



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0020324
(43) 공개일자 2023년02월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 9/00 (2018.01) H01Q 17/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H05K 9/0084 (2013.01)
H01Q 17/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0141302
(22) 출원일자 2021년10월21일
심사청구일자 2021년10월21일
(30) 우선권주장
17/392,898 2021년08월03일 미국(US)

(71) 출원인
칼리파 유니버시티 오브 사이언스 앤드 테크놀로지
아랍에미리트 아부 다비 피.오. 박스 127788
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김영근
서울특별시 성북구 안암로 145
리 우
아랍에미리트 아부 다비 피.오. 박스 127788
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김연권

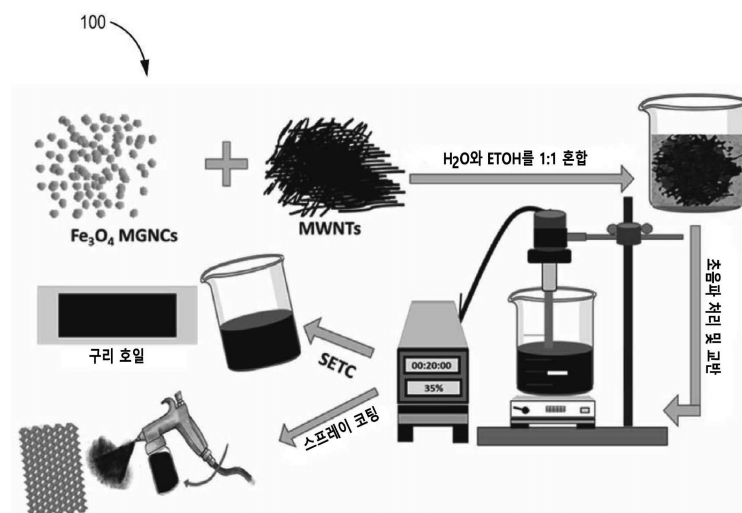
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 경사지고, 코팅된 벌집형 구조를 사용하여 전자기파를 흡수하기 위한 방법 및 장치

(57) 요약

전자파 흡수 장치 및 방법은 열로 배열된 복수의 상호 연결된 육각형 셀에 의해 형성된 벌집형 시트를 포함할 수 있다. 육각형 셀은 측벽으로 구성되며, 각 측벽은 측벽의 상단에서 수렴하고 측벽의 상단에서 하단으로 분기하여 측벽의 두께가 상단에서 하단으로 증가하고 측벽 상단의 두 표면 사이 각도가 형성되도록 측벽의 상단에서 수렴하는 2개의 표면으로 형성된다. 예를 들어, 각도는 약 8도이다. 벌집형 시트는 전자파 차폐를 증가시키기 위해 자성 복합 코팅으로 코팅할 수 있다. 코팅의 예로는 자성 다중 입자 나노클러스터(MGNC)와 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT)가 있다. 기계적 안정성 및 추가적인 흡수를 위해 베이스 층이 벌집형 시트에 부착될 수 있다. 이 장치는 항공우주 및 군사용 레이더 흡수 물질(RAM)에 적합하다.

대표도



(72) 발명자

최다니엘

아랍에미리트 아부 다비 피.오. 박스 127788

유네스 함마드

아랍에미리트 아부 다비 피.오. 박스 127788

명세서

청구범위

청구항 1

전자파를 흡수하는 벌집형 구조에 있어서,
열로 배열된 복수의 상호 연결된 육각형 셀에 의해 형성되고,
상기 육각형 셀은 측벽들로 구성되고, 각각의 측벽은 두께와 높이를 가지며,
상기 높이는 상기 측벽의 상단과 하단 사이로 정의되고,
상기 측벽의 상기 두께는 측벽의 두 표면 사이들 사이로 정의되고, 상기 측벽의 높이를 따라 상기 상단에서 상기 하단으로 증가하며,
상기 두 표면은 2도 이상의 각도를 형성하면서 상기 상단에 수렴하는 측벽을 형성하는 벌집형 시트; 및
상기 벌집형 구조의 전자파 차폐를 증가시키기 위해 구성되고, 상기 벌집형 시트의 외부에 적용되는 자기 코팅을 포함하는 것을 특징으로 하는 벌집형 구조.

청구항 2

제1항에 있어서,
벌집형 시트에 연결된 베이스 층을 더 포함하는 벌집형 구조.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 자기 코팅은 탄소 나노튜브 및 나노클러스터의 복합체인 벌집형 구조.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 복합체는 산화철(Fe_3O_4) 다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters)를 포함하는 벌집형 구조.

청구항 5

제3항에 있어서,
상기 복합체는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT, multi-walled carbon nanotubes)의 플레이크를 포함하는 벌집형 구조.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 각도는 약 8도인 벌집형 구조.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 각도는 10도 이하인 벌집형 구조.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 자기 코팅의 두께가 약 150 내지 약 200 mm인 벌집형 구조.

청구항 9

전자파 흡수를 위한 장치에 있어서,

서로 연결되고 속이 빈 육각형 셀의 여러 줄로 구성된 벌집형 구조를 포함하되, 상기 육각형 셀은 복수의 경사진 측벽으로 형성되며, 각 경사진 측벽은 상단, 하단, 외부 표면, 및 내부 표면, 상기 측벽의 상단 및 하단 사이로 정의된 높이, 상기 외부 표면과 상기 내부 표면 사이로 정의된 상기 측벽의 두께를 가지고, 상기 외부 및 내부 표면은 상기 측벽의 상단에 수렴하고, 상기 상단에서 상기 하단으로 발산하여, 상기 측벽의 상단으로부터 상기 하단으로 두께가 가변적이고 증가하고, 상기 측벽의 상단에서 상기 외부 표면과 상기 내부 표면 사이에서 각도가 형성되며, 상기 각도는 약 8도이고,

상기 벌집형 구조의 하단에 부착된 베이스 층; 및

상기 벌집형 구조 및 상기 베이스 층에 적용된 복합 코팅;을 포함하고,

상기 복합 코팅은 다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters) 및 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT, multi-walled carbon nanotubes)를 포함하는 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 측벽의 하단에서 또는 측벽의 하단 근처에서 측벽의 두께는 약 1 mm인 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

각 육각형 셀의 크기는 대향하는 측벽 사이의 공간에 의해 정의되고, 상기 크기는 약 5mm인 장치.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 각각의 경사진 측벽의 높이는 약 10mm이고, 상기 베이스 층의 두께는 약 7mm인 장치.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 자기 코팅의 두께는 약 150 내지 약 200 mm인 장치.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 외부 표면 및 상기 내부 표면은 상기 측벽의 상부에서 교차하는 장치.

청구항 15

전자파 흡수를 위해 경사지고, 코팅된 벌집형 구조의 형성방법에 있어서,

여러 줄의 셀을 가진 벌집형 세트를 형성하는 단계를 포함하되, 각 줄의 셀들은 여러 개의 측벽으로 이루어지고 서로 연결된 육각형 셀을 가지며, 각 측벽은 두께 및 높이를 가지며, 상기 높이는 상기 측벽의 상단과 하단 사이로 정의되고, 상기 측벽의 두께는 상기 측벽의 두 표면 사이로 정의되고, 상기 측벽의 높이를 따라 상기 하단으로부터 상기 상단까지 증가하며, 그리고, 상기 측벽을 형성하는 두 표면은 상기 측벽의 상단에서 수렴하여 2도 이상의 각도를 형성하고, ; 및

벌집형 구조의 전자기 차폐를 증가시키도록 구성된 자성 복합 코팅으로 상기 벌집형 시트를 코팅하는 단계

를 포함하는 벌집형 구조의 형성방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

벌집형 시트에 부착하기 위한 베이스 층을 형성하는 단계; 및

자성 복합 코팅으로 상기 베이스 층을 코팅하는 단계

를 더 포함하는 벌집형 구조의 형성방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 베이스 층이 벌집형 시트와 일체로 형성되는 벌집형 구조의 형성방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 벌집형 시트는 3D 프린팅을 통해 형성되는 벌집형 구조의 형성방법.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 자성의 복합 코팅은 다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters) 및 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT, multi-walled carbon nanotubes)를 포함하는 벌집형 구조의 형성방법.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 각도는 8도인 벌집형 구조의 형성방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 벌집형 구조를 이용하여 차폐 효과를 증가시키는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현대인의 생활은 전자 기기의 보급과 사용으로 인해 더 쉽고 더 즐겁다. 그러나 단점은 전자 장치가 전자파 방사에 대한 노출을 증가시킨다는 것이다. 전자파 방사는 사람, 동물에게 건강에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으며 또한 근처에 있는 다른 전자 장치의 작동을 방해할 수 있다. 이 빠르게 증가하는 문제는 전자파를 흡수할 수 있지만 반사파도 감소시킬 수 있는 새로운 재료의 필요성을 촉진했다.

[0003] 금속계 물질은 높은 전기 전도도 값과 초기기계적 특성에 따라 전자파 차폐를 위해 광범위하게 활용되어 왔다. 그러나 금속의 문제 중 일부는 특히 경량 재료가 선호되는 항공우주 산업에서 무거운 무게, 열악한 유연성, 바람직하지 않은 부식 민감성 및 높은 처리 비용이다. 고분자 복합 재료는 높은 전기 및 열 전도성과 함께 놀라운 기계적 특성을 가질 수 있지만 탄소 나노 물질과 고분자로 만들어진 나노 복합 재료는 상대적으로 복잡한 처리가 필요하여 높은 제조 비용을 초래할 수 있다. 그래핀은 특정 응용 분야에서 전자파 흡수 재료로 사용되었다. 그러나 열악한 가공성, 확장성 및 약한 기계적 특성은 그래핀 복합 재료의 단점이 될 수 있다.

[0004] 3차원 프린팅 기술은 저렴하고 환경 친화적이며 사용이 간편하고 다양한 크기와 고해상도로 정교한 구조물을 제작할 수 있기 때문에 3D 구조물을 제작하는데 효과적이고 대중적인 기술이 될 수 있다.

[0005] 가벼우면서 강한 파장 흡수 특성과 넓은 입사각에서 넓은 흡수 대역폭을 나타내는 효율적인 전자파 흡수 재료 및 구조가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 벌집형 구조를 이용하여 차폐 효과를 증가시키는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 일실시예에 따른 전자파 흡수하는 벌집형 구조는, 열로 배열된 복수의 상호 연결된 육각형 셀에 의해 형성되고, 상기 육각형 셀은 측벽들로 구성되고, 각각의 측벽은 두께와 높이를 가지며, 상기 높이는 상기 측벽의 상단과 하단 사이로 정의되고, 상기 측벽의 상기 두께는 측벽의 두 표면 사이들 사이로 정의되고, 상기 측벽의 높이를 따라 상기 상단에서 상기 하단으로 증가하며, 상기 두 표면은 2도 이상의 각도를 형성하면서 상기 상단에 수렴하는 측벽을 형성하는 벌집형 시트, 및 상기 벌집형 구조의 전자파 차폐를 증가시키기 위해 구성되고, 상기 벌집형 시트의 외부에 적용되는 자기 코팅을 포함한다.

[0008] 일실시예에 따른 전자파 흡수를 위한 장치는, 서로 연결되고 속이 빈 육각형 셀의 여러 줄로 구성된 벌집형 구조를 포함하되, 상기 육각형 셀은 복수의 경사진 측벽으로 형성되며, 각 경사진 측벽은 상단, 하단, 외부 표면, 및 내부 표면, 상기 측벽의 상단 및 하단 사이로 정의된 높이, 상기 외부 표면과 상기 내부 표면 사이로 정의된 상기 측벽의 두께를 가지고, 상기 외부 및 내부 표면은 상기 측벽의 상단에 수렴하고, 상기 상단에서 상기 하단으로 발산하여, 상기 측벽의 상단으로부터 상기 하단으로 두께가 가변적이고 증가하고, 상기 측벽의 상단에서 상기 외부 표면과 상기 내부 표면 사이에서 각도가 형성되며, 상기 각도는 약 8도이고, 상기 벌집형 구조의 하단에 부착된 베이스 층, 상기 벌집형 구조 및 상기 베이스 층에 적용된 복합 코팅, 상기 복합 코팅은 다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters) 및 다중벽 탄소 나노튜브(MWCNT, multi-walled carbon nanotubes)를 포함한다.

[0009] 일실시예에 따른 전자파 흡수를 위해 경사지고, 코팅된 벌집형 구조의 형성방법은, 여러 줄의 셀을 가진 벌집형 세트를 형성하는 단계를 포함하되, 각 줄의 셀들은 여러 개의 측벽으로 이루어지고 서로 연결된 육각형 셀을 가지며, 각 측벽은 두께 및 높이를 가지며, 상기 높이는 상기 측벽의 상단과 하단 사이로 정의되고, 상기 측벽의 두께는 상기 측벽의 두 표면 사이로 정의되고, 상기 측벽의 높이를 따라 상기 하단으로부터 상기 상단까지 증가하며, 그리고, 상기 측벽을 형성하는 두 표면은 상기 측벽의 상단에서 수렴하여 2도 이상의 각도를 형성하고, 및 벌집형 구조의 전자기 차폐를 증가시키도록 구성된 자성 복합 코팅으로 상기 벌집형 시트를 코팅하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0010] 일실시예에 따르면, 벌집형 구조를 이용하여 차폐 효과를 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도면에서, 숫자처럼 반드시 축척에 따라 그려지는 것은 아니지만, 유사한 구성 요소를 다른 관점에서 설명할 수 있다. 도면은 일반적으로 예를 들어 설명하지만, 한정되는 것은 아니며, 다양한 실시예들이 이하에서 논의된다.

도 1a는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 벌집형 구조의 촬영 영상이다.

도 1b는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 도 1a에 코팅이 도포된 벌집형 구조의 촬영 영상이다.

도 1c는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 도 1a에 따른 벌집형 구조를 형성하는 육각형의 개략적인 사시도이다.

도 1d는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 도 1c의 육각형에 대한 개략적인 평면도이다.

도 1e는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 도 1c의 육각형에 대한 개략적인 측면도이다.

도 2는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 벌집형 구조에 사용하기 위한 코팅을 형성하기 위한 공정의 개략도이다.

도 3a는 본 개시내용의 적어도 하나 이상의 실시예에 따른 벌집형 구조에 사용하기 위한 복합 코팅의 투과 전자

현미경(TEM, transmission electron microscopy) 이미지이다.

도 3b는 상기 복합 코팅의 다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters)에 대한 X선 회절 패턴이다.

도 3c는 복합 코팅의 MGNC에 대한 자기 이력 루프이다.

도 3d는 상기 복합체로 형성된 매트 of 스캐닝 전자 현미경(SEM, scanning electron microscopy) 이미지이다.

도 4a는 코팅을 위한 주파수 함수로서 유전율의 그래프이다.

도 4b는 코팅을 위한 주파수 함수로서 투과성의 그래프이다.

도 5a는 0도, 1, 2, 3도 및 4도의 경사각을 갖는 벌집형 구조를 위한 주파수 함수로서 시뮬레이션된 반사율의 그래프이다.

도 5b는 4도에서 경사각을 갖는 벌집형 구조의 TE 파를 위한 주파수 함수로서 시뮬레이션된 입사각의 그래프이다.

도 5c는 4도에서 경사각을 갖는 벌집형 구조의 TM파에 대한 주파수 함수로서 시뮬레이션된 입사각의 그래프이다.

도 6a는 기울어진 또는 경사진 벌집형 구조에 대한 시뮬레이션된 전기장 분포의 그래프이다.

도 6b는 규칙적인(경사지지 않은) 벌집형 구조에 대한 시뮬레이션된 전기장 분포의 그래프이다.

도 7은 여기에 설명된 벌집형 구조의 반사 손실을 측정하기 위한 자유 공간 측정 시스템의 촬영 영상이다.

도 8a는 코팅된 벌집형 구조 및 비코팅된 벌집형 구조에 대한 주파수 함수로서 차폐 효과의 그래프이다.

도 8b는 경사(tilt)/경사진(gradient) 설계 및 경사지지 않은 설계를 갖는 코팅된 구조에 대한 주파수 함수로서 차폐 효과의 그래프이다.

도 9a는 도 8b의 코팅된 구조물에 대한 주파수 함수로서 반사에 의한 차폐의 그래프이다.

도 9b는 도 8b의 코팅된 구조에 대한 주파수 함수로서 흡수에 의한 차폐의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012]

본 발명은 전자기파 흡수에 사용하기 위한 3차원(3D) 벌집형 구조에 관한 것이다. 벌집형 구조는 다수의 열로 상호 연결되고 배열된 다수의 육각형 셀에 의해 형성된다. 벌집형 구조는 벌집형의 두께가 균일하지 않아 경사각이 발생하도록 설계된다. 좀 더 구체적으로, 벌집형을 형성하는 반복 육각형들을 형성하는 측면은 두께가 다양하다. 벌집형 구조에서 육각형들의 불균일성은 여기서 경사진(tilt) 또는 경사진(gradient) 특징으로 언급된다. 경사 벌집형은 약 4도의 경사각을 가질 수 있다. 기울어진 각도는 표면에서 전자기파가 발생할 때 불일치를 줄여 흡수율을 높이고 반사를 줄일 수 있다. 벌집형은 3차원 인쇄를 통해 하나 이상의 고분자 물질로 구성될 수 있다. 경사진 벌집형 구조는 반사 손실과 전자기 차폐를 개선하기 위해 하나 이상의 자성 재료로 코팅될 수 있다. 코팅은 하나 이상의 폴리머 또는 다른 재료와 조합된 폴리머를 포함할 수 있다. 코팅은 다중벽 나노튜브(MWNT), 단일벽 나노튜브(SWNT), 3D 그래핀 및 금속 산화물 스피넬 구조 나노입자와 같은 나노복합 재료를 포함할 수 있다. 예에서, 코팅은 다중 입자 나노클러스터(MGNC) 및 다중벽 탄소 나노튜브(MWCNT)의 나노복합체일 수 있다. 예를 들어, MGNC는 산화철 Fe_3O_4 가 될 수 있다. 코팅은 스프레이 코팅을 통해 적용할 수 있다. 일 예에서, 코팅의 두께는 약 100 내지 약 500 마이크론의 범위일 수 있다. 다른 예에서, 두께는 약 150 내지 약 200 마이크론의 범위일 수 있다. 목표 두께는 특정 응용 분야에서 가장 중요한 전자기파의 유형에 부분적으로 의존할 수 있다.

[0013]

본 명세서에 기재된 벌집형 구조는 항공우주 및 군용 응용을 위한 레이더 흡수 재료(RAM)로서 사용될 수 있다. 이러한 재료는 예를 들어 공중 기반 레이더 감시에 대한 '스텔스' 항공기 설계와 같이 전자기(EM) 환경의 충분한 제어가 필요한 민간, 항공 우주 및 군사 응용 분야에서 기본적인 역할을 얻었다. 이러한 재료는 EM 필드에 대한 높은 차폐 특성뿐만 아니라 EM 스펙트럼의 정의된 주파수 범위에서 낮은 반사 계수를 특징으로 한다. '스텔스' 설계의 목적은 항공기와 차량이 적의 레이더 감시 시스템에 덜 탐지될 수 있도록 잠재적 목표물의 레이더 단면(RCS, radar cross-section)을 줄이는 것이다.

- [0014] 본 명세서에 기재된 벌집형 구조는 전자기 간섭(EMI)에 사용될 수 있다. 고주파 전자기 에너지 방출의 급속한 성장은 일상 생활에서 예를 들어 우주 탐사에 이르기까지 거의 모든 전자 시스템에 영향을 미치는 현대적인 딜레마가 되었다. 차폐 방법은 전자 장치의 수명과 효율성을 높이고 방사선 노출을 줄이는 데 사용할 수 있다.
- [0015] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "벌집형(honeycomb)" 또는 "벌집형 구조(honeycomb structure)"는 비교적 가벼우면서도 강건하고 단단한 3차원 주기적 셀 구조를 지칭한다. 벌집형 구조는 여러 줄로 상호 연결되고 조립된 육각형의 속이 빈 셀 층으로 구성된다. 이러한 셀 층은 베이스 층에 부착될 수 있다. 벌집형 복합체는 금속 기반 재료, 폴리머 또는 복합 재료와 같은 다양한 종류의 재료로 제조할 수 있다. 벌집형 구조는 높은 기계적 질량 강도 비율과 열 방출로 인해 높은 전력을 처리 할 수 있는 능력을 가질 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "경사진(gradient)"은 벌집형 구조를 형성하는 층의 다양한 두께를 지칭한다. 보다 구체적으로, "경사진(gradient)"은 벌집형 셀의 상단에서 하단까지 층의 두께가 증가하는 것을 의미한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, "경사지지 않은(non-gradient)"은 층의 높이를 따라 일반적으로 균일한 두께의 층을 갖는 벌집형 구조를 지칭한다.
- [0016] 도 1a는 육각형 셀(12)과 베이스 층의 다중 행을 갖는 코팅되지 않은 벌집형 구조(10)의 사진 영상이다(도 1c 참조). 육각형 셀은 셀을 형성하는 벽 사이에 자유롭거나 개방적인 공간이 있도록 비어 있다. 도 1a의 사진에서 벌집형 구조(10)는 약 140 X 140mm이다. 본 명세서에 개시된 벌집형 구조는 도 1a의 벌집형 구조(10)보다 크거나 작을 수 있다는 것이 인식된다. 일례로, 벌집형 구조(10)는 나일론 재료로 3D 프린팅된다. 금속 기반 재료, 폴리머 또는 복합 재료와 같은 다른 재료도 사용할 수 있다는 것이 인식된다. 3D 프린팅 외에도 잉크젯 프린팅 및 성형 기술을 비롯한 다른 제작 방법을 사용할 수 있다. 도 1b는 코팅(14)이 적용된 후 벌집형 구조(10)의 촬영 영상이다. 코팅(14)은 도 2 내지 4b를 참조하여 아래에 추가로 설명된다.
- [0017] 도 1c는 벌집형 구조(10)로부터 단일의 육각형 셀(12)과, 벌집형 구조(10)의 길이 및 폭을 따라 육각형 셀(12)에 부착되거나 일체화되는 베이스 층(16)을 나타내고, 베이스 층(16)은 기계적 안정성을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 상기 벌집형 구조(10)에 의한 전체적인 흡수에 기여할 수 있다.
- [0018] 각각의 셀(12)은 육각형을 형성하는 6개의 측면(18)을 포함할 수 있다. 육각형 셀(12)들은 서로 연결되어 있으며, 하나의 육각형의 여섯 변들 역시 그 벌집형 구조(10)의 테두리를 따라 가장 바깥쪽을 제외한 이웃하는 육각형의 일부이다. 도 1d는 도 1c의 육각형 셀(12)의 평면도이다. 도 1e는 측면도이다.
- [0019] 육각형 셀(12)의 폭(W)은 벌집형 구조(10)를 형성하는 셀(12)의 크기를 정의할 수 있다. 폭(W)은 셀(12)의 대향하는 측면(18)의 내부 표면(24) 사이의 간격으로서 정의될 수 있다. 폭(W)은 약 3 내지 약 7mm, 약 4 내지 약 6mm, 및 약 4.5 내지 5.5mm의 범위일 수 있다. 육각형 셀(12)은 높이(H)(셀(12)의 상부(20)와 바닥(22) 사이로 정의됨)를 가질 수 있고 베이스 층(16)은 높이 또는 두께(T_{BL})를 가질 수 있다. 높이(H)는 약 8mm 내지 약 12mm, 약 9mm 내지 약 11mm, 및 약 9.5mm 내지 10.5mm의 범위일 수 있다. 베이스 층 두께(T_{BL})는 약 5 내지 약 9mm, 약 6 내지 약 8mm, 및 약 6.5 내지 약 7.5mm의 범위일 수 있다.
- [0020] 육각형 측면(18) 또는 측면(18)의 두께(T_W)는 가변(또는 경사각)될 수 있고, 그 결과 경사각(θ)이 생성된다. 측면(18)의 상단(20)에서의 두께(T_W)는 측면(18)의 두께(T_W)가 상단(20)에서 하단(22)으로 증가하도록 측면(18)의 하단(22)에서의 두께(T_W)보다 작을 수 있다. 두께(T_W)는 측면(18)의 높이(H)를 따라 두께(T_W)가 측정되는 위치에 부분적으로 의존하여, 약 40 μ m 내지 약 1mm의 범위일 수 있다. 일 예에서, 하단(22)에서 또는 그 근처에서 두께(T_W)는 약 1mm일 수 있고, 상단(20) 근처의 두께 T_W 는 40-100 μ m와 같이 훨씬 더 작을 수 있다. 상단(20) 근처의 특정 값은 부분적으로 경사각에 따라 달라질 수 있다.
- [0021] 각 측면 또는 측면(18)은 내부 표면(24) 및 외부 표면(26)을 가질 수 있다. 두께 T_W 는 내부 표면(24)과 외부 표면(26) 사이에 정의된다. 특정 육각형 셀(12)의 외부 표면(26)은 인접한 셀(12)의 내부 표면(24)일 수 있다. 도 1e에 도시된 바와 같이, 상부(20)에서, 측면(18)의 두께(T_W)는 2개의 표면(24, 26)이 상단(20)에서 교차하기 때문에 본질적으로 0이다. 다른 예에서, 2개의 표면들(24 및 26)은 상단(20)에서 교차하지 않을 수 있고, 대신에 2개의 표면들(24 및 26)은 상단(20)에서 소정 거리만큼 분리될 수 있으며, 2개의 표면들(24 및 26) 사이에 형성된 각도가 존재한다. 이러한 예에서, 상단(20) 부근의 두께(T_W)는 하단(22)에서의 거리 및 그 부근의 거리에 대해 여전히 현저하게 작다. 본 개시의 목적을 위해, 벌집형 구조(10)의 표면과 관련하여 사용되는 용어 "수렴하는(converge)" 또는 "수렴하는(converging)"은 상단(20)에서 서로 교차하는 표면 뿐만 아니라 교차하지 않는 표면

을 포함할 수 있고, 뿐만 아니라 상단(20)에서 서로 교차하지 않고 상단(20)에서 비례적으로 작은 거리만큼 떨어져 있는 표면들을 포함한다.

[0022] 두께(T_w)는 표면(24, 26)이 서로로부터 발산하기 때문에 상단(20)으로부터 하단(22)까지 높이(H)를 따라 증가한다. 상단(20) 및 하단(22)에서의 두께의 차이는 벌집형 구조(10)의 경사각(tilt angle)을 결정한다. 일 예에서, 경사각(tilt angle)은 1도 이상이고, 각도(angle)는 2도 이상이다. 경사각은 약 1내지 약 5도의 범위일 수 있고, 따라서 각은 약 2도 내지 약 10도의 범위일 수 있다. 일 예에서, 경사각(tilt angle)은 약 4도와 같고, 따라서 도 1e와 같이 각도 2mm는 약 8도이다. 따라서 도 1e와 같이 각도 2mm는 약 8도이다. 예를 들어, 경사각 θ 는 약 3도에서 약 5도 사이이고, 따라서 경사각 2 θ 는 약 6도에서 약 10도 사이이다. 또 다른 예에서, 경사각 θ 는 약 3.5에서 약 4.5도 사이범위이고, 따라서 각도 2 θ 는 약 7 그리고 약 9도 사이 범위이다. 도 1c에서, 측면(18)중 하나만 가변 두께를 갖는 것으로 나타났다. 그러나, 도 1c의 다른 측면(18)도 유사하게 높이 H를 따라 두께가 증가하는 것으로 인식된다. 아래와 같이 경사각 θ 는 반사 손실에 영향을 미치고 전체 파 흡수를 향상시킬 수 있다.

[0023] 두께(T_w)가 높이(H)를 따라 어떻게 변하는지와 유사하게, 셀(12)의 폭(W)도 높이(H)를 따라 변한다. 상단(20)에서의 폭(W)은 반대측이 주어진다면 하단(22)에서의 폭(W)보다 클 수 있다. 반대의 측면(18)의 내부 표면(24) 및 외부 표면(26)이 서로 발산함에 따라 셀(12)의 측면(18)은 서로를 향해 수렴된다. 셀의 높이(H)를 가로지르는 너비(W)의 차이는 경사각 θ 에 따라 달라진다.

[0024] 하기 실시예에서 제공되는 바와 같이, 셀(12)이 경사 피쳐/경사각 및 자성 복합 코팅을 갖는 도 1a 내지 1e의 벌집형 구조(10)는 코팅되지 않은 벌집형 구조 및 비경사 벌집형 구조에 비해 반사 감소 및 파 흡수 증가를 나타냈다. 또한, 도 1a내지 도 1e의 벌집형 구조(10)는 차폐 효과를 증가시켰다. 경량 재료 및 디자인을 고려하면, 향상된 성능 외에도, 본원에서 제공되는 벌집 구조는 많은 분야, 특히 항공우주 및 군용 응용에 매우 적합하다.

[0026] [실시예]

[0027] 실시예1

[0028] 코팅의 형성: MGNC/MWCNT의 얇은 층이 도 1b에 도시된 코팅(14)과 같이 벌집형 구조(10)에 도포된다. 코팅(14)은 스프레이 건을 사용하여 도포될 수 있다. 도 2는 하기 표 1에 열거된 재료로 코팅(14)을 제조하기 위한 공정(100)을 예시한다.

표 1

[0030] MGNC-MWCNT 코팅의 제조에 사용된 물질

물질	사양	소스
다중 입자 나노클러스터(MGNC, multi-granular nanoclusters)	합성 과정은 여기에 공개됨: B.H. An, B.C. Park, H.A. Yassi, J.s. Lee, J-R Park, Y.K. Kim, J.E. Ryu, D.S. Choi, "Fabrication of graphene-magnetite multi-granule nanocluster composites for microwave absorption application", Journal of Composite Materials, 53(2019) 4097-4103	구매하지 않고 내부적으로 합성됨
다중벽 탄소나노튜브(MWCNT, multi-walled carbon nanotubes)	MWCNT 플레이크는 > 93% MWCNT, <10% 유리 섬유 및 <6% 폴리에틸렌 글리콜(PEG)로 구성됨	Applied Nanostructured Solutions LLC USA

에탄올	Absolute alcohol, without additive, A15, $\geq 99.8\%$ 첨가물 없는 절대 알코올, A15, $\geq 99.8\%$	Sigma Aldrich
구리 호일 EQ-bccf-9u	길이: 310m, 폭: 180mm(± 1 mm), 두께: 9 μ m(-0, +3) μ m, 밀도: 8.94g cm^{-3} 순중량: 5kg 및 튜브 중량: 1kg	MTI Corporation, USA
이소프로판올	IPA 99% 이소프로필 알코올 2.8l	Sigma Aldrich

[0032] 팁 소닉케이터(소닉스의 VCX 750 초음파 프로세서)를 사용하여 MWCNT 플레이크를 1:1 mL DI 물에 에탄올로 10분간 분산시켰다. 다음으로, MGNC를 용액에 5 wt% 첨가하고, 10분간 초음파 처리를 한 후 진공 오븐에 2분간 넣어 소닉케이터에서 발생하는 기포를 제거하였다. 혼합물의 일부를 닥터 블레이드를 사용하여 구리 호일 앞에 덮인 유리판 위에 주조했다. 그런 다음 유리판을 120° C에서 1시간 동안 오븐에 넣어 모든 용매를 건조시키고 MGNC-MWCNT 매트를 형성했다. 나머지 혼합물을 스프레이 건으로 사용하여 벌집 구조를 코팅했다. 코팅의 목표 두께는 약 150 내지 약 200 마이크론일 수 있다.

[0033] MGNC-MWCNT 매트는 유전율과 투과성을 평가하고 코팅된 벌집형 구조의 동등한 매개변수를 얻기 위해 제작되었다. MGNC-MWCNT 매트의 전기 전도율은 에코피아의 HMS-500 홀 효과 측정 시스템을 사용하여 13 S cm^{-1} 로 측정되었다.

[0034] 도 3a내지 도 3d는 MGNC-MWCNT 코팅 및 그의 성분들의 상이한 특성들을 도시한다. 도 3a는 35 nm 파립 및 63 nm 입자 직경을 갖는 MGNCs의 투과 전자 현미경(TEM, transmission electron microscopy) 이미지이다. 도 3a의 TEM 이미지는 200kV의 가속 전압에서 작동하는 JEOL사의 JEM-2011F 현미경으로 얻었다. 도 3b는 파놀리틱 엠퍼리언(PANalytical Empyrean) 회절계를 사용하여 얻은 MGNC에 대한 X선 회절 패턴이다. 도 3c는 약 80 emu/g의 포화 자화(M_s) 값과 좁은 히스테리시스 루프를 나타내는 MGNC의 자기 히스테리시스 루프이다. 유지력(MT)은 약 11.7 emu/g이고 보자력(HC)은 약 55.98G이다. 도 3d는 MGNC-MWCNT 매트의 주사 전자 현미경(SEM, scanning electron microscopy) 이미지로, MWCNT와 그물 구조 내에 잘 분산된 MGNC의 상호 연결된 네트워크 구조를 보여준다. 네트워크 구조는 SEM 이미지와 같이 많은 레이어와 인터페이스로 구성된다. 도 3d의 SEM 이미지는 FEI사의 Nova NanoSEM 650 현미경으로 얻었다.

[0035] 도 4a및 도 4b는 MGNC-MWCNT 코팅의 주파수-의존 전자기 특성을 도시한다. 도 4a는 MGNC-MWCNT 코팅에 대한, 주파수 함수로서의 실제 유전율(ϵ_r') 및 허수 유전율(ϵ_r'')의 그래프이다. 도 4a는 주파수가 증가함에 따라 실제 유전율이 감소하는 반면, 가상의 유전율은 주파수가 증가함에 따라 증가한다는 것을 나타낸다. 일반적으로 순수 MWCNT의 실제 유전율과 가상 유전율은 0-20 GHz의 주파수 범위에서 감소한다. 이와 같이, MWCNTs에 MGNC가 존재하면 유전율의 허수 부분이 증가하여 반사 손실의 개선을 설명한다. 도 4b는 MGNC-MWCNT 코팅에 대한, 주파수 함수로서 실제 투과성(μ_r') 및 가상 투과성(μ_r'')의 그래프이다. 도 4b의 결과는 코팅에 사용되는 산화막 MGNCs와 같은 자성 나노입자의 전형이다.

[0037] 실시예2

[0038] 시뮬레이션: 설계 및 성능 시뮬레이션은 SOLIDWORKS 2016x64 에디션 및 유한 요소 분석 도구인 COMSOL Multiphysics® 5.4에 의해 수행되었다. 시뮬레이션에는 0, 1, 2, 3 및 4도에서 경사각 θ 평가가 포함되었다. 다시 도 1c 내지 도 1e를 참조하면, 일 예에서 벌집형 구조체(10)의 치수는 다음과 같다: 5mm와 동일한 너비 W (상단(20) 또는 그 근처에서 측정됨); 높이 H는 10mm, 벽 두께 TW는 1mm, 베이스 레이어 두께 T_{BL}은 7mm이다. 따라서 베이스 층(16) 및 벌집형 셀(12)을 포함하는 구조물의 전체 높이는 17mm(10mm + 7mm)와 동일하다. 다른 예에서, 전체 높이는 17mm보다 크거나 작을 수 있다.

[0039] 도 5a는 0도, 1, 2 3도 및 4도에서 경사각 θ 를 갖는 벌집형 구조의 주파수 함수로서 반사율의 시뮬레이션된

그래프이다. 반사 손실은 음수로 표현되기 때문에 낮은 값(0에서 더 멀리)은 더 나은 성능을 의미한다. 여기서 8.2 ~ 12.4 GHz의 주파수 범위를 X-대역 범위라고 할 수 있다. X-대역 범위는 여기에 집중된 레이더 주파수이다. 예를 들어 1 GHz에서 50 GHz와 같은 주파수 범위를 확장할 수 있다는 것이 인식된다.

[0040] 도 5a의 결과는 균일한 두께를 갖는 벽을 갖는 벌집형 구조(0도에서)의 경우, 반사 손실은 주파수의 함수로서 본질적으로 일정하다는 것을 도시한다. 도 5a는 경사각이 증가함에 따라 더 높은 주파수에서 반사도가 감소하는 것을 도시한다. 4도의 경사각에서 반사율(약 11.5GHz)이 급격히 감소하여 기울어진 벌집형 구조의 우수한 성능을 보여준다.

[0041] 도 5b는 4도의 경사각을 갖는 벌집형 구조에 대한 횡단 전기(TE)파에 대한 X-밴드 범위에서 주파수 함수로서의 입사각을 시뮬레이션한 그래프이다. 도 5c는 4°의 경사 각도를 갖는 벌집형 구조에 대한 횡방향 자기(TM)파에 대한 X-밴드 범위에서의 주파수 함수로서 시뮬레이션된 입사각의 그래프이다. TE 파장의 경우, 0내지 60도의 넓은 입사각에서 -10 dB 이상의 반사 손실이 달성될 수 있고, 최고 반사 손실은 15도의 입사각 및 11.8 GHz의 주파수에서 -40 dB을 달성할 수 있다. TM파의 경우, 10-50도의 입사각에서 -10 dB 이상의 반사 손실이 있고 최대 반사 손실은 0-30도의 입사각 및 11.6-12.4 GHz의 주파수 내에서 -20 dB 이상을 달성할 수 있다. 균일한 측벽 두께(비-경사진)를 갖는 다른 벌집형 구조체에 비해, 본 명세서에 기술된 경사진 벌집 구조는 TE 및 TM파 모두에 대해 더 높은 반사 손실을 나타낸다.

[0042] 도 6a 및 도 6b는 각각 균일한 측벽 두께를 갖는 4도 경사각 및 규칙적인 벌집 구조를 갖는 벌집 구조에 대한 전 가장 분포가 시뮬레이션된 그래프이다. 도 6b의 규칙적인 벌집 구조와 비교하여, 도 6a의 경사진 벌집 구조에 대한 최대 전기장은 벌집의 상부 에지에 위치하고 파는 더 깊게 이동한다. 경사진 벌집형 구조는 더 많은 전자기파를 구조에 허용하는 반면, 규칙적인 벌집형 구조는 더 많은 전자기파를 반사하는 것으로 해석된다. 비록 전자기파가 임피던스 미스매치(mismatch)로 인한 임의의 불연속적인 계면(예를 들어, 공기/벌집 계면)을 반사할 수 있는 것으로 생각되지만, 경사진 특징은 불연속적인 특성을 완화시키고, 따라서 개선된 반사 손실을 초래하는 것으로 해석된다.

[0044] 실시예3

[0045] 차폐 샘플 평가: 도 5a 내지 도 5c, 도 6a 및 도 6b의 시뮬레이션된 결과를 입증하기 위해 실험적 연구를 수행하였다. 도 7은 벌집 구조의 반사 손실을 측정하기 위한 횡단 전자기(TEM)파를 생성하기 위해 사용되는 자유 공간 측정 시스템의 사진이다. 시스템은 한 쌍의 안테나, 샘플 홀더, 네트워크 분석기 및 신호 처리를 위한 컴퓨터를 갖는다. 스팟-포커싱 혼 렌즈 안테나는 제한된 공간에서 TEM파를 실현하고 회절 효과를 최소화하는데 사용된다. 안테나 및 샘플 홀더를 포함하는 알루미늄 테이블은 각각 1.83 m 및 1.83 m의 길이 및 폭을 갖는다. 테이블은 140mm X 140mm 크기의 벌집 구조를 수용하도록 구성될 수 있다. 사용된 네트워크 분석기는 휴렛-패커드(Hewlett-Packard)사의 HP8722ES였다.

[0046] 전기 신호에 노출된 네트워크의 전기적 거동을 설명하는 S-파라미터의 측정은 8.2-12.4 GHz 파장에서 수행되었다. 물질의 전자기 차폐(SE)는 다음과 같이 계산될 수 있다: 반사에 의한 섀딩, SER, 흡수에 의한 섀드, SEA, 그리고 총 차폐, SET. 차폐는 하기 계수의 관점에서 정의될 수 있다: 반사율(R), 흡광도(A) 및 투과율(T). R 및 T 계수들은 아래의 수학적 식 1에 도시된 바와 같이, 측정된 S-파라미터들(S₁₁ 및 S₂₁)의 크기들로부터 계산될 수 있다. A 계수는 에너지 절약의 법칙에 기초하여 아래의 수학적 식 2로부터 얻을 수 있다.

[0048] [수학적 식 1]

$$R = \frac{P_R}{P_I} = |S_{11}|^2, \quad T = \frac{P_T}{P_I} = |S_{21}|^2$$

[0050] [수학적 식 2]

$$A = 1 - R - T \quad (P_I = P_R + P_A + P_T)$$

[0053] 전자기파의 파워는 입사 P_I, 반사된 P_R, 흡수된 P_A, 및 투과 P_T를 포함한다. SE_T는 데시벨(dB)로 송신된 전력들

로서 정의되기 때문에, 아래 [수학식 3]내지 [수학식 5]에 도시된 바와 같이 SE_R 및 SE_A 의 합에 의해 정의될 수 있다.

[0055] [수학식 3]

$$[0056] \quad SE_R = -10\log(1-R)$$

[0058] [수학식 4]

$$[0059] \quad SE_A = -10\log\frac{T}{(1-R)}$$

[0061] [수학식 5]

$$[0062] \quad SE_T = -10\log T = -10\log(1-R) - 10\log\left(\frac{T}{1-R}\right) = SE_R + SE_A$$

[0065] 차폐 연구는 4개의 별집형 구조에 대해 수행되었다: (1) 일반(regular), 비코팅(uncoated); (2) 기울어진(tilted), 비코팅(uncoated)(경사각 $\theta = 4^\circ$); (3) 일반(regular), 코팅(coated); (4) 기울어진(tilted), 코팅(coated). 코팅은 위에서 설명한 MGNC-MWCNT 코팅이었고 경사각 θ 는 4도와 동일했다. 두 구조 모두 0도와 90도의 입사각 각도에서 연구되었다. 코팅되지 않은 샘플의 차폐 효과는 도 8a에 도시되어 있고, 코팅된 샘플의 차폐 효과는 도 8b에 도시되어 있다. 기울어진, 코팅되지 않은 구조물이 규칙적이고 코팅되지 않은 구조에 비해 더 효과적이었지만, 규칙적이고 기울어진, 코팅되지 않은 구조는 모두 무시할 수 있는 SE_T 을 가지는데, 이는 구조가 나일론(12)(투명 및 전도성)으로부터 제조되고, 이는 그의 열악한 차폐 성능에 대해 공지되어 있다.

[0066] 대조적으로, 도 8b의 모든 코팅된 샘플은 코팅되지 않은 샘플과 비교하여, 그리고 전체 X-밴드 범위에 걸쳐 훨씬 더 높은 차폐 효과를 갖는다. 예를 들어, 8.2 GHz 에서, 정규 구조의 SET는 0.17내지 0.175 dB(코팅되지 않음)에서 31및 29 dB(코팅됨)로 개선되었다. 도 8a의 코팅되지 않은 샘플과 대조적으로, 코팅된 샘플의 차폐 효과는 주파수의 함수로서 증가하였다. 2개의 코팅된 구조(일반의 기울어진(regular and tilted) 구조)에 대한 SE_T 의 현저한 개선은 다중 계면 층 및 갭을 갖는 불균질한 구조의 코팅에 의한 형성으로 인한 것일 수 있으며, 이에 의해 다중-반사를 증가시켜 차폐흡수를 개선시킨다. 더욱이, 코팅 내의 자성 MGNCs는 계면 분극(interfacial polarization)으로 인해 구조의 계면에서 전하를 축적한다.

[0067] 도 8b에 도시된 바와 같이, 0도의 경사각, 코팅된 구조는 0도의 입사에서의 규칙적인 코팅된 구조보다 더 높은 차폐 효과를 가졌다. 유사하게, 90도의 경사각, 코팅된 구조는 90도에서 규칙적인 코팅된 구조보다 더 높은 차폐 효과를 가졌다. 요약하면, 경사각, 코팅된 샘플은 0도 및 90도에서 그리고 X-밴드 범위에 걸쳐서 차폐에서 가장 효과적이었다.

[0068] 도 9a는 도 8b의 모든 코팅된 샘플에 대한 반사, SE_R 에 의한 차폐를 나타낸다. 도 9b는 도 8b의 모든 코팅된 샘플에 대한 차폐부(SE_A)를 도시한다. 경사각 구조는 0및 90도의 규칙적인 구조와 비교하여, X-밴드 범위에 걸쳐 0및 90도에서 SE_R 을 더 낮게 유지하였다. 유사하게, 경사각 구조는 0및 90도에서의 규칙적인 구조와 비교하여, X-밴드 범위에 걸쳐 SE_A 를 더 양호하게 흡수하였다. 흡수 증가 및 반사 감소는 레이더 단면 감소 및 스텔스 기술에 적합한 경사각, 코팅된 별집형 구조를 만든다.

[0069] 따라서 이러한 공시의 적용범위는 추가된 청구범위와 그 법적 등가물에 따라 결정 되어야 한다. 따라서, 본 발명의 범위는 당업자에게 자명할 수 있는 다른 실시예를 완전히 포함하는 것으로 이해될 것이며, 또한, 명시적으로 명시되지 않는 한, 단수형 요소에 대한 언급이 "하나뿐인"을 의미하지 않는 한, 본 공시의 범위는 추가 청구

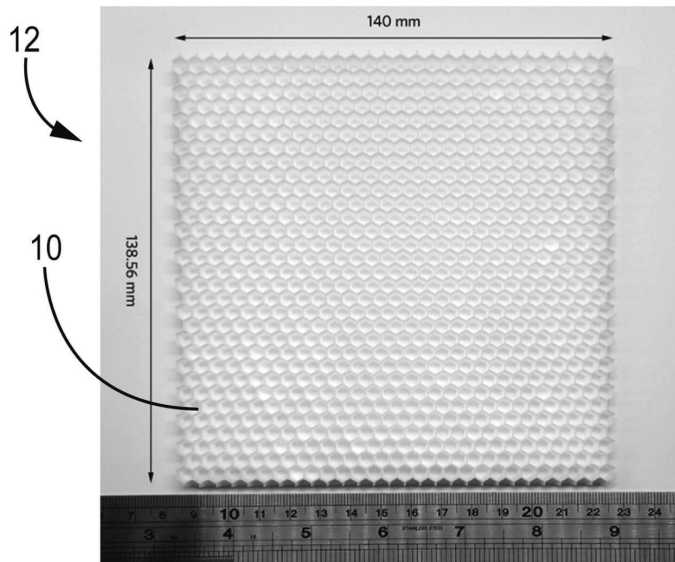
외에 다른 어떤 것도 제한하지 않고, 오히려 "하나 이상"이다. 당업자의 통상적인 기술의 요소들에 대해 공지되는 상술한 바람직한 실시예의 요소에 대한 모든 구조적, 화학적 및 기능적 등가물은 본원에 명시적으로 참조하여 통합되고 본 청구범위에 의해 포괄될 수 있다. 더욱이, 장치 또는 방법이 본 개시내용에 의해 해결하고자 하는 각각의 모든 문제를 해결할 필요는 없으며, 이는 본 발명의 청구범위에 포함된다. 더욱이 본 공시의 어떤 요소, 요소 또는 방법 단계도 청구권에 명시적으로 기재된 요소, 요소 또는 방법 단계와 관계없이 공공에게 전용되도록 의도된 것은 아니다.

[0070] 본 발명의 다양한 바람직한 실시 예들에 대한 설명은 예시 및 설명을 위하여 제시되었다. 본 개시에 대한 철저한 설명 또는 정밀한 실시형태들로 한정하고자 하는 것이 아니며, 명백하게 상기 교시에 비추어 많은 수정 및 변형이 가능하다. 상기에 설명된 예시적인 실시예들은 본 발명의 원리들 및 그의 실제적인 적용을 최상으로 설명하기 위해 선택되고 설명되었으며, 이에 따라 당업자들은 다양한 실시예들에서 그리고 고려되는 특정 용도에 적합한 다양한 변형들을 갖는 다양한 실시예들에서 본 발명을 가장 잘 활용할 수 있게 한다. 본 발명의 범위는 본원에 첨부된 청구범위에 의해 한정되는 것으로 의도된다.

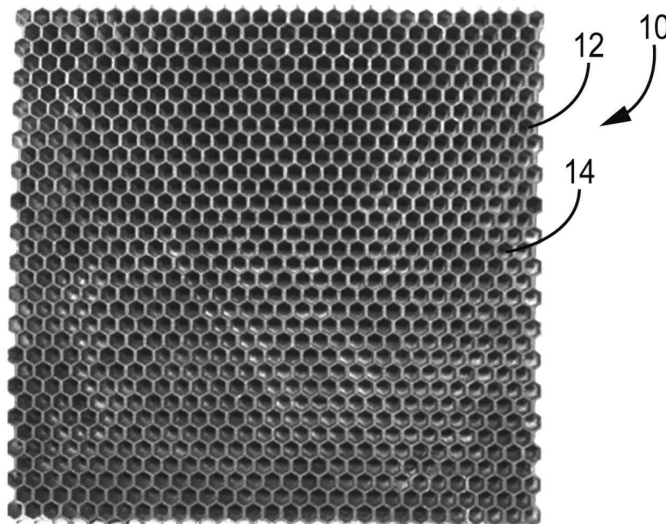
[0071] 다양한 예가 설명되었다. 이러한 예제 및 기타 예제는 이하 청구항의 범위 내에 있다.

도면

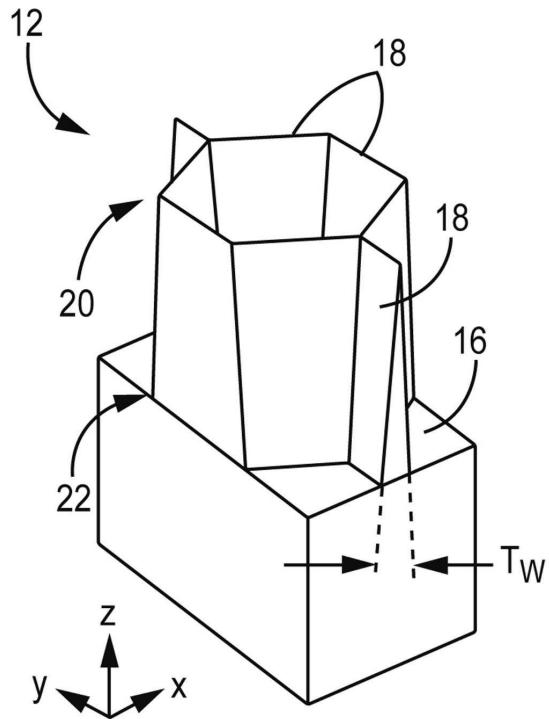
도면1a



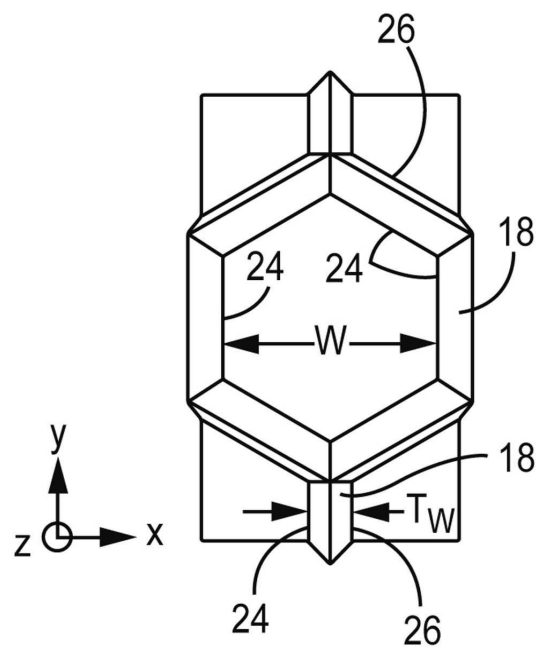
도면1b



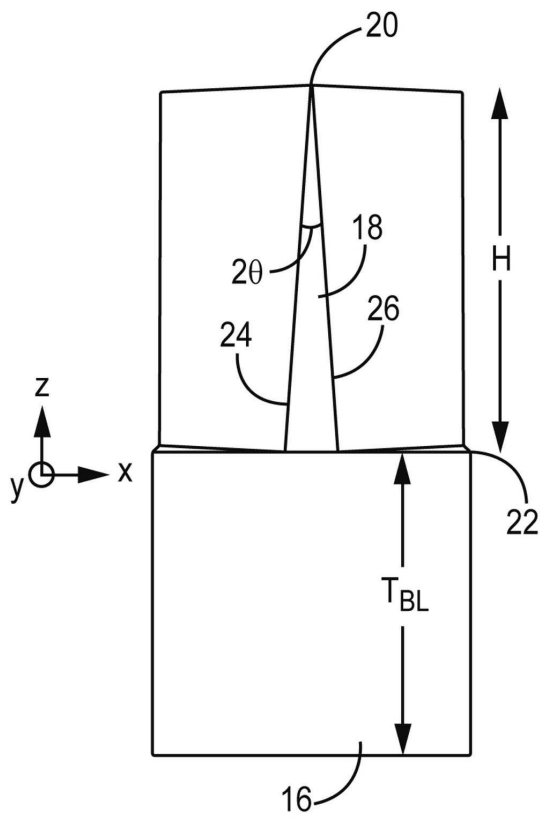
도면1c



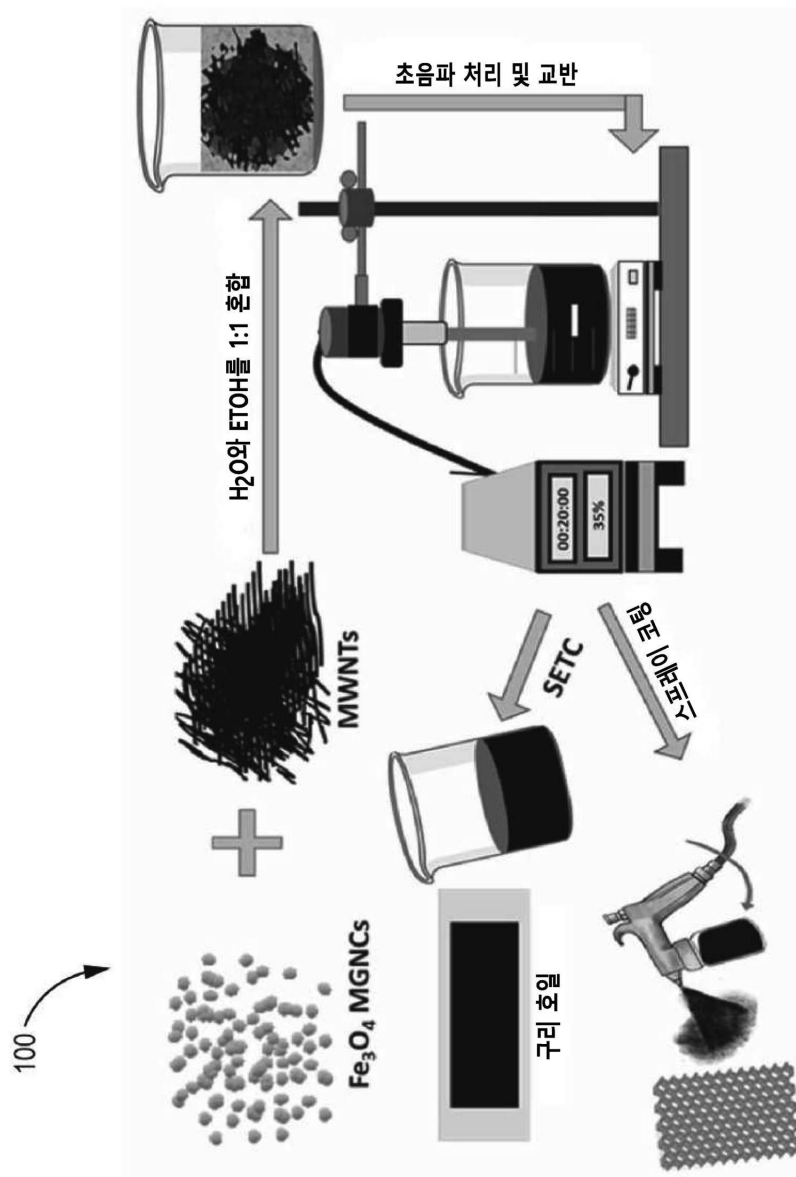
도면1d



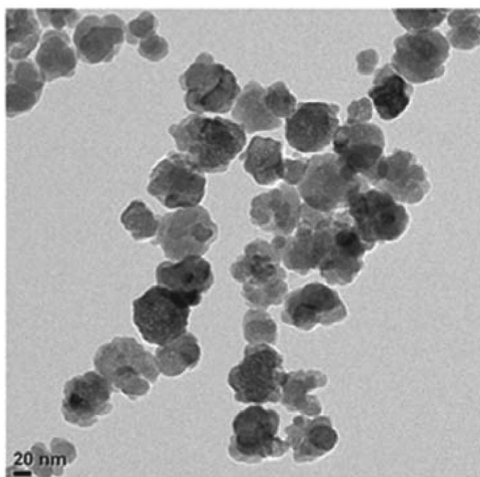
도면1e



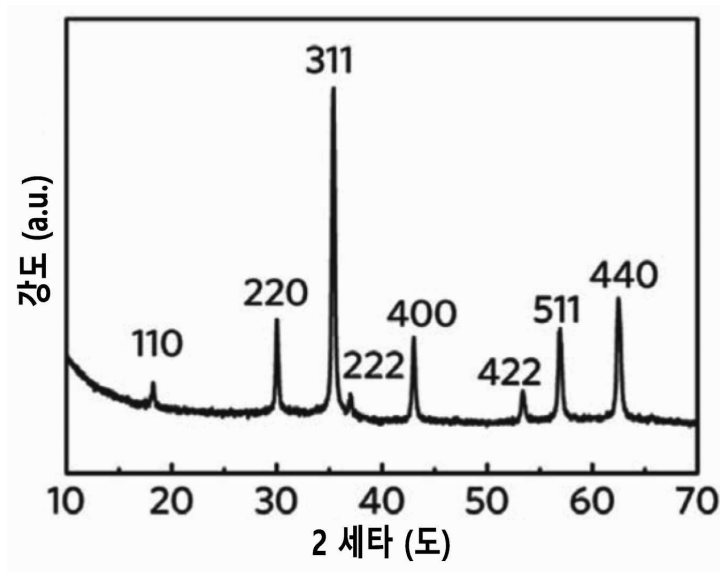
도면2



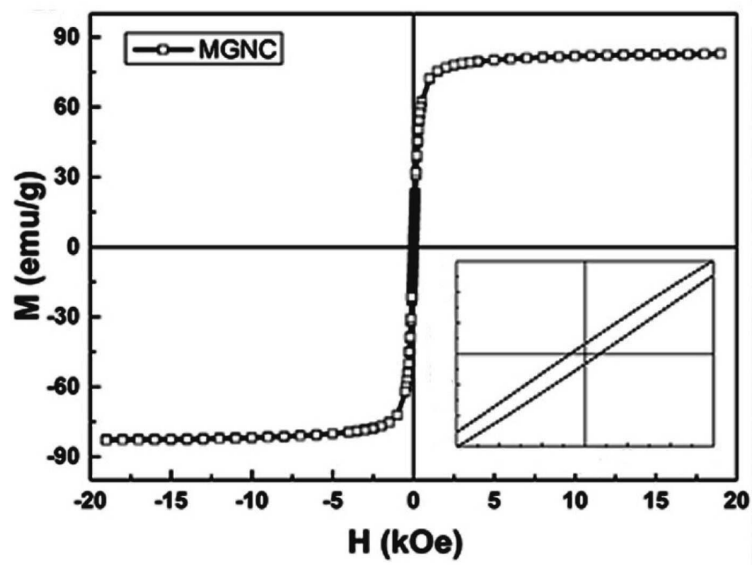
도면3a



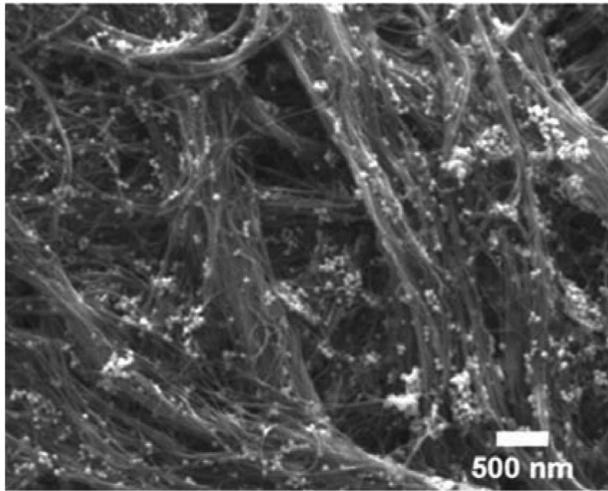
도면3b



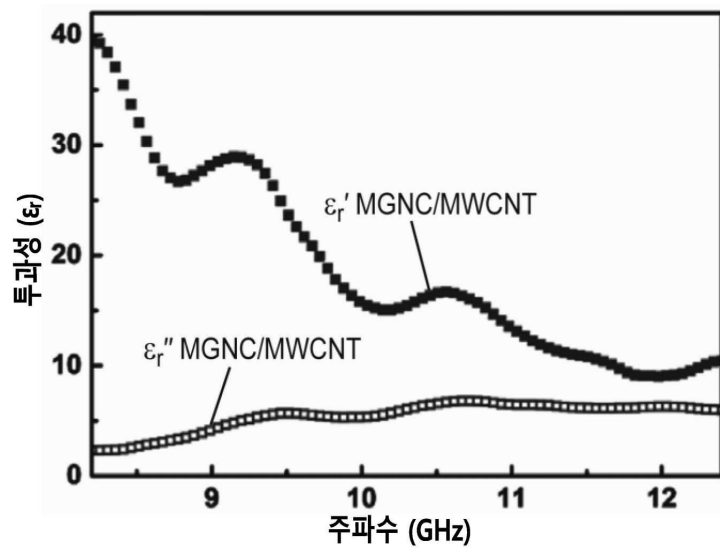
도면3c



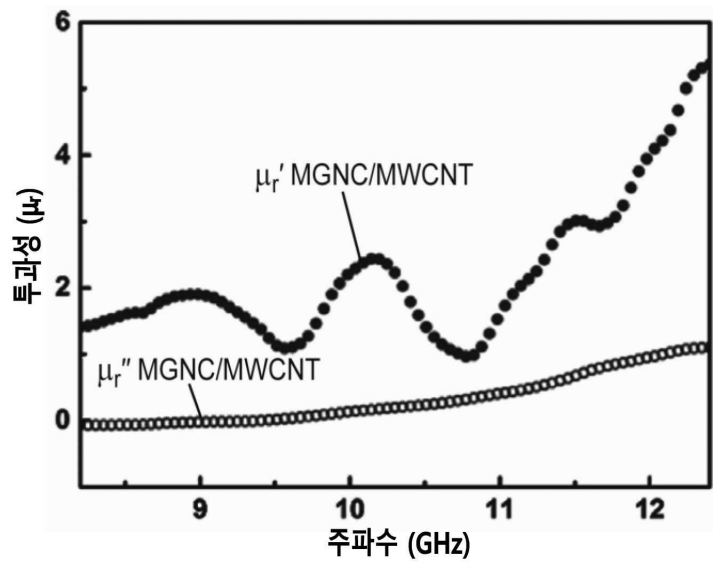
도면3d



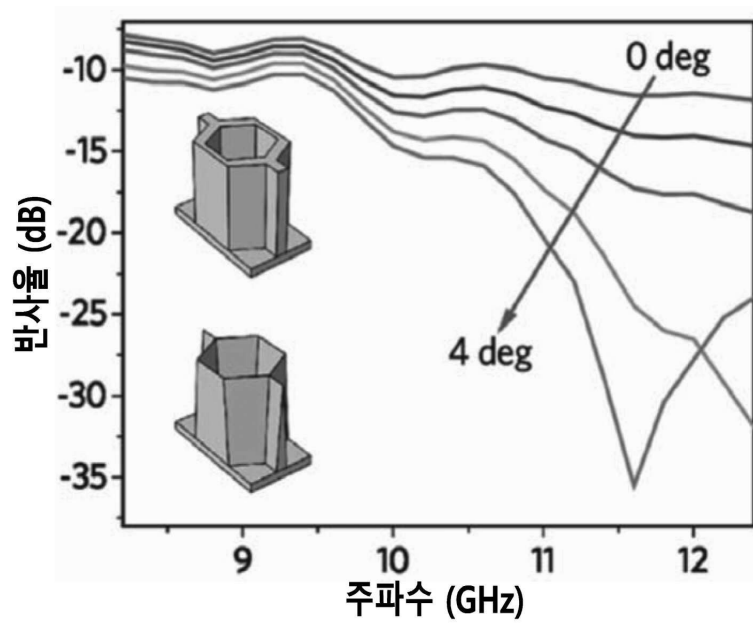
도면4a



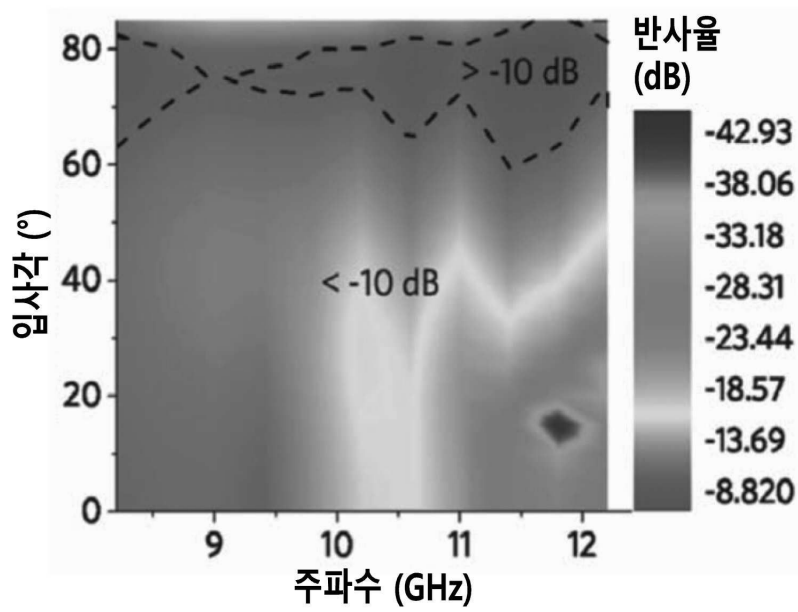
도면4b



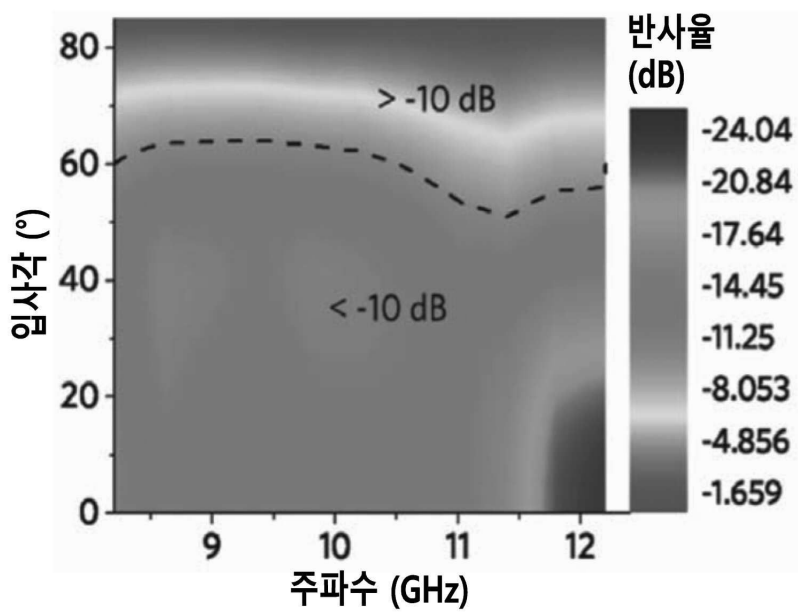
도면5a



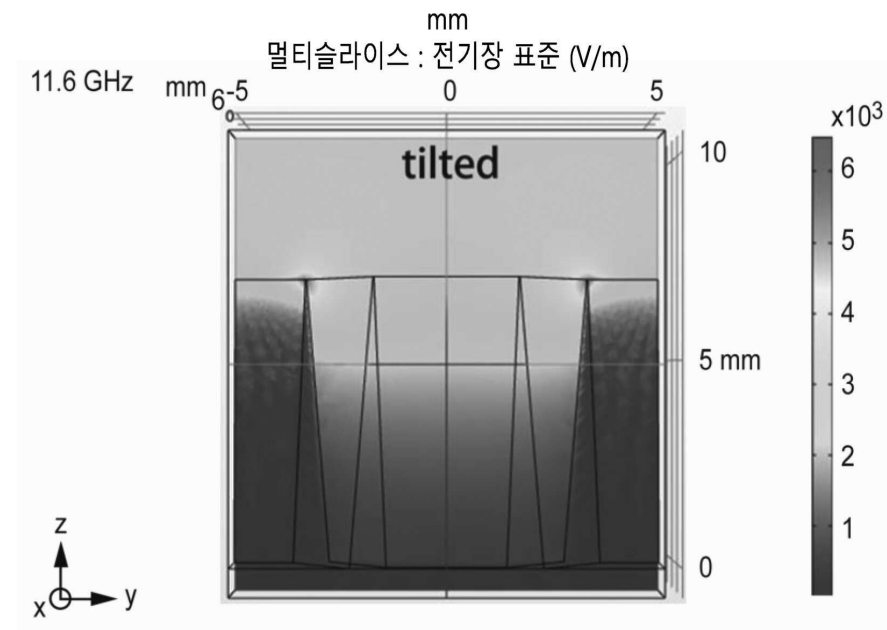
도면5b



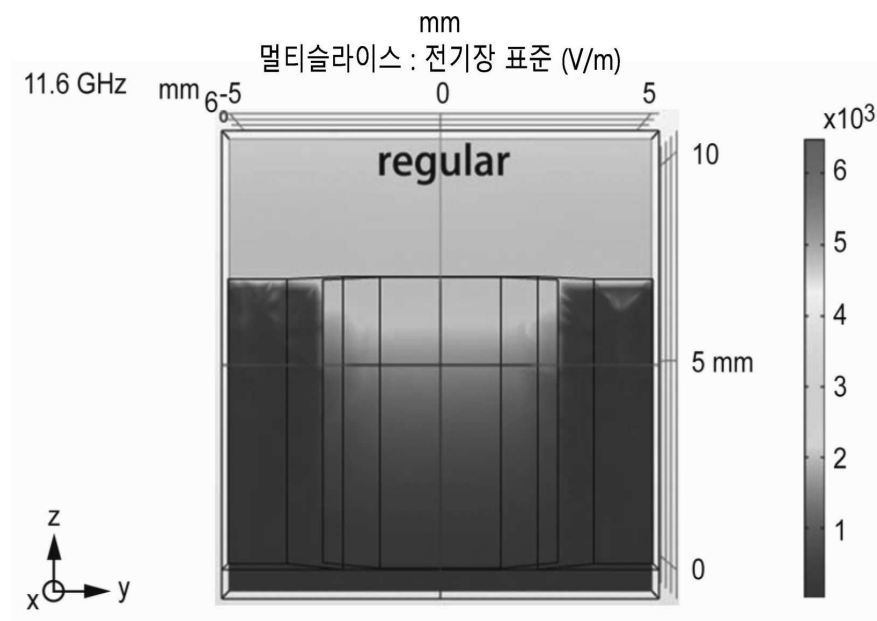
도면5c



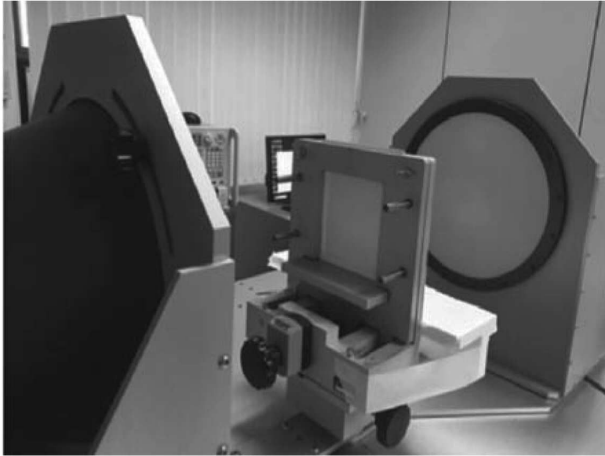
도면6a



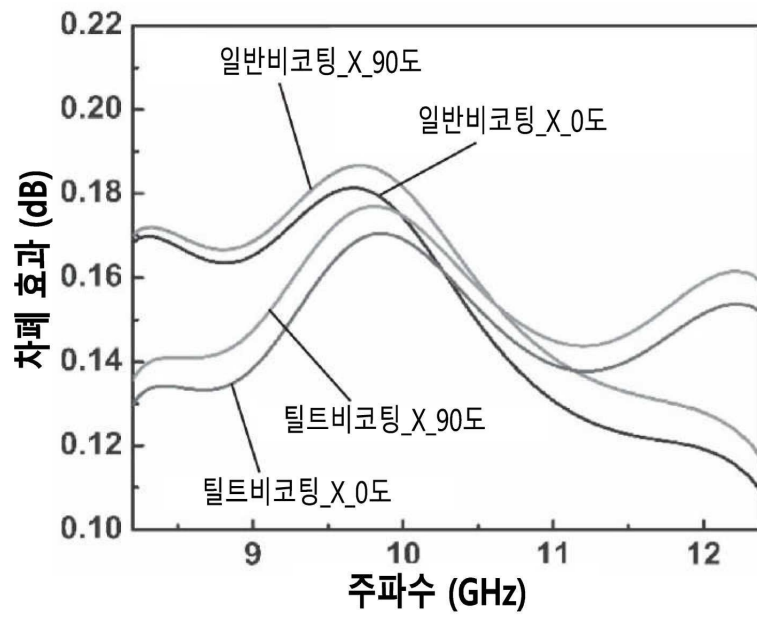
도면6b



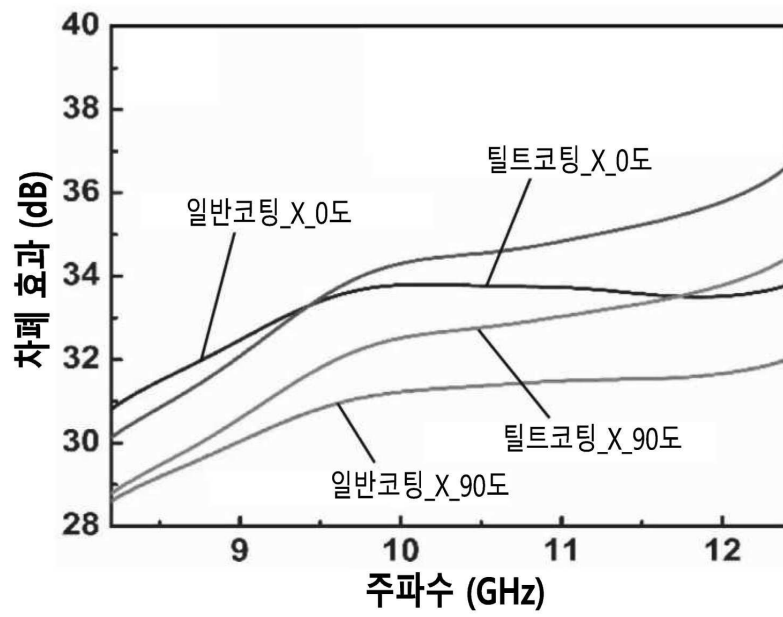
도면7



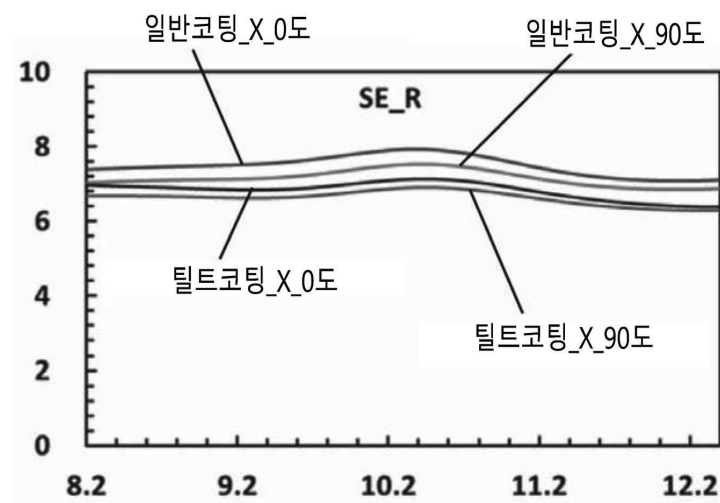
도면8a



도면8b



도면9a



도면 9b

