 단계에서 (1,0)의 밝기가 기준값보다 큰 경우와, S130 단계에서 (0,0)의 밝기가 기준값보다 작고 S150 단계에서 (1,0)의 밝기가 기준값보다 작은 경우는, 모두 자구가 변경되지 않은 것으로 판단할 수 있다.
- [0074] 다음으로, x 좌표가 최대값인지 판단한다(S170).
- [0075] x 좌표가 최대값이 아니면(S170), 수직자성박막(1)의 이미지의 x 방향의 위치, 즉 x 좌표를 1만큼 증가시킨다(S140). 이에 따라, x 좌표는 2가 된다.
- [0076] 다음으로, 설정된 좌표, 즉 (2,0)의 수직자성박막(1)의 이미지의 밝기를, S100 단계에서 설정된 기준값과 비교한다(S150).
- [0077] 다음으로, 이전의 S150 단계에서의 비교 결과와, 현재의 S150 단계에서의 비교 결과에 기초하여 자구의 변경을 카운트한다(S160). 즉, (1,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과와, (2,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과에 기초하여 자구의 변경을 카운트한다. (1,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과와, (2,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과가 동일하지 않으면, 즉 하나의 결과는 기준값보다 크고 나머지 결과는 기준값보다 작은 경우, 자구가 변경된 것으로 판단한다. (1,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과와, (2,0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과가 동일하면,

자구가 변경된 것으로 판단한다.

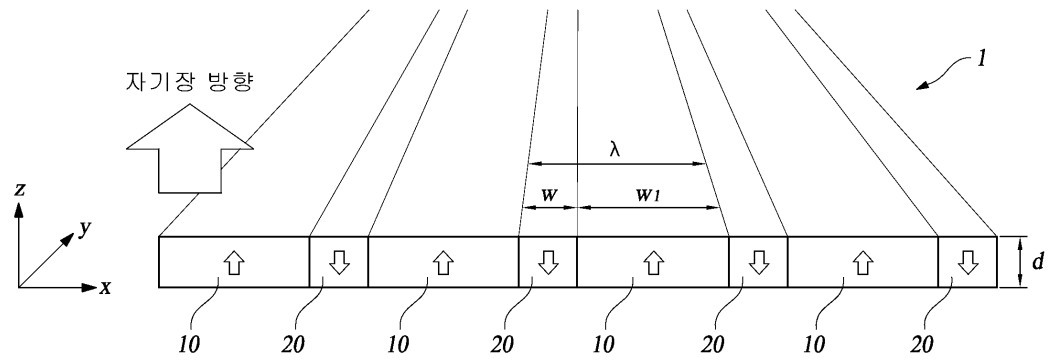
- [0078] x 좌표가 최대값에 도달할 때까지, x 좌표를 1씩 증가시켜가면서 S150 및 S160의 과정을 수행한다. 이때, S160은, 현재의 좌표, 즉 (x, 0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과와, 이전의 좌표, 즉 (x-1, 0)의 밝기를 기준값과 비교한 결과에 기초하여 자구의 변경을 카운트할 수 있다.
- [0079] x 좌표가 최대값에 도달하면(S170, Yes), 카운트 값을 2로 나누어 제1 자구(10)와 제2 자구(20) 쌍의 개수를 산출하고, 수직자성박막 이미지의 x축 길이를 제1 자구(10)와 제2 자구(20) 쌍의 개수로 나눔으로써, y 좌표가 0인 위치에서의 주기를 계산한다(S175).
- [0080] 다음으로, y 좌표가 최대값인지 판단하고(S180), y 좌표가 최대값이 아니면(S180, No), y 좌표를 1만큼 증가시킨다(S190). 이때, 자구 변경 카운트의 값을 0으로 초기화한다. y 좌표가 1인 경우에 대해 전술한 S120~S175 과정을 수행하여 주기를 계산한다.
- [0081] y 좌표가 최대값에 도달할 때까지, y 좌표를 1씩 증가시켜가면서 각 y 좌표에 대해 주기를 계산한다.
- [0082] y 좌표가 최대값이면(S180, Yes), 각 y 좌표에 대해 계산된 주기에 대해 평균을 계산함으로써 최종 주기( $\lambda$ )를 산출한다(S195).
- [0083] 도 9를 예로 들어 주기 산출부(410)의 동작을 설명하였지만, 본 발명의 범위는 이에 한하지 않는다. 예를 들어, 모든 y 좌표에 대해 주기를 계산하고 이들의 평균을 계산하는 대신, 특정 y 좌표에서의 주기를 최종 주기로 할 수 있다. 또한, 데이터의 신뢰성을 향상시키기 위해 수직자성박막(1)의 이미지를 평균하거나 미디안 필터를 사용한 후의 이미지를 이용할 수도 있다.
- [0084] 도 10은 밝기 히스토그램 생성부(421)에 의해 생성된, 수직자성박막(1)의 이미지의 밝기 히스토그램의 일 예이다.
- [0085] 밝기 히스토그램 생성부(421)는 도 7(b)의 수직자성박막(1)의 이미지의 각 픽셀의 밝기에 대한 히스토그램을 생성한다. 이때, 도 10의 히스토그램은 두개의 봉우리를 포함한다. 좌측의 봉우리의 밝기는 우측의 봉우리의 밝기보다 어두우므로, 좌측의 봉우리는 제2 자구(20)에 대한 것이고, 우측의 봉우리는 제1 자구(10)에 대한 것임을 추측할 수 있다.
- [0086] 도 11는 분포 추정부(422)에 의해 도 10의 히스토그램의 분포를 추정한 것을 나타내는 도면이다.
- [0087] 도 11을 참조하면, 도 10의 히스토그램은 두 개의 봉우리를 각각 중심으로 한 두 개의 분포의 합으로 나타낼 수 있다. 이때, 각 분포는 가우시안 분포(Gaussian distribution)이나 코시 분포(Cauchy distribution)와 같은 잘 정의된 분포일 수 있다. 다시 말해, 도 11(a)의 분포는 도 11(b)의 분포와 도 11(c)의 분포의 합으로 표현될 수 있다.
- [0088] 두 개의 분포 중 좌측, 즉 제2 자구(20)의 분포의 면적을  $N_z$ , 우측, 즉 제1 자구(10)의 분포의 면적을  $N_{+z}$ 라고 하면, 상기 식 (3)으로부터 하기의 식 (4)가 성립할 수 있다.
- [0090] 
$$R=(w_1-w)/(w_1+w)=(N_{+z}-N_z)/(N_{+z}+N_z)\dots(4)$$
- [0092] R 계산부(423)는 분포 추정부(422)에 의해 추정된 제1 자구(10)의 분포 면적  $N_{+z}$  및 제2 자구(20)의 분포 면적  $N_z$ 을 계산하고, 상기 식 (4)를 이용하여 R을 계산한다.
- [0093] 도 8로 돌아가서, 자화 크기 산출부(430)는 상기 식 (2)에, 도 9의 과정을 통해 산출된 주기( $\lambda$ )와, 도 11 및 식 (4)를 이용하여 산출된 R을 입력함으로써 자화의 크기를 산출할 수 있다.
- [0094] 이상, 바람직한 실시예를 통하여 본 발명에 관하여 상세히 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변경, 응용될 수 있음은 당해 기술분야의 통상의 기술자에게 자명하다. 따라서, 본 발명의 진정한 보호 범위는 다음의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

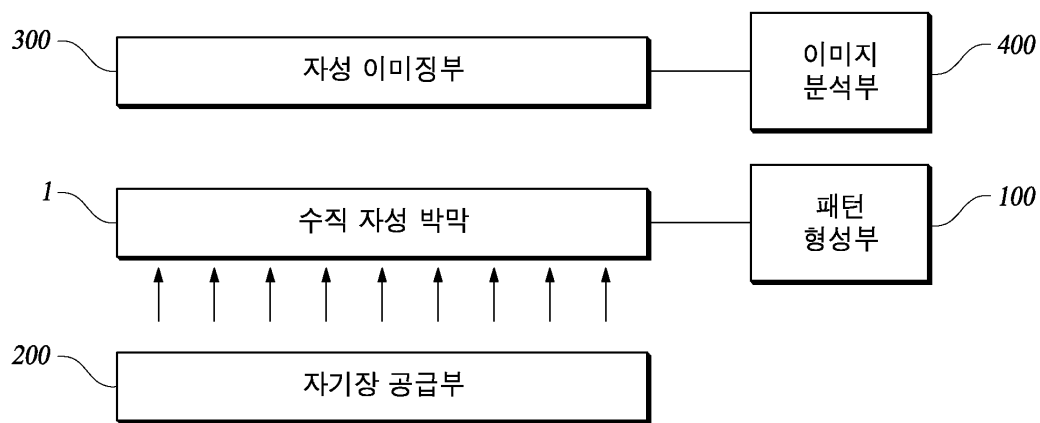
도면1a



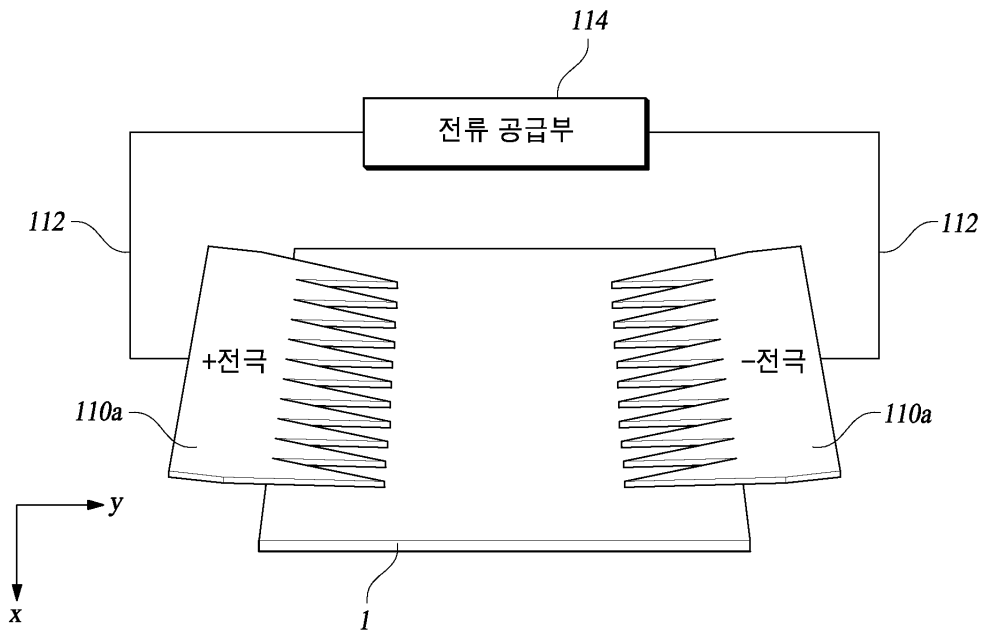
도면1b



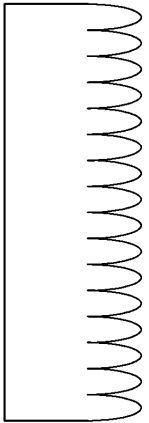
도면2



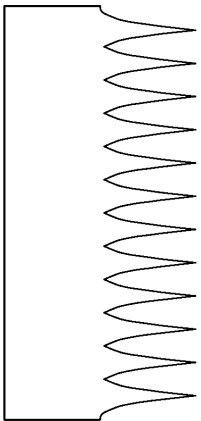
도면3a



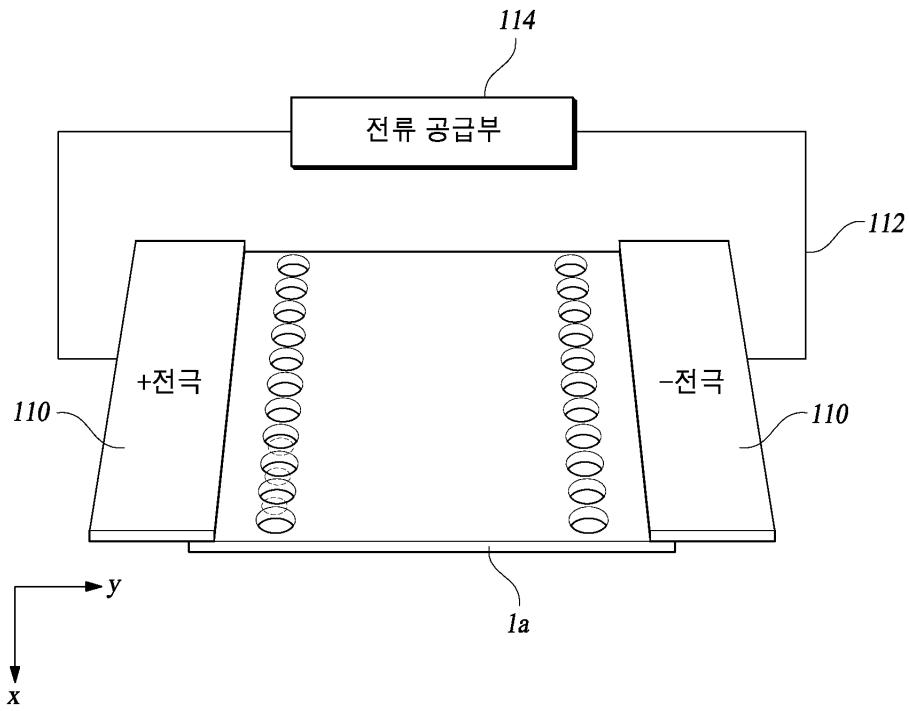
도면3b



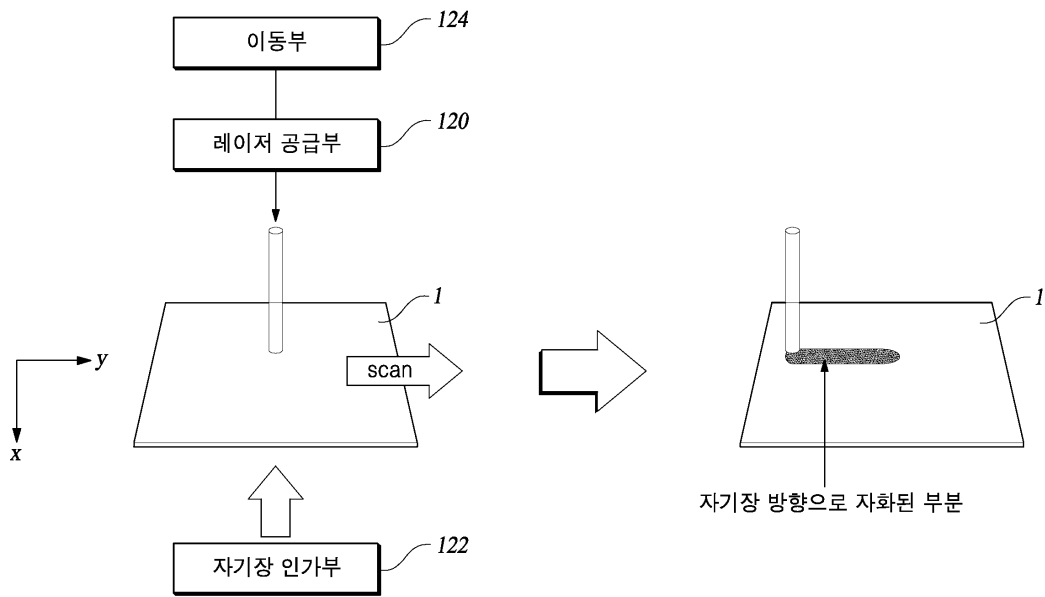
도면3c



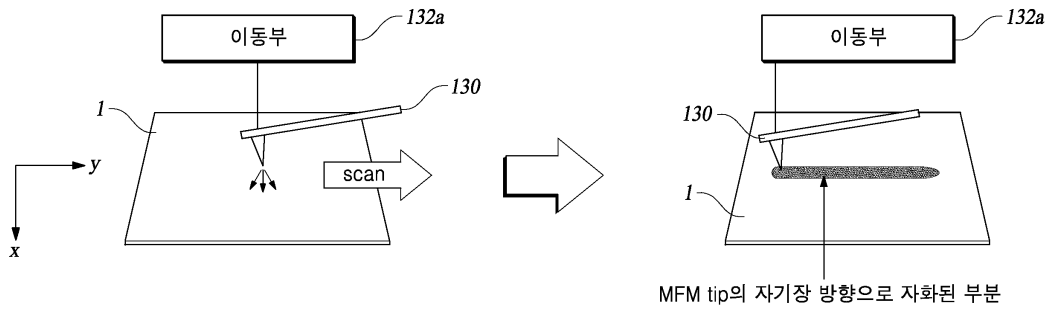
도면4



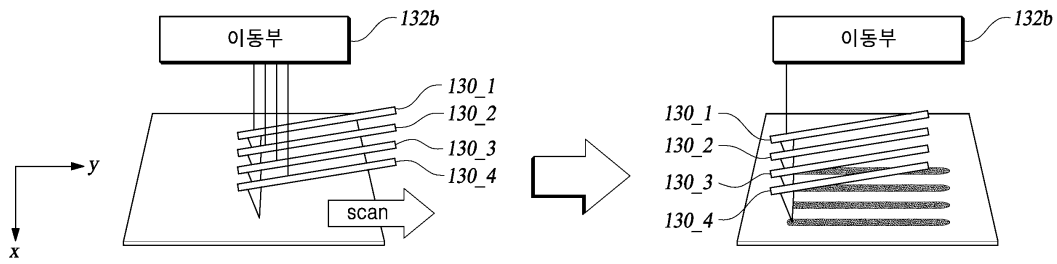
도면5



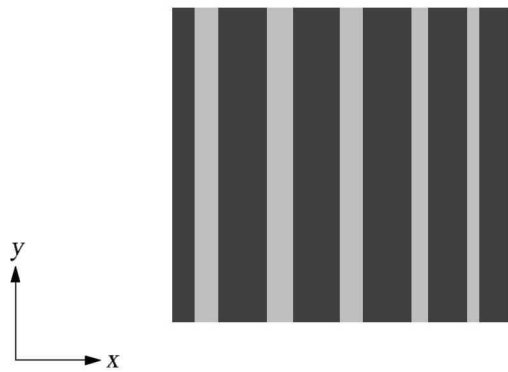
도면6a



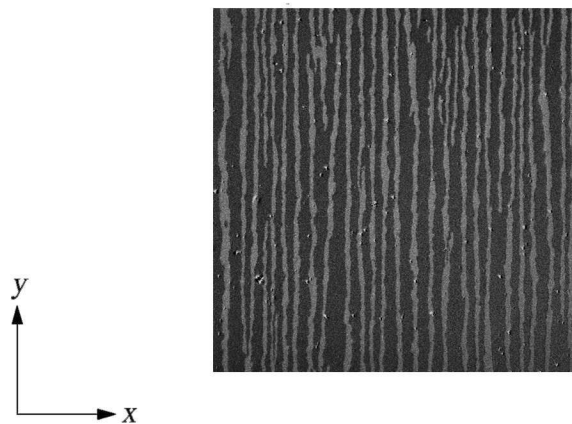
도면6b



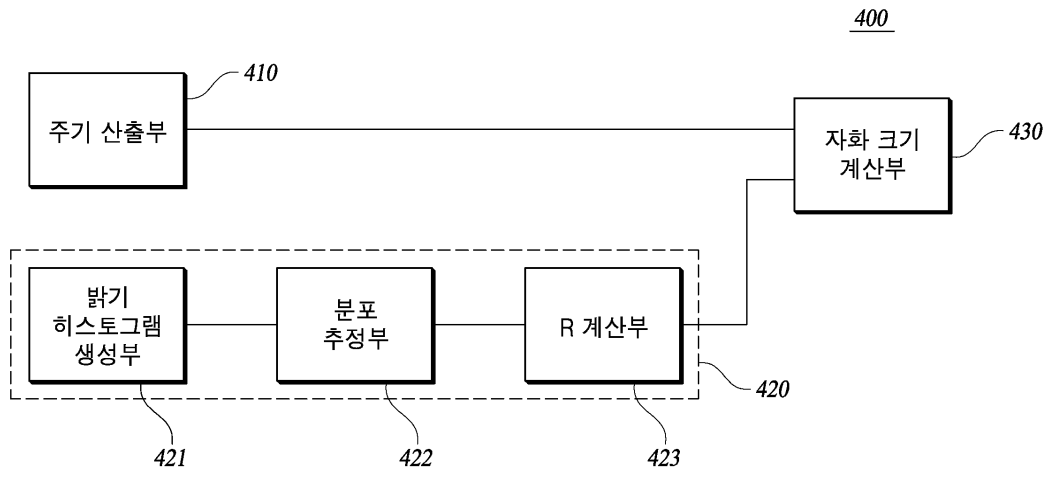
도면7a



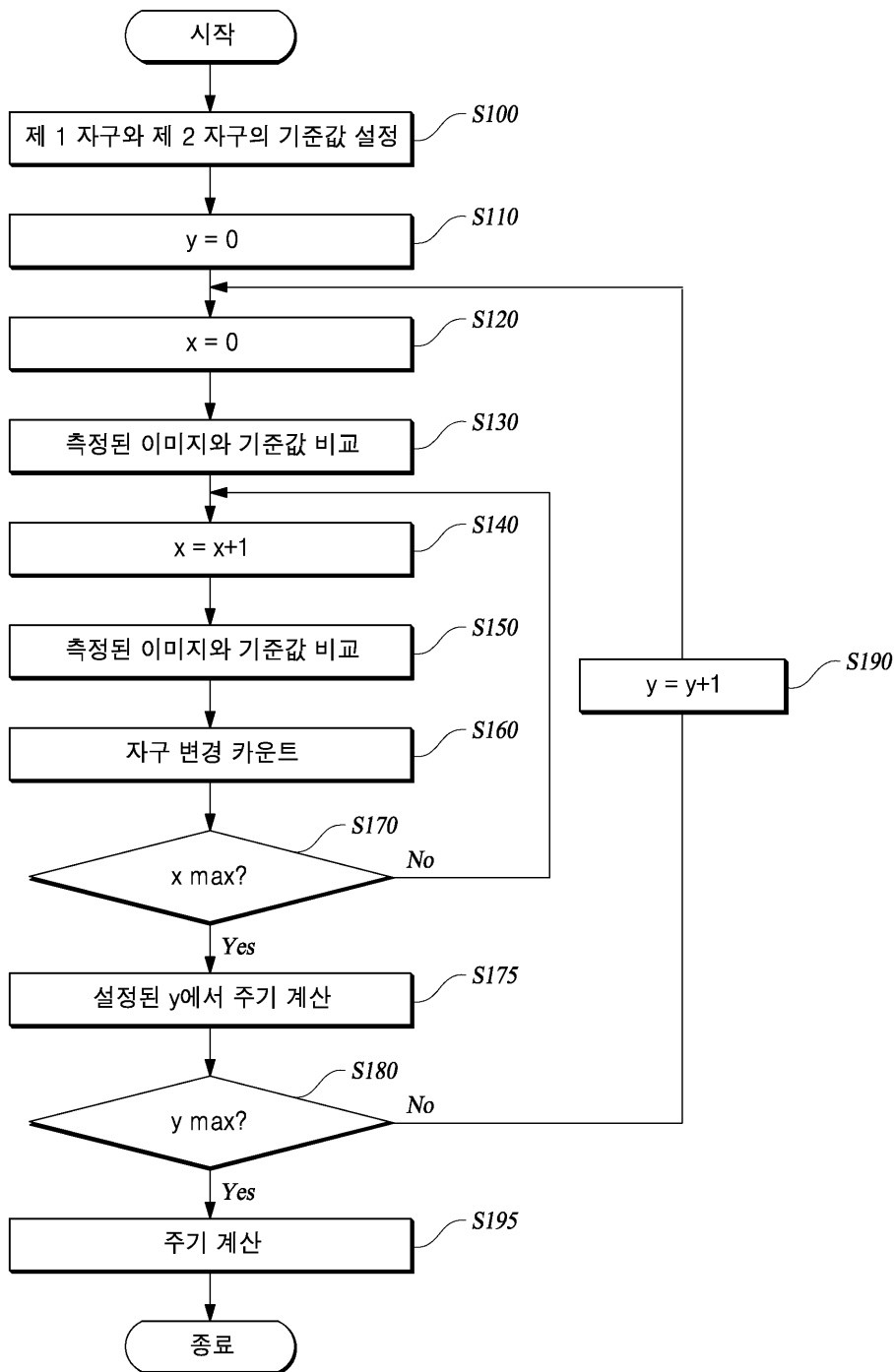
도면7b



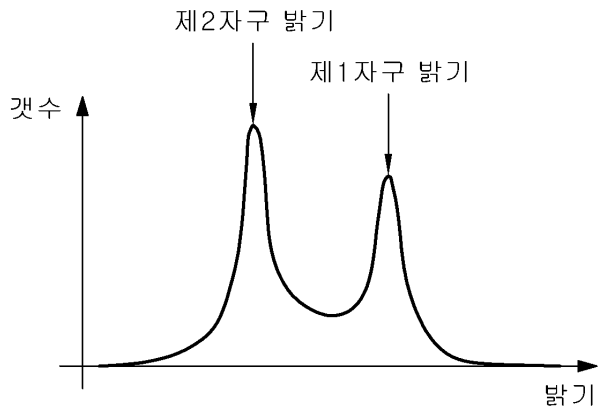
도면8



도면9



도면10



도면11

