

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구  
국제사무국

(43) 국제공개일  
2018년 3월 8일 (08.03.2018)



(10) 국제공개번호  
**WO 2018/043963 A1**

(51) 국제특허분류:  
*H01F 1/153* (2006.01) *C22C 1/00* (2006.01)  
*C22C 45/02* (2006.01)  
(21) 국제출원번호: PCT/KR2017/009005  
(22) 국제출원일: 2017년 8월 18일 (18.08.2017)  
(25) 출원언어: 한국어  
(26) 공개언어: 한국어  
(30) 우선권정보:  
10-2016-0111370 2016년 8월 31일 (31.08.2016) KR  
(71) 출원인: 한양대학교 에리카산학협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) [KR/KR]; 15588 경기도 안산시 상록구 한양대학교로 55, Gyeonggi-do (KR). 주식회사 아모그린텍 (AMO-

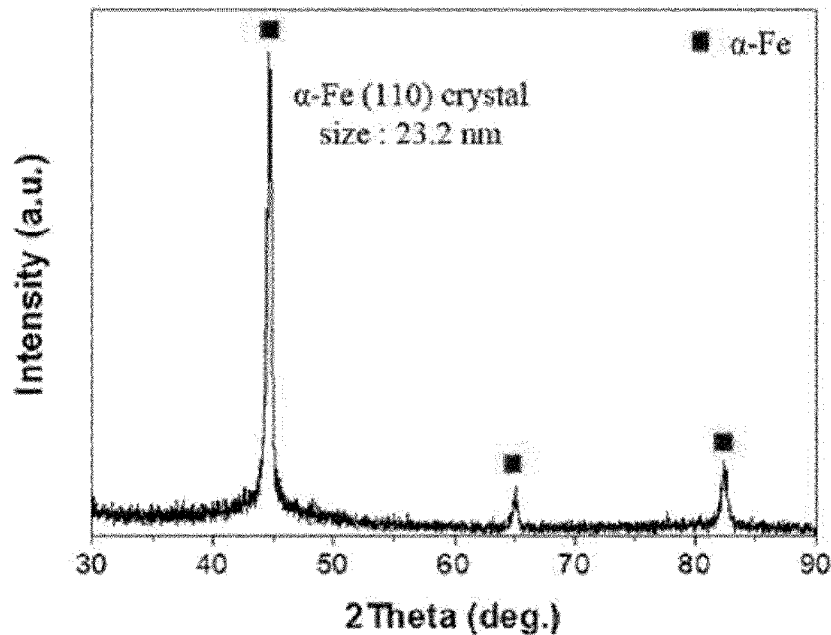
GREENTECH CO., LTD.) [KR/KR]; 10014 경기도 김포시 통진읍 김포대로1950번길 91, Gyeonggi-do (KR).

(72) 발명자: 김종렬 (KIM, Jong Ryoul); 02467 서울시 동대문구 고산자로 534, 108동 1701호 (제기동, 한신아파트), Seoul (KR). 강민 (KANG, Min); 15487 경기도 안산시 상록구 송호5길 19-4, 4층 (이동), Gyeonggi-do (KR). 김우철 (KIM, Woo Chul); 01464 서울시 도봉구 덕릉로59나길 30, 우성하우스빌딩 302호 (창동), Seoul (KR). 오한호 (OH, Han Ho); 10106 경기도 김포시 봉화로 90-3, 103동 304호 (북변동, 동변마을동양파라곤아파트), Gyeonggi-do (KR). 송용철 (SONG, Yong Sul); 06704 서울시 서초구 효령로 164, 5동 1206호 (방배동, 신동아파트), Seoul (KR).

(74) 대리인: 특허법인 이룸리온 (ERUUM & LEEON INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 06575 서울시 서초구 사평대로 108 3층 (반포동), Seoul (KR).

(54) Title: FE-BASED SOFT MAGNETIC ALLOY AND MAGNETIC PART USING SAME

(54) 발명의 명칭: FE계 연자성 합금 및 이를 통한 자성부품



(57) Abstract: An Fe-based soft magnetic alloy is provided. The Fe-based soft magnetic alloy according to an embodiment of the present invention is represented by empirical formula  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{C}_c\text{Cu}_d$  wherein a, b, c and d indicate the at%(atomic percent) of corresponding elements,  $78.5 \leq a \leq 87.0$ ,  $12 \leq b+c \leq 21$  and  $0.5 \leq d \leq 1.5$ , and comprises  $\alpha$ -Fe and metal compounds formed with Fe and at least one element of B, C and Cu. Accordingly, the alloy has a high saturated magnetic flux density, excellent high-frequency characteristics and low coercivity, and thus can be very easily employed as a compact and light high-performance and high-efficiency part. Also, the present invention incurs a very low production cost and can be mass-produced by facilitating alloy production by allowing easy

[다음 쪽 계속]



WO 2018/043963 A1



- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

control of components, contained in the alloy, during the alloy production process. Accordingly, the present invention can be widely applied as a magnetic part of electric and electronic devices such as a high-power laser, a high-frequency power supply, a high-speed pulse generator, an SMPS, a high-pass filter, a low-loss high-frequency transformer, a high-speed switch and wireless charging.

(57) 요약서: Fe계 연자성 합금이 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 Fe계 연자성 합금은 실험식  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{C}_c\text{Cu}_d$  로 표시되고, 상기 실험식에서 a, b, c 및 d는 해당 원소의 at%(atomic percent)이며,  $78.5 \leq a \leq 87.0$ ,  $12 \leq b+c \leq 21$ ,  $0.5 \leq d \leq 1.5$ 이며,  $\alpha\text{-Fe}$ , 및 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도 하나의 원소간 형성되는 금속화합물들을 포함한다. 이에 의하면, 높은 포화자속밀도, 우수한 고주파 특성 및 낮은 보자력을 가져서 고성능/고효율의 소형/경량화된 부품으로의 용도전개가 매우 용이하다. 또한, 본 발명은 제조단가가 매우 낮고, 합금에 포함되는 성분이 합금의 제조과정에서 쉽게 컨트롤됨으로써 합금의 제조가 용이하여 대량생산이 가능함에 따라서 대출력 레이저, 고주파 전원, 고속펄스발생기, SMPS, 고주파 필터, 저손실 고주파 트랜스포머, 고속 스위치, 무선충전 등의 전기, 전자기기의 자성부품으로 널리 응용될 수 있다.

## 명세서

### 발명의 명칭: FE계 연자성 합금 및 이를 통한 자성부품

#### 기술분야

- [1] 본 발명은 Fe계 연자성 합금에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 높은 포화자속밀도를 가져 소형 및 경량화된 부품으로 구현이 적합하며, 자기손실이 적어 뛰어난 자기적 성능을 발휘할 수 있는 Fe계 연자성 합금 및 이를 통한 자성부품에 관한 것이다.

#### 배경기술

- [2] 연자성 재료는 각종 트랜스, 초크 코일, 각종 센서, 가포화 리액터, 자기 스위치 등의 자심용 재료로써, 배전용 트랜스, 레이저 전원이나 가속기 등 전력의 공급이나 전력의 변환 등을 위한 다양한 전기, 전자기기에 널리 사용되고 있다. 이와 같은 전기, 전자기기에 대한 기술수요는 소형 경량화, 고성능/고효율화 및 낮은 제품단가에 있다. 이와 같은 기술수요를 만족시키기 위해 자심용 연자성 재료가 구비해야 하는 물성은 높은 포화자속밀도 및 낮은 자기손실이다. 구체적으로 자심의 출력은 식 전압( $E$ )=자속밀도( $B_m$ ) $\times$ 4.44주파수( $f$ ) $\times$ 권선수( $N$ ) $\times$ 자심단면적( $S$ )으로 계산될 수 있고, 상기 전압( $E$ )을 높이기 위해서는 각각의 인자가 높아져야 한다. 상기 인자 중 자심의 자성재료에 의존하는 것은 자속밀도( $B_m$ ) 및 주파수( $f$ )인데, 상기 자속밀도를 높이기 위해서는 자성재료의 포화자속밀도가 높고, 동시에 낮은 자기손실을 갖는 재료가 요구된다. 상기 자기손실은 히스테리시스 손실, 와전류 손실 및 이상손실의 총합으로 계산되는데, 상기 와전류 손실 및 이상손실의 경우 자심 자성재료의 자구크기, 비저항, 자심의 두께에 의존하며, 자구의 크기가 낮고, 비저항이 높으며, 얇은 두께의 자심일수록 자기손실에서는 유리할 수 있다. 또한, 상기 주파수를 높이기 위해서는 자성재료의 고주파손실이 적어야 하나, 주파수( $f$ )를 높이는 것은 회로적 접근이 요구됨에 따라서 재료적 접근으로는 한계가 있다.
- [3] 한편, 현재 상용화된 자성재료로 높은 포화자속밀도를 갖고 동시에 낮은 손실을 갖는 소재로 알려진 Fe를 포함하는 비정질 합금은 결정립이 존재하지 않으므로, 결정 자기이방성이 존재하지 않고, 자기 히스테리시스가 작아 저보자력으로 히스테리시스 손실이 작으며, 우수한 연자성을 나타냄에 따라서 Fe를 포함하는 비정질 합금은 에너지 절약 재료로서 주목받고 있다.
- [4] 상기 Fe를 포함하는 비정질 합금은 합금을 형성하는 원소로 Fe 이외에 비정질 형성능을 높이는 Si, B, P와 같은 원소나 핵생성 사이트 및/또는 확산방벽 역할을 하는 Cu, Nb, Zr 원소 등의 준금속(metalloid)을 포함시켜 개발 및 제조되고 있다. 다만, 상기와 같은 준금속의 함량이 증가할 경우 합금의 포화자속밀도가 저하되는 문제가 있고, 준금속의 함량이 감소될 경우 비정질로 형성되지 않거나

특성변화를 위한 후처리 공정(Ex. 열처리)에서 결정의 크기가 현저히 커져 보자력, 자기손실이 증가할 수 있다. 또한, 준금속 원소의 포함으로 다른 문제들이 발생하기도 하는데, 구체적으로 비정질 형성능을 향상시키는 것으로 알려진 P를 포함하는 Fe계 비정질 합금은 특성변화를 위한 후공정에서 쉽게 휘발됨에 따라서 취급이 어려워져 이를 억제하면서 후공정을 진행하기가 매우 곤란하고, 후공정에서 합금의 생산성이 현저히 저하되며, 대량생산에도 매우 불리할 수 있다. 또한, 비정질 형성능이 있다고 알려진 B를 포함시킬 경우 제조된 합금의 1차 결정화 온도 및 2차 결정화온도 사이의 간극이 매우 좁아져 후처리시  $\alpha$ -Fe 이외에 Fe와 다른 원소간 화합물(Ex. Fe-B)이 생성되어  $\alpha$ -Fe의 균질한 결정을 얻기 어려울 수 있는 문제가 있다. 또한, Nb 등의 희소금속을 포함시킬 경우 후공정에서의 결정입도 제어에 유리하나 상기 원소의 단가가 고가임에 따라서 생산원가가 현저히 증가하는 문제가 있다.

- [5] 따라서, Fe계 합금을 비정질화시키면서도 고포화자속밀도, 저보자력 및 저자기손실을 발현하게 하고, 나아가 자성 특성의 변화를 위한 후공정(Ex. 열처리) 후 생성 결정의 크기를 작고 균일하게 하며, 대량생산이 용이하고 생산원가가 절감된 Fe 이외에 준금속을 포함하는 합금의 개발이 시급한 실정이다.

## 발명의 상세한 설명

### 기술적 과제

- [6] 본 발명은 상기와 같은 점을 감안하여 안출한 것으로, 높은 포화자속밀도, 우수한 고주파 특성 및 낮은 보자력을 가져서 고성능/고효율의 소형/경량화된 부품으로의 용도전개가 매우 용이한 Fe계 연자성 합금을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [7] 또한, 본 발명은 희토류 원소 등의 단가가 높은 성분을 불포함에도 불구하고 균일하면서도 입경이 작은 결정을 후공정을 통해 생성시켜 높은 수준의 자기적 특성을 발현할 수 있는 Fe계 연자성 합금을 제공하는 것에 다른 목적이 있다.
- [8] 나아가, 본 발명은 합금의 성분이 제조과정에서 쉽게 컨트롤됨으로써 합금을 보다 쉽고, 대량으로 생산 가능함에도 불구하고 발현되는 자기적 특성은 종래에 비해 동등 또는 그 이상으로 발현되는 Fe계 연자성 합금을 제공하는 것에 또 다른 목적이 있다.
- [9] 더불어, 본 발명은 에너지 공급 및 변환 기능을 우수하게 수행할 수 있는 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금을 포함하는 각종 전기, 전자기기의 자성부품을 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

### 과제 해결 수단

- [10] 상술한 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 실험식  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{C}_c\text{Cu}_d$  로 표시되고,  $\alpha$ -Fe, 및 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도 하나의 원소간 형성되는 금속화합물들을 포함하는 Fe계 연자성 합금을 제공한다. 단, 상기 실험식에서 a, b, c 및 d는 해당

원소의 at%(atomic percent)이며,  $78.5 \leq a \leq 87.0$ ,  $12 \leq b+c \leq 21$ ,  $0.5 \leq d \leq 1.5$  이다.

- [11] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 금속화합물은 Fe-B 화합물 및 Fe-C 화합물을 포함할 수 있다. 또한, 상기 Fe-C 화합물은  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_{93}\text{C}_7$  및  $\text{Fe}_4\text{C}_{0.63}$  중 어느 하나 이상의 화합물을 포함할 수 있다.

- [12] 또한, 상기 Fe계 연자성 합금은 하기 수학적 식 1에 따른 결정화된 면적값이 70% 이하일 수 있고, 보다 바람직하게는 30 ~ 70%, 보다 더 바람직하게는 40 ~ 70%일 수 있다.

- [13] [수학적 식 1]

$$\text{결정화된 면적값}(\%) = \frac{\text{결정질영역 면적}}{\text{결정질영역 면적} + \text{비결정질영역 면적}} \times 100$$

- [15] 이때, 상기 면적은 Fe계 연자성 합금에 대한  $10 \sim 90^\circ$  앵글( $2\theta$ )로 X선 회절(XRD) 분석 시 측정된 결정질영역 또는 비결정질영역에 대한 적분값을 의미한다.

- [16] 또한, 상기 Fe계 연자성 합금은 결정립의 평균입경이  $18 \sim 30\text{nm}$ 이며, 결정립 중 최대입경이  $50\text{nm}$  이하일 수 있다.

[17]

- [18] 또한, 상기 실험식에서  $b$  및  $c$ 는 각각  $8 \leq b \leq 20$  및  $1 \leq c \leq 14$ 일 수 있다.

- [19] 또한, 상기 Fe계 연자성 합금의 형상은 분말, 리본 또는 로드(rod)형일 수 있다.

- [20] 또한, 본 발명은 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금을 포함하는 자기장 차폐부재를 제공하며, 상기 자기장 차폐부재는 와전류의 발생을 감소시키기 위해 Fe계 연자성 합금이 파편화되어 구비될 수 있다.

- [21] 또한, 상기 자기장 차폐부재는 안테나유닛의 일면에 구비되어 안테나모듈로 구현될 수 있다.

- [22] 또한, 본 발명은 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금을 포함하는 자심을 제공하며, 상기 자심은 외부에 권취되는 코일을 포함하여 코일부품으로 구현될 수 있다.

- [23] 이하, 본 발명에서 사용한 용어에 대해 설명한다.

- [24] 본 발명에서 사용한 용어으로써, "초기합금"은 제조된 합금의 특성변화 등을 위하여 별도의 처리, 예를 들어 열처리 등의 공정을 거치지 않은 상태의 합금을 의미한다.

### 발명의 효과

- [25] 본 발명에 의하면, 높은 포화자속밀도, 우수한 고주파 특성 및 낮은 보자력을 가져서 고성능/고효율의 소형/경량화된 부품으로의 용도전개가 매우 용이하다. 또한, 본 발명은 제조단가가 매우 낮고, 합금에 포함되는 성분이 합금의 제조과정에서 쉽게 컨트롤됨으로써 합금의 제조가 용이하여 대량생산이 가능함에 따라서 대출력 레이저, 고주파 전원, 고속펄스발생기, SMPS, 고주파 필터, 저손실 고주파 트랜스포머, 고속 스위치, 무선충전 등의 전기, 전자기기의

자성부품으로 널리 응용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [26] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 Fe계 연자성 합금으로  $\text{Fe}_{85.3}\text{B}_{10}\text{C}_4\text{Cu}_{0.7}$ 인 합금에 대한 물성평가 결과도면으로써, 도 1a는 상기 합금의 XRD 패턴을 나타낸 도면이고, 도 1b는 TEM사진, 도 1c는 SAD패턴을 나타낸 도면, 도 1d는 VSM에 따른 히스테리시스 곡선을 나타낸 도면이다.

### 발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [27] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[28]

- [29] 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금은 실험식  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{C}_c\text{Cu}_d$  로 표시되는 합금이며, 상기 실험식에서 a, b, c 및 d는 해당 원소의 at%(atomic percent)이고,  $78.5 \leq a \leq 87.0$ ,  $12 \leq b+c \leq 21$ ,  $0.5 \leq d \leq 1.5$ 를 만족한다.

- [30] 먼저, 상기 Fe는 자성을 발현시키는 합금의 주원소로써, 포화 자속 밀도의 향상을 위하여 Fe는 78.5at% 이상으로 합금내에 포함된다. 만약, Fe가 78.5at% 미만일 경우 목적하는 수준의 포화 자속 밀도를 구현할 수 없을 수 있다. 또한, Fe의 비율이 87.0at%를 초과할 경우 비정질의 초기 합금 제조를 위한 액체 급랭시에도 비정질 형성이 어려울 수 있고, 초기합금에 생성된 결정은 특성변화를 위한 열처리 공정에서 균일한 결정성장을 방해하고, 생성된 결정의 크기가 목적하는 수준 이상으로 커짐에 따라서 보자력이 증가하는 등 자기손실이 증가하는 문제가 있다.

- [31] 다음으로 상기 실험식에서 B 및 C는 비정질 형성능을 가지는 원소로써, 이들 원소를 통해 초기 합금을 비정질상으로 형성시킬 수 있다. 또한, C원소는 B원소와 조합됨으로써, B원소만 포함하는 경우에 비하여 생성되는  $\alpha$ -Fe 결정의 입도를 목적하는 수준으로 제어하기에 용이하게 하며, 초기합금의 열적안정성을 향상시켜서 열처리시 균질한  $\alpha$ -Fe 결정을 수득하는데 유리한 이점이 있다. 만일 B원소와 C원소의 총합이 합금내 12at% 미만일 경우 비정질의 초기 합금 제조를 위한 액체 급랭시에도 비정질 형성이 어려울 수 있다. 또한, 이로 인해 생성된 결정은 초기합금에 열처리시 생성되는 결정들이 균일한 입경을 가지도록 성장시키기 어렵게 하며, 조대화된 입경을 가진 결정들이 포함될 수 있고, 이로 인해 자기손실이 증가할 수 있는 문제점이 있다. 또한, 합금내 C원소 및 B원소의 총합이 21at%를 초과하여 포함될 경우 나노결정립의 합금으로 제조하기 위한 후술하는 Cu원소의 함량을 증가시켜야 됨에 따라서 Fe원소의 함량이 더욱 저하될 수 있고, 이에 따라 목적하는 수준의 포화자속밀도를 구현하지 못할 수 있다. 또한,  $\alpha$ -Fe결정이외에 Fe가 B 및/또는

C와 화합물을 형성하기 용이해지고, 이들의 양이 많아짐에 따라서  
포화자속밀도는 더욱 감소할 수 있는 문제가 있다

- [32] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 합금에 포함되는 B원소 및 C원소의 함량은  
관계식 1로써, 을 만족할 수 있다.

$$0.047 \leq \frac{c}{b+c} \leq 0.66$$

상기 관계식 1을 만족함을 통하여 초기합금을 비정질상으로 제조할 수 있는  
동시에 합금의 열적 안정성을 더욱 향상시켜 균질한  $\alpha$ -Fe의 결정을 수득할 수  
있다. 만일  $c/(b+c)$ 의 값이 0.047미만일 경우 합금의 열적안정성이 저하되어  
열처리시에  $\alpha$ -Fe의 결정이외에 Fe-B계 및/또는 Fe-C계 화합물의 생성이 현저히  
증가할 수 있어서 열처리 공정의 제어에 많은 어려움이 있을 수 있고, 초기합금  
또는 열처리 합금의 포화자속밀도가 감소하거나 자기손실이 증가할 수 있는  
문제가 있으며,  $\alpha$ -Fe결정의 입도제어가 곤란해져 균일한 입도를 갖는  $\alpha$ -Fe  
결정을 갖는 자성재료를 제조할 수 없을 수 있다. 또한, 만일  $c/(b+c)$ 의 값이  
0.66을 초과할 경우 초기합금에서 나노결정립이 생성될 수 있어서 열처리 시  
생성되는 결정의 입도제어가 매우 어렵고, 조대화된 입경을 갖는 결정이 생성될  
수 있다.

- [33] 본 발명의 일 실시예에 따른 합금에 포함되는 B원소는 합금내 8 ~ 20at%로  
포함될 수 있다. 만일 B원소가 20at%를 초과하여 포함될 경우 제조된  
초기합금의 결정화 온도들 간의 간격이 좁아져 열정안정성이 감소하고, 이에  
따라 균질한  $\alpha$ -Fe의 결정을 얻기 어려울 수 있다. 또한, B원소가 8at% 미만으로  
포함될 경우 초기합금에 결정이 생성될 수 있고, 상기 결정은 열처리 된  
합금에서 생성되는 결정들의 입경분포가 균일하게 제조되기 어렵게 하고,  
조대화된 결정으로 성장할 수 있는 문제가 있다.

- [34] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 합금에 포함되는 C원소는 합금내 1 ~  
14at%로 포함될 수 있다. 만일 C원소가 합금내 1at%이하로 포함될 경우  
초기합금을 비정질상으로 제조하기 어려우며, 이를 위해 상술한 B원소를  
증가시킬 경우 초기합금의 열적 안정성이 저하되는 2차문제를 유발할 수 있다.  
또한, 제조된 초기합금의 열처리시에 생성되는  $\alpha$ -Fe결정의 입도제어가 곤란해져  
균일한 입도를 갖는  $\alpha$ -Fe 결정을 갖는 자성재료를 제조할 수 없을 수 있다. 또한,  
만일 C원소가 합금내 14at%를 초과하여 포함될 경우 오히려 초기합금에서 30nm  
이상의 입경을 갖는  $\alpha$ -Fe결정이 생성될 수 있고, 이와 같은 초기합금의 결정은  
열처리공정에서  $\alpha$ -Fe결정의 입도제어를 어렵게 하는 문제가 있다. 또한,  
초기합금에서 다른 금속간 화합물이 이미 생성됨에 따라서 열처리시 생성되는  
 $\alpha$ -Fe결정의 합금내 양이 목적하는 수준으로 포함되지 않을 수 있다. 더불어  
보자력이 현저히 증가하여 자기손실이 큼에 따라서 목적하는 수준의  
자기적특성이 발현되지 않아서 소형화된 자성재료로 응용이 어려울 수 있다.

- [35] 한편, 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금의 조성에는 Si 원소가 포함되지 않는다. 통상적인 Fe계 연자성 합금에는 Si 원소가 포함되는데, 상기 Si 원소는 합금의 비정질 형성능을 향상시키는 동시에 생성되는  $\alpha$ -Fe 결정의 입경의 균일화에 도움을 준다. 다만, 상기 Si를 합금내 포함시킬 경우 Fe 이외의 준금속, 예를 들어 B, C, Cu의 함량을 감소시키거나 Fe의 함량을 감소시켜야 하는 문제가 있고, Fe의 함량 감소는 고포화자속밀도의 Fe계 합금의 구현을 어렵게 한다. 이에 따라 본 발명의 Fe계 합금은 Si 원소를 포함하지 않는 대신에 Fe 원소의 함량을 증가시켜 고포화밀도를 구현하고 있으나, Si 원소가 불포함됨에 따라서 합금내 결정의 입경제어가 매우 곤란하고 균일한 입경을 갖는 합금의 제조가 매우 용이하지 않는 불리함도 동시에 내재하고 있다. 이와 같은 불리함을 해결하기 위하여, 상기 C 원소는 상술한 Fe 원소와 관계식 2로써,

을 만족할 수 있고, 이를 통해 초기합금의

$$5.6 \leq \frac{a}{c} \leq 87.0$$

열처리시 Fe-C계 화합물이 적정한 수준으로 생성될 수 있어서 Si 원소가 불포함됨에도 불구하고,  $\alpha$ -Fe 결정의 입경제어를 목적하는 수준으로 달성할 수 있도록 한다. 만일 관계식 2에서  $a/c$ 가 5.6 미만일 경우 포화자속밀도가 감소할 수 있으며, 비정질의 초기합금이 제조되기 어려울 수 있고, 열처리시 생성되는  $\alpha$ -Fe 결정의 입도제어가 어려울 수 있다. 또한, 관계식 2에서  $a/c$ 가 87.0을 초과하는 경우  $\alpha$ -Fe 결정의 입경제어가 어렵고, 조대화된  $\alpha$ -Fe 결정이 생성되거나 입경분포가 매우 넓은  $\alpha$ -Fe 결정이 생성될 수 있는 문제가 있다.

- [36] 다음으로, 상기 실험식에서 Cu는 초기합금에서  $\alpha$ -Fe 결정을 생성시킬 수 있는 핵생성 사이트로서의 역할을 담당하는 원소로, 비정질상의 초기합금을 나노결정립 합금으로 구현시킬 수 있다. Cu 원소는 목적하는 물성의 현저한 발현을 위해 바람직하게는 합금내 0.5~1.5at%로 포함된다. 만일 상기 Cu 원소가 합금내 0.5at% 미만으로 포함되는 경우 제조되는 합금의 비저항이 크게 감소하여 와전류로 인한 손실이 커질 수 있고, 열처리된 합금에 목적하는 수준으로  $\alpha$ -Fe의 나노결정립이 생성되지 않을 수 있다. 또한, 만일 Cu 원소가 합금내 1.5at%를 초과하여 포함될 경우 상술한 Fe, B, C 원소의 함량이 상대적으로 감소함에 따라서 해당원소로 인한 효과가 감소될 수 있고, 열처리시 생성되는 결정의 입도제어가 어려울 수 있다.

- [37] 또한, 상기 실험식에서 b, c 및 d는 관계식 3으로써,

을 만족할 수 있다. 상기 관계식 3을

$$8 \leq \frac{b+c}{d} \leq 42$$

만족함을 통하여 초기합금을 비정질상으로 제조할 수 있는 동시에 나노결정립 합금으로 제조가 용이하다. 만일 상기 관계식 3에서  $(b+c)/d$ 가 8 미만일 경우 초기합금의 비정질 형성능이 감소하거나 초기합금에서 조대화된 결정이 생성될 수 있고, 만일 상기 관계식 3에서  $(b+c)/d$ 가 42를 초과할 경우 열처리를 통해서도 나노결정립이 생성되기 어려울 수 있다.

- [38] 상술한 본 발명의 일 실시예에 의한 Fe계 연자성 합금은 비정질이거나 결정질일 수 있고, 또는 비정질 영역과 결정질 영역을 모두 포함하는 이형 원자배열구조일 수 있다. 바람직하게는 상기 비정질상을 갖는 Fe계 연자성 합금은 열처리되지 않은 초기합금상태에서의 구조일 수 있고, 이때, 상기 Fe계 연자성 합금은 형상이 분말일 수 있다.
- [39] 결정질상을 갖는 Fe계 연자성 합금은 초기합금을 열처리한 후 합금에서의 구조일 수 있고, 상기 결정질상은 나노결정립일 수 있으며, 상기 결정질 상의 평균입경은 30nm 이하일 수 있다. 또한, 상기 이형 원자배열구조는 초기합금 또는 열처리한 후 합금에서의 구조일 수 있다. 이때, 이형 원자배열구조가 초기합금상태에서는 결정질의 화합물은 평균입경이 10nm 이하, 바람직하게는 8nm 이하의 미세한 입경을 가질 수 있다. 또한, 상기 이형 원자배열구조가 열처리한 후 합금상태일 경우 결정질의 화합물은 평균입경이 30nm 이하, 바람직하게는 28nm 이하일 수 있으며, 이를 통해 목적하는 물성을 달성하기 유리할 수 있다.
- [40] 한편, 결정립의 평균입경이 바람직한 범위를 만족해도 일부의 경우 보자력에서 변동이 있을 수 있다. 즉, 결정 중에서 최대입경의 크기가 50nm를 초과할 경우 그렇지 않은 경우에 대비하여 보자력의 증가가 있을 수 있다. 이에 Fe계 연자성 합금에서 생성된 결정의 최대입경 크기는 50nm 이하가 바람직하다.
- [41]
- [42] 본 발명의 일 실시예에 따른 Fe계 연자성 합금이 이형 원자배열구조일 경우 비정질 영역 및 결정질 영역이 6:4 ~ 3:7의 부피비로 합금내 포함될 수 있다. 만일 비정질 영역 및 결정질 영역이 6:4의 부피비를 초과하여 비정질 영역이 더 많아질 경우 목적하는 수준의 포화자속밀도 등 목적하는 자기적 특성을 발현시키지 못할 수 있다. 또한, 만일 비정질 영역 및 결정질 영역이 3:7의 부피비 미만으로 결정질 영역이 더 많아질 경우 생성된 결정 중  $\alpha$ -Fe 결정 이외 다른 화합물의 결정 생성이 증가할 수 있고, 목적하는 자기적 특성을 발현할 수 없을 수 있다.
- [43] 상술한 Fe계 연자성 합금은 열처리 전 상태에서의 형상이 분말, 스트립, 리본일 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니며, 최종 자성재료의 형상, 열처리 공정 등을 고려하여 적절히 변형될 수 있다. 또한, 상기 Fe계 연자성 합금은 열처리 후의 형상이 리본 또는 로드형일 수 있고, 상기 로드형의 단면은 다각형, 원형, 타원형일 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니다.
- [44] 또한, 상술한 본 발명에 따른 Fe계 합금은  $\alpha$ -Fe, 및 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도

하나의 원소간 형성되는 금속화합물들을 포함한다.

- [45] 상기 Fe계 합금은  $\alpha$ -Fe 이외에 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도 하나의 원소간 형성되는 금속화합물들을 포함하는데 이와 같은 금속화합물을 통해 결정의 입경이 목적하는 수준으로 제어된 Fe계 합금일 수 있다. 즉, 합금내 일정 함량 생성된 Fe와 다른 준금속간의 화합물은  $\alpha$ -Fe이 목적하는 입경을 초과하여 조대화 되는 것을 막는 방벽역할을 하며, 보다 균일한 입경 분포의  $\alpha$ -Fe를 포함하는 Fe계 합금으로 구현될 수 있다.
- [46] 상기  $\alpha$ -Fe 및 상기 금속화합물들은 적정의 비율로 포함되며, 이를 통해 생성된  $\alpha$ -Fe의 입경이 목적하는 수준으로 균일하게 제어되고, 조대화된  $\alpha$ -Fe의 생성을 억제할 수 있다. 또한, 구현된 합금의 균질성이 향상되는 이점이 있다.
- [47] 상기 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도 하나의 원소간 형성되는 금속화합물들은 Fe-B 화합물 및 Fe-C 화합물 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 다만, Fe-B화합물을 포함하는 Fe계 합금은 Fe-C화합물을 포함하는 Fe계 합금에 비해 열적으로 열악할 수 있으며, 생성된 결정내  $\alpha$ -Fe의 함량이 적은 금속일 수 있음에 따라서 균질한 합금을 제조할 수 없고, 목적하는 물성을 모두 발현할 수 없는 문제가 있다. 이에 따라 보다 바람직하게는 금속화합물로 Fe-C 화합물을 포함할 수 있고, 이를 통해 합금의 열적안정성이 향상되어 보다 균일한  $\alpha$ -Fe를 갖는 합금이 제조되기 용이할 수 있다. 상기 Fe-C 화합물은  $F_3C$ ,  $Fe_{93}C_7$  및  $Fe_4C_{0.63}$  중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [48] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, Fe계 연자성 합금은 하기 수학적 식 1에 따른 결정화된 면적값이 70% 이하일 수 있고, 보다 바람직하게는 30 ~ 70%, 보다 더 바람직하게는 50 ~ 70%일 수 있다.

[49] [수학적 식 1]

$$[50] \quad \text{결정화된 면적값(\%)} = \frac{\text{결정질영역 면적}}{\text{결정질영역 면적} + \text{비정질영역 면적}} \times 100$$

[51] 이때, 상기 면적은 Fe계 연자성 합금에 대한 10 ~ 90° 앵글(2 $\theta$ )로 X선 회절(XRD) 분석 시 측정된 결정질영역 또는 비정질영역에 대한 적분값을 의미한다.

[52] 상기 결정화된 면적값이 70% 이하를 만족함을 통해  $\alpha$ -Fe 및 Fe와 다른 금속간 화합물, 예를들어 Fe-C계 화합물의 결정이 적절한 비율로 생성됨에 따라서 목적하는 물성을 만족시키기에 보다 유리할 수 있다. 만일 결정화된 면적값이 70%를 초과할 경우 Fe-C계 화합물 등 다른 금속간의 화합물 결정의 생성이 크게 증가하여 목적하는 수준의 물성을 발현하지 못할 수 있다. 또한, 상기 결정화된 면적값은 30% 이상인 것이 바람직한데, 30% 미만일 경우 역시 목적하는 자기적 특성의 수준을 만족하지 못할 수 있다.

[53]

- [54] 상술한 본 발명의 일실시예에 포함되는 Fe계 연자성 합금은 후술하는 제조방법으로 제조될 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니다.
- [55] 본 발명의 일실시예에 포함되는 Fe계 초기합금은 상술한 Fe계 합금의 실험식의 조성을 가지도록 각각의 원소를 포함하는 모재들이 칭량되어 혼합된 Fe계 합금형성 조성물 또는 Fe계 모합금을 용융 후 급냉응고시켜 제조할 수 있다. 상기 급냉응고시 사용되는 구체적인 방법에 따라 제조되는 Fe계 초기합금의 형상이 달라질 수 있다. 상기 급냉응고에 사용되는 방법은 통상적인 공지된 방법을 채용할 수 있어서 본 발명은 이에 대해 특별히 한정하지 않는다. 다만, 이에 대한 비제한 적인 예로써, 상기 급냉응고는 용융된 Fe계 모합금 또는 Fe계 합금형성 조성물이 분사되는 고압가스(Ex. Ar, N<sub>2</sub>, He 등) 및/또는 고압수를 통해 분말상으로 제조되는 가스분사법(automizing법), 용융금속을 빠르게 회전하는 원판을 이용하여 분말상을 제조하는 원심분리법, 빠른속도로 회전하는 롤에 의해 리본이 제조되는 멜트스피닝법 등이 있다. 이러한 방법들을 통해 형성되는 Fe계 초기 합금의 형상의 형상은 분말, 스트립, 리본 일 수 있다. 또한, 상기 Fe계 초기합금 내 원자배열은 비정질상일 수 있다.
- [56] 한편, 상기 Fe계 초기합금의 형상은 벌크일 수도 있다. Fe계 초기합금의 형상이 벌크일 경우 상술한 방법들에 의해 형성된 비정질 Fe계 합금의 분말이 통상적으로 알려진 방법, 예를들어 합체법 및 응고법 등을 통해 벌크비정질 합금으로 제조될 수 있다. 상기 합체법에 대한 비제한적 예로써, 충격합체(shock consolidation), 폭발성형(explosive forming), 분말소결(sintering), 열간압출 및 압연(hot extrusion and hot rolling) 등의 방법이 사용될 수 있다. 이들 중 충격합체법에 대해 설명하면, 충격합체법은 분말합금 중합체에 충격파를 가함으로써 파동이 입자 경계를 따라 전달되고 입자 계면에서 에너지 흡수가 일어나며, 이때 흡수된 에너지가 입자 표면에 미세한 용융층을 형성함으로써 벌크 비정질합금을 생산할 수 있다. 이때 생성된 용융층은 입자내부로의 열전달을 통해 비정질상태를 유지할 수 있도록 충분히 빠르게 냉각되어야 한다. 이 방법을 통해 비정질합금 본래 밀도의 99%까지의 충전밀도를 갖는 벌크 비정질합금을 제조할 수 있으며 충분한 기계적 특성을 얻을 수 있는 이점이 있다. 또한, 상기 열간 압출 및 압연법은 고온에서 비정질합금의 유동성을 이용한 것으로써 비정질합금 분말을 T<sub>g</sub> 근처의 온도까지 가열하고 압연하고, 압연성형 후 급냉시킴으로써 충분한 밀도와 강도를 갖는 벌크 비정질합금을 제조할 수 있다. 한편, 상기 응고법에는 구리합금 몰드주조법(copper mold casting), 고압 다이캐스팅(high pressure die casting), 아크용해(arc melting), 일방향 용해(unidirectional melting), 스퀴즈 캐스팅(squeez casting), 스트립 캐스팅 등이 있을 수 있으며, 각각의 방법들은 공지된 방법 및 조건을 채용할 수 있음에 따라서 본 발명은 이에 대해 특별히 한정하지 않는다. 일례로 상기 구리합금 몰드주조법은 용탕을 높은 냉각능을 갖는 구리 금형에 상기 금형 내부와 외부와의 압력차를 이용하여 상기 금형의 내부에 용탕을 주입하는 흡입법 또는

일정한 압력을 외부에서 가해 용탕을 주입하는 가압법을 이용하는 방법으로써, 가압 또는 흡입에 의해 고속으로 구리금형에 주입되는 용탕이 금속응고됨으로써 일정한 벌크 형상의 비정질인 Fe계 초기합금이 제조될 수 있다.

[57] 다음으로 제조된 Fe계 초기합금에 대해 열처리를 수행할 수 있다.

[58] 상기 열처리는 Fe계 초기합금의 원자배열을 비정질에서 결정질로 변태시키는 단계로써, 상기 열처리를 통해  $\alpha$ -Fe를 포함하는 나노결정립을 생성시킬 수 있다. 다만, 제2단계에서 열처리되는 온도, 승온속도 및/또는 처리시간 등에 따라서 생성되는 결정의 크기가 목적하는 수준 이상으로 성장될 수 있음에 따라서 열처리 조건의 조절이 결정입경 제어에 있어서 매우 중요하다. 특히 본 발명에 따른 Fe계 초기합금의 조성은 결정의 크기 성장을 막을 수 있는 방법의 기능을 담당하는 Nb 등의 원소를 불포함하고 있음에 따라서 통상의 열처리 조건으로는 목적하는 수준, 일예로 30nm 이하, 바람직하게는 25nm 이하로 나노결정립의 입경제어를 하기 매우 어려울 수 있고, 입경제어에 많은 시간과 노력이 들어갈 경우 대량생산이 어려울 수 있다.

[59] 이러한 문제점의 해결을 위해서 상기 열처리는 하기 수학적 2에 따른 열처리 기준온도의 80 ~ 120%, 보다 바람직하게는 95 ~ 110%의 온도로 수행될 수 있으며, 이를 통해 목적한 수준의 입경을 갖는 나노결정립을 생성시킬 수 있다.

[60] [수학적 2]

$$[61] \quad \text{열처리 기준온도}(^{\circ}\text{C}) = \frac{506}{(\text{Fe 합금내 탄소의 함량(at\%)})^{0.3}}$$

[62] 만일 상기 수학적 2에 따라 산출되는 열처리 기준온도의 80% 온도 미만으로 열처리될 경우 목적하는 수준으로 나노결정립이 생성되지 않을 수 있다. 또한, 만일 상기 열처리 기준온도의 120%의 온도를 초과하는 온도로 열처리될 경우 합금내 생성되는 결정의 입경이 조대화될 수 있으며, 생성되는 결정의 입경분포가 매우 넓어져 입경의 균일성이 저하되고,  $\alpha$ -Fe이외에 Fe와 다른 금속간 화합물의 결정이 과도하게 생성되어  $\alpha$ -Fe의 균일한 나노결정질의 Fe계 합금을 수득할 수 없을 수 있다.

[63] 또한, 본 발명의 일실시예에 따르면, 상기 열처리온도까지의 승온속도도 생성되는 나노결정립의 입경제어에 큰 영향을 미치며, 일예로 상온에서 열처리온도까지의 승온속도는 80°C/min 이하, 보다 바람직하게는 60°C/min 이하, 보다 더 바람직하게는 50°C/min 이하, 보다 더욱 바람직하게는 40°C/min 이하일 수 있다. 통상적으로 비정질 합금에서 결정질 합금으로 변태시키기 위한 열처리 공정에서의 승온속도는 고속승온, 일예로 100°C/min 이상일 경우에 균일한 입경의 결정을 수득하기에 유리하다고 알려져 있으나, 본 발명에 따른 Fe계 합금의 경우 통상적인 경향과는 다르게 80°C/min 이하의 승온속도로 천천히 승온시킨 후 목적하는 열처리 온도에서 열처리를 수행해야만 생성되는 결정의

입경이 평균입경에 가깝도록 균일하게 생성되기 유리할 수 있다.

- [64] 이는 승온속도가 높을 경우 균일한 입경의 결정생성에 도움이 될 수 있으나, 본 발명에 따른 Fe계 연자성 합금은 조성에 Si원소 등 균일한 나노결정립 생성에 도움을 주는 원소나 결정성장의 방벽역할을 수행하는 Nb원소 등을 포함하고 있지 않아서 입경제어가 매우 용이하지 않음에 따라서 고온승온시에 목적하는 수준으로 입경제어를 하지 못할 수 있다. 이에 따라서 고온승온에 비해 80°C/min이하의 저온승온이 바람직할 수 있고, 이를 통해 적정한 함량으로 Fe-C간 화합물이 생성 및  $\alpha$ -Fe의 결정크기를 제어함에 따라서 목적하는 균일한 입경의  $\alpha$ -Fe을 제조하는데 유리하다. 또한, 저온승온을 함에 따라서 대량생산에 보다 적합할 수 있고, 제조원가절감에 이득이 있다. 만일 승온속도가 80°C/min를 초과할 경우 생성되는 결정의 입도분포를 목적하는 수준으로 제어하지 못할 수 있는 문제점이 있다. 다만, 승온속도는 7°C/min 이상인 것이 바람직하고, 만일 7°C/min 미만의 속도로 승온 시에 열처리 시간이 장기화 되며, 장기화된 열처리 시간으로 인해 결정립 입경이 매우 불균일해지고, 조대한 결정립이 석출될 수 있는 우려가 있다.

- [65] 또한, 상기 제2단계에서 열처리온도로 열처리되는 시간은 30초 ~ 1시간 동안 수행될 수 있다. 상기 열처리 시간은 수행되는 열처리 온도에 따라 변경될 수 있으나, 만일 30초 미만으로 열처리될 경우 목적하는 수준으로 결정질로의 변태가 이루어지지 않을 수 있고, 만일 1시간을 초과하여 열처리될 경우 생성되는 결정의 입경이 조대화되는 문제가 있다.

- [66] 한편, 상기 제2단계는 열 이외에 압력 및/또는 자장을 더 부가하여 수행될 수도 있다. 이와 같은 부가적인 처리를 통해 특정 일방향으로의 자기적 이방성을 갖는 결정을 생성하도록 할 수 있다. 이때 가해지는 압력 또는 자장의 정도는 목적하는 물성의 정도에 따라 달라질 수 있어서 본 발명에서는 이를 특별히 한정하지 않으며, 공지된 조건을 채용하여 수행해도 무방하다.

[67]

- [68] 상술한 본 발명의 일실시예에 따른 Fe계 연자성 합금은 권자심, 적층자심, 압분자심 등의 자심으로 구현되거나 자기장 차폐부재로 구현될 수 있다.

- [69] 또한, 상기 자심은 자기코어 기능의 수행을 위해 자심의 외부에 권취되는 코일과 함께 코일부품으로 구현될 수 있고, 상기 코일부품은 레이저, 트랜스, 인덕터, 모터나 발전기 등의 부품으로 응용될 수 있다.

- [70] 또한, 상기 자기장차폐부재는 안테나, 예를들어 무선충전, 근거리통신, 마그네틱보안전송 등의 기능을 수행하는 안테나를 포함하는 안테나 유닛상에 구비되어 상기 안테나 특성을 향상시키는 역할을 수행할 수 있다. 이때, 와전류에 의한 자기손실의 감소를 위해 상기 자기장 차폐부재에 구비되는 Fe계 연자성 합금은 파편화되어 구비될 수 있으며, 파편들의 사이에는 파편들을 지지하고, 와전류에 의한 자기손실을 더욱 줄이기 위해 접착제층이 침투하여 각 파편들을 절연시킬 수도 있다. 이때, 상기 파편의 입경은 0.1 $\mu$ m ~ 5mm일 수 있으나

이에 제한되는 것은 아니다.

## 발명의 실시를 위한 형태

[71]

[72] 하기의 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명하기로 하지만, 하기 실시예가 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니며, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것으로 해석되어야 할 것이다.

[73]

[74] <실시예 1>

[75] 실험식  $\text{Fe}_{85.3}\text{B}_{10}\text{C}_4\text{Cu}_{0.7}$ 의 초기합금이 제조를 위해 원료를 아크용해법을 통해 용융시킨 뒤 멜트스피닝을 통해 급속냉각시켜 두께 약  $20\mu\text{m}$ , 폭이 약 2mm인 리본을 Ar분위기에서 60m/s의 속도로 Fe계 연자성 초기합금을 제조하였다. 제조된 초기합금을 상온에서  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온속도로 열처리하여  $346^\circ\text{C}$ 에서 10분간 열처리 하여 하기 표 1과 같은 Fe계 연자성 합금을 제조하였다.

[76]

[77] <실시예 2 ~ 6>

[78] 실시예 1과 동일하게 실시하여 제조하되, 열처리 승온속도를 하기 표 1과 같이 변경하여 하기 표 1과 같은 Fe계 연자성 합금을 제조하였다.

[79]

[80] <비교예 1>

[81] 실시예 1과 동일하게 실시하여 제조하되, 합금의 조성을 하기 표 1과 같이 변경하여 하기 표 1과 같은 Fe계 연자성 합금을 제조하였다.

[82]

[83] <실험예 1>

[84] 실시예 및 비교예에서 제조된 Fe계 연자성 합금에 대해 하기의 물성을 평가하여 표 1에 나타내었다.

[85] 1. 결정구조, 결정 최대입경, 평균입경 및 결정화된 면적값 분석

[86] 합금의 결정구조, 결정 최대입경 및 결정화된 면적값을 평가하기 위하여 X선 회절법을 통한 XRD 패턴, 제한시야 전자회절법을 통한 SAD 패턴 및 TEM을 분석하였다.

[87] 또한, 결정화된 면적값은 하기 수학적 식 1을 통해 계산하였다.

[88] [수학적 식 1]

[89]

$$\text{결정화된 면적값}(\%) = \frac{\text{결정질영역 면적}}{\text{결정질영역 면적} + \text{비결정질영역 면적}} \times 100$$

[90] 이때, 상기 면적은 Fe계 연자성 합금에 대한  $10 \sim 90^\circ$  앵글( $2\theta$ )로 X선 회절(XRD) 분석 시 측정된 결정질영역 또는 비결정질영역에 대한 적분값을 의미한다.

[91]

[92] 2. 자성물성 평가

[93] 보자력 및 포화자화값을 산출하기 위해 진동시료형 자력계(VSM)를 통해 400k A/m의 자장에서 평가하였다. 이때, 실시예 1에서의 보자력 및 포화자화값을 100%로 기준하여 나머지 실시예 및 비교예의 보자력 및 포화자화값을 상대적으로 나타내었다.

[94] [표1]

|                                                                                                                          |           |                 | 실시<br>예1 | 실시<br>예2 | 실시<br>예3 | 실시<br>예4 | 실시<br>예5 | 실시<br>예6 | 비교<br>예1 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 초기<br>합금                                                                                                                 | 실험식       | a <sup>1)</sup> | 85.3     | 85.3     | 85.3     | 85.3     | 85.3     | 85.3     | 85.3     |
|                                                                                                                          |           | b <sup>2)</sup> | 10       | 10       | 10       | 10       | 10       | 10       | 14       |
|                                                                                                                          |           | c <sup>3)</sup> | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 0        |
|                                                                                                                          |           | d <sup>4)</sup> | 0.7      | 0.7      | 0.7      | 0.7      | 0.7      | 0.7      | 0.7      |
|                                                                                                                          |           | b+c             | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
|                                                                                                                          | 결정상       |                 | 비정<br>질  | 비정<br>질  | 비정<br>질  | 비정<br>질  | 비정<br>질  | 비정<br>질  | 혼재       |
| 열처리온도(°C)/승온속도(°C/m)                                                                                                     |           |                 | 346/10   | 346/35   | 346/45   | 346/75   | 346/85   | 346/4    | 346/10   |
| 열처<br>리<br>후<br>합금                                                                                                       | 결정상       |                 | 혼재       | 혼재       | 혼재       | 혼재       | 혼재       | 혼재       | 혼재       |
|                                                                                                                          | 결정        | 평균입경(nm )       | 28       | 28       | 27       | 25       | 24       | 30       | 160      |
|                                                                                                                          |           | 최대입경(nm )       | 34       | 33       | 38       | 53       | 106      | 88       | 354      |
|                                                                                                                          |           | 결정화된면적값(%)      | 52       | 53       | 59       | 68       | 75       | 47       | 89       |
|                                                                                                                          | 포화자속밀도(%) |                 | 100      | 101      | 103      | 103      | 104      | 98       | 84       |
|                                                                                                                          | 보자력(%)    |                 | 100      | 102      | 109      | 122      | 150      | 121      | 197      |
| 1) a: 합금내 Fe의 at% 2) b: 합금내 B의 at%3) c: 합금내 C의 at% 4) d: 합금내 Cu의 at%5)                                                   |           |                 |          |          |          |          |          |          |          |
| <div>결정화된 면적값(%) = <math display="block">\frac{\text{결정질영역 면적}}{\text{결정질영역 면적}+\text{비정질영역 면적}} \times 100</math></div> |           |                 |          |          |          |          |          |          |          |

[95] 상기 표 1을 통해 확인할 수 있듯이,

- [96] 비교예 1의 경우 탄소를 불포함함에 따라서 초기합금에서 결정이 생성되어 비정질의 합금을 제조할 수 없었다.
- [97] 또한, 실시예 중에서도 열처리 속도를 본 발명의 바람직한 범위를 초과하여 수행한 실시예 5의 경우 평균입경이 작은 결정립들이 생성되었으나 최대입경이 106nm에 달하는 결정이 생성되었고, 이에 보자력도 다른 실시예에 비해 현저히 증가한 것을 확인할 수 있다.
- [98] 한편, 실시예 5의 결과를 통해 본 발명에 따른 4원소계 조성에서는 통상적인 빠른 승온속도로 평균입경이 작은 나노결정립을 수득할 수는 있어도 균일한 입경의 결정립을 생성하기 어려우며 열처리 중 입경제어가 되지 않는 것들이 존재함을 확인할 수 있다.
- [99]
- [100] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

## 청구범위

[청구항 1] 실험식  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{C}_c\text{Cu}_d$  로 표시되고,  $\alpha$ -Fe, 및 Fe와 B, C 및 Cu 중 적어도 하나의 원소간 형성되는 금속화합물들을 포함하는 Fe계 연자성 합금: 단, 상기 실험식에서 a, b, c 및 d는 해당 원소의 at%(atomic percent)이며,  $78.5 \leq a \leq 87.0$ ,  $12 \leq b+c \leq 21$ ,  $0.5 \leq d \leq 1.5$ 임.

[청구항 2] 제1항에 있어서,  
상기 Fe계 연자성 합금은 하기 수학식 1에 따른 결정화된 면적값이 70% 이하인 Fe계 연자성 합금:

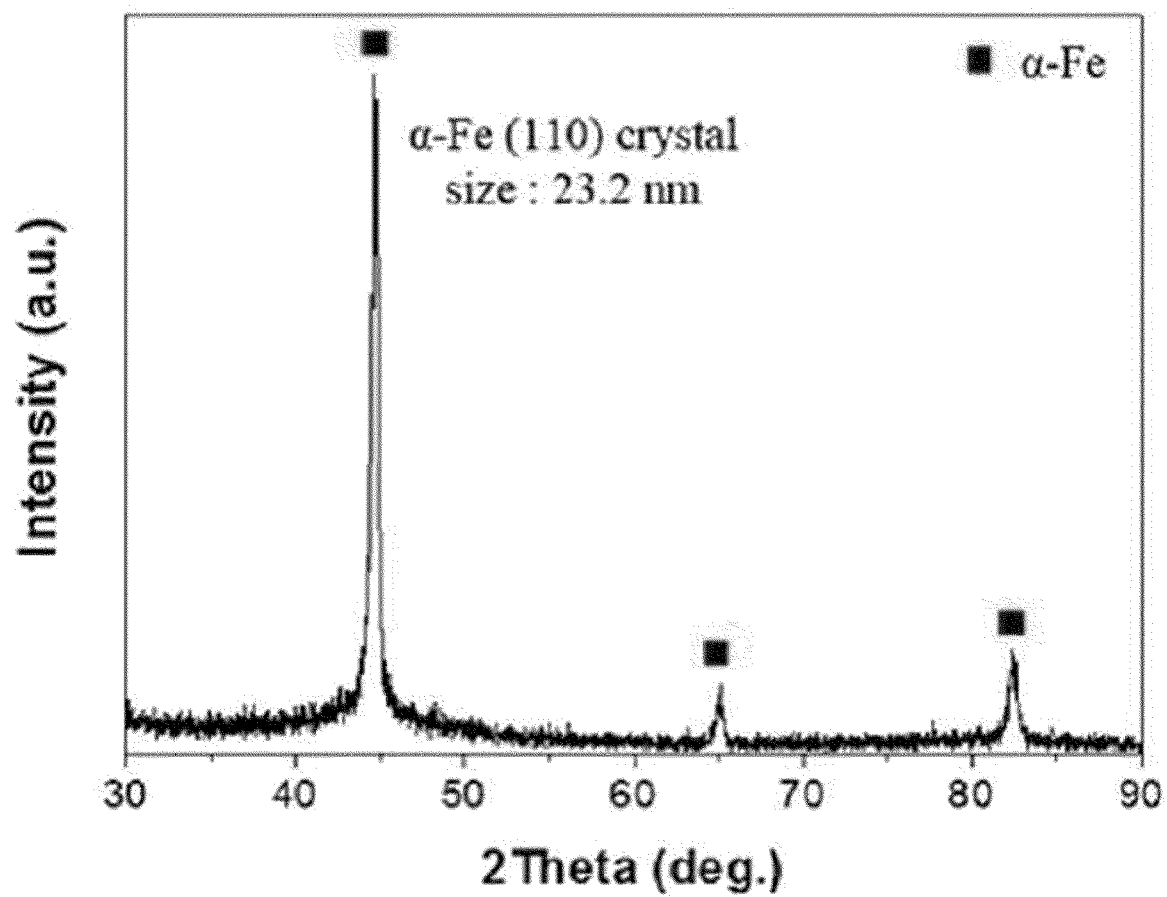
[수학식 1]

$$\text{결정화된 면적값}(\%) = \frac{\text{결정질영역 면적}}{\text{결정질영역 면적} + \text{비결정질영역 면적}} \times 100$$

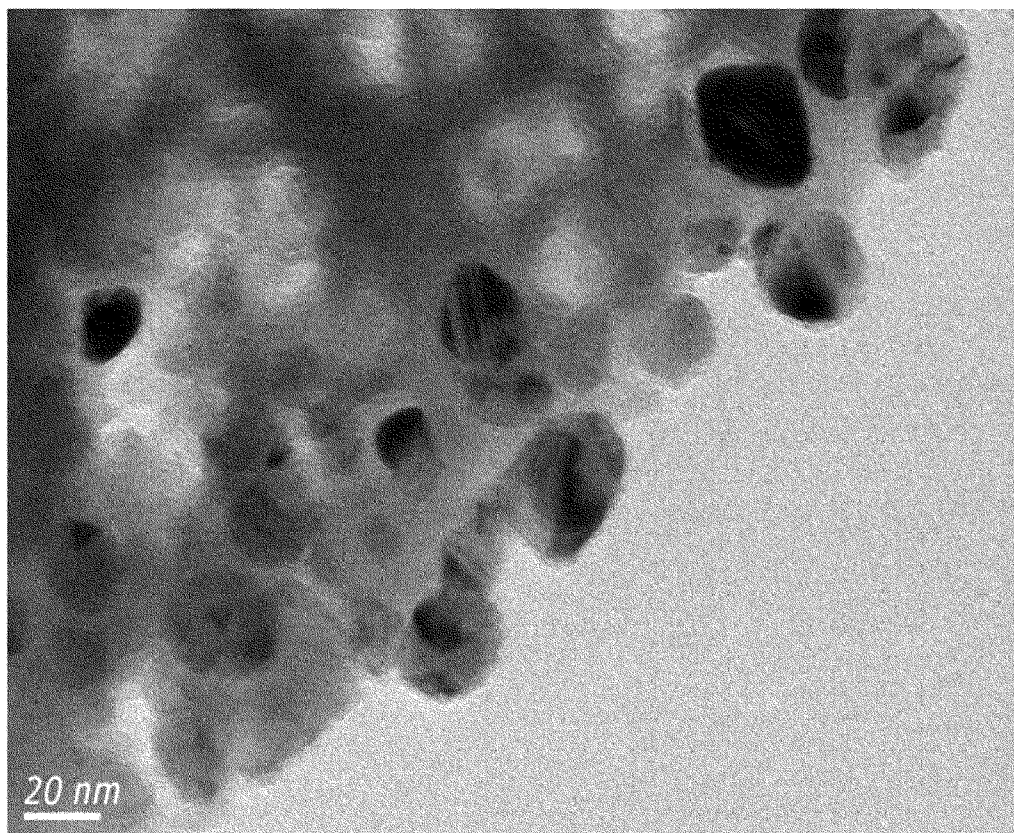
이때, 상기 면적은 Fe계 연자성 합금에 대한 10 ~ 90° 앵글(2 $\theta$ )로 X선 회절(XRD) 분석 시 측정된 결정질영역 또는 비결정질영역에 대한 적분값을 의미한다.

[청구항 3] 제2항에 있어서,  
상기 Fe계 연자성 합금은 결정립의 평균입경이 18 ~ 30nm이며, 결정립 중 최대입경이 50nm 이하인 Fe계 연자성 합금.

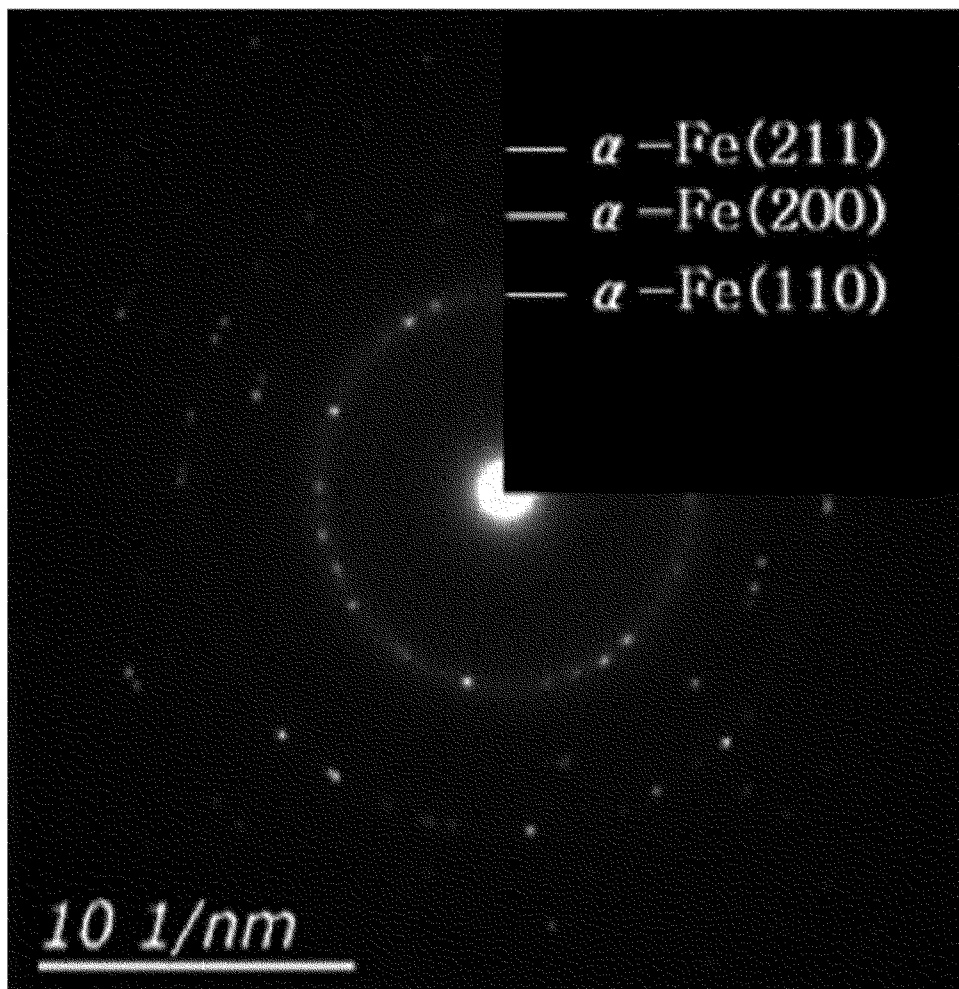
[도 1a]



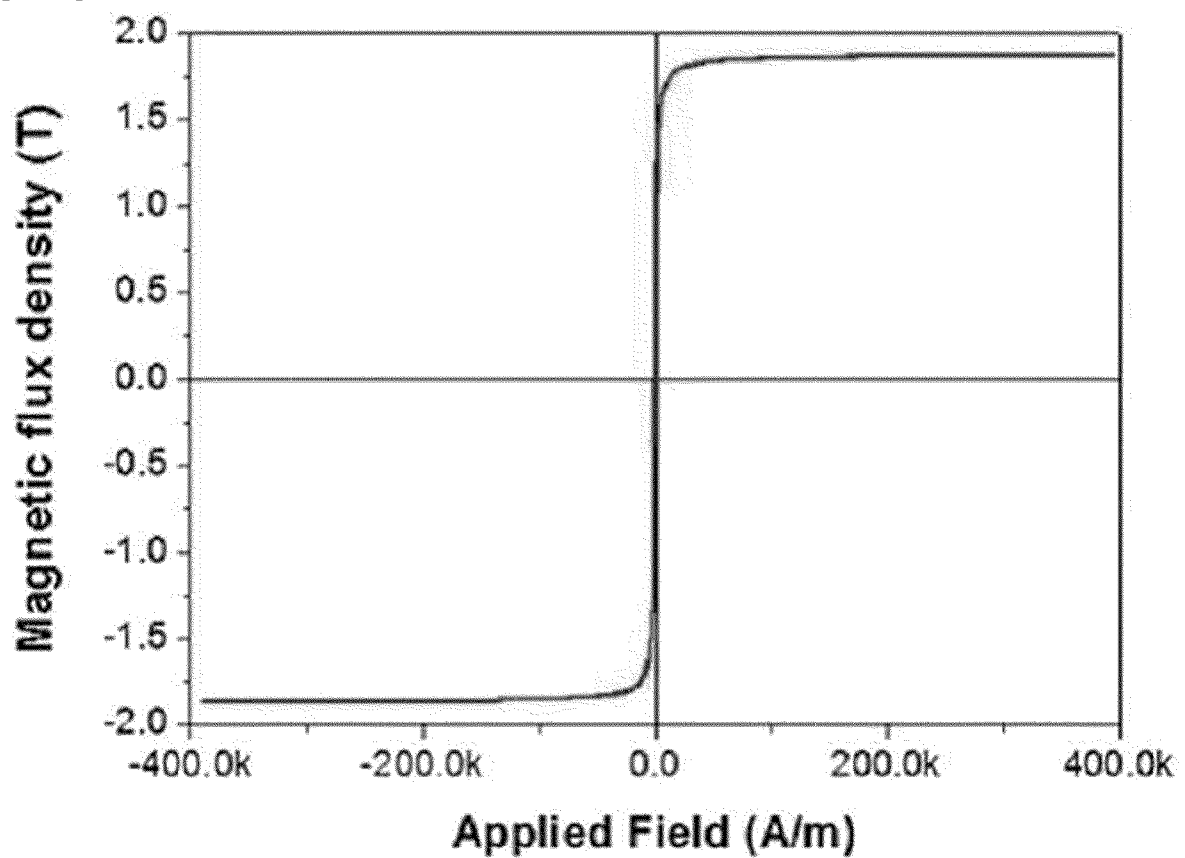
[도 1b]



[도1c]



[도1d]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2017/009005

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*H01F 1/153(2006.01)i, C22C 45/02(2006.01)i, C22C 1/00(2006.01)i*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F 1/153; H01L 43/08; C21D 6/00; C22C 38/00; H01F 1/04; G01R 33/09; C22C 45/02; B22D 11/06; C22C 1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) &amp; Keywords: Fe, soft magnetic, amorphous, copper, boron, carbon, nano, bcc

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | JP 2011-149045 A (HITACHI METALS LTD.) 04 August 2011<br>See paragraphs [0020]-[0024], [0031], [0034] and claims 1, 11. | 1-3                   |
| A         | JP 2006-040906 A (MAKINO et al.) 09 February 2006<br>See paragraphs [0016], [0021], [0022] and claims 1, 2, 5.          | 1-3                   |
| A         | KR 10-2012-0003496 A (NEC TOKIN CORPORATION et al.) 10 January 2012<br>See paragraph [0028] and claims 1-3, 18.         | 1-3                   |
| A         | KR 10-1993-0011234 B1 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 29 November 1993<br>See claims 1, 19.                                  | 1-3                   |
| A         | JP 2003-060263 A (TOSHIBA CORP.) 28 February 2003<br>See paragraphs [0022]-[0024] and claim 5.                          | 1-3                   |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 NOVEMBER 2017 (15.11.2017)

Date of mailing of the international search report

15 NOVEMBER 2017 (15.11.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office  
Government Complex-Daejeon, 189 Sconsa-ro, Daejeon 302-701,  
Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/KR2017/009005**

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| JP 2011-149045 A                          | 04/08/2011          | JP 05327075 B2          | 30/10/2013          |
| JP 2006-040906 A                          | 09/02/2006          | WO 02-077300 A1         | 03/10/2002          |
| KR 10-2012-0003496 A                      | 10/01/2012          | CN 102471856 A          | 23/05/2012          |
|                                           |                     | CN 102471856 B          | 01/04/2015          |
|                                           |                     | CN 104789909 A          | 22/07/2015          |
|                                           |                     | CN 104789909 B          | 31/05/2017          |
|                                           |                     | EP 2463397 A1           | 13/06/2012          |
|                                           |                     | EP 2463397 A4           | 01/05/2013          |
|                                           |                     | EP 2463397 B1           | 07/09/2016          |
|                                           |                     | EP 3093364 A1           | 16/11/2016          |
|                                           |                     | JP 04815014 B2          | 16/11/2011          |
|                                           |                     | JP 06181346 B2          | 16/08/2017          |
|                                           |                     | JP 2012-012699 A        | 19/01/2012          |
|                                           |                     | KR 10-1270565 B1        | 03/06/2013          |
|                                           |                     | RU 2483135 C1           | 27/05/2013          |
|                                           |                     | TW 201114924 A          | 01/05/2011          |
|                                           |                     | TW 1371496 B            | 01/09/2012          |
|                                           |                     | US 2012-0199254 A1      | 09/08/2012          |
|                                           |                     | US 2016-0177429 A1      | 23/06/2016          |
|                                           |                     | US 9287028 B2           | 15/03/2016          |
|                                           |                     | WO 2011-024580 A1       | 03/03/2011          |
| KR 10-1993-0011234 B1                     | 29/11/1993          | EP 0342922 A2           | 23/11/1989          |
|                                           |                     | EP 0342922 B1           | 08/02/1995          |
|                                           |                     | JP 01-290206 A          | 22/11/1989          |
|                                           |                     | JP 01-290747 A          | 22/11/1989          |
|                                           |                     | JP 02713980 B2          | 16/02/1998          |
|                                           |                     | KR 10-1990-0019068 A    | 24/12/1990          |
|                                           |                     | US 5178689 A            | 12/01/1993          |
| JP 2003-060263 A                          | 28/02/2003          | JP 04024499 B2          | 19/12/2007          |
|                                           |                     | US 2003-0168673 A1      | 11/09/2003          |
|                                           |                     | US 2004-0246634 A1      | 09/12/2004          |
|                                           |                     | US 2006-0071287 A1      | 06/04/2006          |
|                                           |                     | US 2009-0034134 A1      | 05/02/2009          |
|                                           |                     | US 6784509 B2           | 31/08/2004          |
|                                           |                     | US 7071522 B2           | 04/07/2006          |
|                                           |                     | US 7443004 B2           | 28/10/2008          |
|                                           |                     | US 8085511 B2           | 27/12/2011          |

**A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**

H01F 1/153(2006.01)i, C22C 45/02(2006.01)i, C22C 1/00(2006.01)i

**B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01F 1/153; H01L 43/08; C21D 6/00; C22C 38/00; H01F 1/04; G01R 33/09; C22C 45/02; B22D 11/06; C22C 1/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: Fe, 연자성, 비정질, 구리, 보론, 탄소, 나노, bcc

**C. 관련 문헌**

| 카테고리* | 인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재                                                                            | 관련 청구항 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| X     | JP 2011-149045 A (HITACHI METALS LTD.) 2011.08.04<br>단락 [0020]-[0024], [0031], [0034] 및 청구항 1, 11 참조. | 1-3    |
| A     | JP 2006-040906 A (MAKINO 등) 2006.02.09<br>단락 [0016], [0021], [0022] 및 청구항 1, 2, 5 참조.                 | 1-3    |
| A     | KR 10-2012-0003496 A (엔씨 도킨 가부시끼가이샤 등) 2012.01.10<br>단락 [0028] 및 청구항 1-3, 18 참조.                      | 1-3    |
| A     | KR 10-1993-0011234 B1 (가부시끼가이샤 도시바) 1993.11.29<br>청구항 1, 19 참조.                                       | 1-3    |
| A     | JP 2003-060263 A (TOSHIBA CORP.) 2003.02.28<br>단락 [0022]-[0024] 및 청구항 5 참조.                           | 1-3    |

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

\* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2017년 11월 15일 (15.11.2017)

국제조사보고서 발송일

2017년 11월 15일 (15.11.2017)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청  
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,  
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

이달정

전화번호 +82-42-481-8440



| 국제조사보고서에서<br>인용된 특허문헌 | 공개일        | 대응특허문헌               | 공개일        |
|-----------------------|------------|----------------------|------------|
| JP 2011-149045 A      | 2011/08/04 | JP 05327075 B2       | 2013/10/30 |
| JP 2006-040906 A      | 2006/02/09 | WO 02-077300 A1      | 2002/10/03 |
| KR 10-2012-0003496 A  | 2012/01/10 | CN 102471856 A       | 2012/05/23 |
|                       |            | CN 102471856 B       | 2015/04/01 |
|                       |            | CN 104789909 A       | 2015/07/22 |
|                       |            | CN 104789909 B       | 2017/05/31 |
|                       |            | EP 2463397 A1        | 2012/06/13 |
|                       |            | EP 2463397 A4        | 2013/05/01 |
|                       |            | EP 2463397 B1        | 2016/09/07 |
|                       |            | EP 3093364 A1        | 2016/11/16 |
|                       |            | JP 04815014 B2       | 2011/11/16 |
|                       |            | JP 06181346 B2       | 2017/08/16 |
|                       |            | JP 2012-012699 A     | 2012/01/19 |
|                       |            | KR 10-1270565 B1     | 2013/06/03 |
|                       |            | RU 2483135 C1        | 2013/05/27 |
|                       |            | TW 201114924 A       | 2011/05/01 |
|                       |            | TW I371496 B         | 2012/09/01 |
|                       |            | US 2012-0199254 A1   | 2012/08/09 |
|                       |            | US 2016-0177429 A1   | 2016/06/23 |
|                       |            | US 9287028 B2        | 2016/03/15 |
|                       |            | WO 2011-024580 A1    | 2011/03/03 |
| KR 10-1993-0011234 B1 | 1993/11/29 | EP 0342922 A2        | 1989/11/23 |
|                       |            | EP 0342922 B1        | 1995/02/08 |
|                       |            | JP 01-290206 A       | 1989/11/22 |
|                       |            | JP 01-290747 A       | 1989/11/22 |
|                       |            | JP 02713980 B2       | 1998/02/16 |
|                       |            | KR 10-1990-0019068 A | 1990/12/24 |
|                       |            | US 5178689 A         | 1993/01/12 |
| JP 2003-060263 A      | 2003/02/28 | JP 04024499 B2       | 2007/12/19 |
|                       |            | US 2003-0168673 A1   | 2003/09/11 |
|                       |            | US 2004-0246634 A1   | 2004/12/09 |
|                       |            | US 2006-0071287 A1   | 2006/04/06 |
|                       |            | US 2009-0034134 A1   | 2009/02/05 |
|                       |            | US 6784509 B2        | 2004/08/31 |
|                       |            | US 7071522 B2        | 2006/07/04 |
|                       |            | US 7443004 B2        | 2008/10/28 |
|                       |            | US 8085511 B2        | 2011/12/27 |