(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0000345
(43) 공개일자 2024년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08J 5/18 (2006.01) *C08K 3/38* (2006.01)
C08K 9/00 (2006.01) *C08K 9/06* (2006.01)
C08L 101/00 (2006.01) *C08L 27/14* (2006.01)
C08L 27/16 (2006.01) *C08L 27/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08J 5/18 (2021.05)
C08K 3/38 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0162808
(22) 출원일자 2022년11월29일
심사청구일자 2022년11월29일
(30) 우선권주장
1020220076814 2022년06월23일 대한민국(KR)

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
이상의
인천광역시 연수구 해송로 143 (송도동, 송도웰카운티1단지) 124동 201호
민윤경
인천광역시 미추홀구 인하로134번길 17 (용현동) 204호
정연화
경상남도 창녕군 창녕읍 낙영2길 19 (대동상아) c동 402호
(74) 대리인
이은철, 이수찬

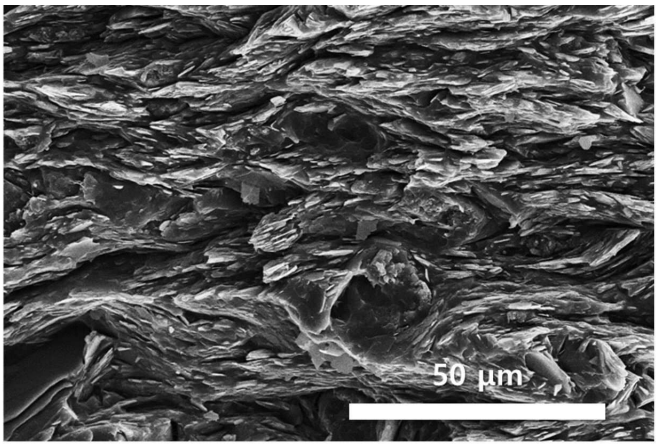
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **형상 이방성을 가진 무기입자와 플루오린계 고분자 입자를 포함하는 저유전 방열 복합소재 필름**

(57) 요 약

본 발명은 형상 이방성을 가진 무기입자와 플루오린계 고분자 입자를 포함하는 저유전 방열 복합소재 필름에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 저유전 물성을 가진 플루오린계 고분자 입자와 고열전도성을 가진 형상 이방성을 가진 무기입자를 통해, 18GHz 이상의 고주파수 대역에서 4 이하의 유전율과 0.03 이하의 유전 손실을 가지며, 필름의 열전도도가 0.23W/mK 이상인 저유전 방열 복합소재 필름에 관한 것이다. 본 발명의 한 구현예는, 형상 이방성을 가진 무기입자, 플루오린계 입자 및 폴리머 수지를 포함하는 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름을 제공한다.

대 표 도 - 도5



육방정계 질화붕소 40부피%, PTFE 10부피%, PDMS 50부피%

(52) CPC특허분류
C08K 9/00 (2013.01)
C08K 9/06 (2013.01)
C08L 101/00 (2013.01)
C08L 27/14 (2013.01)
C08L 27/16 (2013.01)
C08L 27/18 (2013.01)
C08K 2201/005 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156121
과제번호	2019M3D1A2104158
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노소재기술개발
연구과제명	3D-네트워크 밀리미터파 복합소재 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한양대학교(ERICA캠퍼스)
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

형상 이방성을 가진 무기입자, 플루오린계 입자 및 폴리머 수지를 포함하는 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 저유전 방열 복합소재 필름 100 부피비 대비 상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 20 내지 40 부피비, 플루오린계 입자는 10 내지 40 부피비, 폴리머 수지는 20 내지 70 부피비를 포함하는 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 형상 이방성을 가진 무기입자의 평균 크기는 1 내지 10㎛인 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 판상형태, 다공성 구조 또는 가운데가 비어 있는 코어-쉘(core-shell) 형상을 가지며, 질화 붕소, 질화 알루미늄, 알루미늄 산화물 및 실리콘 카바이드로 이루어진 군에서 선택된 1종인 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 플루오린계 입자는 다공성 구조 또는 가운데가 비어 있는 코어 쉘(core-shell) 형상으로, 평균 크기는 1 내지 35㎛이며, 폴리머 수지 내에 포함되는 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 플루오린계 입자는 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene), 폴리불화비닐리덴(polyvinylidene fluoride), 불화비닐수지(polyvinyl fluoride) 및 퍼플루오로알콕시 알칸(perfluoroalkoxy alkane) 입자로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 폴리머 수지는 열경화 수지 또는 열가소성 수지인 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 저유전 방열 복합소재 필름은,

(1) 18GHz 이상의 주파수에서 유전율이 3.1 이하, 유전손실이 0.01 이하이고, (2) 두께 방향의 열전도도가

0.5W/mK 이상인 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 폴리머 수지와 물리적 또는 화학적 결합이 가능하도록 표면처리가 된 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 형상 이방성을 가진 무기입자와 플루오린계 고분자 입자를 포함하는 저유전 방열 복합소재 필름에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 저유전 물성을 가진 플루오린계 고분자 입자와 고열전도성을 가진 형상 이방성을 가진 무기입자를 통해, 18GHz 이상의 고주파수 대역에서 4 이하의 유전율과 0.03 이하의 유전 손실을 가지며 필름의 열전도도가 0.23W/mK 이상인 저유전 방열 복합소재 필름에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근래 4차산업 혁명과 더불어 전기전자 부품의 처리 용량과 속도가 급격히 증가하며 차세대 전자통신 기술인 5G, 6G 통신 환경이 도래하였다. 이러한 5G, 6G 통신기술에 사용되는 주파수인 밀리미터파 (millimeter wave, mmWave)는 약 30GHz~300GHz 대역에 해당하는 주파수를 가진다. 현재 사용되고 있는 3G, 4G 이동통신 주파수보다 넓은 스펙트럼을 할당하여 사용하여 배터리 수명, 높은 비트 전송률, Wi-Fi 및 셀룰러 스펙트럼에서의 동시 사용자 허용량 등에서 장점을 갖는다. 하지만, 방대한 양의 데이터 통신으로 인하여 부품의 발열량과 전자파 간섭이 더욱 심해질 것으로 예상된다. 또한, 1~10mm 파장의 크기를 가지는 밀리미터파는 짧은 파장의 크기로 인하여 장애물 주변에서의 회절성이 좋지 않으며, 강력한 경로 손실, 대기 및 비 흡수와 같은 이슈가 있다. 이에 밀리미터파 디바이스를 위한 방열 복합재료는 초고주파 대역에서 낮은 유전 물성이 요구된다. 낮은 유전율은 신호의 지연시간을 단축하고 장치를 소형화 할 수 있다. 현재 핸드폰과 같은 IT기기의 방열은 현재 Graphite sheet와 같은 고유전 전도성 재료의 방열 시트를 사용하고 있는데, 5G, 6G 통신환경의 도래에 따라 저유전, 고방열 재료를 이용한 방열 시트의 필요성이 대두되어 수많은 저유전 고방열 고분자 복합재료 연구가 수행되고 있다. 고분자 복합재료의 기재로 사용되는 폴리머의 열전도도는 대체로 약 0.1~0.5W/mK 낮은 수준으로, 열전도도를 높이기 위하여 높은 열전도도를 갖는 방열 입자가 필요하다. 방열 입자로는 질화 붕소 (Boron nitride, BN), 질화 알루미늄 (Aluminum nitride, AlN), 알루미늄 산화물, 실리콘 카바이드와 같은 무기입자가 사용되고 있다. 또한 저유전 복합재료 제조를 위하여 기재로는 폴리테트라플루오로에틸렌 (Polytetrafluoroethylene, PTFE), 폴리이미드 (polyimide, PI)와 같은 저유전 폴리머가 기재로 사용되고 있다.

[0003] 저유전, 고방열 복합재료가 요구되는 디바이스 분야에는 자율주행자동차, IT device 등이 있다. 이 중 자율주행자동차는 통신기술과 인공지능 기술의 발달로 상용화를 앞두고 있다. 자율주행자동차는 도로 환경을 인식하여, 도로 위 방해물을 피하여 출발지부터 도착지까지 안전하게 주행하여야 한다. 자율주행 자동차의 도로 환경 인식 센서는 카메라, Lidar, Radar 가 있으며, Lidar와 Radar는 방해물과의 거리 측정에 사용된다. Radar는 밀리미터파 무선 신호를 방출하고 반사된 주파수의 편이를 계산하여 물체의 유무 및 위치를 감지한다. Radar는 다양한 기상조건에서 사용할 수 있어 자율주행 관련 연구에서 사용되고 있다. 이러한 Radar 기판의 유전율이 낮으면 감도가 높아져 송신기가 더 작은 신호를 감지하여 송신기의 감도를 향상시킬 수 있다. 일반 프리프레그 소재에서 특정 저손실 소재로 기판을 변경하여 전자기 시뮬레이션을 통하여 반사 손실을 계산한 결과 성능이 향상된 연구가 보고된 바 있다. IT devices에는 고속 및 고성능을 위한 고전력 마이크로 전자 패키징 장치 및 5G 안테나와 같은 통신장치들이 사용되고 있으며, 열 관리 시스템은 방대한 통신량의 정확성과 더불어 시스템의 성능 및 수명에 영향을 미치므로 방열에 대한 요구가 있다. 현재 3.5GHz에서 사용하고 있는 IT 기기 내부의 전자파 차폐, 흡수 및 방열 구조는 높은 열전도도를 가지고 있는 기존의 방열 재료인 금속, 탄소, Graphite sheet와 같은 재료들을 사용하고 있다. 이러한 기존 방열 재료들은 전기전도도 및 유전율이 높아 신호 손실 및 안테나의 신호 왜곡을 발생시킬 수 있는 문제점을 가진다.

[0004] 기존의 복합재료는 방열 특성과 저유전 특성을 동시에 만족하는 복합재료가 아닌 한 가지 특성을 고성능화 하는 것에 목적을 가지며, 두 가지 성능을 동시에 만족하는 복합재료는 저유전 특성이 10GHz 주파수에 머무르고, 유전 손실을 고려하지 않아 방열 특성과 저유전 특성 융합에 어려움이 있다.

[0005] 또한, 방열 성능을 위한 이방성 특성을 가진 방열 입자를 포함하는 경우 필름의 면 방향으로 배향되고, 이는 필름의 두께 방향으로의 열 네트워크 형성에 한계를 갖는 문제점이 있다.

[0006] 이러한 문제점을 해결하기 위해 밀리미터파 대역에서 저유전 물성을 갖는 저유전 고방열 복합재료에 관한 개발이 요구되는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2020-0119741호

(특허문헌 0002) 등록특허공보 제10-0721487호

(특허문헌 0003) 등록특허공보 제10-2374543호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은, 방열 입자로서 육방정계 질화붕소(hexagonal boron nitride, hBN)를 필러를 함유한 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE)과 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)의 분리된 고분자(segregated polymer) 기반의 복합재료로서, 저유전 물성을 갖는 저유전 고방열 복합재료를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 한 구현예는, 형상 이방성을 가진 무기입자, 플루오린계 입자 및 폴리머 수지를 포함하는 것을 특징으로 하는 저유전 방열 복합소재 필름을 제공한다.

[0010] 상기 저유전 방열 복합소재 필름 100 부피비 대비 상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 20 내지 40 부피비, 플루오린계 입자는 10 내지 40 부피비, 폴리머 수지는 20 내지 70 부피비를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 형상 이방성을 가진 무기입자의 평균 크기는 1 내지 10㎛인 것일 수 있다.

[0012] 상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 판상형태, 다공성 구조 또는 가운데가 비어 있는 코어-쉘(core-shell) 형상을 갖고, 질화 붕소, 질화 알루미늄, 알루미늄 산화물 및 실리콘 카바이드로 이루어진 군에서 선택된 1종일 수 있으며, 상기 폴리머 수지 내에 포함될 수 있다.

[0013] 상기 플루오린계 입자는 다공성 구조 또는 가운데가 비어 있는 코어 쉘(core-shell) 형상을 가지며, 상기 폴리머 수지 내에 포함될 수 있다.

[0014] 상기 플루오린계 입자는 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE), 폴리불화비닐리덴(polyvinylidene fluoride, PVDF), 불화비닐수지(polyvinyl fluoride, PVF) 및 퍼플루오로알콕시 알칸(perfluoroalkoxy alkane, PFA) 입자로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상일 수 있고, 바람직하게는 폴리테트라플루오로에틸렌 입자를 선택할 수 있다.

[0015] 상기 폴리머 수지는 열경화 수지, 열가소성 수지 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

[0016] 상기 저유전 방열 복합소재 필름은, (1) 18GHz 이상의 주파수에서 유전율이 3.1 이하, 유전손실이 0.01 이하이고, (2) 두께 방향의 열전도도가 0.5W/mK 이상인 것일 수 있다.

[0017] 상기 형상 이방성을 가진 무기입자는 폴리머 수지와 물리적 또는 화학적 결합이 가능하도록 표면처리가 된 것일 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 발명은 저유전 입자로서 PTFE 입자를 추가하여 낮은 유전 물성을 갖는 복합재료를 제공할 수 있다.

[0019] 본 발명은 PDMS 내의 hBN이 PTFE 입자로 인한 분리된 네트워크(segregated network)를 형성하여 수직 방향의 열

전도를 향상시킬 수 있다.

[0020] 본 발명은 밀리미터파 환경에 적합한 소재 분석 및 개발 방향 제시에 기여할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 저유전 방열 복합소재 필름을 도시한 개략도이다.

도 2는 저유전 방열 복합소재 필름에 포함되어 있는 형상 이방성 무기입자를 도시한 개략도이다.

도 3은 저유전 방열 복합소재 필름에 포함되어 있는 플루오린계 입자를 도시한 개략도이다.

도 4는 육방정계 질화붕소 40 부피피, PDMS 60 부피비로 제조된 복합소재 필름 단면의 SEM 이미지이다.

도 5는 육방정계 질화붕소 40 부피피, PTFE 10 부피비, PDMS 50 부피비로 제조된 복합소재 필름 단면의 SEM 이미지이다.

도 6은 육방정계 질화붕소 40 부피피, PTFE 20 부피비, PDMS 40 부피비로 제조된 복합소재 필름 단면의 SEM 이미지이다.

도 7은 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 면내 열전도도 결과를 도시한 그래프이다.

도 8은 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 두께 방향 열전도도 결과를 도시한 그래프이다.

도 9는 주파수에 따른 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 유전율 결과를 도시한 그래프이다.

도 10은 주파수에 따른 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 유전손실 결과를 도시한 그래프이다.

도 11은 26.5 GHz에서 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 유전율 결과를 도시한 그래프이다.

도 12는 26.5 GHz에서 hBN/PTFE/PDMS 복합재료 필름의 유전손실 결과를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 본 발명의 형상 이방성을 가진 무기입자와 플루오린계 고분자 입자를 포함하는 저유전 방열 복합소재 필름의 제조방법을 구체적으로 설명한다.

[0023] 본 발명의 한 구현예에 따른 저유전 방열 복합소재 필름의 제조방법은 먼저, 조성에 맞춰 정량한 hBN, PTFE 및 PDMS를 혼합하여 페이스트 믹서(paste mixer)를 이용하여 500 rpm과 1,000 rpm으로 각각 30s 동안 교반시켰다. 교반시킨 페이스트 내의 hBN 및 PTFE가 PDMS 기재 내에 좀 더 고르게 분산될 수 있도록 TRM(three roll milling)을 사용하여 기계적 전단 응력을 가하여 분산을 수행하였다. TRM을 이용한 분산은 가해지는 전단 응력에 의해 필러 입자의 형상을 변화시킬 수 있으므로, TRM 공정은 롤러의 회전 속도(RPM), 롤러 사이의 간격 및 공정 수행 패스(pass) 수를 조정하며 수행하였다. 각 복합재료 페이스트는 2 단계의 TRM을 통해 제조되었고, 각각 5 패스씩 진행하였다. 이후, 유압식 핫프레스 장비를 이용하여 100℃에서 1시간 동안 경화를 진행하여 약 850㎛ 두께를 가진 필름 형태의 시편으로 제조하였다. 필름 형태로 제작된 시편은 실험 규격에 맞춰 재단되어 사용되었다. PDMS 기반으로 제작된 시편은 유연한 특성을 갖는다.

[0025] 본 발명을 하기 실시예를 이용하여 저유전 방열필름 제조에 대해 더 상세히 설명하지만, 본 발명이 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0026] 실시예 1

[0027] 저유전 방열필름의 수지 조성물 총 부피를 기준으로, 크기가 5㎛인 육방정계 질화붕소 입자 20 부피비, 크기가 20㎛인 폴리테트라플루오로에틸렌 40 부피비, 폴리디메틸실록산(수지와 경화제)는 40 부피비로 정량한 후, 페이스트 믹서를 이용하여 500rpm으로 30초, 1,000rpm으로 30초 동안 교반하였다. 경화제는 폴리디메틸실록산 수지와 1:10 중량비의 양을 혼합하였다.

[0028] 교반된 혼합물은 쓰리롤밀(TRM, three roll mill)을 사용하여 롤 간 간격을 20㎛로 60rpm으로 5번, 120rpm으로 5번 추가 교반하였다. 이후 유압식 핫프렛스를 이용하여 100℃에서 1시간 동안 경화하였다.

[0030] 실시예 2

[0031] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소 입자 30 부피비, 폴리테트라플루오로에틸렌 40 부피비, 폴리디메틸실록산 30 부피비로 정량하여 제조하였다.

[0033] 실시예 3

[0034] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소 입자 40 부피비, 폴리테트라플루오로에틸렌 40 부피비, 폴리디메틸실록산 20 부피비로 정량하여 제조하였다.

[0036] 실시예 4

[0037] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소 입자 40 부피비, 폴리테트라플루오로에틸렌 10 부피비, 폴리디메틸실록산 50 부피비로 정량하여 제조하였다.

[0039] 실시예 5

[0040] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소 입자 40 부피비 이하, 폴리테트라플루오로에틸렌 40 부피비 이하, 폴리디메틸실록산은 나머지 부피비를 차지하도록 정량하여 제조하였다.

[0042] 비교예 1

[0043] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소 및 폴리테트라플루오로에틸렌을 사용하는 것을 제외하고, 폴리디메틸실록산을 100 부피비로 하여 제조하였다.

[0045] 비교예 2

[0046] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 육방정계 질화붕소를 사용하는 것을 제외하고, 폴리테트라플루오로에틸렌 40 부피비, 폴리디메틸실록산을 60 부피비로 정량하여 제조하였다.

[0048] 비교예 3

[0049] 상기 실시예 1과 동일한 과정으로 저유전 방열 복합소재 필름을 제조하되, 폴리테트라플루오로에틸렌을 사용하는 것을 제외하고, 육방정계 질화붕소 40 부피비, 폴리디메틸실록산을 60 부피비로 정량하여 제조하였다.

[0051] 실험예 1. 열전도도 측정

[0052] 복합소재 필름의 열전도도 측정을 위해 열전도도 측정 시스템(Thermal Conductivity Measurement System, LFA467, Netzsch, German)을 사용하였다. 레이저플래쉬(laser flash)법 열전도도 측정설비로서 복합재료의 수평(In-plane) 및 수직(Through-plane) 방향의 열확산도 및 열전도도를 측정하였다. 수평 방향의 열전도도 측정 시편은 25㎜ 직경의 원형으로 제작하였으며, 수직 방향의 열전도도 측정 시편은 25㎜ X 25㎜ 정사각형으로 제작하였다. 제작한 시편을 상온 (25℃에서 각각 5회 이상 반복하여 측정한 값의 평균 값을 사용하였다.

[0054] 실험예 2. 유전 물성 측정

[0055] 복합소재 필름의 유전율 측정은 Transmission Line and Free Space method (PNA Network Analyzer, N5222B, KEYSIGHT, USA)를 사용하여 측정하였다. 주파수 대역은 18 GHz~26.5 GHz으로 설정하여 측정하였다. 상온 (25℃에서 시편을 2개 이상 준비하여 2회 반복하여 측정한 후 측정한 값의 평균 값을 사용하였다.

[0056] 실험예 1 및 실험예 2에 의해 측정된 결과를 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

	BN (Vol%)	PTFE 입자 (Vol%)	PDMS (Vol%)	유전율	유전손실	두께 방향 열전도도 (W/m·K)	면 방향 열전도도 (W/m·K)
실시예 1	20	40	40	2.85	0.010	1.092	1.787
실시예 2	30	40	30	2.93	0.007	0.847	0.793
실시예 3	40	40	20	3.06	0.007	0.994	1.474
실시예 4	40	10	50	3.69	0.0133	1.002	2.218
실시예 5	40 이하	40 이하	총합이 100 vol%가 되도록 구성	도면 6,7,8,9			
비교예 1	0	0	100	2.68	0.028	0.23	0.23
비교예 2	0	40	60	2.33	0.018	0.331	0.331
비교예 3	40	0	60	3.82	0.015	0.682	2.834

[0058]

[0060] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

부호의 설명

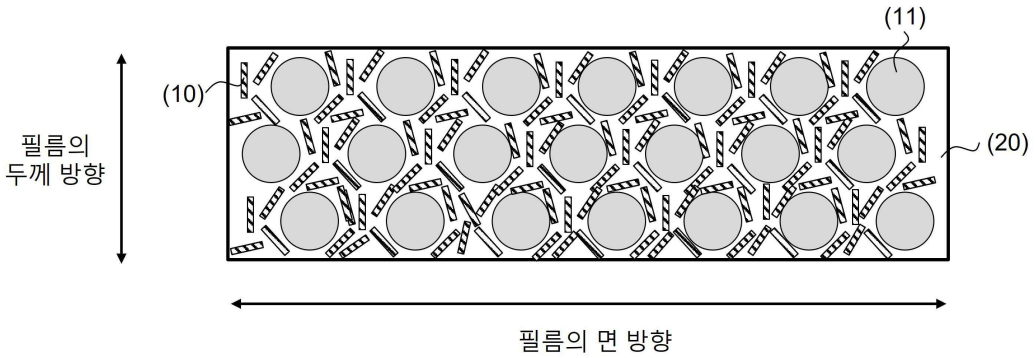
[0061] 10 : 형상 이방성을 가진 무기 입자

11 : 플루오린계 고분자 입자

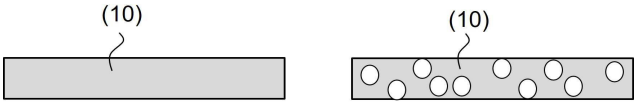
20 : 고분자 수지

도면

도면1

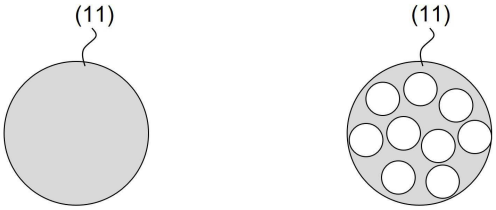


도면2



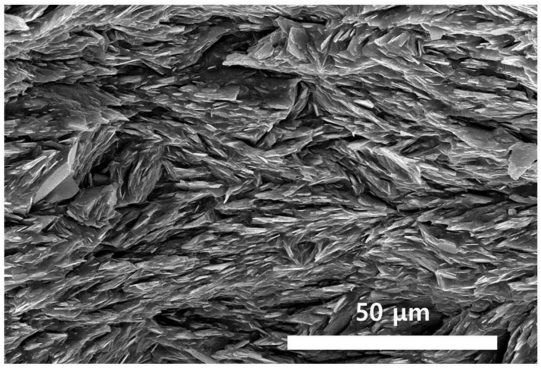
(A) 판상 형태 (B) 다공성 형태

도면3



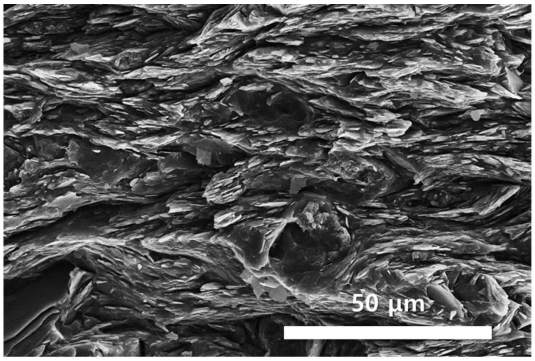
(A) 형태 (B) 다공성 형태

도면4



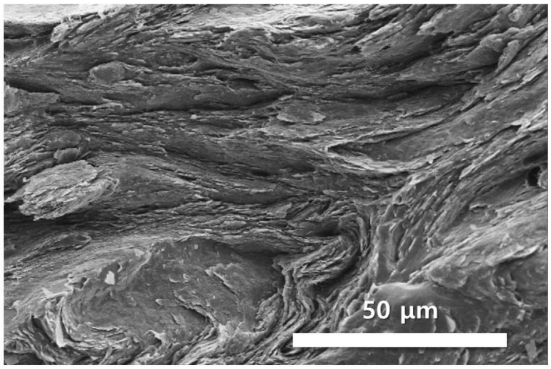
육방정계 질화붕소 40부피%, PDMS 60부피%

도면5



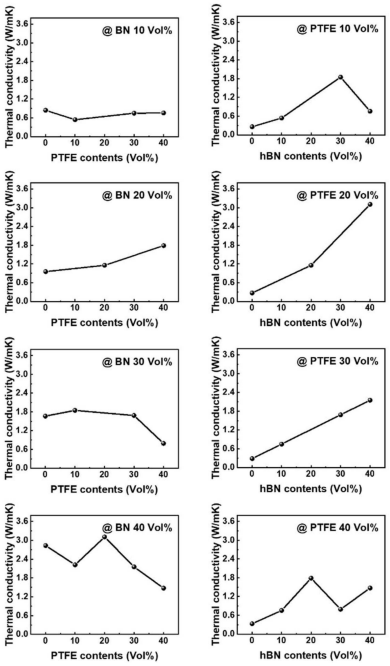
육방정계 질화붕소 40부피%, PTFE 10부피%, PDMS 50부피%

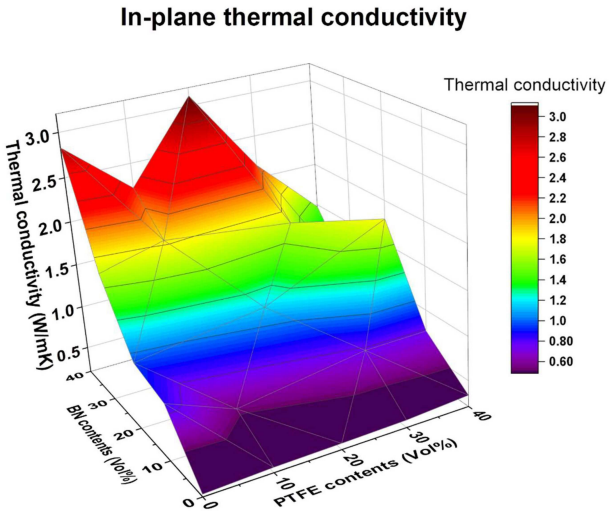
도면6



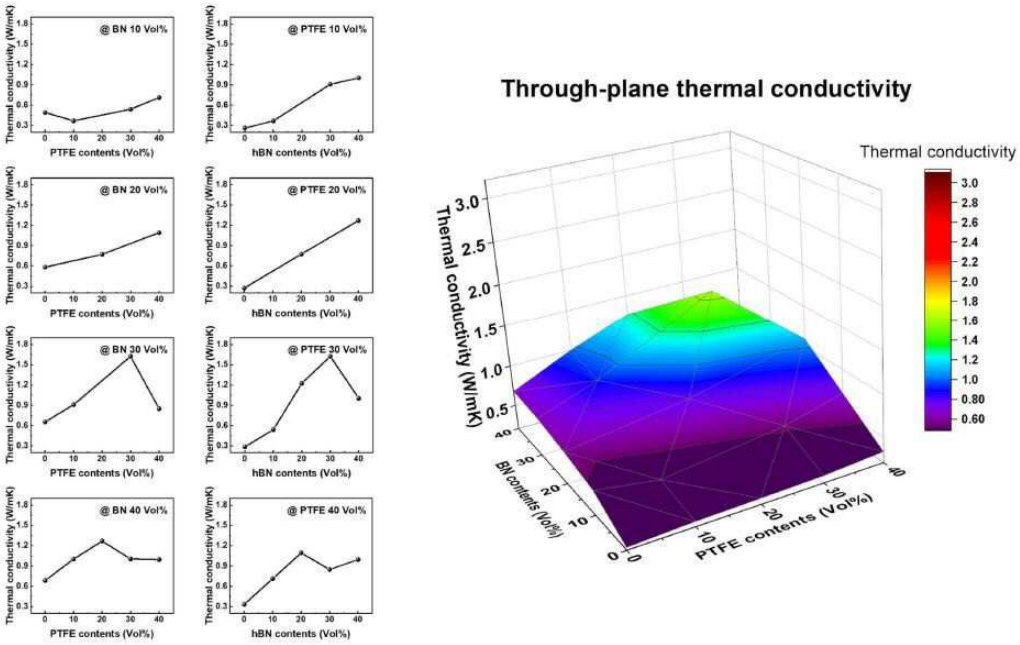
육방정계 질화붕소 40부피%, PTFE 20부피%, PDMS 40부피%

도면7

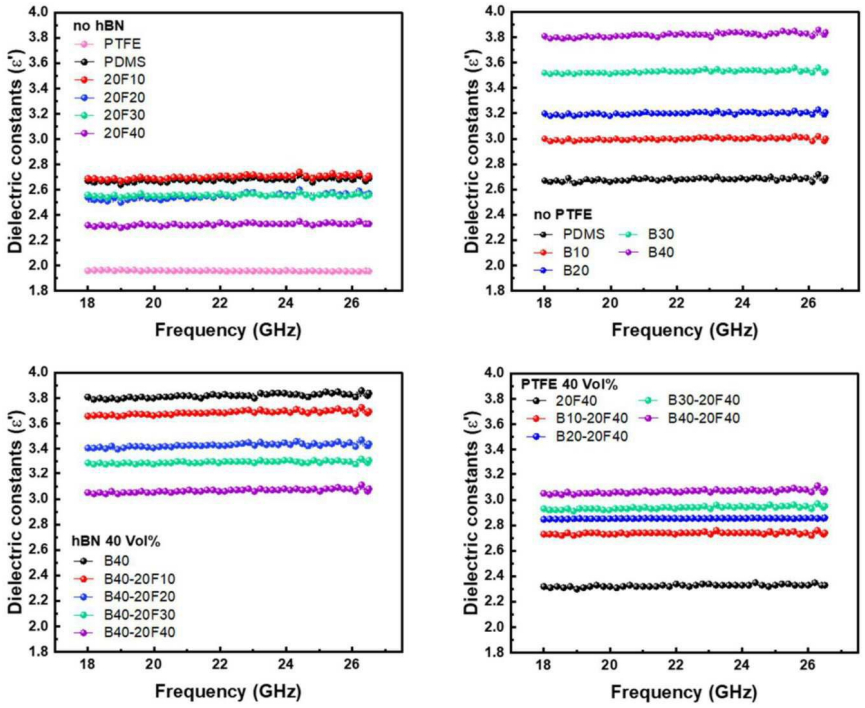




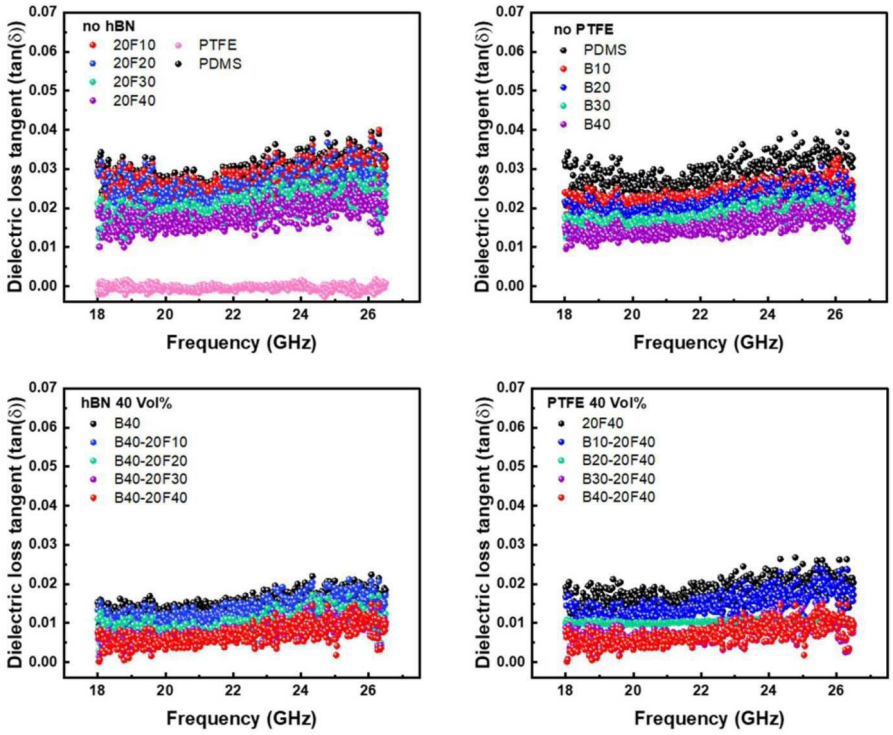
도면8


@ BN 10 Vol%
@ PTFE 10 Vol%
@ BN 20 Vol%
@ PTFE 20 Vol%
@ BN 30 Vol%
@ PTFE 30 Vol%
@ BN 40 Vol%
@ PTFE 40 Vol%
Thermal conductivity (W/mK)
PTFE contents (Vol%)
hBN contents (Vol%)
Through-plane thermal conductivity
Thermal conductivity
Thermal conductivity (W/mK)
BN contents (Vol%)
PTFE contents (Vol%)

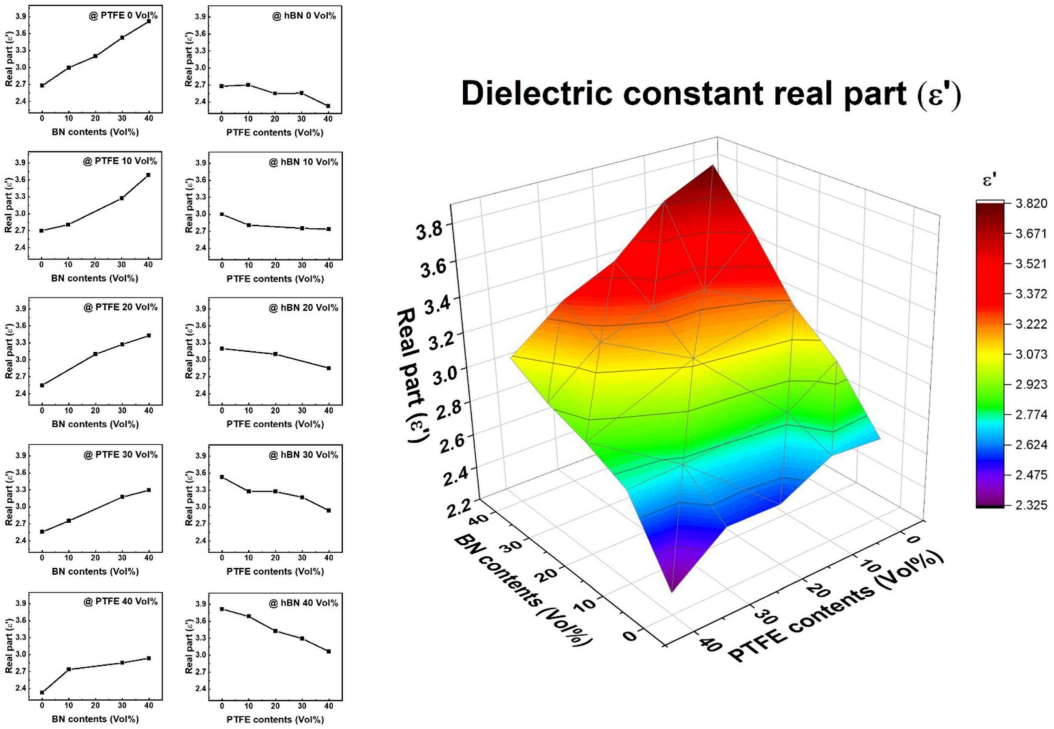
도면9


no hBN
PTFE
PDMS
20F10
20F20
20F30
20F40
no PTFE
PDMS
B10
B20
B30
B40
hBN 40 Vol%
B40
B40-20F10
B40-20F20
B40-20F30
B40-20F40
PTFE 40 Vol%
20F40
B10-20F40
B20-20F40
B30-20F40
B40-20F40
Dielectric constants (ε')
Frequency (GHz)

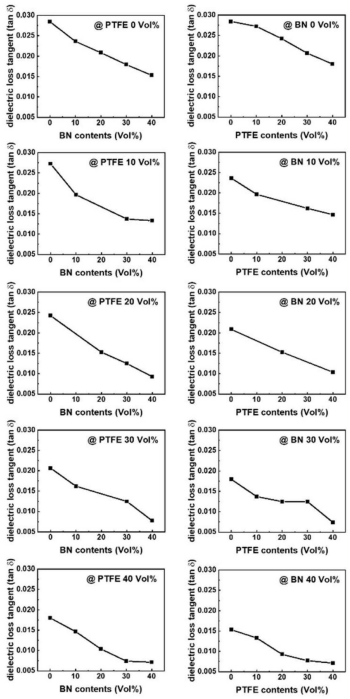
도면10

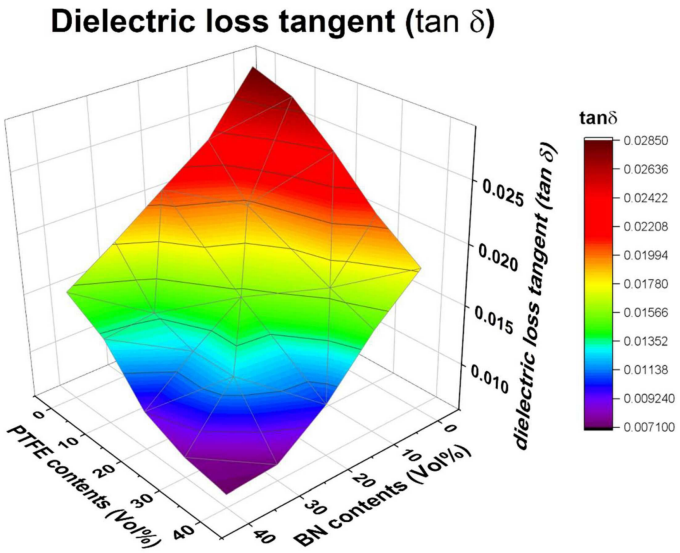

no hBN
20F10
20F20
20F30
20F40
PTFE
PDMS
no PTFE
PDMS
B10
B20
B30
B40
hBN 40 Vol%
B40
B40-20F10
B40-20F20
B40-20F30
B40-20F40
PTFE 40 Vol%
20F40
B10-20F40
B20-20F40
B30-20F40
B40-20F40
Dielectric loss tangent (tan(δ))
Frequency (GHz)

도면11


@ PTFE 0 Vol%
@ hBN 0 Vol%
@ PTFE 10 Vol%
@ hBN 10 Vol%
@ PTFE 20 Vol%
@ hBN 20 Vol%
@ PTFE 30 Vol%
@ hBN 30 Vol%
@ PTFE 40 Vol%
@ hBN 40 Vol%
Real part (ε')
BN contents (Vol%)
PTFE contents (Vol%)
Dielectric constant real part (ε')
ε'
3.820
3.671
3.521
3.372
3.222
3.073
2.923
2.774
2.624
2.475
2.325

도면12


@ PTFE 0 Vol%
@ BN 0 Vol%
@ PTFE 10 Vol%
@ BN 10 Vol%
@ PTFE 20 Vol%
@ BN 20 Vol%
@ PTFE 30 Vol%
@ BN 30 Vol%
@ PTFE 40 Vol%
@ BN 40 Vol%
dielectric loss tangent (tan δ)
BN contents (Vol%)
PTFE contents (Vol%)


Dielectric loss tangent (tan δ)
tanδ
0.02850
0.02636
0.02422
0.02208
0.01994
0.01780
0.01566
0.01352
0.01138
0.009240
0.007100
dielectric loss tangent (tan δ)
PTFE contents (Vol%)
BN contents (Vol%)