(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0023835
(43) 공개일자 2022년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 1/053 (2006.01) *H01F 41/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01F 1/053 (2013.01)
H01F 41/0293 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0104388
(22) 출원일자 2020년08월20일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
이정구
부산광역시 동래구 쇠미로 72
차희령
경상남도 창원시 성산구 상남동 98-8
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 피씨알

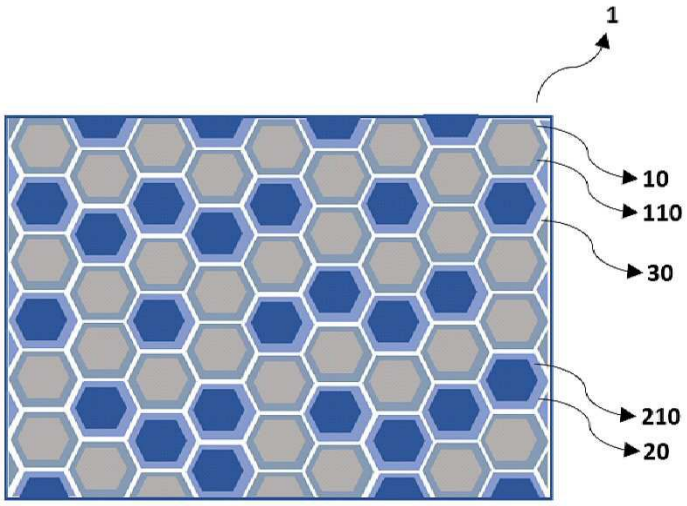
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **다상 구조 자석**

(57) 요 약

본 발명은 보자력이 우수한 다상 구조 자석을 제공한다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

김영국

경상남도 창원시 마산회원구 양덕서로 30 (양덕동,메트로시티)

백연경

경상남도 창원시 성산구 대암로 253

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415168747
과제번호	20010817
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발(R&D)
연구과제명	폐모터 활용 친환경 희토류 회수 및 영구자석 소재 제조기술
기 여 율	1/1
과제수행기관명	성림첨단산업(주)
연구기간	2020.04.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

Re^1-Fe-B 를 포함하는 제1상 결정립; Re^2-Fe-B 를 포함하는 제2상 결정립; 및 입계상; 을 포함하고,

상기 Re^1에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속과 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이하고,

상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 최대 직경이 1㎛ 이하이고,

상기 입계상은 상기 제1상 결정립 간의 공간; 상기 제2상 결정립 간의 공간; 및 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립 간의 공간; 중 하나 이상의 위치에 존재하고,

상기 제1상 결정립은 상기 제1상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^2가 확산되어 형성된 제1 확산영역을 포함하고,

상기 제2상 결정립은 상기 제2상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^1이 확산되어 형성된 제2 확산영역을 포함하는 다상 구조 자석.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다상 구조 자석은 Re^3-Fe-B 를 포함하는 제3상 결정립을 더 포함하고,

상기 Re^3에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속 및 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속과 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이한 것인 다상 구조 자석.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Re^1 및 상기 Re^2는 각각 독립적으로 Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb 및 Lu 중에서 선택된 1종 이상의 희토류 금속을 포함하는 것인 다상 구조 자석.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 Re^1 및 상기 Re^2에 동일한 희토류 금속(M)이 포함되는 경우, 상기 Re^1 및 상기 Re^2에 포함된 상기 (M)의 함량 차이는 10 내지 70 at%인 것인 다상 구조 자석.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1상 결정립 대 상기 제2상 결정립의 체적비는 1:9 내지 9:1인 다상 구조 자석.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 확산영역 및 상기 제2 확산영역은 각각 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 외표면으로부터, 중심 방향으로 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 반경의 1 내지 70 %가 되는 지점까지의 위치에 존재하는 것인 다상 구조 자석.

청구항 7

제1항에 있어서,

보자력이 5 내지 50 kOe 인 다상 구조 자석.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다상 구조 자석에 관한 것이다. 구체적으로, 보자력이 우수한 다상 구조 자석에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 각종 기기 및 장치의 연구와 개발이 활발해지면서, 부품으로 사용되는 자석의 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 특히, Nd-Fe-B 자석의 경우 우수한 자성 특성으로 인해 그 수요가 점차 증가하고 있는 추세이다.

[0004] 그러나 Nd의 경우 희토류 금속(Rare Earth Metal)으로서, 지구 매장량이 매우 적으며 그에 따라 가격이 매우 높아 자석 가격 상승을 초래한다. 또한 Nd 자석의 수요가 증가함에 따라 추후 Nd 공급도 점점 더 어려워질 것으로 예상된다. 도 1은 중국의 희토류 원소 생산량 및 가격을 나타낸 그래프이다. 생산량이 비교적 적은 Nd의 가격이 높은 편인 것을 확인할 수 있다.

[0005] 이러한 문제를 해소하기 위해, La, Ce 와 같은 생산량이 더 많고 가격이 저렴한 다른 희토류 금속을 Nd 대신에 첨가하려는 시도가 증가하고 있다. 그러나 Nd 외의 다른 금속을 첨가하는 경우, 자석의 자기 특성이 매우 열등하여 Nd-Fe-B 자석을 대체하기 어려운 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 다른 희토류 금속을 포함하면서도 보자력, 잔류자화도, 포화자화도와 같은 자성 특성이 우수한 자석을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 측면에 따르면, Re^1-Fe-B 를 포함하는 제1상 결정립; Re^2-Fe-B 를 포함하는 제2상 결정립; 및 입계상; 을 포함하고, 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속과 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이하고, 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 최대 직경이 1㎛ 이하이고, 상기 입계상은 상기 제1상 결정립 간의 공간; 상기 제2상 결정립 간의 공간; 및 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결

정립 간의 공간; 중 하나 이상의 위치에 존재하고, 상기 제1상 결정립은 상기 제1상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^2가 확산되어 형성된 제1 확산영역을 포함하고, 상기 제2상 결정립은 상기 제2상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^1이 확산되어 형성된 제2 확산영역을 포함하는 다상 구조 자석이 제공된다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 우수한 자성 특성을 가지면서도 저렴한 가격으로 제조될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 단상 구조 자석보다 우수한 자성 특성을 보유할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 중국의 희토류 원소 생산량 및 가격을 나타낸 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석의 단면 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조의 정자기 상호 작용을 나타낸 개략도이다.

도 4는 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석의 절단면의 x500 배율 SEM 이미지이다.

도 5는 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석의 절단면의 x5000 배율 SEM 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 명세서에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0016] 이하, 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명한다.

[0017] 본 발명의 일 측면에 따르면, Re^1-Fe-B 를 포함하는 제1상 결정립; Re^2-Fe-B 를 포함하는 제2상 결정립; 및 입계상; 을 포함하고, 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이하고, 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 최대 직경이 1㎛ 이하이고, 상기 입계상은 상기 제1상 결정립 간의 공간; 상기 제2상 결정립 간의 공간; 및 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립 간의 공간; 중 하나 이상의 위치에 존재하고, 상기 제1상 결정립은 상기 제1상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^2가 확산되어 형성된 제1 확산영역을 포함하고, 상기 제2상 결정립은 상기 제2상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 Re^1이 확산되어 형성된 제2 확산영역을 포함하는 다상 구조 자석이 제공된다.

[0019] 상기 다상 구조(Multi Main Phase; MMP)란, 제1상 결정립 및 제2상 결정립이 각각 Re^2를 포함하는 제1 확산영역 및 Re^1을 포함하는 제2 확산영역을 포함하여 다양한 상을 포함하는 구조를 의미할 수 있다. 이러한 다상 구조로 인해 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 우수한 자성 특성을 보유할 수 있다.

[0021] 도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석의 단면 개략도이다. 이하, 도 2를 참조로 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석에 대하여 구체적으로 설명한다.

[0022] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석(1)은 제1상 결정립(10); 제2상 결정립(20); 및 입계상(30)을 포함하고, 상기 제1상 결정립(10)은 제1 확산영역(110)을 포함하고, 상기 제2상 결정립(20)은 제2 확산영역(210)을 포함한다.

[0024] 상기 제1상 결정립(10)은 Re^1-Fe-B를 포함하고, 상기 제2상 결정립(20)은 Re^2-Fe-B를 포함한다. 상기 Re^1 및 상기 Re^2는 희토류 금속을 포함하고, 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속의 종류는 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속의 종류와 1종 이상이 서로 상이하다. 즉, 상기 Re^1 및 상기 Re^2는 각각 서로 다른 단일 종의 희토류 금속을 포함할 수 있고, 또는 1종 이상의 상이한 희토류 금속을 서로 다른 조성으로 포함할 수 있으며, 상기 제1상 결정립과 상기 제2상 결정립의 조성은 희토류 금속에 있어 상이할 수 있다.

[0025] 또한 상기 Re^1-Fe-B는 $Re^1_2Fe_{14}B$일 수 있고, 상기 Re^2-Fe-B는 $Re^2_2Fe_{14}B$일 수 있으며 정방정계의 결정 구조를 가지는 것일 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속과 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이하다.

[0027] 구체적으로, 상기 Re^1 및 상기 Re^2는 각각 독립적으로 Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb 및 Lu 중에서 선택된 1종 이상의 희토류 금속을 포함하는 것일 수 있고, Re^1 및 Re^2는 포함하는 희토류 금속의 종류가 상이하거나, 동종의 희토류 금속을 다른 함량으로 포함하거나, 포함하는 희토류 금속의 종류 및 각각의 함량이 서로 상이할 수 있다. 바람직하게는, Re^1 은 Nd 및 Pr을 포함하고, Re^2는 Nd, Ce 및 La을 포함할 수 있으며, 다르게는 Re^1 및 Re^2 모두 Nd 및 Ce를 포함하면서도 서로 그 함량이 다를 수 있다. 희토류 금속 원소는 상기 열거한 화학종으로 한정되지 않으며, 필요에 따라 상기 열거한 화학종 외의 다른 희토류 금속 원소를 사용할 수도 있다.

[0028] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 Re^1 및 상기 Re^2에 동일한 희토류 금속(M)이 포함되는 경우, 상기 Re^1 및 상기 Re^2에 포함된 상기 (M)의 함량 차이는 10 내지 70 at%, 20 내지 60 at%, 10 내지 50 at%, 30 내지 50 at% 또는 40 내지 50 at%일 수 있다. 예를 들어, Re^1이 Nd를 100 at%로 포함하고, Re^2가 Nd 및 Ce를 각각 50 at%로 포함할 수 있으며, 이러한 경우의 Nd 함량 차이는 50 at%일 수 있다. 상기 범위 내의 함량 차이로 동일한 희토류 금속을 포함하는 경우, 자기교환상호작용에 의한 보자력 향상효과가 있을 수 있다

[0029] 상기 제1상 결정립(10)과 상기 제2상 결정립(20)의 최대 직경은 1㎛ 이하, 800 nm 이하, 500 nm 이하일 수 있고, 0 nm 초과, 100 nm 이상, 200 nm 이상일 수 있다. 상기 범위 내로 결정립 크기를 제어함으로써, 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 보자력 및 잔류자화가 우수할 수 있고, 결정립과 확산영역 간의 자기교환상호작용 극대화 효과가 있을 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립(10) 대 상기 제2상 결정립(20)의 체적비는 1:9 내지 9:1일 수 있다. 제1상 결정립(10)과 제2상 결정립(20)의 체적비는 자석의 용도 및 목적에 따라 달라질 수 있고, Re^1 및 Re^2의 종류에 따라서도 달라질 수 있다. 예를 들어, Re^1이 Nd 를 포함하고 Re^2가 Ce 를 포함하는 경우, 제1상 결정립(10) 대 제2상 결정립(20)의 체적비는 3:7 내지 9:1일 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립(10) 대 상기 제2상 결정립(20)의 중량비는 1:9 내지 9:1일 수 있다. 제1상 결정립(10)과 제2상 결정립(20)의 중량비는 자석의 용도 및 목적에 따라 달라질 수 있고, Re^1 및 Re^2의 종류에 따라서도 달라질 수 있다. 예를 들어, Re^1이 Nd 를 포함하고 Re^2가 Ce 를 포함하는 경우, 제1상 결정립(10) 대 제2상 결정립(20)의 중량비는 3:7 내지 9:1일 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립(10)과 제2상 결정립(20)은 다상 구조 자석(1) 전체에 있어 균일하게 분포하는 것일 수 있다. 제1상 결정립(10) 및 제2상 결정립(20)이 다상 구조 자석(1) 내에 균일하게 분포하는 경우, 상기 다상 구조 자석은 보자력 및 잔류자화도 등이 우수한 자기특성 향상의 효과가 있을 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 형태는 제조 공정, 구성 성분 등에 따라 다양할 수 있으며, 입체적인 형태로서 구형 또는 타원구형일 수 있고, 다각 기둥 형태일 수도 있으며, 원판 또는 타원판 형태일 수 있다.

[0034] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립의 형태가 타원판과 같이 납작한 형태인 경우, 애스펙트비가 1 초과 10 이하일 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1상 결정립(10)은 제1 확산영역(110)을 포함하고, 상기 제2상 결정립(20)은 제2 확산영역(210)을 포함한다. 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)은, 각각 Re^2 및 Re^1이 제1상 결정립 및 제2상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 확산됨에 따라 형성된다. 즉, 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)은 다상 구조 자석의 제조 과정에서 서로 다른 상의 희토류 금속이 침투확산됨으로써 형성되는 구조일 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)은 각각 제1상 결정립 및 제2상 결정립의 외표면에 쉘 형태로 포함되는 것일 수 있다. 즉, 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)은 각각 제1상 결정립 및 제2상 결정립의 중심부(미도시)를 코어로 하여, 이의 외표면을 감싼 쉘 형태일 수 있다.

[0037] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)은 각각 제1상 결정립 및 제2상 결정립의 외표면으로부터, 중심 방향으로 제1상 결정립 및 제2상 결정립의 반경의 1 내지 70 %, 1 내지 60 %, 5 내지 50%, 10 내지 40 % 또는 10 내지 20 %가 되는 지점까지의 위치에 존재하는 것일 수 있다. 상기 범위 내의 위치에 존재함으로써, 결정립과 확산영역간의 자기교환상호작용에 의하여 보자력 및 잔류자속밀도 등 자기 특성 향상 효과가 있을 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석(1)은 입계상(30)을 포함하고, 상기 입계상(30)은 상기 제1상 결정립 간의 공간, 상기 제2상 결정립 간의 공간 및/또는 상기 제1상 결정립 및 상기 제2상 결정립 간의 공간에 위치한다. 즉, 상기 입계상(30)은 서로 구별되는 독립적인 결정립 사이의 공간에 위치할 수 있다.

[0039] 상기 입계상(30)은, 다상 구조 자석(1)의 제조 과정에 있어, 고온 또는 고압에 의해 융해되는 영역일 수 있고, 이에 따라 제1상 결정립(10)에 포함된 Re^1 및 제2상 결정립(20)에 포함된 Re^2가 확산되는 통로의 역할을 수행하는 것일 수 있다.

[0040] 도 3에 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조의 자기 상호 작용을 개략도로 나타내었다.

[0041] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 상기 제1 확산영역(110), 상기 제2 확산영역(210) 및 상기 입계상(30)이 자기 상호 작용에 영향을 미칠 수 있고, 이에 따라 다상 구조 자석의 자성 특성이 우수할 수 있다. 구체적으로, 상기 제1 확산영역(110) 및 상기 제2 확산영역(210)을 포함하는 다상 구조 자석의 경우, 제1상 결정립의 중심부(미도시)와 제1 확산영역(110) 의 단거리에 따른 자기 교환 상호 작용이 우수할 수 있고, 동일하게 제2상 결정립의 중심부(미도시)와 제2 확산영역(110) 의 자기 교환 상호 작용이 우수하여 다상 구조 자석의 자기적 특성이 우수할 수 있으며(도 3의 (a)), 동시에 서로 다른 조성의 제1상 결정립(10) 및 제2상 결정립(20) 간에도 자기 교환 상호 작용이 우수하여(도 3의 (b)) 다상 구조 자석의 자기적 특성이 더욱 우수할 수 있다. 상기 자기 교환 상호 작용이란, 서로 다른 조성을 갖는 자성체에 있어 비교적 자성이 강한 자성체가 자성이 보다 낮은 자성체의 자화반전을 방지하는 형태로 상호작용하는 것을 의미할 수 있다.

[0042] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 Re^3-Fe-B 를 포함하는 제3상 결정립을 더 포함하고, 상기 Re^3에 포함된 희토류 금속은 상기 Re^1에 포함된 희토류 금속 및 상기 Re^2에 포함된 희토류 금속과 금속의 종류 및 그 함량 중 하나 이상이 서로 상이할 수 있으며, 상기 제3상 결정립은 상기 제3상 결정립의 외표면으로부터 중심 방향으로 다른 희토류 금속이 확산되어 형성된 제3 확산영역을 포함할 수 있다. 다상 구조 자석이 제3상 결정립을 더 포함하는 경우, 상기 제1상 결정립에 포함된 제1 확산영역은 Re^2 및 Re^3를 포함할 수 있고, 제2 확산영역은 Re^1 및 Re^3를 포함할 수 있으며, 제3 확산영역은 Re^1 및 Re^2를 포함할 수 있다.

[0043] Re^3 및 제3 확산영역에 대한 구체적인 사항은 Re^1 및 제1 확산영역에 대하여 전술한 내용과 같을 수 있다.

[0044] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 목적에 따라 상기 3종의 결정립 외에 더 많은 종류의 서로 다른 조성을 갖는 결정립을 포함할 수도 있으며, 상기로 제한되지 않는다.

[0046] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 저렴한 비용으로 제조가 가능하면서도 자성 특성이 우수할 수 있

다. 즉, 쉽게 구할 수 있는 원료로 제조될 수 있으면서도 자성 특성은 유사하거나 더 우수한 수준의 효과를 달성할 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 보자력이 5 내지 50 kOe 이상일 수 있다. 구체적으로, 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 보자력이 5 kOe 이상, 10 kOe 이상, 15 kOe 이상일 수 있고, 50 kOe 이하, 40 kOe 이하, 35 kOe 이하일 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 퀴리 온도가 150℃ 내지 350 ℃일 수 있다.

[0049] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 최대자기에너지적($(BH)_{max}$)이 30 내지 65 MGOe 일 수 있다.

[0050] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석은 포화자화도가 11 내지 16 kGs 일 수 있다.

[0052] 본 발명의 다른 구현예에 따르면, 상기 다상 구조 자석을 제조하는 방법이 제공된다.

[0053] 상기 다상 구조 자석을 제조하는 방법은 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 하기에 열거하는 방법으로 제조될 수 있다.

[0054] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 다상 구조 자석은 가압 소결 또는 열간 변형의 방법으로 제조되는 것일 수 있다.

[0055] 구체적으로, 상기 다상 구조 자석은 Re^1-Fe-B 를 포함하는 제1 분말; 및 Re^2-Fe-B를 포함하는 제2 분말;을 포함하는 혼합 분말을 가압 소결 또는 열간 변형하는 공정에 의해 제조되는 것일 수 있다.

[0056] 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 직접 제조하여 사용할 수 있으며, 상기 제조는 분쇄 및 결정립 미세화 중에서 선택되는 하나 이상의 단계를 포함할 수 있다.

[0057] 구체적으로 Re^1-Fe-B 를 포함하는 분말을 분쇄하여 제1 분말을 제조할 수 있고, Re^2-Fe-B를 포함하는 분말을 분쇄하여 제2 분말을 제조할 수 있고, 또한 Re^1-Fe-B를 포함하는 분말을 결정립 미세화하여 제1 분말을 제조할 수 있고, Re^2-Fe-B를 포함하는 분말을 결정립 미세화하여 제2 분말을 제조할 수 있다. 상기 제조 공정은 원료 분말의 입자 크기 및 결정립 크기에 따라 선택적으로 수행될 수 있다.

[0058] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 200nm 내지 500 μm 의 입자 직경을 갖는 것일 수 있다. 분말의 직경이 작아질수록 서로 다른 상과 접촉하는 면적이 증가하여 자기 특성이 보다 우수한 다상 구조 자석이 제조될 수 있으며, 분말의 직경이 클수록 분말의 산화를 방지하는 효과가 있을 수 있다. 따라서, 목적하는 바에 따라 분말의 입자 직경은 다양하게 조절될 수 있다.

[0059] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 결정립 미세화의 공정은 합금 분말에 수소 가스를 주입 및 방출함으로써 수행될 수 있고, 필요에 따라 공정 온도 및 압력과 같은 공정 조건을 제어하여 분말의 결정립을 최대 직경이 약 1μm 이하가 되도록 미세화하여 제1 분말 또는 제2 분말을 제조할 수 있다.

[0060] 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 최대 직경이 1 μm 이하인 결정립으로 이루어질 수 있다. 최대 직경이 1 μm 이하로 작은 결정립으로 이루어짐으로써, 제조되는 다상 구조 자석의 자기적 특성이 우수할 수 있다.

[0061] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 등방성 분말 또는 이방성 분말일 수 있다. 구체적으로, 다상 구조 자석의 제조 공정으로 어떤 공정을 선택하느냐에 따라 등방성 분말 또는 이방성 분말을 선택할 수 있고, 예를 들어 가압 소결 공정으로 다상 구조 자석을 제조하는 경우 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 이방성 분말일 수 있고, 열간 변형 공정으로 다상 구조 자석을 제조하는 경우 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말은 등방성 분말일 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 구현예에 따른 다상 구조 자석을 제조하는 방법은 제1 분말 및 제2 분말을 혼합하여 혼합 분말을 제조하는 단계를 포함할 수 있다. 혼합하는 단계는 특정 방법으로 한정되지 않으며, 해당 기술 분야에서 널리 알려진 일반적인 공정에 의해 수행되는 것일 수 있다. 예를 들어 3D 믹서, 자기교반장치, 음향공명혼합기등의 기기를 사용하여 수행될 수 있다. 또한 상기 혼합은 제1 분말과 제2 분말이 균일하게 혼합될 때까지 수행될 수 있으며, 혼합 방법 및 사용 기기에 따라 혼합을 수행하는 시간이 달라질 수 있다.

[0063] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 분말 및 상기 제2 분말을 1:9 내지 9:1, 2:8 내지 8:2 또는 3:7 내지

7:3의 중량비가 되도록 혼합하여 혼합 분말을 제조할 수 있다.

[0065] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 제조된 혼합 분말은 가압 소결 또는 가압 소결 후 열간 변형의 공정을 통해 다상 구조 자석으로 제조될 수 있으나, 다상 구조 자석의 제조 방법은 상기 공정으로 제한되지 않는다.

[0066] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 혼합 분말을 가압 소결하여 다상 구조 자석을 제조하는 경우, 상기 혼합 분말은 전술한 바와 같이 이방성 분말일 수 있고, 자기장 하에서 고온의 조건으로 혼합 분말에 고압을 가하여 다상 구조 자석을 제조할 수 있다.

[0067] 구체적으로, 상기 가압 소결 공정은 자기장 하에서 수행될 수 있고, 보다 구체적으로는 100 G 내지 70,000 G 범위 내의 자기장 하에서 수행될 수 있다. 자기장을 인가한 상태에서 가압 소결 공정을 수행함으로써 결정립의 자화용이방향이 일방향으로 정렬된 이방성의 다상 구조 자석을 제조할 수 있다.

[0068] 또한 상기 가압 소결 공정은 500 내지 900℃ 의 온도에서 혼합 분말에 50 내지 1000 MPa 압력을 1 내지 30 분간 가하여 수행되는 것일 수 있다.

[0070] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 혼합 분말을 가압 소결 후 열간 변형하여 다상 구조 자석을 제조하는 경우, 상기 혼합 분말은 전술한 바와 같이 등방성 분말일 수 있다. 구체적으로, 500 내지 900℃ 의 온도에서 상기 혼합 분말에 50 내지 1000 MPa 압력을 1 내지 30 분간 가하여 가압 소결한 후, 500 내지 900℃ 온도범위에서 0.1 내지 60 분간 열간변형하여 다상 구조 자석을 제조할 수 있다.

[0071] 상기 열간변형은 해당 기술 분야에서 널리 사용되는 공정이면 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 열간 압연, 열간 단조 및 열간 압출 중에서 선택된 공정으로 수행될 수 있다.

[0073] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명에 따른 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 기술하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0075] **실시예 1**

[0076] 250 내지 300 nm 결정립을 가지는 20 내지 300 μm 크기의 Nd-Fe-B 분말(해당조성의 합금을 strip-casting 법으로 제조한 후, 1000 ℃에서 24시간 균질화 처리 후 810 ℃에서 수소가스처리(HDDR)하여 이방성 나노결정립 분말로 제조)과, Ce-Fe-B 분말(해당조성의 합금을 strip-casting 법으로 제조한 후, 1000 ℃에서 24시간 균질화 처리 후 810 ℃에서 수소가스처리(HDDR)하여 이방성 나노결정립 분말로 제조)을 준비한 후, Nd-Fe-B 분말과 Ce-Fe-B 분말을 4:1 중량비로 혼합하였다. 상기 혼합 분말을 가압 소결 장비의 몰드에 투입하여 장착하고 700 ℃의 온도에서 400 MPa 압력으로 3분 동안 가압하여 다상 구조 자석을 제조하였다. 분말의 산화를 방지하기 위해 10^{-5} torr 이하의 진공 분위기에서 가압소결 공정이 수행되었다.

[0078] **SEM 이미지의 확인**

[0079] 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석을 절단하고, 절단면을 주사 전자 현미경(SEM, JEOL ltd., 7001F)을 이용하여 BSE (후방산란 전자) 이미지 모드에서 x500 배율 또는 x5000 배율로 촬영하였다.

[0080] 도 4에 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석의 절단면의 x500 배율의 SEM 이미지를 나타내고, 도 5에 도 4를 확대 관찰한 사진, 즉 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석의 절단면의 고배율(x5000) SEM 이미지를 나타내었다.

[0081] 도 4를 참조하면, 실시예 1 에서 제조한 다상 구조 자석은 SEM 이미지에서 20 내지 300μm 크기 범위의 상대적으로 어둡고 밝은 콘트라스트가 확인되며 조성이 다른 이종 분말이 혼합되어 있는 것을 알 수 있으며, 도 5를 참조하면 다상 구조 자석의 제조 공정에서 입계상을 통한 희토류 금속의 확산이 일어나 결정립 외표면 측에 확

산영역이 형성된 것을 확인할 수 있다.

부호의 설명

[0083] 1: 다상 구조 자석

10: 제1상 결정립

20: 제2상 결정립

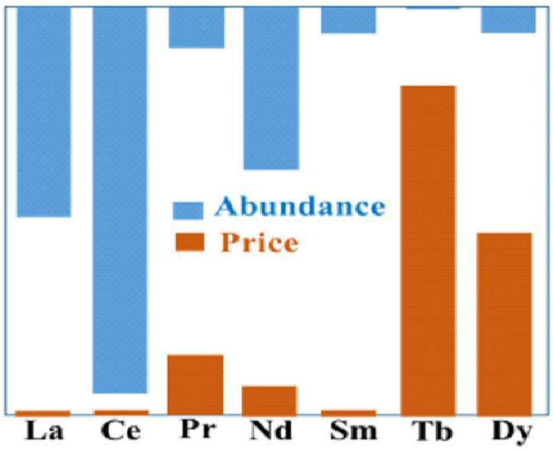
30: 입계상

110: 제1 확산영역

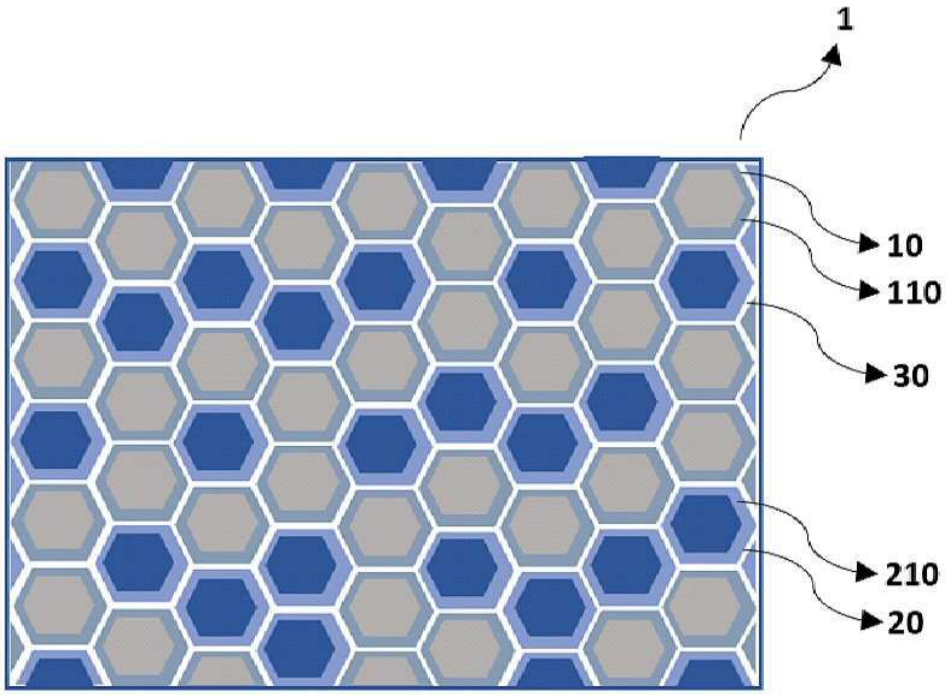
210: 제2 확산영역

도면

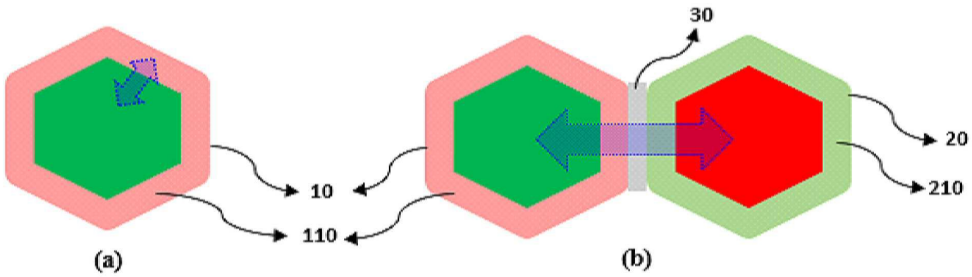
도면1



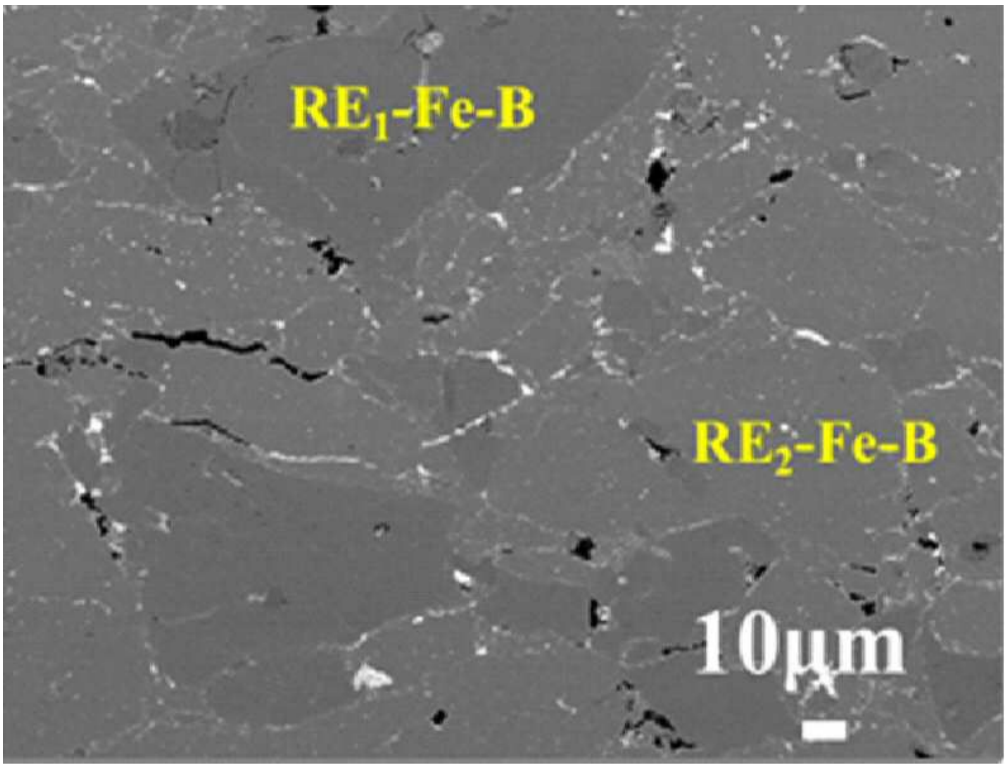
도면2



도면3



도면4



도면5

