(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월14일
(11) 등록번호 10-2780902
(24) 등록일자 2025년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 1/33 (2006.01) *B22F 1/054* (2022.01)
B22F 1/0655 (2022.01) *B22F 1/142* (2022.01)
B22F 3/115 (2006.01) *H01F 1/147* (2006.01)
H01F 1/22 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01F 1/33 (2013.01)
B22F 1/054 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2024-0017220
(22) 출원일자 2024년02월05일
심사청구일자 2024년02월05일
(56) 선행기술조사문헌
JP2021036576 A
WO2012132783 A1
Mi Se Chang 외 7명, 'Electromagnetic Wave Absorbing, Thermal-conductive Flexible Membrane with Shaped-modulated FeCo Nanobelts', ACS Appl.Mater, (2022)

(73) 특허권자
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
권영태
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9
양상선
경상남도 창원시 성산구 대암로 253
정재원
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79
(74) 대리인
특허법인 피씨알

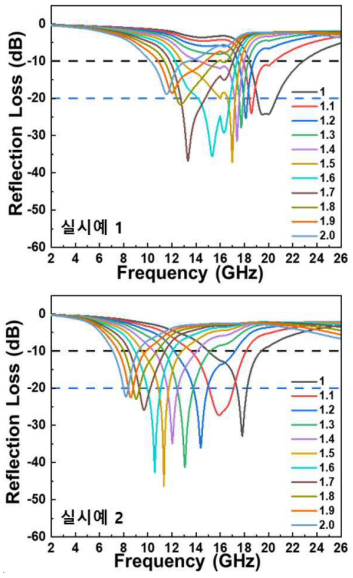
전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 정용택

(54) 발명의 명칭 **합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 전자파 흡수체**

(57) 요 약

본 발명은 합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 전자파 흡수체에 관한 것으로, 상기 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 연자성 복합체의 형상을 용이하게 제어할 수 있다. 또한, 상기 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체는 전자파 흡수율이 우수할 수 있다.

대 표 도 - 도10



(52) CPC특허분류
B22F 1/0655 (2023.08)
B22F 1/142 (2023.08)
B22F 3/115 (2013.01)
H01F 1/14741 (2013.01)
H01F 1/22 (2013.01)
B22F 2301/15 (2013.01)
B22F 2301/35 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711200105
과제번호 00282305
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 나노소재기술개발
연구과제명 고포화자화 블록 분말 기반 계면 제어 자성 소재 및착용형 로봇용 QDD 모터 모듈 개발
과제수행기관명 한국재료연구원
연구기간 2023.08.01 ~ 2024.01.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711201885
과제번호 CAP22082-000
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 국가과학기술연구회
연구사업명 국가과학기술연구회연구운영비지원(주요사업비)
연구과제명 Free-Form 다기능 구조체를 갖는 초경량/초박막 전자소자 제조기술 개발
과제수행기관명 한국기계연구원
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체로서,

상기 연자성 복합체는 구형 또는 중공구형인 것이고,

상기 합금 입자의 평균크기는 10 nm 내지 200 nm인 것인, 연자성 복합체.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 합금 입자는 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 사마륨(Sm)으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것인, 연자성 복합체.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 질화붕소 입자의 평균크기는 10 nm 내지 100 nm인 것인, 연자성 복합체.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 연자성 복합체의 평균크기는 0.1 ㎛ 내지 10 ㎛인 것인, 연자성 복합체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 연자성 복합체는 1:1 내지 1:10의 비율로 상기 질화붕소 및 합금을 포함하는 것인, 연자성 복합체.

청구항 7

청구항 1에 따른 연자성 복합체의 제조방법으로서,

금속질산염 또는 금속아세트산염, 질화붕소 입자 및 용매를 포함하는 혼합물을 제조하는 단계;

상기 혼합물을 에어로졸 액적으로 분무하는 단계; 및

상기 분무된 에어로졸 액적을 운송가스를 통해 가열로를 통과시켜 열처리하는 단계;를 포함하는 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 금속질산염은 질산철, 질산코발트, 질산니켈 및 질산사마륨으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 금속아세트산염은 아세트산철, 아세트산코발트, 아세트산니켈 및 아세트산사마륨으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도는 각각 0.1 M 내지 1 M인 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 질화붕소 입자의 몰농도는 0.01 M 내지 0.1 M인 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 용매는 물, 에탄올 및 물/에탄올 혼합물로부터 선택되는 하나인 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 13

제7항에 있어서,

상기 운송가스는 수소, 아르곤 및 질소로부터 선택되는 하나 이상인 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 14

제7항에 있어서,

상기 운송가스의 유속은 1 L/min 내지 50 L/min인 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 15

제7항에 있어서,

상기 열처리는 170 ℃ 내지 250 ℃의 온도에서 제1열처리 및 800 ℃ 내지 1000 ℃의 온도에서 제2열처리를 수행하는 것인, 연자성 복합체의 제조방법.

청구항 16

제1항의 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체로서,

상기 전자파 흡수체의 두께는 1 ㎜ 내지 2 ㎜인 것인, 전자파 흡수체.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 전자파 흡수체의 반사손실이 -10 dB이하를 만족하는 주파수의 대역폭은 2 GHz 이상인 것인, 전자파 흡수체.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 전자파 흡수체의 0.5 내지 26 GHz 주파수 범위에서 최저반사손실은 -20 dB 이하인 것인, 전자파 흡수체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 전자파 흡수체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 산업의 발달로 디지털 전자기기의 사용이 증대되고 있고, 디지털 전자기기는 전자장치의 회로 신호처리속도의 고속화, 고주파화, 고기능화되고 있으며, 제품 크기도 소형화, 경량화, 박형화에 대한 요구가 더욱 가속화되고 있다.

[0003] 이들 요구에 부응하기 위하여 회로가 다층화, 고밀화됨에 따라, 심각한 전자파로 인한 문제가 새로운 관심의 대상으로 등장하게 되었다. 특히, 소형화, 경량화, 박형화로 휴대용 전자기기가 증가함에 따라 전자파가 인체에 노출되는 양도 증가하였다.

[0004] 이러한 전자파가 인체에 노출되었을 때 나타나는 인체 유해성에 대한 연구결과가 발표됨에 따라, 선진국에서는 전자파에 대한 악영향을 방지하기 위한 전자파 흡수체에 연구가 활발히 진행되고 있다. 전자파 흡수체는 일반적으로 연자성 복합체를 포함하며, 이러한 연자성 복합체는 원자 조성, 형상 등에 따라 전자파 흡수 성능의 차이가 있다.

[0005] 종래에는 연자성 복합체의 형상을 제어하기 위하여 물리적 또는 화학적 방법을 사용하고 있다. 물리적 방법은 균일하고 정밀한 형상을 제어하기 어렵다는 문제가 있고, 화학적 방법은 형상을 제어하기 위하여 별도의 첨가제를 투입하기 때문에 고포화자화, 고투자율의 연자성 복합체를 제조하는데 어려움이 있다. 특히, 특성이 저하된 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체는 전자파 흡수 성능이 저하되어 우수한 성능의 전자파 흡수체를 제조하기 어려운 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 다양한 형상의 연자성 복합체, 별도의 첨가제 없이 형상을 용이하게 제어 가능한 연자성 복합체의 제조방법 및 전자파 흡수능이 우수한 다양한 형상의 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체를 제공하는 것이다.

[0007] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들

은 하기의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체로서, 상기 연자성 복합체는 구형 또는 중공구형인 것인, 연자성 복합체를 제공한다.

[0009] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 금속질산염 또는 금속아세트산염, 질화붕소 입자 및 용매를 포함하는 혼합물을 제조하는 단계; 상기 혼합물을 에어로졸 액적으로 분무하는 단계; 및 상기 분무된 에어로졸 액적을 운송가스를 통해 가열로를 통과시켜 열처리하는 단계;를 포함하는 연자성 복합체의 제조방법을 제공한다.

[0010] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체로서, 상기 전자파 흡수체의 두께는 1 ㎜ 내지 2 ㎜인 것인, 전자파 흡수체를 제공한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 일 실시상태에 따른 연자성 복합체는 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시상태에 따른 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 연자성 복합체의 형상을 용이하게 제어할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시상태에 따른 전자파 흡수체는 전자파 흡수율이 우수할 수 있다.

[0014] 본 발명의 효과는 상술한 효과로 한정되는 것은 아니며, 언급되지 아니한 효과들은 본원 명세서로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명에 따른 연자성 복합체의 제조방법을 도시화하여 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명에 따른 연자성 복합체의 제조방법에서 분무된 에어로졸 액적을 운송가스를 통해 가열로를 통과시켜 열처리하는 단계를 구체적으로 도시화하여 나타낸 것이다.

도 3은 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체의 SEM 이미지, TEM 이미지 및 원소맵핑 이미지를 나타낸 것이다.

도 4는 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체의 XRD 패턴을 나타낸 것이다.

도 5는 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체의 Co 2p에 대한 XPS 결과를 나타낸 것이다.

도 6은 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체의 B 1s에 대한 XPS 결과를 나타낸 것이다.

도 7은 실시예 1, 실시예 2, 비교예 1 및 비교예 2의 연자성 복합체의 열전도성 평가 결과를 나타낸 것이다.

도 8은 실시예 1, 실시예 2, 비교예 1 및 비교예 2의 연자성 복합체의 투자율 평가 결과를 나타낸 것이다.

도 9는 실시예 1, 실시예 2, 비교예 1 및 비교예 2의 연자성 복합체의 유전율 평가 결과를 나타낸 것이다.

도 10은 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체의 전자파 흡수 평가 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 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.

[0017] 본원 명세서 전체에서, 단위 "중량부"는 각 성분간의 중량의 비율을 의미할 수 있다.

[0018] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"는 "A, B, 또는 A 및 B"를 의미한다.

[0019] 이하, 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명한다.

[0021] 본 발명의 일 실시상태는 합금 입자 및 질화붕소 입자를 포함하는 연자성 복합체로서, 상기 연자성 복합체는 구형 또는 중공구형인 것인, 연자성 복합체를 제공한다. 상기 연자성 복합체는 합금 입자 및 질화붕소 입자를 포

함함으로써, 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있고, 상기 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체의 전자파의 흡수율이 우수할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 연자성 복합체는 구형 또는 중공구형인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 중공구형은 다수의 기공을 가지는 다공성 중공구형일 수 있다. 상기 연자성 복합체는 구형 또는 중공구형을 가짐으로써, 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있고, 상기 형상의 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체의 전자파 흡수율을 향상시킬 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 합금 입자는 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 사마륨(Sm)으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 합금 입자는 전술한 금속 종류 중에서 2종 포함하는 FeCo, FeNi, CoNi, SmCo, SmFe 등의 합금 입자일 수 있고, 3종 포함하는 FeCoNi, SmFeCo 등의 합금 입자일 수 있다. 상기 합금 입자가 전술한 금속 종류 중에서 둘 이상을 포함함으로써, 상기 연자성 복합체의 자기적 특성(투자율, 포화자화, 보자력 등), 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 합금 입자의 평균크기는 10 nm 내지 200 nm인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 합금 입자의 평균크기는 10 nm 내지 200 nm, 10 nm 내지 150 nm, 10 nm 내지 100 nm, 10 nm 내지 50 nm, 25 nm 내지 200 nm, 25 nm 내지 175 nm, 25 nm 내지 125 nm, 25 nm 내지 75 nm, 25 nm 내지 50 nm, 50 nm 내지 200 nm, 50 nm 내지 150 nm 또는 50 nm 내지 100 nm일 수 있다. 상기 합금 입자의 평균크기가 전술한 범위일 경우, 상기 연자성 복합체의 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다. 반면, 상기 합금 입자의 평균크기가 전술한 범위보다 클 경우, 합금 입자의 전기전도도가 커지고, 유전율의 제어가 어려워지므로 전자파 흡수율이 저하될 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 질화붕소 입자의 평균크기는 10 nm 내지 100 nm인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 질화붕소 입자의 평균크기는 10 nm 내지 100 nm, 10 nm 내지 80 nm, 10 nm 내지 60 nm, 10 nm 내지 40 nm, 25 nm 내지 100 nm, 25 nm 내지 85 nm, 25 nm 내지 65 nm, 30 nm 내지 100 nm, 30 nm 내지 70 nm 또는 30 nm 내지 50 nm일 수 있다. 상기 질화붕소 입자의 평균크기가 전술한 범위일 경우, 상기 연자성 복합체의 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 연자성 복합체의 평균크기는 0.1 ㎛ 내지 10 ㎛인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 연자성 복합체의 평균크기는 0.1 ㎛ 내지 10 ㎛, 0.1 ㎛ 내지 5 ㎛, 0.1 ㎛ 내지 1 ㎛, 0.5 ㎛ 내지 10 ㎛, 0.5 ㎛ 내지 7 ㎛, 0.5 ㎛ 내지 3 ㎛ 또는 0.5 ㎛ 내지 1 ㎛일 수 있다. 상기 연자성 복합체의 평균크기가 전술한 범위일 경우, 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다. 또한, 상기 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체를 제조할 때 생성되는 기공을 최소화하여 부피 대비 더 많은 양의 연자성 복합체를 포함시킬 수 있고, 이로 인하여 전자파 흡수체의 전자파 흡수율을 향상시킬 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 연자성 복합체는 1:1 내지 1:10의 비율로 상기 질화붕소 및 합금을 포함하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 연자성 복합체의 비율은 질화붕소 및 합금의 몰비율일 수 있고, 1:1 내지 1:10, 1:1 내지 1:8, 1:1 내지 1:6, 1:3 내지 1:10, 1:1 내지 1:9 또는 1:1 내지 1:7일 수 있다. 상기 연자성 복합체의 질화붕소 및 합금의 몰비율이 전술한 범위일 경우, 열전도성 및 유전율이 우수할 수 있다. 반면, 상기 질화붕소 및 합금의 몰비율이 전술한 범위를 벗어나, 질화붕소의 비율이 높아지면, 실질적으로 전자파 흡수에 관여하는 합금이 비율이 줄어들어 상기 연자성 복합체의 전자파 흡수율이 저하될 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시상태는 금속질산염 또는 금속아세트산염, 질화붕소 입자 및 용매를 포함하는 혼합물을 제조하는 단계; 상기 혼합물을 에어로졸 액적으로 분무하는 단계; 및 상기 분무된 에어로졸 액적을 운송가스를 통해 가열로를 통과시켜 열처리하는 단계;를 포함하는 연자성 복합체의 제조방법을 제공한다. 상기 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 연자성 복합체의 형상을 용이하게 제어할 수 있다.

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 연자성 복합체의 제조방법을 도시화하여 나타낸 것이다.

[0030] 도 1을 보면, 금속질산염(질산철, 질산코발트) 또는 금속아세트산염(아세트산철, 아세트산코발트), 질화붕소 나노입자 및 용매(미도시)를 포함하는 혼합물을 초음파 보조 분무 열분해 시스템에 주입한다. 그런 다음, 초음파 발생기로 상기 혼합물을 에어로졸 액적으로 분무한다. 상기 분무된 에어로졸 액적은 운송가스(carrier gas)를 통해 가열로(furnace)를 통과시켜 열처리한다. 최종적으로, 에어로졸 액적이 분무된 반대쪽 끝에 있는 가열로의 여과지(filter paper)에서 형상이 제어된 FeCo/BN 연자성 복합체를 얻을 수 있다.

[0031] 상기 도 1에서는 초음파 발생기를 이용하여 혼합물을 에어로졸 액적을 분무하였지만, 당업계에 알려진 다른 에

어로졸 액적의 분무 방법을 사용할 수 있다.

[0032] 도 2는 본 발명에 따른 연자성 복합체의 제조방법에서 분무된 에어로졸 액적을 운송가스를 통해 가열로를 통과시켜 열처리하는 단계를 구체적으로 도시화하여 나타낸 것이다.

[0033] 도 2를 보면, 분무된 에어로졸 액적은 운송가스를 통해 가열로를 통과하면서 제1열처리 및 제2열처리 된다. 상기 제1열처리 온도는 200 ℃이고, 상기 제2열처리 온도는 900 ℃이다.

[0034] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 금속질산염을 사용하는 경우, 구형 연자성 복합체를 제조할 수 있고, 금속아세트산염을 사용하는 경우, 중공구형 연자성 복합체를 제조할 수 있다. 상기 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 염의 종류만 조절하여 연자성 복합체의 형상을 용이하게 제어할 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 금속질산염은 질산철, 질산코발트, 질산니켈 및 질산사마륨으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것일 수 있다. 또한, 상기 금속질산염은 수화물로 사용될 수 있고, 질산철 수화물, 질산코발트 수화물, 질산니켈 수화물 및 질산사마륨 수화물로부터 선택되는 둘 이상을 포함할 수 있다. 전술한 종류의 금속질산염 및 이의 수화물을 포함함으로써, 상기 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 용이하게 구형 연자성 복합체를 제조할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 질산철, 질산코발트, 질화붕소 나노입자 및 용매를 포함하는 혼합물을 사용하여 FeCo/BN 연자성 복합체를 제조하는 경우, 제1열처리 및 제2열처리 과정중에 하기 반응식 1과 같이 반응하여 구형 연자성 복합체가 제조되는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 질산철 및 질산코발트의 분해(Decomposition) 온도는 각각 135 ℃ 및 168 ℃로 제1열처리 온도보다 낮기 때문에, 제1열처리시 상기 질산철 및 질산코발트가 분해되고, 철 이온 및 코발트 이온이 결합하면서 비표면적이 가장 작은 구 형상을 형성하는 것일 수 있다.

[0037] [반응식 1]

$$Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O\ (S) + H_2O\ (l) \rightarrow [Fe(OH)(H_2O)_5]^{2+}\ (aq) + HNO_3\ (l) \xrightarrow[\Delta]{} Fe(OH)_2\ (S)\ (Decomp.=135\ ^oC) + H_2O\ (l) + 3HNO_3\ (l)$$

[0038] $$Co(NO_3)_3{\cdot}6H_2O\ (S) + H_2O\ (l) \rightarrow [Co(OH)(H_2O)_5]^{2+}\ (aq) + HNO_3\ (l) \xrightarrow[\Delta]{} Co(OH)_2\ (S)\ (Decomp.=168\ ^oC) + H_2O\ (l) + 3HNO_3\ (l)$$

[0039] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 금속아세트산염은 아세트산철, 아세트산코발트, 아세트산니켈 및 아세트산사마륨으로부터 선택되는 둘 이상을 포함하는 것일 수 있다. 또한, 상기 금속아세트산염은 수화물로 사용될 수 있고, 아세트산철 수화물, 아세트산코발트 수화물, 아세트산니켈 수화물 및 아세트산사마륨 수화물로부터 선택되는 둘 이상을 포함할 수 있다. 전술한 종류의 금속아세트산염 및 이의 수화물을 포함함으로써, 상기 연자성 복합체의 제조방법은 별도의 첨가제 없이 용이하게 구형 연자성 복합체를 제조할 수 있다.

[0040] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 아세트산철, 아세트산코발트 질화붕소 나노입자 및 용매를 포함하는 혼합물을 사용하여 FeCo/BN 연자성 복합체를 제조하는 경우, 제1열처리 및 제2열처리 과정중에 하기 반응식 2와 같이 반응하여 중공구형 연자성 복합체가 제조되는 것일 수 있다. 구체적으로, 반응식 2를 살펴보면, 최종 생성물에 산소(O_2) 가스가 발생하게 되고, 구형 연자성 복합체 전구체 내부에서 생성되는 산소가 팽창하면서, 외부로 빠져나오면서, 다공성 중공구형 FeCo/BN 연자성 복합체가 제조되는 것일 수 있다.

[0041] [반응식 2]

$$Fe(C_2H_3O_2)_2\ (S) + H_2O\ (l) \rightarrow Fe^{2+}\ (aq) + 2C_2H_3O_2^-\ (aq) + H_2O_{\ (l)} \xrightarrow[\Delta]{} 3Fe(OH)_2\ (s) + 7C_2H_4O_2\ (l) + 0.5H_2O\ (l) + 0.5O_2\ (g)$$

[0042] $$Co(CO_2CH_3)_2\ (S) + H_2O\ (l) \rightarrow Co^{2+}\ (aq) + 2C_2H_3O_2^-\ (aq) + H_2O_{\ (l)} \xrightarrow[\Delta]{} 3Co(OH)_2\ (s) + 7C_2H_4O_2\ (l) + 0.5H_2O\ (l) + 0.5O_2\ (g)$$

[0043] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도는 각각 0.1 M 내지 1 M인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 혼합물에 대한 상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도는 각각 0.1 M 내지 1 M, 0.1 M 내지 0.7 M, 0.1 M 내지 0.5 M, 0.1 M 내지 0.3 M, 0.2 M 내지 1 M, 0.2 M 내지 0.8 M, 0.2 M 내지 0.6 M 또는 0.2 M 내지 0.4 M일 수 있다. 상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도가 전술한 범위일 경우, 연자성 복합체를 용이하게 제조할 수 있다. 상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도가 전술한 범위보다 낮은 경우, 반응물(금속질산염 또는 금속아세트산염)이 부족하여 구형 또는 중공구형 연자성 복합체가 제조되지 않을 수 있고, 상기 금속질산염 및 금속아세트산염의 몰농도가 전술한 범위보다 많은 경우, 에어로졸 액적이 운

송가스를 통해 가열로를 통과하는 동안 반응이 모두 완료되지 않을 수 있다.

[0044] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 질화붕소 입자의 몰농도는 0.01 M 내지 0.1 M인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 혼합물에 대한 상기 질화붕소 입자의 몰농도는 0.01 M 내지 0.1 M, 0.01 M 내지 0.09 M, 0.01 M 내지 0.07 M, 0.01 M 내지 0.05 M, 0.01 M 내지 0.03 M, 0.02 M 내지 0.1M, 0.02 M 내지 0.08 M, 0.02 M 내지 0.06 M 또는 0.02 M 내지 0.04 M일 수 있다. 상기 질화붕소 입자의 몰농도가 전술한 범위보다 많이 사용되는 경우, 금속질산염 또는 금속아세트산염의 반응을 방해하여 연자성 복합체의 형상 제어가 어려울 수 있고, 상기 질화붕소 입자의 몰농도가 전술한 범위보다 적게 사용되는 경우, 제조된 연자성 복합체의 열전도성 및 유전율, 및 제조된 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체의 전자파 흡수율이 저하될 수 있다.

[0045] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 용매는 물, 에탄올 및 물/에탄올 혼합물로부터 선택되는 하나인 것일 수 있다. 상기 용매로 전술한 종류를 사용하는 경우, 금속질산염 또는 금속아세트산염을 용이하게 용해시킬 수 있고, 상기 용매의 끓는점이 낮아 에어로졸 액적이 운송가스를 통해 가열로를 통과하는 동안 손쉽게 용매를 제거할 수 있다.

[0046] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 운송가스는 수소, 아르곤 및 질소로부터 선택되는 하나 이상인 것일 수 있다. 상기 운송가스로 전술한 종류의 가스를 사용하는 경우, 에어로졸 액적이 운송가스를 통해 가열로를 통과하는 동안 원하지 않는 다른 부반응이 발생하지 않을 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 운송가스의 유속은 1 L/min 내지 50 L/min인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 운송가스의 유속은 1 L/min 내지 50 L/min, 1 L/min 내지 25 L/min, 1 L/min 내지 10 L/min, 1 L/min 내지 8 L/min, 1 L/min 내지 6 L/min, 3 L/min 내지 50 L/min, 3 L/min 내지 25 L/min, 3 L/min 내지 15 L/min, 3 L/min 내지 10 L/min, 3 L/min 내지 9 L/min 또는 3 L/min 내지 7 L/min일 수 있다. 상기 운송가스의 유속이 전술한 범위일 경우, 에어로졸 액적이 운송가스를 통해 가열로를 통과하는 동안 모두 반응이 완료될 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 열처리는 170 ℃ 내지 250 ℃의 온도에서 제1열처리 및 800 ℃ 내지 1000 ℃의 온도에서 제2열처리를 수행하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 제1열처리는 170 ℃ 내지 250 ℃, 170 ℃ 내지 225 ℃, 170 ℃ 내지 200 ℃, 200 ℃ 내지 250 ℃ 또는 200 ℃ 내지 225 ℃일 수 있다. 또한, 상기 제2열처리는 800 ℃ 내지 1000 ℃, 800 ℃ 내지 950 ℃, 800 ℃ 내지 920 ℃, 850 ℃ 내지 1000 ℃, 850 ℃ 내지 950 ℃, 850 ℃ 내지 920 ℃, 875 ℃ 내지 1000 ℃, 875 ℃ 내지 950 ℃, 875 ℃ 내지 925 ℃ 또는 880 ℃ 내지 920 ℃일 수 있다. 상기 제1열처리 온도 및 제2열처리 온도가 전술한 범위일 경우, 에어로졸 액적이 운송가스를 통해 가열로를 통과하는 동안 반응이 원활히 진행되어 연자성 복합체의 형상제어가 용이할 수 있다.

[0049] 본 발명의 일 실시상태는 상기 연자성 복합체를 포함하는 전자파 흡수체로서, 상기 전자파 흡수체의 두께는 1 mm 내지 2 mm인 것인, 전자파 흡수체를 제공한다. 구체적으로, 상기 전자파 흡수체는 필름 형상 또는 시트 형상일 수 있고, 상기 전자파 흡수체의 두께는 1 mm 내지 2 mm, 1 mm 내지 1.75 mm, 1 mm 내지 1.65 mm, 1 mm 내지 1.5 mm, 1 mm 내지 1.45 mm, 1 mm 내지 1.25 mm, 1.05 mm 내지 1.25 mm, 1.15 mm 내지 2 mm, 1.15 mm 내지 1.8 mm, 1.15 mm 내지 1.65 mm, 1.15 mm 내지 1.5 mm, 1.15 mm 내지 1.45 mm, 1.15 mm 내지 1.25 mm, 1.45 mm 내지 2 mm, 1.45 mm 내지 1.8 mm, 1.45 mm 내지 1.75 mm, 1.45 mm 내지 1.65 mm 또는 1.45 mm 내지 1.55 mm일 수 있다. 상기 전자파 흡수체의 두께가 전술한 범위일 경우, -10 dB에서 대역폭(Bandwidth)이 넓을 수 있고, 최저반사손실(Reflection Loss)이 낮아 전자파 흡수 특성이 우수할 수 있다.

[0050] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 전자파 흡수체의 대역폭은 -10 dB에서 2 GHz 이상인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 전자파 흡수체의 대역폭은 -10 dB에서 2 GHz 이상, 2 GHz 이상 10 GHz 이하, 2 GHz 이상 8 GHz 이하, 2 GHz 이상 6 GHz 이하, 3 GHz 이상 9 GHz 이하, 3 GHz 이상 7 GHz 이하, 3 GHz 이상 5.5 GHz 이하, 3.1 GHz 이상 10 GHz 이하, 3.1 GHz 이상 8 GHz 이하, 3.1 GHz 이상 6 GHz 이하, 3.5 GHz 이상 9 GHz 이하, 3.5 GHz 이상 9 GHz 이하, 3.5 GHz 이상 7 GHz 이하, 3.5 GHz 이상 5.5 GHz 이하, 4 GHz 이상 10 GHz 이하, 4 GHz 이상 8 GHz 이하, 4 GHz 이상 6 GHz 이하, 4.5 GHz 이상 10 GHz 이하, 4.5 GHz 이상 8 GHz 이하 또는 4.5 GHz 이상 6 GHz 이하일 수 있다. 상기 전자파 흡수체는 전술한 범위의 대역폭을 나타내므로, 실생활에서 전자파 흡수체로 충분히 사용할 수 있다.

[0051] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 전자파 흡수체의 최저반사손실은 -20 dB에서 이하인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 전자파 흡수체의 최저반사손실은 -15 dB 이하, -20 dB 이하, -50 dB 이상 -20 dB 이하, -50 dB 이상 -25 dB 이하, -50 dB 이상 -26 dB 이하, -50 dB 이상 -33 dB 이하, -50 dB 이상 -34 dB 이하, -50 dB 이상 -35 dB 이하, -50 dB 이상 -40 dB 이하 또는 -50 dB 이상 -45 dB 이하일 수 있다. 상기 전자파 흡수체가 전

술한 범위의 최저반사손실을 가짐으로써, 전자파 흡수율이 90 % 이상, 95 % 이상, 99 % 이상, 99.9 % 이상 또는 99.99 % 이상일 수 있다.

[0052] 본 발명의 연자성 복합체, 연자성 복합체의 제조방법, 전자파 흡수체에서 언급된 사항은 서로 모순되지 않는 한 동일하게 적용된다.

[0054] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예, 실험예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명에 따른 실시예, 실험예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 기술하는 실시예, 실험예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예, 실험예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0055] **실시예 1. 구형 FeCo/BN 연자성 복합체 제조**

[0056] $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 및 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$을 금속질산염으로 사용하였다. $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 4.04 g 및 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 2.91g을 자기 교반한 다음, 탈이온수(Deionized water) 50 mL에 용해시켜 전구체 용액을 제조하였다.

[0057] BN 나노입자(h-BN, 99.8 %, 40 nm) 0.08 g을 탈이온수 50 mL에 녹인 다음, 30 % 진폭에서 1 시간 동안 팁 초음파(tip sonication) 처리하여 BN 나노입자 용액을 제조하였다.

[0058] 상기 전구체 용액 및 상기 BN 나노입자 용액을 각각 50 mL를 주사기에 넣고 0.4 mL/min의 속도로 초음파 보조 분무 열분해(USP, Ultrasonic Spray Pyrolysis) 시스템에 로딩하였다.

[0059] 이어서, 초음파 분무기를 사용하여 상기 USP 시스템에 로딩된 혼합 용액(전구체 용액 및 BN 나노입자 용액)을 에어로졸 방울로 생성하여 분무하였다. 상기 분무된 에어로졸 방울은 운송가스로 USP 시스템의 반응챔버(제1 가열구열 및 제2 가열구역)를 통과하면서 반응하였고, 최종적으로 여과지에서 구형(spherical) FeCo/BN 연자성 복합체를 얻었다.

[0060] 상기 운송가스는 H_2 10 % + Ar 90 %를 5 L/min의 유량으로 사용하였다. 상기 제1 가열구역(1st heating zone)은 200 ℃이고, 제2 가열구역은 900 ℃이다.

[0062] **실시예 2. 중공구형 FeCo/BN 연자성 복합체 제조**

[0063] 하기 표 1과 같이 금속염의 종류 및 질량을 조절한 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 같은 방법으로 중공구형(hollow sphere) FeCo/BN 연자성 복합체를 제조하였다.

표 1

[0064]

	금속염의 종류	금속염의 사용량 (g)	금속염의 종류	금속염의 사용량 (g)	BN 나노입자의 사용량 (g)
실시예 1	$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	4.04	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	2.91	0.08
실시예 2	$Fe(CH_3CO_2)_2$	1.74	$Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$	2.49	0.08
비교예 1	$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	4.04	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	2.91	-
비교예 2	$Fe(CH_3CO_2)_2$	1.74	$Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$	2.49	-

[0066] **비교예 1 및 비교예 2**

[0067] 상기 표 1과 같이 금속염의 종류 및 사용량을 조절하고, BN 나노입자 용액을 초음파 보조 분무 열분해(USP, Ultrasonic Spray Pyrolysis) 시스템에 로딩하지 않는 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 비교예 1 및 비교예 2의 FeCo 연자성 복합체를 제조하였다.

[0069] **실험예 1. FeCo/BN 연자성 복합체의 구조 및 형상 평가**

[0070] 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체를 전계 방출 주사 전자 현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM; JSM-7610F, JEOL)으로 SEM 이미지를 측정하였고, 그 결과를 도 3에 나타내었다.

[0071] 또한, 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체를 전계 방출 투과 전자 현미경(Field Emission Transmission Electron Microscope, FE-TEM; Talos F200X, Thermo Fisher Scientific)으로 TEM 이

미지와 철, 코발트 및 질소의 원소 맵핑 이미지를 측정하였고, 그 결과를 도 3에 나타내었다.

[0072] 도 3을 보면, 상기 실시예 1에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체는 구형(Spherical)이고, 상기 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체는 다수의 기공을 포함하는 중공구형(Hollw sphere)인 것을 확인하였다.

[0073] 또한, 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체는 FeCo 입자 및 BN 나노입자가 균일하게 분포되어 형상을 유지하는 것을 알 수 있다.

[0075] **실험예 2. XRD 및 XPS 분석**

[0076] 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체의 XRD(X-ray Diffraction; Rigaku D/Max-2500VL/PC) 분석을 수행하였고, 그 결과를 도 4에 나타내었다.

[0077] 또한, 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체의 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) 분석을 수행하였고, Co 2p에 대한 XPS 결과는 도 5에 나타내었으며, B 1s에 대한 XPS 결과는 도 6에 나타내었다.

[0078] 도 4를 보면, 44.8° , 65.2° 및 82.6° 에서 뚜렷한 피크를 확인하였다. 이로부터 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체는 체심입방체인 것을 알 수 있다. 또한, 44.8° 및 65.2° 의 피크로부터 FeCo 입자가 잘 생성된 것을 알 수 있다.

[0079] 또한, 도 5를 보면, 상기 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 FeCo/BN 연자성 복합체 내에 BN 입자가 잘 생성된 것을 알 수 있다.

[0081] **실험예 3. 열전도성 평가**

[0082] 상기 실시예 1, 실시예 2, 비교예 1 및 비교예 2에서 제조된 연자성 복합체의 열전도성을 레이저 플래시 분석기(laser flash analyzer, LFA 467 Hyperflash, Netzsch)를 이용하여 평가하였고, 그 결과를 도 7에 나타내었다.

[0083] 도 7을 보면, FeCo 입자 및 BN 나노입자를 포함하는 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체가 FeCo 입자만 포함하는 비교예 1 및 비교예 2의 FeCo 연자성 복합체보다 열전도성이 우수한 것을 알 수 있다.

[0085] **실험예 4. 복소 투자율 및 복소 유전율 평가**

[0086] 상기 실시예 1, 실시예 2, 비교예 1 및 비교예 2에서 제조된 연자성 복합체의 복소 투자율 및 복소 유전율을 벡터 네트워크 분석기(vector network analyzer, VNA; N5222B, Keysight)를 이용하여 평가하였고, 그 결과를 각각 도 8 및 도 9에 나타내었다.

[0087] 도 8을 보면, 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체와 비교예 1 및 비교예 2의 FeCo 연자성 복합체는 유사한 투자율을 가지는 것을 확인하였다. 이로부터 BN 나노입자는 투자율에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

[0088] 도 9를 보면, 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체의 유전율이 비교예 2의 FeCo 연자성 복합체의 유전율보다 낮은 것을 확인하였다. 유전율이 너무 높으면 전자파 흡수율이 저하되기 때문에, BN 나노입자를 포함하는 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체는 적절한 유전율을 가짐으로써, 전자파 흡수율이 향상되는 것을 알 수 있다.

[0090] **실험예 5. 두께에 따른 전자파 흡수 평가**

[0091] 상기 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체를 외부 직경 7 ㎜, 내부 직경이 3.04 ㎜, 두께가 1 ㎜ 인 도넛 모양의 시편 및 10.7 × 4.3 × 1.0 $㎜^3$(가로 × 세로 × 두께) 크기의 직사각형 시편을 제작하였다.

[0092] 상기 도넛 모양의 시편을 VNA를 이용하여 0.5 내지 18 GHz 주파수 범위의 전자파 흡수 평가를 진행하였고, 상기 직사각형 시편을 VNA를 이용하여 18 내지 26 GHz 주파수 범위의 전자파 흡수 평가를 진행하였다.

[0093] 또한, 상기 도넛 모양의 시편 및 직사각형 시편의 두께를 1 ㎜부터 2 ㎜까지 0.1 ㎜씩 증가시키면서 전자파 흡수 평가를 진행하였고, 그 결과를 표 2 및 도 10에 나타내었다.

표 2

[0094]

	실시예 1		실시예 2	
시편의 두께 (mm)	대역폭 @-10dB (GHz)	최저반사손실 (dB)	대역폭 @-10dB (GHz)	최저반사손실 (dB)
1.0	4.40	-24.38	4.42	-32.86
1.1	2.54	-23.99	4.60	-27.25
1.2	1.32	-25.33	5.04	-35.98
1.3	1.32	-27.83	3.84	-41.24
1.4	3.7	-31.45	3.62	-34.90
1.5	4.88	-37.13	3.34	-46.37
1.6	5.10	-35.52	3.12	-42.64
1.7	5.22	-36.75	3.00	-25.85
1.8	4.42	-21.67	2.78	-22.87
1.9	3.88	-18.52	2.32	-22.50
2.0	3.12	-18.91	2.14	-22.31

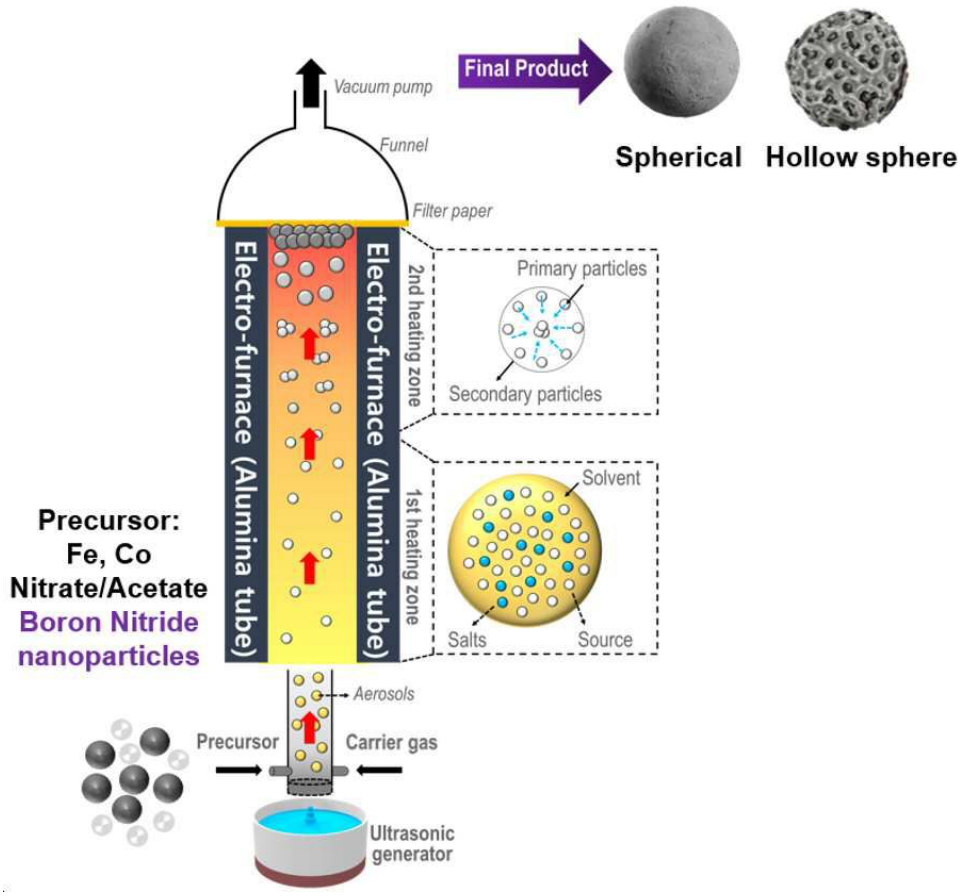
[0095] 표 2 및 도 10을 보면, 상기 실시예 1 및 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체를 포함하는 시편의 반사손실(Reflection loss)은 모두 -10 dB이하로서, 90 % 이상의 전자파 흡수율을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, 실생활에 주로 사용되는 전자파 흡수체의 전자파 흡수율은 90 %이므로, 상기 실시예 1 내지 실시예 2의 FeCo/BN 연자성 복합체를 포함하는 1.0 mm 내지 2.0 mm 두께의 전자파 흡수체는 모두 실생활에서 전자파 흡수체로 사용될 수 있다.

[0096] 나아가, 전자파 흡수율은 FeCo/BN 연자성 복합체의 형상 및 전자파 흡수체의 두께에 따라 차이가 있었으며, 중공구형 FeCo/BN 연자성 복합체(실시예 2)를 포함하는 전자파 흡수체는 1.0 mm 내지 2.0 mm 두께에서 전부 -20 dB이하의 반사손실(99% 이상의 전자파 흡수율)을 나타내므로, 구형 FeCo/BN 연자성 복합체(실시예 2)를 포함하는 전자파 흡수체보다 우수한 것을 확인하였다.

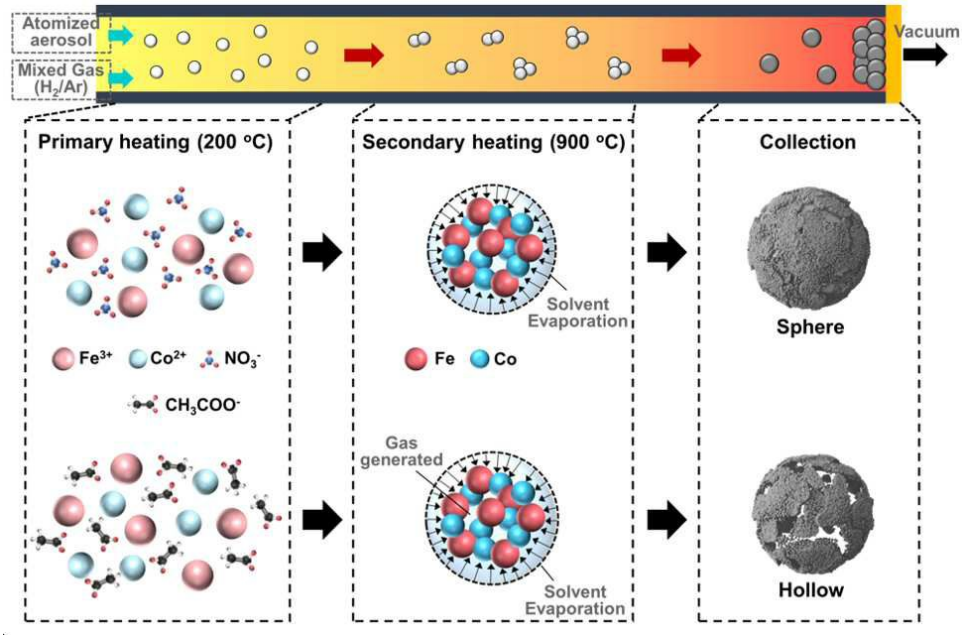
[0098] 이상에서 본 발명은 비록 한정된 실시예에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

도면

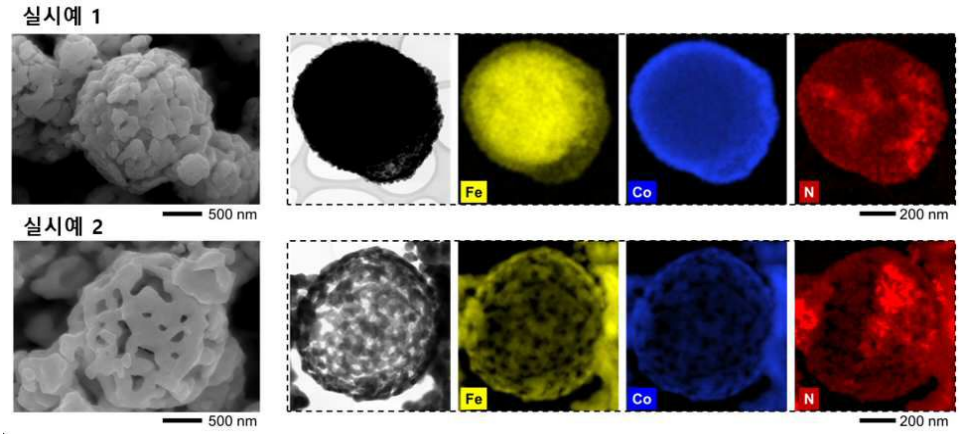
도면1


Final Product
Spherical
Hollow sphere
Vacuum pump
Funnel
Filter paper
Electro-furnace (Alumina tube)
Electro-furnace (Alumina tube)
2nd heating zone
1st heating zone
Primary particles
Secondary particles
Solvent
Salts
Source
Precursor:
Fe, Co
Nitrate/Acetate
Boron Nitride
nanoparticles
Aerosols
Precursor
Carrier gas
Ultrasonic
generator

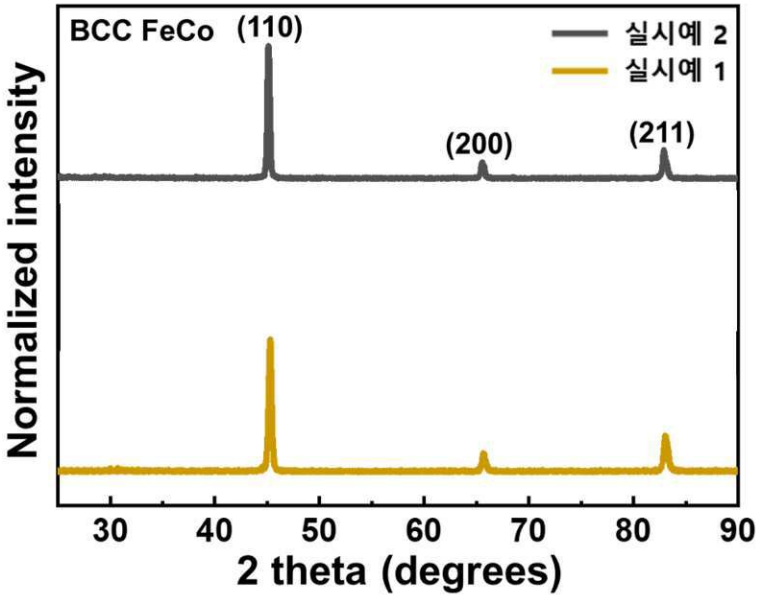
도면2


Atomized
aerosol
Mixed Gas
(H2/Ar)
Vacuum
Primary heating (200 °C)
Secondary heating (900 °C)
Collection
Solvent
Evaporation
Sphere
Fe3+
Co2+
NO3-
CH3COO-
Fe
Co
Gas
generated
Solvent
Evaporation
Hollow

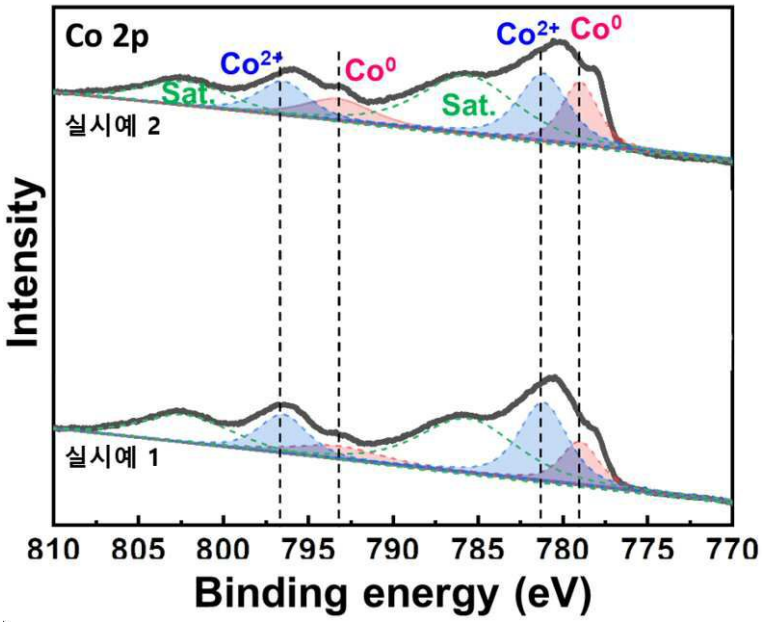
도면3


실시예 1
500 nm
Fe
Co
N
200 nm
실시예 2
500 nm
Fe
Co
N
200 nm

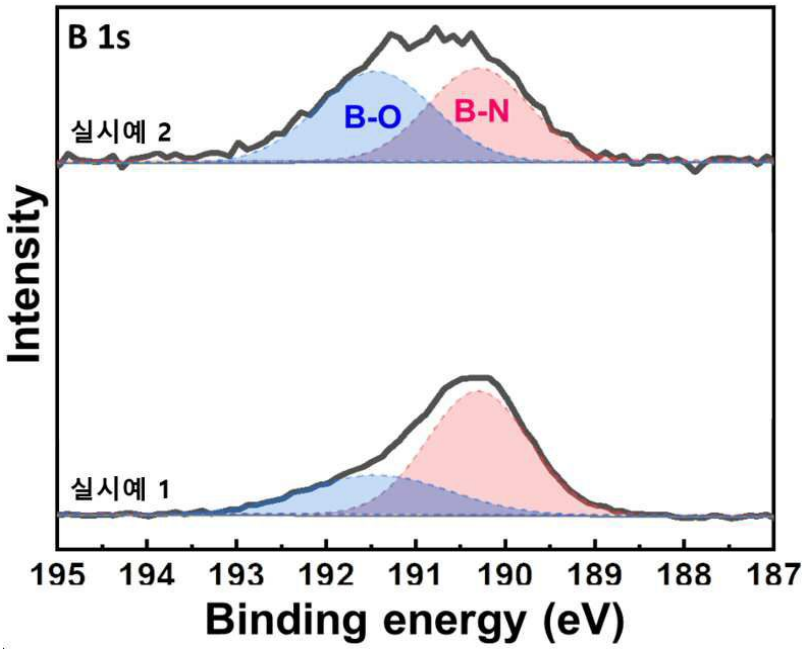
도면4


BCC FeCo
(110)
(200)
(211)
실시예 2
실시예 1
Normalized intensity
30
40
50
60
70
80
90
2 theta (degrees)

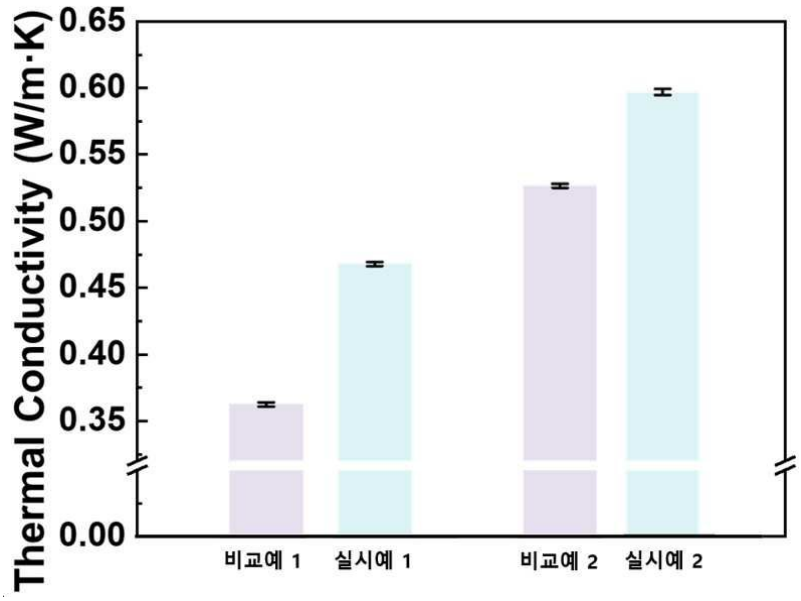
도면5


Co 2p
Co2+
Co0
Sat.
Co2+
Co0
Sat.
실시예 2
실시예 1
Intensity
810 805 800 795 790 785 780 775 770
Binding energy (eV)

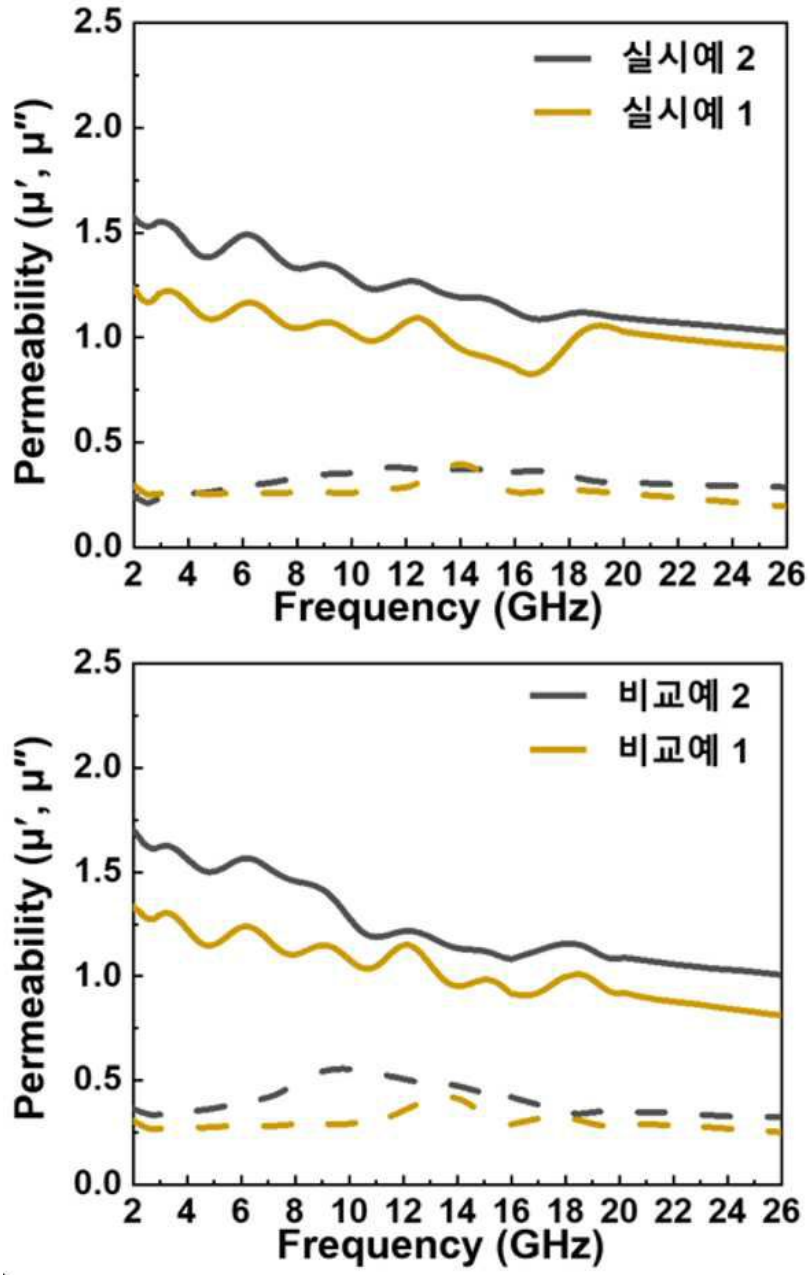
도면6


B 1s
B-O
B-N
실시예 2
실시예 1
Intensity
195 194 193 192 191 190 189 188 187
Binding energy (eV)

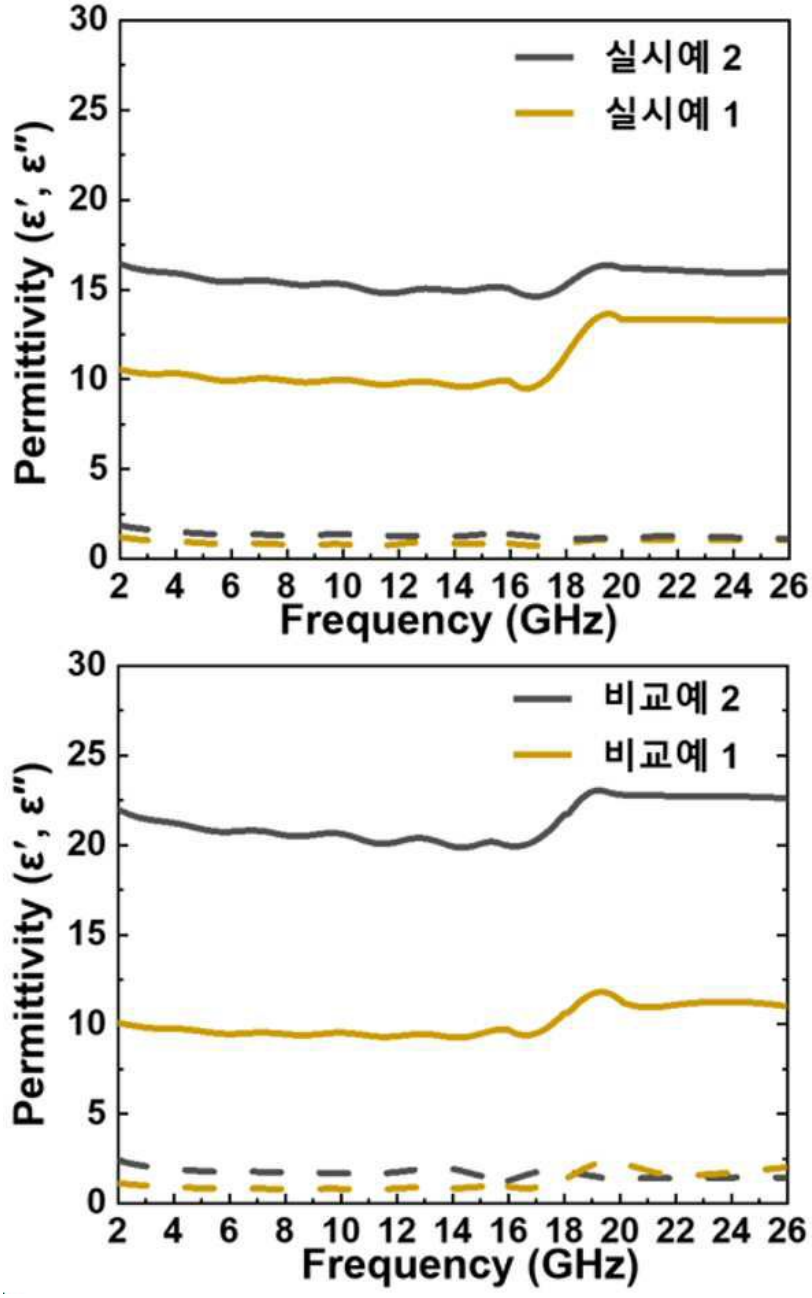
도면7


Thermal Conductivity (W/m·K)
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.00
비교예 1
실시예 1
비교예 2
실시예 2

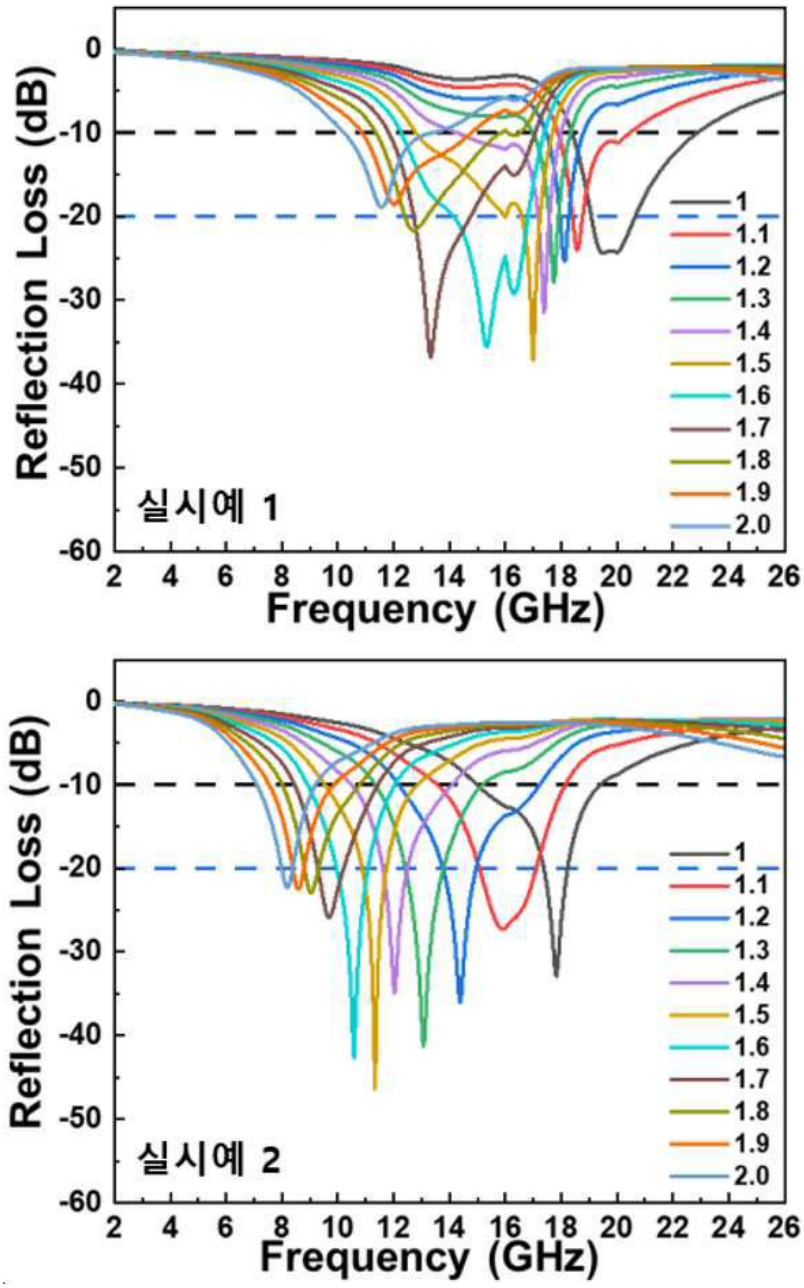
도면8


실시예 2
실시예 1
Permeability (μ′, μ″)
Frequency (GHz)
비교예 2
비교예 1
Permeability (μ′, μ″)
Frequency (GHz)

도면9


실시예 2
실시예 1
Permittivity (ε′, ε″)
Frequency (GHz)
비교예 2
비교예 1
Permittivity (ε′, ε″)
Frequency (GHz)

도면10


Reflection Loss (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26
Frequency (GHz)
실시예 1
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2.0
Reflection Loss (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26
Frequency (GHz)
실시예 2
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2.0