



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년12월31일  
(11) 등록번호 10-1346523  
(24) 등록일자 2013년12월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01R 33/02 (2006.01) G01R 29/14 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7025458  
(22) 출원일자(국제) 2012년03월01일  
심사청구일자 2012년09월27일  
(85) 번역문제출일자 2012년09월27일  
(65) 공개번호 10-2012-0125392  
(43) 공개일자 2012년11월14일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2011/054635  
(87) 국제공개번호 WO 2011/108543  
국제공개일자 2011년09월09일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2010-044218 2010년03월01일 일본(JP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP평성04098159 A  
JP평성09243725 A  
WO2008123432 A1  
전체 청구항 수 : 총 16 항

(73) 특허권자  
고쿠리츠다이가쿠호진 고베다이가쿠  
일본 효고켄 고베시 나다쿠 롯코다이쵸 1방 1고  
(72) 발명자  
키무라 켄지로  
일본국 효고켄 고베시 나다쿠 롯코다이쵸 1방1고  
고쿠리츠다이가쿠호진 고베다이가쿠 나이  
(74) 대리인  
특허법인 원전

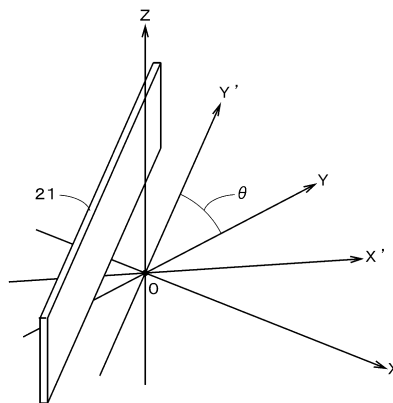
심사관 : 윤지영

(54) 발명의 명칭 포텐셜 취득 장치, 자장 현미경, 검사 장치 및 포텐셜 취득 방법

(57) 요약

자장(磁場) 취득 장치에서는, 측정의 대상 영역의 폭에 비해 충분히 긴 측정부(21)가  $z=\alpha$ 를 만족하는 측정면 상에 배치되고, 측정면 상의 소정의 기준 방향과, 측정부(21)의 길이 방향이 이루는 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 측정부(21)의 길이 방향에 수직인 X'방향에의 주사가 반복된다. 이어서, X'방향의 좌표 파라미터를  $x'$ 로 하여, 주사의 반복에 의해 취득되는 측정치  $f(x', \theta)$ 를 푸리에 변환하는 것에 의해,  $g(k_{x'}, \theta)$ 가 취득된다(다만,  $k_{x'}$ 는 X'방향의 파수이다.). 그리고, 소정의 2 차원 포텐셜 취득식에  $g(k_{x'}, \theta)$ 를 대입하는 것에 의해, 측정면에서의 2 차원 포텐셜을 나타내는  $\phi(x, y, \alpha)$ 가 구해진다. 이것에 의해, 대상 영역의 폭에 비해 충분히 큰 측정부(21)를 이용하여, 2 차원의 포텐셜의 측정을 높은 분해능(分解能)으로 행할 수 있다.

대표도 - 도1



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

대상물의 존재에 기인하여 적어도 상기 대상물의 주위에 형성되는 3 차원 포텐셜을 나타내는 포텐셜 함수를  $\phi(x, y, z)$ (다만,  $x, y, z$ 는, 상기 대상물에 대해서 설정되는 서로 수직인  $X, Y, Z$ 방향으로 규정되는 직교좌표계의 좌표 파라미터를 나타낸다.)로 하여, 상기 대상물의 외부에 설정된  $z=a$ (다만,  $a$ 는 임의의 값)를 만족하는 측정면에서의  $\phi(x, y, a)$ 를 취득하는 포텐셜 취득 장치로서,

$XY$ 평면에 평행한 상기 측정면 상에서 상기 측정면에 평행한 길이 방향으로 연장되는 복수의 선상(線狀) 영역을, 상기 길이 방향에 수직인  $X'$ 방향으로 배열 설정하는 것과 함께,  $Y$ 방향에 평행한 상기 측정면 상의 기준 방향과, 상기 길이 방향이 이루는 각도를  $\theta$ 로 하고, 상기 각도  $\theta$ 를 복수회(複數回)로 변경한 상태에서 상기 복수의 선상 영역의 각각에서의 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 측정치를, 상기 길이방향으로 연장되는 센서에 의해 취득하는 측정 유닛과,

$X'$ 방향의 좌표 파라미터를  $x'$ 로 하여(다만, 원점은  $Z$ 축상에 있다.), 상기 측정 유닛에 의해 취득되는 측정치  $f(x', \theta)$ 를 이용하여,  $\phi(x, y, a)$ 를 구하는 연산부를 구비하는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 연산부가,

[수학식 24]

$$\phi(x, y, a) = \iint \left[ \int f(x', \theta) \exp(-ik_x x') dx' \right] \exp(ik_x(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x dk_x d\theta$$

(다만,  $k_x$ '는  $X'$ 방향의 파수(波數)이다.)에 의해  $\phi(x, y, a)$ 를 구하는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 측정 유닛이,

상기 센서인 측정부와,

상기 기준 방향과, 상기 측정부의 상기 길이 방향 사이의 상기 각도  $\theta$ 를 변경하는 각도 변경부와,

상기 측정면 상에서 상기 측정부를  $X'$ 방향으로 상기 대상물에 대해서 상대적으로 이동하고, 상기 대상물의 측정 영역 상을 상기 측정부가 통과하는 주사(走査)를 행하는 이동 기구와,

상기 각도 변경부 및 상기 이동 기구를 제어하는 것에 의해, 상기 각도  $\theta$ 를 복수회로 변경하면서 상기 주사를 반복하는 제어부

를 구비하고,

상기 주사의 반복에 의해, 상기 측정 유닛에서 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득되는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,

상기 3 차원 포텐셜이, 자위(磁位)의 포텐셜을  $Z$ 방향에 관하여 1회 이상 미분한 것이며,

상기 측정부가, 상기 길이 방향 및  $Z$ 방향으로 확대되는 것과 함께, 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 신호를 생성하는 박막 소자인 포텐셜 취득 장치.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,

상기 박막 소자의 막두께가 상기 대상물 측으로 향하여 점차 감소하는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 6**

제 3 항에 있어서,

상기 측정부를 Z방향으로 상기 대상물에 대해서 상대적으로 이동하는 또 하나의 이동 기구를 더 구비하며,

상기 3 차원 포텐셜이 라플라스 방정식을 만족하고,

상기 제어부가, z=0을 만족하는 상기 측정면에서  $\phi(x, y, 0)$ 를 2 차원의 제1 화상으로서 취득하며, 상기 측정부를 Z방향으로 미소 거리만큼 상대 이동한 후, 상기 제1 화상과 같은 수법에 의해 2 차원의 중간 화상을 취득하고,

상기 연산부가, 상기 제1 화상과 상기 중간 화상의 차분 화상을 구하고, 상기 차분 화상을 상기 미소 거리로 제산(除算)한 미분 화상을 제2 화상으로서 취득하고, 상기 제1 화상인  $\phi(x, y, 0)$  및 상기 제2 화상인  $\phi_z(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수(波數)이다.)를 구하고, 또한,  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 이용하고,

[수학식 25]

$$\begin{aligned} \phi(x,y,z) &= \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) + \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) - \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y \end{aligned}$$

에 의해  $\phi(x, y, z)$ 를 구하는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 3 차원 포텐셜이 라플라스 방정식을 만족하고,

z=0을 만족하는 상기 측정면에서의 임의의 포텐셜  $H(x, y, z)$ 의 z에 의한 q회 미분인  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$ 가 하나의 측정에 있어서 취득되는  $\phi(x, y, a)$ 이며, 상기 임의의 포텐셜  $H(x, y, z)$ 의 z에 의한 p회 미분인  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 가 다른 측정에 있어서 취득되는  $\phi(x, y, a)$ 이고(다만, p, q는 0 이상의 정수이며, q가 홀수, p가 짝수이다.),

상기 연산부가,  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$  및  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $h_z^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h_z^{(p)}(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수(波數)이다.)를 구하고, 또한,  $h_z^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h_z^{(p)}(k_x, k_y)$ 를 이용하며,

[수학식 26]

$$\begin{aligned} H_z^{(q)}(x,y,z) &= \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left( h_z^{(q)}(k_x, k_y) + h_z^{(p)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{q-p}{2}} \right) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \left( h_z^{(q)}(k_x, k_y) - h_z^{(p)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{q-p}{2}} \right) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y \end{aligned}$$

에 의해  $H_z^{(q)}(x, y, z)$ 를 구하고, 또는,

[수학식 27]

$$H_z^{(p)}(x,y,z) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left( h_z^{(p)}(k_x, k_y) + h_z^{(q)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{p-q}{2}} \right) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) + \frac{1}{2} \left( h_z^{(p)}(k_x, k_y) - h_z^{(q)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{p-q}{2}} \right) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y$$

에 의해  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 를 구하는 포텐셜 취득 장치.

**청구항 8**

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 3 차원 포텐셜이, 자위(磁位), 전위, 온도 또는 중력에 유래하는 포텐셜인 포텐셜 취득 장치.

**청구항 9**

자장(磁場) 현미경으로서,

자위의 포텐셜을 Z방향에 관하여 1회 이상 미분한 것을  $\emptyset(x, y, z)$ 로 하여 취득하는 청구항 6에 기재된 포텐셜 취득 장치를 구비하고,

상기 연산부가,  $\emptyset(x, y, z)$ 의 z에 상기 대상물의 표면의 위치 또는 표면에 근접하는 위치를 나타내는 값을 대입(代入)하는 자장 현미경.

**청구항 10**

핵자기 공명을 이용한 검사 장치로서,

자위의 포텐셜을 Z방향에 관하여 1회 이상 미분한 것을  $\emptyset(x, y, z)$ 로 하여 취득하는 청구항 6에 기재된 포텐셜 취득 장치와,

Z방향의 복수의 위치에서의 복수의 평면 상에서 상기 대상물의 내부에 핵자기 공명을 순차적으로 생기게 하는 수단

을 구비하고,

상기 제어부가, 상기 복수의 평면에 포함되는 각 평면에서 핵자기 공명을 생기게 했을 때에,  $\emptyset(x, y, z)$ 를 취득하고,

상기 연산부가, 상기 각 평면에 대해서 취득되는  $\emptyset(x, y, z)$ 의 z에 상기 각 평면의 위치를 나타내는 값을 대입하는 검사장치.

**청구항 11**

대상물의 존재에 기인하여 적어도 상기 대상물의 주위에 형성되는 3 차원 포텐셜을 나타내는 포텐셜 함수를  $\emptyset(x, y, z)$ (다만, x, y, z는, 상기 대상물에 대해서 설정되는 서로 수직인 X, Y, Z방향으로 규정되는 직교좌표계의 좌표 파라미터를 나타낸다.)로 하여, 상기 대상물의 외부에 설정된  $z=a$ (다만, a는 임의의 값)를 만족하는 측정면에서의  $\emptyset(x, y, a)$ 를 취득하는 포텐셜 취득 방법으로서,

a) XY평면에 평행한 상기 측정면 상에서 상기 측정면에 평행한 길이 방향으로 연장되는 복수의 선상(線狀) 영역을, 상기 길이 방향에 수직인 X'방향으로 배열 설정하는 것과 함께, Y방향에 평행한 상기 측정면 상의 기준 방향과, 상기 길이 방향이 이루는 각도를  $\theta$ 로 하고, 상기 각도  $\theta$ 를 복수회로 변경한 상태에서 상기 복수의 선상 영역의 각각에서의 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 측정치를, 상기 길이방향으로 연장되는 센서에 의해 취득하는 공정과,

b) X'방향의 좌표 파라미터를 x'로 하여(다만, 원점은 Z축 상에 있다.), 상기 a) 공정에 의해 취득되는 측정치  $f(x', \theta)$ 를 이용하여,  $\emptyset(x, y, a)$ 를 구하는 공정을 구비하는 포텐셜 취득 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,  
 상기 b) 공정에서,  
 [수학식 28]

$$\phi(x, y, \alpha) = \iint \left[ \int f(x', \theta) \exp(-ik_x' x') dx' \right] \exp(ik_x'(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x' dk_x' d\theta$$

(다만,  $k_x'$ 는 X'방향의 파수(波數)이다.)에 의해  $\phi(x, y, \alpha)$ 가 구해지는 포텐셜 취득 방법.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,  
 상기 a) 공정이,

a1) 상기 센서인 측정부를, 상기 측정면 상에서 X'방향으로 상기 대상물에 대해서 상대적으로 이동하여, 상기 대상물의 측정 영역상을 상기 측정부가 통과하는 주사를 행하는 공정과,

a2) 상기 기준 방향과, 상기 측정부의 상기 길이 방향 사이의 상기 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 상기 a1) 공정을 반복하는 것에 의해 측정치  $f(x', \theta)$ 를 취득하는 공정

을 구비하는 포텐셜 취득 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 3 차원 포텐셜이, 자위의 포텐셜을 Z방향에 관하여 1회 이상 미분한 것이며,

상기 측정부가, 상기 길이 방향 및 Z방향으로 확대되는 것과 함께, 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 신호를 생성하는 박막 소자인 포텐셜 취득 방법.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

상기 3 차원 포텐셜이 라플라스 방정식을 만족하고, 또한, 상기 측정면이  $z=0$ 을 만족하며,

상기 a) 및 b) 공정에 의해  $\phi(x, y, 0)$ 가 2 차원의 제1 화상으로서 취득되고,

상기 포텐셜 취득 방법이,

c) 상기 측정부를 Z방향으로 미소 거리만큼 상대 이동한 후, 상기 제1 화상과 같은 수법에 의해 2 차원의 중간 화상을 취득하는 공정과,

d) 상기 제1 화상과 상기 중간 화상의 차분(差分) 화상을 구하고, 상기 차분화상을 상기 미소 거리로 제산(除算)한 미분 화상을 제2 화상으로서 취득하는 공정과,

e) 상기 제1 화상인  $\phi(x, y, 0)$  및 상기 제2 화상인  $\phi_2(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수(波數)이다.)를 구하는 공정과,

f)  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 이용하고,

[수학식 29]

$$\begin{aligned} \phi(x,y,z) &= \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left[ \phi(k_x, k_y) + \frac{\phi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \left[ \phi(k_x, k_y) - \frac{\phi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y \end{aligned}$$

에 의해  $\phi(x, y, z)$ 를 구하는 공정을 구비하는 포텐셜 취득 방법.

**청구항 16**

제 11 항 내지 제 15 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 3 차원 포텐셜이, 자위, 전위, 온도 또는 중력에 유래하는 포텐셜인 포텐셜 취득 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은, 자위(磁位), 전위(電位), 온도 등에 유래하는 2 차원 포텐셜 분포를 측정에 의해 취득하는 기술에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 종래부터, 초전도 양자간섭계(超傳道量子干涉計)(이하, 「SQUID」라고 한다.)나, 자기저항 센서(magnetoresistive sensor)를 이용해 자장의 분포를 취득하는 것이 행해지고 있고, 자장의 분포에 근거하여, 예를 들면, 전기 회로의 불량(단락) 부분을 특정하는 것이 행해지고 있다. 자장 측정의 분해능(分解能)은, SQUID 코일이나 자기저항 센서의 사이즈에 의존하기 때문에, 해당 사이즈를 작게 하는 것에 의해, 측정의 분해능을 향상하는 것이 시도되고 있다.

[0003] 또한, 자기력 현미경(Magnetic Force Microscopy, 이하, 「MFM」이라고 한다.)을 이용해 자장의 공간 분포를 취득하는 일도 행해지고 있다. 일본 특표 2006-501484호 공보에서는, MFM에 있어서, 나노 스케일의 강자성 재료를 포함한 카본 나노 튜브(carbon nano tube)를 캔틸레버(cantilever)로서 이용하는 것이 제안되고 있다.

[0004] 또한, 국제공개 제2008/123432호 pamphlet(문헌 2)에서는, 3 차원 포텐셜 분포를 취득하는 수법이 개시되고 있고, 해당 수법에서는, 자구(磁區)를 가지는 시료(試料)의 위쪽(上方)에서, MFM을 이용하여 특정한 측정면에서의 자기력의 분포가 2 차원의 자장 분포 화상으로서 취득된다. 또한, 상기 측정면으로부터 미소(微小)거리 d 만큼 떨어진 다른 측정면에서 측정을 행하여 보조 자장 분포 화상이 취득되고, 이러한 차분(差分)을 미소 거리 d로 계산(除算)하여 2 차원의 자장 구배(勾配) 분포 화상이 취득된다. 자장 분포 화상 및 자장 구배 분포 화상은 푸리에 변환 되고 라플라스 방정식의 일반해로부터 유도되는 3 차원 포텐셜 분포 취득식에 대입되어, 자장의 3 차원 분포를 나타내는 화상이 고정밀도로 취득된다.

[0005] 그런데, SQUID 코일이나 자기저항 센서의 미세화에는 노광 기술로 이용되는 파장에 유래하는 한계가 있기 때문에, 측정의 분해능 향상에도 일정한 한계가 생긴다. 또한, 이방성(異方性) 에칭에 의해서 형성되는 실리콘 탐침(探針)에서는, 탐침의 선단 곡률반경을 수 nm 로 까지 극히 작게 하는 것이 가능하지만, 해당 실리콘탐침을 MFM에서 이용할 때에는, 탐침의 선단(先端)에 자성 재료의 박막을 형성할 필요가 있다. 따라서, "자성체 박막의 막두께+탐침선단 곡률반경+자성체 박막"의 두께의 자기력 센서가 되고, 예를 들면 자성체 박막의 막두께 = 10 nm, 탐침선단 곡률반경 = 10 nm의 경우에는, 합계 30 nm의 지름을 가지게 된다. 적어도 측정의 분해능이 탐침의 선단 곡률반경보다 향상하는 일은 없다. 또한, 실용적으로 탐침 선단부만으로 자성체 박막을 피복 하는 것은 곤란하기 때문에, 유효 자기력 센서는, 더 크게 된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명은, 자위(磁位), 전위(電位), 온도 등에 유래하는 2 차원 포텐셜(2 차원 포텐셜 분포) 측정의 분해능을 향상하는 것을 목적으로 하고 있다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 발명은, 대상물의 존재에 기인하여 적어도 상기 대상물의 주위에 형성되는 3 차원 포텐셜을 나타내는 포텐셜 함수를  $\phi(x, y, z)$ (다만,  $x, y, z$ 는, 상기 대상물에 대해서 설정되는 서로 수직인  $X, Y, Z$  방향으로 규정되는 직교좌표계의 좌표 파라미터를 나타낸다.)로 하여, 상기 대상물의 외부에 설정된  $z=a$ (다만,  $a$ 는 임의의 값)를 만족하는 측정면에서의  $\phi(x, y, a)$ 를 취득하는 포텐셜 취득 장치에 관한 것으로, 장치는, XY평면에 평행한 상기 측정면 상에서 상기 측정면에 평행한 길이 방향으로 연장되는 복수의 선상(線狀) 영역을, 상기 길이 방향에 수직인  $X'$ 방향으로 배열 설정하는 것과 함께, Y방향에 평행한 상기 측정면 상의 기준 방향과, 상기 길이 방향이 이루는 각도를  $\theta$ 로 하고, 상기 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경한 상태에서 상기 복수의 선상 영역의 각각에서의 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 측정치를 취득하는 측정 유닛과,  $X'$ 방향의 좌표 파라미터를  $x'$ 로 하여(다만, 원점은 Z축상에 있다.), 상기 측정 유닛에 의해 취득되는 측정치  $f(x', \theta)$ 를 이용하고, 수학식 1(다만,  $k_x$ '는  $X'$ 방향의 파수(波數)이다.)에 의해  $\phi(x, y, a)$ 를 구하는 연산부를 구비한다.

**수학식 1**

[0008] 
$$\phi(x,y,\alpha) = \iint \left[ \int f(x',\theta) \exp(-ik_x x') dx' \right] \exp(ik_x(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x dk_x d\theta$$

[0009] 본 발명의 하나의 바람직한 실시 형태에서는, 상기 측정 유닛이, 상기 길이 방향으로 연장되는 것과 함께, 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 측정치를 취득하는 측정부와, 상기 기준 방향과, 상기 측정부의 상기 길이 방향 사이의 상기 각도 $\theta$ 를 변경하는 각도 변경부와, 상기 측정면 상에서 상기 측정부를  $X'$ 방향으로 상기 대상물에 대해서 상대적으로 이동하고, 상기 대상물의 측정 영역 상을 상기 측정부가 통과하는 주사(走査)를 행하는 이동 기구와, 상기 각도 변경부 및 상기 이동 기구를 제어하는 것에 의해, 상기 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서 상기 주사를 반복하는 제어부를 구비하고, 상기 주사의 반복에 의해, 상기 측정 유닛에서 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득된다.

[0010] 또한, 상기 3 차원 포텐셜이, 자위의 포텐셜을 Z방향에 관하여 1회 이상 미분한 것이며, 상기 측정부가, 상기 길이 방향 및 Z방향으로 확대되는 것과 함께, 상기 3 차원 포텐셜에 유래하는 신호를 생성하는 박막 소자인 것이 바람직하고, 이 경우, 측정부의 주사에 있어서의 주사 방향의 측정 분해능을 향상할 수 있다.

[0011] 보다 바람직한 포텐셜 취득 장치는, 상기 측정부를 Z방향으로 상기 대상물에 대해서 상대적으로 이동하는 또 하나의 이동 기구를 더 구비하며, 상기 3 차원 포텐셜이 라플라스 방정식을 만족하고, 상기 제어부가,  $z=0$ 을 만족하는 상기 측정면에서  $\phi(x, y, 0)$ 를 2 차원의 제1 화상으로서 취득하고, 상기 측정부를 Z방향으로 미소 거리만큼 상대 이동한 후, 상기 제1 화상과 같은 수법에 의해 2 차원의 중간 화상을 취득하고, 상기 연산부가, 상기 제1 화상과 상기 중간 화상과의 차분 화상을 구하고, 상기 차분 화상을 상기 미소 거리로 제산(除算)한 미분 화상을 제2 화상으로서 취득하며, 상기 제1 화상인  $\phi(x, y, 0)$  및 상기 제2 화상인  $\phi_z(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수(波數)이다.)를 구하고, 또한,  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 이용하고, 수학식 2에 의해  $\phi(x, y, z)$ 를 구한다.

**수학식 2**

[0012] 
$$\begin{aligned} & \phi(x,y,z) \\ &= \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) + \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(z \sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right. \\ & \quad \left. + \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) - \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(-z \sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y \end{aligned}$$

- [0013] 상기 3 차원 포텐셜은, 자위, 전위, 온도 또는 중력에 유래하는 포텐셜인 것이 바람직하다.
- [0014] 본 발명은, 상기 포텐셜 취득 장치를 이용하는 자장 현미경, 및, 핵자기 공명을 이용한 검사 장치에도 주시하고 있고, 또한, 포텐셜 취득 방법에도 주시하고 있다.
- [0015] 상술한 목적 및 다른 목적, 특징, 모양 및 이점은, 첨부한 도면을 참조하여 이하에 행하는 본 발명의 상세한 설명에 의해 명확해진다.

**도면의 간단한 설명**

- [0016] 도 1은 2 차원 포텐셜 취득 방법의 원리를 설명하기 위한 도이다.
- 도 2는 자장 취득 장치의 구성을 나타내는 도이다.
- 도 3은 컴퓨터의 구성을 나타내는 도이다.
- 도 4는 컴퓨터가 실현하는 기능 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 5는 2 차원 포텐셜을 취득하는 처리의 흐름을 나타내는 도이다.
- 도 6은 3 차원 포텐셜을 취득하는 처리의 흐름을 나타내는 도이다.
- 도 7은 측정부 및 측정면을 나타내는 도이다.
- 도 8은 기관에 자성 재료의 박막을 형성하는 모습을 나타내는 도이다.
- 도 9는 기관에 자성 재료의 박막을 형성하는 모습을 나타내는 도이다.
- 도 10은 검사 장치를 설명하기 위한 도이다.
- 도 11은 제어 유닛의 기능 구성을 나타내는 도이다.
- 도 12는 제2 실시 형태에 관한 자장 취득 장치의 일부를 나타내는 도이다.
- 도 13은 온도 분포 취득 장치의 구성을 나타내는 도이다.
- 도 14는 소자군(素子群)의 저면도이다.
- 도 15는 자장 분포 화상을 취득하는 다른 예를 설명하기 위한 도이다.
- 도 16은 시료의 착자(着磁)를 설명하기 위한 도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0017] 우선, 본 발명에 관한 2 차원 포텐셜 취득 방법의 원리에 대해 설명한다. 도 1은, 2 차원 포텐셜 취득 방법의 원리를 설명하기 위한 도이다. 도 1에서는, 서로 수직인 X, Y, Z방향으로 규정되는 직교좌표계를 나타내고 있고, 이하의 설명에서는, X, Y, Z방향의 좌표 파라미터를 x, y, z로 나타낸다. 도 1중에서 부호 21을 부여한 박막 형상의 측정부는,  $z = \alpha$  (다만,  $\alpha$ 는 임의의 값)를 만족하는 임의의 측정면(XY평면에 평행한 측정면) 상에 있어서 측정면에 평행한 방향으로 연장된다.
- [0018] 본 발명에 관한 2 차원 포텐셜 취득 방법의 일례로는, 자화된 자성체가 주위에 형성하는 자위의 포텐셜, 혹은, 다층의 반도체 장치의 내부를 흐르는 전류가 반도체 장치의 주위(및 내부)에 형성하는 자위의 포텐셜 등, 대상물의 존재에 기인하여 적어도 대상물의 주위에 형성되는 자위의 포텐셜의 존재를 전제로 하여, 해당 자위의 포텐셜에 유래하는 3 차원 포텐셜의 측정면에서의 2 차원 포텐셜(포텐셜 분포)이 취득된다. 구체적으로는, 측정부(21)가 자장(磁場)의 Z방향 성분(대략 Z방향에 따르는 자장이면 좋고, 이하, 단지 「자장」이라고 한다.)을 취득하는 것인 경우에는, 자위의 포텐셜  $\phi$ 의 Z방향의 구배(勾配)를 스칼라값으로 하는 3 차원 포텐셜의 측정면에서의 2 차원 포텐셜이 취득된다. 즉, 자위의 포텐셜을 나타내는 포텐셜 함수를  $\phi(x, y, z)$ , 상기 3 차원 포텐셜을 나타내는 포텐셜 함수를  $\emptyset(x, y, z)$ 로 하면,  $\emptyset(x, y, z)$ 는,  $\phi(x, y, z)$ 의 z에 의한 1회 미분인  $\phi_z^{(1)}(x, y, z)$ (이하,  $\phi_z(x, y, z)$ 로 나타낸다.)이며, 2 차원 포텐셜 취득 방법은,  $z = \alpha$ 로 되는 임의의 측정면에서의  $\emptyset(x, y, \alpha)$ 를 취득하는 것이 된다.
- [0019] 이하의 설명에서는, Y방향에 평행한 측정면 상의 방향을 기준 방향, 측정부(21)의 길이 방향을 Y'방향, 측정면 상에서 길이 방향(Y'방향)에 수직인 방향을 X'방향, 기준 방향과 Y'방향이 이루는 각도를  $\theta$ , X'방향 및 Y'방향



의 좌표 파라미터를  $x'$  및  $y'$ (다만,  $X'$ 방향 및  $Y'$ 방향의 원점은  $Z$ 축 상에 있으며, 도 1에서는  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ 방향으로 규정되는 직교좌표계의 원점과 같다.)로 한다.

[0020] 2 차원 포텐셜 취득 방법에서는, 측정부(21)를  $X'$ 방향으로 이동하여 측정면 상의 소정 영역(대상물 상에서 주목하는 측정 영역을 측정면 상에 투영한 영역이며, 이하, 「측정 대상 영역」이라고 한다.)을 통과하는 주사(走査)가 행해진다. 그리고, 주사시에 있어서  $X'$ 방향의 각 위치  $x'$ 에서 측정부(21)의 전체가 받는 자장(측정부(21)내를 통과하는 자력선의 총합(總和))을 나타내는 신호가 생성되고(즉, 측정부(21)가 자장을 검출하여, 해당 자장에 상당하는 전기신호를 생성하고), 측정치로서 취득된다. 실제로는, 각도 $\theta$ 를  $0^\circ$  이상  $180^\circ$  미만의 범위 내에서 복수회로 변경하면서, 측정면 상에서 길이 방향에 수직인 방향으로의 주사가 반복되어, 3 차원 포텐셜에 유래하는 측정치를 나타내는 함수  $f(x', \theta)$ (이하, 단순히 「측정치  $f(x', \theta)$ 」라고 한다.)가,  $x'$  및  $\theta$ 를 파라미터로서 취득된다. 또한  $Z$ 축은, 측정 대상 영역의 대략 중앙을 통과하는 것으로 한다.

[0021] 여기서,  $Z$ 방향을 따라서 보았을 경우에,  $X'Y'$ 좌표계는,  $XY$ 좌표계를  $Z$ 축을 중심으로 하여 각도 $\theta$ 만큼 회전시킨 것이므로, 수학식 3이 만족된다.

**수학식 3**

$$\begin{cases} x = x' \cos \theta - y' \sin \theta \\ y = x' \sin \theta + y' \cos \theta \end{cases}$$

[0022]

[0023] 또한, 기술한 바와 같이, 측정부(21)를  $X'$ 방향으로 이동하는 각 주사시에는, 측정부(21)의 전체가 받는 자장이 취득되기 때문에, 측정치  $f(x', \theta)$ 는 수학식 4로 나타내진다. 또한, 측정부(21)의 길이 방향( $Y'$ 방향)에 관하여, 측정부(21)는 측정 대상 영역의 폭에 비해 충분히 길게 되도록 설정되어 있다.

**수학식 4**

$$f(x', \theta) = \int \phi(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta, \alpha) dy'$$

[0024]

[0025] 여기서,  $\phi(x, y, \alpha)$ 를  $X$ 방향 및  $Y$ 방향으로 푸리에 변환한  $\psi(k_x, k_y)|_{z=\alpha}$ (이하, 단지  $\psi(k_x, k_y)$ 로 나타낸다.)는 수학식 5와 같이 나타내진다. 다만, 수학식 5에 있어서,  $k_x, k_y$ 는  $X$ 방향 및  $Y$ 방향의 파수(波數)이다.

**수학식 5**

$$\phi(k_x, k_y) = \iint \phi(x, y, \alpha) \exp(-i k_x x - i k_y y) dx dy$$

[0026]

[0027] 수학식 5에 있어서,  $(k_x = k_{x'} \cos \theta), (k_y = k_{y'} \sin \theta), (x' = x \cos \theta + y \sin \theta)$ 로 놓으면, 수학식 6이 얻어진다. 다만, 수학식 6에 있어서,  $k_{x'}, k_{y'}$ 는  $X'$ 방향 및  $Y'$ 방향의 파수이다.

**수학식 6**

$$\begin{aligned} \phi(k_{x'} \cos \theta, k_{y'} \sin \theta) &= \iint \phi(x, y, \alpha) \exp(-i k_{x'}(x \cos \theta + y \sin \theta)) dx dy \\ &= \iint \phi(x, y, \alpha) \exp(-i k_{x'} x') dx dy \end{aligned}$$

[0028]

[0029] 또한, 수학식 6 중의 (dxdy)은 수학식 7로 나타내진다.

**수학식 7**

$$dxdy = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} dx'dy' \\ = dx'dy'$$

[0030]

[0031] 따라서, 수학식 6은, 수학식 3, 수학식 4 및 수학식 7을 이용하여 수학식 8과 같이 변형할 수 있다. 수학식 8에 서는  $\psi(k_x' \cos \theta, k_x' \sin \theta)$ 를  $g(k_x', \theta)$ 로 나타내고 있다.

**수학식 8**

$$g(k_x', \theta) = \phi(k_x' \cos \theta, k_x' \sin \theta) \\ = \iint \phi(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta, \alpha) \exp(-ik_x' x') dx'dy' \\ = \int \left\{ \int \phi(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta, \alpha) dy' \right\} \exp(-ik_x' x') dx' \\ = \int f(x', \theta) \exp(-ik_x' x') dx'$$

[0032]

[0033] 한편,  $\phi(x, y, \alpha)$ 는 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다. 다만,  $(k_x = k_x' \cos \theta)$ ,  $(k_y = k_x' \sin \theta)$ ,  $(x' = x \cos \theta + y \sin \theta)$ 로 놓고 있다.

**수학식 9**

$$\phi(x, y, \alpha) = \iint \phi(k_x, k_y) \exp(ik_x x + ik_y y) dk_x dk_y \\ = \iint \phi(k_x' \cos \theta, k_x' \sin \theta) \exp(ik_x'(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x' dk_x' d\theta$$

[0034]

[0035] 수학식 9에 수학식 8의  $\psi(k_x' \cos \theta, k_x' \sin \theta)$ 를 대입하는 것에 의해,  $\phi(x, y, \alpha)$ 는 수학식 10에 나타내진다.

**수학식 10**

$$\phi(x, y, \alpha) = \iint g(k_x', \theta) \exp(ik_x'(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x' dk_x' d\theta \\ = \iint \left[ \int f(x', \theta) \exp(-ik_x' x') dx' \right] \exp(ik_x'(x \cos \theta + y \sin \theta)) k_x' dk_x' d\theta$$

[0036]

[0037] 이상으로부터, 기준 방향과 측정부(21)의 길이 방향이 이루는 각도  $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 측정면 상에서의 측정부(21)의 주사를 행하여 측정치  $f(x', \theta)$ 를 취득하고, 또한, 측정치  $f(x', \theta)$ 를  $x'$ 에 관하여 푸리에 변환한  $g(k_x', \theta)$ 를 구하는 것에 의해, 수학식 10(이하, 「2 차원 포텐셜 취득식」이라고 부른다.)을 이용하여  $\phi(x, y, \alpha)$ 를 취득할 수 있다.

[0038] 다음으로, 상기 2 차원 포텐셜 취득 방법을 이용하는 자장 취득 장치에 대해 설명 한다. 도 2는 자장 취득 장치(1)의 구성을 나타내는 도이다. 자장 취득 장치(1)는, 센서와 시료의 거리를 컨트롤하기 위해서, 시료와 센서 간의 상호작용력을 검출하는 헤드부(2), 시료(9)를 수평면 상에서 유지하는 시료대(31), 시료대(31)를 수평면에

수직인 축을 중심으로 하여 회동하는 회동 기구(32), 회동 기구(32)와 함께 시료대(31)를 수평면 내에서 이동하는 수평 이동 기구(33), 헤드부(2)(의 후술하는 지지부(22))를 연직(鉛直) 방향으로 이동하는 승강기구(34), 헤드부(2)로부터의 신호를 처리하는 신호 처리 유닛(5), 및, 자장 취득 장치(1)의 각 구성요소의 제어 및 연산을 행하는 컴퓨터(4)를 구비한다.

[0039] 헤드부(2)는, 박막 소자인 측정부(21) 및, 측정부(21)를 유지하는 지지부(22)를 구비한다. 지지부(22)는, 법선이 수평인 지지 플레이트(221)를 가지고, 지지 플레이트(221)의 연직 방향 하측(시료(9)측)의 부위에 측정부(21)가 설치된다. 지지 플레이트(221)의 상단은, 대략 구형의 프레임인 경사부(222)의 한 변에 접속된다. 경사부(222)는 수평면에 대해서 경사지고 있고, 지지 플레이트(221)와는 반대측의 변이, 수평 방향으로 확대되는 베이스부(223)에 접속된다.

[0040] 측정부(21)는, 자기 저항 효과를 이용한 센서(예를 들면, GMR(Giant Magnetoresistive) 소자)이며, 수평 방향으로 긴 구형 형상의 복수의 막이 지지 플레이트(221)상에 적층되는 것에 의해 형성된다. 측정부(21)의 출력 신호는, 신호 처리 유닛(5)의 전치 증폭기(preamp; 54) 및 신호 처리부(55)를 통하여 컴퓨터(4)에 입력된다. 측정부(21)에서는, 자장에 의해서 생기는 전기 저항의 변화가 검출되는 것에 의해, 측정부(21)의 전체에 작용하는 자장이 취득된다.

[0041] 헤드부(2)는, 레이저 다이오드 모듈(이하, 「LD모듈」이라고 한다.)(23), 및, 변위 검출 포토 다이오드(position sensitive photo-diode)(이하, 「PSPD」라고 한다.)(24)를 더 구비한다. LD모듈(23)에는 고주파 증첩기(231)가 접속되고, 고주파 증첩기(231)에는 RF발진기(232) 및 LD바이어스 콘트롤러(233)이 접속된다. 또한, LD온도 콘트롤러(234)가 LD모듈(23)에 접속되어, LD모듈(23)의 온도가 일정하게 조정된다. 자장 취득 장치(1)에서는, 제어부인 컴퓨터(4)의 제어에 의해, 출사부인 LD모듈(23)로부터, 경사부(222)의 지지 플레이트(221)측의 단부 근방으로 향해서 광이 출사되고, 수광부인 PSPD(24)에서 지지부(22)로부터의 반사광이 수광된다. PSPD(24)로부터의 신호는, 신호 처리 유닛(5)의 I-V 컨버터(51), 전치 증폭기(52) 및 신호 처리부(53)를 통하여 컴퓨터(4)에 출력되고, 지지부(22)의 연직 방향의 위치가 정밀도 좋게 취득된다. 이것에 의해, 지지 플레이트(221)가 시료(9)에 접촉하는 것이 방지된다.

[0042] 수평 이동 기구(33)는, 시료대(31)를 서로 수직인 2 방향으로 수평 이동하는 제1 및 제2 이동 기구(331, 332)를 구비한다. 제1 및 제2 이동 기구(331, 332)의 시료대(31)의 이동 방향은, 측정부(21)에 대해서 상대적으로 고정되어 있고, 제1 이동 기구(331)는 시료대(31)를 측정부(21)의 길이 방향에 수직으로 수평 이동하고, 제2 이동 기구(332)는 시료대(31)를 길이 방향으로 수평 이동한다. 회동 기구(32), 수평 이동 기구(33) 및 승강기구(34)는, 구동 제어부(30)에 접속된다.

[0043] 컴퓨터(4)는, 도 3에 나타내는 바와 같이, 각종 연산을 행하는 CPU(41), 기본 프로그램을 기억하는 ROM(42) 및 각종 정보를 기억하는 RAM(43)을 버스 라인에 접속한 일반적인 컴퓨터 시스템으로 되어 있다. 버스 라인에는 또한, 정보 기억을 행하는 고정 디스크(44), 각종 정보의 표시를 행하는 디스플레이(45), 조작자로부터의 입력을 받아들이는 키보드(46a) 및 마우스(46b), 광디스크, 자기 디스크, 광자기 디스크 등의 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체(8)로부터 정보의 판독을 행하는 판독 장치(47), 및, 헤드부(2)나 구동 제어부(30)에 제어 신호를 송출하거나, 신호 처리부(53, 55)로부터의 신호가 입력되는 통신부(48)가, 적당히, 인터페이스(I/F)를 개입시키는 등 하여 접속된다.

[0044] 컴퓨터(4)에는, 사전에 판독 장치(47)를 통하여 기록 매체(8)로부터 프로그램(441)이 판독되고, 고정 디스크(44)에 기억된다. 그리고, 프로그램(441)이 RAM(43)에 카피(copy)되는 것과 함께 CPU(41)가 RAM(43)내의 프로그램에 따라서 연산 처리를 실행하는 것에 의해(즉, 컴퓨터(4)가 프로그램을 실행하는 것에 의해), 후술하는 연산부로서의 기능이 실현된다.

[0045] 도 4는, CPU(41)가 프로그램(441)에 따라서 동작하는 것에 의해, CPU(41), ROM(42), RAM(43), 고정 디스크(44) 등이 실현하는 기능 구성을 신호 처리 유닛(5)과 함께 나타내는 블럭도이다. 도 4에 있어서 푸리에 변환부(611, 612), 2 차원 포텐셜 분포 산출부(613, 614) 및 3 차원 포텐셜 분포 산출부(615)를 포함한 연산부(61)가 CPU(41)등에 의해 실현되는 기능을 나타낸다. 또한, 이러한 기능은 전용의 전기적 회로에 의해 실현되어도 좋고, 부분적으로 전용의 전기적 회로가 이용되어도 좋다. 또한, 복수의 컴퓨터에 의해 실현되어도 좋다.

[0046] 도 5는 자장 취득 장치(1)가 2 차원 포텐셜(분포)을 취득하는 처리의 흐름을 나타내는 도이다. 이하의 설명에서는, 기술한 2 차원 포텐셜 취득 원리에 있어서의 X, Y, Z직교좌표계가 시료(9)에 대해서 상대적으로 고정되어 설정되고, X방향 및 Y방향이 수평이며, Z방향이 연직인 것으로 한다. 또한, 시료(9)의 표면은 XY평면에 평행이

며, 회동 기구(32)는, Z축을 중심으로 하여 시료대(31)를 회동(回動)한다. 따라서, 회동 기구(32)에 의해 시료(9)가 시료대(31)와 함께 회동하면, X, Y방향도 시료(9)와 함께 수평면 상을 회동하게 된다. 또한, 제1 이동 기구(331)에 의한 시료대(31)의 이동 방향(즉, 측정부(21)의 길이 방향에 수직인 수평 방향)을 X'방향으로 하고, 제2 이동 기구(332)에 의한 시료대(31)의 이동 방향(즉, 측정부(21)의 길이 방향에 따르는 수평 방향)을 Y'방향으로 한다.

[0047] 도 2의 자장 취득 장치(1)에 의한 측정에서는, 시료(9)의 외부에 설정된  $z=a$ 를 만족하는 임의의 측정면 상에 측정부(21)가 배치되고, 제1 이동 기구(331)가 시료대(31)를 도 2중의 X'방향으로 이동하는 것에 의해, 측정부(21)는 시료(9)의 측정 영역 상을 통과하도록, 주사를 행한다(스텝 S11). 이것에 의해, 주사 방향인 X'방향의 각 위치 $x'$ 에서 측정부(21)의 전체가 받는 자장(의 Z방향 성분)이 측정치로서 취득된다.

[0048] 다음의 주사가 행해지는 것이 확인되면(스텝 S12), 각도 변경부인 회동 기구(32)가 시료대(31)를 회동하는 것에 의해, 시료(9)에 대해서 상대적으로 고정된 X방향 및 Y방향이 시료(9)와 함께 회동한다. 이것에 의해, Y방향에 평행한 측정면 상의 기준 방향과, 측정부(21)의 길이 방향(Y'방향)이 이루는 각도 $\theta$ 가 일정한 미소 각도(예를 들면, 1도 이상 15도 이하(바람직하게는, 10도 이하이며, 보다 바람직하게는, 5도 이하)의 각도)만큼 변경된다(스텝 S13). 그리고, 측정부(21)가 측정면 상에서 X'방향으로 시료(9)에 대해서 상대적으로 이동되고(즉, 측정부(21)의 주사가 행해지고), 각 위치 $x'$ 에서의 자장이 취득된다(스텝 S11). 자장 취득 장치(1)에서는, 컴퓨터(4)의 제어에 의해, 회동 기구(32)가 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서 측정부(21)의 주사가 반복되고,  $x'$  및  $\theta$ 를 파라미터로 하는 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득된다(스텝 S12, S13, S11). 본 실시 형태에 있어서의 복수의 각도 $\theta$ 는,  $0^\circ$  이상  $180^\circ$  미만의 범위 내의 일정 간격의 각도이다.

[0049] 측정부(21)의 주사의 반복에 의해 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득되면(스텝 S12), 푸리에 변환부(611)에서는,  $f(x', \theta)$ 를  $x'$ 에 관하여 푸리에 변환하는 것에 의해,  $g(k_{x'}, \theta)$ 가 취득된다. 그리고, 2 차원 포텐셜 분포 산출부(613)에 있어서,  $g(k_{x'}, \theta)$ 를 2 차원 포텐셜 취득식(수학식 10)에 대입하는 것에 의해, 측정면에서의 2 차원 포텐셜을 나타내는  $\phi(x, y, a)$ 가 구해진다(스텝 S14).

[0050] 그런데, 초전도 양자간섭계나 자기저항 센서를 이용하여 자장의 2 차원 분포를 취득하는 경우, 이러한 디바이스의 미소화에는 기술적인 한계가 있기 때문에, 측정 분해능의 향상에 일정한 한계가 생긴다.

[0051] 이것에 대해, 포텐셜 취득 장치인 도 2의 자장 취득 장치(1)에서는, 측정 대상 영역의 폭에 비해 충분히 긴 측정부(21)가 이용되고, 측정면 상의 기준 방향과 측정부(21)의 길이 방향이 이루는 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 측정면 상에서 측정부(21)의 길이 방향에 수직인 방향에의 주사가 반복된다. 그리고, 주사의 반복에 의해 취득되는 측정치  $f(x', \theta)$ 를 이용하여 2 차원 포텐셜 취득식에 의해, 측정면에서의 2 차원 포텐셜을 나타내는  $\phi(x, y, a)$ 가 구해진다. 이것에 의해, 측정 대상 영역의 폭에 비해 충분히 큰 측정부(21)를 이용하여, 2 차원 포텐셜의 측정을 X방향 및 Y방향으로 높은 분해능(예를 들면, 나노 스케일의 분해능)으로 행할 수 있다. 이 경우 분해능은, 박막 상(狀)의 소자의 막두께로 결정된다. 박막의 두께를 컨트롤하는 것은 용이하며, 원리적으로 분해능은 원자·분자 스케일까지 높게 얻는다. 또한, 측정부(21)로서, 수평 방향으로 긴 측정 범위를 가지는 초전도 양자간섭계가 이용되어도 좋다(이하 동일).

[0052] 다음으로, 상기 2 차원 포텐셜 취득 방법을 이용하여 3 차원 포텐셜(분포)을 취득하는 수법에 대해 설명한다. 본 실시 형태에서는, 국제 공개 제2008/123432호 팜플렛(문헌 2)과 같은 수법에 의해, 3 차원 포텐셜이 취득된다. 이하의 수법에서는, 라플라스 방정식을 만족하는 3 차원 포텐셜을 나타내는  $\phi(x, y, z)$ 가 구해진다.

[0053] 우선, 3 차원 포텐셜을 취득하는 원리에 대해 설명한다. 라플라스 방정식을 만족하는 3 차원 포텐셜인  $\phi(x, y, z)$ 는 라플라시안(laplacian)  $\Delta$ 를 이용하여 수학식 11에서 나타내진다.

**수학식 11**

[0054] 
$$\Delta \phi(x,y,z) = 0$$

[0055] 이 방정식의 일반해는, X, Y, Z 직교좌표계에 있어서 Z방향으로 지수함수적으로 감소하는 항과 지수함수적으로 증대하는 항의 합(和)으로서 수학식 12에서 나타낼 수 있다.

**수학식 12**

[0056]

$$\phi(x,y,z) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \{ a(k_x, k_y) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) + b(k_x, k_y) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \} dk_x dk_y$$

[0057]

다만, 수학식 12에 있어서,  $k_x$ ,  $k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수이며,  $a(k_x, k_y)$ ,  $b(k_x, k_y)$ 는  $k_x$ ,  $k_y$ 로 나타내지는 함수이다. 또한, 수학식 12의 양변을  $z$ 로 1회 미분한 것은 수학식 13에서 나타내진다.

**수학식 13**

[0058]

$$\phi_z(x,y,z) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \{ a(k_x, k_y) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) - b(k_x, k_y) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \} dk_x dk_y$$

[0059]

여기서,  $z=0$ 을 만족하는 XY평면에 평행한 면에 있어서의  $\phi(x, y, z)$ , 즉,  $\phi(x, y, 0)$ 는 수학식 14에서 나타내진다.

**수학식 14**

[0060]

$$\phi(x,y,0) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \{ a(k_x, k_y) + b(k_x, k_y) \} dk_x dk_y$$

[0061]

마찬가지로, 수학식 13에  $z=0$ 을 대입하는 것에 의해  $\phi_z(x, y, 0)$ 는 수학식 15에서 나타내진다.

**수학식 15**

[0062]

$$\phi_z(x,y,0) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \{ a(k_x, k_y) - b(k_x, k_y) \} dk_x dk_y$$

[0063]

따라서,  $\phi(x, y, 0)$ 와  $\phi_z(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환한  $\psi(k_x, k_y)|_{z=0}$  및  $\psi_z(k_x, k_y)|_{z=0}$  (이하, 단지  $\psi(k_x, k_y)$ ,  $\psi_z(k_x, k_y)$ 로 나타낸다.)는, 수학식 16 및 수학식 17에서 나타내진다.

**수학식 16**

[0064]

$$\psi(k_x, k_y) = a(k_x, k_y) + b(k_x, k_y)$$

**수학식 17**

[0065]

$$\psi_z(k_x, k_y) = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \{ a(k_x, k_y) - b(k_x, k_y) \}$$

[0066]

수학식 16 및 수학식 17로부터  $a(k_x, k_y)$ ,  $b(k_x, k_y)$ 를 구할 수 있고, 이것들은 수학식 18 및 수학식 19에서 나타내진다.

수학식 18

$$a(k_x, k_y) = \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) + \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right]$$

[0067]

수학식 19

$$b(k_x, k_y) = \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) - \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right]$$

[0068]

[0069] 여기서, 수학식 12에 수학식 18 및 수학식 19의  $a(k_x, k_y)$  및  $b(k_x, k_y)$ 를 대입하는 것에 의해,  $\phi(x, y, z)$ 는 수학식 20에서 나타내진다.

수학식 20

$$\begin{aligned} & \phi(x, y, z) \\ = & \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) + \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \left[ \psi(k_x, k_y) - \frac{\psi_z(k_x, k_y)}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right] \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y \end{aligned}$$

[0070]

[0071] 이상으로부터, 대상물의 외부에 설정된  $z=0$ 을 만족하는 측정면에서의 측정에 의해 디리클레(Dirichlet)형 경계 조건인  $\phi(x, y, 0)$ , 및, 노이만형 경계 조건인  $\phi_z(x, y, 0)$ 이 얻어지는 경우, 이것들을 푸리에 변환하는 것에 의해서 수학식 20에 나타내는 바와 같이  $\phi(x, y, z)$ 를  $x$  및  $y$ 에 관하여 푸리에 변환한 것을 유도하는 것과 함께 역푸리에 변환을 행하는 것에 의해,  $\phi(x, y, z)$ 를 취득할 수 있고, 3 차원 포텐셜이 엄밀하게 유도되게 된다.

[0072] 그런데, 수학식 12를  $z$ 에서 홀수회 및 짝수회 미분한 함수에 대해서 수학식 20의 도출에 준한 처리를 행하는 것에 의해서도  $a(k_x, k_y)$ ,  $b(k_x, k_y)$ 를 구할 수 있고,  $\phi(x, y, z)$ 를 1회 이상 미분한 수학식 20에 상당하는 식을 유도할 수 있다. 여기에서는,  $q, p$ 를 0 이상의 정수로서  $q$ 가 홀수,  $p$ 가 짝수인 것으로 한다(즉,  $q \equiv 1, p \equiv 0 \pmod{2}$ ). 또한, 라플라스 방정식을 만족하는 장소를 나타내는 장함수(場函數)  $H(x, y, z)$ 의  $z$ 에 대한  $q$ 회 미분 및  $p$ 회 미분을  $H_z^{(q)}(x, y, z)$ ,  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 로 나타낸다. 또한,  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$ (즉, 수학식 21)를  $x$  및  $y$ 에 대해 푸리에 변환한 것을  $h_z^{(q)}(k_x, k_y)$ 로 나타내고,  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 를  $x$  및  $y$ 에 대해 푸리에 변환한 것을  $h_z^{(p)}(k_x, k_y)$ 로 나타내면,  $H_z^{(q)}(x, y, z)$  및  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 는 각각 수학식 22 및 수학식 23에서 나타내진다.

수학식 21

$$H_z^{(q)}(x, y, 0) = \left. \frac{\partial^q H_z(x, y, z)}{\partial z^q} \right|_{z=0}$$

[0073]

수학식 22

$$H_z^{(q)}(x,y,z) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left( h_z^{(q)}(k_x, k_y) + h_z^{(p)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{q-p}{2}} \right) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) + \frac{1}{2} \left( h_z^{(q)}(k_x, k_y) - h_z^{(p)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{q-p}{2}} \right) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y$$

[0074]

수학식 23

$$H_z^{(p)}(x,y,z) = \iint \exp(ik_x x + ik_y y) \left\{ \frac{1}{2} \left( h_z^{(p)}(k_x, k_y) + h_z^{(q)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{p-q}{2}} \right) \exp(z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) + \frac{1}{2} \left( h_z^{(p)}(k_x, k_y) - h_z^{(q)}(k_x, k_y) (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{p-q}{2}} \right) \exp(-z\sqrt{k_x^2 + k_y^2}) \right\} dk_x dk_y$$

[0075]

[0076] 이상으로부터, 측정에 의해  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$  및  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 를 구할 수 있는 경우, 이것들을 푸리에 변환하여  $h^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h^{(p)}(k_x, k_y)$ 를 구하고, 수학식 22 또는 수학식 23을 이용하여  $h^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h^{(p)}(k_x, k_y)$ 로부터  $H_z^{(q)}(x, y, z)$  또는  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 를 푸리에 변환한 것을 유도하는 것과 함께 역푸리에 변환을 행하는 것에 의해,  $H_z^{(q)}(x, y, z)$  또는  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 를 취득할 수 있다.

[0077] 도 2의 자장 취득 장치(1)에서는, 상기 3 차원 포텐셜 취득 방법을 이용하여 3 차원 포텐셜의 취득도 가능해지고 있다. 도 6은, 자장 취득 장치(1)가 3 차원 포텐셜을 취득하는 처리의 흐름을 나타내는 도이다.

[0078] 3 차원 포텐셜 취득 처리에서는, 도 7 중에서 파선으로 나타내는 바와 같이, z=0을 만족하는 측정면(91)상에 측정부(21)의 (-Z)측의 단면이 배치되고, 도 5의 스텝 S11 ~ S14를 행하는 것에 의해,  $\emptyset(x, y, 0)$ 가 취득된다. 본 실시 형태에서는, 2 차원 포텐셜 분포 산출부(613)에 의해, 측정면(91) 상의 각 위치에 있어서의  $\emptyset(x, y, 0)$ 의 값(자장의 크기를 나타내는 값)이 화소치로 변환되고, 측정면(91)에 있어서의 자장의 2 차원 분포가 자장 분포 화상(71)(정확하게는 화상의 데이터)으로서 고정 디스크(44)(도 4 참조)에 기억된다(도 6: 스텝 S21). 실제로는, 스텝 S 21의 처리는, 기술한 도 5의 처리의 실행에 의해 이미 완료하고 있다.

[0079] 이어서, 도 2에 나타내는 승강기구(34)에 의해, 헤드부(2)가 Z방향으로 미소 거리 d(d>0)만큼 하강하고, 도 7 중에 2점 쇄선으로 나타내는 바와 같이, 측정부(21)와 시료(9)의 사이의 거리가 미소 거리d 만큼 변경된다. 즉, 시료(9)에 대해서 상대적으로 고정된 측정면(91)으로부터 (-Z)방향으로 미소 거리 d만큼 떨어진 면(92)이 새로운 측정면으로 된다. 그리고, 스텝 S21의 처리와 같이, 도 5의 스텝 S11 ~ S14를 행하는 것에 의해, 측정면(92)에 있어서의 자장의 분포(즉,  $\emptyset(x, y, -d)$ )가 보조 자장 분포 화상(72)으로서 취득된다(스텝 S22). 또한, 스텝 S22의 처리에서는, 도 4중의 신호 처리 유닛(5)으로부터 푸리에 변환부(612)에 측정치  $f(x', \theta)$ 가 출력되고, 2 차원 포텐셜 분포 산출부(614)에서 보조 자장 분포 화상(72)이 생성된다. 물론, 1개의 푸리에 변환부 및 1개의 2 차원 포텐셜 분포 산출부에 의해, 자장 분포 화상(71) 및 보조 자장 분포 화상(72)의 양쪽 모두가 생성되어도 좋다.

[0080] 자장 분포 화상(71) 및 보조 자장 분포 화상(72)(각각 포텐셜 분포 화상 및 보조 포텐셜 분포 화상이라고 파악할 수도 있다.)이 준비되면, 3 차원 포텐셜 분포 산출부(615)에서는, 이러한 화상의 차분 화상이 구해지고, 해당 차분 화상을 미소 거리 d로 계산한 미분 화상이 생성된다. 미분 화상은 측정면(91)에 있어서의 자장의 Z방향의 미분, 즉, 자장 구배를 실질적으로 나타내는 화상으로 되고, 자장 구배 분포 화상(포텐셜 구배 분포 화상이라고 파악할 수도 있다.)으로서 기억된다(스텝 S23).



- [0081] 기술한 바와 같이, 자장 분포 화상(71)은  $\emptyset(x, y, 0)$ 로 나타내진다. 또한, 자장 구배는 자장을  $z$ 로 미분한 것인 것부터, 자장 구배 분포 화상은  $\emptyset_z^{(1)}(x, y, 0)$ (이하,  $\emptyset_z(x, y, 0)$ 으로 나타낸다.)를 나타내는 화상으로 된다. 자장 분포 화상(71)을 제1 화상, 보조 자장 분포 화상(72)을 중간 화상, 자장 구배 분포 화상을 제2 화상으로 했을 경우, 스텝 S21 ~ S23은, 자장의 분포를 나타내는 2 차원의 제1 화상 및 중간 화상을 취득하고, 이러한 화상으로부터 자장의 구배(勾配)를 나타내는 제2 화상을 구하는 공정으로 되어 있다.
- [0082] 이어서, 3 차원 포텐셜 분포 산출부(615)에서는,  $\emptyset(x, y, 0)$ 인 자장 분포 화상(71) 및  $\emptyset_z(x, y, 0)$ 인 자장 구배 분포 화상이,  $x$  및  $y$ 에 관하여 푸리에 변환 되고  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는 X방향 및 Y방향의 파수이다.)가 구해진다(스텝 S24). 푸리에 변환으로서 구체적으로는 2 차원의 이산 푸리에 변환이 행해지고, 푸리에 변환에 즈음하여, 예를 들면,  $0 \sim \pi$  범위의 정현함수의  $n$ 승( $n$ 는 0이상)을 창함수(window function)로서 양(兩) 화상에 올리는 수법이 채용된다.
- [0083]  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 가 구해지면,  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 이용하여, 수학식 20으로 나타내는 식(이하, 「3 차원 포텐셜 취득식」이라고 부른다.)에 의해  $\emptyset(x, y, z)$ 가 구해진다(스텝 S25). 또한,  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 3 차원 포텐셜 취득식에 대입하여  $k_x$  및  $k_y$ 에 관하여 역푸리에 변환할 때에는, 푸리에 변환시와 같은 창함수가 이용된다.  $\emptyset(x, y, z)$ 가 구해지는 것에 의해, 자장의  $z$ 성분의 3 차원 분포가 엄밀하게 구해지게 된다.
- [0084] 다음으로, 도 7에 나타내는 바와 같이 시료(9)의 매질에 매몰(埋沒)한 측정 대상 물질 표면(93)과  $z=0$ 의 측정면(91)의 사이의 거리가  $h(h>0)$ 인 경우, 3 차원 포텐셜 분포 산출부(615)에 있어서  $\emptyset(x, y, z)$ 의  $z$ 에 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)의 위치를 나타내는 값( $-h$ )(또는, 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 근접하는 위치를 나타내는 값)이 대입되고, 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 있어서의 자장 분포가 얻어진다(스텝 S26). 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 있어서의 자구 구조와 자장 분포는 대응하고 있기 때문에, 자장 취득 장치(1)에서는  $\emptyset(x, y, -h)$ 를 나타내는 화상이 자구 구조를 나타내는 자구 화상으로서 고정 디스크(44)에 보존된다. 이상의 동작에 의해, 보호막 등의 자성체 상부에 존재하는 물체의 영향으로 센서를 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 접근할 수 없는 경우에도 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93) 근방에 있어서의 자장 분포 화상을 얻을 수 있고, 자장 취득 장치(1)에 의해 10 nm이하(설계에 따라서는, 2~3 nm 이하)의 높은 공간 분해능을 가지는 자장 현미경이 실현된다.
- [0085] 이상과 같이, 자장 취득 장치(1)에서는, Z방향으로 미소 거리만큼 상위한 2개의 측정면에서 동일 수법에 의해 자장 분포 화상(71) 및 보조 자장 분포 화상(72)이 취득되고, 이들 화상의 차분 화상을 미소 거리로 제산(除算)한 미분 화상이 자장 구배 분포 화상으로서 취득된다. 그리고, 자장 분포 화상(71)인  $\emptyset(x, y, 0)$  및 자장 구배 분포 화상인  $\emptyset_z(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 구하고, 또한,  $\psi(k_x, k_y)$  및  $\psi_z(k_x, k_y)$ 를 이용하여, 3 차원 포텐셜 취득식에 의해  $\emptyset(x, y, z)$ 가 구해진다. 이것에 의해, 3 차원 포텐셜을 정밀도 좋게 구할 수 있다. 또한, 연산부(61)가,  $\emptyset(x, y, z)$ 의  $z$ 에 시료(9)의 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)의 위치 또는 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 근접하는 위치를 나타내는 값을 대입하는 것에 의해, 매질에 매몰한 측정 대상 물질 표면(93)에 있어서의 자구 구조를 나타내는 자구 화상을 취득할 수 있고, 자장 취득 장치(1)에서는, 높은 공간 분해능의 자장 현미경을 실현할 수 있다.
- [0086] 그런데, 자성체 표면의 관찰에 이용되는 다른 장치(예를 들면, 주사 터널 현미경이나 주사 전자현미경)에서는, 극히 청정한 자성체 표면의 관찰을 행할 수 없지만, 자장 취득 장치(1)에서는, 시료(9)의 표면이 청정하지 않고, 비자성체 물질에 매몰한 자구의 측정이 가능하기 때문에, 실용적인 평가 장치 또는 제조 라인상의 검사 장치로서의 응용이 가능하다. 또한, 자장 취득 장치(1)는, 하드 디스크 구동장치의 검출기로서 이용하는 것도 생각할 수 있다.
- [0087] 다음으로, 측정부(21)의 제조에 관련하여, 바람직한 박막 형성 수법에 대해 말한다. 도 8은, 지지부(22)의 지지 플레이트(221)로 되는 구형의 기관(이하, 같은 부호 221을 부여.)에 자성 재료의 박막을 형성하는 모습을 나타내는 도이다. 기술한 바와 같이, 측정부(21)는 자성 재료(코발트(Co), 니켈(Ni), 철(Fe) 등을 포함한 재료)의 다층막이며, 예를 들면, 하나의 자성 재료의 박막의 형성시에는, 해당 자성 재료의 증착원(蒸着源; 81)에 대향하는 위치에 기관(221)이 판 모양의 증착원(81)에 대해서 평행으로 배치되고, 증착원(81)과 기관(221)과의 사이에 개구(開口)를 가지는 마스크(82)(도 8에서는, 단면을 나타내는 평행 사선의 도시를 생략하고 있다. 도 9에 있어서 동일함.)가 배치된다. 그리고, 진공 증착에 의해 마스크(82)의 개구 형상에 대응하는 기관(221)상의 영



역에 해당 자성 재료의 박막(220)이 형성된다. 이와 같이 하여, 기관(221)의 주면을 따라 확대되는 박막 소자(즉, 도 2 중의 Y'방향 및 Z방향으로 확대되는 측정부(21))가, 박막으로 되는 물질의 증착에 의해 형성된다.

[0088] 다음으로, 보다 바람직한 박막 형성 수법에 대해 말한다. 도 9는, 기관(221)에 자성 재료의 박막을 형성하는 모습을 나타내는 도이다. 도 9에 나타내는 박막 형성 수법에서는, 판 모양의 증착원(81)과 기관(221)을 대향시키면서, 증착원(81)에 대해서 기관(221)이 경사지게 배치된다. 보다 상세하게는, 도 9의 하측이 도 2의 자장 취득 장치(1)에 있어서의 (-Z)측에 대응하고 있고, 구형의 기관(221)의 하측의 부위가 증착원(81)으로부터 떨어지도록, 기관(221)이 기울여 진다. 그리고, 이 상태에서 증착이 행해지는 것에 의해, 도 9에 나타내는 바와 같이, 기관(221)의 하부에서, 하측으로 향함에 따라서 막두께가 얇아지도록 박막(220)이 형성된다. 바꿔말하면, 기관(221)의 하측(즉, 자장 취득 장치(1)에 설치되었을 경우에 있어서의 시료(9)측)에서의 박막(220)의 막두께가 다른 부위의 막두께보다 작은 측정부가 형성된다. 측정부에서는, 박막(220)의 하단부의 막두께(실제로는, 다층막의 막두께)가 막두께 방향인 X'방향에 있어서의 분해능에 영향을 주기 때문에, 도 9에 나타내는 수법에서 형성되는 것에 의해 막두께가 대상물 측으로 향해서 점차 감소하는 측정부에서는, 도 8의 수법에서 형성되는 측정부에 비해, X'방향에 관한 분해능이 높은 측정치의 취득이 가능해진다. 막두께가 대상물 측을 향해 점차 감소하는 박막 소자는 다른 수법에 의해 형성되어도 좋다.

[0089] 도 10은, 상기 2 차원 포텐셜 취득 방법을 이용하는 검사 장치(1a)를 설명하기 위한 도이다. 검사 장치(1a)는, 핵자기 공명 화상법(Magnetic Resonance Imaging(MRI))에 의해 화상을 취득하는 MRI 장치이다. 도 10중의 좌측은 검사 장치(1a)의 구성을 나타내며, 우측은 대상물(9a)의 검사 대상이 되는 단면(도 10중의 XY평면에 평행한 단면이며, 이하, 「검사 대상면」이라고 한다.)의 Z방향의 위치와, 후술의 송신 코일(12)에 의해 대상물(9a)에 대해서 부여되는 회전 자장의 주파수  $\omega$ 와의 관계를 나타내고 있다.

[0090] 검사 장치(1a)는, 도 10중의 Y방향으로 가로 놓이는 인체인 대상물(9a)에 대해서 Z방향의 경사 자장을 형성하는 정자장(靜磁場) 형성부(11), 대상물(9a)에 향해 회전 자장을 부여하는 송신 코일(12), 대상물(9a)의 (+Z)측에 배치되는 헤드부(2a), 헤드부(2a)를 Z방향으로 평행한 축을 중심으로 하여 회동하는 회동 기구(32a), 회동 기구(32a)와 함께 헤드부(2a)를 Z방향으로 승강하는 승강기구(34a), 회동 기구(32a) 및 승강기구(34a)와 함께 헤드부(2a)를 X방향 및 Y방향으로 이동하는 수평 이동 기구(33a), 및, 검사 장치(1a)의 각 구성요소에 접속되는 제어 유닛(40)을 구비한다. 도 10에서는, 부호 A1를 부여하는 복수의 화살표의 길이를 (+Z)측으로부터 (-Z)방향을 향하여 차례차례 길게 하는 것에 의해, 정자장 형성부(11)에 의해 형성되는 정자장의 강도가 (-Z) 방향을 향해 점차 크게 되는 상태를 추상적으로 나타내고 있다.

[0091] 헤드부(2a)는, 대상물(9a)의 X방향의 폭보다 충분히 긴(예를 들면, 해당 폭의 2배 이상) 측정부(21a), 및, 측정부(21a)가 고정되는 지지 플레이트(221a)를 가지고, 지지 플레이트(221a)는 지지봉(224)을 통하여 회동 기구(32a)에 장착된다.

[0092] 도 11은, 제어 유닛(40)의 기능 구성을 측정부(21a) 및 송신 코일(12)과 함께 나타내는 도이다. 도 11중의 제어부(62) 및 연산부(63)가 제어 유닛(40)에 포함되는 컴퓨터에 의해 실현되는 기능이다.

[0093] 제어부(62)는, 주사 신호 발생기(410)에 접속되고, 주사 신호 발생기(410)로부터의 신호에 근거하여 수평 이동 기구(33a)에 의해 헤드부(2a)가 주사를 행한다. 또한, 제어부(62)는, 발진기(401), 위상 조정부(402), 진폭변조기(403) 및 고주파 증폭기(404)를 통하여 송신 코일(12)에 접속되고, 제어부(62)의 제어에 따른 주파수의 회전 자장이 송신 코일(12)로부터 대상물(9a)에 부여된다. 측정부(21a)는, 수신기 전치 증폭기(405)에 접속되어 있고, 측정부(21a)로부터의 신호는 수신기 전치 증폭기(405)에서 증폭된 후, 위상 검파기(406), LPF(407), A-D컨버터(408)의 순으로 출력되고, A-D컨버터(408)로부터의 출력 신호가, 측정치  $f(x', \theta)$ 로서 메모리(409)에 기억된다. 또한, 도 11에서는, A-D컨버터(408)로부터 출력되는 신호의 내용을, 부호 B1를 부여하는 파선의 구형으로 둘러싸서 나타내고 있다(구형 B2, B3에 있어서 동일).

[0094] 도 11중의 연산부(63)의 재구성 제어부(631)는, 도 4중의 푸리에 변환부(611) 및 2 차원 포텐셜 분포 산출부(613)와 같은 기능을 가지며, 측정부(21a)가 배치되는 것과 함께  $z = \alpha$ 를 만족하는 측정면에서의  $\emptyset(x, y, \alpha)$ 가, 메모리(409)에서 기억되는 측정치  $f(x', \theta)$ 에 근거하여 구해진다. 또한, 3 차원 자장 재구성부(632)는, 도 4 중의 3 차원 포텐셜 분포 산출부(615)와 같은 기능을 가지며,  $\emptyset(x, y, \alpha)$ 에 근거하여  $\emptyset(x, y, z)$ 를 구하는 것과 함께, 후술의 MRI 화상을 취득한다.

[0095] 대상물(9a)에 있어서  $z=z_0$ 를 만족하는 평면을 검사 대상면으로 하는 경우에는, 도 10중의 우측에 나타내는 바와 같이, 주파수  $\omega_0$ 의 회전 자장(RF펄스(90도 펄스)라고도 불린다.)을 대상물(9a)에 부여하는 것에 의해, 대상물

(9a)의 해당 검사 대상면 상에서 핵자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance(NMR))가 생긴다. 또한, 후술하는 바와 같이, 회전 자장의 부여에 동기 하여, 측정부(21a)의 주사를 행하는 것에 의해 검사 대상면의 MRI 화상이 취득된다. 이하, 검사 장치(1a)에 있어서의 검사에 관한 동작의 흐름에 대해서, 도 6에 준하여 설명한다.

[0096] 검사 장치(1a)에서는,  $z=0$ 을 만족하는 측정면 상에 측정부(21a)의 (-Z)측의 단면이 배치되고, 도 5의 스텝 S11~S13의 처리가 행해진다. 이 때, 스텝 S11에 있어서의 측정부(21a)의 각 주사에서는, 주사 방향(즉, X'방향)의 각 위치  $x'$ 에서 측정부(21a)가 정지된다. 이어서, 송신 코일(12)로부터 대상물(9a)에 주파수  $\omega_0$ 의 회전 자장이 부여되고, 검사 대상면 상에서 핵자기 공명이 생긴다. 그리고, 송신 코일(12)의 구동의 정지 후(즉, 회전 자장의 부여의 정지 후) 소정 시간의 사이, 측정부(21a)에 있어서의 측정치의 변화가 취득된다. 송신 코일(12)의 구동, 및, 구동 정지 후의 측정치의 변화의 취득은, 해당 주사에 있어서의 X'방향의 모든 위치  $x'$ 에 대해서 행해지고, 측정부(21a)의 1회의 주사가 완료한다. 상기 동작은, 모든 각도  $\theta$ 에서의 주사에 대해서 행해지는 것에 의해, 재구성 제어부(631)에서  $\emptyset(x, y, 0)$ 인 자장 분포 화상이 취득된다(도 5 : 스텝 S14, 도 6 : 스텝 S21). 실제로는, 송신 코일(12)의 구동 정지 후의 경과시간  $t$ 도 파라미터로서 포함한  $\emptyset(x, y, 0, t)$ 가, 각 경과시간  $t$ 에 대한 자장 분포 화상을 나타내는 것으로서 구해진다.

[0097]  $\emptyset(x, y, 0, t)$ 가 취득되면, 승강기구(34a)에 의해 헤드부(2a)가 Z방향으로 미소 거리  $d$ 만큼 이동한다. 그 후, 상기 스텝 S21과 같은 처리가 행해지는 것에 의해,  $\emptyset(x, y, -d, t)$ 가 각 경과시간  $t$ 에 대한 보조 자장 분포 화상을 나타내는 것으로서 취득된다(스텝 S22). 이어서,  $\emptyset(x, y, 0, t)$ 와  $\emptyset(x, y, -d, t)$ 의 차를 미소 거리  $d$ 로 제산한  $\emptyset_z(x, y, 0, t)$ (즉, 각 경과시간  $t$ 의 자장 분포 화상 및 보조 자장 분포 화상의 차분 화상을 미소 거리  $d$ 로 제산한 자장 구배 분포 화상)가 취득된다(스텝 S23). 그리고,  $\emptyset(x, y, 0, t)$  및  $\emptyset_z(x, y, 0, t)$ 를 각각 푸리에 변환한 것을 이용하여, 3 차원 포텐셜 취득식에 의해  $\emptyset(x, y, z, t)$ 가 구해진다(스텝 S24, S25).

[0098]  $\emptyset(x, y, z, t)$ 는, 검사 대상면의 Z방향의 위치가  $z_0$ 인 경우에 있어서의, 송신 코일(12)의 구동 정지 후의 각 경과시간  $t$ 에 대한  $\emptyset(x, y, z)$ 를 나타내고 있다. 따라서, 해당 검사 대상면에 대해서 취득되는  $\emptyset(x, y, z, t)$ 의  $z$ 에  $z_0$ 를 대입하는 것에 의해, 검사 대상면의 각 위치( $x, y$ )에 대하여, 회전 자장의 부여 정지 후에 있어서의 자장의 시간적 변화를 나타내는  $\emptyset(x, y, z_0, t)$ 가, 여기(勵起) 상태의 완화 현상을 나타내는 것으로서 구해진다. 그리고, 소정의 연산에 의해, 검사 대상면의 각 위치( $x, y$ )에 있어서의 완화 현상의 상위를 나타내는 화상이, MRI 화상으로서 취득된다(스텝 S26).

[0099] 상기 스텝 S21 ~ S26 처리는, Z방향의 복수의 위치에 있어서의 복수의 평면의 각각을 검사 대상면으로 하여 반복된다. 이 때, 예를 들면,  $z=(z_0 + \Delta z)$ 의 평면을 검사 대상면으로 하는 경우에는, 주파수( $\omega_0 - \Delta \omega$ )의 회전 자장이 대상물(9a)에 부여된다. 다만, 자기 회전비를  $\gamma$ , 경사 자장의 기울기를  $G_z$ 로 하고,  $\Delta \omega$ 는 ( $\gamma \cdot G_z \cdot \Delta z$ )로서 나타낸다(즉,  $\Delta \omega = \gamma \cdot G_z \cdot \Delta z$ ). 이것에 의해, Z방향의 복수의 위치에 있어서의 복수의 평면에서의 MRI 화상이 취득된다.

[0100] 이상으로 설명한 것처럼, 도 10의 검사 장치(1a)에서는, 정자장 형성부(11) 및 송신 코일(12)이 협동하는 것에 의해, Z방향의 복수의 위치에 있어서의 복수의 평면상에서 대상물(9a)의 내부에 핵자기 공명이 순차적으로 생긴다. 그리고, 해당 복수의 평면에 포함되는 각 평면에서 핵자기 공명이 생기게 했을 때에, 제어부(62)가 연산부(63)에 각 경과시간  $t$ 에 대한  $\emptyset(x, y, z)$ 를 취득시키고, 또한, 연산부(63)가  $\emptyset(x, y, z)$ 의  $z$ 에 해당 평면의 위치를 나타내는 값을 대입하는 것에 의해, 검사 대상면인 해당 평면상의 각 위치( $x, y$ )에 있어서의 완화 현상이 취득된다. 이것에 의해, 검사 대상면의 고정밀도의 MRI 화상을 취득할 수 있다. 이와 같이, 검사 장치(1a)에서는, 핵자기 공명을 이용한 검사를 정밀도 좋게 행할 수 있다. 또한, 도 10의 검사 장치(1a)에서는, 일반적인 터널형의 MRI 장치에서 생기는 피검사자에 있어서의 압박감이나 폐색감(閉塞感)을 저감 할 수 있다. 통상의 MRI와 달리 X, Y방향에는, 급준(急峻)한 자장 구배(勾配)를 형성할 필요가 없고, 박막 자장 센서의 막두께가 X, Y방향의 공간 분해능을 결정하기 때문에, 고분해능의 검사가 가능해진다. 또한 장치의 소형화가 실현되고, 수술 중 리얼타임 고분해능 검사 등의 임상 응용도 가능해진다.

[0101] 이상의 실시 형태에서는, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 1회 미분한 것에 근거하는 측정치가 측정부(21, 21a)에 의해 취득되지만, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 2회 미분한 것에 근거하는 측정치가 측정부에 의해 취득되어도 좋다. 이하의 설명에서의  $\emptyset(x, y, z)$ 는,  $\phi(x, y, z)$ 의  $z$ 에 의한 2회 미분인  $\phi_z^{(2)}(x, y, z)$ (이하,  $\phi_{zz}(x, y, z)$ 로 나타낸다.)로 된다.

[0102] 도 12는 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 자장 취득 장치(1b)의 일부를 나타내는 도이다. 자장 취득 장치(1b)에서는, 헤드부(2b)의 구성이 도 2의 자장 취득 장치(1)와 상위하다. 다른 구성은 도 2와 같고, 도 12에서는 도시

를 생략하고 있다.

- [0103] 헤드부(2b)에서는, 자성 재료로 형성되는 것과 함께 자화된 박막이 측정부(21b)로서 지지부(22b)의 지지 플레이트(221)에 설치되고, Y'방향으로 긴 측정부(21b)의 전체와 시료(9)와의 사이에서 자기력이 작용한다. 지지 플레이트(221)는, 경사부(222)를 통하여 베이스부(223)에 접속되어 있고, 베이스부(223)에는, 캔틸레버 상의 지지부(22b)(이하, 「캔틸레버(22b)」라고 한다.)를 진동시키는 진동부(25)가 설치된다. 또한, 헤드부(2b)에는, 도 2의 헤드부(2)와 같은 LD모듈(23) 및 PSPD(24)가 설치되고, 측정부(21b), 캔틸레버(22b), 진동부(25), LD모듈(23) 및 PSPD(24)는 밀폐된 용기(20) 내에 수용된다. 용기(20) 안은 감압되어 있고, 캔틸레버(22b)의 Q값의 향상을 도모할 수 있다. 또한, 용기(20)의 측면 및 상면(+Z측의 면)은 소정의 자기 실드 재료로 형성되어 있고, 캔틸레버(22b)의 Q값의 향상과 함께, 측정에 있어서의 노이즈의 영향을 큰폭으로 저감 할 수 있다.
- [0104] 자장 취득 장치(1b)에서는, 진동부(25)의 피에조(piezo)에 의해 캔틸레버(22b)가 공진 주파수에서 상하로 여진된다. 캔틸레버(22b)에는 LD모듈(23)로부터 광이 조사되고 있고, 반사광의 위치가 PSPD(24)에 의해 검출된다. 이에 따라, 신호 처리부(53)(도 2 참조)에 의해, 캔틸레버(22b)의 공진 주파수가 시료(9)와의 상호작용력에 의해 시프트한 양이 검출된다. 여기서, 캔틸레버 진동의 주파수의 시프트량은 상호작용력에 유래하고, 보존력 구배에 유래하는 측정량이라 할 수 있다. 따라서, 자장 취득 장치(1b)에서는, X'방향에의 측정부(21b)의 주사 시에, X'방향의 각 위치에 있어서, 캔틸레버(22b)의 공진 주파수의 시프트량에 근거하여 자기력 구배(측정부(21b)의 전체에 있어서의 자기력 구배)를 나타내는 값이 취득된다. 따라서,  $z=a$ 로 되는 측정면 상의 기준 방향과, 측정부(21b)의 길이 방향(Y'방향)이 이루는 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 측정면 상에서 측정부(21b)의 길이 방향에 수직인 방향으로의 주사를 반복하는 것에 의해, 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득되고, 도 2의 자장 취득 장치(1)와 같은 수법으로, 자장 구배 분포 화상인  $\phi(x, y, a)$ 가 취득된다.
- [0105] 자장 취득 장치(1b)에 의한 측정에서는,  $z=0$ 을 만족하는 측정면 상에서 캔틸레버(22b)의 진동 주파수의 시프트량이 취득되어 자장 구배 분포 화상이 제1 화상으로서 취득되고(도 6 : 스텝 S21), 해당 측정면으로부터 미소 거리만큼 떨어진 측정면에서와 같이 자장 구배 분포 화상이 중간 화상으로서 취득된다(스텝 S22). 이어서, 제1 화상과 중간 화상의 차분 화상을 미소 거리  $d$ 로 계산(除算)한 미분 화상이 자장 구배의  $z$ 에 의한 미분을 나타내는 제2 화상으로서 취득된다(스텝 S23). 이 경우, 제1 화상은  $\phi(x, y, 0)$ (즉,  $\phi_{zz}(x, y, 0)$ )에 대응하고, 제2 화상은  $\phi_z(x, y, 0)$ (즉,  $\phi_{zzz}(x, y, 0)$ )에 대응하는 것으로부터, 이러한 화상을 푸리에 변환하여 수학적 20의 3차원 포텐셜 취득식에 대입하는 것에 의해,  $\phi_{zz}(x, y, z)$ 인  $\phi(x, y, z)$ 가 구해진다(스텝 S24, S25). 그리고,  $\phi(x, y, z)$ 의  $z$ 에 시료(9)의 표면의 위치를 나타내는 값이 대입되는 것에 의해, 표면에 있어서의 자장 구배의 분포가 취득되고 이것에 근거하여 자구 화상이 생성된다(스텝 S26).
- [0106] 이와 같이, 자장 취득 장치(1b)에서는, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 2회 미분한 것에 근거하는 측정치  $f(x', \theta)$ 가 측정부(21b)에 의해 취득되고,  $\phi_{zz}(x, y, z)$ 인  $\phi(x, y, z)$ 를 생성하는 것이 실현된다. 물론, 자장 취득 장치(1b)에서는, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 3회 이상 미분한 것에 근거하는 측정치를 취득 가능한 측정부가 설치되고, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 3회 이상 미분한 것이  $\phi(x, y, z)$ 로서 취득되어도 좋다.
- [0107] 이상과 같이, 자장 취득 장치에서는, 자위의 포텐셜을 Z방향에 관하여 1회 이상 미분한 것이  $\phi(x, y, z)$ 로서 취득되고,  $\phi(x, y, z)$ 의  $z$ 에 대상물인 시료(9)의 표면의 위치 또는 표면에 근접하는 위치를 나타내는 값을 대입하는 것에 의해, 높은 분해능의 자장 현미경을 실현할 수 있다.
- [0108] 또한, 도 12의 자장 취득 장치(1b)에 있어서, 진동시키지 않는 캔틸레버(22b)를 주사시키면서, 캔틸레버(22b)의 변위량을 LD모듈(23) 및 PSPD(24)에 의해 취득하는 것에 의해, 자위의 포텐셜을 Z방향으로 1회 미분한 것에 근거하는 측정치  $f(x', \theta)$ 가 측정부(21b)에 의해 구해지고,  $\phi_z(x, y, z)$ 인  $\phi(x, y, z)$ 가 취득되어도 좋다(후술의 MRI 장치에 있어서 동일).
- [0109] 또한, 자장 취득 장치(1b)에 있어서, 진동시키지 않는 캔틸레버(22b)의 주사에 의한  $\phi_z(x, y, 0)$ 의 측정과, 진동시킨 캔틸레버(22b)의 주사에 의한  $\phi_{zz}(x, y, 0)$ 의 측정을 행하고,  $\phi_z(x, y, 0)$ 를  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$ 로 하고(다만,  $q=1$ ),  $\phi_{zz}(x, y, 0)$ 를  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 로 하며(다만,  $p=2$ ), 이것들을 푸리에 변환하여  $h^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h^{(p)}(k_x, k_y)$ 를 구하고, 수학적 23을 이용하여  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ (즉,  $\phi_{zz}(x, y, z)$ )가 구해져도 좋다. 또한, 측정에 의해  $\phi_{zz}(x, y, 0)$  및  $\phi_{zzz}(x, y, 0)$ 가 취득 가능한 경우에는,  $\phi_{zzz}(x, y, 0)$ 를  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$ 로 하고(다만,  $q=3$ ),  $\phi$

$z_z(x, y, 0)$ 를  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 로 하며(다만,  $p=2$ ), 이것들을 푸리에 변환하여  $h^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h^{(p)}(k_x, k_y)$ 를 구하고, 수학적식 22를 이용하여  $H_z^{(q)}(x, y, z)$ (즉,  $\phi_{zzz}(x, y, z)$ )가 구해져도 좋다.

[0110] 이와 같이,  $z=0$ 을 만족하는 측정면에서의 임의의 포텐셜  $H(x, y, z)$ 의  $z$ 에 의한  $q$ 회 미분인  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$ 가 하나의 측정에 있어서 취득되는  $\phi(x, y, \alpha)$ 이고, 해당 포텐셜  $H(x, y, z)$ 의  $z$ 에 의한  $p$ 회 미분인  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 가 다른 측정에 있어서 취득되는  $\phi(x, y, \alpha)$ 인 경우에(다만,  $p, q$ 는 0 이상의 정수이며,  $q$ 가 홀수,  $p$ 가 짝수이다.),  $H_z^{(q)}(x, y, 0)$  및  $H_z^{(p)}(x, y, 0)$ 를 각각 푸리에 변환하여  $h_z^{(q)}(k_x, k_y)$  및  $h_z^{(p)}(k_x, k_y)$ (다만,  $k_x, k_y$ 는  $X$ 방향 및  $Y$ 방향의 파수(波數)이다.)를 구하는 것에 의해, 수학적식 22에 의해  $H_z^{(q)}(x, y, z)$ 를 구하고, 또는, 수학적식 23에 의해  $H_z^{(p)}(x, y, z)$ 를 구할 수 있다(다른 장치에 있어서 동일).

[0111] 도 12의 자장 취득 장치(1b)는, MRI 장치로서 이용되어도 좋고, 이 경우, 도 10의 정자장 형성부(11) 및 송신 코일(12)이 자장 취득 장치(1b)에 추가되어,  $Z$ 방향의 복수의 위치에 있어서의 복수의 평면상에서 대상물의 내부에 핵자기 공명이 순차적으로 생긴다. 그리고, 해당 복수의 평면에 포함되는 각 평면에서 핵자기 공명을 생기게 했을 때에,  $\phi_{zz}(x, y, z, t)$ 인  $\phi(x, y, z, t)$ 가 취득되고, 또한,  $\phi(x, y, z, t)$ 의  $z$ 에 해당 평면의 위치를 나타내는 값을 대입하는 것에 의해, 해당 평면상의 각 위치( $x, y$ )에 있어서의 완화 현상이 취득된다. 이것에 의해, 대상물의 검사 대상면에 있어서의 고정밀도의 MRI 화상을 취득할 수 있다.

[0112] 또한, 이러한 자장 취득 장치에 있어서, 자위의 포텐셜을  $Z$ 방향으로 3회 이상 미분한 것에 근거하는 측정치를 취득 가능한 측정부가 설치되고, 자위의 포텐셜을  $Z$ 방향으로 3회 이상 미분한 것이  $\phi(x, y, z, t)$ 로서 취득되어도 좋다. 이상과 같이, 자장 취득 장치에서는, 자위의 포텐셜을  $Z$ 방향에 관하여 1회 이상 미분한 것을  $\phi(x, y, z)$ 로서 취득하는 것에 의해, 핵자기 공명을 이용한 검사를 정밀도 좋게 행하는 것이 실현된다.

[0113] 또한, 2 차원 포텐셜 취득식을 이용해서 구해지는 2 차원 포텐셜  $\phi(x, y, \alpha)$ 의 기초가 되는 3 차원 포텐셜(즉, 3 차원 포텐셜 취득식을 이용해서 구해지는  $\phi(x, y, z)$ )은, 자위의 포텐셜에 유래하는 것으로 한정되지 않고, 용이하게 2 차원 포텐셜 취득 방법을 응용할 수 있는 것으로 하여 전위의 포텐셜에 유래하는 3 차원 포텐셜 분포를 들 수 있다. 이 경우, 예를 들면, 도 12의 장치에 있어서, 시료(9)는 전하가 표면에 존재하는 것으로 된다. 또한, 표면을 절연체로 덮는 것과 함께, 해당 절연체에 전하를 유지시킨 측정부(21b)가 준비된다. 그리고, 각 각도  $\theta$ 에 있어서, 진동시키지 않는 캔틸레버(22b)를 주사시키면서, 캔틸레버(22b)의 변위량이 측정치로서 LD모듈(23) 및 PSPD(24)에 의해 취득된다. 이것에 의해, 2 차원의 포텐셜 분포를 나타내는  $\phi(x, y, \alpha)$ , 즉, 시료(9)의 존재에 기인하는 정전기력(의  $Z$ 방향 성분)의 분포를 나타내는 정전기력 분포 화상이 취득된다.

[0114] 3 차원의 포텐셜 분포를 나타내는  $\phi(x, y, z)$ (다만,  $\phi(x, y, z)$ 는 라플라스 방정식을 만족한다.)를 취득할 때, 측정면의  $Z$ 방향의 위치가 미소 거리만큼 다른 2개의 정전기력 분포 화상의 차분을 미소 거리로 계산하여 정전기력 구배 분포 화상이 취득되고,  $z=0$ 의 측정면에서의 정전기력 분포 화상 및 정전기력 구배 분포 화상을 푸리에 변환하여 3 차원 포텐셜 취득식에 대입하는 것에 의해, 정전기력을 나타내는 3 차원 포텐셜이 재현된다. 또한, 시료(9)의 표면(또는 표면 근방)의 위치를 나타내는  $z$ 의 값이, 재현된 포텐셜 함수에 대입되어 시료(9)의 표면에서의 정전기력의 분포를 나타내는 화상이 전하의 분포에 대응하는 화상으로서 구해진다. 이와 같이, 상기 수법에 의하면, 시료(9)로부터 충분히 떨어진 위치로부터 근거리성의 상호작용의 영향을 받는 일 없이 정밀도 좋게 전하의 3 차원적인 분포를 반영한 포텐셜 분포를 구할 수 있고, 예를 들면, 절연막 내에 전하가 3 차원적으로 분포하는 경우에, 전하가 먼쪽에 만들어진 장소부터 전하가 트랩(trap)되고 있는 위치를 특정하는 것이 실현된다.

[0115] 물론, 공진하는 캔틸레버(22b)의 진동 주파수의 시프트량으로부터 정전기력 구배 분포 화상이  $\phi(x, y, \alpha)$ 로서 취득되어도 좋다. 또한, 측정면의  $Z$ 방향의 위치가 미소 거리만큼 다른 2개의 정전기력 구배 분포 화상에 근거하여 정전기력 구배의 3 차원 분포인  $\phi(x, y, z)$ 가 구해져도 좋다.

[0116] 상기 2 차원 포텐셜 및 3 차원 포텐셜 취득 방법은, 대상물의 존재에 기인하여 적어도 대상물의 주위에 형성되는 임의의 3 차원 포텐셜에 대해서 적용 가능하고, 자위 또는 전위의 포텐셜에 유래하는 포텐셜 이외에, 온도의 포텐셜 또는 중력에 유래하는 포텐셜 등에도 응용이 가능하다. 예를 들면, 한 방향으로 긴 측정 범위의 평균적



인 온도(해당 측정 범위에 있어서의 온도의 적분치와 증가라고 파악할 수 있다.)가 측정 가능한 측정부가, 대상물의 근방에 배치된다. 그리고, 대상물 내에 정상 상태의 열의 흐름을 생기게 하고, 측정면 상의 기준 방향과 측정부의 길이 방향이 이루는 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서 측정부의 주사를 반복하는 것에 의해, 측정면 상의 온도 분포를 나타내는  $\theta(x, y, \alpha)$ 를 취득할 수 있다. 또한, Z방향의 위치가 미소 거리만큼 다른 2개의 측정면의 온도 분포를 구하는 것에 의해, 대상물 내의 3 차원의 온도 분포  $\theta(x, y, z)$ 를 취득하여, 대상물의 내부 구조를 아는 것도 가능하다. 이러한 측정이 가능한 3 차원의 온도 분포 취득 장치(1c)의 일례를 도 13에 나타낸다.

[0117] 도 13의 온도 분포 취득 장치(1c)는 박막형 열전대(熱電對)를 가지는 측정부(21c)를 구비한다. 박막형 열전대는, 예를 들면 기관상에 백금(Pt) 및 콘스탄탄(constantan)을 순차적으로 적층하는 것에 의해 형성된다. 측정부(21c)로부터의 신호는 앰프를 통하여, 도 2의 장치와 같은 컴퓨터(4)에 입력된다. 도 13에서는, 컴퓨터(4)를 파선의 구형에서 나타내며, 컴퓨터(4)가 실현하는 기능을 내부에 나타내고 있다. 또한, 측정의 대상물(9c)은, 시료대(31)상에 재치되고, 시료대(31)는 회동 기구(32) 및 수평 이동 기구(33)에 의해 회동 및 이동 가능하다. 또한, 대상물(9c)에는, 전압원(90)이 접속되고, 대상물(9c) 내에 정상 상태의 열의 흐름이 생긴다.

[0118] 측정부(21c)는, 도시 생략된 승강기구에 의해 Z방향으로 이동 가능하고, 측정부(21c)의 출력은 제어부(62a)를 통하여 변환부(610a, 610b)에 입력된다. 변환부(610a, 610b)에서는, 도 2의 장치와 같게 하여, Z방향의 2개의 위치에서의 2 차원 온도 분포가 취득된다. 그리고, 2개의 2 차원 온도 분포에 근거하여, 대상물(9c) 내의 3 차원의 온도 분포(3 차원 포텐셜 분포)  $\theta(x, y, z)$ 가 취득된다. 또한, 온도 분포 취득 장치(1c)에서는, 도 2의 장치와 같이, LD모듈(23) 및 PSPD(24)가 설치되고, LD콘트롤러(233a)가 LD드라이버(231a)를 구동하는 것에 의해, LD모듈(23)로부터 레이저광이 출사된다. 또한, PSPD(24)로부터의 출력은, IV컨버터(51), 신호 처리부(53) 및 선택터(selector; 541)을 통하여 제어부(62a)(도 13에서는, 도시의 형편상, 측정부(21c)에 접속되는 제어부(62a)와는 다른 블록으로서 나타내고 있지만, 이들 블록은 동일한 제어부(62a)이다.)에 입력된다. 이것에 의해, 측정부(21c)가 대상물(9c)에 접촉하는 것이 방지된다.

[0119] 이상, 본 발명의 실시 형태에 대해 설명해 왔지만, 본 발명은 상기 실시 형태로 한정되는 것은 아니며, 다양한 변형이 가능하다.

[0120] 상기 실시 형태에서는, 측정치  $f(x', \theta)$ 를 취득하는 측정 유닛이, 측정부, 회동 기구, 수평 이동 기구 및 컴퓨터(또는 제어부)에 의해 실현되지만, 측정 유닛은 다른 구성에 의해 실현되어도 좋다. 도 14는, 다른 측정 유닛에 설치되는 소자군(素子群; 210)의 저면도이다. 도 14에 나타내는 바와 같이, 각각이 길이 방향으로 연장되는 센서가 되는 다수의 박막 소자(21d)가 막두께 방향으로 적층된 소자군(210)에서는, 하나의 각도 $\theta$ 에서의 X'방향의 각 위치에서의 측정치가 동시에 취득된다. 그리고, 소자군(210) 또는 대상물을 Z축을 중심으로 하여 회전하는 것에 의해 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경하면서, 소자군(210)에 의한 측정을 반복하는 것에 의해, 측정치  $f(x', \theta)$ 가 취득된다.

[0121] 여기서, 측정면 상에 있어서의 각 박막 소자(21d)의 영역을 선상(線狀) 영역이라고 파악하면, 소자군(素子群; 210)은, 길이 방향에 수직 또한 측정면에 평행한 X'방향으로 배열되는 복수의 선상 영역의 측정치를 동시에 취득하는 것이 된다. 또한, 상기 실시 형태에 있어서의 측정부를 주사 하는 측정 유닛에서는, 길이 방향으로 긴 하나의 측정부를 주사하는 동작은, 하나의 각도 $\theta$ 에서 복수의 선상 영역을 X'방향으로 배열 설정하면서, 복수의 선상 영역의 각각에 있어서의 측정치를 취득하는 것과 등가이다. 이상과 같이,  $\theta(x, y, \alpha)$ 를 취득하는 포텐셜 취득 장치에서는, 측정면 상에서 측정면에 평행한 길이 방향으로 연장되는 복수의 선상 영역을 길이 방향에 수직인 X'방향으로 배열 설정하는 것과 함께, 기준 방향과 길이 방향이 이루는 각도 $\theta$ 를 복수회로 변경한 상태에서 복수의 선상 영역의 각각에서의 측정치를 취득하는 측정 유닛은, 다양한 형태로 실현 가능하다.

[0122] 도 2의 자장 취득 장치(1)(다른 장치에 있어서 동일)에 있어서, Z방향으로 미소 거리 d만큼 떨어진 2개의 위치에서의 자장 분포 화상(71) 및 보조 자장 분포 화상(72)을 취득할 때에, 측정부(21)의 Z방향의 폭(높이)이 미소 거리 d보다 충분히 큰 경우에는, 예를 들면, 도 15에 나타내는 바와 같이, 측정부(21)의 저면을 Z방향의 3개의 높이  $z_1, z_2, z_3$ 에 순차적으로 배치하여 측정이 행해져도 좋다. 이 경우에, 높이  $z_1, z_2, z_3$ 에서 취득되는 화상을 각각  $z_1$  화상  $\theta(x, y, z_1)$ ,  $z_2$  화상  $\theta(x, y, z_2)$ ,  $z_3$  화상  $\theta(x, y, z_3)$ 라고 하면,  $z_1$  화상  $\theta(x, y, z_1)$ 과  $z_2$  화상  $\theta(x, y, z_2)$ 의 차분 화상이 자장 분포 화상으로서 다루어지고,  $z_2$  화상  $\theta(x, y, z_2)$ 과  $z_3$  화상  $\theta(x, y, z_3)$ 의 차분 화상이 보조 자장 분포 화상으로서 다루어진다. 이것에 의해, Z방향의 폭이 미소(微小)한 측정부를 이용하여 측정을 행했을 경우와 등가인 자장 분포 화상 및 보조 자장 분포 화상을 취득하는 것이 가능해지고, 자장의 3 차원 분포를 고정밀도로 구하는 것이 가능해진다. 또한, 본 수법을 이용할 때, 측정부(21)에

있어서 시료(9)로부터 가장 떨어진 부위에서는, 시료(9)에 기인하는 자장이 거의 0으로 되고 있는 것이 중요하다. 또한, 측정부의 설계에 따라서는, 본 수법이 길이 방향 및 Z방향으로 수직인 X'방향에 있어서 채용되어도 좋다.

- [0123] 자장의 측정에 있어서 시료(9)(예를 들면, 강자성체 혹은 페리 자성체(ferrimagnetic substance)의 샘플)를 미리 착자(着磁)할 필요가 있는 경우에는, 도 16에 나타내는 바와 같이, 복수의 코일(901)을 시료(9)에 수직인 방향으로 배열하는 것에 의해(다단 배치하는 것에 의해), 착자에 있어서의 자계의 지향성(指向性)을 높이는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 한정된 범위만을 착자할 수 있고(자기배향(磁氣配向)한 영역이 광범위하게 넓어지는 것이 방지되고), 바람직한 측정을 행하는 것이 가능해진다. 또한, 판 모양의 시료(9)에 있어서 양(兩) 주면측으로부터의 착자가 가능한 경우에는, 한쪽의 주면측에 설치되는 복수의 코일(901)에 더하여, 도 16중에 2점 쇄선의 구형으로 나타내는 바와 같이, 다른 쪽의 주면측에도 같은 복수의 코일(901)이 설치되어, 착자에 있어서의 자계의 지향성을 더 높일 수 있어도 좋다.
- [0124] 자장 취득 장치에 있어서, 도 2의 지지부(22) 및 도 12의 캔틸레버(22b)를 주사 방향으로 나란히 놓는 것에 의해, 자장 분포 화상 및 자장 구배 분포 화상이 대략 동시에 취득되어, 3 차원 포텐셜의 측정의 고속화를 도모할 수 있어도 좋다.
- [0125] 또한, 2 차원 포텐셜이나 3 차원 포텐셜은 기술한 2 차원 포텐셜 취득식이나 3 차원 포텐셜 취득식에 엄밀하게 따라서 구해질 필요는 없고, 적당히, 유사 혹은 근사하다. 또는, 변형된 연산에 의해 구해져도 좋다. 푸리에 변환 및 역푸리에 변환도 기존의 다양한 기교적인 수법이 채용되어도 좋다.
- [0126] 상기 실시 형태에서는, 측정부(21, 21a ~ 21c)가 Y'방향 및 Z방향으로 확대되는 박막 소자로 되는 것에 의해, 측정부(21, 21a ~ 21c)의 주사에 있어서의 주사 방향의 측정 분해능을 향상할 수 있고, 또한, 2 차원 포텐셜의 측정 분해능도 향상하는 것이 가능해지지만, 측정되는 2 차원 포텐셜에 구해지는 분해능에 따라서는, 측정면에 평행으로 연장되는 것과 함께, 주사 방향으로 비교적 두꺼운 측정부가 이용되어도 좋다.
- [0127] 도 2의 자장 취득 장치(1)에서 측정부(21)가 Z축을 중심으로 하여 회동되고, 도 10의 검사 장치(1a)에서 대상물(9a)을 지지하는 부재가 Z축을 중심으로 하여 회동되어도 좋다. 또한, 도 2의 측정부(21)가 측정면 상에서 이동하고, 도 10의 대상물(9a)을 지지하는 부재가, 대상물(9a)과 함께 수평 방향으로 이동해도 좋다. 이와 같이, 측정면 상에서의 측정부의 대상물에 대한 회동 및 이동은 상대적인 것이 좋다.
- [0128] 상기 실시 형태에서는, 승강기구(34, 34a)에 의해 측정부(21, 21a, 21b)가 Z방향으로 이동하지만, 측정부의 대상물에 대한 Z방향의 이동은 상대적인 것이 좋고, 대상물을 Z방향으로 이동하는 승강기구가, Z방향의 이동 기구로서 설치되어도 좋다.
- [0129] 상기 실시 형태 및 각 변형예에 있어서의 구성은, 서로 모순되지 않는 한 적절하게 조합시켜도 좋다.
- [0130] 발명을 상세하게 묘사하여 설명했지만, 기술한 설명은 예시적이며 한정적인 것은 아니다. 따라서, 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한, 다수의 변형이나 형태가 가능하다고 말할 수 있다.

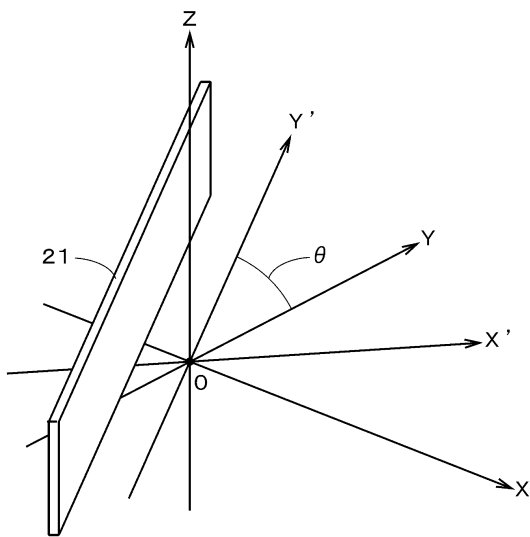
**부호의 설명**

- [0131] 1, 1b 자장 취득 장치
- 1a 검사 장치
- 1c 온도 분포 취득 장치
- 4 컴퓨터
- 9 시료
- 9a, 9c 대상물
- 11 정자장(靜磁場) 형성부
- 12 송신 코일
- 21, 21a ~ 21c 측정부
- 32, 32a 회동 기구

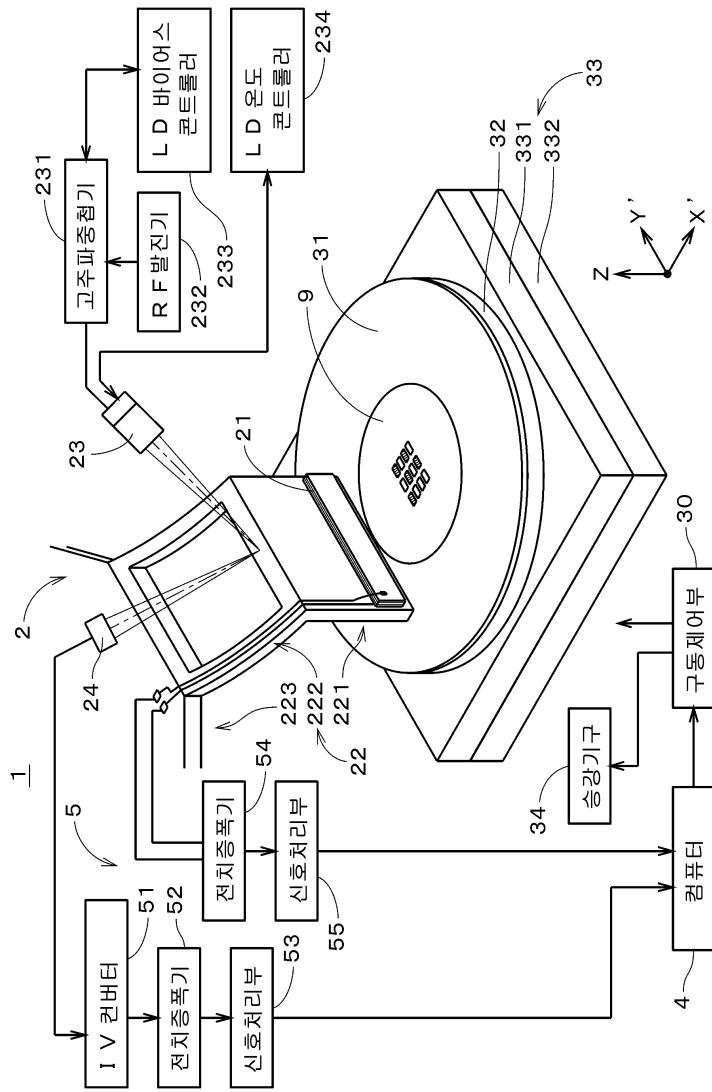
- 33, 33a 수평 이동 기구
- 34, 34a 승강기구
- 61, 63 연산부
- 62, 62a 제어부
- 71 자장 분포 화상
- 72 보조 자장 분포 화상
- 81 증착원
- 91, 92 측정면
- 93 (시료의) 표면
- 220 박막
- 221 기관
- S11 ~ S14, S21 ~ S25 스텝

**도면**

**도면1**

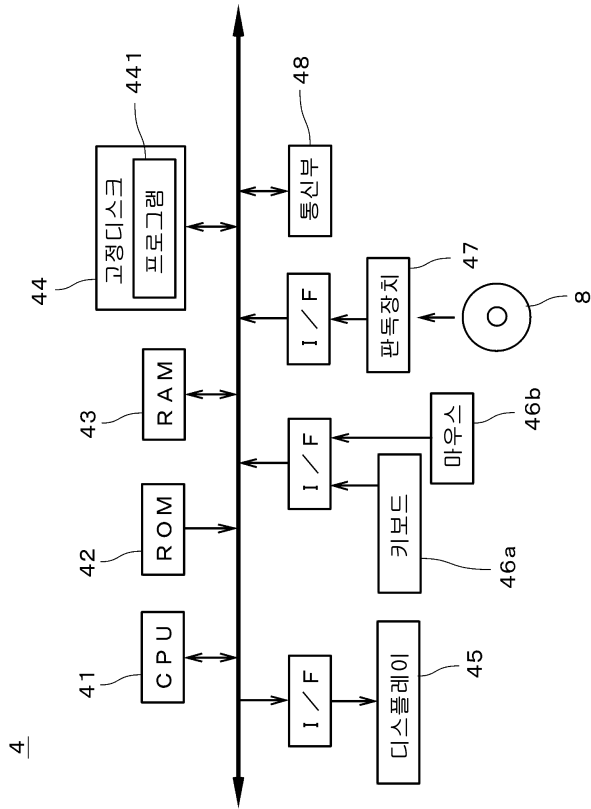


도면2



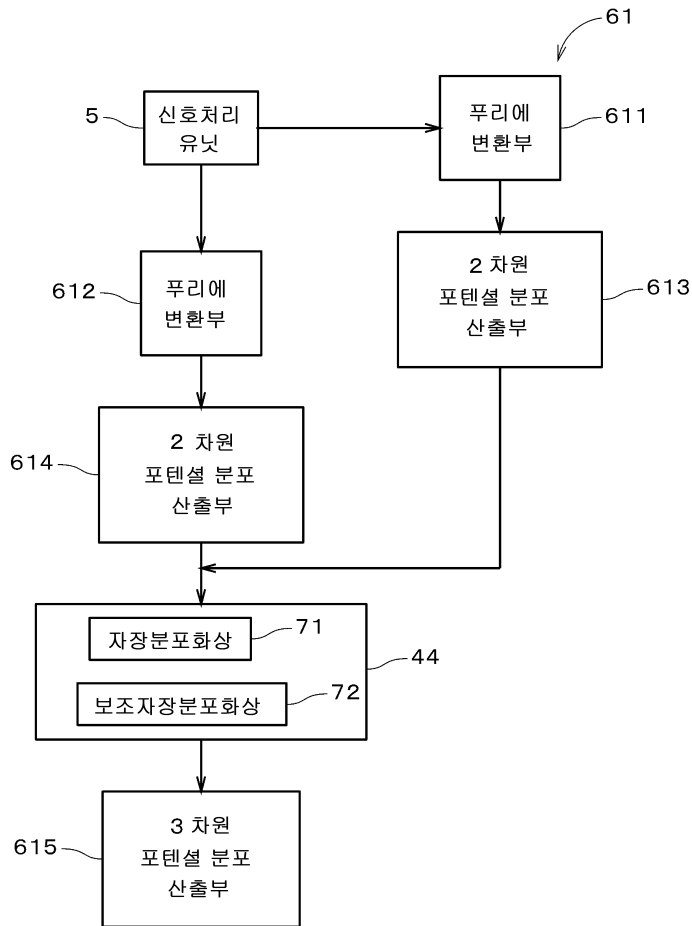


도면3

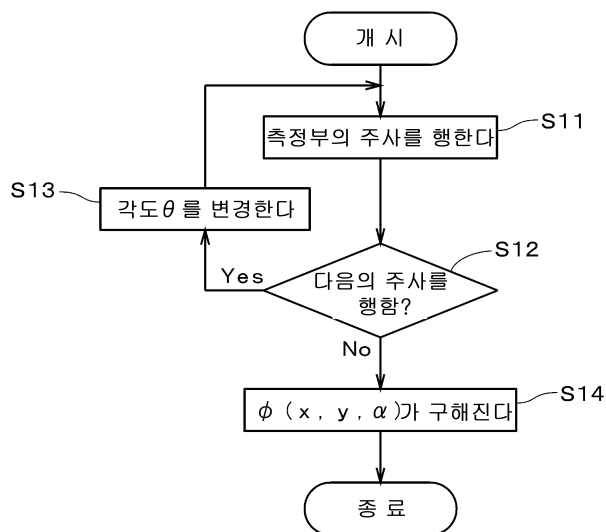


4

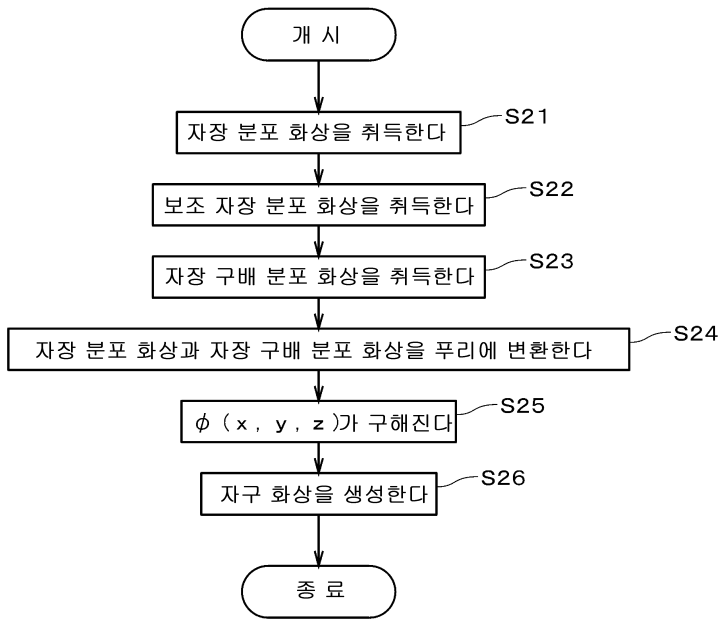
도면4



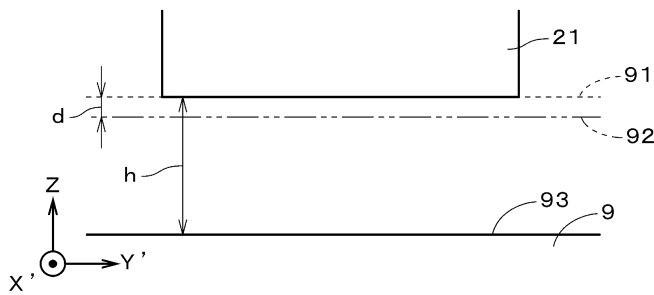
도면5



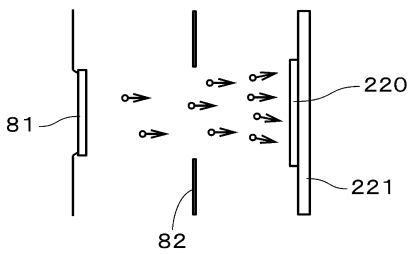
도면6



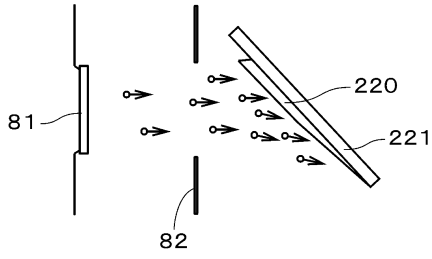
도면7



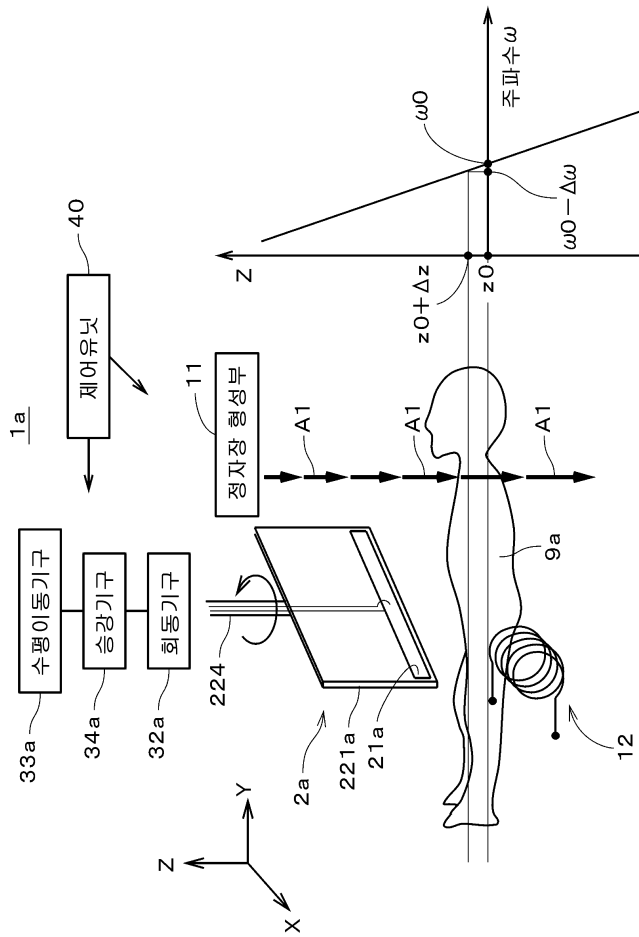
도면8



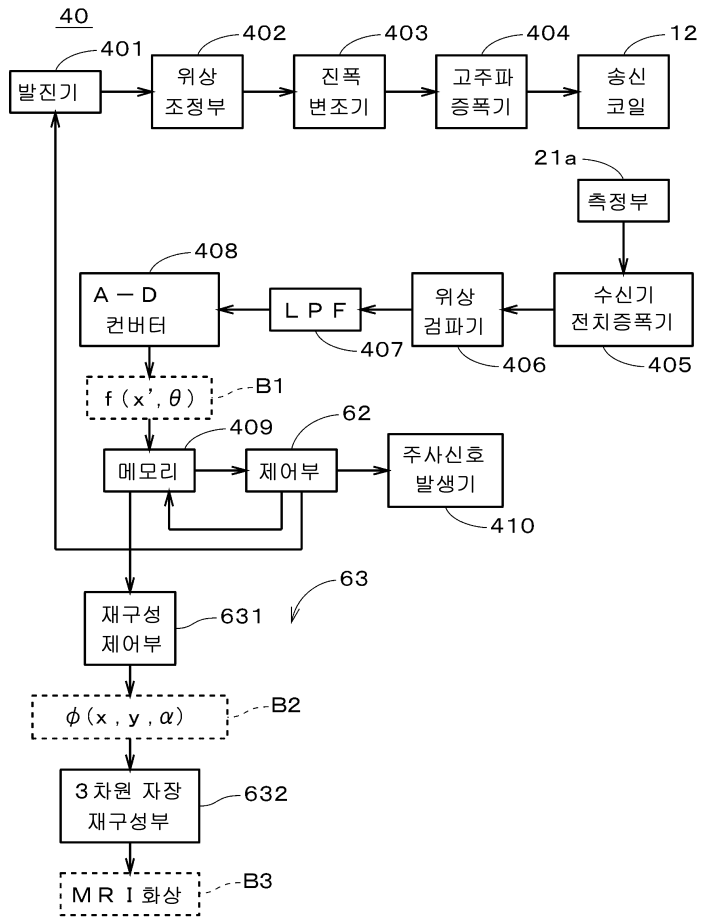
도면9



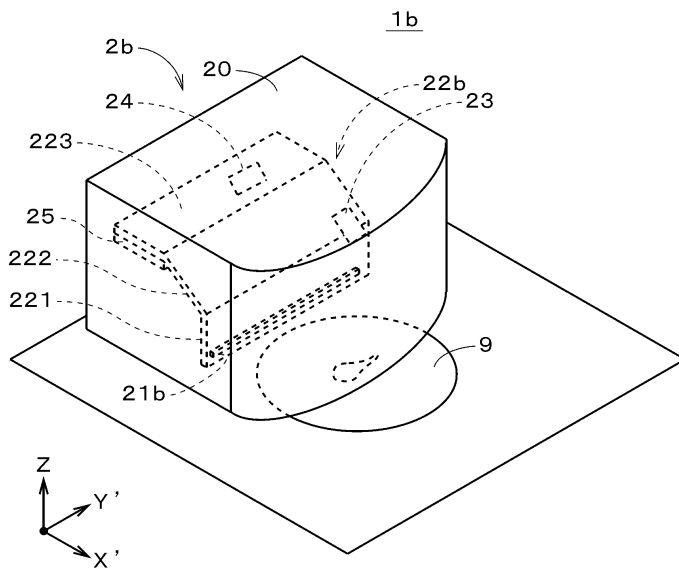
도면10



도면11

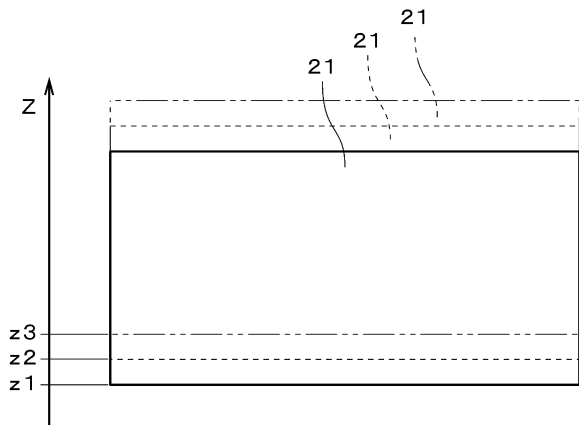


도면12





도면15



도면16

