



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2007년02월27일
G08B 13/24 (2006.01)	(11) 등록번호	10-0687968
	(24) 등록일자	2007년02월21일

(21) 출원번호	10-2000-7005146	(65) 공개번호	10-2001-0032028
(22) 출원일자	2000년05월12일	(43) 공개일자	2001년04월16일
심사청구일자	2003년06월26일		
변역문 제출일자	2000년05월12일		
(86) 국제출원번호	PCT/EP1998/004087	(87) 국제공개번호	WO 1999/24950
국제출원일자	1998년07월02일	국제공개일자	1999년05월20일

(81) 지정국                      국내특허 : 일본, 대한민국,  
  
EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스,

(30) 우선권주장                      08/968,653                      1997년11월12일                      미국(US)

(73) 특허권자                      바쿰슈멜체 게엠베하 운트 코. 카게  
독일 테-63450 하나우 그뤼너 베크 37

(72) 발명자                      헤르처,기첼러  
독일테-63486브루흐괴벨트겐슈트라쎄11

(74) 대리인                      남상선

심사관 : 남정길

전체 청구항 수 : 총 32 항

## (54) 전자기기 감시용 비정질 리본 및 마커의 어닐링 방법

### (57) 요약

본 발명에 따른 자기기계식 전자기기 감시 시스템 내의 마커용 강자기 공진기는 공진기가 약 40 $\mu$ m 미만 또는 공진기 두께의 약 1.5배 미만의 도메인 폭을 갖는 미세한 도메인 구조를 가지도록 어닐링됨으로써 개선된 자기공진 특성 또는 감소된 와류 전류 손실을 갖는다. 이는 공진기 내에서 공진기가 마커 내에 포함된 자기 바이어스 요소에 의해 자기적으로 작동되는 축선에 실질적으로 수직한 유도 자화 용이축을 발생시킨다. 이러한 특성을 발생시키는 어닐링은 어닐링된 재료의 평면에 대해 각을 이루며 배향된 약 1000 Oe 이상의 자장에서 발생할 수 있는데, 자장은 이러한 평면에 수직한 중요 성분, 재료의 폭을 가로지르는 약 20 Oe 이상의 성분, 및 어닐링 오븐을 통해 재료를 이동하는 방향을 따르는 최소 성분을 갖는다.

### 대표도

도 6a

## 특허청구의 범위

### 청구항 1.

자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기로서, 두께와 요소 축을 구비하는 평면 강자성 요소를 포함하고, 상기 평면 강자성 요소는  $40\mu\text{m}$  및 상기 두께의 1.5배로 구성된 그룹으로부터 선택된 최대 폭을 갖는 미세한 도메인 구조와, 상기 요소 축에 거의 수직하는 유도 자화 용이 축을 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 2.

자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기로서, 두께와 요소 축을 구비하는 평면 강자성 요소를 포함하고, 상기 평면 강자성 요소는 상기 두께의 1.5배의 최대 폭을 갖는 미세한 도메인 구조와, 상기 요소 축에 거의 수직하고 상기 요소의 평면에 경사진 성분을 구비하는 유도 자화 용이 축을 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 3.

자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기로서, 두께와 요소 축을 구비하는 평면 강자성 요소를 포함하고, 상기 평면 강자성 요소는 상기 두께의 1.5배의 최대 폭을 갖고 상기 요소 축에 가로질러 배향되는 미세한 도메인 구조와, 상기 요소 축에 거의 수직하고 상기 요소의 평면에 경사진 성분을 구비하는 유도 자화 용이 축을 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 4.

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 도메인 구조는  $40\mu\text{m}$ 의 최대 폭을 구비하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 5.

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 공진기는 상기 강자성 요소를 강자성적으로 포화시키는 자기장과 거의 동일한 자기장까지 선형적인 히스테리시스 곡선에 의하여 특징지워지는 자기 거동을 구비하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 6.

제 1항 내지 제 3항 중의 어느 한 항에 있어서,  $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Si}_x\text{B}_y\text{M}_z$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하며,  $a, b, c, x, y$  및  $z$ 는 %이고,  $M$ 은 하나 이상의 유리 형성 촉진 요소 및 하나 이상의 전이 금속 중 하나 이상이고, 그리고  $a + b + c + x + y + z = 100$ 이 되도록  $15 < a < 75$ ;  $0 < b < 40$ ;  $0 \leq c < 50$ ;  $15 < x + y + z < 25$ ;  $0 \leq z < 4$ 인, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

### 청구항 7.

제 6항에 있어서, 상기 유리 형성 촉진 요소는 C, P, Ge, Nb, Ta 및 Mo로 구성되는 그룹으로부터 선택되는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 8.

제 6항에 있어서, 상기 전이 금속은 Cr 및 Mn으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 9.

제 6항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{30}\text{Ni}_{26}\text{Si}_{8.5}\text{B}_{11.5}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 10.

제 6항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{32}\text{Co}_{10}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 11.

제 6항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{37}\text{Co}_5\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 12.

제 6항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{40}\text{Co}_2\text{Ni}_{40}\text{Si}_5\text{B}_{13}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 13.

제 6항에 있어서,  $a+b+c+x+y+z=100$ 이 되도록  $15<a<30$ ;  $10<b<30$ ;  $20\leq c<50$ ;  $15<x+y+z<25$ ;  $0\leq z<4$ 인, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 14.

제 13항에 있어서,  $a+b+c+x+y+z=100$ 이 되도록  $15<a<27$ ;  $10<b<20$ ;  $30\leq c<50$ ;  $15<x+y+z<20$ ;  $0<x<6$ ;  $10<y<20$ ;  $0\leq z<3$ 인, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 15.

제 14항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 16.

제 14항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{43}\text{Si}_1\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 17.

제 14항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{22}\text{Co}_{15}\text{Ni}_{45}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 18.

제 14항에 있어서, 상기 강자성 요소는  $\text{Fe}_{23}\text{Co}_{15}\text{Ni}_{45}\text{Si}_1\text{B}_{16}$  조성을 구비하는 평면 비정질 요소를 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 19.

제 18항에 있어서, 상기 강자성 요소는 스트립을 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 20.

자기기계식 전자기기 감시 시스템에 사용하기 위한 마커로서,

1 Oe과 10 Oe 범위의 자기장 강도를 구비하는 바이어스 자기장을 생성하는 바이어스 요소;

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 따른 공진기; 그리고

상기 바이어스 요소와 상기 공진기를 캡슐화하는 하우징을 포함하는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템에 사용하기 위한 마커.

#### 청구항 21.

자기기계식 전자 감시 시스템으로서:

상기 자기기계식 전자 감시 시스템이

제 20항에 따른 마커;

상기 공진기로 하여금 기계적으로 공진하게 하고 그리고 공진 주파수에서 신호를 방출하도록 하기 위하여 상기 마커를 여기시키기 위한 트랜스미터 수단;

상기 공진 주파수로부터 상기 신호를 수신하기 위한 수신기 수단;

상기 트랜스미터 수단에 그리고 상기 수신기 수단에 연결되어, 상기 트랜스미터 수단이 상기 마커를 여기시킨 후 즉시 상기 공진 주파수에서 상기 신호를 검출하기 위하여 상기 수신기 수단을 활성화시키기 위한 동기화 수단; 그리고

경고부를 포함하고, 상기 수신기 수단은 상기 공진기로부터 상기 공진 주파수에서 상기 신호가 상기 수신기 수단에 의하여 검출되는 경우 상기 경고부를 트리거링하기 위한 수단을 포함하는, 자기기계식 전자 감시 시스템.

## 청구항 22.

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 따른 공진기를 제작하기 위한 방법으로서, 상기 방법이:

평면 강자성 리본을 제공하는 단계 - 상기 평면 강자성 리본은 두께, 및 상기 평면 강자성 리본의 최장 치수를 따라 연장되는 리본 축선을 가짐 -;

상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계, 그리고 상기 어닐링을 통하여 상기 평면 강자성 리본에 상기 두께의 1.5배의 최대 폭을 갖고 상기 리본 축선을 가로질러 배향되는 미세한 도메인 구조와, 그리고 상기 리본 축선에 거의 수직하는 유도 자화 용이 축을 형성하는 단계; 그리고

상기 평면 강자성 리본의 조각을 절단하여 공진기를 형성하는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

## 청구항 23.

제 22항에 있어서, 상기 어닐링 단계가 어닐링 단계 동안 상기 평면 강자성 리본을 포함하는 평면에 거의 수직하는 성분을 갖는 자기장에서 상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

## 청구항 24.

제 23항에 있어서, 상기 어닐링 단계가, 상기 평면 강자성 리본을 포함하는 평면에 거의 수직하는 성분, 상기 평면 강자성 리본을 포함하는 상기 평면에 거의 수직하는 성분에 더하여 상기 평면 강자성 리본을 포함하는 평면 내에서 상기 리본 축선을 가로지르는 성분, 그리고 상기 미세한 도메인 구조로 하여금 상기 평면 강자성 리본에 가로질러 규칙적으로 배향되게 하기 위한 상기 평면 강자성 리본에 따른 최소 성분을 구비하는 자기장에서 상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계와; 그리고

상기 평면 강자성 리본의 조각을 절단하여 공진기를 형성하는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

## 청구항 25.

제 24항에 있어서, 상기 자기장은 어닐링 단계 동안 상기 평면 강자성 리본을 포함하는 평면에 대하여 각도를 가지고 배향되는 1000 Oe 이상의 자기장이고, 그 결과 상기 평면 강자성 리본에서 상기 리본 축선에 수직하게 배향되고 상기 평면으로부터 이탈되는 성분을 갖는 자화 용이 축을 유도하도록, 상기 자기장은 상기 평면에 수직인 상당한 성분, 상기 평면 강자성 리본의 폭을 가로지르는 20 Oe 이상의 성분 및 상기 리본 축선을 따르는 최소 성분을 갖는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

## 청구항 26.

제 25항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 상기 자기장에서 어닐링 온도로 상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계를 포함하고, 상기 자기장은 상기 어닐링 온도의 상기 평면 강자성 리본의 가우스 단위의 포화 유도 이하인 Oe의 강도를 구비하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 27.

제 26항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 상기 자기장을 상기 평면 강자성 리본의 폭을 가로지르는 라인에 대하여 약 60°와 약 89°사이의 각으로 상기 자기장을 배향시키는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 28.

제 26항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 약 10°와 약 80° 사이의 범위에서 상기 평면을 벗어난 상기 자화 용이 축의 성분을 생성하기 위하여 상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 29.

제 25항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 상기 자기장에서 어닐링 온도로 상기 평면 강자성 리본을 어닐링하는 단계를 포함하고, 상기 자기장은 상기 어닐링 온도에서 상기 평면 강자성 리본의 가우스 단위의 포화 유도 이상인  $O_e$ 의 강도를 구비하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 30.

제 29항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 상기 평면 강자성 리본의 폭을 가로지르는 라인에 대하여 약 30°와 약 80°사이의 각으로 상기 자기장을 배향시키는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 31.

제 25항에 있어서, 상기 어닐링 단계는 상기 평면 강자성 리본을 상기 자기장의 오븐으로 1m/min 이상의 속도로 연속적으로 이송하는 단계를 포함하는, 공진기를 제작하기 위한 방법.

#### 청구항 32.

제 7항에 있어서, 상기 전이 금속은 Cr 및 Mn으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는, 자기기계식 전자기기 감시 시스템의 마커에 사용하기 위한 공진기.

#### 청구항 33.

삭제

#### 청구항 34.

삭제

#### 청구항 35.

삭제

#### 청구항 36.

삭제

#### 청구항 37.

삭제

청구항 38.

삭제

청구항 39.

삭제

청구항 40.

삭제

청구항 41.

삭제

청구항 42.

삭제

청구항 43.

삭제

청구항 44.

삭제

청구항 45.

삭제

청구항 46.

삭제

청구항 47.

삭제

청구항 48.

삭제

청구항 49.

삭제

청구항 50.

삭제

청구항 51.

삭제

청구항 52.

삭제

청구항 53.

삭제

청구항 54.

삭제

청구항 55.

삭제

청구항 56.

삭제

청구항 57.

삭제

청구항 58.

삭제

명세서

### 기술분야

본 발명은 자기 비정질 합금 및 이러한 합금을 자장내에서 어닐링하는 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 자기기계식 전자기기 감시 시스템(magnetomechanical electronic article surveillance system)에 사용되는 비정질 자기변형 합금에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 마커를 사용하는 자기기계식 전자기기 감시시스템, 비정질 자성변형 합금의 제조방법 및 마커를 형성하기 위한 방법에 관한 것이다.

### 배경기술

대부분의 강자성 합금은 자장 내에서 열처리 되어 유도 자화 용이축(induced magnetic easy axis)이 어닐링 자장의 방향에 평행하거나, 특히 어닐링 중 자기 도메인(domain)에 평행하게 될 때 단일축 이방성을 나타낸다는 것이 예를 들어, Chikazumi의 Physics of Magnetism(Robert E. Krieger Publishing Company, Malbar, Florida), 제17장 359페이지(1964)에 공지되어 있다. 상기 기술한 Chikazumi 문헌은 유도 자화 용이축에 수직인 방향으로 측정된 퍼멀로이(permalloy, 결정질 Fe-Ni 합금) 샘플에 대한 자화곡선의 예가 제시되어 있다. 이 경우에, Chikazumi는 선형적으로 상승하는 자화곡선을 야기하는 각각의 자화도메인을 회전시킴으로써 자화가 발생함에 주목했다.

Luborsky 등의 "Magnetic Annealing of Amorphous Alloys", Magnetism MAG-11의 IEEE Trans. p 1644 내지 1649, 에는 비정질 합금의 자장 어닐링에 대한 초기 실시예를 제시한다. 상기 실시예는 리본 폭을 가로질러 배향되는, 즉 리본 축선 및 리본 면에 수직인 방향으로 4 kOe의 자장내에서 비정질 FeNiB 합금 스트립을 횡방향으로 어닐링 처리했다. 예를 들어, 325°C에서 2시간동안 유지한 후에 분당 50°C 및 분당 0.1°C의 속도로 냉각한 후에, 인가된 자장이 유도된 이방성 자장보다 크거나 같을 때 발생하는 강자성 포화에 도달하기까지의 인가 자장대 자화의 선형적 관계 및 거의 소멸된 잔류자기의 관계를 설명하는 히스테리시스 곡선을 발견했다. 또한, 자장 어닐링이 리본 방향에 횡방향으로 자화 용이 축선을 유도하고 자장의 인가시에 이러한 자화 용이 축선의 회전에 의해 자성이 변화한다는 것을 알아냈다.

실제로 비정질 금속은 유리질의 비-주기적 구조의 결과로서 자기-결정질 이방성의 결핍으로 인해 자장 어닐링에 특히 민감하다. 비정질 금속은 폭넓은 조성범위의 금속을 급속 퀘칭에 의해 얇은 리본의 형태로 준비될 수 있다. 실제 사용을 위한 합금은 유리질 형성에 필요한 약 15-30원자%의 Si 및 B를 추가로 함유하는 Fe, 및 Co와 Ni 중 적어도 하나를 기초로 하여 구성된다[Ohnuma 등의 "Low Coercivity and Zero Magnetostriction of Amorphous Fe-Co-Ni System Alloys" Phys. Status Solidi(a) vol. 44, pp. K151(1977) 참조]. 비정질 상태에서 전이금속의 실제로 비제한적인 혼합도는 다양한 자기특성을 부여한다. Luborsky 등의 "Magnetic Anneal Anisotropy in Amorphous Alloys", Magnetism MAG-13의 IEEE Trans. p. 953-956(1977) 및 Fujimori의 "Magnetic Anisotropy" in F.E. Luborsky (ed) Amorphous Metallic Alloys, Butterworths, London, pp 300~316(1983)에 따르면, 하나 이상의 합금원소를 갖는 합금 조성은 자장 어닐링 처리에 특히 민감하다. 유도 이방성( $K_U$ )의 크기는 합금 조성의 선택뿐만 아니라 수  $J/m^3$  내지 약  $KJ/m^3$  범위의 어닐링 온도 및 시간의 적절한 선택에 의해 변화될 수 있다. 따라서,  $H_K = 2 K_U/J_S$ ( $J$ 는 포화 자기임)로 주어지고(기술한 Luborsky 문헌



의 자기학 잡지-11, 1644-1649페이지(1975) 참조) 횡방향으로의 자장-어닐링 처리된 재료에 대해 포화에 도달하기 이전에 인가된 자장에 따라 선형으로 변화하는 자기를 정의하는 상기 이방성 자장은 1 Oe 이하의 수치로부터 대략  $H \approx 25$  Oe 수치까지 변화될 수 있다.

히스테리시스 곡선의 선형적 특성 및 횡방향 자장-어닐링 처리된 비정질 합금과 관련된 저 와류 손실은 예를 들어, 변압기 코어와 같은 다양한 용도에 유용하다(cf. Herzer 등의 "Recent developments in Soft Magnetic Materials", Physica Scripta vol T24, p 22-28(1988)). 횡방향 자장 어닐링 처리된 비정질 합금이 특히 유용한 다른 적용분야에서는 이후 상세히 설명하는 자기탄성적 특성(magnetoelastic properties)을 이용한다.

Becker 등의 Ferromagnetismus (Springer, Berlin), ch. 5, pp. 336(1939) 또는 Bozorth, Ferromagnetism (d. van Nostrand Company, Princeton, New Jersey) ch 13, p 684 ff (1951)에는 자화 벡터의 회전과 관련된 자기변형이 보통  $\Delta E$  효과로서 지칭되는 인가된 자장에 따른 강자성 재료의 영율 변화의 원인이 된다는 것을 설명하고 있다.

미국 특허 제 3,820,040호 및 베리 등의 "자기 어닐링 및 비정질 강자성 합금의 직접처리" 피직스 리뷰 레터스, 제 34권 1022-1025 페이지(1975)에서는 횡방향으로 자장 어닐링 처리될 때, 비정질 Fe-계 합금이 결정질 철 보다 100 배정도 큰  $\Delta E$  효과를 나타낸다는 것을 알아냈다. 이러한 현저한 차이점은 비정질 합금에서의 자기결정질 이방성의 결핍에 기인하고, 이는 자화 회전에 의해 인가된 응력이 훨씬 더 크게 반응할 수 있게 한다. 또한, 이들은 길이방향 어닐링 조건에서 도메인 배향이 응력-유도 회전에 민감하지 않으므로, 길이방향으로의 어닐링이  $\Delta E$  효과를 크게 억제한다는 것을 입증했다. 베리 등의 논문(1974)에 있어서, 비정질 재료에 있어서의 개선된  $\Delta E$  효과가 인가된 자장의 도움으로 전자기계적 오실레이터의 진동 주파수의 제어를 달성하는데 유효한 수단을 제공한다는 것을 입증했다.

인가된 자장에 의한 진동 주파수의 제어 가능성은 전자기기의 감시(EAS)에 사용하기 위한 마커용으로 특히 유용하다는 것이 유럽특허 출원번호 0 093 281호에 제시되어 있다. 이러한 목적을 위한 자기장은 자기탄성 공진기에 인접 배열된 자화 강자성 스트립(바이어스 마그네트)에 의해 발생되며, 상기 스트립과 공진기는 마커 또는 태그 하우징 내에 포함된다. 상기 공진 주파수에서의 마커에 대한 효과적인 자기 투과성에 있어서의 변화는 마커에 신호 식별원(signal identity)을 제공한다. 이러한 신호 식별원은 인가된 자장에 의해 공진 주파수를 변화시킴으로써 제거될 수 있다. 따라서, 상기 마커는 예를 들어, 인가된 자장을 제거하는 바이어스 마그네트의 자기제거에 의해 비활성화됨으로써 공진 주파수도 변화한다. 그러한 시스템에 본래부터 사용된 마커는 제품-고유의 기계적 응력과 관계된 단일축 이방성으로 인한 적절한  $\Delta E$  효과를 나타내는 "준비된(as prepare)" 상태에서 비정질 리본으로 제조된다.

미국 특허 제 5,469,140호에는 횡방향 자장 어닐링 처리된 비정질 자기기계식 소자를 전자기기 감시 시스템에 적용하는 것이 준비된 비정질 재료를 사용하는 종래기술의 마커와 관련된 다수의 단점들을 제거한다는 것이 개시되었다. 일 실시예로서, 상기 특허에는 적어도 약 10 Oe의 인가 자장까지 히스테리시스 곡선이 선형의 궤적을 갖는 것이 설명되어 있다. 횡방향 자장-어닐링과 관련된 이러한 선형의 궤적은 다른 형태의 EAS 시스템(즉, 하모닉 시스템)에서 바람직하지 않은 정보를 생성하는 하모닉의 발생을 방지한다. 그러한 하모닉 시스템과의 간섭은 실제로, 하모닉 EAS 시스템에 있어서 이는 (바람직하게) 정보를 발생시킬 준비를 하는 비선형 궤적이므로, 준비된 비정질 합금과 통상적으로 관련된 비선형 히스테리시스 곡선으로 인한 종래기술의 자기-탄성 마커에 있어서는 심각한 문제점이다. 상기 특허에는 자장에서의 열처리되는 자기변형 스트립의 공진 주파수 관점에서의 일관성을 현저하게 개선한다고 설명되어 있다. 전술한 어닐링 처리된 공진기의 추가의 장점은 이들이 보다 큰 공진 진폭을 갖는다는 점이다. 상기 특허는 또한 양호한 재료가 적어도 약 30 % Co를 함유하는 Fe-Co 합금인 반면에, 전술한 PCT 출원 WO 90/03652호에 설명된  $Fe_{40}Ni_{38}Mo_3B_{18}$ 와 같은 종래기술에서의 초기재료는 그러한 재료의 어닐링이 신호의 링 다운(ring down) 주기를 바람직하지 않게 감소시키므로, 펄스 자장 자기기계식 EAS 시스템에는 적합하지 않다는 것도 설명되어 있다.

독일 공보 G 94 12 456.6호에 있어서, 발명자들은 오랜 링-다운 시간은 상당히 높게 유도된 자기 이방성을 나타내는 합금 조성을 선택함으로써 달성될 수 있으며, 따라서 상기 합금들이 전자기기 감시 시스템의 자기탄성 마커에 특히 적합하다는 것을 인식했다. 상기 Herzer 특허는, Fe-Co-계 합금에서 시작하여 Fe 및 Co 중 적어도 하나를 약 50%까지 Ni로 대체하는 경우, 전자기기 감시 시스템의 마커에 적합한, 큰 링-다운 시간들이 약 12%로 Co 함량을 낮추어도 달성할 수 있다. 또한 Co는 Ni로 대체될 수 있다고 설명되어 있다. 자기탄성 마커용으로 Co 함량을 낮추기 위한 Ni 합금화의 이득 및 상당히 높은 이방성을 갖는 선형의 히스테리시스 곡선에 대한 필요성은 미국 특허 제 5,628,840호의 설명으로 확인되었다.

전술한 예에서의 자장 어닐링은 리본 폭을 가로지르는 방향으로 수행된다. 즉, 자장 방향은 리본 축선에 수직하게 리본 표면 내에 배향된다. 이러한 내용들은 본 기술분야에 공지되어 있고 이후, 본 발명에서 횡방향 자장-어닐링으로 지칭된다. 자장 강도는 리본 폭을 가로질러 전체 리본을 강자성으로 포화시킬 정도로 충분히 강해야 한다. 이는 수 백 Oe 정도로 낮

은 자기장에서 달성될 수 있다. 그러한 횡방향 자장-어닐링은 예를 들어, 예비-절단된 직선형 리본 스트립 또는 사선으로 감긴 코어 중 어느 하나에 배치되는 식으로 수행될 수 있다. 이와는 달리, 미국 특허 제 5,469,140호에 상세히 설명되어 있는 바와 같이, 상기 어닐링은 횡방향의 포화자장이 리본에 인가되는 오븐을 통해서 하나의 릴로부터 다른 릴로 합금 리본을 이송시킴으로써 연속 모드로 수행될 수 있다.

회전에 의한 자화 및 관련 자기탄성 특성의 변화는 인가된 작동 자장에 수직한 단일 이방성 축선에 있다는 사실과 주로 관련이 있다. 상기 이방성 축선은 횡방향 자장-어닐링 처리된 샘플의 경우와 유사하게, 반드시 리본 평면내에 있을 필요는 없으며, 상기 단일축 이방성은 자장 어닐링 이외의 메카니즘에 원인이 있을 수도 있다. 통상적인 상황은 예를 들어, 이방성이 리본평면에 수직한 경우이다. 그러한 이방성은 자장 어닐링으로부터도 유발되나, 이때의 자장은 수직 방향인데, 이와 관련해서는 Gyorgy에 의하여 *Metallic Glasses*, 1978, Proc. ASM Seminar Sept. 1976 (American Society for Metals, Metals Park, Ohio) ch. 11, pp 275~303에, Grimm 등의 "Minimization of Eddy Current Losses in Metallic Glasses by Magnetic Field Heat Treatment"(1985, Proceedings of the SMM 7 conference in Blackpool(Wolfson Centre for Magnetism Technology, Cardiff), p. 332-336)에, de Wit 등의 "Domain patterns and high-frequency magnetic properties of amorphous metal ribbons"(1985, J. Appl. Phys. vol 57, pp. 3560~3562)에, 그리고 Livingston 등의 "Magnetic Domains in Amorphous Metal ribbons"(J. Appl. Phys. vol. 57, pp 3555~3559, 1985)에 개시되어 있으며, 이는 이후 수직 자장 어닐링이라고 지칭된다. 수직 이방성에 대한 다른 근원은 제조 공정과 관련된 기계적 내부응력과 자기변형 커플링에 의해 유발되거나(전술한 리빙스턴 등의 "Magnetic Domains in Amorphous Metal ribbons"이란 논문 및 F. E. Luborsky의 Fujimori에 의한 전술한 문헌 참조), 예를 들어 표면의 부분 결정질화에 의해 유도될 수 있다(Herzer G.의 "Surface Crystallization and Magnetic Properties in Amorphous Iron Rich Alloys", J. Magn. Magn. Mat. 제 62권 143-151 페이지(1986) 참조).

자화 용이 축선이 리본 평면에 수직할 때, 큰 자기소거 인자는 정자기 표유 자장 에너지를 감소시키기 위해 매우 미세한 도메인 구조를 필요로 한다(cf. Landau 등의 *Electrodynamics of Continuous Media*, Pergamon, Oxford, England, ch 7. (1981)). 관찰된 도메인 폭은 통상적으로  $10\mu\text{m}$  이하이고, 가시적인 도메인은 통상적으로 폐쇄 도메인인 반면, 리본 폭을 가로질러 이방성을 갖는 리본은 넓은 횡방향 슬라브 도메인, 통상 약  $100\mu\text{m}$ 의 폭을 나타낸다(전술한 Gyorgy 논문 및 de Wit 등의 논문, 및 Mermelstein 등의 "A Magnetoelastic Metallic Glass Low-Frequency Magnetometer"(IEEE Transactions on Magnetism, vol. 28, p. 36-56, 1992)에 기술됨).

수직 자장 어닐링에 대한 제 1 실시예 중의 하나는 Co-계 비정질 합금에 대하여 어닐링 처리 후의 도메인 구조가 각각 횡방향 자장-어닐링 및 종방향 자장 어닐링 처리 후에 얻어진 것과 비교되는 Gyorgy에 의한 전술한 논문에서 주어진다. Gyorgy는 수직 어닐링 처리된 샘플의 도메인 구조가 표면에 수직한 자화 용이 축선을 갖는 단일축 재료에 대해 더 통상적임을 설명하고 있다.

앞서 말한 내용은 전술한 de Wit 등에 의해 확인되었는데, 여기서 거의 제로인 자기변형 비정질 Co-계 합금의 2개의 샘플이 비교되었고, 하나의 샘플은 0.9 Oe의 자장에서 횡방향으로 자장-어닐링 처리되었고 다른 하나는 15 kOe 자장에서 수직방향으로 자장-어닐링 처리되었다. de Wit 등은 전술한 바와 같이, 횡방향 자장 어닐링 및 수직방향 자장 어닐링 양쪽 모두의 경우에 있어서 자화 과정은 인가된 자장에 따른 자화의 선형궤적의 결과에 의한 회전에 의해 제어된다는 것을 발견했다. 전술한 Mermelstein 논문은 8.8 kOe 자장에서 각각 횡방향 및 수직방향으로 자장 어닐링 처리한 고 자기변형 비정질 Fe-계 리본에 대해 유사한 결론에 도달했다. Mermelstein은 횡방향 자장 어닐링 및 수직방향 자장 어닐링 양쪽 모두의 경우에 있어서, 자화과정이 인가된 자장 쪽으로 자화 벡터를 회전시킴으로써 제어된다고 가정하고, 양쪽 모두의 경우에 있어서, 자장 및 자기탄성 특성뿐만 아니라 와류 전류 효과를 설명하는데 하나의 모델을 사용하는 것이 충분하다는 결론에 도달했다. Mermelstein의 연구는 이러한 샘플을 사용하는 자기탄성 자장센서에 관한 것이며, 횡방향 자장 어닐링된 도메인 구조 및 수직방향 자장 어닐링된 도메인 구조 양쪽 모두가 보통 동일한 노이즈 기준을 제공하며 센서의 감도에 어떠한 차이점은 열처리에 있어서의 차이점과 관련된 상이한 이방성 자장에 기여한다는 결론에 도달했다.

또한, de Wit 등의 논문에서와 같이, 비록 수직 어닐링 처리된 샘플의 히스테리시스 곡선이 기본적으로는 선형일지라도 수직 어닐링 처리된 샘플의 히스테리시스 곡선은, 횡방향 어닐링 처리된 샘플과는 상이하게, 강화된 와류 손실에 수반된 중앙영역에서의 비선형적인 개구를 드러낸다는 것을 알았다. 이러한 발견은 리본 표면에 수직하게 배향된 9 kOe의 자장에서의 어닐링에 의해 유도된 비정질 FeCo- 및 FeNi-계 합금에서의 수직 이방성에 대한 연구를 보고한 전술한 Grimm 등의 논문에서 확인됐다. Grimm 등은 비선형성은 폐쇄 도메인에서의 스위칭 공정때문이라고 생각했다. 최고의 자기변형( $\lambda_s \approx 22\text{ppm}$ )을 갖는 샘플의 경우에만 무시할 수 있는 히스테리시스 및 상당히 감소된 와류손실을 갖는 거의 선형의 자화 곡선이 발견된다. 자기변형의 상호작용의 경우에, 인가된 자장에 수직하게 배향되어 폐쇄 도메인내에 덜 복잡한 자화과정을 초

래하는 폐쇄 도메인을 선호한다. 이에 비해, 폐쇄 도메인 스트립은 낮은 자기변형 상수(즉, 일실시에 또는 거의 제로인 자기변형 샘플에서 약 9ppm)를 갖는 샘플용 인가 자장에 평행하게 배향되는데, 이는 히스테리시스 곡선의 중앙영역에 전술한 비-선형 곡선을 초래한다.

또한 비교가능한 결과는 2 kOe의 수직인 자장과 1 Oe의 원주방향 자장에서 2cm 폭의 비정질 유리질  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{B}_{20}$  리본으로부터 편치아웃으로 조립된, 어닐링된 링-층상, 토로이드형 코어를 기술하는 상술한 미국 특허 제 4,268,325 호에 공지되어 있다. 이 특허에 따라서, 어닐링 동안 이런 수직인 자장의 인가는 시이트 평면에 필수적으로 수직인 자화 용이 축선을 가진 시이트를 만든다. 이 결과는 상당히 선형의 자화 곡선이지만 다시 중앙 영역에서의 비선형 개구를 가지며 AC 손실을 크게 한다. 상술한 미국 특허 제 4,268,325 호는 더욱이 AC 히스테리시스 손실을 최소화하기 위해서 제 1 자장의 방향에 수직으로 자장을 제 2 어닐링 단계에서 적용하는 것이 바람직하다는 것을 지적하고 있다. 사실 인용된 샘플의 손실은 원주방향 자장으로 연속 어닐링에 의해 개선될 수 있다. 제 2 어닐링 단계는 잔류자기, 그러므로 비선형성을 증가하고, 히스테리시스 곡선이 거의 비선형인 약 3.5kG의 강화된 잔류자기에서 최소값으로 된다.

이들 모든 관찰사실은 횡방향 자장 어닐링에 대해서 수직방향 자장 어닐링과 관련해서 실질적인 이득이 없는 것으로 나타난다. 사실상, 횡방향 자장 어닐링은 선형 히스테리시스 곡선과 저 와류 전류 손실이 어떠한 적용 분야에서도 요구된다면 분명히 유리할 것으로 보일 것이다. 더욱이, 횡방향 자장 어닐링은 균일한 이방성을 얻기 위해서 각 경우에 강자성적으로 리본을 포화시키는데 필요한 자장 강도에 일부 기인하여 수직방향 자장 어닐링보다 실험적으로 도전하는 것이 훨씬 쉽다. 이들의 자기 연성(magnetic softness)에 의해서, 비정질 리본은 일반적으로 몇 백 에르스텟의 내부 자장으로 강자성적으로 포화될 수 있다. 그러나 유한 치수를 가진 샘플내의 내부 자장은 외부 인가 자장과 상기 인가 자장과 반대로 작용하는 자기소거 자장으로 구성되어 있다. 리본 폭을 가로지르는 자기소거 자장이 상당히 작으면, 리본 평면에 수직인 자기소거 자장은 상당히 크고, 싱글 리본에 대해서 리본 평면에 수직인 포화 자화의 성분과 거의 동일하다. 따라서, 상술한 미국 특허 제 4,268,325 호에서, 수직으로 인가된 자장이 적합하게 어닐링 온도에서 포화 유도의 적어도 약 1.1배이어야 하는 것을 지적하고 있다. 이것은 수직방향 자장 어닐링에 대해서 상술한 논문에서 보고한 바와 같이 약 10 kOe의 자장 강도에 의해서 통상적으로 달성된다. 비교시 횡방향 자장 어닐링은 몇 백 Oe 만을 초과하는 상당히 낮은 자장에서 성공적으로 행해질 수 있다. 상술한 미국 특허 제 5,469,140 호뿐만 아니라 유럽 출원 제 0 737 986 호는 예를 들어 횡방향 자장 어닐링에 대해서 500 또는 800 Oe의 초과 자장 강도가 포화를 얻는데 충분한 것으로 지적하고 있다. 물론, 이런 조절 자장은 수직방향 어닐링에 필요한 고자장보다 훨씬 쉽고 보다 더 경제적인 방법으로 실현될 수 있다. 그러므로, 저자장은 자석내에 보다 넓은 갭을 허용하고, 이것은 이 갭내에 놓여지게 될 오븐의 구조를 용이하게 한다. 자장이 전자석에 의해 생성되면, 특히 전압 소비는 감소된다. 영구 자석으로 조립된 요크에 의해서, 저 자장 강도가 보다 싼 자석으로 실현될 수 있다.

## 발명의 상세한 설명

상술한 종래 기술의 상태에 따르면, 횡방향 자장 어닐링 방법은 다양한 이유로 수직방향 자장 어닐링 방법보다 훨씬 바람직한 것으로 보인다. 그러나, 본 발명자는 어닐링 동안 인가된 자장이 리본 평면을 벗어난, 상당한 성분을 가지는 어닐링 방법이 적합하게 수행된다면, 종래 기술에 의해 공지된 종래의 방법보다 훨씬 양호한 자성 및 자기 탄성 성질을 얻을 수 있는 것을 인식하고 있다.

본 발명의 목적은 작동시 정적 자기 바이어스 자장에 의해 자화되는 강자성 리본의 와류 전류 손실을 감소하는 방법을 제공하는 것이다.

특히, 본 발명의 목적은 종래 공진기보다 양호한 성능을 가진 자기기계식 전자기기 감시 시스템내에 사용하기 적합한 특성을 가진 공진기를 제조하기 위해서, 자기변형 합금과 이 합금을 어닐링하는 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은, 예비 자화 자장  $H$ 를 인가함 또는 제거함으로써 활성화 및 불활성화될 수 있고, 활성 상태에서, 교류 자장에 의해 여기되어 여기후 높은 신호 진폭인 공진 주파수  $f_r$ 에서 길이방향, 기계적 공명 진동을 나타낼 수 있는, 직사각형의 연성 자기변형 스트립으로 절단될 수 있는 자기기계식 감시 시스템내의 마커로 사용하기 위한 자기 변형 비정질 금속 합금을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 공진 주파수( $f_r$ )의 약간의 변경만으로 자화 자장 강도의 정해진 변화를 일으키는 합금을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 마커 공진기가 활성화 상태에서부터 불활성화 상태로 전환될 때 공진 주파수( $f_r$ )가 크게 변하는 합금을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 자기기계식 감시 시스템용 마커에 통합되는 경우에 하모닉 감시 시스템 내의 경보를 트리거링하지 않는 합금을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 자기기계식 감시 시스템에 사용하기 적합한 공진기를 사용하는 마커와 마커를 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 비정질 자기 변형 합금으로 이루어진 공진기를 가진 마커로 작동가능한 자기기계식 전자기기 감시 시스템을 제공하는 것이다.

상술한 목적은 공진기, 이런 공진기를 구현하는 마커와 이런 마커를 사용하는 자기기계식 전자기기 감시 시스템으로 성취되며, 여기서 공진기는 비정질 자기 변형 합금이고, 미세 도메인 구조가 약  $40\mu\text{m}$  이하의 폭을 가진 도메인으로 형성되고 이방성이 유도되고 리본 축선에 대해서 수직이고 리본 평면에 대해서 5 내지  $90^\circ$ 로 리본 평면을 벗어나 지향되는 방식으로, 원료 비정질 자기 변형 합금을 어닐링한다. 이방성 각도에 대한 보다 낮은 경계(lower bound)는 와류 전류 손실을 감소하는데 필요한 도메인 구조의 바람직한 개량을 달성하는데 필요하고, 신호 진폭을 개선하여 마커를 사용해서 전자기기 감시 시스템의 성능을 개선한다.

이것은 예를 들어 본 발명의 실시예에서 달성될 수 있으며, 여기서 결정체를 리본 또는 스트립의 상부면 및 바닥면으로부터 각 표면에서 스트립 또는 리본 두께의 약 10%의 깊이까지 도입하며, 그 결과로 리본 축선에 수직이고 리본 평면에 수직인 이방성을 만든다. 그러므로, 여기에 사용한 바와 같이 "비정질"(공진기에 대한 경우)은 약 80% 비정질(공진기를 단면으로 볼 때)의 최소값을 의미한다. 다른 실시예에서, 포화 자장은 리본 평면에 수직으로 적용되므로 자화는 어닐링 동안 그 자장에 평행하게 정렬된다. 양 처리는 미세 도메인 구조, 리본 평면에 수직인 이방성 및 거의 선형 히스테리시스 곡선을 야기한다. 여기서 사용한 "거의 선형"은 히스테리시스 곡선의 중심에 작은 비선형 개구를 여전히 나타낼 수 있는 가능성을 포함한다. 이런 약간의 비선형 곡선은 종래의 마커와 비교해서 하모닉 시스템내의 몇개의 오류 경보를 트리거할지라도, 나머지 비선형성을 실제상으로 제거하는 것이 바람직하다.

그러므로, 유도된 이방성 축선이 리본 평면에 대해서  $90^\circ$ 이하의 각도에 있는 방식으로 어닐링이 행해지는 것이 바람직한데, 이는 거의 완전한 선형 곡선을 생성한다. 이런 "경사(oblique)" 이방성은 자기 어닐링 자장이 리본 폭을 가로지르는 추가적인 성분을 가지는 경우에 실현될 수 있다.

그러므로 상술한 목적은 적합하게, 자장이 리본 평면에 수직한 상당한 성분과, 리본 폭을 가로지르는 대략 20 Oe 이상의 성분, 및 리본 축선에 수직하게 배향되고 리본 평면으로부터의 성분을 갖는 자화 용이 축선을 유도하게 리본 축선을 따라서 있는 명목상으로 무시가능한 성분을 포함하도록, 리본 평면에 대해 각을 이루어 배향된 약 1000 Oe 이상의 자장에서 비정질 강자성 금속 합금을 어닐링하는 단계에 의해서 달성될 수 있다.

경사 자화 용이 축선은 예를 들어, 자장 방향을 따라서 그리고 리본 폭을 가로지르는 라인에 대해 약 10 내지  $80^\circ$ 의 각도로 자장을 배향시킬 수 있도록 충분히 높은 자장 강도를 가진 자장으로 어닐링함으로써 얻어질 수 있다. 그러나 이것은 통상적으로 약 10kOe 또는 그 이상의 매우 높은 자장 강도를 요구하므로, 이는 실현하기 어렵고 비용이 비싸다.

그러므로 상술한 목적을 달성하기 위한 양호한 방법은 어닐링 온도에서 비정질 합금의 포화 유도(가우스 단위)보다 낮은 강도(Oe 단위)를 가지는 자기 어닐링 자장을 인가하는 단계를 포함한다. 통상적으로 2kOe 내지 3kOe 강도의 자장을 리본 폭을 가로지르는 라인에 대해 약 60 내지  $89^\circ$ 의 각도로 적용한다. 이 자장은 어닐링 동안 자화 방향에 평행하고(통상적으로 이런 조정 자장 강도에 대한 자장 방향과 일치하지 않음) 리본 평면으로부터 적어도  $5-10^\circ$ 의 각도로 최종적으로 배향되고 동시에 리본 축선에 수직인 자화 용이 이방성 축선을 유도한다.

이런 방향과는 달리, 상술한 경사 이방성은 차례로 이방성 자장 강도  $H_k$ 에 의해서 특징지어지는 크기에 의해서 독립적으로 특징지어진다. 이미 상술한 바와 같이, 방향을 어닐링 동안 자장의 배향 및 강도에 의해 주로 설정한다. 이방성 자장 강도(크기)를 어닐링 온도-시간 프로파일과 합금 조성물의 조합에 의해 설정하며, 이방성 크기의 정도는 합금 조성물에 의해서 주로 변경(조정)되며, 그 다음 평균(공칭) 크기로부터의 변경은 어닐링 온도 및 시간 중 적어도 하나를 변경(조정)함으로써 공칭 값의  $\pm 40\%$ 내에서 달성가능하게 된다.

상술한 바와 같이 어닐링될 때, 합금 조성물에 대한 아래의 일반식은 전자 자기기계식 전자기기 감시 또는 식별 시스템내의 마커로서 사용하기 위한 적합한 성질을 가진 공진기를 제조한다.



상기 a,b,c,y,x, 및 z는 %이며, 상기 M은 C, P, Ge, Nb, Ta, Mo와 같은 하나 이상의 유리 형성 촉진 원소 및 하나 이상의 Cr 및 Mn과 같은 전이 금속 중 적어도 하나이며,

$a+b+c+x+y+z=100$ 이 되도록,

$15 < a < 75$ ;  $0 < b < 40$ ;  $0 \leq c \leq 50$ ;  $15 < x+y+z < 25$ ; 및  $0 \leq z < 4$ 이다.

상세한 조성은 감시 시스템의 개별 요구 조건에 대해서 조정되어야 한다. 특별히 알맞은 조성물은 일반적으로 어닐링 온도에서 양호하게 약 1T(= 10kG) 이하인 포화 자화  $J_s$  및 약 350℃ 내지 약 450℃ 범위의 큐리 온도(Curie Temperature,  $T_C$ ) 중 적어도 하나를 나타낸다. 이들 제한값이 정해지면, 보다 적절하게 Fe, Co 및 Ni 함량을 예를 들어, 오누마(Ohnuma) 등은 Phys. Status Solidi(a) vol.44 pp. K151(1977)에서 "Low Coercivity and Zero Magnetostriction of Amorphous Fe-Co-Ni System Alloys"에 의해 주어진 데이터로부터 선택할 수 있다. 이렇게 해서, 누구나 마음대로, 제각기  $x+y+z$ 의 합을 증가 또는 감소시킴으로써  $J_s$  및  $T_C$ 를 감소 또는 증가시킬 수 있다. 적합하게, 이들 조성물은 일반적으로 선택되고, 자장내에서 어닐링될 때 약 13 Oe보다 적은 이방성 자장을 가진다.

시장에서의 한 주요 전자기기 감시 시스템을 위해서, 본 발명의 바람직한 목적은 상술한 식에 아래의 범위를 적용함으로써 특히 우수한 방법으로 실현될 수 있다.

$15 < a < 30$ ;  $10 < b < 30$ ;  $20 \leq c \leq 50$ ;  $15 < x+y+z < 25$ ; 및  $0 \leq z < 4$ 이고 특히 바람직하게는  $15 < a < 27$ ;  $10 < b < 20$ ;  $30 \leq c \leq 50$ ;  $15 < x+y+z < 20$ ;  $0 < x < 6$ ;  $10 < y < 20$ ; 및  $0 \leq z < 3$ 이다.

EAS 시스템에 대한 특별히 알맞은 합금의 예는 예를 들어,  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$ ,  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{43}\text{Si}_1\text{B}_{16}$ ,  $\text{Fe}_{23}\text{Co}_{15}\text{Ni}_{45}\text{Si}_1\text{B}_{16}$ 과 같은 조성, 약 5ppm 내지 약 15ppm사이의 포화 자기 변형 및 상술한 바와 같이 어닐링될 때의 약 8 내지 10 Oe의 이방성 자장 중 적어도 하나를 가진다. 이들 예들은 특히 자화 자장 강도의 변화에 대한 공진 주파수  $f_r$ 의 비교적으로 약간의 변화만을 나타내며, 즉  $|df_r/dH| < 700 \text{ Hz/Oe}$ 를 나타내지만, 동시에 마커 공진기가 활성화 상태로 부터 불활성화 상태로 전환될 때 적어도 약 1.4kHz 만큼 공진 주파수  $f_r$ 는 크게 변한다. 양호한 실시예에서, 이런 공진기 리본은 약 30  $\mu\text{m}$  이하의 두께, 35mm 내지 40mm의 길이와 약 13mm 이하, 양호하게 약 4mm 내지 8mm 사이, 예를 들어 6mm의 폭을 가진다.

전자 식별 시스템 또는 자장 센서와 같은 다른 적용분야에는 바이어스 자장에 대해 공진 주파수의 높은 민감성을 더욱더 요구하며, 이런 경우에  $|df_r/dH| > 1000 \text{ Hz/Oe}$ 의 높은 값을 요구한다. 이 경우에 대해서 특별히 알맞은 조성물 예는  $\text{Fe}_{62}\text{Ni}_{20}\text{Si}_2\text{B}_{16}$ ,  $\text{Fe}_{40}\text{Co}_2\text{Ni}_{40}\text{Si}_5\text{B}_{13}$ ,  $\text{Fe}_{37}\text{Co}_5\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  또는  $\text{Fe}_{32}\text{Co}_{10}\text{Ni}_{40}\text{Si}_1\text{B}_{16}$ 과 같은 조성, 약 15ppm보다 큰 포화 자기 변형 및 상술한 바와 같이 어닐링될 때의 약 2 내지 8 Oe의 이방성 자장 중 적어도 하나를 가진다.

추가로, 여기서 기술한 열처리에 의해서 와류 전류 손실의 감소는 비 자기 탄성 적용분야에 이익이 될 수 있으며, 예를 들어 DC 전류에 의해 발생된 예비-자화로 작동되는 토로이드형으로 감겨진 코어내에 사용될 때, 제로에 가까운 자기 변형의 Co계 합금(near-zero magnetostrictive Co-based alloy)의 성능을 향상시킬 수 있다.

## 실시예

### 합금 준비

Fe-Co-Ni-Si-B 시스템 내의 비정질 합금은 용융물을 급냉시킴으로써 대략 25 $\mu\text{m}$  두께의 얇은 리본으로서 준비되었다. 표 1은 조사된 조성물 및 그들의 기본 재료 인자의 전형적인 예를 나타내고 있다. 모든 주조물은 상용되는 원료를 사용하

여 적어도 3kg의 주괴로부터 준비되었다. 실험에 사용된 리본은 6mm의 폭을 가지며, 최종 넓이로 직접 주조되거나 보다 넓은 리본으로부터 쪼개어졌다. 리본은 강하고 단단하며 연성이 있으며, 광택나는 상부면 및 다소 광택이 떨어지는 바닥면을 갖추고 있다.

[표 1]

합금 Nr	원자 구성량(원자%)					자기적 성질		
	Fe	Co	Ni	Si	B	$J_s$ (Tesla)	$\lambda_s$ (ppm)	$T_c$ (°C)
1	24	30	26	8.5	11.5	0.99	13.0	470
2	24	18	40	2	16	0.95	11.7	415
3	24	16	43	1	16	0.93	11.1	410
4	22	15	45	2	16	0.87	10.1	400
5	32	10	40	2	16	1.02	16.7	420
6	37	5	40	2	16	1.07	18.7	425
7	40	2	40	5	13	1.03	18.9	400
8	37.5	15	30	1	16.5	1.23	22.1	
9	34	48	-	2	16	1.52	27.3	

조사된 조성물 및 그들의 자성의 예로서,  $J_s$ 는 포화 자화이며,  $\lambda_s$ 는 포화 자기변형 상수이며, 그리고  $T_c$ 는 큐리 온도이다. 합금 8 및 9의 큐리 온도는 이들 샘플들의 결정 온도( $\approx 440^\circ\text{C}$ ) 보다 높기 때문에 측정될 수 없다.

#### 어닐링

리본은 적어도 500 Oe의 자장이 리본에 가해지는 오븐을 통해 하나의 릴로부터 다른 릴(선택적으로 플로어)로 합금 리본을 이송함으로써 연속 형태로 어닐링되었다. 자장의 방향은 항상 기다란 리본의 축선에 수직하며, 리본 평면에 대한 그의 각도는 약  $0^\circ$ (수평한 자장-어닐링, 즉 리본 폭을 가로질러)로부터 약  $90^\circ$ (수직한 자장-어닐링, 즉 리본 평면에 거의 수직한)까지 변화된다. 어닐링은 대기 환경에서 수행되었다.

어닐링 온도는 약 300 내지  $420^\circ\text{C}$ 로 변화되었다. 어닐링 온도의 하부 경계는 약  $250^\circ\text{C}$ 인데, 이는 제품 고유 응력 부분을 경감하는데, 그리고 자기 이방성을 유도하기 위해 충분한 열에너지를 제공하는데 필수적이다. 어닐링 온도의 상부 경계는 큐리 온도 및 결정화 온도로부터 기인한다. 어닐링 온도의 또다른 상부 경계는 리본이 열처리 후에 짧은 스트립으로 절단 되기에 충분한 연성을 갖는 요구로부터 기인한다. 최고 어닐링 온도는 바람직하게는 상기 재료 특성 온도의 최저 온도 보다 낮은 것이 바람직하다. 따라서, 일반적으로 어닐링 온도의 상부 경계는  $420^\circ\text{C}$  부근이다.

리본이 이들 온도에서 처리되는 시간은 어닐링 속도를 변화시킴으로써 수초 내지 1/2분까지 변화되었다. 비교적 짧은 오븐을 사용했던 본 실험에서 약 0.5m/분 내지 2m/분 범위의 어닐링 속도는 단지 약 10 내지 20cm의 고온 영역에서 사용되었다. 그렇지만, 1m 내지 2m까지 오븐 길이를 증가시킴으로써 적어도 20m/분까지 현저하게 증가될 수 있다.

리본은 오븐을 통해 직선 경로로 이송되었고, 자장에 의해 리본 상에 가해진 힘 및 토크에 의해 리본이 굽혀지거나 휘어지는 것을 방지하기 위해 신장된 어닐링 고정물에 의해 지지되었다.

첫 번째 실험에서, 어닐링을 위한 자장을 형성하기 위해 전자석이 사용되었다. 자극편(pole shoe)은 100mm의 직경을 가지며, 약 45mm의 거리로 이격되어 있다. 이러한 방식으로, 약 15 kOe까지의 균일한 자장이 약 70mm의 길이 상에 형성될 수 있었다. 노는 장방형(230mm의 길이, 45mm의 폭, 70mm의 높이)이다. 가열선은 가열 전류에 의해 리본 축선을 따라 자장이 발생되는 것을 방지하기 위해 실모양으로 권취되었다. 원통형 어닐링 고정물(300mm의 길이, 15mm의 직경)은 스테인레스강으로 제조되었으며, 리본을 안내하기 위한 장방형 슬롯(6×7mm)을 가졌다. 균일한 온도 영역은 약 100mm 였다. 가해진 자장이 어닐링 고정물의 종방향 축선에 수직하고 또한 가해진 자장이 여전히 존재하는 동안 리본이 냉각되도록, 오븐은 자석 내에 배치된다. 고정물의 축선 둘레로 고정물을 회전시킴으로써, 리본 평면은 인가된 자장에 대해 소정의 각도로 배치되는 동시에 리본 축선에 수직하게 위치될 수 있다. 본 실험에 의해, 자성 및 자기탄성에 대한 인가된 어닐링 자장의 강도 및 각도의 영향이 밝혀졌다.



두 번째 실험에서, 자장은 FeNdB 자석 및 자석 강철로 제조된 요크(yoke)에 의해 형성되었다. 이러한 요크는 약 400mm의 길이를 가지며, 약 100mm의 공기갭을 가진다. 요크의 중앙에서 형성된 자장의 강도는 약 2 kOe였다. 이때, 노는 원통형(110mm의 직경, 400mm의 길이)이다. 가열 전류에 의해 발생한 상당한 자장의 손실을 보상하도록 광물 절연선(mineral insulated wire)이 가열선으로서 사용되었다. 가열선은 약 200mm의 균일한 고온 영역을 제공하기 위해 300mm의 길이로 권취되었다. 이때, 어닐링 고정물은 장방향의 형태를 갖는다. 다시, 가해진 자장이 어닐링 고정물의 종방향 축선에 수직하고 또한 리본이 가열되는 동안 리본이 자장에 영향을 받도록, 오븐은 자석 내에 위치된다. 리본을 인가된 자장에 대해 소정의 각도로 회전시키기 위해 어닐링 고정물은 다시 종방향 축선 둘레로 회전되는데, 이는 리본 축선에 수직한다. 두 번째 구성은 전자석 구성보다 제조하기에 더 적절하다. 특히, 균일한 자장 영역은 적절하게 긴 자석 요크에 의해 보다 길게 제조될 수 있으며, 보다 긴 노가 사용될 수도 있도록 수 미터의 길이를 가질 수 있는데, 이는 어닐링 공정의 속도를 현저하게 증가시킨다.

## 시험

어닐링된 리본은 대략 38mm의 길이의 단편으로 절단되었다. 이들 샘플은 히스테리시스 곡선 및 자기탄성 특성을 측정하기 위해 사용되었다.

히스테리시스 곡선은 약 30 Oe 피크 진폭의 사인과 영역에서 60Hz의 주파수에서 측정되었다. 이방성 자장은 자장( $H_K$ )으로 정의되는데, 여기서 자화가 포화값에 도달하게 된다(도 3a와 비교). 리본 폭을 가로지르는 자화 용이 축선에 대해, 횡방향 이방성 자장은 이방성 상수( $K_U$ )와 관계되며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$H_K = 2K_U / J_S$$

여기서,  $J_S$ 는 포화 자화이며,  $K_U$ 는 자화 벡터를 자화 용이 축선에 평행한 방향으로부터 용이 축선에 수직한 방향으로 회전시키기 위해 단위 체적 당 요구되는 에너지이다.

공진 주파수( $f_r$ ) 및 공진 진폭( $A_1$ )과 같은 자기공진 특성은 약 18 mOe의 피크 진폭을 갖는 공진 주파수에서 오실레이팅하는 작은 교류 자장의 톤버스트(tone burst)로 종방향 공명 진동을 여기시킴으로써 리본 축선에 따른 중첩 dc 바이어스 자장( $H$ )의 함수로써 결정되었다. 버스트의 주기는 약 16ms이며, 버스트들 사이에 약 18ms의 단절을 갖는다.

신장형 스트립의 종방향 기계적 진동의 공진 주파수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_r = \frac{1}{2L} \sqrt{E_H / \rho}$$

여기서,  $L$ 은 샘플 길이이며,  $E_H$ 는 바이어스 자장( $H$ )에서의 영률이며, 그리고  $\rho$ 는 질량밀도이다. 38mm 길이의 샘플에 대해, 공진 주파수는 일반적으로 바이어스 자장 강도에 따라 약 50 내지 60 kHz의 사이에 있다.

자기탄성 상호작용을 통한 기계적 진동과 관련된 기계적 응력은 바이어스 자장( $H$ )에 의해 결정된 평균 자화값( $J_H$ ) 부근에서의 자화( $J$ )의 주기적인 변화를 발생시킨다. 관련된 자속의 변화는 리본 둘레에 약 100회 감겨진 픽업 코일에서 측정되었다.

EAS 시스템에서, 마커의 자기공명 응답은 톤버스트들 사이에서 검출되는데, 이는 노이즈 레벨을 감소시키며, 예컨대 보다 넓은 게이트를 허용한다. 신호는 여기 후에, 즉 톤버스트가 종료될 때 지수적으로 감쇠한다. 감쇠 시간은 합금 조성 및 가열 처리에 의존하며, 약 수백 마이크로초 내지 수 밀리초의 범위를 가질 수도 있다. 약 1ms 이상의 충분히 긴 감쇠 시간은 톤버스트 사이에서 충분한 신호 검출을 제공하기 위해 중요하다.

따라서, 유도된 공진 신호 진폭은 여기 후에 약 1ms로 측정되었다. 이러한 공진 신호 진폭은 이하에서는  $A_1$ ,  $A$ 로서 언급될 것이다. 여기서 측정된 고진폭( $A_1$ )은 양호한 자기공명 응답을 나타냄과 동시에 낮은 신호 감쇠를 나타낸다.

소정의 특정한 샘플에 대해, 이미지 처리기 및 관찰용 개구가 형성된 솔레노이드가 장착된 케르 마이크로스코프(Kerr microscope)를 사용하여 도메인 구조가 연구되었다. 이러한 도메인은 리본의 광택나는 상부면 상에서 관찰되었다.

### 물리적 배경

도 1a 및 도 1b는 리본 폭을 가로질러 단축 이방성을 형성하는 횡방향 자장-어닐링을 행한 후에 수득된 전형적인 슬라브형 도메인 구조를 도시하고 있다. 도 2a 및 도 2b는 15 kOe의 수직한 자장에서 동일한 샘플을 어닐링한 후 수득된 리본 평면에 수직한 단축 이방성을 형성하는, 폐쇄 도메인을 갖는 줄무늬형 도메인 구조를 도시하고 있다.

이러한 도메인은 샘플의 표면에서 자석 폴로부터 발생하는 정자기 표유 자장 에너지(magnetostatic stray field energy)를 감소시키기 위해 형성된다. 비정질 리본의 두께는 일반적으로 대략 20 내지 30 $\mu\text{m}$ 이며, 따라서 일반적으로 수 밀리미터 이상인 리본 폭 보다 훨씬 작다. 따라서, 리본 평면에 수직한 자기소거 인자는 리본 폭을 가로질러 훨씬 크다. 결과적으로, 자화 용이 축선이 리본 평면에 수직할 때, 리본 폭을 가로지르는 용이 축선과 비교하여 정자기 표유 자장 에너지를 감소시키기 위해, 보다 큰 자기소거 인자는 보다 미세한 도메인 구조를 요구한다. 수직한 이방성인 경우의 도메인 폭은 일반적으로 10 $\mu\text{m}$  이하로서, 일반적으로 약 100 $\mu\text{m}$ 인 횡방향 이방성인 경우의 도메인 폭과 비교하여 훨씬 작다.

이들 예들에 대한 도메인 폭은 영국 옥스포드 페가몬드의 란다우(Landau) 등이 발표한 "연속적인 매체의 전자역학(Electrodynamics of Continuous Media)"의 7장(1981)에 개시된 하기의 식에 의해 명료하게 표현될 수 있다.

$$w = \sqrt{\frac{2\gamma_w D}{K_u}} \quad (1)$$

여기서,  $\gamma_w$ 는 도메인 벽의 에너지이고,  $K_u = H_K J_S / 2$ 는 이방성 상수이며, 그리고 D는 샘플의 치수인데 상기 샘플을 따라 자화 용이 축선에 배향된다. 즉, D는 평면 횡방향 이방성에 대한 리본 폭과 동일한 반면, 리본 평면에 수직한 자화 용이 축선에 대해서 D는 리본 두께에 대응한다.

도 3a 및 도 3b는 도 1a, 도 1b, 도 2a, 및 도 2b에 도시된 도메인 구조와 관련된 히스테리시스 곡선을 비교한다. 횡방향 자장-어닐링 후에 수득된 곡선은 도 3a에 도시되어 있고, 샘플이 강자기적으로 포화되는 자장( $H_K$ )에서의 선형 거동을 도시하고 있다. 수직한 자장-어닐링 후에 수득된 곡선은 도 3b에 도시되어 있고, 또한 거의 선형인 거동을 도시하고 있다. 그러나,  $H=0$ 인 중앙의 개구에서는 여전히 작은 비선형이 나타나 있다. 이러한 비선형은 준비된 상태에서 EAS 분야에 사용된 종래기술의 재료보다 훨씬 적게 나타난다. 그럼에도 불구하고, AC 자장에 의해 여기될 때 여전히 고조파를 발생시킬 수도 있으며, 따라서 다른 형태의 EAS 시스템에서 바람직하지 못한 경보를 발생시킬 수도 있다.

자화 용이 축선의 두 개의 상이한 방향에 대한 도메인 크기의 차가 가장 명료하며, 전술한 바와 같이 여러 실험에서 개별적으로 확인되었다. 와류 전류 손실이 도메인 정화(domain refinement)에 의해 감소될 수 있다. 종래에는 이러한 도메인 정화에 의한 손실 감소는 자화 공정이 도메인 벽 변위(domain wall displacement)에 의해 제어되는 경우에만 적용될 수 있는 것으로 여겨졌다. 그렇지만, 이러한 경우 자화는 주로 리본 축선을 따라 가해진 자장을 향하는 자화 벡터의 회전에 의해 제어된다. 따라서, 상기한 Mermelstein 논문에 의해 증명된 바와 같이, 상기한 두 개의 경우는 와류 전류 손실에 관한 기본적인 메카니즘으로부터 동일한 값으로 관찰되었다. 그렇지만, 실제로 수직한 자장-어닐링 샘플의 손실은 종종 횡방향 자장-어닐링된 샘플보다 큰 것으로 공지되어 있는데, 이는 히스테리시스 곡선의 중앙에서의 비선형 오프닝에 기인한 추가 히스테리시스 손실과 관련된다. 후자는 예를 들어 불규칙한 "미로형(labyrinth)" 도메인 패턴과 관련된 폐쇄 도메인 내에서의 비역전 자화 공정(irreversible magnetization process)에 관련된다.

대조적으로, 본 발명은 수직한 자장-어닐링 샘플 내에서 볼 수 있는 정제된 도메인 구조는 히스테리시스 손실이 보다 적고 자기 공명 거동이 보다 양호한 장점을 갖는다는 인식으로부터 진행된다. 이는, 스트립이 리본 방향을 따른 AC 자장에 의해 여기될 때 스트립이 리본 방향을 따른 정자장에 의해 바이어스되는 상황이 고려된다면 특히 정확하다. 이러한 상황은 정확하게 EAS 시스템 또는 예를 들어 ISDN 분야에서의 인버터 변압기에 사용되는 활성화된 자기탄성 마커에서의 상황이다.



이러한 개선을 위한 물리적 메카니즘은 횡방향 자장-어닐링된 샘플에 대해 수행된 본 발명의 초기 관찰로부터 유추될 수 있다[Herzer G의 "Magnetomechanical damping in amorphous ribbons with uniaxial anisotropy"(Materials Science and Engineering, vol. A226-228의 페이지 631 내지 635(1997)) 참조]. 따라서, 횡방향으로 유도된 이방성을 갖는 비정질 리본에서의 와류 전류 손실은 지금까지 통상적으로 신뢰되었던 다음과 같은 식으로 나타낼 수 없으며,

$$P_e^{class} = \frac{(\pi f B)^2}{6 \rho_d} \quad (2a)$$

대신에, 다음과 같은 식으로 표시되어야 한다.

$$P_e = \frac{P_e^{class}}{1 - (J_x / J_s)^2} \quad (2b)$$

여기서,  $t$ 는 리본 두께이고,  $f$ 는 주파수이며,  $B$ 는 ac 유도 진폭이며,  $\rho_{el}$ 은 전기저항율이며,  $J_x$ 는 정자기 바이어스 자장에 기인한 리본 축선에 따른 자화 벡터의 성분이며, 그리고  $J_s$ 는 포화 자화이다.

영이 아닌 바이어스 자장(즉,  $J_x > 0$ )에 대해, 식 2b에서의 분모가 1보다 작기 때문에, 이 식에 의해 표시된 손실은 특히 리본 방향을 따는 자화가 포화(즉,  $J_x \approx J_s$ )에 도달할 때 전형적인 와류 전류 손실( $P_e^{class}$ )보다 크다. 단지 손실 측정이 통상적으로 수행되는 제로 정자장에서, 이들 양 모델은 동일한 결과를 산출한다. 후자는 횡방향 이방성과 관련된 과도한 와류 전류가 왜 바람직하지 못한지에 대한 이유일 수도 있다.

식 2b에서의 분모는 인가된 자장의 방향에 수직한 단축 이방성을 갖는 재료에서 자화 공정은 자화 벡터의 회전에 의해 조절된다는 사실에 관련된다. 따라서, 도메인 내에서, 리본 방향에 따른 자화의 변화는 이러한 방향에 수직한 자화의 변화에 의해 불가피하게 동반된다. 후자는 자화 벡터의 평형 위치가 정자기 바이어스 자장에 의해 리본 축선을 향해 점점 더 경사지게 하는 과도한 와류 전류 손실을 발생시킨다.

상기한 Herzer 논문에 개시된 바와 같이, 이들 과도한 손실의 한 결과는 자기기계식 댐핑이 종래의 이론에 의해 예상되는 것보다 훨씬 크다는 점이다[비교, Bozorth, Ferromagnetism (d. van Nostrand Company, Princeton, New Jersey) ch. 13, p 684 ff(1951)]. 이러한 결과는 도 4에 도시되어 있는데, 도 4는 공진 주파수( $f_r$ ) 및 리본 폭을 가로지르는 횡방향 자장에서 종래 기술에 따라 어닐링된 비정질 스트립의 공진 신호 진폭( $A_1$ )을 도시하고 있다. 공진 신호 진폭은 인가되는 자장이 이방성 자장( $H_K$ )의 1/2을 초과할 때 현저하게 감소하며, 공진 주파수가 이방성 자장에 근접한 바이어스 자장에 있는 경우인 최소값을 통과하는 곳에서 인지가 가능한 신호가 존재하지 않는다.

결과적으로, 횡방향 이방성에 관련된 과도한 와류 전류는 가상의 등방성 재료에서 얻을 수 있는 유효 공명 자화율(effective resonant susceptibility)을 현저하게 제한한다.

#### 본 발명의 물리적 원리 및 실시예

본 출원의 발명자는 상기한 댐핑 메카니즘을 정확하게 기술하기 위해, 도메인 크기가 리본 두께보다 현저하게 크다고 가정하여야 함을 인식되었는데, 이러한 경우는 명백하게 횡방향 자장-어닐링된 샘플에서의 경우이다.

이러한 가정에 반대하여, 발명자는 미정의 도메인 크기의 경우에, 와류 전류 손실의 보다 정확한 기술은 다음과 같이 표시된다.

$$P_e = P_e^{\text{class}} \left[ 1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon}{1 - (J_r / J_s)^2} \right] \quad (3a)$$

여기서,

$$\varepsilon \approx \frac{w^2}{(w \cdot \cos \beta + t)^2} \quad (3b)$$

여기서,  $P_e^{\text{class}}$ 는 식 2b에서 정의된 전형적인 와류 전류 손실이며,  $w$ 는 도메인 폭이며,  $t$ 는 리본 두께이며, 그리고  $\beta$ 는 자화 용이 축선과 리본 평면 사이의 각(즉, 횡방향 이방성에 대해서는  $\beta=0$ , 수직인 이방성에 대해서는  $\beta=90^\circ$ )이다.

$\beta=0$  및  $w \gg t$ 에 있어서, 즉 횡방향 이방성에 있어서,  $\varepsilon=1$ 이며, 식 2b의 강화된 와류 전류 손실이 된다.

그렇지만, 매우 작은 도메인에 있어서, 즉  $w \ll t$ 에 있어서,  $\varepsilon \approx 0$ 이다. 이러한 경우, 와류 전류 손실은 식 2a의 전형적인 와류 전류 손실식으로 나타내며, 따라서, 바이어스 자장이 존재하는 경우에는 횡방향 자장-어닐링된 샘플에서의 손실 보다 훨씬 작다.

#### 수직 이방성

이러한 새롭고 놀라운 이론적 결과에 따르면, 보다 미세한 도메인 구조를 갖는 수직인 자장-어닐링된 재료는 낮은 와류 전류 댐핑에 관해 자기변형 분야에서 보다 효과적이며, 보다 높은 공명 자화율을 갖는 것으로 여겨진다.

이러한 이론과 일관되게, 샘플을 어닐링하였고, 이들의 자기탄성 특성을 연구하였다. 도 5는 이러한 수직하게 자장-어닐링된 시편의 공진 주파수 및 공진 진폭에 대한 일반적인 결과이다. 도시된 결과는 도 4에 도시된 실시예에서 사용된 것과 동일한 합금( $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$ ) 및 동일한 열조건에서 획득되었다. 약 2 kOe의 통상적인 횡방향 자장을 대신하여, 리본 평면에 대해 수직하게 배향되는 약 15 kOe의 강한 어닐링 자장을 인가하였다.

도 4 및 도 5의 비교는 양 샘플의 공진 주파수( $f_r$ )가 가장 비교가능한 방식으로 거동하더라도, 수직하게 어닐링된 샘플은 폭넓은 범위의 바이어스 자장에 대해 횡방향 어닐링된 샘플보다 더 큰 진폭을 나타낸다. 특히, 신호 진폭은 공진 주파수( $f_r$ )가 최소인 바이어스 자장에서 최대값에 근접한다. 후자는 공진 주파수가 마커의 핑거프린트(fingerprint)이기 때문에 EAS 시스템에 관한 마커의 분야에서 중요한 양태이다. 공진 주파수는 통상적으로 지구 자장과 관련된 바이어스 자장(H)의 변화 및 바이어스 자석 스트립의 산란 특성 중 적어도 하나에 기인한 변화에 영향을 받는다. 공진 주파수( $f_r$ )에서의 이들 편차는 작동 바이어스가 공진 주파수( $f_r$ )가 최소인 자장에 근접하도록 선택되는 경우에 최소가 된다는 점은 명백하다. 이러한 장점 이외에도, 또한 수직하게 어닐링된 샘플의 일반적으로 높은 신호 진폭은 EAS 시스템에서의 마커의 픽업(검지)율을 개선시키는 장점을 제공한다.

자기 공진 특성의 개선은 주로 수직인 이방성에 관련된 것이지, 이러한 이방성이 달성되는 기술이 필수적인 것이 아님을 이해해야 한다. 이러한 이방성을 발생시키는 또다른 방법은 표면의 부분적인 결정화이다[비교, Herzer 등의 "Surface Crystallization and Magnetic Properties in Amorphous Iron Rich Alloys"(J. Magn. Magn. Mat., vol. 62, p. 143-151 (1986))]. 따라서, 본 발명의 제 1 실시예는 횡방향 이방성 대신에 수직인 이방성을 달성함으로써 와류 전류 손실 및 자기 공진 특성 중 적어도 하나를 개선시키는 것에 관한 것이다. 이러한 수직 이방성의 중요한 특성 중 하나는 자석 및 자기탄성 특성이 리본 평면 내에서 등방성이라는 점을 또한 이해해야 한다. 횡방향 이방성 성분을 갖는 마커 또는 센서와는 달리, "순수(pure)" 수직 이방성을 갖는 샘플을 사용한 마커 또는 센서의 성능은 샘플이 거의 원형이거나 정방형의 형태를 갖는다

면 인가된 자장에 대한 배향에 보다 덜 민감하다. 따라서, 수직한 이방성을 갖는 비정질 스트립으로 제조된 이러한 새로운 형태의 "원형" 마커를 적용한 전자기기 감시 시스템은 일정하게 높은 검출 감도를 나타내어야 한다. 그럼에도 불구하고, 무엇보다도 종축선을 따라 작동하는 신장형 스트립이 특히 논의되었다. 수직한 자장-어닐링된 샘플의 히스테리시스 곡선은 거의 선형 특성을 나타내며, 따라서 자기 ac-자장에 의해 여기되는 경우 준비된 상태에 대한 비선형 히스테리시스 곡선 특성보다 작은 고조파를 발생시킨다. 그렇지만, 상기한 바와 같이 불규칙한 "미로형" 도메인 패턴과 관련된 곡선의 중앙에서 작은 비선형이 여전히 존재하는데, 고조파 EAS 시스템과의 비간섭이 엄격하게 요구되는 경우에 미로형 도메인 패턴이 단점이 될 수도 있다. 또한 수직한 이방성이 표면의 상기한 결정화에 의해 달성된다면 이러한 비선형은 또한 결함이 된다.

이러한 결함을 극복하기 위해서는 이러한 비선형이 수직하게 어닐링된 샘플에 대해 발견된 불규칙한 도메인 패턴에 관련된 것임을 이해해야 한다. 따라서, Grimm 등의 "Minimization of Eddy Current Losses in Metallic Glasses by Magnetic Field Heat Treatment"(Proceedings of the SMM 7 conference in Blackpool(Wolfson Centre for Magnetism Technology, Cardiff) p. 332~336, 1985)에서, 이러한 비선형을 제거하기 위한 일방법은 높은 자기변형을 갖는 샘플을 선택하는 것임을 개시하고 있다. Hubert 등은 자기변형 작용이 인가된 자장에 수직하게 배향된 폐쇄 도메인에 조력하여, 폐쇄 도메인 내에서의 자화 공정을 보다 덜 복잡하게 하고, 비선형 중앙 영역이 없는 히스테리시스 곡선을 형성함을 알아내었다. 실제로,  $\lambda_s \approx 29\text{ppm}$ 의 포화 자기변형(이는  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금의 포화 자기변형  $\lambda_s \approx 29\text{ppm}$  보다 현저하게 크다)을 갖는  $\text{Fe}_{53}\text{Ni}_{30}\text{Si}_1\text{B}_{16}$  비정질 합금으로 보고된 실험을 수행할 때, 히스테리시스 곡선의 비선형부는 제거될 수 있었다. 그렇지만, 유도된 이방성 자장이 실제로 동일하더라도,  $\text{Fe}_{53}\text{Ni}_{30}\text{Si}_1\text{B}_{16}$  합금은  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금보다 가해진 바이어스 자장의 함수로서의 공진 주파수에 훨씬 민감하게 의존한다. 예컨대 6 Oe의 바이어스 자장에서, 공진 주파수의 기울기  $[df_r/dH]$ 는  $\text{Fe}_{53}\text{Ni}_{30}\text{Si}_1\text{B}_{16}$  합금에 대해서는 약 1700 Hz/Oe인 반면,  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금에 대해서는 약 600 Hz/Oe의 기울기를 나타내었다. 비록 바이어스에 대한 공진 주파수의 고감도가 이러한 특성을 사용하도록 설계된 감시 시스템에 대해 유리하더라도, 정확한 공진 주파수의 값을 사용하여 주어진 바이어스에서 마커에 동일성을 제공하는 마커에 대하여 공지된 시스템에서는 명백하게 불리하다. 따라서, 높은 자기변형 합금을 선택함으로써 히스테리시스 곡선을 선형화하는 제안된 방법은 EAS 시스템에서는 적합하지 않다.

따라서, 히스테리시스 곡선의 상기한 비선형을 제거하는 동시에 정제된 도메인 구조와 관련된 강화된 자기공명 민감도를 유지하기 위한 보다 적절한 방법이 연구되었다. 먼저, 이러한 목적은 리본 축선에는 수직하지만 리본 평면에 대해 기울어진 상태, 즉  $0^\circ$  내지  $90^\circ$ (수평한 방향으로부터 수직한 방향)로 배향된 자화 용이 축선을 확정함으로써 달성될 수 있음을 이해해야 한다. 다음으로, 이러한 경사진 이방성을 달성하는 자장-어닐링 기술은 고안되어야 한다는 점이다. 이러한 목적을 위해, 리본 폭을 따라 또는 리본 평면에 수직하게 어닐링하는 동안 대응하는 방향으로 강자성으로 샘플을 포화시키기에 충분히 강하게 자장을 인가하는 종래 기술의 확립된 관행을 포기하는 것이 필수적이다.

#### 경사진 이방성

도 6a 및 도 6b는 본 발명에 따른 자장-어닐링 기술의 기본 원리를 도시하고 있다. 도 6a는 리본 단면적의 개략적인 도면로서, 어닐링하는 동안 인가된 자장의 방향 및 어닐링하는 동안 자화 벡터의 형성 방향을 도시하고 있다.

종래 기술의 원리와는 달리, 자화 벡터를 그의 방향을 따라 배향시키기에 충분히 강한 자장을 인가하지 않는 대신에, 자장 벡터 및 자화 벡터는 어닐링하는 동안 상이한 방향을 따라 각각 상이한 지점에서 가해졌다.

자화 벡터의 방향은 가해진 자장의 강도 및 방향에 의존한다. 이는 자화가 인가되는 자장에 평행하게 정렬할 때 수득되는 정자기 에너지와 그리고 평면에 수직한 큰 자기소거 인자(demagnetization factor)에 기인하여 평면 밖으로 자화를 배향시키는데 필수적인 정자기 표류 자장 에너지(magnetostatic stray field energy)의 균형에 의해 주로 결정된다. 단위 부피당 전체 에너지는 다음과 같은 식에 의해 표시된다.

$$\phi = -H \cdot J_s(T_a) \cdot (\sin\alpha \sin\beta + \cos\alpha \cos\beta) + \frac{J_s(T_a)^2}{2\mu_0} (N_z \sin^2 \beta + N_y \cos^2 \beta) \quad (4)$$

여기서, H는 강도이고,  $\alpha$ 는 어닐링하는 동안 인가되는 자장의 평면 외부로의 각도이며,  $J_s(T_a)$ 는 어닐링 온도( $T_a$ )에서의 자발적인 자화이고,  $\beta$ 는 자화 벡터의 평면 외부로의 각도이며,  $\mu_0$ 는 진공 투자율이고,  $N_{zz}$ 는 리본 평면에 수직한 자기소거 계수이며, 그리고  $N_{yy}$ 는 리본 폭을 가로지르는 자기소거 계수이다. 각( $\alpha$ ) 및 각( $\beta$ )은 리본 폭을 가로지르는 선, 및 자장 및 자화의 방향(또는 이방성 방향)에 평행한 선에 대해 각각 측정된다. 각( $\alpha$ ) 및 각( $\beta$ )에 대해 주어진 수치는 상기 방향들 사이의 최소각으로서 언급된다. 즉,  $85^\circ$ ,  $95^\circ (=180^\circ - 95^\circ)$  및  $355^\circ$  중 적어도 하나의 각도이다. 더욱이, 자장 및 자화 중 적어도 하나는 리본 축선을 따른 적절한 벡터 성분을 가지지 않아야 한다. 리본 또는 스트립 축선은 특성이 측정되는 방향, 즉 바이어스 자장 또는 여기 ac-자장이 필수적으로 작용하는 방향을 의미한다. 이는 바람직하게는 스트립의 보다 긴 축선이다. 따라서, 리본 폭을 가로지르는 방향은 스트립에 수직한 방향을 의미한다. 원칙적으로, 신장형 스트립은 또한 보다 폭넓은 리본으로부터 스트립을 쪼개거나 편칭함으로써 준비될 수도 있는데, 여기서 스트립의 장축선은 본래의 주조 방향에 의해 정해지는 축선에 대해 임의의 방향이다. 후자의 경우에, "리본 축선"은 스트립의 장축선을 의미하며, 주조 방향, 즉 리본 폭의 축선을 의미하는 것이 아니다. 본 발명에 있어서, 비록 스트립 또는 리본 축선이 주조 방향에 평행하더라도, 상기한 개조 또는 유사한 개조가 이루어질 수 있음은 당업자들은 이해할 것이다.

자화 벡터가 놓이게 되는 각( $\beta$ )은 각( $\beta$ )에 대한 에너지 공식을 최소화함으로써 얻을 수 있다.  $25\mu\text{m}$  두께의 비정질 리본에 대해 수치적 방법에 의해 얻어진 결과는 도 6b에 도시되어 있다. 자장이 수직하게 가해진 경우의 결과는 다음의 식으로 표시될 수 있다.

$$\beta = \begin{cases} \arcsin \frac{\mu_0 H}{J_s(T_a)} & \mu_0 H < J_s(T_a) \\ 90^\circ & \text{for } \mu_0 H \geq J_s(T_a) \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $N_{yy} \ll N_{zz} \approx 1$ 이다.

이러한 모델에서는 내부 이방성, 즉 내부 기계적 응력과 자기변형 상호 작용에 기인하여 필수적으로 약간의 보정을 필요로 함에 주목해야 한다. 이러한 내부 이방성을 해소하는데 필수적인 내부 자장은 도 6b에 도시된 상황에서의 자화 영향 보다 훨씬 작다.

얇은 비정질 리본에 대해, 리본 폭을 가로지르는 자기소거 계수는 단지 약  $N_{yy} \approx 0.004$ 이다[cf. Osborne의 "Demagnetizing Factors of the General Ellipsoid"(Physical Review B 67의 351페이지, 1945)]. 즉, 리본 폭을 가로지르는 자기소거 자장은 리본이 이러한 방향에서 완전히 자기소거될 때 가우스 단위로 포화 자화의 단지 0.004배이다. 따라서, 외부에서 가해진 자장이 약 40 Oe를 초과하는 경우, 예컨대 1 Tesla(10kG)의 포화 자화를 갖는 합금이 리본 폭을 가로질러 균일하게 자화될 수 있다. 그렇지만, 리본에 수직한 자기소거 계수는 1에 근접하는데, 즉  $N_{zz}=1$ 에 근접할 수 있다. 즉, 리본 평면에 수직하게 자화될 때, 수직한 방향에서의 자기소거 자장은 가우스 단위로 포화 자화와 거의 동일하다. 따라서, 포화 자화가 1 Tesla(10 kG)인 경우, 리본 평면에 수직한 자화를 배향시키기 위해서는 예컨대 약 10 kOe의 자장이 요구된다.

도 6b는 인가되는 어닐링 자장의 강도와 방향의 함수로서 어닐링하는 동안 자화 벡터의 계산된 각도를 도시하고 있다. 자장 강도(H)는 어닐링 온도에서 포화 자화 [ $J_s(T_a)$ ]에 수직하다. 도 7은 예로서 연구된  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금에 대한 포화 자화의 온도 의존성을 도시하고 있다.  $J_s=0.95\text{T}$ 의 상온값과 비교하여, 자화는 약  $350^\circ\text{C}$ 의 어닐링 온도에서 예를 들어 약  $J_s=0.6\text{T}$ 로 감소된다. 이 값은 궁극적으로 어닐링하는 동안 상기한 자기소거 자장과 관련된다.

어닐링하는 동안 유도된 자화 용이 축선은 인가된 자장에 평행하지 않고, 어닐링하는 동안 자화 벡터의 방향에 평행하다는 점을 주목해야 한다. 즉, 도 6에 도시된 자화 각도( $\beta$ )는 어닐링한 후에 유도된 이방성 축선의 각도에 대응한다.

도 8은 경사진 이방성 축선에 대해 수득되는 도메인 구조를 도시하고 있다. 도 8a는 마이크로자기 연구로부터 예상되는 개략도이다. 수직한 이방성의 경우와 유사하게, 자화 벡터의 수직 성분으로부터 발생하는 정자기 에너지를 감소시키기 위해 폐쇄 도메인이 형성된다. 평면으로부터의 각도가 작은 경우에는 폐쇄 도메인이 없을 수도 있지만, 어떠한 경우에도 도메인 폭은 정자기 표유 자장 에너지(magnetostatic stray field energy)를 감소시키기 위해 감소된다.

도 8b에 도시된 특별한 예는 리본 평면에 대해 약  $\alpha=88^\circ$ 의 각도로 회전되는 3 kOe 자장에서  $350^\circ\text{C}$ 의 온도로 약 6초 동안 어닐링된  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금에 대한 것이다. 폭이 약  $12\mu\text{m}$ 인 매우 미세한 도메인, 즉 횡방향 자장 어닐링된 샘플의 슬라브형 도메인(도 1 참조)보다 현저하게 작은 도메인이 관찰된다. 도 6b에 도시된 자기-광학 대조는 도 8a에서의 폐쇄 도메인(A,B)에 각각 대응한다. 15 kOe의 수직한 자장에서 어닐링된 샘플에 대해 관찰된 "미로형" 도메인 패턴과 대조하여, 도메인들은 리본 폭을 가로질러 규칙적으로 배향된다.

3kOe의 인가된 자장 강도는  $T_a(J_s(360^\circ\text{C})) \approx 0.6\text{Tesla}=6\text{kG}$ , 즉  $\mu_0 H/J_s(T_a) \approx 0.5$ 의 어닐링 온도에서의 자화의 1/2(단위 : 가우스)이다. 따라서, 유도된 이방성의 평면 이탈 각도는 약  $30^\circ$ 로 측정될 수 있다(도 6b 비교).

도 9는 유사하게 어닐링된 샘플의 자기 공명 거동 및 히스테리시스 곡선을 도시한다. 도 9a에 도시된 바와 같이, 수직한 이방성인 경우에 존재하는 중앙 부분에서의 비선형 개구는 소멸되며, 히스테리시스 곡선은 횡방향 자장 어닐링된 샘플의 경우와 같은 직선형을 갖는다(도 3a 비교). 공진 신호 진폭은 수직한 경우(도 5 비교)보다 다소 작지만, 넓은 범위의 바이어스 자장에서 횡방향 자장 어닐링된 샘플(도 4 비교)보다는 현저하게 크다.

도 10은 상이한 자장 어닐링된 샘플의 자기기계적 댐핑 인자( $Q^{-1}$ )를 비교한다. 도 10은, 미세한 도메인 구조에 기인하여 수직 이방성에 유사하게, 경사진 이방성이 횡방향 이방성의 경우보다 상당히 작은 자기-기계적 댐핑을 유도한다는 것을 표시한다. 이러한 관찰은 신호 진폭에 대한 조사결과에서 일치한다.

#### 어닐링 자장 강도의 영향

보다 상세하게 조사결과를 증명하기 위해, 첫 번째 실험에서는 어닐링 자장 강도의 영향을 연구하였다. 어닐링 자장은 예를 들어  $90^\circ$ 에 근접한 각도로 리본 평면에 거의 수직하게 배향되었다. 그 결과는 도 11a, 11b, 11c, 12a, 및 12b에 도시되어 있다.

도 11a는 공진 진폭에 대한 어닐링 자장 강도의 영향을 도시한다. 도 11b는 리본 평면에 대한 이방성 각도( $\beta$ ) 및 도메인 크기의 변화를 도시하고 있다.

수직한 횡방향 자장 강도가 약 1.0 kOe, 즉 어닐링 온도에서의 포화 자화의 약 1/6 이상으로 증가되기 때문에, 도메인 크기는 횡방향 어닐링된 샘플에 대해 약  $100\mu\text{m}$ 로부터 대략 리본 두께 값으로 급격하게 감소된다. 이러한 도메인 크기의 감소는 자화 용이 축선의 비교적 작은 평면 이탈 성분만을 요구한다. 전술한 바와 같이, 이러한 도메인 정제는 자화 용이 축선을 따라가는 경향이 있는 자화 벡터의 평면 이탈 성분에 의해 유도된 정자기 표유 자장 에너지를 감소시킨다.

정자기 표유 자장 에너지의 감소는 도메인 벽을 형성하는데 또한 폐쇄 도메인을 형성하는데 요구되는 에너지에 의해 균형을 이루게 된다. 이러한 에너지 분포의 균형(cf. Kittel C., "physical Theory of Ferromagnetic Domains", Rev. Mod. Phys. vol. 21, p 541-583, 1949)에 의해, 진보적인 재료의 도메인 벽의 폭(w)은 다음과 같이 측정될 수 있다.

$$w \approx \sqrt{\frac{2\gamma_s t}{K_u \cdot (N_x \sin^2 \beta + N_y \cos^2 \beta)}}$$

(6)

여기서,  $\gamma_w$ 는 도메인 벽 에너지이고,  $t$ 는 리본 두께이며,  $K_u = H_K J_s / 2$ 는 이방성 상수이고,  $\beta$ 는 자화 벡터의 평면 이탈 각도이며,  $N_{zz}$ 는 리본 평면에 수직한 자기소거 계수이며, 그리고  $N_{yy}$ 는 리본 폭을 가로지르는 자기소거 계수이다. 도 11b에서의 실선은 상기 식에 의해 계산되었고, 자기-광학 연구에 의해 결정된 실험적인 도메인 크기를 양호하게 재생한다(도 11b의 정사각형).

도 11a, 11b, 및 11c에는 3개의 영역이 로마숫자 I, II, III로 도시되어 있다(I 과 II 사이의 경계선이 뚜렷하게 한정되지 않으며, 두 영역이 약 0.5 kOe에 의해 겹쳐질 수도 있다).

영역(I)에서, 수직한 어닐링 자장은 너무 취약하여, 도 1에 도시된 도메인과 비교하여 비교적 넓은 슬라브형 도메인을 형성하는 평면 이탈 이방성의 적절한 성분을 유도하지 못한다. 영역(I)은 또한  $H=0$ 에서 표시된 종래 기술에 따른 횡방향 자장 어닐링 기술을 포함한다. 이러한 낮은 자장 강도에서 수직한 자장 어닐링은 횡방향 자장 어닐링과 비교하여 공진 신호 진폭을 현저하게 개선시키지 못한다. 도메인 폭은 영역(I)에서 일반적으로 약  $40\mu\text{m}$  내지  $100\mu\text{m}$  이상의 범위를 가지며, 비교적 큰 산란에 영향을 받는다. 따라서, 횡방향으로 어닐링된 샘플에 있어서, 도메인 폭은 실제로 샘플의 자기 경위에 따라 약  $100\mu\text{m}$ (리본 축선을 따라 50Hz 자기소거된 후) 내지 수백  $\mu\text{m}$ (즉, 리본 방향에 수직하게 자기소거된 후 또는 어닐링된 상태에서) 사이에서 변한다. 이러한 "불안정한(unstable)" 도메인 폭은 또한 최대 약 1 kOe의 자장에서 보다 수직하게 배향되도록 관찰된다. 도 11b에 도시된 도메인 폭은 실제로 50Hz의 주파수로 리본 축선을 따라 샘플을 자기소거한 후에 수득된 도메인 폭이다. 이와 대조적으로, 영역(II) 및 영역(III)에서(즉, 보다 큰 수직 어닐링 자장에서) 관찰된 미세한 도메인 구조에 대한 도메인 폭은 샘플의 자기 이력(magnetic history)에 덜 민감하며 훨씬 안정하다.

영역(II)은 약 1 kOe 보다 크지만, 약 6 kOe, 즉 어닐링 온도에서의 포화 자화보다 훨씬 작다. 이는 약  $10^\circ$ 이상의 적절한 평면 이탈 이방성 각도를 형성하며, 도 8에 예시된 미세한 규칙적인 도메인 구조를 형성한다. 이러한 어닐링 영역에서의 도메인 크기는 약  $10\mu\text{m}$  내지  $30\mu\text{m}$ 이다. 공진 진폭의 현저한 개선은 약 1.5 kOe 이상의 어닐링 자장 강도, 즉 어닐링 온도에서의 포화 유도의 1/4에서 발견되는데, 여기서는 도메인 폭이 과도한 와류 전류 손실을 효율적으로 감소시키는 약  $25\mu\text{m}$ 의 리본 두께와 비교가능하거나 보다 작다. 자장 영역(II)은 실제로 본 발명의 바람직한 일실시예를 나타낸다.

마지막으로, 영역(III)에서, 어닐링 온도에서의 포화 자장보다 큰 자장 강도로 어닐링한 후, 보다 불규칙한 "미로형" 도메인 패턴이 관찰될 수 있는데, 이는 도 2에 예시된 수직 이방성의 특성이다. 도메인 폭은 이러한 영역에서 가장 작게 되는데, 즉 어닐링 자장 강도에 무관하게 약  $6\mu\text{m}$ 가 된다. 이러한 특별히 미세한 도메인 구조는 과도한 와류 전류 손실의 가장 효율적인 감소에 기인하여 특히 높은 자기공진 진폭을 발생시킨다. 본 발명의 다른 실시예는 비정질 리본을 어닐링함으로써 자기 탄성 공진기의 신호를 강화하는 것이다.

도 11c는 이방성 자장( $H_K$ )의 작용을 보여준다. 흥미롭게도 수직하게 어닐링된 리본의 이방성 자장은 횡방향 자장 어닐링된 리본 중의 하나보다 약 10% 더 작다. 이러한 차이는 많은 비교가능한 실험에서 증명된다. 상기 효과의 가장 가능한 출처는 자화 용이 축선이 리본 평면을 이탈할 때 형성되는 폐쇄 도메인에 관련된다. 폐쇄 도메인은 평행한 또는 비평행한 리본 축선을 따라 자화 성분이 나타난다. 리본 축선을 따라 자장으로 리본을 자화시킬 때, 상기 자장에 더욱 평행하게 배향된 도메인들은 크기가 용이하게 증대될 것이고, 상기 자장에 비평행한 도메인들은 축소될 것이다. 그러므로, 벌크 도메인들을 용이한 방향으로 회전시키기 위하여 필요한 에너지는 리본 축선에 수직한 자화 성분에 비교되는 리본에 평행한 자화 성분의 일부만큼 감소된다. 따라서 낮은 자장 강도( $H_K$ )는 리본을 강자성적으로 포화시키는 것이 요구된다. 그러므로 정량적으로 유효 이방성 자장은 다음과 같은 수식에 의하여 표현된다.

$$H_K = \frac{2K_u}{J_s} \cdot (1 - \frac{w}{2t} \sin \beta) \quad (7a)$$

여기서,  $K_u$ 는 유도된 이방성 상수이며,  $J_s$ 는 포화 자화이며,  $w$ 는 스트라이프 도메인들의 도메인 폭이며,  $t$ 는 리본 두께이며  $\beta$ 는 자화 용이 축선의 평면을 벗어나는 각도이다.  $K_u$ 는  $\beta=0$ , 즉  $K_u = H_K^{\text{trans}} J_s / 2$ 인 횡방향으로 어닐링된 샘플의 유효 이방성 자장( $H_K^{\text{trans}}$ )을 측정함으로써 실험적으로 얻을 수 있다. 리본 두께( $t$ )는 예를 들면 게이지 또는 다른 적당한 방법

에 의하여 결정될 수 있으며 도메인 폭(w)은 자기-광학 조사(magneto-optical investigation)으로부터 얻을 수 있다. 그러므로, 경사진 이방성을 구비한 주어진 리본, 이방성 각도( $\beta$ )는 리본의 측정( $H_K$ ) 및 다음 공식을 이용함으로써 결정될 수 있다.

$$\beta = \arcsin\left(\frac{2t}{w}\left(1 - \frac{H_t}{H_K^{trans.}}\right)\right) \quad (7b)$$

여기서  $H_K^{trans}$ 는 리본 폭을 가로지르는 횡방향 자장에서 동일한 열적 상태하에서 어닐링된 샘플의 이방성 자장이다. 도 11b에서의 삼각형상은 수학식(5)로 계산된 예상된 이방성 각도로 일치하는 소정의 이방성 각도를 나타내며, 나중의 결과는 도 11b에서의 점선에 의하여 표현된다.

도 12a 및 도 12b는 히스테리시스 곡선의 선형성에 어닐링 자장 변수의 효과가 요약된다. 도 12a는 상기 곡선의 중앙부의 확대도이며 횡적으로 경사지며 순수한 수직 이방성에 대한 통상적인 곡선 특성을 각각 보여준다. 도 12b는 샘플의 보자력에 의한 선형성을 계량한다. 상기 예들에서 거의 "완전한" 선형 거동은 약 80 mOe보다 작은 보자력들에 대응한다.

그러므로, 거의 완벽하게 선형인 곡선은 임의의 충분한 자장 강도에서 횡방향 자장 어닐링에 의하여 또는 적어도 약 1 kOe의, 그러나 어닐링 온도에서 거의 포화 자화 아래, 즉 본 예에서 약 6kOe 아래, 실질적으로 수직한 자장을 적용함으로써 얻을 수 있다.

#### 어닐링 각도의 영향(Influence of the annealing angle)

또 다른 세트의 실험에서 어닐링 자장의 각도의 영향이 조사되었다. 도 6에 도시된 바와 같이, 어닐링 공정동안 자장은 리본 폭을 가로지르는 라인과 자장의 방향 사이에서 측정된 각도( $\alpha$ )에서 적용된다. 명목적으로 리본 축선을 따르는 자장 성분은 없다. 상기 어닐링 실험의 결과는 도 13 및 도 14 및 표 2에 요약된다.

리본 평면에 대한 이방성 축의 각도  $\mu$ 에 대한 자장 방향과 리본 폭을 가로지르는 라인 사이의 자장 어닐링 각도( $\alpha$ ), 리본 평면에 대한 이방성 축선의 각도( $\beta$ ), 이방성 자장( $H_K$ ), 바이어스 자장( $H_{Amax}$ )과 도메인 구조에서의 최대 공진 진폭( $A1_{max}$ )의 효과에 대해 기술한다. 도메인 타입 I은 도 1에서 예증된 횡방향 슬랩 도메인(transverse slab domains)을 지칭하며, 타입 II는 도 8의 폐쇄 도메인 구조를 지칭한다. 도메인 폭은 어닐링된 상태에서 및 50Hz 주파수로 리본 길이를 따라 샘플의 자기를 소거한 후 결정되었다. 상기 예들은 3 kOe 강도의 자장내에서 350℃로 약 6초 동안 연속 모드에서 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금을 지칭한다.

**[표 2]**

Nr	$\alpha$	$\beta$	$H_K$ (Oe)	$H_{AMAX}$ (Oe)	$A1_{MAX}$ (mV)	도메인 타입	자기소거된 도메인 폭	어닐링된 도메인 폭
1	0	0	11.4	6.5	72	I	120	150-200
2	30	3	11.0	6.8	76	I(II?)	30	125
3	60	12	10.6	6.8	88	II	16	20
4	88	30	10.0	6.3	90	II	12	14

도 13a 및 13b는 다양한 자장 어닐링 강도에 대한 공진 신호 진폭에의 자장 어닐링 각도( $\alpha$ )의 효과를 증명한다. 약 1.5 kOe 이상의 자장 강도에 대해, 자장 어닐링 각도는 약 40°를 초과하고, 예를 들어  $\alpha$ 가 90°에 근접하는 경우와 같이 자장이 리본 평면에 실질적으로 수직인 경우에 최대값에 도달하기 때문에, 공명 자화율(resonant susceptibility)이 현저하게 개선된다.

또한 도 13a 및 도 13b는 종래 기술에 따른 횡방향( $0^\circ$ ) 자장 어닐링 처리가 적용될 때 자기-공진 특성(magneto-resonant properties)에는 어닐링 자장 강도가 거의 상당한 효과를 미치지 않는다는 것이 증명된다.

도 14는 선형의 히스테리시스 곡선을 조망하기 위하여 동일한 세트의 변수에 대해 보자력( $H_C$ )을 보여준다. 다시, 상기 예들에서 선형 거동은 약 80 mOe보다 작은 보자력에 대응한다. 완전한 선형 거동으로부터 실질적인 이탈은 10 및 15 kOe에서, 즉 어닐링 온도에서 자화보다 더 큰 자장에서 수직하게 어닐링된 샘플에서만 찾을 수 있다. 상기 높은 어닐링 자장에서의 선형성은 어닐링 자장 각도가 약  $70^\circ$  내지  $80^\circ$ 보다 작은 경우에 용이하게 개선된다.

선형 곡선 및 동시적으로 가장 높은 신호 진폭은 크고(10 - 15 kOe) 경사지게 배향된( $\alpha \approx 30^\circ - 70^\circ$ ) 자장에서 어닐링되는 상기 리본에서 찾을 수 있다. 이것은 본 발명의 또 다른 실시예이다.

약 1.5 kOe와 어닐링 온도에서의 포화 자화의 값(즉 상기 예에서 약 6 kOe)까지의 사이 범위내에서의 적절한 자장에 대해, 본 발명의 바람직한 일 실시예인 약  $60^\circ$  이상 약  $90^\circ$ 까지의 어닐링 각도를 의미하는 자장이 거의 수직하게 배향되는 경우 가장 좋은 신호 진폭이 도출된다.

다시, 공진 진폭은 도메인 구조에 밀접하게 관련되었다. 표 2에 주어진 예는, 적절한 자장 강도에 대해 공진 신호 진폭의 상당한 증가에 의하여 수반되는 어닐링 각도가  $60^\circ$ 를 초과할 때 도메인 구조물이 넓은 스트라이프 도메인으로부터 좁은 패쇄 도메인으로 변화한다는 것을 도시한다.

이 시점에서 각각 "거의 수직한" 또는 " $90^\circ$ 에 근접한"에 의하여 의미되는 것을 더욱 정확하게 형성하는 것이 중요하다. 상기 용어는 어닐링 각도가  $90^\circ$ 에 접근하여야 한다, 예를 들어 약  $80^\circ$  내지  $89^\circ$ 로 완벽한  $90^\circ$ 는 아니라는 것을 의미한다. 발명가의 이해는 엄격한 수학적 의미에서 리본 평면에 완전히 수직한 어닐링 자장을 배향하는 것을 회피하여야 한다는 것이다. 이것은 어닐링 온도에서 자화보다 더 작은 어닐링 자장의 경우에 대해, 즉 자화가 어닐링 공정 동안 상기 평면에 완전히 수직하게 배향되지 않았을 때에 대해 중요한 포인트이다. 물리적 배경은 후술되는 바와 같이 이해될 수 있다.

상기 평면에 수직한 하나의 벡터적 성분 및 리본 폭을 가로지르는 하나의 벡터적 성분을 구비한 경사진 이방성 축선이 요구된다. 따라서 자화는 어닐링 처리 공정동안 동일한 방식으로 배향되어야 한다.

첫번째, 자장은 평면에 완전히 수직하지만 자화 벡터를 평면으로부터 완전히 벗어나게 하기에는 충분하지 않은 강도로 적용된다고 가정하라. 그때 자화의 평면 성분은 리본 축선에 수직하지 않으며 리본 축선(t)을 따라 배향되는 경향이 있다. 한 가지 이유는 연속되는 리본을 따라 자기소거 인자가 리본 폭을 가로지르는 인자보다 작은 적어도 하나의 정도의 크기인 것이다. 또 다른 이유는 어닐링 공정동안 오븐을 통하여 리본을 수송하기 위하여 요구되는 상기 인장 응력은 리본 축선(양성 자기변형에 대해)을 따라 자화 용이 축선을 형성한다는 것이다. 마지막 결론으로서, 유도된 자화 용이 축선은 리본 축선을 따라, 즉 상기 평면에 수직한 하나의 벡터적 성분과 함께, 그러나 리본 폭을 가로지르는 대신 리본 축선을 따라 또 다른 벡터적 성분과 함께 경사지게 지향될 것이다. 이러한 길이방향 이방성 성분은 도메인 벽 변위의 강화된 기여를 야기하는 리본 축선을 따라 도메인을 정렬시키는 경향이 있다. 결론은 비선형 곡선 및 감소된 자기 탄성 반응이다.

본 발명자는 리본 평면이 어닐링 자장에 완전히 수직으로 놓이는데 중점을 둔 적정 어닐링 자장에서의 실험으로부터 상기 메카니즘을 인지하였다. 그 결과가 도 15a 및 도 15b에 도시되어 있으며 비선형 히스테리시스 곡선(non-linear hysteresis loop) 및 상기 실험에서 얻어진 불량 자기공진 반응(magneto-resonant response)을 도시하고 있다. 도메인 구조 조사는 리본의 상당 부분이 비선형 히스테리시스 곡선 및 감소된 공명 응답에 책임이 있는 리본 축선을 따라 배향된 도메인이라는 것을 나타낸다.

따라서, 필요한 것은 구동력인데, 이는 어닐링 중에 리본 폭을 가로질러 자화의 평면 성분을 배향한다. 가장 간단하지만, 가장 효과적인 달성 방식은 리본 평면의 법선을 자장 방향으로부터 약간 벗어나게 하는 것이다. 이는 자기장의 횡단 평면 성분( $H_y$ )을 생성하는데, 이는

$$H_y = H \cos \alpha \quad (8)$$

로 나타난다.

이러한 횡단 자장 성분( $H_y$ )은 어닐링 온도에서 자기탄성 이방성 자장 및 자기를 없애는 자장을 극복하기에 충분히 강해야 한다. 이는 리본 폭을 가로질러 최소 자장( $H_y^{\min}$ )이며, 이는



$$H_y^{\min} \approx N_{yy} J_S(T_a)/\mu_0 + 3\lambda_s(T_a)\sigma/J_S(T_a) \quad (9)$$

따라서, 어닐링 자장의 각도는 다음과 같다.

$$\alpha \leq \arccos H_y^{\min}/H \quad (10)$$

식(8) 내지(10)에서, H는 강도이며  $\alpha$ 는 어닐링 중에 인가된 자기장의 평면을 벗어난 각도이며,  $J_S(T_a)$ 는 어닐링 온도( $T_a$ )에서의 동시 자화이며,  $\lambda_s(T_a)$ 는 어닐링 온도( $T_a$ )에서 자기변형 상수이며,  $\mu_0$ 는 진공 투자율(vacuum permeability)이며,  $N_{yy}$ 는 리본 폭을 가로지르는 자기소거 계수이며,  $\sigma$ 는 리본에서의 인장 응력이다.

실험치의 일반적인 변수는  $T_a \approx 350^\circ\text{C}$ ,  $N_{yy} \approx 0.004$ ,  $J_S(T_a) \approx 0.6\text{T}$ ,  $\lambda_s(T_a) \approx 5\text{ ppm}$ , 및  $\sigma \approx 100\text{ MPa}$ 이다. 이는 횡 방향으로 극복되는  $H_y^{\min} \approx 55\text{ Oe}$ 의 최소 자장을 산출한다. 그러므로, 이는 2 kOe의 전체 어닐링 자장 강도에 대해 어닐링 각도가 대략  $88.5^\circ$  이하이어야 한다는 것을 의미한다.

실질적으로,  $90^\circ$ 부터의 소량 편차는 예를 들어, 자석의 자장 비동질 또는 불완전 조절로 인해 실험 설정에서 불완전에 의해 다소 자동적으로 발생된다.

더욱이,  $90^\circ$ 로부터의 소량 편차는 자기장이 리본 평면을 자장 라인에 평행한 위치로 배향하는 경향이 있기 때문에 자연스럽게 발생될 수도 있다. 도 16a 및 도 16b는 오븐 내에 리본(2)을 안내하도록 하는 기계식 어닐링 고정물(1)의 횡단면을 도시하고 있다. 고정물(1)의 개구(3)가 리본의 두께보다 더 두꺼우면, 리본(2)은 그외의 모든 것이 완전하게 조절된다 하더라도, 자기장의 토오크에 의해 자동적으로 경사질 것이다. 리본 평면과 자기장 사이의 최종 각도( $\alpha$ )는 개구의 폭(h)과 리본의 폭(b)에 의해 측정된다. 즉,

$$\alpha \approx \arccos h/b \quad (11)$$

대략  $h \approx 0.2\text{ mm}$ 의 비교적 좁은 개구 폭에 대해서도, 6mm 폭의 리본에 대한 최종 각도는 대략  $\alpha \approx 88^\circ$ 가 될 것이다.  $90^\circ$ 로부터의 편차는 리본 폭을 가로질러 자화의 평면내 성분을 배향하기 위해 충분히 높은 횡단 자장을 발생하기에 충분하다. 어닐링 고정물(1) 내의 개구(3)의 폭(h)은 리본 폭의 절반을 초과해서는 안된다. 바람직하게, 개구는 리본 폭의 대략 1/5 이상이 되어서는 안된다. 리본이 개구를 통해 자유롭게 이동하기 위해서는, 폭(h)이 바람직하게는 평균 리본 두께의 적어도 1.5배가 되어야 한다. 따라서, 거의 수직이라는 말은  $90^\circ$ 에 매우 근접한 배향을 의미하지만, 전술한 바와 같이 충분히 높은 횡단 자장을 발생하기 위해 몇도 정도 이격되어 있다. 또한 이는 때때로 "수직"이란 용어는 본 발명을 기술하는 명세서에서 그 자체로 이용될 때를 의미한다. 이는 특히 어닐링 온도에서 포화 자화 이하의 자장 강도의 경우에 특히 적용된다. 따라서, 도 16b에 도시된 실시예에서와 같이, 인가된 자장이 리본 평면에 완전히 수직인 어닐링 배열은 덜 적합하다.

전술한 대부분의 실시예에서, 리본 평면은 어닐링 고정물의 구조로 인해 자동적으로 완전한  $90^\circ$ 배향으로부터 다소 기울어진다.

전술한 어닐링 고정물은 로를 통해 리본을 안내하는데 필요하다. 이는 특히 리본 평면이 횡방향 자장-어닐링 처리를 초래하는 자장 라인에 평행하게 배향되는 것을 방지한다. 그러나, 어닐링 고정물의 또 다른 목적은 리본을 상기 리본 폭을 가로질러 구부러지도록 하는 것이다. 유럽 특허 출원 제 0 737 986호에 기술되어진 것처럼, 이러한 횡방향 구부러짐은 공진기 및 바이어스 자석의 인력으로 인해 자석기계식 댐핑을 방지하기 위해 중요하다. 이러한 형태의 어닐링 고정물은 도 17c 및 도 17d에 개략적으로 도시되어져 있다. 이러한 형태의 어닐링 고정물에서, 리본은 실질적으로 자기장의 토오크에 의해 거의 방향 전환되지 못한다. 그 결과, 이러한 구부러진 어닐링 고정물이 이용된다면, 리본 평면의 법선이 자장 방향으로부터 몇도 정도 이격되어져 있도록 어닐링 자장을 적절하게 배향시키는 것이 중요하다.

적절한 자장 강도에서 실질적인 사용을 위해 어닐링 중에 거의 수직의 자장이 인가되고, 그리고 자석공명 반응이 불량하거나 그 손실이 너무 큰 경우, 자장과 리본 법선 사이에서 몇 도만큼 배향을 변경시키는 것만이 필요하다. 이러한 법칙이 간단하다 하더라도, 가장 결정적이며 본 발명의 또 다른 바람직한 실시예를 나타낸다.

## 어닐링 설비의 실시예

실행중에 비교적 대용량으로 최고의 자기장을 발생하는 것은 기술적인 문제 및 비용과 관련되어 있다. 따라서, 용이하게 접근 가능하고 동시에 상당한 특성 증대를 산출하는 자장 강도에서 수직 자장-어닐링 방법을 수행하는 것이 바람직하다.

본 발명의 중요한 요소는 지금까지 알던 바와는 달리 자장 방향에 평행한 자화를 정렬시키는 자장 강도는 필수적이지는 않으며 적절한 자장이 매우 효율적이고 보다 적합할 수 있다.

자석 시스템에서 대략 8kOe에 이르는 자장 강도는 기술적으로 심각한 문제없이 달성될 수 있다. 이러한 고 자장 자석 요크는 대략 6cm에 이르는 간극 폭을 갖는 임의의 길이에 대해 실질적으로 조성될 수 있으며, 간극 내부로 오븐을 위치시키는 데 충분하다.

그러나, 이러한 고 자장 강도가 반드시 필요한 것은 아니다. 전술한 실험은 리본 평면에 대략 2 내지 3 kOe에서 거의 수직으로 배향된 자장을 인가하는 것이 소정의 특성 증대를 달성하기 위해 충분한 것 이상이 될 수 있음을 도시하고 있다. 이러한 자석 시스템은 대략 15cm까지 보다 넓은 간극 및 감소된 자석 비용으로 조성될 수 있는 장점을 갖는다.

상기 자석 시스템을 구비한 어닐링 설비를 조성하는 방법을 기술한 후에, 비교적 적절한 2kOe의 수직 자장으로 도전되는 실시예들이 기술되어질 것이다.

도 18은 영구 자석(7) 및 철 요크(8)를 일반적으로 포함하는 자석 시스템의 3차원 도면이다. 자석 사이의 간극(18) 내의 자기장은 점선을 따른 방향을 가지며 적어도 대략 2kOe의 강도를 갖는다. 자석은 예를 들어, 상표명 VACODYM 로 시판되는 FeNdB형 합금으로 제조되는 것이 바람직하다. 이러한 자석은 특히 센 것으로 알려져 있는데, 이는 소정의 자장 강도를 달성하기 위해 바람직하다.

도 19a에는 오븐(6)을 갖춘 자석 시스템(7, 8)의 횡단면을 도시하는데, 그 사이에서는 리본(4)이 어닐링 고정물(5)의 도움으로 자장 방향에 대하여 소정의 각도를 가지고 전송된다. 오븐(6)의 외부 쉘은 외부 온도가 대략 80 내지 100℃를 초과하지 않도록 단열되어야 한다.

도 19b는 자석 시스템(7, 8) 및 자석 내부의 오븐(6)의 종단면을 도시하고 있다. 리본(4)은 릴(1)로부터 공급되고, 모터에 의해 구동되는 롤(3)에 의해 오븐을 거쳐 전달되고 최종적으로 릴(2) 상에 감긴다. 어닐링 고정물(5)은 리본이 오븐을 통해 가능한 직선 방향으로 전달됨을 보장한다. 즉, "어닐링 인"되고 소정의 특성을 저하시키는 리본의 우발적이고 불균일한 벤딩 또는 꼬여짐이 없어야 한다.

리본은 고온 상태인 동안에는 자기장의 영향을 받아야 한다. 따라서, 자석 시스템(7, 8)은 오븐(6)과 대략 동일한 길이로, 바람직하게는 더 길어야 한다. 자기장에 의해 리본에 가해진 토오크 및 힘으로부터 발생하는 전술한 벤딩 또는 꼬여짐으로 인한 특성 저하를 방지하기 위해, 어닐링 고정물(5)은 자석 및 오븐 길이 중 적어도 하나만큼, 바람직하게는 더 길어야 한다. 더욱이, 리본 축선을 따른 기계식 인장강도는 오븐을 거쳐 직선 통로로 리본을 전달하는 것이 유용하다. 이러한 응력은 적어도 대략 10 Mpa, 바람직하게는 그 이상 즉, 대략 5 내지 200 Mpa이어야 한다. 그러나, 상당히 높은 응력 레벨에서 (소형 기계식 결합으로 발생하는) 리본 파괴의 가능성이 증가됨으로 인해, 응력은 대략 500 Mpa 를 초과해서는 안된다. 어닐링 중에 인가된 인장 응력은 또한 합금 조성에 따라, 응력 축에 평행 또는 수직인 소량의 자기 이방성을 포함한다. 이러한 소량 이방성은 자장 유도 이방성에 부가되며, 따라서 자기 및 자기-탄성에 영향을 미친다. 따라서, 인장 응력은 대략 +/- 20 Mpa내의 제어된 레벨로 유지되어야 한다.

전술한 어닐링 고정물은 자장에 대해 소정의 각도로 리본을 지지하는데 있어 중요하다. 강자성 리본은 리본 평면이 자장 라인에 평행하도록 자체 정렬되는 경향이 있다. 리본이 지지되지 않는다면, 자기장의 토오크는 리본의 평면을 자장 라인에 평행하게 전화시키는데, 이는 종래의 횡방향 자장 어닐링 공전을 초래한다.

도 17a 내지 도 17d는 어닐링 고정물의 횡단면의 상세도이다. 어닐링 고정물은 바람직하게 개별 상부 및 하부 부품에 의해 형성되며 상기 부품이 조립된 이후에 상기 부품 사이에 리본이 배치될 수 있다. 도 17a 및 도 17b에 주어진 실시예는 로를 통해 리본을 안내하기 위해서만 의도된 것이다. 전술한 바와 같이, 어닐링 고정물은 부가적으로 도 17c 및 도 17d에 각각 도시되어진 것과 같이 리본 폭을 가로질러 리본이 구부러지도록 하는데 이용될 수 있다. 상기 고정물들은 본 발명에 따른 어닐링 방법에 동일하게 적합하다. 후자의 형태인 어닐링 고정물에서, 리본은 실질적으로 자기장의 토오크에 의해 방향 전

환이 되지 않는다. 그 결과, 상기 구부러진 어닐링 고정물이 이용되면, 전술한 바와 같이 리본 평면의 법선이 자장 방향으로부터 몇 도 이격되도록 어닐링 자장을 적절하게 배향하도록 하는 것이 중요하며, 적정 어닐링 자장 강도에서 특히 중요하다.

도 17a 내지 도 17d에 다른 일부 어닐링 고정물이 테스트되며 보다 적합한 것으로 판명되었다. 자기장에 의해 가해진 힘 및 기계식 토오크로 인해 벤딩 또는 꼬여짐을 방지하기 위해, 고정물은 적어도 오븐(6) 길이가 되어야 하며, 바람직하게는 오븐 길이보다 더 길어야 하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

테스트된 어닐링 고정물은 세라믹 또는 스테인레스 스틸로 제조된다. 각각의 재료가 보다 적합한 것으로 나타났다. 두 가지 재료 모두는 강자성 거동을 단지 약하게 나타내거나 또는 보이지 않는다. 따라서, 자기장의 영역 내에서 처리하는 것이 용이하다. 즉, 고정물은 리본이 끊어지거나 또는 새로운 리본이 로딩될 때 필요로 할 수 있는 원위치에서 용이하게 조립 및 해체가 가능하다. 그러나, 이는 어닐링 고정물의 구성에 대한 강자성 재료의 적합성을 배제하지 않는다. 이러한 강자성 소자는 리본에 인가된 자기장 강도를 증가시키기 위한 일종의 요크로서 작동하는데, 이는 자석에 소요되는 비용을 감소시키는데 바람직하다.

간단하게, 도 19a 및 도 19b는 오븐(6)을 통해 전달되는 단일 리본만을 도시하고 있다. 그러나, 바람직한 실시예에서 어닐링 장치 시스템은 대응 공급 및 감김 릴을 구비한 적어도 제 2 레인을 가지고 있으며, 제 2 리본은 제 1 레인에서와 동일한 방식이나 독립적으로 오븐(6)을 통해 전달된다. 도 20a 및 20b는 두 개의 레인 시스템을 개략적으로 도시하고 있다. 두 개 또는 다수의 레인 시스템은 어닐링 용량을 강화시킨다. 바람직하게, 개별 레인은 다른 레인이 작동하는 동안 리본을 시스템 내부로 로딩할 수 있도록 충분한 공간을 갖게 배열되어야 한다. 이는 용량을 증강시키며, 특히 어닐링 중에 하나의 레인의 리본이 끊어지는 경우에 그러하다. 이러한 끊어짐은 다른 레인이 작동을 유지하는 동안 수리될 수 있다.

다수의 레인을 갖는 오븐에서, 개별 레인은 동일한 오븐으로 조립될 수 있으며, 대안적으로 각각의 개별 레인에 대해 보다 작은 직경의 오븐이 이용될 수 있다. 후자인 각각의 개별 레인은, 상이한 레인 내의 리본이 상이한 어닐링 온도를 필요로 할 때 바람직하다.

최대 공진 진폭에 대한 공진 주파수 또는 바이어스 자장 등의 자기 특성들은 합금 조성 및 열 처리 변수에 민감하게 의존한다. 다른 한 편으로는, 이러한 특성들은 이방성 자기장 또는 투자율 등의 이력현상 곡선의 특성에 밀접하게 상호관련되어져 있다. 따라서, 또 다른 개선점은 어닐링 중에 자기 특성의 온라인 제어를 제공하는 것이며, 도 21에 대략적으로 도시되어 있다. 이는 어닐링된 리본(4)을 감기 이전에 솔레노이드 및 센스 코일(20)을 거쳐 안내함으로써 실현될 수 있다. 솔레노이드는 자기 테스트 자장을 발생시키며, 재료의 반응은 센스 코일에 의해 기록된다. 이러한 방식으로, 자기 특성은 어닐링 중에 측정될 수 있으며 어닐링 속도, 어닐링 온도 및 리본을 따른 인장 응력 중 적어도 하나를 조절하는 제어 유닛(21)에 의해 소정의 수치로 보정된다. 리본 특성이 측정된 단면에 주의를 요하며, 리본은 가능한 인장응력이 가해져서는 안된다. 이는 자기압축을 거쳐 인장 응력이 기록되는 자기 특성에 영향을 미치기 때문이다. 이는 리본이 솔레노이드 및 센스 코일(20)에 유입되기 이전에 "데드 곡선(dead loop)"에 의해 달성될 수 있다. 따라서, 다수 레인을 갖는 오븐은 각각의 개별 레인의 어닐링 변수가 독립적으로 조절될 수 있도록 몇몇의 솔레노이드 센스 코일(20)을 갖는다.

어닐링 시스템의 바람직한 실시예에서, 자기장은 대략 2 내지 3 kOe이며, 리본 평면에 대해 대략 60°내지 89°로 배향된다. 바람직하게 자석 시스템(7,8) 및 오븐(6)은 적어도 대략 1m이며, 바람직하게는 더 길며, 대략 5-50 m/min의 고속의 어닐링 속도를 허용한다.

#### 또 다른 실시예

또 다른 실험이 어닐링 온도에서 재료의 포화 자화 이하의 비교적 적절한 강도의 자기장에서 리본을 어닐링되며, 리본 폭을 가로지른 라인에 대해 대략 60°및 89°사이의 각도에서 보다 정확하게 리본 평면에 수직으로 배향되는 본 발명의 바람직한 일실시예에서 보다 상세히 테스트된다.

하기에 기술된 특정 실시예에 대해, 전술된 바와 같이 영구 자석 시스템에 의해 생성된 대략 2 kOe의 자장 강도가 이용된다. 자기장은 리본 평면에 대하여 약 85° 정도로 배향되는데, 이는 경사진 이방성, 예를 들어 리본 축선에는 수직하지만 리본 평면에 대하여는 대략 10° 내지 30°만큼 기울어진 자화 용이 축선을 초래한다. 증강된 자기공명 반응을 갖는 선형 이력현상 곡선은 이러한 방식으로 얻어진다. 이러한 결과는 선형 히스테리시스 곡선을 또한 산출하는 종래 기술의 한 방법에 따라 리본 폭(횡방향 자장)을 가로지른 자장 내에서 어닐링이 발생될 때 얻어진 결과와 비교된다.

실험은 전술한 바와 같이 비교적 단시간 내에서 오븐에서 수행된다. 어닐링 속도는 이러한 오븐에 대해, 대략 6초의 효과적인 어닐링 시간에 상응하는 대략 2 m/min 이다. 다른 특성들 중 자기 및 자기공진 특성은 어닐링 속도에 의해 조절될 수 있는 어닐링 시간에 의해 측정된다. 기다란 오븐에서, 동일한 결과가 달성되나, 20m/min의 상당히 빠른 어닐링 속도를 갖는다.

### 어닐링 온도 및 시간의 효과

여기서의 제1 실시예 집합에서, 비정질의  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금을 어닐링 온도 및 어닐링 시간의 효과에 대하여 면밀히 조사하였다. 그 결과를 표 3에 나열하였고, 도 22a, 도 22b 및 도 23에 도시하였다. 이들 모든 실시예에서의 공진 주파수가  $H_{\max}$ 에서 약 57 kHz 근방에 있고,  $H_{\min}$ 에서 약 55 kHz 근방에 위치하였다. 표 3의 모든 실시예에서 어닐링 처리후 리본이 연성이 있었다.

측정 결과의 보다 대표성 있고, 상세한 실시예가 이미 표 3에 나열된 실시예 4에 대응하는 도 9에서 주어진 바 있다.

리본 평면을 가로지르는 축선에 대해 각각 약 85°(본 발명) 및 0°(종래 기술)로 배향된 약 2 kOe 강도의 자기장 내에서, 대략 지시된 시간( $t_a$ ) 및 지시된 어닐링 온도에서 연속 모드로 어닐링된 비정질  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  합금의 자기공진 특성(magnetoresonant properties)으로서, 각각  $H_k$ 는 이방성 자장(anisotropy field),  $H_{\max}$ 는 공진 진폭( $A_1$ )이 최대인 바이어스 자장(bias field),  $A_{\max}$ 는 상기 최대 신호,  $|df/dH|$ 는  $H_{\max}$ 에서의 공진 주파수( $f_r$ )의 기울기,  $H_{\min}$ 은 공진 주파수가 최소일 때의 바이어스 자장,  $A_{\min}$ 은 상기 최소 신호,  $\Delta f$ 은 2 Oe 및 6.5 Oe의 바이어스에서의 공진 주파수의 차이값이다.

**[표 3]**

				최대 A1에서의 결과			f <sub>r,m</sub> 에서의 결과		6.5-2 0e에서의 △f <sub>r</sub> (kHz)
예시 Nr	T <sub>a</sub> (℃)	t <sub>a</sub> (s)	H <sub>k</sub> (0e)	H <sub>max</sub> (0e)	A <sub>max</sub> (mV)	df/dH   (Hz/0e)	H <sub>fmin</sub> (0e)	A <sub>fmin</sub> (mV)	
본 발명의 실시예- 약 85° 에서의 자장									
1	300	6	10.2	6.5	81	582	8.8	50	2.2
2	320	6	11.1	7.3	81	559	9.5	55	1.9
3	340	6	11.3	7.5	82	608	10.0	52	1.8
4	360	6	10.8	7.0	88	662	9.5	52	2.1
5	370	6	10.6	7.1	93	730	9.3	46	2.2
6	380	6	10.4	6.6	93	723	9.3	48	2.3
7	400	6	9.7	6.3	95	827	8.8	44	2.7
8	420	6	9.8	6.1	95	850	8.3	49	2.9
9	300	12	11.3	7.5	79	506	9.8	53	1.8
10	320	12	11.9	7.8	78	507	10.3	55	1.6
11	340	12	11.9	7.8	83	546	10.3	57	1.7
12	360	12	11.4	7.5	85	587	10.0	56	1.8
13	370	12	11.1	7.4	90	677	9.8	55	2.0
14	380	12	10.7	7.1	91	701	9.5	55	2.2
15	380	12	10.7	6.9	90	673	9.5	53	2.2
16	420	12	9.4	5.5	96	887	8.0	54	3.1
종래 기술의 비교예 (횡방향 자장)									
T1	300	6	10.9	6.0	67	558	9.0	29	2.0
T2	320	6	11.9	6.9	68	552	10.3	20	1.6
T3	340	6	12.3	7.4	68	527	10.8	11	1.5
T4	360	6	12.0	7.1	70	575	10.5	9	1.7
T5	380	6	11.5	6.8	74	620	10.3	5	1.9
T6	400	6	10.8	6.0	75	660	9.5	3	2.3
T7	420	6	10.4	5.6	77	720	9.0	4	2.5

도 22a 및 22b는 본 발명의 어닐링 기술이 종래의 횡방향 자장 어닐링(transverse field-annealing)에 비해 모든 어닐링 온도와 시간에서 훨씬 높은 자기 공진 신호 진폭을 초래함을 보여준다. 이전에 언급한 바와 같이, 본 발명에 의한 기술은 또한 보다 선형적인 히스테리시스 곡선을 초래하고, 이는 유도 이방성(induced anisotropy)이 리본 평면에 대해 수직인 종래 기술에 의한 다른 어닐링 기술에 비해 유리하다.

어닐링 온도 및 어닐링 시간에 대한 진폭의 변화는 도 22a 및 22b의 바이어스 자장 곡선에 대한 공진 주파수의 상응하는 변화와 서로 연관된다. 후자는 바이어스 자장(H)의 변화에 대한 공진 주파수( $f_r$ )의 자화율(susceptibility), 즉, 기울기  $|df_r/dH|$ 에 가장 큰 특징이 있다. 표 3은 이 기울기를 공진 진폭이 최대인  $H_{max}$ 에서 나열한다. 공진 주파수가 최소인  $H_{min}$ 에서, 이 기울기는 사실상 제로, 즉  $|df_r/dH| = 0$ 이다.

하나의 주요한 상업적으로 구하기 쉬운 EAS 시스템용 마커에서, 바이어스 자장이 비정질 공진기에 인접하게 배치된 강자성 스트립에 의해 생성된다. 상기 마커의 식별원(identity)은 마커의 공진 주파수인데, 이는 주어진 바이어스 자장에서 예컨대, 58 kHz이고 공진기에 적절한 길이를 부여함으로써 조절되는 소정값에 최대한 근접하여야 하는 공진 주파수이다. 그러나, 실제로는 이 바이어스 자장이 지구 자기장 및 바이어스 자기 재료의 특성 분산(property scatter) 중 적어도 하나에 기인하는, 약  $\pm 0.5$  Oe의 변동에 영향을 받을 수 있다. 따라서, 마커용 관측 시스템(surveillance system)의 픽업율(pick-up rate)을 향상시키는 마커의 신호 식별원을 유지하기 위해, 작동 바이어스에서의 기울기  $|df/dH|$ 는 가능한 한 작아야 한다. 이를 구현하는 한 가지 방법은, 공진 주파수가 최소값, 즉  $|df/dH| \approx 0$ 인 자기장을 생성하도록, 바이어스 스트립의 크기를 정하는 것이다. 그러나, 이러한 마커의 검지율은 또한 공진기의 공진 신호 진폭에 종속된다. 따라서, 공진 신호가 최대값을 갖는  $H_{max}$ 에 바이어스 자장이 가깝도록, 공진기 물질 및 바이어스 자석 중 적어도 하나를 조절하는 것이 보다 바람직할 수 있다. 그러나,  $|df_r/dH|$  값은 여전히 가능한 한 작아야 한다. 바이어스 자장의 우발적인 변동에 기인한 주파수 변화는 공명 곡선의 대역폭의 대략 절반보다 작아야 한다. 따라서, 예를 들어, 약 1.6 ms의 톤 버스트(tone burst)에 대해 작동 바이어스에서의 기울기는 약  $|df/dH| < 700 \text{ Hz/Oe}$  보다 작아야 한다.

도 23은  $H_{max}$ 에서의 기울기  $|df/dH|$ 의 함수로서  $H_{max}$ 에서의 최대 공진 진폭을 도시한다. 도 23은 종래 기술의 횡방향 자장 어닐링 이후에 비해 본 발명의 어닐링 처리로 달성된 자기 공진 신호 진폭이 훨씬 높다는 것을 다시 한번 입증한다. 특히, 보다 높은 진폭(A1)은, 또한 바람직한, 보다 낮은 기울기  $|df/dH|$ 에서도 달성될 수 있다.

최대 진폭이 위치한 자장( $H_{max}$ )은 통상적으로 약 5 Oe 및 8 Oe 사이의 범위에 있다. 이는 앞서 언급된 마커에 통상적으로 사용되는 바이어스 자장에 상응한다. 바람직하게는, 바이어스 자석과 공명 마커 사이의 자기 인력에 기인한 자성 클램핑을 방지하기 위해, 바이어스 자석에 의해 생성된 바이어스 자장은 보다 크지 않아야 한다. 더욱이, 상기 바이어스 자장은 지구 자장(earth's field) 내 마커의 상이한 배향에 기인한 상대적인 변동을 감소시킬 정도로 낮아서는 안된다.

공진 주파수는 바이어스 자장에 둔감한 것이 바람직하지만, 마커를 비활성화시키기 위해 바이어스 자석이 자기소거되는 경우 공진 주파수에 상당한 변화가 생기는 것 또한 바람직하다. 따라서, 비활성화(deactivation)시의 공진 주파수의 변화가 적어도 대략 공명 곡선의 대역폭, 즉 앞서 언급된 톤 버스트 여기 모드(tone burst excitation mode)에서 대략 1.4 kHz 보다 큰 대역폭이어야 한다. 표 3은 바이어스 자장이, 비활성화시 주파수 변화의 가늠자인 약 6.5에서 2 Oe로 변할 때의 주파수 변화( $\Delta f_r$ )를 나열하고 있다. 따라서, 표 3의 모든 실시예들은 상기의 상업적으로 구입가능한 EAS 시스템 내 마커에 대한 통상적인 비활성 요건을 충족한다.

합금 조성  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$ 은 상기 EAS 시스템에 특히 적합한 일례이다. 본 발명의 어닐링 기술은, 상기의 특정한 합금 조성물에 대해, 상기 합금 또는 다른 합금을 횡방향 어닐링(transverse annealing)함으로써 달성 가능한 것보다, 낮은 기울기에서도 상당히 높은 자기 공진 신호 진폭을 제공한다.

## 조성의 효과

제2 실시예 집합에서, 본 발명의 어닐링 기술을 다양한 서로 다른 합금 조성물에 대해 적용하였다. 몇몇 대표적인 예들이 표 1에 나열되어 있다. 표 4는 상기한 바와 같이 본 발명에 따른 방법으로 어닐링하는 경우 이들의 자기 공진 특성을 나열하고 있다. 또한, 비교를 위하여 표 4는 종래 기술에 따라 리본의 폭에 걸쳐있는 자기장 내에서 어닐링할 때 얻어진 결과를

나열하고 있다. 표 5는 본 발명에 따른 어닐링 방법의 성능 지수(figures of merit)를 나열하고 있다. 표 3의 모든 예에서 어닐링 처리 후에 리본에 연성이 있다. 38 mm의 공진 주파수가 바이어스 자장(H) 및 합금의 조성에 종속하여 통상적으로 대략 50 내지 60 kHz의 범위에 있다.

약 6s의 어닐링 시간에 해당하는 속도로, 지시된 어닐링 온도( $T_a$ )에서 본 발명(85°2 kOe의 평면 이탈 자장(out-of-plane field))의 원리 및 종래기술(2 kOe의 횡방향 자장)의 원리에 따라 연속 모드로 어닐링된 비정질 합금의 예들이 표 I에 나열되어 있다. 각각  $H_k$ 는 이방성 자장(anisotropy field),  $H_{max}$ 는 공진 진폭( $A_1$ )이 최대인 바이어스 자장(bias field),  $A_{max}$ 는 상기 최대 신호,  $|df/dH|$ 는  $H_{max}$ 에서의 공진 주파수( $f_r$ )의 기울기,  $H_{fmin}$ 은 공진 주파수가 최소일 때의 바이어스 자장,  $A_{fmin}$ 은 상기 최소값에서의 신호,  $\Delta f_r$ 은 2 Oe 및 6.5 Oe의 바이어스에서의 공진 주파수의 차이값이다.

**[표 4]**

			최대 A1에서의 결과			f <sub>r,min</sub> 에서의 결과		6.5-2 0e에서의 △f <sub>r</sub> (kHz)
합금 Nr	T <sub>a</sub> (℃)	H <sub>k</sub> (0e)	H <sub>max</sub> (0e)	A <sub>max</sub> (mV)	df/dH   (Hz/0e)	H <sub>fmin</sub> (0e)	A <sub>fmin</sub> (mV)	
본 발명의 원리에 따라 어닐링된 실시예								
1	370	10.7	6.3	89	652	9.3	59	2.3
2	360	10.8	7.0	88	662	9.5	52	2.1
3	340	9.8	6.5	83	654	8.5	55	2.4
4	360	8.0	4.9	91	797	6.8	64	3.0
5	360	9.8	5.0	97	1064	8.3	40	4.2
6	360	9.0	4.0	97	1388	7.3	42	6.0
7	340	7.1	2.5	80	1704	5.8	35	4.5
8	360	14.8	8.3	82	725	12.5	49	2.2
9	360	14.1	6.0	75	829	11.5	21	3.1
종래 기술에 따라 어닐링된 비교예								
1	370	11.9	6.8	76	614	10.3	17	1.9
2	380	11.5	6.8	74	620	10.3	5	1.9
3	340	11.0	6.3	68	624	9.3	15	2.2
4	360	8.8	5.0	70	769	7.5	17	2.9
5	360	10.7	5.0	86	1024	9.0	8	3.9
6	360	9.8	4.3	93	1371	8.0	10	5.7
7	340	7.8	2.5	46	1519	6.25	12	4.8
8	360	16.4	8.8	80	702	14.3	11	1.8
9	360	15.3	6.3	77	729	12.8	10	2.6

표 4에 나열된 예들의 성능 지수. 상기 성능 지수는 종래 기술에 따른 자기장 어닐링 후에 얻은 공진 진폭값에 대한, 본 발명의 원리에 따른 자기장 어닐링 후의 공진 진폭의 비로서 정의된다.  $A_{max}$ 라는 표시가 붙은 칼럼은 최대 신호 진폭에서의 이득(gain)을 가리키고,  $A_{fmin}$ 이라는 표시가 붙은 칼럼은 공진 주파수가 최소인 바이어스에서의 신호 진폭을 가리킨다.

**[표 5]**

합금 Nr	성능 지수	
	$A_{max}$	$A_{f,min}$
1	1.17	3.5
2	1.19	10
3	1.22	3.7
4	1.30	3.8
5	1.13	5

6	1.04	4.2
7	1.74	2.9
8	1.03	4.5
9	0.97	2.1

합금 조성 No. 1 내지 7은, 본 발명의 어닐링 방법에 특히 적합하고, 종래 기술과 같이 가로방향 장에서 어닐링되는 경우보다 상당히 높은 자기 공진 신호 진폭을 나타낸다. 합금 No. 1-4는 높은 신호 진폭과 낮은 기울기  $|df/dH|$  를 동시에 조합하므로 보다 바람직하다. 이 그룹 중에서, 합금 No. 2-4는 원재료 비용을 감소시키는 실시예 1보다 훨씬 낮은 Co 함량을 가진 채 이들 특성이 달성되므로 더욱더 바람직하다.

합금 조성물 No. 8, 9는 최대 공진 진폭에서의 개선이 미미하고 실험 분산 스캐터 내에 있으므로 본 발명의 어닐링 조건에 덜 적합하다. 더욱이, 합금 No. 9는 다소 높은 Co 함량을 가지는데, 이는 높은 원료 비용에 연계된다.

합금 No. 8, 9가 이 실험에서 수행되는 본 발명의 어닐링 과정에 덜 적합하다고 하는 한 가지 이유는, 높은 포화 자화(saturation magnetization) 및 높은 퀴리 온도(Curie temperature)과 관련이 있다. 이들 특성은 어닐링 온도에서 상당히 높은 포화 자화를 초래한다. 즉, 어닐링 온도에 있는 자기소거 자장이 높는데, 이는 높은 어닐링 자장을 요한다. 이와 같은 실험 집합에서 적용되는 2 kOe의 자장 강도는 충분히 높지 않음이 분명하다. 사실, 약 5 kOe의 보다 큰 자장에서 수직으로(85°) 어닐링될 때에만, 합금 No. 8이 다시 본 발명의 어닐링 방법에 적합하고, 최대 신호 진폭의 10 % 증가가 달성된다. 비록 명시적으로 조사되지는 않았으나, 합금 9에 대해서도 같은 결과가 예상된다. 그러나, 낮은 어닐링 자장 강도에서 양호한 반응을 가지는 것이 분명히 유리하고, 이는 합금 No. 1-7이 본 발명의 바람직한 실시예가 되는 한 가지 이유이다.

#### 합금의 조성을 선택하는 가이드 원리

비정질 금속이 넓은 범위의 특성을 갖는 매우 다양한 조성으로 생성될 수 있다. 본 발명의 한 가지 측면은 이와 같이 매우 다양한 합금의 범위 중에서 자기 탄성(magnetoelastic) 적용에 특히 적합한 합금을 선택하는 몇몇 가이드 원리를 유도하는 것이다.

이러한 적용에 있어 요구되는 것은, 바이어스 자장에 대한 공진 주파수 및 양호한 자기 탄성 수용성, 즉, 높은 자기 공진 신호 진폭의 일정한 변화이다.

리빙스턴(Livingston)의 "비정질 금속의 자기-기계적 특성 (Magnetomechanical Properties of Amorphous Metal)" (phys. stat. sol. (a) vol 70의 591-596 면, 1982)에 따르면,  $H < H_k$ 에 대한 횡방향 어닐링된 비정질 리본의 공진 주파수가 바이어스 자장의 함수로서 다음 식에 의해 잘 설명될 수 있다.

$$f_r(H) = \frac{f_r(H=0)}{\sqrt{1 + \frac{9\lambda_s^2 E_s}{J_s H_k^2} H^2}} \quad (12)$$

여기서,  $\lambda_s$ 는 포화 자기변형 상수,  $J_s$ 는 포화 자화,  $E_s$ 는 강자성으로 포화된 상태에서의 영률(Young's modulus),  $H_k$ 는 이방성 자장, 그리고  $H$ 는 인가되는 바이어스 자장이다.

이러한 관계는 본 발명의 원리에 따른 어닐링 기법에도 적용된다. 신호 진폭은 도 24에 도시된 바와 같고, 상기 도면은 이방성 자장( $H_k$ )에 대하여 규격화된 바이어스 자장의 함수로서 진폭과 공진 주파수( $f_r$ )를 나타낸다. 상기 신호 진폭은 여기에 설명된 어닐링 기술로 달성되는 도메인 정련(refinement)에 의해 상당히 강화된다. 이러한 강화는 샘플이 이방성 자장의 약 0.4 배보다 큰 자장( $H$ )으로 미리 자화되는 경우에 특히 효과적이다. 도 24에 설명된 바와 같이, 이는 종래 기술에 따른 횡방향 자장에서의 어닐링시에 얻어지는 것보다 상당히 넓은 바이어스 자장 범위에서 훨씬 큰 진폭을 도출한다.

대부분의 실시예에 있어서, 상기 리본이, 자기 바이어스 자장이 이방성 자장의 약 0.3배 내지 약 0.95배의 인가 범위에서 인가되게 하는 이방성 자장을 구비하도록 합금 조성 및 어닐링 처리를 선택하는 것이 유리하다. 이방성 자장( $H_k$ )은 또한 리본 축선을 따른 샘플의 자기소거 자장을 포함하므로, 합금 조성 및 열처리 모두 공진기 스트립의 길이, 폭, 두께에 맞춰져야 한다. 이러한 원리에 따라 본 발명의 어닐링 방법을 적용하면 광범위한 바이어스 자장에서 높은 공진 신호 진폭이 얻어질 수 있다.

실시예에서 사용되는 바이어스 자장을 실제로 선택하는 것은 여러가지 인자에 의존한다. 자장 코일에 의해 바이어스 자장은 전류를 생성하는 경우 에너지 소비를 감소시키므로, 일반적으로 약 8 Oe 이하의 바이어스 자장이 바람직하다. 공진기에 인접한 자기 스트립에 의해 바이어스 자장이 생성되면, 공진기와 바이어스 자석의 저자기성 클램핑의 필요성뿐만 아니라 소량의 재료로 바이어스 자석을 형성하는 경제적인 필요성으로부터, 낮은 바이어스 자장의 필요성이 야기된다.

표 4의 예에 따른 표 1의 합금 No. 1 내지 7은, 일반적으로 약 6 Oe 내지 11 Oe의 낮은 이방성 자장을 가지는데, 즉 통상적으로 약 15 Oe의 높은 이방성 자장을 나타내는 합금 No. 8, 9에 비해 작은 바이어스 자장에서 최적으로 작동가능하다.

일정한 레벨의 공진 주파수에 대한 필요 조건은, 공진기의 적절한 길이를 선택함으로써 쉽게 조절된다. 다른 적용 필요 조건은 자기 바이어스 자장에 대해 양호하게 정해진 자화율이다. 후자는 기울기  $|df_r/dH|$  에 상응하는데, 이는 식 (12)로부터 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\left| \frac{df_r}{dH} \right| = f_r H \frac{9\lambda_s^2 E_s}{J_s H_s^3} \left/ \left( 1 + \frac{9\lambda_s^2 E_s}{J_s H_s^3} H^2 \right) \right. \sim f_r H \frac{9\lambda_s^2 E_s}{J_s H_s^3} \quad (13)$$

바이어스 자장 범위( $H$  및 이에 따른  $H_k$ )가 선택되면, 요구되는 주파수 기울기  $|df_r/dH|$  가 포화 자기변형( $\lambda_s$ ) (이는 남아 있는 자유 변수 중에서 합금 조성에 대한 최대의 변화를 나타냄)에 의해 먼저 정해진다. 따라서, 바이어스 자장에 대한 공진 주파수의 원하는 자화율은 식 (13)에서 계산될 수 있는 바와 같이, 포화 자기변형의 적절한 값을 갖는 합금 조성을 선택함으로써 조절 가능하다.

대표적인 상업적으로 구입가능한 EAS 시스템에 사용되는 마커에서는, 상기에 보다 상세히 기술된 바와 같이, 낮은 기울기  $|df_r/dH|$  가 요구된다. 동시에, 마커가 적당히 낮은 바이어스 자장에서 최적으로 작동할 수 있도록, 적당한 이방성 자장이 요구된다. 따라서, 약 15 ppm 이하의 자기 변형을 갖는 합금 조성을 선택하는 것이 유리하다. 이는 합금 No. 1 내지 4가 본 발명에 특히 적합한 또 다른 이유이다. 모든 자기탄성 반응을 보장하기 위해, 상기 자기 변형이 적어도 몇 ppm은 되어야 한다. 마커가 비활성화되는 경우 충분한 주파수의 변화를 보장하도록 약 5 ppm 이상의 자기 변형이 더욱 요구된다.

약 30 % 이하이나 적어도 약 15 %보다 작은 Fe 함량을 가진 합금을 선택하고, 동시에 적어도 약 50 %의 Ni 및 Co가 조합된 부분을 부가함으로써, 작지만 유한 값의 자기 변형이 이루어진다. 전자 식별 시스템 또는 자기장 센서와 같은 다른 실시예에서는 오히려 바이어스 자장에 대해 높은 감도를 갖는 공진 주파수를 요하는데, 다시 말해 이런 경우  $|df_r/dH| > 1000 \text{ Hz/Oe}$ 의 높은 값이 요구된다. 따라서, 표 1의 합금 No. 5 내지 7에 예시된 바와 같이 약 15 ppm보다 큰 자기변형을 갖는 합금을 선택하는 것이 유리하다. 동시에 상기 합금은, 바이어스 자장에 대한  $f_r$ 의 높은 감수율에 있어 필요한, 충분히 낮은 이방성 자장을 보유해야 한다.

어떤 경우에 있어서도, 본 발명의 원리에 따라 어닐링되는 공진기는 종래 기술의 공진기에 비해 광범위한 자장에 걸쳐 보다 유리하게 큰 공진 신호 진폭을 나타낸다.

비록 당업자에게 있어 변형 및 변화가 제안될 수 있겠으나, 모든 변화와 변형을 여기에 특허로서 보장되는 본 발명의 범주 내에 합리적이고 적절하게 포함하여 구현하고자 하는 것이 본 발명자의 의도이다.

## 도면의 간단한 설명



도 1a 및 도 1b에는 리본 폭을 가로지르는 포화된 자장내에서 종래기술에 따라 어닐링된 비정질 리본의 통상적인 도메인 구조물의 비교 예가 도시되며, 도 1a는 상기 도메인 구조물의 개략적인 스케치이며, 도 1b는 약 2kOe의 횡방향 자장내에서 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금에 대한 상기 도메인 구조물의 하나의 실험적인 예이다.

도 2a 및 도 2b는 리본 면에 수직한 포화된 자장내에서 종래 기술에 따라 어닐링된 비정질 리본의 통상적인 도메인 구조물의 비교 예가 도시되며, 도 2a는 상기 도메인 구조물의 개략적인 스케치이며 도 2b는 본 발명에 따라 약 10kOe의 수직방향 자장 내에서 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금에 대한 상기 도메인 구조물의 하나의 실험적인 실시예이다.

도 3a 및 도 3b는 각각 (a) 약 2kOe의 자장내에서 횡방향 자장 어닐링 및 (b) 약 15kOe의 자장내에서 수직방향 자장 어닐링후 얻어진 통상적인 히스테리시스 곡선들(hysteresis loops)을 보여주며, 두 개의 곡선들은 길이 38 mm, 폭 6 mm 및 두께 약 25  $\mu\text{m}$ 의 샘플에 기록된다; 각각의 경우 점선은 이상화된, 선형 곡선들이며 이방성 자장(anisotropy field;  $H_K$ )의 선형성 및 특징을 보여준다; 도면에서 보여진 특별한 샘플은 각각의 경우 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금이다.

도 4는 리본 폭을 가로질러 포화된 자장내에서 어닐링된 비결정 자성 리본에 대한 정적 자장(H)의 함수로서 종래 기술에 따른 공진 주파수( $f_r$ ) 및 공진 진폭(A1)의 통상적인 작용에 대한 비교 예이다; 여기서는 약 2kOe의 가로방향 자장내에서 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금의 길이 38 mm, 폭 6 mm 및 두께 약 25  $\mu\text{m}$  스트립에 대응하는 특별한 예가 주어진다.

도 5는 열 처리 공정동안 리본 면에 수직한 포화 자장을 적용함으로써 종래 기술의 열 처리를 이용하여 비결정 자성 리본에 대한 바이어스 정적 자장(static magnetic bias field; H)의 함수로서 공진 주파수( $f_r$ ) 및 공진 진폭(A1)의 통상적인 거동에 대한 진보적인 예이다; 여기서는 약 15kOe의 수직방향 자장내에서 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금으로부터의 길이 38 mm, 폭 6 mm 및 두께 약 25  $\mu\text{m}$  스트립 절단에 대응하는 특별한 예가 주어진다.

도 6a 및 도 6b에는 본 발명에 따른 자장 어닐링 기술의 원리가 설명된다; 도 6a는 리본의 (리본 폭을 가로지르는) 단면의 개략적인 스케치이며 어닐링 공정 동안의 자장 벡터의 방향 및 자화가 도시된다; 도 6b는 적용된 어닐링 자장 강도 및 방향의 함수로서 어닐링 공정동안 자화 벡터의 이론적으로 계산된 각도  $\beta$ 를 보여준다. 자장 강도(H)는 어닐링 온도에서 포화 자화  $J_S(T_a)$ 로 표준화된다.

도 7에는 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금의 포화 자화  $J_S$ 의 온도 종속성을 보여준다.

도 8a 및 도 8b에는 리본 축선에 수직하며 리본 면의 법선에 대해 기울어진 방향을 가진 단축 이방성을 산출하는 본 발명에 따라 자장-어닐링된 비결정 리본의 도메인 구조물에 대한 일 예이다; 도 8a는 도메인 구조물의 개략적인 스케치이며; 도 8b는 리본면에 대해 약 88°의 각도에서 및 동시에 리본 축선에 수직하게 배향되는 약 3kOe 강도의 자장내에서 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비정질  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금에 대한 이 같은 도메인 구조물의 실험적인 예이다.

도 9a 및 도 9b에는 본 발명의 원리에 따라 어닐링될 때 (a) 자기 및 (b) 자기 비정질 합금의 자기 공진 특성에 대한 진보적인 일 예를 보여준다; 도 9a는  $H_K$ 의 포화까지 거의 선형인 히스테리시스 곡선을 보여준다. 도 9b는 바이어스 정적 자장(H)의 함수로서 공진 주파수( $f_r$ ) 및 공진 진폭(A1)을 도시한다; 여기서 볼 수 있는 특별한 예는 약 2kOe 강도 및 리본면에 대하여 약 85°의 각도로 배향되며 동시에 리본 축선에 수직한 자장내에서 360℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금으로부터의 길이 38 mm, 폭 6 mm 및 두께 약 25  $\mu\text{m}$  스트립 커트이다.

도 10에서는 종래 기술 및 본 발명에 따라 각각의 자장 어닐링 기술에 의하여 얻어진 것으로서 바이어스 정적 자장의 함수로서 뎀핑 인자( $Q^{-1}$ )의 통상적인 작용을 비교하는데, 특별한 예는 자장내에서 350℃ - 360℃에서 약 6초 동안 연속 모드에서 어닐링된 비정질  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금이다.

도 11a, 도 11b 및 도 11c에서는 (a) 공진 신호 진폭, (b) 도메인 구조 및 (c) 이방성 자장( $H_K$ )상에서의 어닐링 공정 동안 적용된 자장 강도(H)의 세기 효과를 증명한다. 어닐링 자장은 2kOe 자장이 리본 폭을 가로질러 적용되는  $H = 0$ 에서 주어진 데이터 포인트를 제외하고 실질적으로 리본면에 수직하게, 즉 약 85° 및 90°사이의 각도에서 작용한다. 도 11a에서는 공진 주파수( $f_r$ )가 최소치를 보여주는 바이어스 자장에서 최대 공진 신호 진폭 및 공진 신호 진폭을 보여준다. 도 11b는 리본면에 대한 자화 용이 축선의 도메인 크기 및 계산된 각도를 보여준다. 도 11c는 이방성 자장을 보여준다. 영역 II는 본 발명의 바람직한 일 실시예를 보여준다. 도면에서 보여지는 특별한 결과는 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금에 대하여 얻을 수 있다.

도 12a 및 도 12b에는 자장에 대한 선형성의 히스테리시스 곡선상의 어닐링하는 자장 강도(H)의 역할이, 2kOe 자장이 리본 폭을 가로질러 적용되는  $H = 0$ 에서 주어진 데이터 포인트를 제외하고 리본 면에 수직하게, 즉 약 85° 및 90°사이의 각도에서 작용하는 것이 도시된다; 도 12a에는 각각 어닐링 온도에서 포화 자화보다 더 크며 더 작은 강도의 수직 자장내에서 어닐링되는 경우 중앙에 히스테리시스 곡선의 통상적인 형상을 보여준다; 도 12b에는 어닐링된 리본의 보자력(coercity,  $H_C$ )의 용어로 어닐링 자장 강도가 적용되는 선형 히스테리시스 곡선의 평가를 보여준다; 보여진 결과는 350℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금에 대하여 얻을 수 있다.

도 13a 및 도 13b에는 강도 및 어닐링 자장 배향의 공진 신호 진폭에의 영향을 증명한다.; 도 13a는 최대 공진 신호 진폭을 보여주며 도 13b는 공진 주파수( $f_r$ )가 최소가 되는 바이어스 자장에서 공진 신호 진폭을 보여준다.; 보여준 특별한 결과는 도면에서 표시된 바와 같은 지향성 및 강도의 자장 내에서 350℃에서 약 6초 동안 연속 모드내에서 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금에 대하여 얻을 수 있다.

도 14는 보자력( $H_C$ )의 관점에서 선형성의 히스테리시스 곡선상의 어닐링 자장의 지향성 및 강도의 영향을 증명한다; 특별한 결과는 자장내에서 350℃에서 약 6초 동안 연속모드내에서 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금에 대하여 얻을 수 있다.

도 15a 및 도 15b는 유도된 이방성이 리본 축선을 따르는 성분을 가지는 경우 선형의 히스테리시스 곡선의 열화(deterioration) 및 자기공진 특성에 대한 일 예를 보여준다. 도 15a는 히스테리시스 곡선 및 우세한 자화 공정을 보여준다.; 도 15b는 바이어스 정적 자장(H)의 함수로서 공진 주파수( $f_r$ ) 및 공진 진폭(A1)을 보여준다.; 특별한 예는 상당한 횡방향 자장 성분이 존재하지 않도록 약 2kOe 강도 및 리본면에 대하여 수직하게 지향된 자장내에서 360℃에서 약 6초 동안 어닐링된 비결정  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{18}$  합금으로부터의 길이 38 mm, 폭 6 mm 및 두께 약 25  $\mu m$  스트립 커트이다.

도 16a 및 도 16b는 오븐을 통하여 리본을 가이드하는 진보적인 방법에 따른 어닐링 고정물을 통한 단면을 보여준다. 도 16a는 개구가 리본 두께보다 상당히 더 넓은 경우 리본이 자장 내에서 지향되는 방법을 보여준다. 도 16b는 리본이 엄격한 기하학적 의미에서 인가되는 어닐링 자장에 완벽하게 수직하도록 배향되는 형상을 보여준다.

도 17a, 도 17b, 도 17c 및 도 17d는 진보적인 방법에서 각각 어닐링 고정물의 임의의 통상적으로 실현되는 상이한 단면을 보여준다.

도 18은 진보적인 방법에서 표시된 자장 라인을 형성시키는 요크(yoke) 및 영구 자석에 의하여 형성된 자석 시스템의 도면이다.

도 19a 및 도 19b는 본 발명의 원리에 따라 직선 리본을 연속적으로 어닐링하기 위한 일 예를 보여준다; 도 19a는 리본이 어닐링 고정물(5)에 의하여 자장 방향에 대한 목표 각도에서 이송되는 중간에 오븐을 구비한 자석 시스템의 단면을 보여준다; 도 19b는 자석 시스템 및 자석 내부의 오븐의 종방향 단면을 보여준다. 리본은 릴(reel)로부터 제공되며, 모터에 의하여 구동되는 플러에 의하여 오븐을 통하여 이송되며, 마지막으로 어닐링 고정물에 의하여 지지되는 자장내의 리본의 지향성을 가진 또 다른 릴상에 감긴다.

도 20a 및 도 20b는 본 발명에 따른 다중 통로 어닐링 원리를 보여준다.

도 21은 본 발명에 따른 어닐링 공정의 피드-백 제어의 원리를 보여준다.

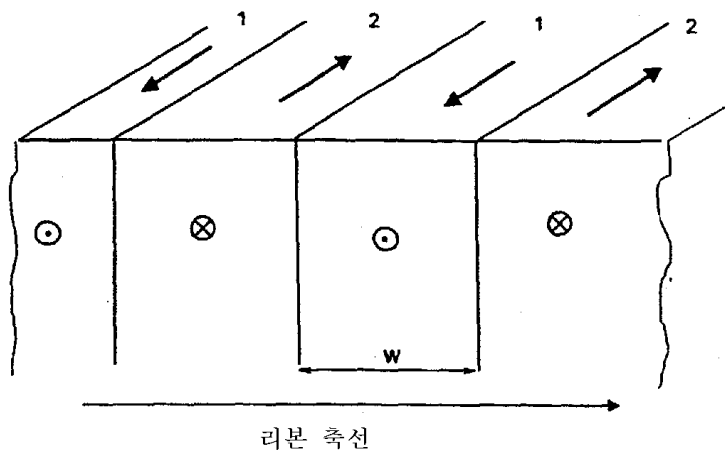
도 22a 및 도 22b는 리본에 대해 횡방향으로 배향된 자장내에서의 어닐링후(종래 기술), 또는 자장 방향 및 리본 폭을 가로지르는 라인 사이에서 약 85°의 각도에서 어닐링된 후(본 발명) 비정질  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금의 공진 신호 진폭을 비교한다.; 각각의 경우 자장 강도는 2kOe이며, 리본은 연속 모드로 약 6초 동안 약 300℃와 420℃ 사이의 어닐링 온도에서 어닐링된다. 도 22a에는 최대 진폭(A1)을 보여주며 도 22b에는 공진 주파수가 최소로 되는 바이어스 자장에서의 진폭을 보여준다.

도 23은 리본에 대해 횡방향으로 배향된 자장내에서(종래 기술) 또는 자장 방향과 리본 폭을 가로지르는 라인 사이에서 약 85°의 각도로 배향된 자장내에서 어닐링된 후(본 발명) 비정질  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{18}$  합금의 공진 신호 진폭의 또 다른 비교를 보여준다; 최대 진폭은 최대가 발생하는 바이어스에서 기울기  $|df/dH|$ 에 대하여 플로팅된다; 자장 강도는 각각의 경우 2kOe이며 리본은 300℃와 420℃ 사이의 어닐링 온도에서 약 6초 내지 12초 동안 연속 모드로 어닐링된다.

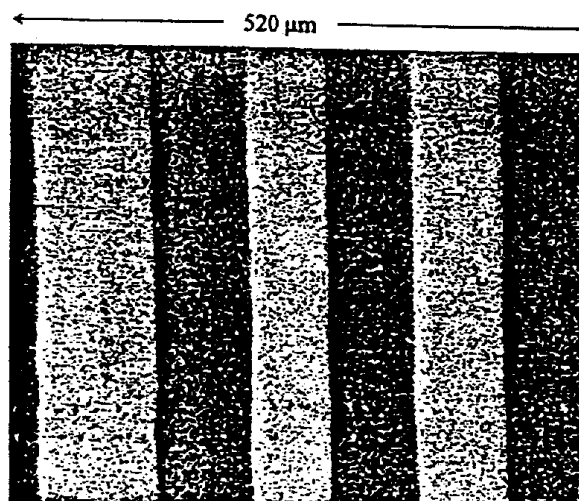
도 24에는 신호 진폭(A1) 대 상이한 도메인 폭에 대한 바이어스 자장을 개략적으로 도시되며 본 발명의 임의의 기본적인 특징은 요약된다. 약 100  $\mu\text{m}$ 의 도메인 폭에 대한 곡선은 종래 기술에 따라 어닐링된 샘플 횡방향 자장에 대해 통상적이며 약 5 및 15  $\mu\text{m}$ 의 도메인 폭에 대한 곡선은 본 발명에 따른 어닐링 기술을 대표한다.

## 도면

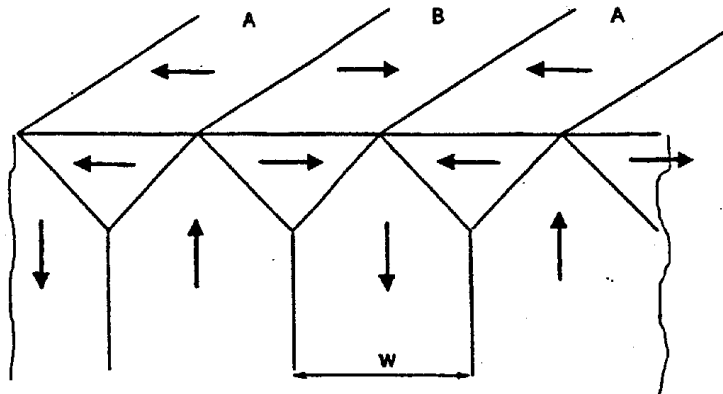
도면1a



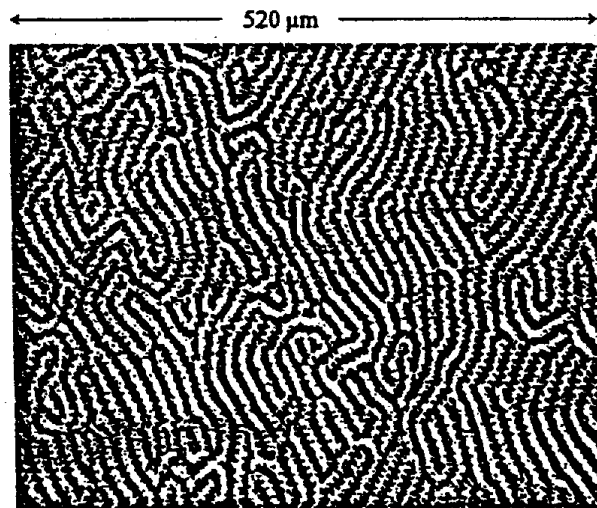
도면1b



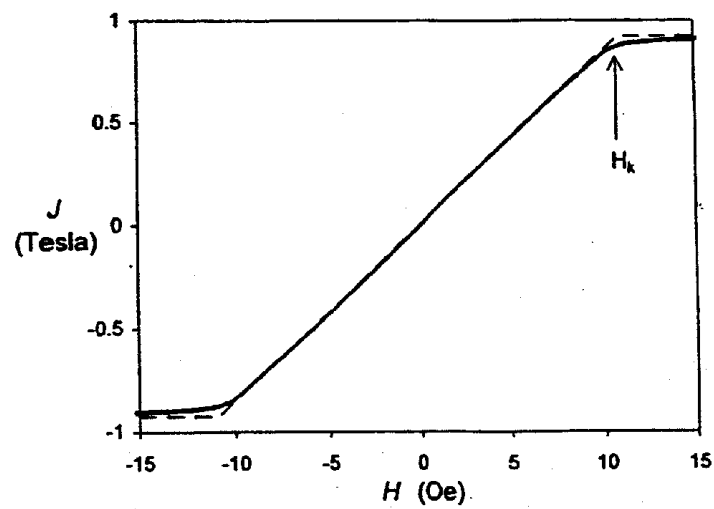
도면2a



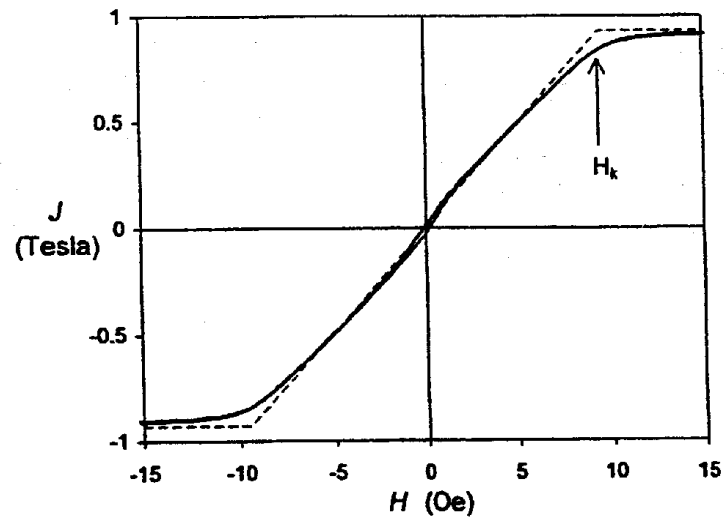
도면2b



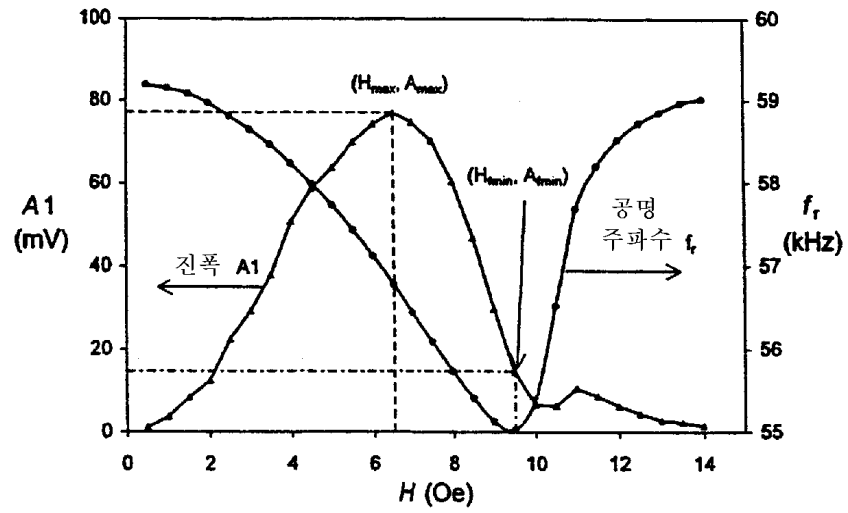
도면3a



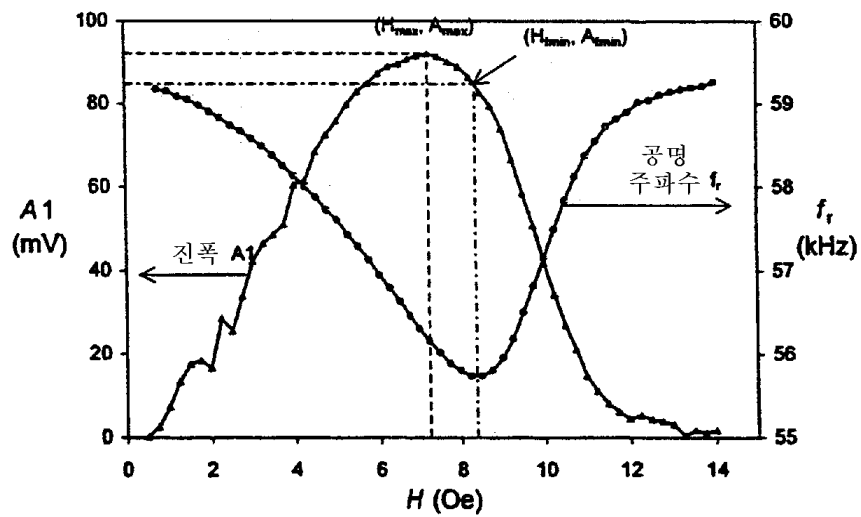
도면3b



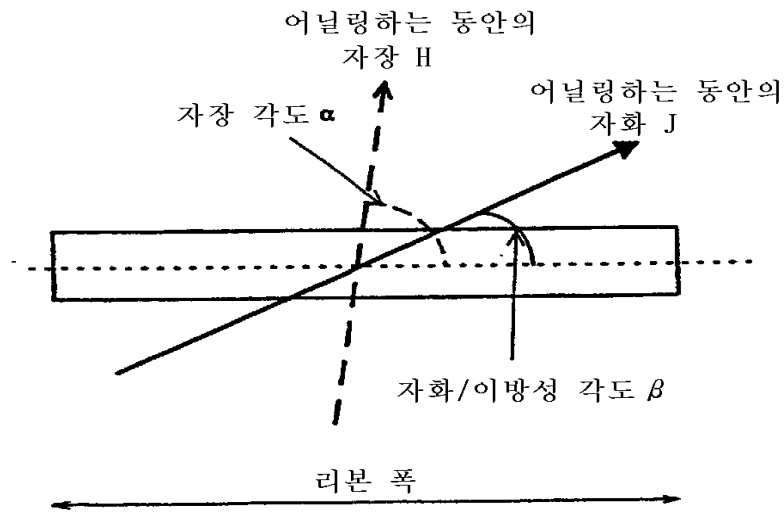
도면4



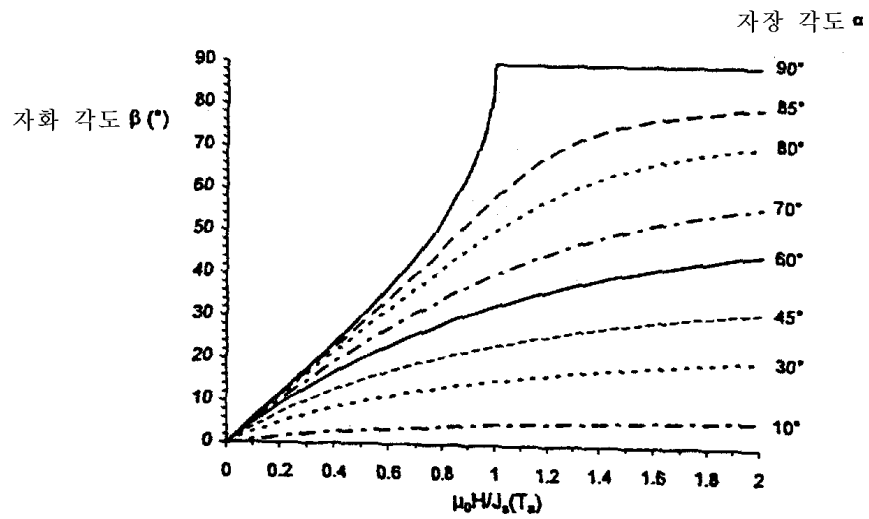
도면5



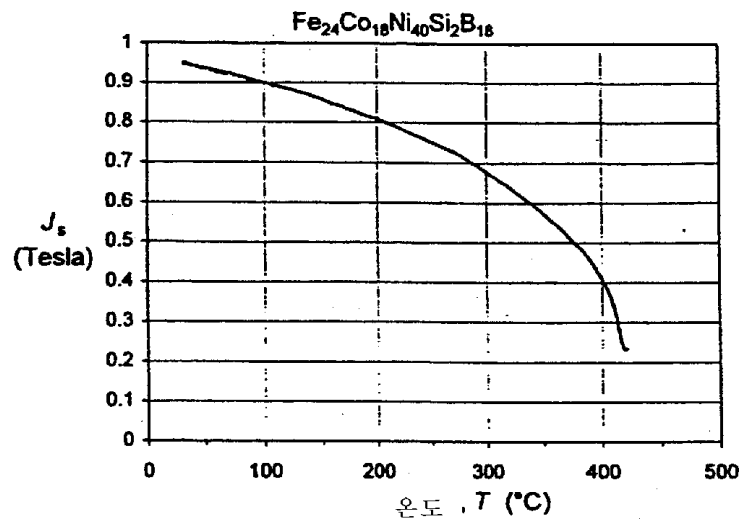
도면6a



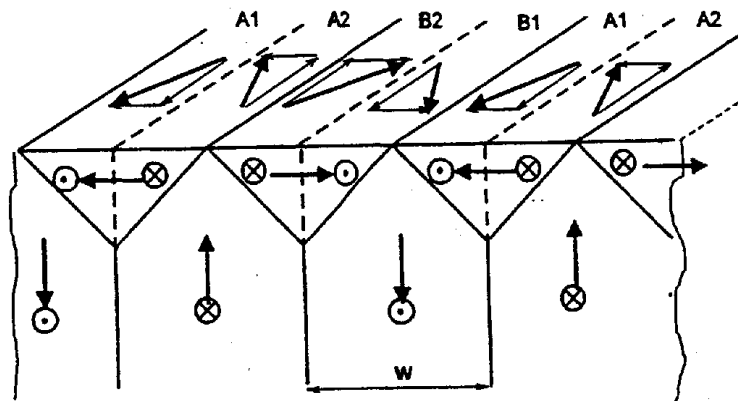
도면6b



도면7

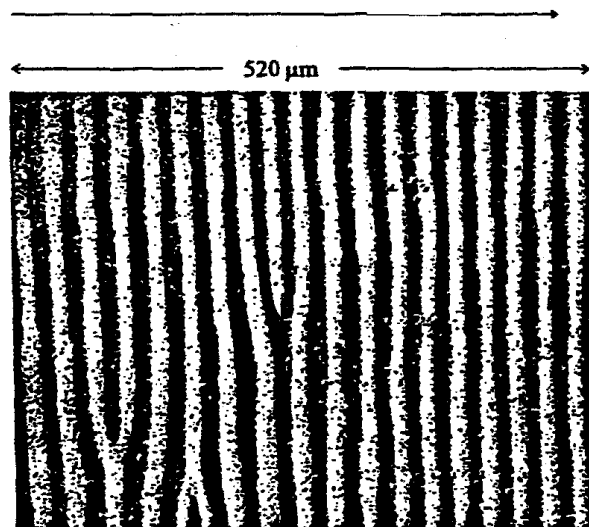


도면8a

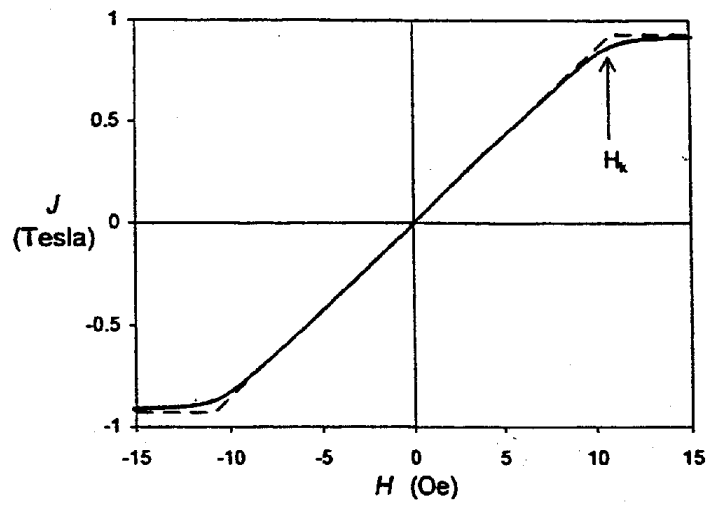


도면8b

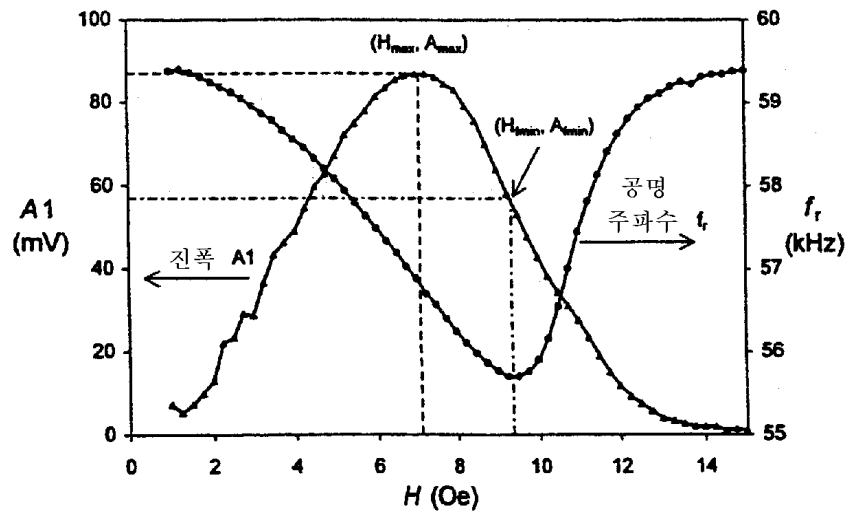
리본 축선



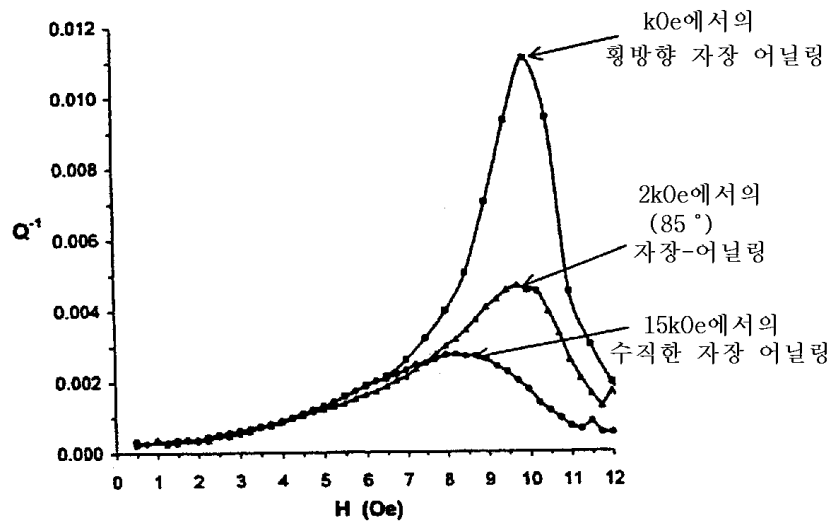
도면9a



도면9b

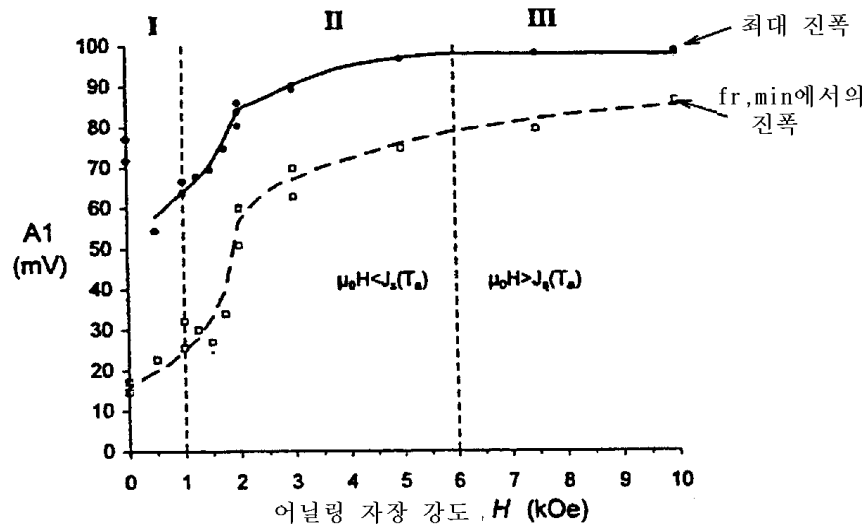


도면10

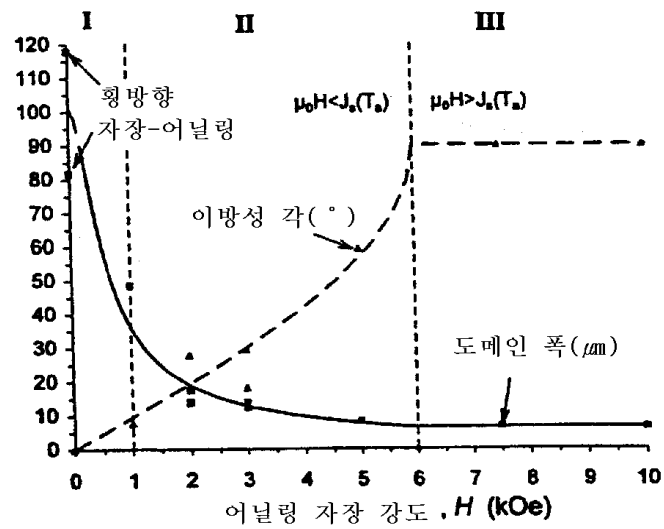




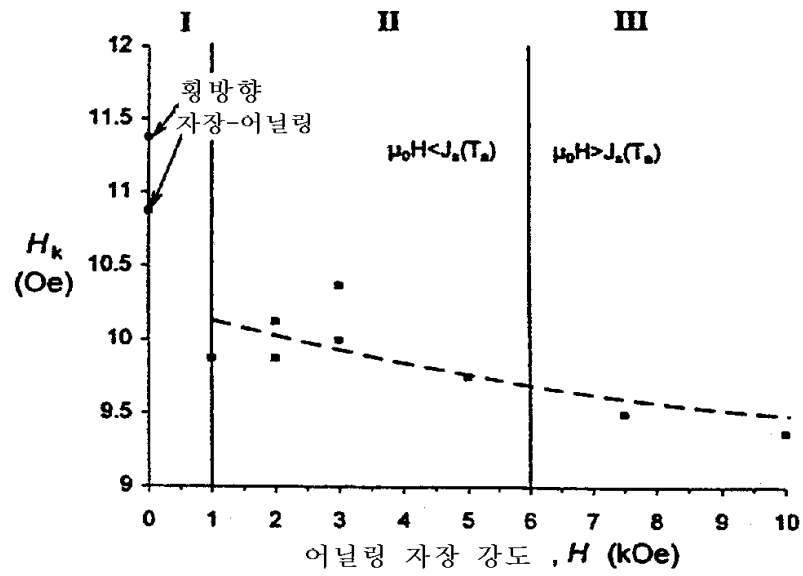
도면11a



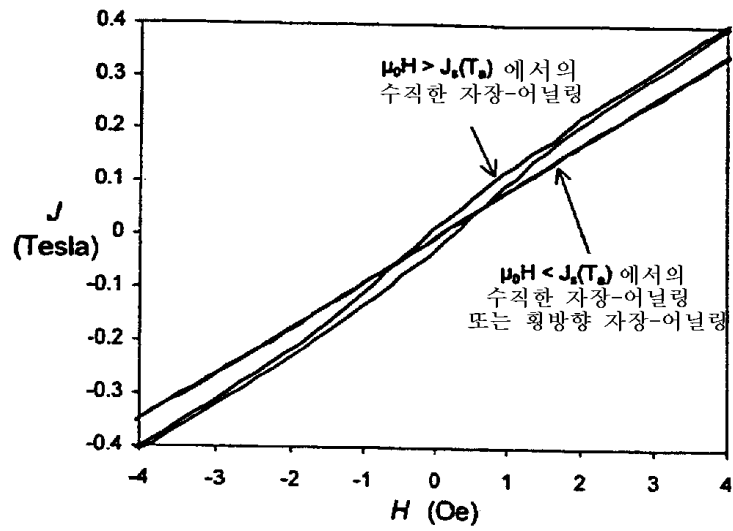
도면11b



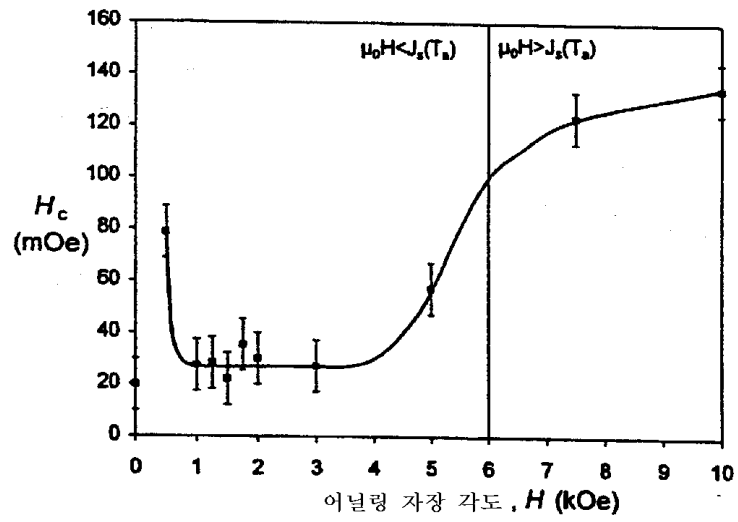
도면11c



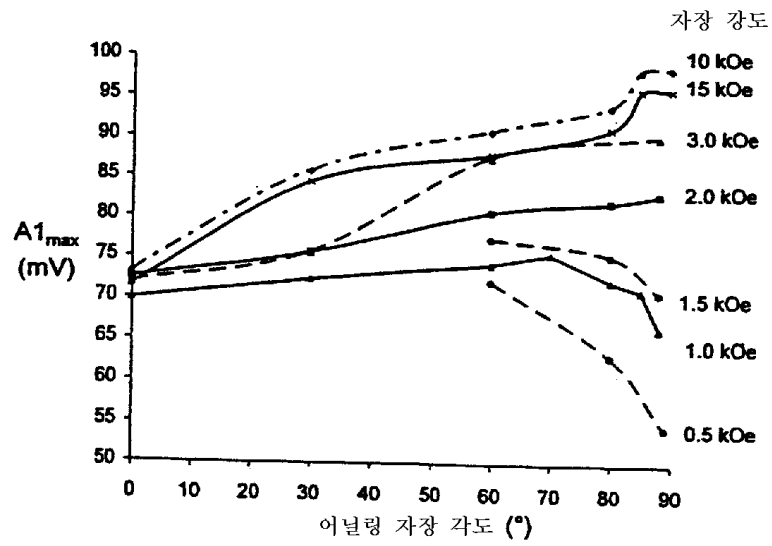
도면12a



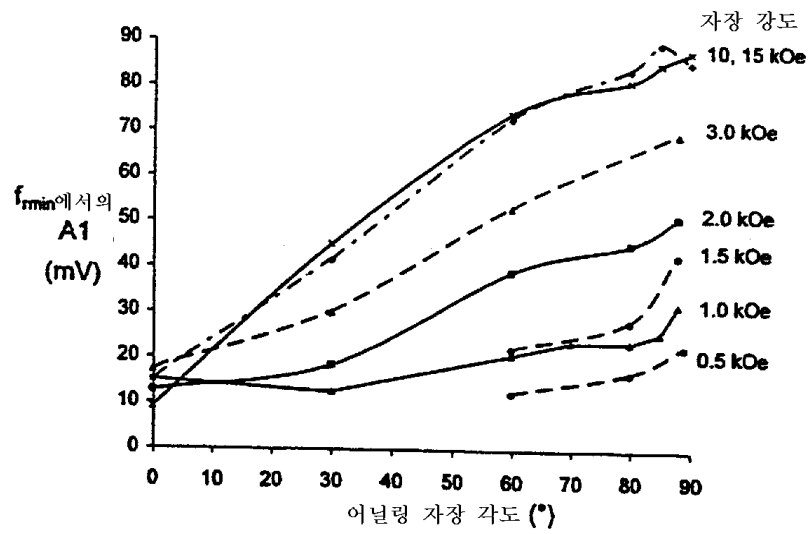
도면12b



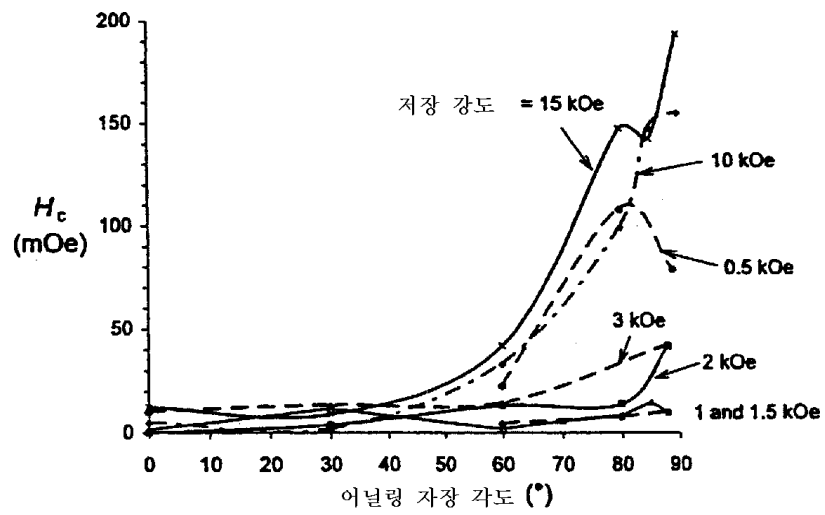
도면13a



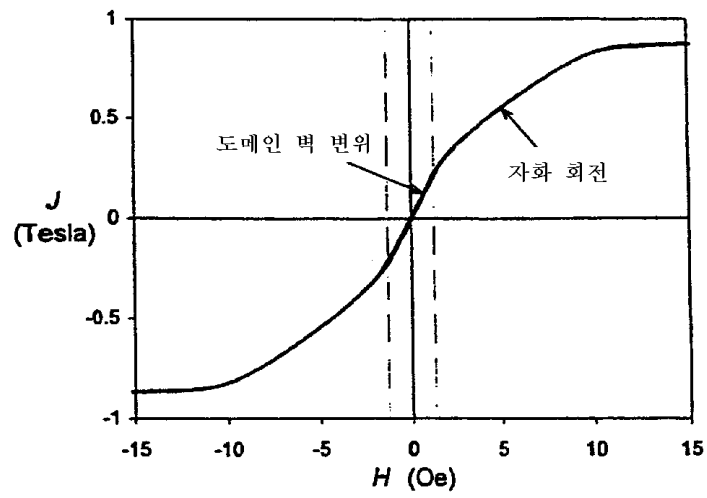
도면13b



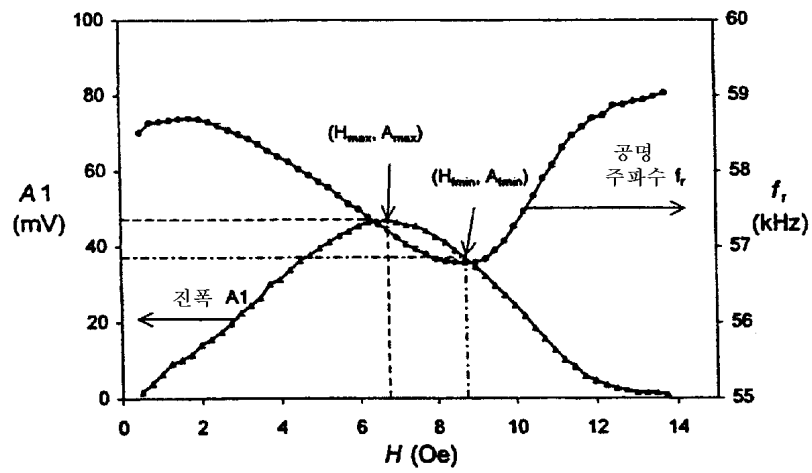
도면14



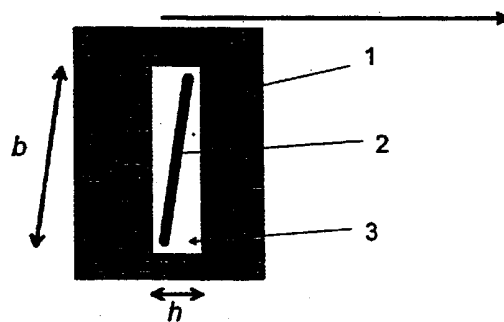
도면15a



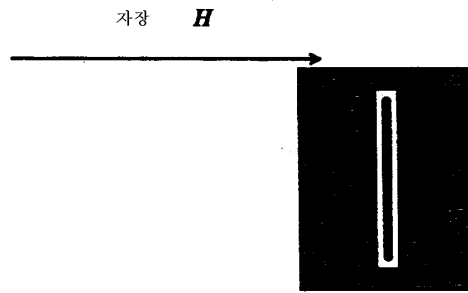
도면15b



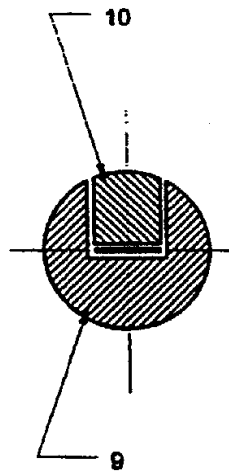
도면16a



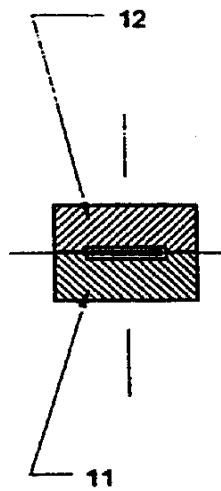
도면16b



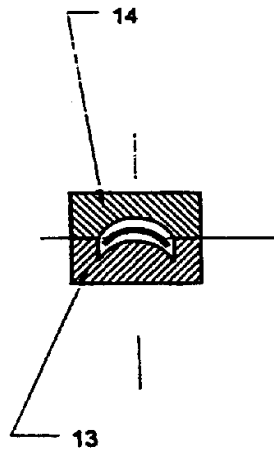
도면17a



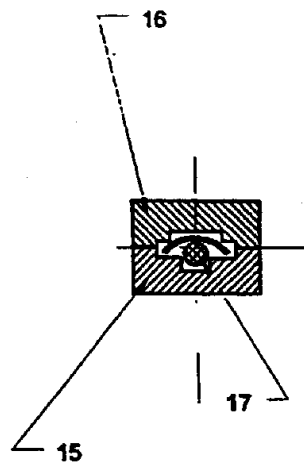
도면17b



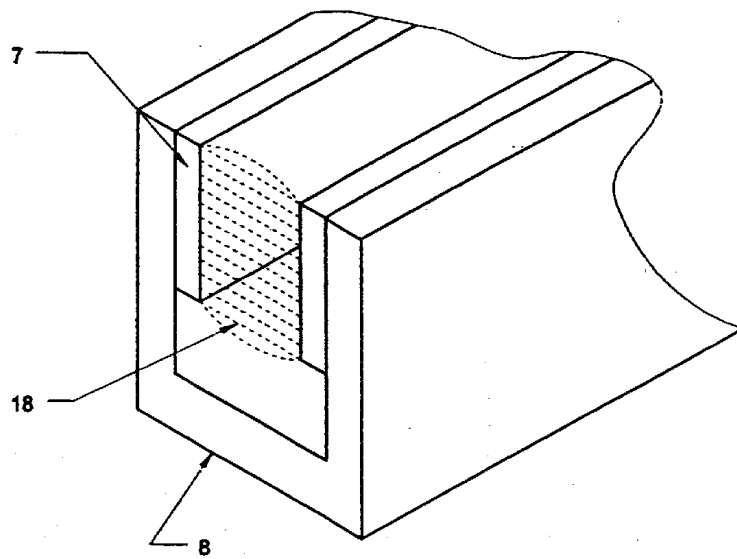
도면17c



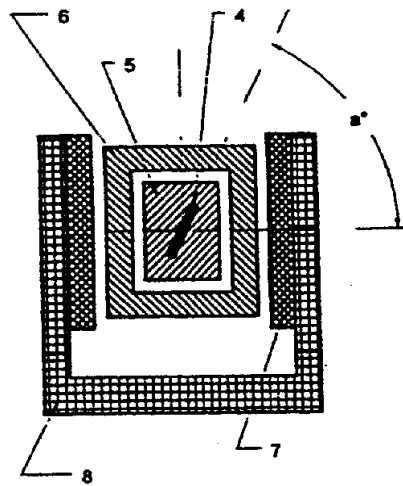
도면17d



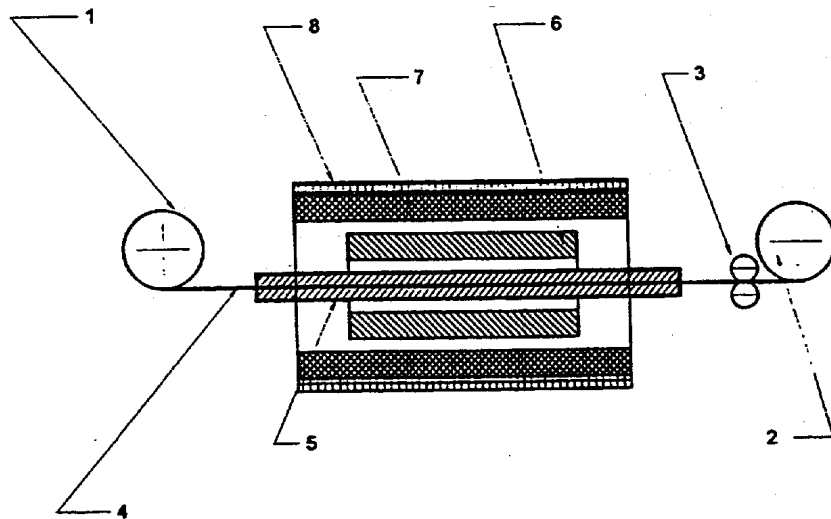
도면18



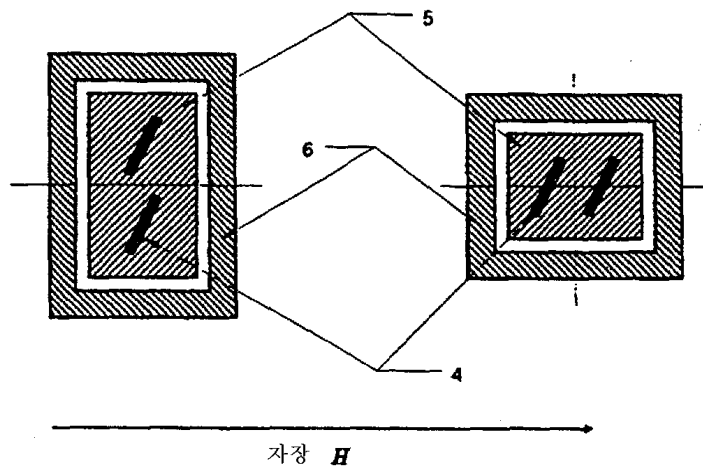
도면19a



도면19b

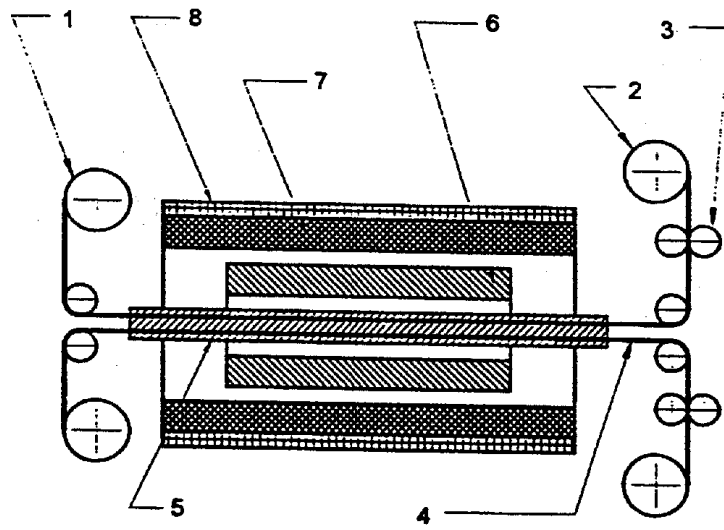


도면20a

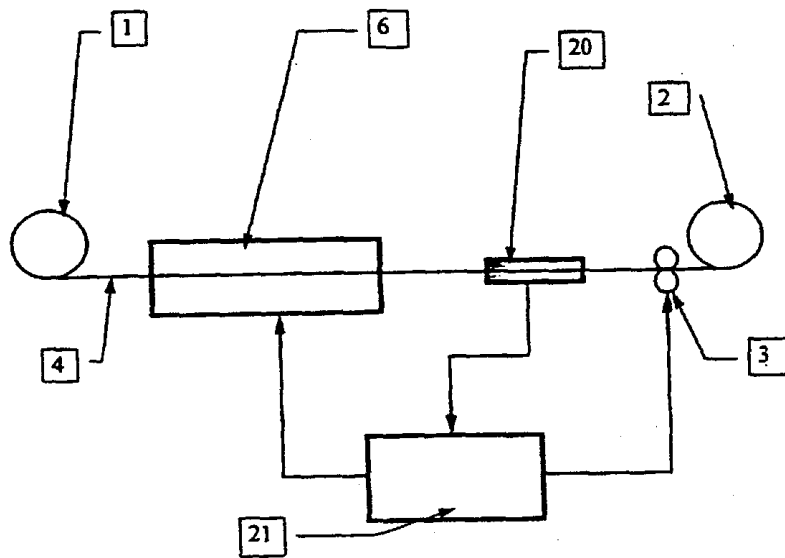




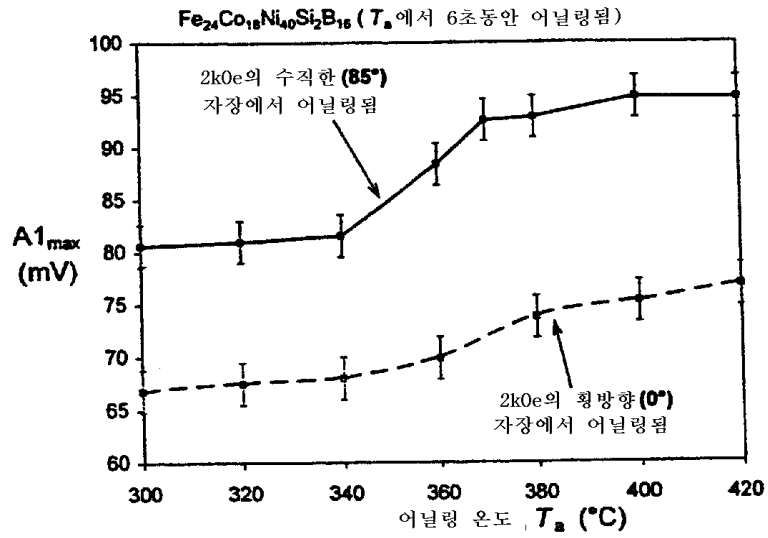
도면20b



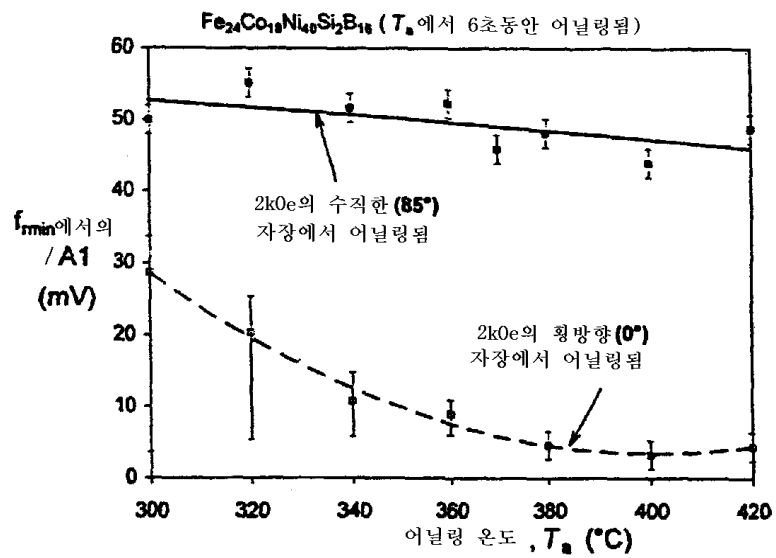
도면21



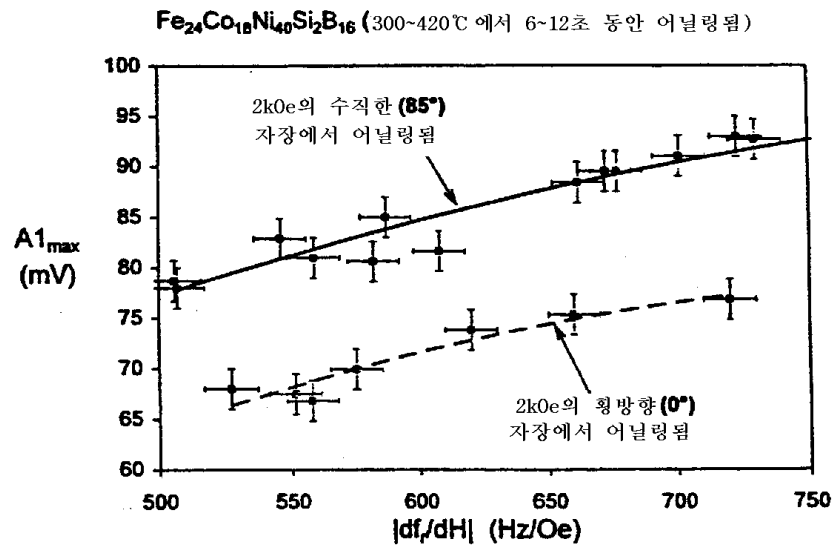
도면22a



도면22b



도면23



도면24

