(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0025282
(43) 공개일자 2011년03월10일

(51) Int. Cl.
G01N 27/72 (2006.01) *G01R 31/00* (2006.01)
G01N 27/82 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0083273
(22) 출원일자 2009년09월04일
심사청구일자 2009년09월04일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내
(72) 발명자
이진이
광주광역시 서구 풍암동 대주2차아파트 202-805
김정민
광주광역시 동구 금동 57-38 한스빌라 301호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

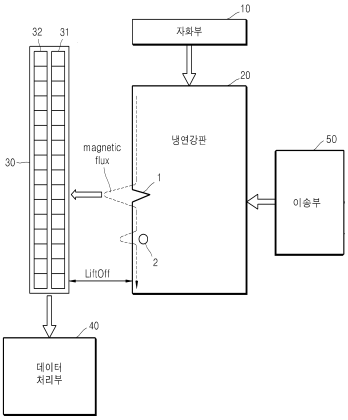
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 자기센서를 이용한 냉연강판의 개재물 탐상 장치

(57) 요 약

본 발명은 냉연강판의 개재물 탐상 장치에 관한 것으로서, 상세하게는 직류전류를 이용하여 일방향의 자화방향을 가지는 자기장을 생성하고, 생성된 자기장을 이용하여 냉연강판의 피측정 영역을 자화시키는 자화부; 일정 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제1 출력신호를 생성하는 제1 자기센서 어레이; 제1 자기센서 어레이의 자기센서와 동일한 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제2 출력신호를 생성하되, 제1 자기센서 어레이와 평행하게 이격되어 배치되는 제2 자기센서 어레이; 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 입력받아 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속의 세기 분포를 정량화하는 데이터 처리부를 포함하며, 제1 및 제2 자기센서 어레이는 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 데이터 처리부로 전달하도록 연결된 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

전종우

부산광역시 수영구 망미2동 1154 수영강변1차 이-편한세상 105-1903

황지성

전남 담양군 금성면 봉황리 366

특허청구의 범위

청구항 1

냉연강판의 개재물을 탐상하기 위한 개재물 탐상 장치로서,

직류전류를 이용하여 일방향의 자화방향을 가지는 자기장을 생성하고, 상기 생성된 자기장을 이용하여 냉연강판의 피측정 영역을 자화시키는 자화부;

일정 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 상기 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제1 출력신호를 생성하는 제1 자기센서 어레이;

상기 제1 자기센서 어레이의 자기센서와 동일한 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 상기 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제2 출력신호를 생성하되, 상기 제1 자기센서 어레이와 평행하게 이격되어 배치되는 제2 자기센서 어레이;

상기 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 입력받아 상기 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속의 세기 분포를 정량화하는 데이터 처리부를 포함하며,

상기 제1 및 제2 자기센서 어레이는 상기 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 상기 데이터 처리부로 전달하도록 연결된 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 냉연강판의 개재물 탐상 장치는

상기 제1 및 제2 자기센서 어레이가 냉연강판의 누설자속을 스캔할 수 있도록 상기 냉연강판을 이송하는 이송부를 더 포함하고,

상기 자화기는 자화방향이 냉연강판의 이송 방향과 평행한 방향으로 생성되도록 고정 배치되며,

상기 제1 및 제2 자기센서 어레이는 상기 생성된 자기장 내에 위치하도록 고정 배치되는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제1 및 제2 자기센서 어레이는 자화방향과 직교하도록 냉연강판의 표면 위에 배열되며,

상기 이송부는 자화방향으로 냉연강판을 이송하는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 자기센서 어레이는 자화방향과 평행한 방향으로 냉연강판의 표면 위에 고정 배치되며,

상기 이송부는 자화방향과 직교하는 방향으로 냉연강판을 이송하는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 제1 및 제2 자기센서 어레이는 자화방향과 이루는 각도가 변경될 수 있으며,

상기 이송부는 자화방향으로 냉연강판을 이송하는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 자기센서 어레이에서 각 자기센서의 제1 전원단자는 제1 전원라인에 연결되고,

상기 제1 및 제2 자기센서 어레이에서 각 자기센서의 제2 전원단자는 접지라인에 연결되고,

상기 제1 자기센서 어레이에서 각 자기센서의 제1 출력단자는 데이터 처리부와 연결되고,

상기 제2 자기센서 어레이에서 각 자기센서의 제1 출력단자는 데이터 처리부와 연결되며,

상기 제1 자기센서 어레이의 각 자기센서의 제2 출력단자는 동일한 행에 위치한 상기 제2 자기센서 어레이의 자기센서의 제2 출력단자와 각각 연결되는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 데이터 처리부는

상기 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 필터링 및 증폭하는 증폭부;

상기 증폭부의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하는 AD(analog to dogital) 변환부; 및

상기 AD 변환부의 출력 신호에 기초하여 상기 냉연강판에서 누설되는 누설자속의 세기 분포를 정량적으로 수치화하고, 수치화한 데이터를 화상으로 출력하는 연산처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 연산처리부는

상기 냉연강판의 각 위치에서 발생되는 상기 제1 및 제2 출력신호의 차동값의 미분값을 연산하고, 그 연산된 미분값을 수치화하는 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자기센서를 이용한 냉연강판의 개재물 탐상 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 개재물 또는 결함의 존재로 인한 누설자속의 정보만을 효율적으로 추출할 수 있는 냉연강판의 개재물 탐상 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 냉연강판은 열연강판을 산으로 세척한 후, 상온에서 압연하여 두께가 고르고 표면이 매끈하고 광택이 나도록 만든 강판으로서, 표면이 고우며 치수 정확도, 편평도 및 성형성이 좋다. 따라서 자동차 내외부, 사무용 기기, 냉장고와 세탁기 등의 가전기구, 및 주방 기구 등에 넓게 사용되고 있다. 그러나, 생산과정 중 발생하는 개재물(inclusion)은 최종 제품의 기계적인 특성에 영향을 미치고, 결과적으로 제품의 불량과 직결된다. 따라서, 양질의 냉연강판을 생산하기 위해서는 제조 공정에서 발생하는 개재물의 위치,형상,크기,분포를 분석/평가하는 방법이 필요하다.

[0003] 비파괴적으로 냉연강판의 개재물을 탐상하는 방식으로는 초음파 (ultrasonic) 탐상, 누설자속(magnetic leakage flux) 탐상, 및 X선 투과(X-ray transmission) 등의 방식이 있다.

[0004] 초음파 탐상은 30-100MHz 정도의 높은 주파수에 의하여 직경이 100㎛ 이하의 홀이나 개재물을 검출할 수 있는 방식으로서, 높은 주파수 때문에 초음파의 침투 깊이가 깊지 못하다는 단점이 있다. 따라서 초음파 탐상은 개재물이 냉연강판의 깊숙한 곳에 존재하는 경우 그 개재물을 검출하지 못하므로, 냉연강판의 개재물을 검출하는데 적합하지 않다.

[0005] X선 투과 방식은 금속의 개재물을 검출하기 위한 유효한 방법 중 하나이지만, X선 투과 방식은 균열이나 홀(hole)과 개재물(inclusion)을 판별하기가 곤란하고, X선 투과에 이용되는 장비가 너무 크며, X선 투과 장비를 가동하는데 소요되는 경비가 높다는 문제점이 있다.

[0006] 한편 누설자속 탐상은 피측정체가 포화 자화 가까이 자화되었을 때, 개재물과 같은 비연속체(discontinuity)에 의하여 자속의 섭동(perturb)이 발생하는 원리를 이용하는 방식이다. 즉, 누설자속 탐상은 개재물에 의하여 공기 중으로 누설되는 자속을 자기센서로 검출하여 측정하는 방식으로서, 작은 개재물을 검출하기 위해서는 자기센서의 크기를 작게 해야 할 뿐만 아니라 센서의 공간분해능도 높여야 한다. 그러나 냉연강판의 개재물을 검출하기 위해서 누설자속 탐상은 냉연강판 시험편을 포화자화까지 자화시켜야 하는데, 이때 발생하는 외부 자장의

세기가 자기센서에 영향을 미쳐서 개재물 탐상 능력을 저하시키는 문제점이 있다. 따라서 냉연강판 깊숙이 존재하는 작은 개재물도 검출할 수 있으며, 공간분해능도 높은 동시에 외부 자기장의 영향에 민감하지 않은 냉연강판의 개재물 탐상 방식이 필요하다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 개재물 또는 결함의 존재에 기인한 누설자속의 정보만을 효율적으로 추출할 수 있으며, 외부 자기장에 대한 영향을 최소화할 수 있는 냉연강판의 개재물 탐상 장치를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0008] 상기한 과제를 해결하기 위해 본 발명은 직류전류를 이용하여 일방향의 자화방향을 가지는 자기장을 생성하고, 생성된 자기장을 이용하여 냉연강판의 피측정 영역을 자화시키는 자화부; 일정 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제1 출력신호를 생성하는 제1 자기센서 어레이; 제1 자기센서 어레이의 자기센서와 동일한 간격으로 일렬로 이격 배열된 n개의 자기센서를 포함하고, 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속에 상응하는 제2 출력신호를 생성하되, 제1 자기센서 어레이와 평행하게 이격되어 배치되는 제2 자기센서 어레이; 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 입력받아 자화된 피측정 영역에서 누설되는 누설자속의 세기 분포를 정량화하는 데이터 처리부를 포함하며, 제1 및 제2 자기센서 어레이는 제1 및 제2 출력신호의 차동값을 데이터 처리부로 전달하도록 연결된 것을 특징으로 하는, 냉연강판의 개재물 탐상 장치를 제공하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 바람직하게는, 상기 냉연강판의 개재물 탐상 장치는, 제1 및 제2 자기센서 어레이가 냉연강판의 누설자속을 스캔할 수 있도록 냉연강판 또는 자기센서 어레이를 이송하는 이송부를 더 포함하고, 자화기는 자화방향이 냉연강판의 이송 방향과 평행한 방향으로 생성되도록 고정 배치되며, 제1 및 제2 자기센서 어레이는 생성된 자기장 내에 위치하도록 고정 배치될 수 있다.

효 과

[0010] 본 발명에 의하면, 개재물 또는 결함의 존재에 기인한 누설자속의 정보만을 효율적으로 추출할 수 있으며, 외부 자기장의 세기에 대한 영향을 축소할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0011] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0012] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 냉연강판의 개재물을 탐상하는 장치를 설명하는 도면이다.

[0013] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 냉연강판의 개재물 탐상 장치는 냉연강판(20)을 자화시키는 자화부(10), 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)를 포함하는 자기센서 어레이(30), 및 데이터 처리부(40)를 포함하며, 추가로 냉연강판 또는 자기센서 어레이를 이송하는 이송부(50)를 더 포함할 수 있다.

[0014] 자화부(10)는 피측정체인 냉연강판(20)을 자화시키는 역할을 수행하며, 직류전류를 이용하여 일방향의 자화방향을 가지는 자기장을 생성한다. 자화부(10)는 냉연강판의 상부 또는 하부에 위치하도록 배치되며, 자화부(10)에서 생성된 자기장에 의해 냉연강판이 자화된다.

[0015] 자화된 냉연강판(20)에서, 자속(magnetic flux)은 내연강판(20)의 내부에 집중되어 통과하고, 그 자속의 일부는 누설된다. 한편, 냉연강판(20)에 균열(1)이나 불순물 또는 공기 구멍 등의 개재물(2)이 있는 경우, 냉연강판(20)의 내부를 통과하는 자속은 균열(1) 또는 개재물(2)에 의하여 섭동(perturb)되어 냉연강판(20)의 외부로 누설된다.

[0016] 자기센서 어레이(30)는 제1 자기센서 어레이(31) 및 제2 자기센서 어레이(32)를 포함하며, 제1 및 제2 자기센서 어레이(31, 32)는 냉연강판(20)에서 일정 거리만큼 리프트 오프(lift off)되어 배치된다.

[0017] 제1 자기센서 어레이(31)는 일렬로 배열된 n개의 자기센서를 포함하는데, 각 자기센서는 서로 일정한 간격으로 이격되어 배열된다. 각 자기센서는 자화된 냉연강판(20)의 피측정 영역에서 누설되는 누설자속을 감지하고, 그

누설자속에 상응하는 제1 출력신호를 생성한다.

[0018] 한편, 제1 자기센서 어레이(31)와 동일하게, 제2 자기센서 어레이(31)도 제1 자기센서 어레이(31)와 동일하게 일렬로 배열된 n개의 자기센서를 포함하며, 각 자기센서도 역시 서로 일정한 간격으로 이격되어 배열된다. 제2 자기센서 어레이에서(32)의 각 자기센서 사이의 배열 간격은 제1 자기센서 어레이(31)에서의 배역 간격과 동일하다. 또한, 제2 자기센서 어레이(32)와 제1 자기센서 어레이(31)는 일정한 간격을 두고 서로 평행하게 위치한다.

[0019] 제1 및 제2 자기센서 어레이(31, 32)는 각각 냉연강판(20)의 외부로 누설되는 누설자속을 감지하여 그에 상응하는 값을 출력한다. 냉연강판(20)에 균열(1)이나 개재물(2)이 존재하는 경우, 냉연강판(20)에서 누설되는 누설자속 세기가 커지거나 불규칙적으로 변동하므로, 누설자속의 세기 분포가 분석되면 냉연강판(20)에 존재하는 개재물이 탐상될 수 있다.

[0020] 본 발명에서, 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)는 그 출력신호의 차동값을 후술할 데이터 처리부(40)로 출력하도록 연결된다.

[0021] 데이터 처리부(40)는 자기센서 어레이(30)에서 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)의 출력신호의 차동값을 처리하고 분석함으로써 냉연강판에 존재하는 개재물의 존재 여부를 검출한다.

[0022] 이송부(50)는 냉연강판(20)을 직선 방향으로 이송함으로써, 자기센서 어레이(30)가 냉연강판(20)의 측정 영역 전체를 스캔할 수 있도록 한다. 이러한 이송부(50)는 냉연강판(20)이 얹혀지는 복수의 구동 롤러 및 이를 정속도로 회전시키는 구동 모터 등으로 구성되며, 냉연강판을 정속도로 직선 이송시킬 수 있는 구성이기만 하면 된다.

[0023] 한편, 이송부(50)는 도시한 것과는 상이하게 냉연강판(20)이 아닌 자화부(10)와 센서어레이(30)를 자화방향과 평행한 방향으로 직선 이송시킬 수 있다. 이러한 실시예는 자화부(10)의 양 자극 사이에 배치된 자기센서 어레이(30)와 자화부(10)를 함께 자화방향과 수평한 방향으로 냉연강판(20) 위로 함께 이송하는 실시예이다. 자화부(10)의 자극 내에 배치된 자기센서 어레이(30)가 직선 이송됨으로써, 냉연강판을 전체적으로 스캔할 수 있다.

[0024] 상술한 것처럼 이송부(50)는 냉연강판(20)이나 자기센서 어레이(자기센서 어레이와 자화부가 함께 이송됨)를 직선 방향으로 이송할 수 있으며, 이때 이송방향은 자화부의 자화방향과 평행하거나 직교하는 방향이 될 수 있다. 자화부(10), 자기센서 어레이(31,32), 데이터 처리부(40)에 대한 기능은 후술하도록 한다.

[0025] 도 2(a)와 도 2(b)는 각각 본 발명의 실시예에 따른 냉연강판의 개재물을 탐상하는 장치를 예시하는 도면이다.

[0026] 도시된 바와 같이 자화부(10)는 요크(yoke, 11)와 코일(12)을 포함하며, 코일로 직류 전원이 인가되어 일방향의 자화방향을 가지는 자기장을 생성한다. 생성된 자기장으로 인하여 냉연강판(20)도 역시 동일한 자화 방향으로 자화된다.

[0027] 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)를 포함하는 자기센서 어레이(30)는 자화부(20)의 두 자극(magnetic pole) 사이에 배치되며, 냉연강판(20)과는 일정 거리 만큼 이격(lift off)되어 고정 배치된다.

[0028] 도 2(b)처럼, 냉연강판(20)의 내부에 개재물(2)이 존재하는 경우 냉연강판(20)의 내부를 통과하는 자속은 균열(1) 또는 개재물(2)에 의하여 섭동(perturb)되어 냉연강판(20)의 외부로 누설된다. 개재물(2)이 없는 경우에는 일정한 양의 누설자속이 존재하지만, 개재물(2)이 존재하는 경우 자속이 더욱 많이 누설된다. 따라서, 자기센서 어레이(30)는 누설자속의 크기 변화량을 분석함으로써 냉연강판(20)의 개재물(2) 존재 여부를 검출할 수 있다.

[0029] 도 3(a) 내지 도 3(f)는 각각 누설자속 검출에 의해 개재물을 탐상하는 원리를 설명하는 도면이다.

[0030] 도 3(a)는 자화부(10)를 이용하여 냉연강판(20)의 개재물(2)을 검출할 때 발생하는 자기장 분포를 설명하기 위한 개요도이다.

[0031] 자기센서 어레이(30)와 냉연강판(20)은 일정한 리프트 오프를 가지도록 이격되며, 자화부(10)로는 요크형 자화기(magentizer)가 이용되었다.

[0032] 자화방향을 X, 냉연강판(20)의 표면에 수직인 방향을 Z, XZ평면에 수직인 방향을 Y라고 하면, 자기센서 어레이(30)는 Z축 성분의 자기장 세기(H_Z)의 크기에 비례하는 출력 신호(V_H)를 출력한다.

[0033] 본 발명에서 자기센서 어레이(30)를 구성하는 자기센서로는 홀센서 또는 자기저항센서가 이용될 수 있으며, 홀

센서와 자기저항센서는 센서 면에 입사되는 자기장의 법선 또는 평면 방향 성분의 크기에 비례하여 전기신호가 출력된다.

[0034] 도 3(b)는 냉연강판에서 외부로 누설된 누설자속의 자기장 분포를 나타내며, 도 3(c)는 냉연강판에서 개재물에 의해 누설된 누설자속의 자기장 분포를 나타내며, 도 3(d)는 냉연강판에서의 전체적인 자기장 분포를 나타내는 도면이다.

[0035] 냉연강판(20)이 자화부(10)에 접근하면, 자속은 강판에 집중되어 통과하고 일부는 냉연강판(20)의 외부로 누설(H_Z^{EXT})된다. 냉연강판(20)을 통과하는 자속은 개재물(INC-1, INC-2, INC-3)에 의하여 섭동(perturb)되어 공기중으로 누설(H_Z^{INC-1}, H_Z^{INC-2}, H_Z^{INC-3})된다. 따라서, 전체적인 자기장의 분포는 도 3(d)처럼 H_Z^{EXT}와 H_Z^{INC-1}, H_Z^{INC-2}, H_Z^{INC-3}가 중첩된 자기장의 분포를 가지게 된다.

[0036] 전술한 바와 같이 홀센서와 같은 자기센서는 자기장의 세기에 선형적으로 비례하여 전기신호(V_H)를 출력한다. 이때, 누설자속(H^{INC})의 크기를 크게 할수록 자기센서의 출력(V_H^{INC})도 커진다. 개재물에 의한 누설자속(H^{INC})을 크게 하기 위해서는 자화력을 크게 해야 하며, 자화력이 커질수록 결과적으로 자화부(10)에 의한 누설자속(H^{EXT})에 따른 자기센서의 출력(V_H^{EXT})도 커지게 된다. 따라서, 도 3(e)에서 나타낸 것처럼, 자기센서가 자화부(10)에 의하여 포화(V_H^{CRT})되지 않기 위해서 보다 넓은 동작 범위(dynamic range)를 가져야 한다. 또한 자기센서는 개재물에 의한 누설자속을 정밀하게 검출하기 위한 높은 감도를 동시에 가져야 한다.

[0037] 본 발명에서는 외부자장의 영향을 최소화하고, 개재물에 의한 누설자속에 의한 자기센서의 출력 신호를 최대화하는 방법을 제공한다.

[0038] 도 3(b)에 도시된 것처럼, 자화부(10)에 의해 일반적으로 누설되는 누설자속의 세기(H_Z^{EXT})는 자극(magnetic pole)의 안쪽에서는 대체로 일정한 경사를 가진다. 따라서, X-방향으로의 미분값(dH_Z^{EXT}/dX)는 일정하다.

[0039] 그러나 개재물에 의한 누설자속의 세기(H_Z^{INC})의 X 방향 미분값(dH_ZI^{NC}/dX)은 일정하지 않으며, 개재물의 크기에 비례하여 그 값이 변화한다. 따라서, 이러한 원리를 이용하면 외부자장의 영향을 최소화하고 개재물 존재에 의한 누설자속의 신호를 극대화시킬 수 있다.

[0040] 한편, 자기센서 출력의 미분값(dV_H/dX)은 다음의 [수학식 1]에서처럼 일반적인 누설자속에 의한 자기센서 출력의 미분(dV_H^{EXT}/dX)과 개재물에 따른 누설자속에 의한 자기센서 출력의 미분(dV_H^{INC}/dX)과의 합이다.

수학식 1

[0041]
$$\frac{dV_H(X,Y,Z)}{dX} = \frac{dV_H^{EXT}(X,Y,Z)}{dX} + \frac{dV_H^{INC}(X,Y,Z)}{dX}$$

[0042] 또한, 전술한 것처럼 자화부(10)에 의한 일반적인 누설자속에 의한 자기장의 미분(dV_H^{EXT}/dX)은 다음의 [수학식 2]처럼 자극 사이(X_{POLE-1}과 X_{POLE-2}의 사이)의 자화 유효 영역에서 거의 일정하며, 바이어스 전압의 도입에 의하여 0에 근사하게 설정될 수 있다.

수학식 2

[0043]
$$\frac{dV_H^{EXT}(X,Y,Z)}{dX} \approx const \qquad (X_{POLE-1} < X < X_{POLE-2})$$

[0044] dV_H/dX는 다음의 [수학식 3]처럼 인접한 출력 신호 값의 차이로부터 근사화될 수 있다. 여기에서, ΔX란 자기센서 간의 간격 또는 데이터 비교 위치의 공간적인 거리를 의미한다.

수학식 3

[0045]
$$\frac{dV_H(X,Y,Z)}{dX} \approx \frac{V_H(X+\Delta X,Y,Z)-V_H(X,Y,Z)}{\Delta X}$$

[0046] 상기 [수학식 3]으로부터 dV_H/dX를 구하기 위해서는 V_H의 분포를 저장한 후 계산해야 한다. 따라서 자기센서의 출력(V_H^{EXT})은 자화부(10)에 의한 누설자속(H^{EXT})의 영향으로 도 3(e)처럼 된다.

[0047] 따라서, 본 발명에서는 상기 [수학식 3]에서 표현한 $V_H(X+\Delta X, Y, Z)$와 $V_H(X, Y, Z)$의 차이를 구하기 위하여, 후술할 도 3처럼 X+ΔX와 X의 위치에 각각 별도의 자기센서를 설치하고 자기센서의 출력 신호의 차동값을 획득한다.

[0048] 도 4는 본 발명에 따른 자기센서 어레이를 설명하는 도면으로서, 자기센서 어레이(30)는 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)를 포함한다.

[0049] 상술한 것처럼, 제1 자기센서 어레이(31)는 일렬로 배열된 n개의 자기센서(31_1~31_n)를 포함하는데, 각 자기센서(31_1~31_n)는 서로 일정한 간격(M)으로 이격되어 배열된다. 각 자기센서(31_1~31_n)는 자화된 냉연강판(20)에서 누설되는 누설자속을 각각 감지하고, 감지된 누설자속에 상응하는 제1 출력신호를 생성한다. 제1 출력신호는 각 자기센서(31_1~31_n)의 출력신호의 집합이다.

[0050] 한편, 제1 자기센서 어레이(31)와 동일하게, 제2 자기센서 어레이(31)도 일렬로 배열된 n개의 자기센서(32_1~32_n)를 포함하며, 각 자기센서(32_1~32_n)도 동일한 간격(M)으로 이격 배열된다. 각 자기센서(32_1~32_n)의 배열 간격(M)은 제1 자기센서 어레이(31)의 배열 간격(M)과 동일하다. 또한, 제1 및 제2 자기센서 어레이(31, 32)는 서로 일정한 간격(L)을 두고 평행하게 배치된다. 각 자기센서(32_1~32_n)는 자화된 냉연강판(20)에서 누설되는 누설자속을 각각 감지하고, 감지된 누설자속에 상응하는 제2 출력신호를 생성한다. 제2 출력신호는 각 자기센서(32_1~32_n)의 출력신호의 집합이다.

[0051] 자기센서 어레이(31, 32)에서 각 자기센서 간의 배열 간격(M), 자기센서 어레이 간의 이격 거리(L), 및 자기센서 어레이와 냉연강판 간의 이격(lift off) 거리는 자기센서의 민감도와 특성, 공간분해능, 냉연강판의 특성, 냉연강판이나 자기센서 어레이의 이송 속도/스캔 속도에 따라 적절하게 조정될 수 있다.

[0052] 본 발명에 의하면, 어레이 형태로 배치된 자기센서를 이용하여 냉연강판을 스캔함으로써 냉연강판의 개재물 탐상 속도를 높일 수 있다.

[0053] 또한, 본 발명에서 제1 자기센서 어레이(31)와 제2 자기센서 어레이(32)는 그 출력신호의 차동값을 후술할 데이터 처리부(40)로 출력하도록 연결된다.

[0054] 이를 위해 제1 및 제2 자기센서 어레이(31, 32)에서 각 자기센서(31_1~31_n, 32_1~32_n)의 제1 전원단자(a)는 제1 전원라인(V_{CC})에 연결되고, 제1 및 제2 자기센서 어레이(31, 32)에서 각 자기센서(31_1~31_n, 32_1~32_n)의 제2 전원단자(b)는 접지라인(GND)에 연결된다.

[0055] 그리고, 제1 자기센서 어레이(31)에서 각 자기센서(31_1~31_n)의 제1 출력단자(c)는 데이터 처리부(40)와 연결되고, 제2 자기센서 어레이(32)에서 각 자기센서 (32_1~32_n)의 제1 출력단자(c)는 데이터 처리부와 연결되며, 제1 자기센서 어레이(31)에서 각 자기센서(31_1~31_n)의 제2 출력단자(d)는 동일한 행에 위치한 제2 자기센서 어레이(32)의 자기센서(32_1~32_n)의 제2 출력단자(d)와 각각 연결된다.

[0056] 도 4와 같은 자기센서 어레이(30) 구조에서는 Z-방향으로 아무리 큰 자기장이 발생한다고 하더라도, 자기센서 어레이(30)에서 출력되는 출력신호는 각 자기센서 어레이(31, 32)의 이웃하는 2 개의 센서(31_n, 32_n, 여기서 n은 어레이의 행 번호를 의미함)의 출력신호 차이만이 나타난다. 따라서, 도 3(f)와 같은 결과를 기대할 수 있으며, 본 발명에 따른 자기센서 어레이(30) 구조에서 얻어진 결과는 또한 상기 [수학식 3]의 분자값을 의미한다.

[0057] 한편 분모값인 ΔX가 증가하면, [수학식 3]의 이론값은 감소하나 실제로는 도 4의 구조에서는 ΔX로 나누지 않아도 되며, 오히려 ΔX로 나누는 과정을 거치면 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 [수학식 3]을 수정하여 다음처럼 표현한다.

수학식 4

$$\frac{dV_H}{dX} \approx V_H(X+\Delta X, Y, Z) - V_H(X, Y, Z)$$

[0058]

[0059] 한편, 다이폴 모델(dipole model)에 의하면 길이 l_C, 폭 w_C, 깊이 d_C인 개재물로부터의 누설자속은 다음의 [수학식 5]로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$dH_Z^{INC}(X,Y,Z) = \frac{m}{4\pi\mu}\int_{-l_C/2-Y}^{l_C/2-Y}\int_0^{d_C}\frac{Z+u}{\left\{(X+w_C/2)^2+Y^2+(Z+u)^2\right\}^{3/2}}dudY - \frac{m}{4\pi\mu}\int_{-l_C/2-Y}^{l_C/2-Y}\int_0^{d_C}\frac{Z+u}{\left\{(X-w_C/2)^2+Y^2+(Z+u)^2\right\}^{3/2}}dudY$$

[0060]

[0061] 또한, 자화부의 자극 간격을 w_M, 자극의 길이를 l_M, 자극의 높이를 d_M이라 하면, 자화기에 의한 누설자속 분포는 다음의 [수학식 6]처럼 표현된다.

수학식 6

$$dH_Z^{EXT}(X,Y,Z) = \frac{m}{4\pi\mu}\int_{-l_M/2-Y}^{l_M/2-Y}\int_t^{t+d_M}\frac{Z+u_M}{\left\{(X+w_M/2)^2+Y^2+(Z+u_M)^2\right\}^{3/2}}du_MdY - \frac{m}{4\pi\mu}\int_{-l_M/2-Y}^{l_M/2-Y}\int_t^{t+d_M}\frac{Z+u_M}{\left\{(X-w_M/2)^2+Y^2+(Z+u_M)^2\right\}^{3/2}}du_MdY$$

[0062]

[0063] 한편, 자기센서를 홀센서로 가정하면, 홀전압은 상기 [수학식 5]와 [수학식 6]의 합에 비례한다. 따라서, [수학식 4]는 다음처럼 근사하여 표현될 수 있다.

수학식 7

$$\frac{dV_H}{dX} \approx k\cdot\left[\left\{H_Z^{EXT}(X+\Delta X,Y,Z)-H_Z^{EXT}(X,Y,Z)\right\}+\left\{H_Z^{INC}(X+\Delta X,Y,Z)-H_Z^{INC}(X,Y,Z)\right\}\right]$$

[0064]

[0065] 여기서, k는 자기센서의 특성(예를 들어, 홀상수) 및 구동조건(예를 들면, 홀입력 전압과 증폭비)을 나타내는 비례상수이다.

[0066] 본 발명에 따른 자기센서 어레이(30)는, 냉연강판(20) 또는 자기센서 어레이(30)가 이송되는 경우를 위한 것으로서, 어레이의 숫자를 더 증가시킬 필요가 없다. 또한 웨이퍼 상에서 배열된 홀센서를 도 4처럼 연결하고, 각 홀센서의 간격(M)을 축소할수록 공간분해능이 높아진 결과를 얻을 수 있다.

[0067] 본 발명에 따른 개재물 탐상 장치는 도 4처럼 2열의 자기센서를 평행하게 배치하고, 그 출력신호의 차동값을 증폭함으로써, [수학식 7]의 dV_H/dX 분포를 얻을 수 있다. 본 발명에 따르면, 대형 자화기 사용에 의하여 외부 자기장의 세기가 결함이나 개재물의 존재에 기인한 누설자속보다 월등히 큰 경우, 증폭하기 전에 인접한 영역 간의 자기장의 세기를 검출할 수 있으므로, 외부 자기장의 세기에 대한 영향을 축소할 수 있는 효과가 있다.

[0068] 도 5는 데이터 처리부를 설명하는 도면이다.

[0069] 도 5를 참조하면, 데이터 처리부(40)는 필터(41)를 포함하는 증폭부(41), AD(analog to dogital) 변환부(43), 및 연산처리부(44)를 포함한다.

[0070] 증폭부(41)는 상기에서 설명한 제1 출력신호 및 제2 출력신호의 차동값을 증폭하는 역할을 하며, 필터(41)는 제

1 출력신호 및 제2 출력신호의 차동값을 필터링하는 역할을 한다. 필터링 및 증폭은 서로 순서가 뒤바뀌어도 무관하다.

[0071] AD 변환부(43)는 증폭부(41)의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하는 역할을 한다.

[0072] 한편, 연산처리부(44)는 AD 변환부(43)의 출력 신호에 기초하여 냉연강판에서 누설되는 누설자속의 세기 분포를 정량적으로 수치화하고, 수치화한 데이터를 화상으로 출력한다. 또한, 연산처리부(44)는 냉연강판의 각 위치에서 발생되는 제1 및 제2 출력신호의 차동값의 미분값을 연산하고, 그 연산된 미분값을 수치화하고 그 수치화한 데이터를 화상으로 출력할 수 있다. 데이터 처리부(40)는 상기 수치화한 데이터를 분석함으로써 최종적으로 냉연강판에서 결함을 포함하는 개재물의 존재를 검출해낼 수 있다,

[0073] 도 6a 내지 도 6d는 자기센서 어레이와 자화방향이 이루는 각도 및 스캔 방향을 나타낸 도면이다.

[0074] 도 6a는 자기센서 어레이(30)의 배열 방향이 스캔 방향과 수직이 되게 한 상태에서 자화방향과 수평인 방향으로 냉연강판을 스캔하는 경우를 예시하고, 도 6b는 자기센서 어레이(30)의 배열 방향이 스캔 방향과 특정 각도를 이루는 상태에서 자화방향과 수평인 방향으로 냉연강판을 스캔하는 경우를 예시하고, 도 6c는 자기센서 어레이(30)의 배열방향이 스캔 방향과 수직이 되게 한 상태에서 자화방향과 수직인 방향으로 스캔하는 경우를 예시하며, 도 6d는 자기센서 어레이(30)의 배열방향이 스캔 방향과 특정 각도를 이루는 상태에서 자화방향과 수직인 방향으로 스캔하는 경우를 각각 예시한다.

[0075] 도 6a 내지 6d에서 화살표(35)는 자기센서 어레이(30)의 배열 방향을 의미하고, 화살표(36)는 스캔 방향을 의미한다. 예를 들어, 도 6a는 자기센서 어레이(30) 또는 냉연강판(20)이 이송부에 의해 자화방향과 평행하게 이송되는 것을 나타낸다.

[0076] 차동 증폭된 자기센서 어레이(30)의 출력은 AD변환부(43)에 의해 저장되고, 영상화 및 냉연강판의 해석에 이용된다. 한편, XYZ 좌표계와 구별하기 위하여 별도의 좌표계 xyz를 도입한다. 냉연강판의 평면에 수직인 Z-방향은 z-방향과 동일하나, H-scan, V-scan, G-scan에서 각각의 스캔 방향이 x-방향이 된다. 따라서, H-scan에서 x-방향은 X-방향을 의미하며, V-scan 및 G-scan에서 x-방향은 Y-방향을 의미한다. [수학식 4]는 다음처럼 수정될 수 있다.

수학식 8

[0077]
$$\left.\frac{dV_H}{dx}\right|_{H-scan} \approx V_H(X+\Delta X, Y, Z) - V_H(X, Y, Z)$$

수학식 9

[0078]
$$\left.\frac{dV_H}{dx}\right|_{V-scan} \approx V_H(X, Y+\Delta Y, Z) - V_H(X, Y, Z)$$

수학식 10

[0079]
$$\left.\frac{dV_H}{dx}\right|_{GV-scan} \approx V_H\left(X+\frac{\Delta X}{\sqrt{2}}, Y+\frac{\Delta Y}{\sqrt{2}}, Z\right) - V_H(X, Y, Z)$$

[0080] 본 발명에 따르면, 자기센서 어레이(30)의 출력신호 자체가 dV/dx를 의미하므로, 개재물 또는 결함의 존재에 기인한 누설자속의 정보만을 효율적으로 추출할 수 있다. 또한 자기센서 어레이(30)의 출력신호를 스캔 방향으로 다시 미분함으로써 센서 간 바이어스 전압의 오차를 줄일 수 있으며, 이를 다음의 수학식 처럼 d^2V_H/dx^2로 표현한다.

수학식 11

[0081] $$V_H|_{2S} = \frac{dV_H}{dx} \approx V_H^{2S}(x + \Delta x, y, z) - V_H^{2S}(x, y, z)$$

수학식 12

[0082] $$\left.\frac{dV_H}{dx}\right|_{2S} = \frac{d^2V_H}{dx^2} \approx V_H^{2S}(x + \Delta x, y, z) - V_H^{2S}(x, y, z)$$

[0083] 본 발명에서 자기센서 어레이(30)를 스캔 방향과 특정 각도를 이루도록 기울이고 GH-scan하게 되면, 공간분해능은 센서 간 간격에 의지하기 때문에 향상되지만 측정영역은 더 좁아진다.

[0084] 한편, 데이터 처리부(40)의 연산처리부(44)는 미분한 값인 d^2V_H/dx^2 영상의 픽셀을 일정 면적으로 다음의 [수학식 13]처럼 적분할 수 있다.

수학식 13

[0085] $$\left.\frac{d^2V_H(x, y, z)}{dx^2}\right|_{LPF} = \sum_{m=i}^{i+p}\sum_{n=j}^{j+q}\frac{d^2V_H(x_m, y_n, z)}{dx^2}$$

[0086] [수학식 13]은 이동 평균과 같은 저대역 통과 필터의 효과를 가지며, 잡음 제거 효과를 소프트웨어적으로 구현할 수 있다. 결과적으로 개재물에 관한 정보만을 추출할 수 있다.

[0087] 이상에서는 도면에 도시된 구체적인 실시예를 참고하여 본 발명을 설명하였으나 이는 예시적인 것에 불과하므로, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 기술을 가진 자라면 이로부터 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 보호 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 해석되어야 하고, 그와 동등 및 균등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상은 본 발명의 보호 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0088] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 냉연강판의 개재물을 탐상하는 장치를 설명하는 도면.

[0089] 도 2(a)와 도 2(b)는 각각 본 발명의 실시예에 따른 냉연강판의 개재물을 탐상하는 장치를 예시하는 도면.

[0090] 도 3(a) 내지 도 3(f)는 각각 누설자속 검출에 의해 개재물을 탐상하는 원리를 설명하는 도면.

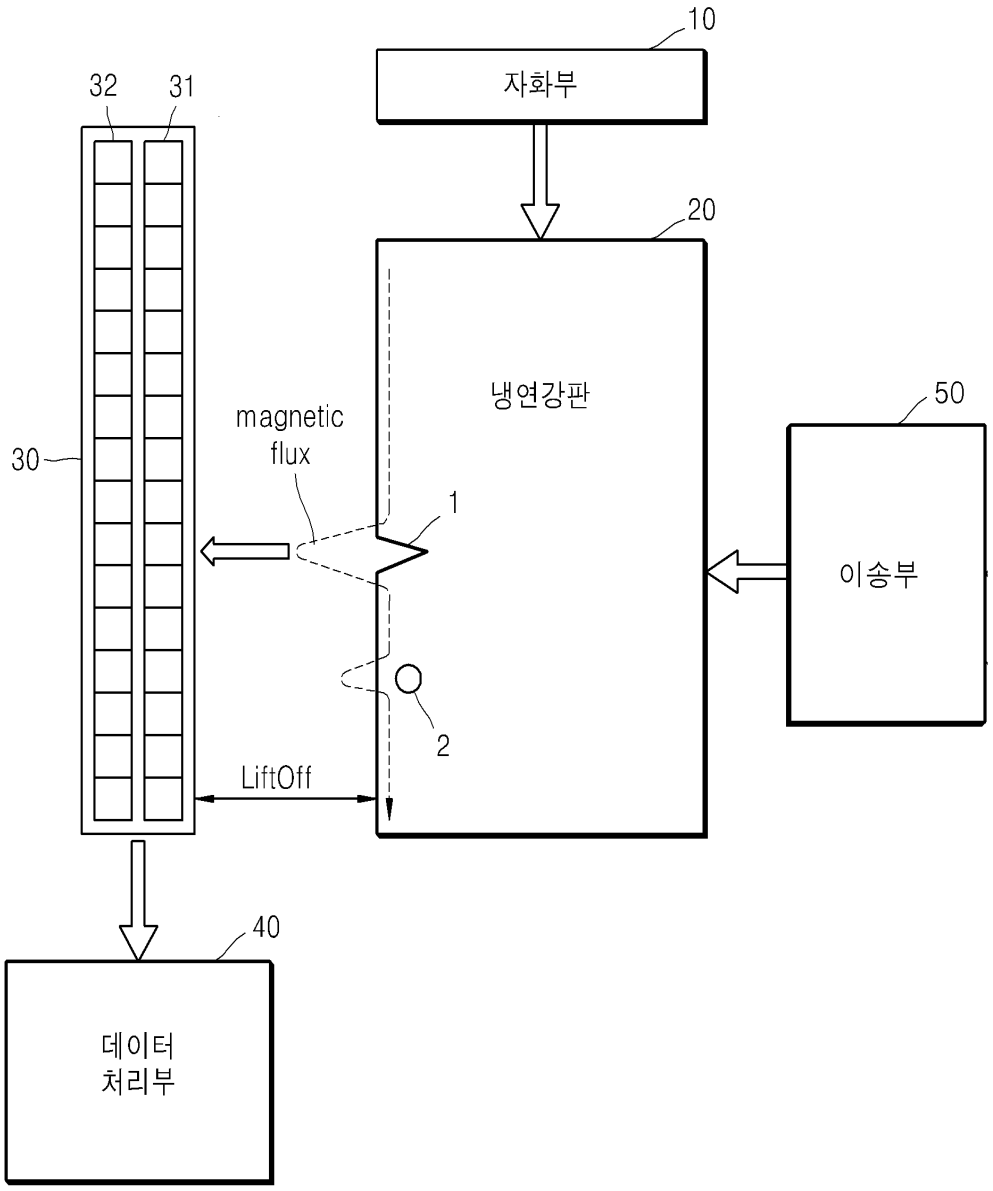
[0091] 도 4는 본 발명에 따른 자기센서 어레이를 설명하는 도면.

[0092] 도 5는 데이터 처리부를 설명하는 도면.

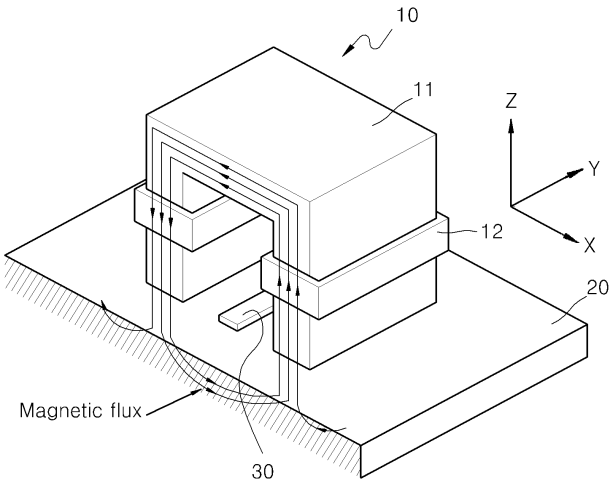
[0093] 도 6a 내지 도 6d는 자기센서 어레이와 자화방향이 이루는 각도 및 스캔 방향을 나타낸 도면.

도면

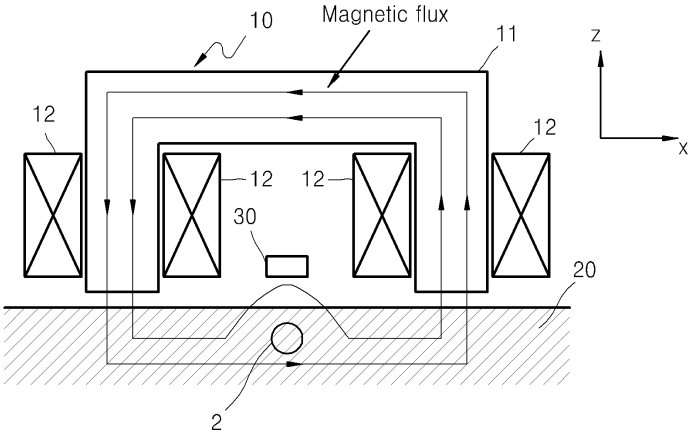
도면1


10
자화부
32
31
20
냉연강판
50
magnetic
flux
30
1
이송부
2
LiftOff
40
데이터
처리부

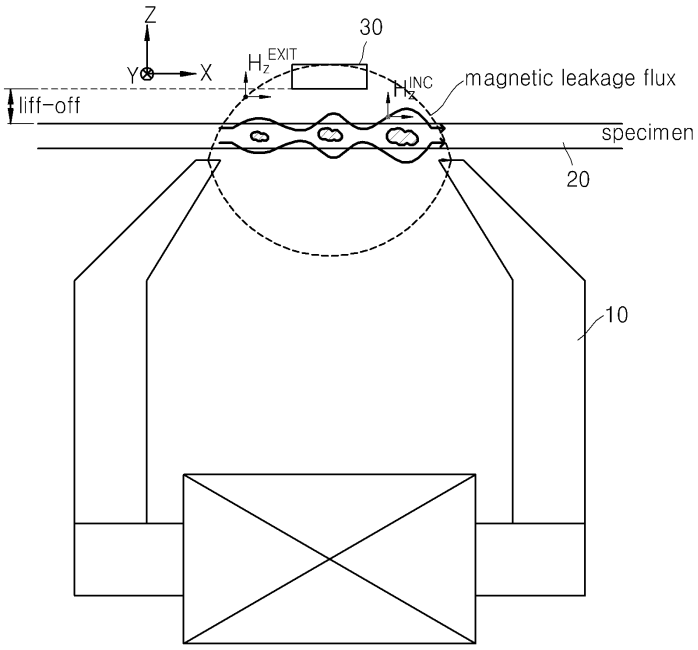
도면2a


10
11
Z
Y
X
12
20
Magnetic flux
30

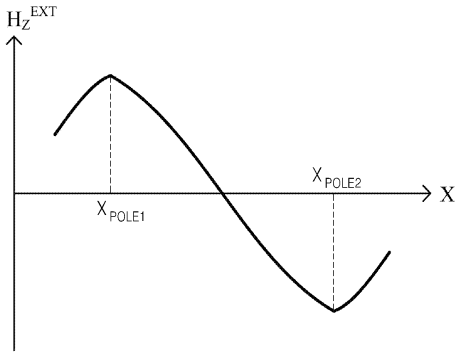
도면2b


10
Magnetic flux
11
z
x
12
12
12
12
30
20
2

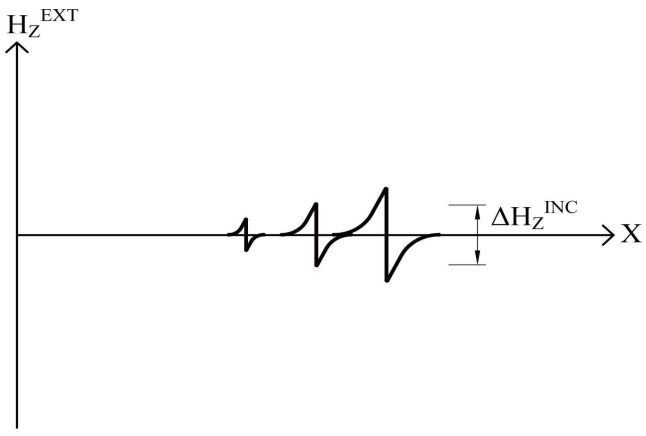
도면3a



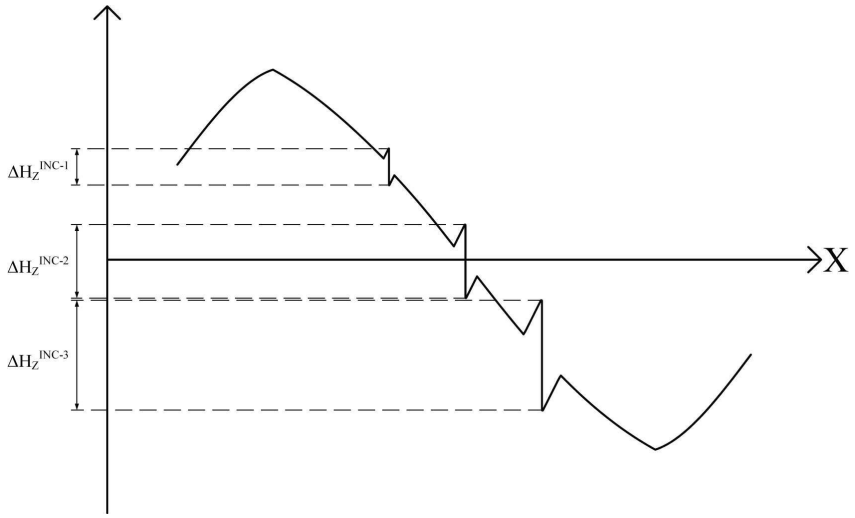
도면3b



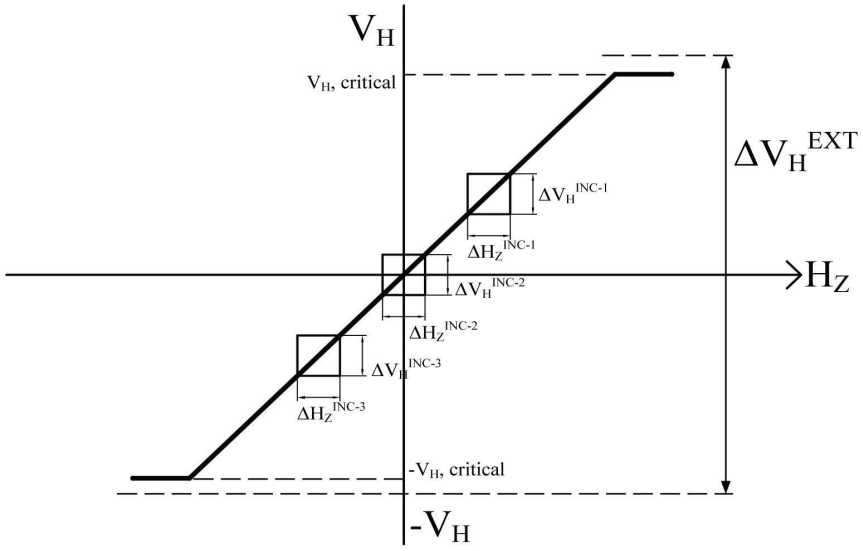
도면3c



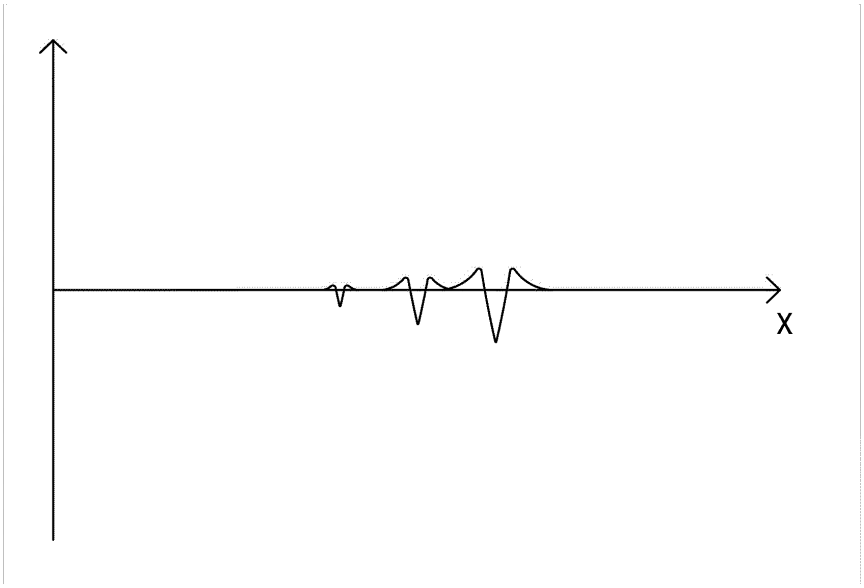
도면3d


ΔH_Z^{INC-1}
ΔH_Z^{INC-2}
ΔH_Z^{INC-3}
X

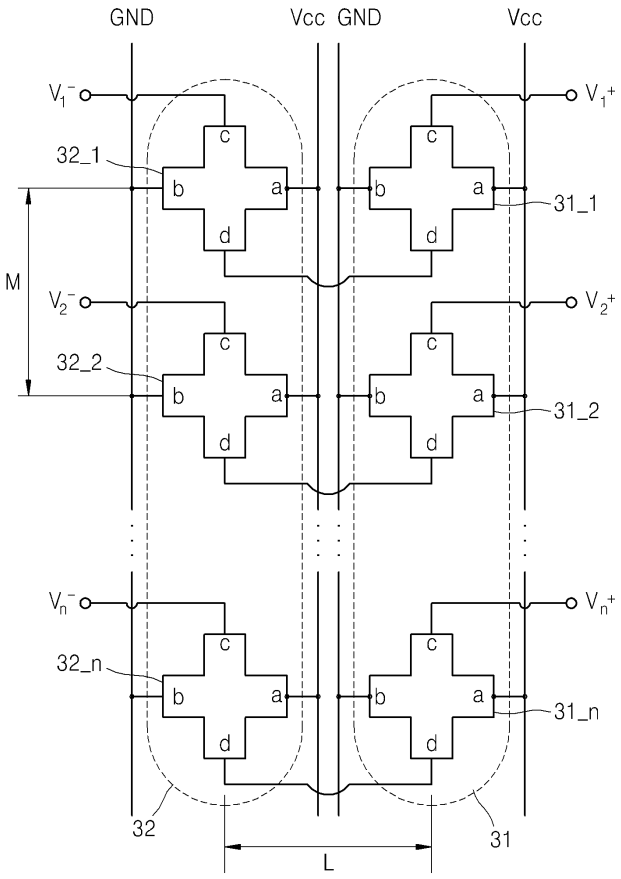
도면3e


V_H
V_H, critical
ΔV_H^{EXT}
ΔV_H^{INC-1}
ΔH_Z^{INC-1}
H_Z
ΔV_H^{INC-2}
ΔH_Z^{INC-2}
ΔV_H^{INC-3}
ΔH_Z^{INC-3}
-V_H, critical
-V_H

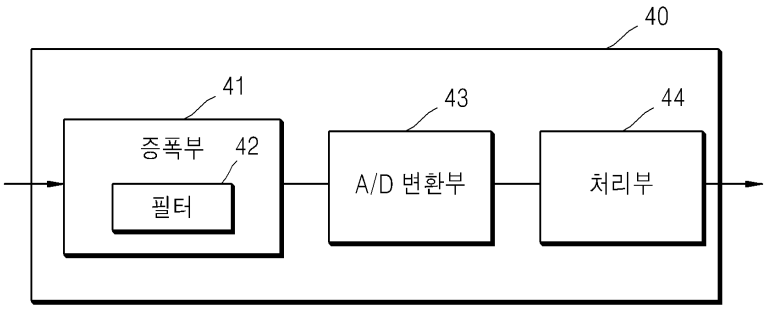
도면3f


X

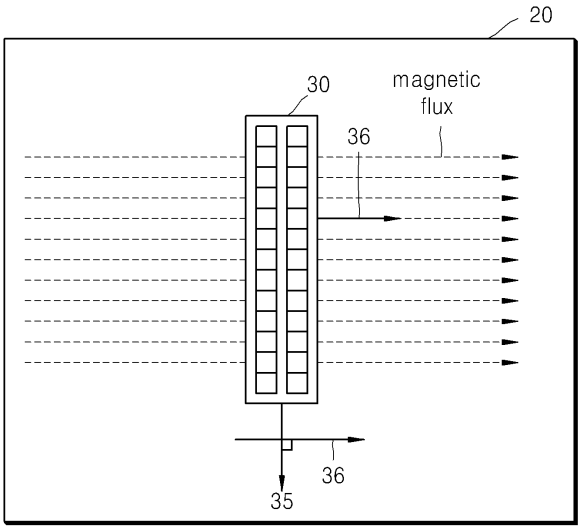
도면4


GND
Vcc
GND
Vcc
V1-
V1+
32_1
31_1
M
V2-
V2+
32_2
31_2
Vn-
Vn+
32_n
31_n
a
b
c
d
32
31
L

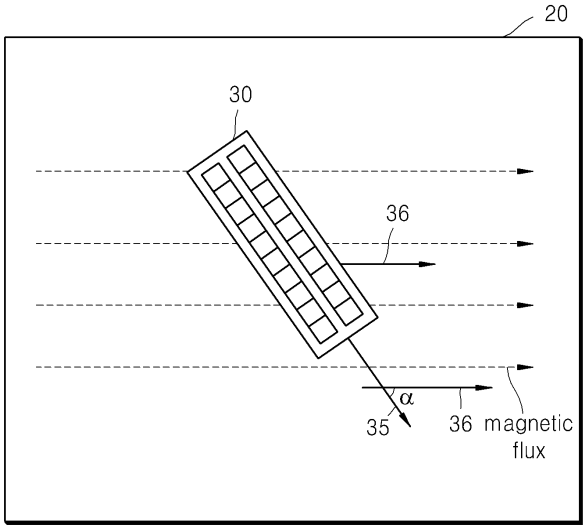
도면5



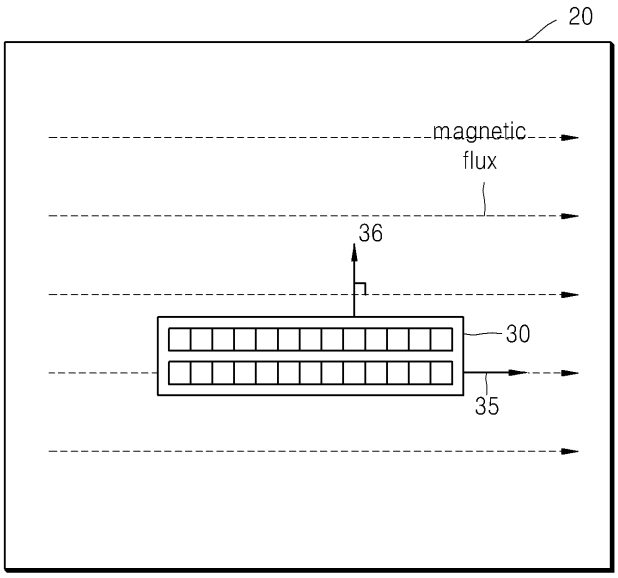
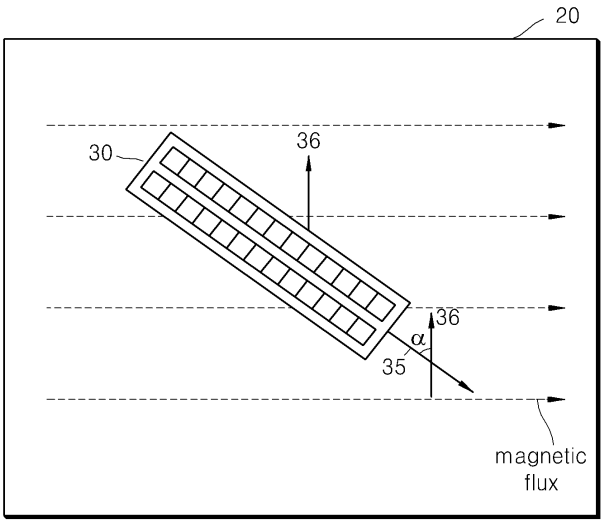
도면6a



도면6b



도면6c



도면6d