



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0152433
(43) 공개일자 2021년12월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 9/00 (2018.01) C04B 35/26 (2006.01)
H05K 7/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05K 9/0083 (2013.01)
C04B 35/26 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0171980(분할)
(22) 출원일자 2021년12월03일
심사청구일자 2021년12월03일
(62) 원출원 특허 10-2020-0018614
원출원일자 2020년02월14일
심사청구일자 2020년02월14일

(71) 출원인
한양대학교 에리카산학협력단
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김종렬
서울특별시 동대문구 고산자로 534, 108동 1701호(제기동, 한신아파트)
이상의
인천광역시 연수구 해송로 143, 124동 201호(송도동, 송도웰카운티1단지)
민윤경
인천광역시 미추홀구 인하로134번길 17, 204호(용현동)
(74) 대리인
김연권

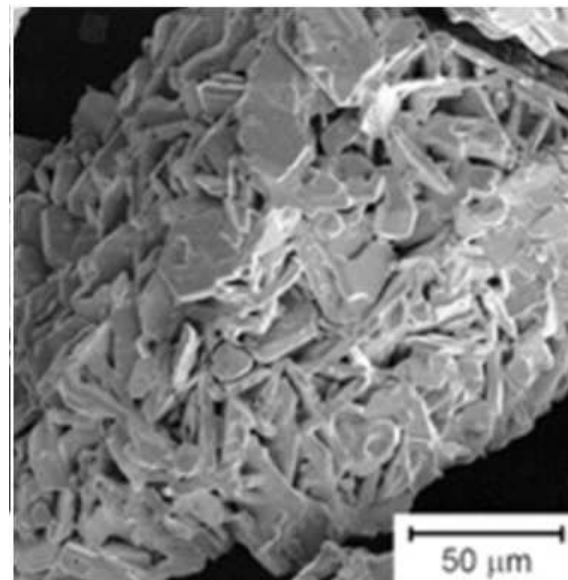
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **몽침이 제어된 헥사페라이트 입자 클러스터를 포함하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재**

(57) 요약

몽침이 제어된 헥사페라이트 입자 클러스터를 포함하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재가 제공된다. 상기 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합 소재는 판상형 헥사페라이트 입자가 몽친 헥사페라이트 입자 클러스터; 및 상기 클러스터가 분산된 폴리머를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H05K 7/20481 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711099086
과제번호	2019M3D1A2104158
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원천기술개발사업 / 미래소재디스커버리사업 / 소재융합혁신기술개발
연구과제명	3D-네트워크 밀리미터파 복합소재 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간	2019.09.27 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

판상형 헥사페라이트 입자가 뭉친 헥사페라이트 입자 클러스터; 및
 상기 클러스터가 분산된 폴리머를 포함하고,
 상기 헥사페라이트의 조성은 $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 이며,
 상기 헥사페라이트 입자는 하소 온도 제어를 통해 뭉침이 제어되고,
 상기 하소 온도는 1,180℃ 이상 1,900℃ 이하이며,
 상기 하소된 헥사페라이트 입자를 용융염 소결하는 공정에서 냉각 속도는 4K/min 이상 5K/min 이하이고,
 상기 클러스터의 평균 입도는 100 μm 이상 500 μm 이하이며,
 상기 클러스터를 포함하는 복합 소재의 열 전도도는 1.0W/mK 내지 1.2W/mK인 것을 특징으로 하는, 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합 소재.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 복합 소재의 유전율(@1.0GHz)은 4.0 이상이고,
 상기 복합 소재의 투자율(@1.0GHz)은 1.6 이상인 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합 소재.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 헥사페라이트 입자 클러스터는 Z-형(Z-type), M-형(M-type) 및 W-형(W-type) 페라이트 중 단일 조성 혹은 둘 이상의 조성을 포함하는 헥사페라이트 입자로 구성된, 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합소재.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 복합 소재는 용융염 소결을 통해 제조되고,
 상기 용융염 소결에 사용되는 염은 염화나트륨(NaCl), 염화칼륨(KCl), 브로민화나트륨(NaBr), 황산나트륨(Na_2SO_4) 또는 이들의 조합을 포함하는 염을 통해 제작된, 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합소재.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 복합 소재는 소결된 페라이트 입자와 상기 폴리머가 혼합 경화되어 형성되되, 상기 소결된 페라이트 입자가 전체 혼합물의 1중량% 이상이 되도록 혼합된 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합 소재.

청구항 6

제1항에 있어서,

금속 입자, 탄소 입자, 세라믹 입자 및 자성 입자 중 하나 이상을 더 포함하는 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합소재.

청구항 7

헥사페라이트 전구체 입자를 하소(calcination)하는 단계; 및

상기 하소된 헥사페라이트 입자를 용융염 소결(molten-salt sintering)하여 헥사페라이트 입자가 뭉친 헥사페라이트 입자 클러스터를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 헥사페라이트 입자의 조성은 $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 이며,

상기 헥사페라이트 입자는 하소 온도 제어를 통해 뭉침이 제어되고,

상기 하소 온도는 1,180℃ 이상 1,900℃이하이며,

상기 소결하는 공정에서 냉각 속도는 4K/min 이상 5K/min 이하이고,

상기 클러스터의 평균 입도는 100 μ m 이상 500 μ m 이하이며,

상기 클러스터를 포함하는 복합 소재의 열 전도도는 1.0W/mK 내지 1.2W/mK인 것을 특징으로 하는 복합 소재의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 페라이트 입자는 Z-형(Z-type), M-형(M-type) 및 W-형(W-type) 중 어느 하나의 단일 헥사페라이트 또는 이들의 조합 헥사페라이트 클러스터를 포함하는 복합 소재의 제조방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 용융염 소결 단계에서 염은 염화나트륨(NaCl), 염화칼륨(KCl), 브로민화나트륨(NaBr), 황산나트륨(Na_2SO_4) 또는 이들의 조합을 포함하는 복합 소재의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 뭉침이 제어된 헥사페라이트 입자 클러스터를 포함하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재에 관한 것이다. 상세하게는, 본 발명은 헥사페라이트 입자의 응집도를 제어하여 헥사페라이트 입자 클러스터를 제조하는 방법, 이를 이용하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재를 제조하는 방법, 및 이를 통해 제조된 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재에 관한 것이다.

배경 기술

[0003]

페라이트(ferrite)는 체심 입방 구조(body centered cubic, bcc)를 갖는 종류의 철을 의미한다. 일반적으로 합금 원소 또는 불순물이 포함된 산화철계 세라믹 소재를 의미하는 것으로 사용된다.

- [0004] 페라이트는 자성을 가지고 있어 자기 테이프, 메모리 소자, 자석, 영구자석 등에 이용되고 있다. 뿐만 아니라 페라이트는 전자파에 대해 투과 손실 특성을 가지고 있다. 이에 페라이트 소재를 이용한 전자파 차폐 물품에 대한 연구가 이루어지고 있다.
- [0005] 한편, 최근 센서 장치, 표시 장치, 휴대 단말기 장치, 정보 처리 장치 등의 전자 기기가 고성능화 및 소형화됨에 따라 그 내부의 전자부품 또한 고집적화되고 있다. 이에 따라 전자부품에서 발생하는 열을 효과적으로 제거할 수 있는 방열 소재 내지는 부품의 개발이 요구되는 실정이다.
- [0006] 그러나 페라이트 소재는 특정 주파수에 대한 전자파 차폐 특성을 갖는다 하더라도 열 전도율 등이 높지 않아 방열 소재로 이용되기에 어려운 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2019-0005585호 (2019.01.16.), "복합 방열 시트의 제조방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 앞서 설명한 것과 같이 페라이트 소재는 특정 주파수에 대한 전자파 차폐 특성을 가지고 있는 반면 열 전도율 향상에 한계가 있다. 특히, 페라이트 입자를 이용하여 전자파 차폐 및/또는 방열 코팅 재료로 구성하기 위해 폴리머에 분산시킬 경우, 페라이트 입자와 폴리머 및/또는 폴리머와 페라이트 입자 간의 열 전달 경로로 인해 열 장벽저항(thermal barrier resistance, TBR)이 존재한다. 이에 따라 페라이트-폴리머 복합 재료의 열 전달 특성이 더욱 저하되는 문제가 있다.
- [0010] 특허문헌 1은 전자파 차단 기능을 가진 복합 방열 시트 및 그 제조 방법에 관한 발명을 개시한다. 특허문헌 1은 전자파를 효율적으로 차단함과 동시에 노이즈 발생을 억제하고 높은 열전도성을 갖는 복합 방열 시트를 제공하는 것을 목적으로 하는 발명이다.
- [0011] 특허문헌 1은 이를 위해 방열 시트로서 그라파이트 시트를 이용하되, 페라이트 물질을 시트와 일체화시키거나, 그라파이트 시트의 일면 이상에 코팅하는 구성을 개시한다. 즉, 종래의 방열 재료로 이용되는 그라파이트 재료를 기초로 하고, 전자파 차폐 특성을 갖는 페라이트 소재를 추가하는 것을 요지로 한다.
- [0012] 그러나 특허문헌 1은 별개의 특성을 갖는 그라파이트 소재와 페라이트 소재를 함께 이용하는 것일 뿐, 페라이트 소재의 열 전도도를 높이는 것에 관한 것이 아닌 차이가 있다. 또한 특허문헌 1에 의할 경우 필연적으로 구성이 복잡해지고 시트가 두꺼워지는 등의 한계가 존재한다.
- [0013] 본 발명의 발명자들은 헥사페라이트에 관한 연구 개발을 지속한 결과, 헥사페라이트 입자의 응집도를 제어하여 전자파 차폐 특성을 유지하면서 방열 특성을 향상시킬 수 있음에 착안하여 본 발명을 완성하기에 이르렀다.
- [0014] 즉, 본 발명의 실시예들의 목적은 헥사페라이트 입자의 응집도를 제어하는 방법을 제공하는 것이다.
- [0015] 또, 본 발명의 실시예들의 목적은 헥사페라이트 입자의 응집도를 제어하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재의 제조 방법을 제공하는 것이다.
- [0016] 본 발명의 실시예들의 목적은 헥사페라이트 입자의 응집도를 제어하여 전자파 차폐 및 방열 특성이 향상된 복합 소재를 제공하는 것이다.
- [0017] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 전자파 차폐 및 방열 특성을 갖는 복합 소재는 판상형 헥사페라이트 입자가 뭉친 헥사페라이트 입자 클러스터; 및 상기 클러스터가 분산된 폴리머를 포함한다.
- [0020] 상기 클러스터의 평균 입도는 $1\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 이하일 수 있다.
- [0021] 상기 복합 소재의 열 전도도는 1.0W/mK 이상일 수 있다.
- [0022] 상기 복합 소재의 유전율($@1.0\text{GHz}$)은 4.0 이상이고, 상기 복합 소재의 투자율($@1.0\text{GHz}$)은 1.6 이상일 수 있다.
- [0023] 상기 헥사페라이트는 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 바륨(Ba), 스트론튬(Sr) 및 라듐(Ra)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1개 이상의 원소를 포함할 수 있다. 다만, 다른 원소가 단독 혹은 함께 포함될 수 있으며, 앞서 언급한 2족 원소에 국한하지는 않는다.
- [0024] 상기 헥사페라이트는 코발트(Co), 아연(Zn) 및 망간(Mn) 중 하나 이상의 원소를 더 포함할 수 있다. 다만, 언급한 금속 원소에 국한하지는 않는다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 하소 온도 제어를 통해 뭉침이 제어된 헥사페라이트 입자 클러스터를 포함하는 복합 소재의 제조 방법은 페라이트 입자를 하소(calcination)하는 단계; 및 상기 하소된 페라이트 입자를 용융염 소결(molten-salt sintering)하는 단계를 포함한다. 다만, 입자 조성에 따라 하소 온도와 소결 온도가 정해질 수 있으며, 이상에서 말한 온도에 국한하지 않는다.
- [0026] 상기 페라이트 입자는 Z-형(Z-type), M-형(M-type) 및 W-형(W-type) 중 어느 하나의 단일 헥사페라이트 또는 이들의 조합 헥사페라이트를 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 페라이트 입자는 Z-형(Z-type)이고, 상기 하소 온도는 $1,000^{\circ}\text{C}$ 이상일 수 있다.
- [0028] 상기 헥사페라이트는 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 바륨(Ba), 스트론튬(Sr) 및 라듐(Ra)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1개 이상의 원소를 포함할 수 있다. 다만, 다른 원소가 단독 혹은 함께 포함될 수 있으며, 앞서 언급한 2족 원소에 국한하지는 않는다.
- [0029] 상기 용융염 소결 단계에서 염은 염화나트륨(NaCl), 염화칼륨(KCl), 브로민화나트륨(NaBr), 황산나트륨(Na_2SO_4) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 다만, 소결 단계에 사용되는 염의 종류에 앞서 언급한 종류에 국한하지는 않는다.
- [0030] 상기 소결은 $1,100^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서 6시간 이상 수행되고, 냉각 속도는 5K/min 이하일 수 있다. 다만, 합성하고자 하는 페라이트 종류에 따라 하소 공정 및 소결 공정이 제어될 수 있다.
- [0031] 상기 소결된 페라이트 입자를 폴리머와 혼합 및 경화하는 단계로서, 상기 소결된 페라이트 입자가 전체 혼합물의 1중량% 이상이 되도록 혼합 및 경화하는 단계를 더 포함할 수 있다. 다만, 이상의 중량비로 제한하지는 않는다.
- [0032] 상기 페라이트 입자 클러스터의 평균 입도는 $1\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 이하이고, 상기 페라이트 입자 클러스터의 페라이트 입자는 서로 직접적으로 맞닿아 접합을 이루고 있을 수 있다.
- [0033] 상기 복합 소재의 열 전도도는 1.0W/mK 이상일 수 있다.
- [0034] 상기 소결된 페라이트 입자를 금속 입자, 탄소 입자, 세라믹 입자 및 자성 입자 중 하나 이상과 혼합하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 페라이트 입자의 뭉침 크기를 제어하는 방법은 소정의 온도에서 수행되는 하소(calcination) 단계 및 소정의 온도에서 수행되는 용융염 소결 단계를 포함하여 페라이트 입자의 뭉침을 제어한다.
- [0036] 기타 실시예의 구체적인 사항들은 상세한 설명에 포함되어 있다.

발명의 효과

- [0038] 본 발명의 실시예들에 따르면 하소(calcination) 공정의 온도와 소결(sintering) 공정의 온도제어를 통해 페라이트 입자의 응집도를 제어할 수 있고, 이를 통해 페라이트 입자를 포함하는 복합 소재의 열 전도도를 향상시킬

수 있다.

[0039] 또, 본 발명의 실시예들에 따르면 전자파 차폐 특성과 방열 특성이 모두 우수한 복합 소재를 제공할 수 있다.

[0040] 본 발명의 실시예들에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 실시예 1에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

도 2는 본 발명의 실시예 2에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

도 3은 본 발명의 실시예 3에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

도 4는 본 발명의 비교예 1에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

도 5는 본 발명의 비교예 2에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

도 6은 본 발명의 비교예 3에 따른 복합 소재의 현미경 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0044] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0045] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0046] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.

[0047] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0048] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.

[0049] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.

[0050] 한편, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되지 않는다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0051] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0052] 본 명세서에서, 용어 '전자파 차폐(shielding)'은 전자파의 반사(reflection), 흡수(absorption) 및 내부 다중

반사(multiple reflection)을 포함하는 의미로 사용된다.

[0053] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0055] 이하, 본 발명에 대하여 상세하게 설명한다.

[0056] 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 소재의 제조 방법은 페라이트 입자를 준비하는 단계, 페라이트 입자를 소정 온도에서 하소(calcination)하는 단계, 및 하소된 페라이트 입자를 용융염 소결하는 단계를 포함한다. 또, 본 발명에 따른 복합 소재의 제조 방법은 페라이트 입자 클러스터와 폴리머를 혼합하는 단계 및/또는 페라이트 입자 클러스터를 금속 입자, 탄소 입자, 세라믹 입자 및 자성 입자 중 하나 이상과 혼합하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0057] 이하, 각 단계에 대하여 설명한다.

[0059] [페라이트 입자를 준비하는 단계]

[0060] 본 명세서에서, 페라이트는 체심 입방 구조를 갖는 산화철을 의미한다. 그 중에서 헥사페라이트는 바륨(Ba) 또는 스트론튬(Sr)을 주원료로 포함하는 페라이트를 의미할 수 있다. 페라이트는 공지된 방법을 통해 준비될 수 있다.

[0061] 예시적인 실시예에서, 페라이트는 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 바륨(Ba), 스트론튬(Sr) 및 라듐(Ra)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1개, 또는 2개, 또는 그 이상의 원소를 포함할 수 있다. 즉, 상기 페라이트는 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 바륨, 스트론튬 및 라듐으로 이루어진 군으로부터 선택된 1개 이상의 원소를 포함할 수 있다. 바람직하게는 일 실시예에 따른 페라이트는 바륨 및 스트론튬을 포함할 수 있다. 이 경우 페라이트는 베릴륨, 마그네슘, 칼슘 및 라듐을 불포함할 수 있으나 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0062] 또, 페라이트는 코발트(Co), 아연(Zn) 및 망간(Mn) 중 하나 이상의 원소를 더 포함할 수 있다. 바람직하게는, 일 실시예에 따른 페라이트는 코발트 원소를 더 포함할 수 있다. 이 경우 바륨과 코발트, 또는 스트론튬과 코발트의 양론비는 각각 약 1.5:2.0일 수 있으나 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0063] 몇몇 실시예에서, 본 발명에 따른 페라이트는 Z-형(Z-type), M-형(M-type) 및 W-형(W-type) 중 어느 하나의 단일 헥사페라이트 또는 이들의 조합 헥사페라이트를 포함할 수 있다. 또, 페라이트 입자는 판상 구조를 가질 수 있다.

[0064] 페라이트 입자를 준비한 후 밀링하는 단계, 분쇄하는 단계, 및 체질하는 단계 등을 더 수행할 수도 있다.

[0066] [페라이트 입자를 하소하는 단계]

[0067] 본 단계는 페라이트 입자의 응집도를 제어하는 단계일 수 있다. 즉, 본 발명의 발명자들은 후술할 용융염 소결 전에 수행되는 하소 가열 조건의 변경을 통해 페라이트 입자의 뭉침을 제어할 수 있음을 확인하고 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

[0068] 본 명세서에서, 하소(calcination)은 열을 가해 대상 물질을 탈수하거나, 분해하거나, 특정 성분을 분리하거나, 휘발시키는 등의 작용을 하는 열 처리를 의미한다.

[0069] 예시적인 실시예에서, 하소 온도는 약 1,000℃ 이상, 또는 약 1,010℃ 이상, 또는 약 1,020℃ 이상, 또는 약 1,030℃ 이상, 또는 약 1,040℃ 이상, 또는 약 1,050℃ 이상, 또는 약 1,060℃ 이상, 또는 약 1,080℃ 이상, 또는 약 1,100℃ 이상, 또는 약 1,120℃ 이상, 또는 약 1,140℃ 이상, 또는 약 1,160℃ 이상, 또는 약 1,180℃ 이상일 수 있다. 하소 온도가 상기 범위 이하로 낮을 경우 페라이트 입자의 뭉침이 충분히 수행되지 않을 수 있다. 즉, 하소 온도는 제조될 헥사페라이트 입자의 크기 내지는 헥사페라이트 입자 클러스터의 크기에 영향을 미

칠 수 있다.

[0070] 하소 온도의 상한은 특별히 제한되지 않으며, 헥사페라이트 입자 조성에 반응이 일어나지 않을 수 있으면 무방하다. 예를 들어, 하소 온도의 상한은 약 2,000℃, 또는 약 1,900℃, 또는 약 1,800℃, 또는 약 1,700℃, 또는 약 1,600℃, 또는 약 1,500℃, 또는 약 1,400℃, 또는 약 1,300℃일 수 있다.

[0071] 몇몇 실시예에서, 원하는 조작이 충분히 이루어질 수 있도록 충분한 시간 동안 하소 공정을 수행하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 하소 시간은 약 3시간 이상 10시간 이하, 또는 약 4시간 이상 9시간 이하, 또는 약 5시간 이상 8시간 이하의 시간 동안 수행될 수 있다.

[0073] [페라이트 입자를 용융염 소결(molten-salt sintering)하는 단계]

[0074] 본 단계는 페라이트 입자의 세장비(slenderness ratio)를 제어하고 페라이트 입자의 뭉침이 본격적으로 수행되는 단계일 수 있다. 즉, 본 발명의 발명자들은 용융염 소결 공정 전에 수행되는 하소 가열 온도 등에 따라 용융염 소결 공정의 결과물에 차이가 발생하는 것을 확인하고 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

[0075] 용융염 소결을 수행하는 단계는 하소된 페라이트 입자를 염과 혼합하는 단계 및 소결시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 소결은 공기 중에서 수행될 수 있다.

[0076] 상기 하소된 페라이트 입자를 염과 혼합하는 단계에서, 용융염 소결에 사용되는 염은 나트륨염을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 염은 염화나트륨(NaCl), 염화칼륨(KCl), 브로민화나트륨(NaBr), 황산나트륨(Na₂SO₄) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0077] 또, 페라이트 입자와 상기 염은 약 0.8:1.2 내지 1.2:0.8, 또는 약 0.9:1.1 내지 1.1:0.9 또는 약 1.0:1.0의 중량비로 혼합될 수 있다.

[0078] 또, 소결하는 단계에서 소결 온도는 약 1,000℃ 이상, 또는 약 1,050℃ 이상, 또는 약 1,100℃ 이상, 또는 약 1,150℃ 이상일 수 있다. 소결 온도가 상기 범위보다 낮을 경우 완전한 소결이 이루어지지 않을 수 있다. 소결 온도의 상한은 페라이트 입자의 녹는점 보다 같거나 낮으면 특별히 제한되지 않으며, 페라이트 입자의 조성에 따라 적절하게 조절될 수 있다. 예를 들어, 소결 온도의 상한은 약 1,350℃, 또는 약 1,300℃, 또는 약 1,250℃, 또는 약 1,200℃일 수 있다.

[0079] 몇몇 실시예에서, 상기 소결 공정에 있어서 가열로(furnace)의 가열 속도(승온 속도, heating rate)와 냉각 속도(cooling rate)는 약 5K/min 이하, 또는 약 4K/min 이하, 또는 약 3K/min 이하일 수 있다. 특히 냉각 속도가 너무 빠를 경우 완전한 소결이 이루어지지 않고 입자 내지는 입자 클러스터의 성장이 저해되어 세정비가 양호하지 않을 수 있다.

[0081] [페라이트 입자 클러스터와 폴리머를 혼합하는 단계]

[0082] 본 발명에 따라 응집도가 제어된 헥사페라이트 입자 클러스터는 폴리머 매트릭스 내에 분산되어 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 이룰 수 있다. 상기 폴리머는 헥사페라이트의 분산이 용이하고 도포가 용이한 재료이면 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어 실록산계 폴리머일 수 있다. 실록산계 폴리머의 구체적인 예로는 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)을 들 수 있으나 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.

[0083] 소결된 페라이트 입자(또는 그 클러스터)와 폴리머 간의 혼합 중량비는 약 0.7:1.3 내지 1.3:0.7, 또는 약 0.8:1.2 내지 1.2:0.8, 또는 약 0.9:1.1 내지 1.1:0.9, 또는 약 1.0:1.0일 수 있다. 다만, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니며, 소결된 페라이트 입자와 폴리머 간의 혼합비는 의도하는 열 전도도를 고려하여 변경될 수도 있다. 예를 들어, 페라이트 입자는 페라이트 입자와 폴리머의 전체 혼합물에 대해 약 1 중량% 이상, 또는 약 3 중량% 이상, 또는 약 5 중량% 이상 포함되도록 혼합될 수도 있다.

[0084] 본 실시예에 따라 준비된 헥사페라이트-폴리머 혼합물은 도포 및 경화되어 필름 내지는 시트 형상의 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 형성할 수 있다. 다만, 본 발명이 이에 제한되지 않음은 물론이다.

[0086] [기능성 입자를 추가하는 단계]

[0087] 상기 기능성 입자의 예로는 금속 입자, 탄소 입자, 세라믹 입자 및 자성 입자 등을 들 수 있다. 기능성 입자와 페라이트 입자를 혼합하는 단계는 폴리머 용액 혼합 단계 보다 먼저 수행되거나, 폴리머 용액 혼합 단계와 동시에 수행되거나, 폴리머 용액 혼합 단계 보다 후에 수행될 수 있다.

[0088] 상기 기능성 입자는 헥사페라이트-폴리머 복합 소재의 전자와 차폐율 및/또는 방열 특성을 보다 개선하거나, 강도와 강성 등을 보강할 수 있다. 이를 위한 기능성 입자는 공지의 물질을 이용할 수 있는 바 구체적인 설명은 생략한다.

[0090] [헥사페라이트-폴리머 복합 소재]

[0091] 진술한 과정을 통해 준비된 헥사페라이트-폴리머 복합 소재는 응집된 헥사페라이트 입자 클러스터를 포함할 수 있다. 상기 입자 클러스터의 평균 입도는 약 $1\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $5\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $10\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $50\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $100\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $150\mu\text{m}$ 이상, 또는 약 $200\mu\text{m}$ 이상일 수 있다. 입자 클러스터의 평균 입도가 클수록 열 전달 효율이 증가하고 병열 소재로서의 기능이 향상될 수 있다. 즉, $1\mu\text{m}$ 내지 $20\mu\text{m}$ 수준의 크기를 갖는 판상의 헥사페라이트 입자가 뭉쳐서 적어도 $10\mu\text{m}$ 이상 수준의 입도를 갖는 클러스터를 형성함에 따라 유의미한 수준의 열 전도도 개선이 이루어질 수 있다.

[0092] 본 발명이 어떠한 이론에 국한되는 것은 아니나, 헥사페라이트 입자가 직접 맞닿아 접촉, 또는 직접 맞닿아 접합되어 입자 간의 열 전달 효율이 증가하고 복합 소재 전체로서의 방열 특성이 개선될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 발명자들은 일 실시예에 따른 복합 소재의 열 전도도가 약 1.0W/mK 이상임을 확인하였다.

[0093] 또, 상기 입자 클러스터의 평균 입도는 약 $1,000\mu\text{m}$ 이하, 또는 약 $900\mu\text{m}$ 이하, 또는 약 $800\mu\text{m}$ 이하, 또는 약 $500\mu\text{m}$ 이하, 또는 약 $100\mu\text{m}$ 이하, 또는 약 $50\mu\text{m}$ 이하일 수 있다. 입자 클러스터의 평균 입도가 지나치게 클 경우 폴리머 매트릭스와의 분산성이 저하될 수 있어 바람직하지 않을 수 있다.

[0094] 뿐만 아니라 페라이트, 특히 헥사페라이트가 갖는 고유의 전자와 차폐 특성을 나타낼 수 있어 방열 특성과 전자와 차폐 특성이 동시에 우수한 복합 소재로서 기능할 수 있다.

[0095] 일 실시예에 따른 복합 소재는 1.0GHz 하에서 유전율이 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상, 또는 약 3.5 이상, 또는 약 3.6 이상, 또는 약 3.7 이상, 또는 약 3.8 이상, 또는 약 3.9 이상, 또는 약 4.0 이상, 또는 약 4.1 이상, 또는 약 4.2 이상, 또는 약 4.3 이상, 또는 약 4.4 이상, 또는 약 4.5 이상으로 우수한 유전율 특성을 가질 수 있다.

[0096] 또, 일 실시예에 따른 복합 소재는 1.0GHz 하에서 투자율이 약 1.2 이상, 또는 약 1.4 이상, 또는 약 1.6 이상, 또는 약 1.8 이상, 또는 약 2.0 이상으로 우수한 투자율 특성을 가질 수 있다.

[0098] 이하, 본 발명의 실시예와 제조예를 참조하여 본 발명에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0100] [실시예 1: 응집된 페라이트 클러스터 제조 1]

[0101] 실시예 1-1: 페라이트 입자(분말)의 제조

[0102] 탄산바륨(BaCO_3)(99.98%), 탄산스트론튬(SrCO_3)(99.9%), 탄산칼슘(CaCO_3)(99%up), 산화코발트(Co_3O_4)(99.7%), 및 산화철(Fe_2O_3)(99.9%) 분말을 준비하였다. 그리고 이들의 고상 반응(solid state reaction)으로부터 입자상의 헥사페라이트를 제조하였다. 페라이트의 조성은 $\text{Ba}_{1.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ($\text{Ba}_{1.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Z}$)로 표현될 수 있다.

[0104] 실시예 1-2: 하소된 페라이트 입자의 제조

[0105] 그리고 이들 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼-밀링(ball-milling)하였다. 구체적으로, 준비된 헥사페라이트 입자를 폴리프로필렌 용기에 넣고 에탄올과 함께 지르코니아 볼을 이용하여 24시간 동안 밀링하여 슬러리를 준비하였다.

[0106] 그 다음 건조된 슬러리를 분쇄하고(crush) 체질(sieve)한 다음, 1,180℃에서 하소(calcined)하였다.

[0108] **실시예 1-3: 용융염 소결된 페라이트 입자의 제조**

[0109] 하소된 분말을 염화나트륨(NaCl)과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시켰다. 그리고 압축된 디스크 샘플을 공기 중에서 1,100℃에서 6시간 동안 소결시켰다.

[0110] 소결 공정에 있어서 가열 속도와 냉각 속도는 4K/min 상태를 유지하였다. 그리고 가열로(furnace)의 온도는 프로세싱 온도 제어링(processing temperature control ring, PTCR)을 이용하여 측정 및 보정되었다.

[0111] 그 다음 소결 디스크 샘플을 분쇄하고, 그 혼합물을 증류수(distilled water)로 세척하여 염(salts)이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0113] **실시예 1-4: 폴리머 복합화된 복합 소재의 제조**

[0114] 용융염 소결을 통해 수득한 헥사페라이트 분말을 준비하고, 이 분말을 폴리머 매트릭스에 분산시켰다. 폴리머는 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)를 사용하였다. 폴리디메틸실록산은 다우 코닝(DOW Corning)사의 Sylgard 184 제품을 이용하였다.

[0115] 구체적으로, 헥사페라이트 분말과 폴리디메틸실록산을 혼합하고 탈포 혼합기(planetary mixer)를 이용하여 3분 동안 혼합하였다. 교반 속도는 1,300rpm으로 하였다. 또, 헥사페라이트 분말과 폴리디메틸실록산 폴리머의 혼합 중량비는 1:1이었다.

[0116] 그 다음 헥사페라이트 분말과 폴리디메틸실록산의 혼합물을 테프론 필름(Teflon film)에 붓고, 130℃에서 30분 동안 핫 프레싱(hot pressing) 경화하여 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0118] **[실시예 2: 응집된 페라이트 클러스터 제조 2]**

[0119] 상기 실시예 1-3에서 페라이트의 소결 온도를 1,150℃로 변경한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0120] 구체적으로, $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 로 표현되는 페라이트를 제조하였다. 그리고 이 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼 밀링하고 슬러리를 분쇄 및 체질한 다음 1,180℃에서 하소하였다.

[0121] 그리고 하소된 분말을 염화나트륨과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시킨 후 이 디스크 샘플을 공기 중에서 1,150℃에서 6시간 동안 소결시켰다. 소결 조건은 실시예 1-3과 동일하였다. 이 후 소결 디스크 샘플을 분쇄하고 그 혼합물을 증류수로 세척하여 염이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0122] 그 다음 헥사페라이트 분말을 폴리디메틸실록산과 1:1의 중량비로 혼합 및 교반하고 테프론 필름 상에서 경화시켜 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다. 경화 조건은 실시예 1-4와 동일하였다.

[0124] **[실시예 3: 응집된 페라이트 클러스터 제조 3]**

[0125] 상기 실시예 1-3에서 페라이트의 소결 온도를 1,200℃로 변경한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0126] 구체적으로, $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 로 표현되는 페라이트를 제조하였다. 그리고 이 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼 밀링하고 슬러리를 분쇄 및 체질한 다음 1,180℃에서 하소하였다.

[0127] 그리고 하소된 분말을 염화나트륨과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시킨 후 이 디스크 샘플을 공기 중에서 1,200℃에서 6시간 동안 소결시켰다. 이 후 소결 디스크 샘플을 분쇄하고 그 혼합물을 증류수로 세척하여 염이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0128] 그 다음 헥사페라이트 분말을 폴리디메틸실록산과 1:1의 중량비로 혼합 및 교반하고 테프론 필름 상에서 경화시켜 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다. 경화 조건은 실시예 1-4와 동일하였다.

[0130] [비교예 1]

[0131] 상기 실시예 1-2에서 페라이트 입자의 하소 온도를 1,040℃로 변경한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0132] 구체적으로, $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 로 표현되는 페라이트를 제조하였다. 그리고 이 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼 밀링하고 슬러리를 분쇄 및 체질한 다음 1,040℃에서 하소하였다.

[0133] 그리고 하소된 분말을 염화나트륨과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시킨 후 이 디스크 샘플을 공기 중에서 1,100℃에서 6시간 동안 소결시켰다. 소결 조건은 실시예 1-3과 동일하였다. 이 후 소결 디스크 샘플을 분쇄하고 그 혼합물을 증류수로 세척하여 염이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0134] 그 다음 헥사페라이트 분말을 폴리디메틸실록산과 1:1의 중량비로 혼합 및 교반하고 테프론 필름 상에서 경화시켜 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다. 경화 조건은 실시예 1-4와 동일하였다.

[0136] [비교예 2]

[0137] 상기 비교예 1에서 페라이트의 소결 온도를 1,150℃로 변경한 것을 제외하고는 비교예 1과 동일한 방법으로 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0138] 구체적으로, $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 로 표현되는 페라이트를 제조하였다. 그리고 이 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼 밀링하고 슬러리를 분쇄 및 체질한 다음 1,040℃에서 하소하였다.

[0139] 그리고 하소된 분말을 염화나트륨과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시킨 후 이 디스크 샘플을 공기 중에서 1,150℃에서 6시간 동안 소결시켰다. 소결 조건은 비교예 1과 동일하였다. 이 후 소결 디스크 샘플을 분쇄하고 그 혼합물을 증류수로 세척하여 염이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0140] 그 다음 헥사페라이트 분말을 폴리디메틸실록산과 1:1의 중량비로 혼합 및 교반하고 테프론 필름 상에서 경화시켜 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다. 경화 조건은 비교예 1과 동일하였다.

[0142] [비교예 3]

[0143] 상기 비교예 1에서 페라이트의 소결 온도를 1,200℃로 변경한 것을 제외하고는 비교예 1과 동일한 방법으로 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다.

[0144] 구체적으로, $Ba_{1.5}Sr_{1.5}Co_2Fe_{24}O_{41}(Ba_{1.5}Sr_{1.5}Z)$ 로 표현되는 페라이트를 제조하였다. 그리고 이 분말의 화학 양론적 혼합물을 볼 밀링하고 슬러리를 분쇄 및 체질한 다음 1,040℃에서 하소하였다.

[0145] 그리고 하소된 분말을 염화나트륨과 1:1의 중량비로 혼합하고 디스크로 압축시킨 후 이 디스크 샘플을 공기 중에서 1,200℃에서 6시간 동안 소결시켰다. 소결 조건은 비교예 1과 동일하였다. 이 후 소결 디스크 샘플을 분쇄하고 그 혼합물을 증류수로 세척하여 염이 제거된 헥사페라이트 분말을 수득하였다.

[0146] 그 다음 헥사페라이트 분말을 폴리디메틸실록산과 1:1의 중량비로 혼합 및 교반하고 테프론 필름 상에서 경화시켜 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 제조하였다. 경화 조건은 비교예 1과 동일하였다.

[0148] 상기 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 3에서 사용한 하소 온도와 소결 온도를 하기 표 1에 정리하였다.

표 1

	하소 온도 (℃)	소결 온도 (℃)
실시예 1	1,180	1,100
실시예 2	1,180	1,150
실시예 3	1,180	1,200

비교예 1	1,040	1,100
비교예 2	1,040	1,150
비교예 3	1,040	1,200

[0150] **[실험예 1: 입자의 뭉침 관찰]**

[0151] 상기 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 3에 따라 준비된 헥사페라이트-폴리머 복합 소재를 현미경으로 촬영하고, 그 결과를 각각 도 1 내지 도 6에 나타내었다.

[0152] 도 1 내지 도 6을 참조하면, 실시예 1 내지 실시예 3에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재에서 헥사페라이트 입자는 응집된 것이 확인되는 반면, 비교예 1 내지 비교예 3에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재에서 헥사페라이트 입자는 실질적으로 응집되지 않은 것을 확인할 수 있다. 즉, 실시예들과 같이 상대적으로 고온에서 하소된 헥사페라이트는 입자 간 뭉침이 제어되어 클러스터를 형성하는 반면, 비교예들과 같이 상대적으로 저온에서 하소된 헥사페라이트는 뭉침이 거의 이뤄지지 않은 것을 알 수 있다.

[0153] 실시예 1에 따른 헥사페라이트 입자 클러스터의 평균 입도는 약 $100\mu\text{m}$ 이고, 비교예 1에 따른 헥사페라이트 입자의 평균 입도는 약 $20\mu\text{m}$ 였다. 뿐만 아니라 실시예들의 경우 비교예들에 비해 우수한 세장비(slenderness ratio)를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0154] 즉, 하소 온도 조건의 변경에 따라 헥사페라이트 입자의 응집을 제어하고 클러스터를 형성할 수 있음을 알 수 있다.

[0156] **[실험예 2: 열 전도도 측정]**

[0157] 상기 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 3에 따라 준비된 헥사페라이트-폴리머 복합 소재의 열전도도를 측정하였다. 그리고 그 결과를 하기 표 2에 나타내었다.

[0158] 복합 소재의 열전도도(λ)는 Laser-Flash 법 (LFA-447, Netzch, Germany)을 이용하여 상온 (25°C)에서 열확산도(α)를 측정한 후, 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

[0159]
$$\lambda = a \times C_p \times \rho$$

[0160] 여기서, a (mm^2/s), C_p (J/gK), ρ (g/cm^3)는 각각 열확산도, 비열용량, 그리고, 밀도를 의미한다. 시료의 비열은 DSC (DSC-200F3, Netzch, Germany)를 사용하여 상온 (25°C)에서 측정하였다. 시편의 형상은 지름 25.4 mm 와 두께 1 mm 의 크기로 재단/가공을 통해 구현하였다. 밀도는 이상의 형상에서 얻은 부피와 측정한 질량으로부터 구하였다.

[0162] **[실험예 3: 유전율 측정]**

[0163] 상기 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 3에 따라 준비된 헥사페라이트-폴리머 복합 소재의 유전율을 측정하였다. 그리고 그 결과를 하기 표 2에 나타내었다.

[0164] 복합 소재의 유전율은 임피던스 분석기 E4991A (Keysight)와 유전재료측정장치 (dielectric material test fixture) 16453A (Keysight)를 사용하여 1.0 GHz 에서 측정하였다. 복합재료 형상은 직경과 두께가 각각 17.5 mm 및 1.0 mm 로 가공되었다.

[0166] **[실험예 4: 투자율 측정]**

[0167] 상기 실시예 1 내지 실시예 3 및 비교예 1 내지 비교예 3에 따라 준비된 헥사페라이트-폴리머 복합 소재의 투자율을 측정하였다. 그리고 그 결과를 하기 표 2에 나타내었다.

[0168] 복합 소재의 투자율은 임피던스 분석기 E4991A (Keysight)와 자성재료측정장치 (magnetic material test fixture) 16454A (Keysight)를 사용하여 1 GHz 에서 측정하였다. 복합재료 형상은 내부 및 외부 직경은 각각 10.0 및 17.5 mm , 두께는 1 mm 로 가공되었다.

표 2

	열 전도도 (W/mK)	유전율 (@1.0GHz)	투자율 (@1.0GHz)
실시예 1	1.0	4.6	1.8
실시예 2	1.1	4.0	1.6
실시예 3	1.2	4.2	1.7
비교예 1	0.6	4.8	1.9
비교예 2	0.5	4.1	1.6
비교예 3	0.7	4.5	1.5

[0170]

상기 표 2를 참조하면, 실시예들에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재는 비교예들에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재와 동등한 수준의 유전율을 나타냄을 확인할 수 있다.

[0172]

반면, 실시예들에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재는 비교예들에 따른 헥사페라이트-폴리머 복합 소재에 비해 약 1.6배 수준으로 높은 열 전도도를 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시예의 경우 헥사페라이트 입자 클러스터가 형성되어 상대적으로 큰 입도를 나타내고, 이에 따라 헥사페라이트 입자와 헥사페라이트 입자 간의 열 전달 효율이 높아지기 때문일 수 있다. 다만, 본 발명이 어떠한 이론에 국한되는 것은 아니다.

[0173]

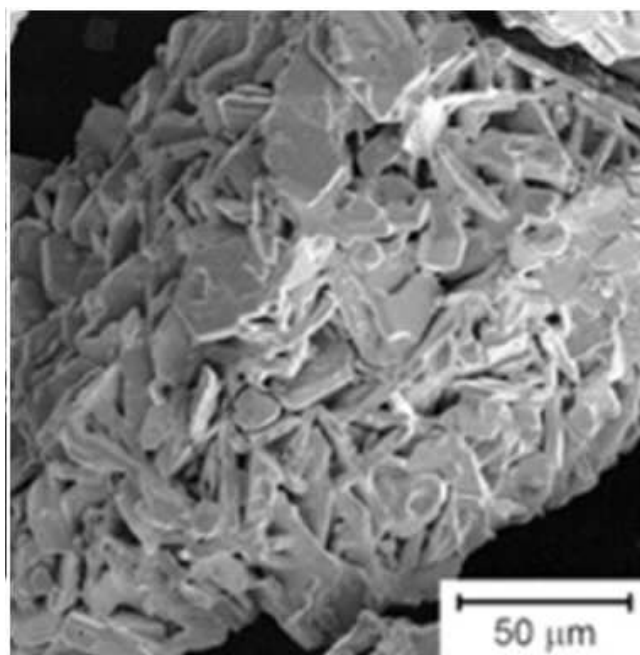
즉, 복합 소재의 폴리머 내에 분산된 헥사페라이트의 입도 크기에 따라 유전율과 투자율 특성의 실질적 저하를 유발하지 않으면서, 열 전도도를 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0175]

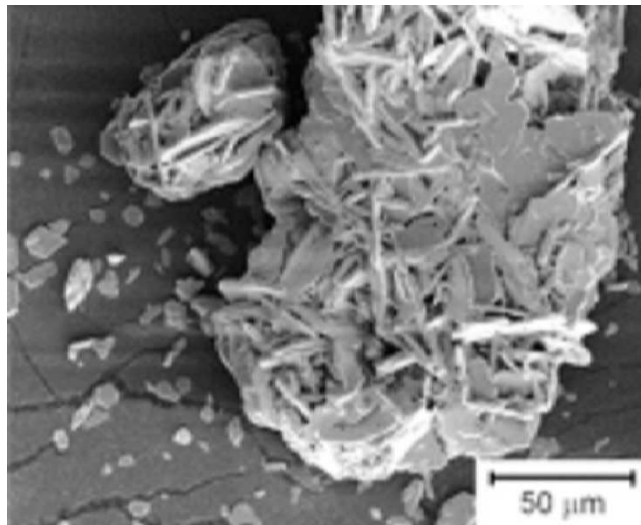
한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면

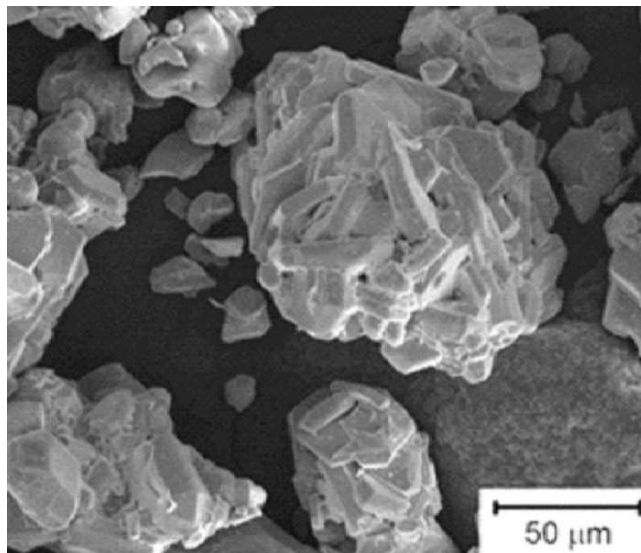
도면1



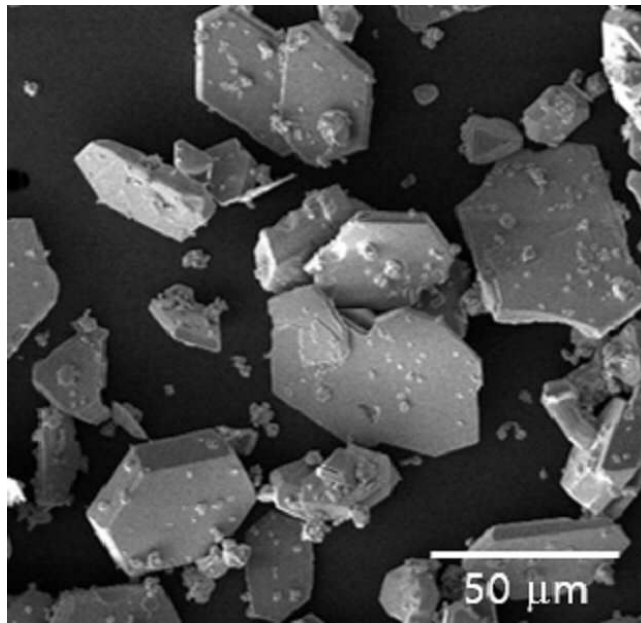
도면2



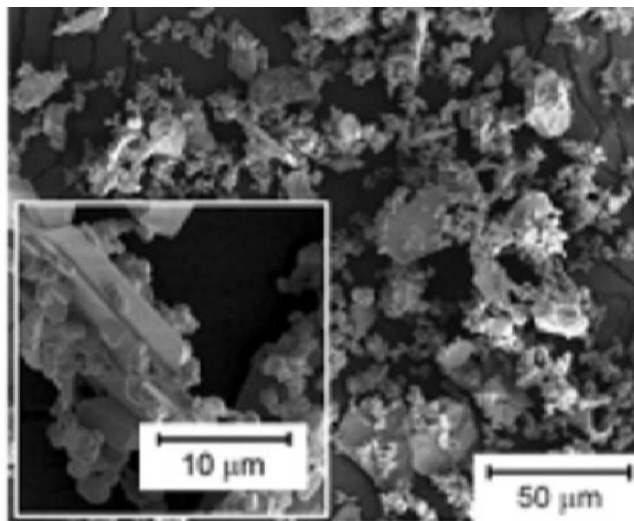
도면3



도면4



도면5



도면6

