



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0076349
(43) 공개일자 2018년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 50/12 (2016.01) H02J 7/02 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H02J 50/12 (2016.02)
H02J 7/025 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0180080
(22) 출원일자 2017년12월26일
심사청구일자 2017년12월26일
(30) 우선권주장
1020160180334 2016년12월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경
희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
김정호
대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원
(구성동)
송치억
대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원
(구성동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박영우

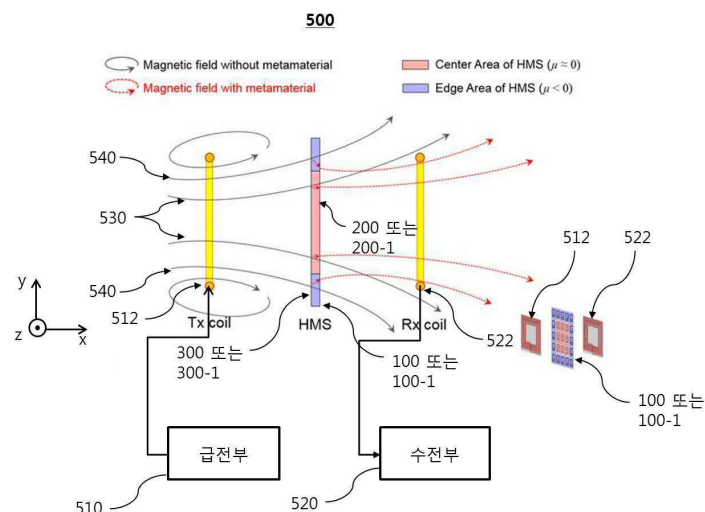
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **고효율의 하이브리드 메타물질 슬래브 구조 및 이를 이용한 무선전력전송 시스템**

(57) 요약

무선전력전송 시스템에서 높은 효율을 가지고 낮은 전자파 방해 잡음을 가지는 하이브리드 메타물질 슬래브(Hybrid meta-material slab: HMS) 구조가 개시된다. 그 HMS의 제1 메타물질부와 제2 메타물질부는 동일 평면상에서 하나의 슬래브를 구성한다. 제1 메타물질부는 중앙부에 위치하며, 근사적으로 0의 투자율을 가지고, 자신에게 입사하는 자기장을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여준다. 제2 메타물질부는 제1 메타물질부를 내포하도록 둘러싸는 외곽부에 위치하며, 음수의 투자율을 가지고, 바깥쪽으로 퍼져나가면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집중시켜준다. 서로 다른 투자율 특성을 가지는 메타물질들을 복합적으로 이용하여 자기장의 방향을 적절하게 제어함으로써 무선전력전송의 효율을 높일 수 있다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

조연제

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원 (구성동)

이성수

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원 (구성동)

이범선

경기도 용인시 기흥구 신촌로47번길 11, 307동 1602호 (보정동, 신촌마을 포스홈타운2단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711039600

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 정보통신기술인력양성

연구과제명 LOS/NLOS 환경에서 3차원 선택적 공간 무선전력전송 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2016.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

중앙부에 위치하며, 근사적으로 0의 투자율을 가지고, 자신에게 입사하는 자기장을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여주는 제1 메타물질부; 및

상기 제1 메타물질부를 내포하도록 둘러싸는 외곽부에 위치하며, 음수의 투자율을 가지고, 바깥쪽으로 퍼지면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집속시켜주는 제2 메타물질부를 포함하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브(Hybrid Meta-material Slab: HMS) 구조.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 하나의 슬래브를 구성하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브 구조.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 슬래브를 복수 개 포함하고, 복수 개의 슬래브들은 상하관계로 적층된 다층 구조로 결합된 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 서로 다른 공진 주파수를 가지는 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제1 메타물질부는 복수의 제1 메타물질 셀이 정방형 매트릭스 형태로 배치된 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제2 메타물질부는 복수의 제2 메타물질 셀을 포함하고, 상기 복수의 제2 메타물질 셀은 상기 제1 메타물질부를 완전히 둘러싸는 사각 고리형태로 배치되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제1 메타물질부를 구성하는 복수의 메타물질 셀 각각의 도체 코일의 턴 수는 상기 제2 메타물질부를 구성하는 복수의 메타물질 셀 각각의 도체 코일의 턴 수보다 더 많은 것을 특징으로 하는 하이브리드 메타물질 슬래브.

청구항 8

소정 주파수의 전류를 흘려 자기장을 송출하는 송전코일을 포함하며, 상기 송전코일을 통해 전력을 무선으로 전송하는 급전부;

상기 송전코일과 이격되어 대면한 상태에서 상기 자기장과의 채교를 통해 전력을 전달받은 수전코일을 포함하며, 상기 급전부가 전송하는 전력을 무선으로 수전하는 수전부; 및

상기 송전코일과 상기 수전코일 사이에 배치되며, 상기 송전코일에서 송출하는 자기장을 굴절시켜 상기 수전코일에 더 많이 집속되게 하는 하이브리드 메타물질 슬래브를 포함하며,

상기 하이브리드 메타물질 슬래브는,

중앙부에 위치하며, 무선전력전송 동작주파수에서 근사적으로 0의 투자율을 가지고, 자신에게 입사하는 자기장

을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여주는 제1 메타물질부; 및

상기 제1 메타물질부를 내포하도록 둘러싸는 외곽부에 위치하며, 상기 무선전력전송 동작주파수에서 음수의 투자율을 가지고, 바깥쪽으로 퍼지면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집속시켜주는 제2 메타물질부를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선전력전송 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 하나의 슬래브를 구성하며, 상기 하이브리드 메타물질 슬래브는 상기 슬래브를 복수 개 포함하고, 복수 개의 슬래브들은 상하관계로 적층된 다층 구조로 결합된 것을 특징으로 하는 무선전력전송 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 무선전력전송 동작주파수는 상기 하이브리드 메타물질 슬래브의 공진주파수보다 더 높은 것을 특징으로 하는 무선전력전송 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선전력전송 또는 무선충전 기술에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 하이브리드 메타물질 슬래브(Hybrid Meta-material Slab: HMS) 구조를 이용한 무선전력전송 또는 무선충전 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선전력전송은 송전코일(1차측 코일)과 수신코일(2차측 코일)의 두 코일 간에 자기유도 현상 또는 자기적 공명 현상을 이용하여 전력을 무선으로 전달하는 기술이다. 두개의 코일을 이용한 종래의 무선전력전송 방식은 두 코일 간의 거리가 멀어지면 결합 계수(coupling coefficient)가 감소하여 전력전달 효율이 떨어지고 누설 자계(leakage magnetic field)가 크게 증가하는 문제가 있다.

[0003] 이 문제를 해결하기 위한 한 가지 방안으로서, 종래의 무선전력전송 방식에 음의 굴절률을 갖는 메타물질을 이용하는 기술이 제안된 바 있다. 메타물질은 자기장의 직진성을 향상시켜 누설 자계를 감소시키는 역할을 할 수 있다.

[0004] 종래의 무선전력전송에 적용한 메타물질은 오직 하나의 공진주파수를 가지는 동일한 메타물질 셀들을 배열하여 구성된 것이었다. 그 메타물질 셀들은 무선전력전송 시스템의 공진주파수에서 동일한 음수의 투자율을 갖는다. 이런 동일한 셀의 배열로 이루어진 메타물질을 사용하면, 급전부의 송전코일에서 발생되어 바깥쪽으로 퍼져나가는 자기장을 수전부의 수신코일이 있는 중앙 쪽으로 더욱 집속시키는 역할을 할 수 있다. 그에 따라 누설 자계를 감소시켜 무선전력전송 시스템의 효율을 높일 수 있다.

[0005] 그런데 종래와 같이 오직 음수의 굴절률을 갖는 한 가지 셀들로 구성된 메타물질은 밖으로 퍼져나가는 자기장은 효율적으로 안으로 집속시켜줄 수 있다. 하지만, 급전부와 수전부의 중앙부, 자기장의 직진성이 유지되어야 하는 부분에서는 효과적으로 역할을 하지 못하는 한계가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 발명자들은 무선전력전송의 효율을 높이기 위해서는 급전부에서 수전부로 진행하는 자기장을 위치에 상관없이 모두 굴절시키는 것보다는 위치에 따라 굴절의 정도를 다르게 제어해줄 필요가 있다는 점을 인식하게 되었다. 즉, 급전부에서 수전부로 향하는 자기장의 전체 성분 중에서 중앙 쪽으로의 굴절이 요구되는 부분과 직진성을 보장해주는 것이 더 좋은 부분이 있다는 점을 알게 되었다.

[0007] 이러한 인식에 기초하여, 본 발명의 제1 목적은 같은 굴절 특성을 갖는 셀들로 구성된 것이 아니라 서로 다른 굴절 특성을 가지는 셀들로 구성된 메타물질을 이용함으로써 자기장의 진행 방향을 더욱 효과적으로 컨트롤 하여 무선 전력 전송의 효율을 향상시킬 수 있는 하이브리드 메타물질 슬래브(Hybrid Meta-material Slab Structure: HMS) 구조를 제공하기 위한 것이다.

[0008] 본 발명의 제2 목적은 또한 서로 다른 공진주파수를 가지는 복수의 메타물질을 이용함으로써 한 가지의 공진주파수를 갖는 메타물질 셀보다 자기장의 방향을 더 효과적으로 컨트롤 할 수 있는 무선전력전송 시스템을 제공하기 위한 것이다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상술한 과제들에 한정되는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위에서 다양하게 확장될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 제1 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예들에 따른 하이브리드 메타물질 슬래브(Hybrid Meta-material Slab: HMS) 구조는 제1 메타물질부와 제2 메타물질부를 포함한다. 제1 메타물질부는 중앙부에 위치하며, 근사적으로 0의 투자율을 가지고, 자신에게 입사하는 자기장을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여준다. 제2 메타물질부는 상기 제1 메타물질부를 내포하도록 둘러싸는 외곽부에 위치하며, 음수의 투자율을 가지고, 바깥쪽으로 퍼지면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집중시켜준다.

[0011] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 하나의 슬래브를 구성할 수 있다.

[0012] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 HMS는 상기 슬래브를 복수 개 포함할 수 있고, 그 복수 개의 슬래브들은 상하관계로 적층된 다층 구조로 결합될 수 있다.

[0013] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 서로 다른 공진 주파수를 가질 수 있다.

[0014] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제1 메타물질부는 복수의 제1 메타물질 셀이 정방형 매트릭스 형태로 배치된 것일 수 있다.

[0015] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제2 메타물질부는 복수의 제2 메타물질 셀을 포함할 수 있고, 상기 복수의 제2 메타물질 셀은 상기 제1 메타물질부를 완전히 둘러싸는 사각 고리형태로 배치될 수 있다.

[0016] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제1 메타물질부를 구성하는 복수의 메타물질 셀 각각의 도체 코일의 턴 수는 상기 제2 메타물질부를 구성하는 복수의 메타물질 셀 각각의 도체 코일의 턴 수보다 더 많을 수 있다.

[0017] 한편, 상기 제2 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예들에 따른 무선전력전송 시스템은 급전부, 수전부, 그리고 HMS를 포함한다. 상기 급전부는 소정 주파수의 전류를 흘려 자기장을 송출하는 송전코일을 포함하며, 상기 송전코일을 통해 전력을 무선으로 전송한다. 상기 수전부는 상기 송전코일과 이격되어 대면한 상태에서 상기 자기장과 쇄교를 통해 전력을 전달받은 수전코일을 포함하며, 상기 급전부가 전송하는 전력을 무선으로 수전한다. 상기 HMS는 상기 송전코일과 상기 수전코일 사이에 배치되며, 상기 송전코일에서 송출하는 자기장을 굴절시켜 상기 수전코일에 더 많이 집중되게 한다. 또한, 상기 하이브리드 메타물질 슬래브는, 중앙부에 위치하며, 무선전력전송 동작주파수에서 근사적으로 0의 투자율을 가지고, 자신에게 입사하는 자기장을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여주는 제1 메타물질부; 및 상기 제1 메타물질부를 내포하도록 둘러싸는 외곽부에 위치하며, 상기 무선전력전송 동작주파수에서 음수의 투자율을 가지고, 바깥쪽으로 퍼지면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집중시켜주는 제2 메타물질부를 포함한다.

[0018] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 제1 메타물질부와 상기 제2 메타물질부는 하나의 슬래브를 구성할 수 있다. 상기 하이브리드 메타물질 슬래브는 상기 슬래브를 복수 개 포함할 수 있다. 상기 복수 개의 슬래브들은 상하관계로 적층된 다층 구조로 결합될 수 있다.

[0019] 예시적인 실시예에 있어서, 상기 무선전력전송 동작주파수는 상기 하이브리드 메타물질 슬래브의 공진주파수보다 더 높을 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 HMS를 이용하면 자기장의 방향을 더욱 효과적으로 제어할 수 있다. 무선전력전송 시스템에 있어서 자기장의 직진성이 중요하게 요구되는 급전부와 수전부 사이에 HMS를 배치하여 전력전송효율을 향상시킬 수 있다. 급전부와 수전부 사이의 중앙부에는 투자율이 0인 제1 메타물질부가 배치됨으로써 효과적으로 자기장의 직진성을 향상시킬 수 있다. 또한 자기장이 바깥쪽으로 퍼져 누설되는 외곽부에는 투자율이 음수인 제2 메타물질부가 배치됨으로써, 그 바깥쪽으로 퍼져나가는 자기장을 안쪽으로 굴절시켜 수전부 쪽으로 더 많이 집중되도록

록 해준다. 이를 통해 수신코일을 통과하는 자기장의 양을 늘릴 수 있어 무선전력전송의 효율을 높일 수 있다. 이와 같이 위치에 따라 다른 투자율을 갖는 복수 개의 메타물질을 사용함으로써, 종래처럼 음수의 투자율을 갖는 한 가지의 메타물질을 사용하는 것보다 훨씬 높은 무선전력전송 효율을 가지는 무선전력전송 시스템을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 실험적으로 제작된 7x7의 셀 구조를 갖는 HMS를 촬영한 사진이다
- 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따라 실험적으로 제작된 5x5의 셀 구조를 갖는 HMS과 단위 셀 하나를 촬영한 사진이다.
- 도 3의 (A)와 (B)는 자기장이 투자율(permeability)이 음수인 물질과 투자율이 0인 물질을 만났을 때 그 자기장의 굴절 특성을 각각 나타낸다.
- 도 4의 (A)와 (B)는 메타물질의 실수와 허수 투자율의 특성을 예시적으로 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 두 종류의 서로 다른 투자율을 갖는 메타물질들을 섞어서 구성한 HMS의 투자율 그래프를 예시한다.
- 도 6은 무선충전 시스템의 급전부의 송신코일과 수전부의 수신코일 사이에 본 발명의 실시예에 따른 HMS를 배치한 경우의 급전부에서 수전부로 향하는 자기장의 굴절 특성에 관한 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.
- [0023] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하면서 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 구체적으로 설명한다.
- [0024] 메타물질은 무선전력전송의 효율을 높이기 위해 무선전력전송 시스템에 이용될 수 있다. 무선전력전송 시스템에 메타물질을 적용함에 있어서, 그 메타물질의 구조가 일단 설계되고 나면 그것을 통과하는 자기장의 방향성은 그 메타물질 구조의 설계 조건에 따라 고정된다. 메타물질은 일반적으로 플라스틱과 금속 같은 복합물질들을 이용하여 구성되는 복합요소들의 집합체이다. 그 물질들은 대개 전자기파의 파장보다 더 짧은 스케일로 반복되는 패턴으로 배치될 수 있다. 메타물질의 특성은 기본 물질의 특성으로부터가 아니라 그들의 새롭게 설계된 구조로부터 생겨난다. 즉, 메타물질의 정확한 형상, 기하학적 구조, 크기, 방향성 그리고 배열이 전자기파를 차단, 흡수, 강화, 또는 굴절시키는 등의 조작할 수 있는 특성을 결정한다. 특정 구조로 설계된 메타물질 셀은 오직 한 가지의 공진주파수만을 갖고, 그 메타물질 셀들만을 반복 배치한 메타물질도 그 한 가지 공진주파수를 가진다. 이런 메타물질을 무선충전시스템에 적용하면, 급전부에서 수전부로 진행하는 자기장에 대하여 오로지 동일한 굴절 특성을 보일뿐이다.
- [0025] 무선전력전송 시스템에 있어서 전력 전송 효율을 높이기 위해서는, 급전부에서 수전부로 향해 송출된 자기장의 중앙부는 직진성을 보장하는 것이 중요하고 그 자기장의 외곽부는 자기장의 누설을 최소화하기 위한 굴절되게 하는 것이 중요하다. 하지만 오직 한 가지의 공진주파수만을 갖는 메타물질로는 이 두 가지 요구를 모두 충족시킬 수 없다. 즉, 동일한 메타물질 셀로 이루어진 메타물질은 급전부에서 수전부로 향하는 제1 방향에서 바깥쪽(즉, 법선방향 쪽)으로 휘어서 퍼져나가는 자기장을 다시 중앙부 쪽 즉, 제1 방향 쪽으로 집속시키는 역할을 하여 시스템 효율을 높이고 누설 자기장을 낮추는 역할을 할 수 있다. 하지만 그 메타물질은 자기장 직진성이 증시되는 시스템 중앙부에는 상대적으로 효율과 누설자기장에 효과를 나타내지 못하는 한계가 있다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따라 실험적으로 제작된 7x7의 셀 구조를 갖는 제1 HMS(100)를 촬영한 사진이다. 이 실시예에 따른 제1 HMS(100)는 위와 같은 한계를 극복하기 위한 메타물질의 구조를 갖는다.

- [0027] 도 1을 참조하면, 제1 HMS(100)는 제1 메타물질부(200)와 제2 메타물질부(300)를 포함할 수 있다.
- [0028] 제1 메타물질부(200)는 제1 HMS(100)의 가운데 부분에 배치될 수 있다. 예시적인 실시예에 따르면, 제1 메타물질부(200)는 정방향 매트릭스 형태로 배치된 복수의 제1 메타물질 셀(210)들을 포함할 수 있다. 도 1에는 9개의 제1 메타물질 셀(210)이 3x3의 매트릭스 형태로 배치된 경우를 예시한다. 각각의 제1 메타물질 셀(210)은 무선 전력전송 동작주파수에서 근사적으로 0의 투자율을 가지도록 설계될 수 있다. 각각의 제1 메타물질 셀(210)은 자신에 입사하는 자기장을 수평방향(도 1에서는 지면 속으로 향하는 방향, 즉 $-z$ 방향)으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여주는 작용을 할 수 있다.
- [0029] 제2 메타물질부(300)는 제1 메타물질부(200)를 내포하도록 완전히 둘러싸도록 외곽부분에 배치될 수 있다. 예시적인 실시예에 따르면, 제2 메타물질부(300)는 제1 메타물질부(200)를 완전히 둘러싸는 사각고리 형태로 배치된 복수의 제2 메타물질 셀(310)들을 포함할 수 있다. 도 1에는 40개의 제2 메타물질 셀(310)들이 2열의 사각고리 형태로 배치된 경우를 예시한다. 각각의 제2 메타물질 셀(310)은 무선전력전송 동작주파수에서 음의 투자율을 가지도록 설계될 수 있다. 각각의 제2 메타물질 셀(310)은 바깥쪽으로 퍼지면서 자신에게 입사하는 자기장의 진행방향을 안쪽으로 굴절되게 하여 집중시켜줄 수 있다.
- [0030] 예시적인 실시예에 따르면, 제1 메타물질부(200)와 제2 메타물질부(300)는 동일 평면상에 일체화된 하이브리드 메타물질 슬래브(HMS) 구조일 수 있다. 도 1의 HMS(100)는 가로 길이(x_1)와 세로 길이(y_1)가 동일한 정사각형 슬래브일 수 있다. 이처럼 도 1의 HMS(100)는 투자율이 0인 제1 메타물질 셀(210)들과 투자율이 음수인 제2 메타물질 셀(310)들을 영역을 구분하여 조합한 구조를 갖는다. 이런 HMS(100)에 따르면, 제1 메타물질부(200)는 무선전력전송 시스템의 중앙부 영역에 대응할 수 있다. 제2 메타물질부(300)는 무선전력전송 시스템의 외곽부 영역에 대응할 수 있다.
- [0031] 도 2는 본 발명의 제2 실시예에 따라 실험적으로 제작된 5x5의 셀 구조를 갖는 HMS(100-1)와 단위 셀 하나를 촬영한 사진이다.
- [0032] 도 2를 참조하면, 이 실시예에 따른 제2 HMS(100-1)도 가운데 부분에 배치되는 제1 메타물질부(200-1)와 이 제1 메타물질부(200-1)를 완전히 둘러싸는 사각고리 형태의 제2 메타물질부(300-1)를 포함하는 하이브리드 메타물질 슬래브(HMS) 구조라는 점에서는 도 1에 도시된 제1 HMS(100)와 같다. 무선전력전송 동작주파수에서, 제1 메타물질부(200-1)를 구성하는 복수 개의 제1 메타물질 셀(210-1)의 투자율은 근사적으로 0이고, 제2 메타물질부(300-1)를 구성하는 복수 개의 제2 메타물질 셀(310-1)의 투자율은 음수인 점 또한 제1 HMS(100)와 같다. 다만, 제2 메타물질부(300-1)를 구성하는 제2 메타물질 셀(310-1)들이 2줄이 아니라 1줄의 사각고리 형태로 배치된 점에서 차이가 있다.
- [0033] 제2 실시예에 있어서, 제2 메타물질 셀(310-1)은 사각형의 유전체 기관(312)과, 그 유전체 기관(312)의 표면 위에 사각 나선형으로 적층된 박막형 도체 코일(314)을 포함할 수 있다. 유전체 기관(312)은 예컨대 인쇄회로기판(PCB)일 수 있다. 제1 메타물질 셀(210-1)도 제2 메타물질 셀(310-1)과 동일한 형태로 구성될 수 있다. 다만, 유전체 기관(312)에 적층되는 박막형 도체 코일(314)의 턴 수를 다르게 함으로써 투자율을 다르게 할 수 있다. 예시적인 실시예에 따르면, 제1 메타물질 셀(210-1)의 도체 코일의 턴(turn) 수는 예컨대 18 턴으로 하고, 제2 메타물질 셀(310-1)의 경우는 이보다 적은 14.5 턴으로 할 수 있다. 이러한 차이로 인해, 무선전력전송 동작주파수에서 제1 메타물질부(210, 또는 210-1)의 투자율은 0이 되고, 제2 메타물질부(310, 또는 310-1)의 투자율은 음수가 될 수 있다. 그에 따라 제1 메타물질부(210, 또는 210-1)와 제2 메타물질부(310, 또는 310-1)는 서로 다른 공진 주파수를 가질 수 있다. 이처럼, 메타물질부의 투자율을 결정짓는 것은 메타물질을 구성하고 있는 코일의 턴 수, 즉 인덕턴스라고 할 수 있다.
- [0034] 제1 실시예에 따른 제1 HMS(100)의 제1 메타물질 셀(210) 및 제2 메타물질 셀(310)은 위에서 설명한 제2 실시예에 따른 제2 HMS(100-1)의 제1 메타물질 셀(210-1) 및 제2 메타물질 셀(310-1)과 같은 형태로 구성될 수 있다.
- [0035] 예시적인 실시예에 따르면, 제1 HMS(100)와 제2 HMS(100-1)는 각각 단층 구조로 구성될 수 있다. 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제1 HMS(100)와 제2 HMS(100-1)는 각각 다층 구조로 구성될 수도 있다. 다층 구조는 도 1에 도시된 제1 HMS(100) 또는 도 2에 도시된 제2 HMS(100-1)를 복수 개 마련하고 그것들을 상하관계로 적층된 형태로 결합하여 구성할 수 있다.
- [0036] 제2 HMS(100-1) 역시 투자율이 근사적으로 0인 중앙부의 제1 메타물질부(200-1)는 거기로 입사되는 자기장을 수평방향으로 진행하도록 굴절시켜 자기장 방향의 직진성을 높여주고, 투자율이 0보다 작은 외곽부의 제2 메타물질부(300-1)는 거기로 입사되는 자기장의 진행방향이 안쪽을 향하도록 굴절시켜줄 수 있다.

- [0037] 도 3의 (A)와 (B)는 자기장이 투자율(permeability)이 음수인 물질과 투자율이 0인 물질을 만났을 때 그 자기장의 굴절 특성을 각각 나타낸다.
- [0038] 도 3의 (A)에 도시된 것처럼, 자기장이 양의 투자율($\mu_1 > 0$)을 갖는 제1 매질(410)에서 바깥쪽 방향으로 발산 하듯이 진행하다가 음의 투자율($\mu_2 < 0$)을 갖는 제2 매질(420)을 만나면, 그 제2 매질(420)에서는 안쪽 방향으로 진행하도록 그 두 매질(410, 420)의 경계면에서 자기장의 진행방향이 안쪽 방향으로 굴절될 수 있다. 예컨대 제1 매질(410)이 제2 및 제3 사분면에 위치하고, 제2 매질(420)이 제1 및 제4 사분면에 위치하는 경우를 가정할 때, 제1 매질(410) 내에서 '제3 사분면-->제1 사분면 방향'으로 진행하는 자기장이 제2 매질(420)을 만나면 그 진행 방향이 '제2 사분면-->제4 사분면 방향'으로 굴절될 수 있다.
- [0039] 도 3의 (B)에 도시된 것처럼, 투자율이 음인 제2 매질(420) 대신에 0의 투자율($\mu_2 = 0$)을 갖는 제3 매질(430)이 양의 투자율($\mu_1 > 0$)을 갖는 제1 매질(410)과 접한 경우를 고려한다. 자기장이 제1 매질(410)에서 제3 매질(430) 쪽으로 위와 동일한 방향으로 진행하다가 제3 매질(430)을 만나면, 즉 자기장이 바깥쪽으로 발산하는 방향으로 입사하면, 제3 매질(430)에서는 그 자기장이 수평방향(+x 방향 즉, 두 매질의 경계선과 직교하는 방향)으로 진행하도록 그 자기장이 그 두 매질(410, 430)의 경계부에서 굴절된다. 예컨대 제1 매질(410)이 제2 및 제3 사분면에 위치하고, 제3 매질(430)이 제1 및 제4 사분면에 위치하는 경우를 가정할 때, 제1 매질(410) 내에서 '제3 사분면-->제1 사분면 방향'으로 진행하는 자기장이 제3 매질(430)을 만나면 그 진행 방향이 '두 매질(410, 430)의 경계면에 대한 법선 방향(+x축 방향)'으로 굴절될 수 있다.
- [0040] 도 3으로부터 투자율이 음수인 매질(420)은 퍼져나가는 자기장을 집중해줄 수 있고, 투자율이 0인 매질(430)은 들어온 자기장을 직진하게 만들어 줄 수 있다는 점을 확인할 수 있다. 자기장의 방향성은 스넬의 법칙(Snell's Law)에 의해 결정된다. 이는 서로 접하는 두 메타물질의 투자율의 크기에 따라 결정됨을 의미한다.
- [0041] 같은 크기의 메타물질 셀도 다른 공진주파수를 가질 수 있다. 그 이유는 메타물질의 공진주파수는 캐패시턴스와 인덕턴스로 인해서 결정되기 때문이다. 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 캐패시턴스는 박막형 도체 코일(314)의 기생 캐패시턴스로 사용할 수 있고, 인덕턴스는 박막형 도체 코일(314)로 조절할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 박막형 도체 코일(314)의 턴 수를 조절해가면서 인덕턴스의 변화를 줄 수 있다. 그 결과 메타물질의 공진주파수의 변화를 가져올 수 있다. 박막형 도체 코일(314)의 턴 수가 다른 메타물질들은 동일한 주파수(예컨대 6.78 MHz)에서 다른 투자율을 가질 수 있음을 의미한다. 예시적인 실시예에 따르면, 제1 메타물질부(200 또는 200-1)를 구성하는 메타물질 셀(210, 또는 210-1)의 도체 코일의 턴 수는 제2 메타물질부(300 또는 300-1)를 구성하는 메타물질 셀(310 또는 310-1)의 도체 코일의 턴 수보다 더 많을 수 있다. 이렇게 제1 메타물질부(200 또는 200-1) 및 제2 메타물질부(300 또는 300-1)를 구성하는 메타물질 셀의 박막형 도체 코일(314)의 턴 수 조절을 통해 인덕턴스 값을 다르게 할 수 있다. 그에 따라, 특정 주파수 예컨대 6.78 MHz 기준으로 0의 투자율을 갖는 제1 메타물질부(200 또는 200-1)와 음의 투자율을 갖는 제2 메타물질부(300 또는 300-1)를 구성할 수 있다. 그리고 그 0의 투자율을 갖는 제1 메타물질부(200 또는 200-1)는 중앙에 배치하고, 음의 투자율을 갖는 제2 메타물질부(300 또는 300-1)는 외곽에 배치할 수 있다.
- [0043] 예시적인 실시예에 따르면, 무선전력전송 동작주파수는 HMS(100 또는 100-1)의 공진주파수보다 더 높을 수 있다. 일반적인 메타물질의 공진주파수는 수백 MHz에서 GHz에 이를 수 있다. 이와 같이 높은 공진주파수를 낮추기 위해 기생 캐패시턴스를 높이는 것이 효과적이다. 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 기생 캐패시턴스를 높이기 위해 더 높은 유전율을 가지는 유전체 기판(312)을 사용할 수 있다. 일반적인 PCB에서 사용되는 FR4 재질은 3.8 ~ 4.2 정도의 유전율을 가진다. 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 메타물질은 약 10의 유전율을 가지는 CER-10의 유전체 기판(312)을 사용할 수 있다. 더 높은 유전율을 가지는 기판을 사용한다면 보다 효과적으로 낮은 공진주파수를 가지는 메타물질을 설계할 수 있다. 무선전력전송(WPT) 동작 주파수가 예컨대 6.78 MHz이므로 CER-10(유전율 10) 기판으로도 충분히 원하는 수준으로 공진주파수를 낮출 수 있다.
- [0044] 도 4의 (A)와 (B)는 메타물질의 실수와 허수 투자율의 특성을 각각 예시적으로 나타내는 그래프이다.
- [0045] 메타물질의 특성에는 위에서 살펴본 공진주파수 외에 자기장 손실이 있다. 메타물질의 투자율은 실수와 허수부로 나누어질 수 있다. 여기서, 자기장의 방향을 결정짓는 것은 투자율의 실수부이고, 허수부는 자기장 손실에 해당한다. 도 4에 도시된 것과 같이 실수부와 허수부의 공진이 같이 일어날 수 있다. 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 자기장의 손실을 최대한 낮추기 위해 메타물질의 공진주파수는 예컨대 5.36 MHz로 낮출 수 있다. 이에 의해, 메타물질 구조의 단위 셀이 무선전력전송 동작주파수인 6.78 MHz에서 투자율의 실수부 값이 -0.1이고 허수부 값이 0.025이어서 거의 0에 가까운 투자율을 가질 수 있다. 음수인 투자율을 만들 때도 마찬가지로

직접적인 메타물질의 공진을 사용하기보다는 손실을 피하게 위해 메타물질의 공진을 피해 허수부는 0에 가깝고 실수부가 음수인 부분을 사용할 수 있도록 설계할 수 있다. 그 결과, 본 발명의 실시예에 따른 메타물질 슬래브 구조는 저손실 조건과 음의 비유전율을 만족할 수 있다.

[0046] 도 5는 두 종류의 서로 다른 투자율을 갖는 메타물질들을 섞어서 구성한 HMS의 투자율 그래프를 예시한다.

[0047] 도 5를 참조하면, 붉은색 그래프와 분홍색 그래프는 제1 메타물질부(200, 200-1)의 투자율의 실수부와 허수부를 각각 나타낸다. 파란색 그래프와 하늘색 그래프는 제2 메타물질부(300, 300-1)의 투자율의 실수부와 허수부를 각각 나타낸다. 무선전력전송 주파수인 6.78 MHz에서 제1 메타물질부(200, 200-1)의 투자율은 근사적으로 0이고, 제2 메타물질부(300, 300-1)의 투자율은 음수가 됨을 보여준다.

[0048] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 HMS(100 또는 100-1)를 활용한 무선전력전송 시스템(500)에서 HMS(100 또는 100-1)에 의한 자기장의 변화를 나타낸다.

[0049] 도 6을 참조하면, 무선전력전송 시스템(500)은 급전부(510)와 수전부(520)를 포함할 수 있다.

[0050] 급전부(510)는 소정 주파수의 전류를 흘려 자기장을 송출하는 송전코일(512)을 포함하며, 그 송전코일(512)을 통해 전력을 무선으로 전송할 수 있다. 수전부(520)는 급전부(510)가 전송하는 전력을 무선으로 수신할 수 있다. 이를 위해 수전부(520)는 수전코일(522)을 포함할 수 있다. 수전코일(522)은 송전코일(512)과 이격되어 대면한 상태에서 송전코일(512)이 송출한 자기장과의 채교를 통해 전력을 전달받을 수 있다.

[0051] 무선전력전송 시스템(500)은 HMS(100 또는 100-1)를 포함할 수 있다. HMS(100 또는 100-1)는 송전코일(512)과 수전코일(522) 사이에 배치되어, 송전코일(512)에서 송출하는 자기장을 위에서 설명한 형태로 굴절시켜 수전코일(522)에 더 많이 집속되게 할 수 있다. HMS(100 또는 100-1)의 중심은 송전코일(512) 및 수전코일(522)의 중심과 일치할 수 있다.

[0052] 송전 코일(Tx coil)(512)에서 발생된 자기장의 자속 중 HMS(100 또는 100-1)의 중앙에 위치하는 제1 메타물질부(200 또는 200-1)로 입사하는 자속(530)은 약간만 굴절되어 거의 수평방향(즉, +x 방향)으로 진행하여 수전코일(Rx coil)(522)와 채교될 수 있다. 제1 메타물질부(200 또는 200-1)는 투자율이 근사적으로 0의 값이므로 통과하는 자기장의 손실량이 매우 작지만, 자기장을 약간만 굴절시켜도 누설 자속없이 수전코일(Rx coil)(522)와 전 부 채교할 수 있다. 자기장을 과도하게 굴절시키지 않아도 되므로 전력전송 효율을 높일 수 있다.

[0053] 송전 코일(Tx coil)(512)에서 발생된 자기장의 자속 중 HMS(100 또는 100-1)의 외곽부에 위치하는 제2 메타물질부(300 또는 300-1)로 입사하는 자속(540)은 더 많이 굴절된다. 왜냐하면 제2 메타물질부(300 또는 300-1)는 음의 투자율을 가지기 때문이다. 많은 굴절에 의한 자기장 손실이 생길 수는 있지만, 그 굴절에 의해 수전코일(Rx coil)(522)과 채교되는 자속량은 증가될 수 있다. 따라서 굴절시키지 않는 경우에 비해 전력전송 효율이 더 좋아질 수 있다.

[0054] 이처럼 본 발명의 실시예들에 따른 HMS(100 또는 100-1)를 무선전력전송에 이용하면 자기장의 손실을 최소화하면서 자기장의 방향을 더욱 효과적으로 제어할 수 있다. 즉, 도 6에서 붉은 점선의 자기장을 확인하면 HMS(100 또는 100-1)의 역할로 중앙부 자기장(530)의 직진성이 유지되고 밖으로 누설되는 자기장(540)을 안으로 집속시켜주기 때문에 수전 코일(522)에 보다 많은 자기장이 채교될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예에 따른 HMS(100 또는 100-1)를 통해, 기존 무선전력전송 시스템보다 더 높은 효율과 낮은 누설 전자계를 가지는 무선충전 시스템을 구현할 수 있다.

산업상 이용가능성

[0055] 본 발명은 무선전력전송 또는 무선충전에 이용될 수 있다. 나아가, 자기장의 분포를 원하는 형태로 변형할 필요가 있는 여러 응용분야에도 이용될 수 있다.

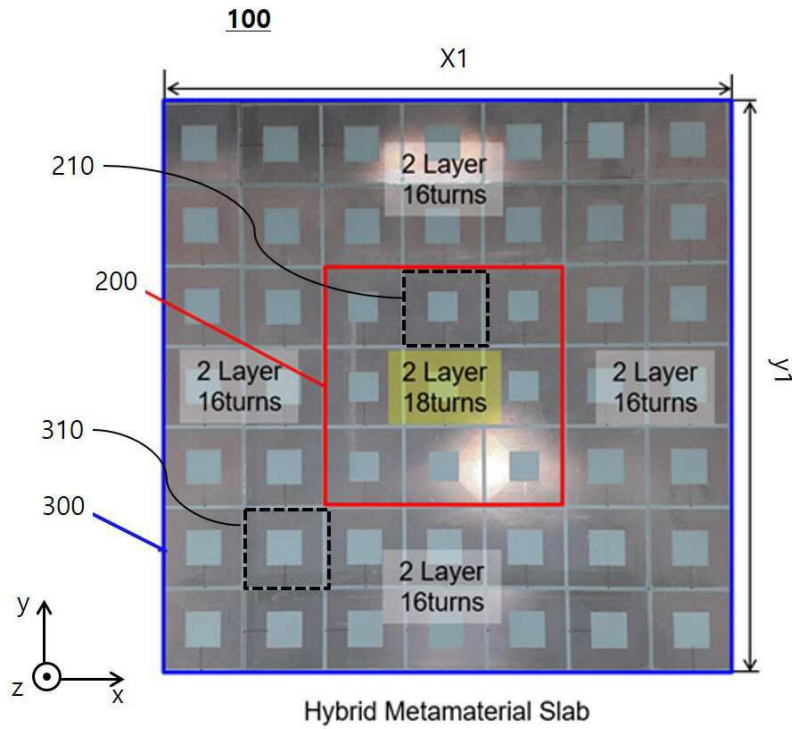
[0056] 이상에서 실시예를 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시 예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

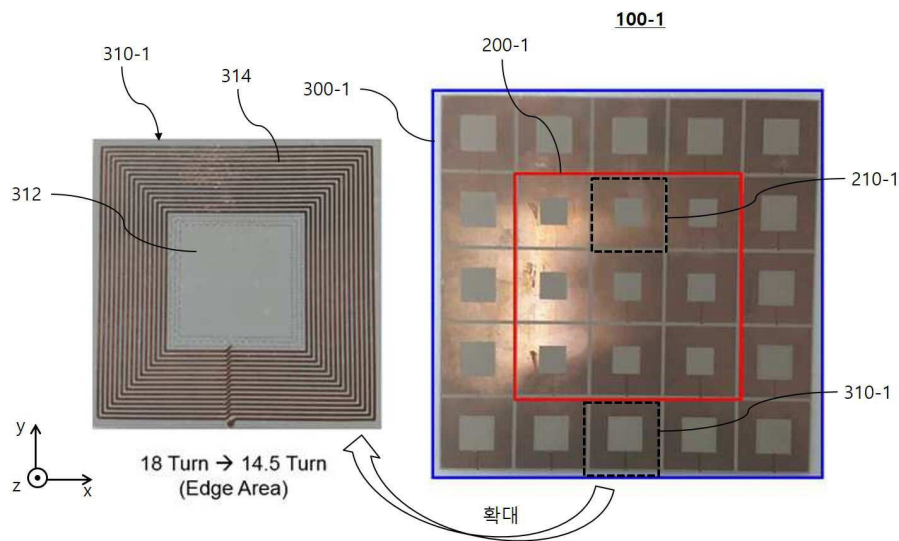
- [0057]
- 100: 제1 하이브리드 메타물질 슬래브(HMS)
- 100-1: 제2 하이브리드 메타물질 슬래브(HMS)
- 200, 200-1: 제1 메타물질부 210, 210-1: 제1 메타물질 셀
- 300, 300-1: 제2 메타물질부 310, 310-1: 제2 메타물질 셀
- 312: 유전체 기판 314: 박막형 도체 코일

도면

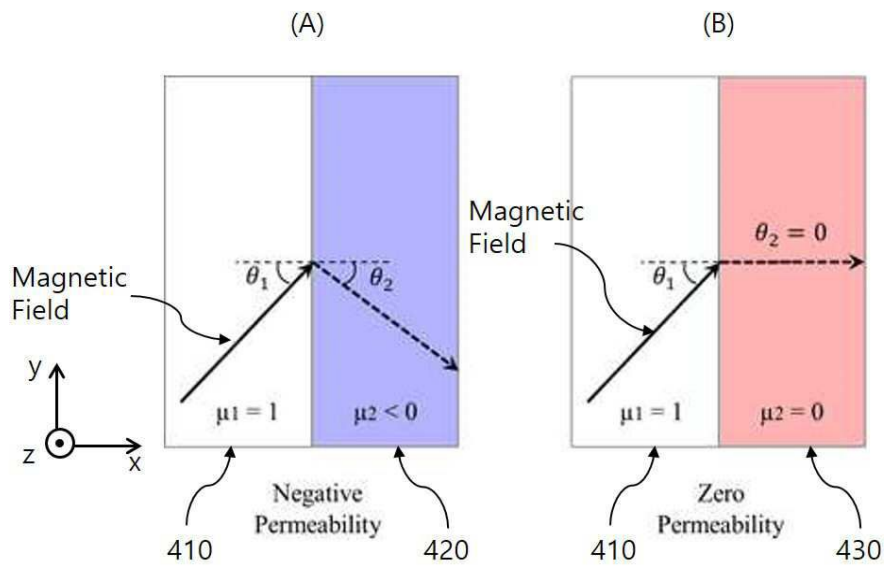
도면1



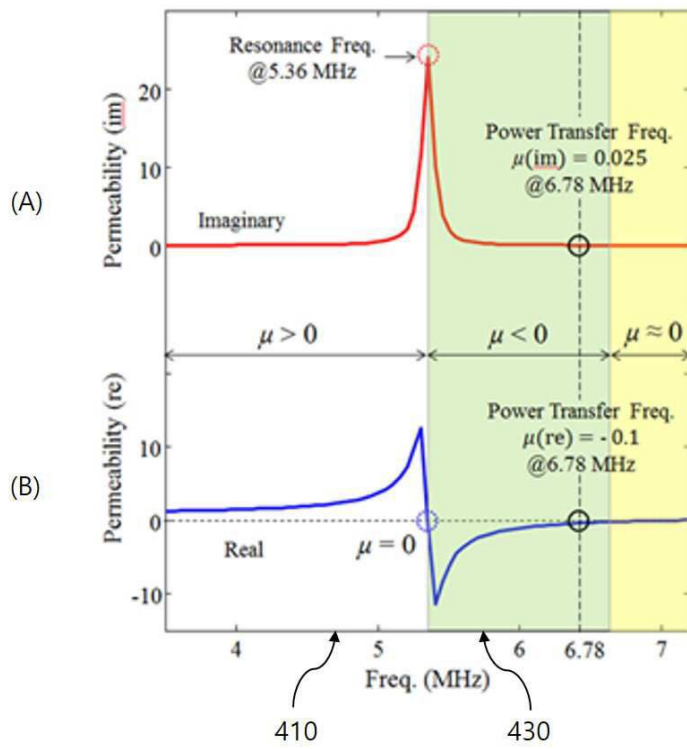
도면2



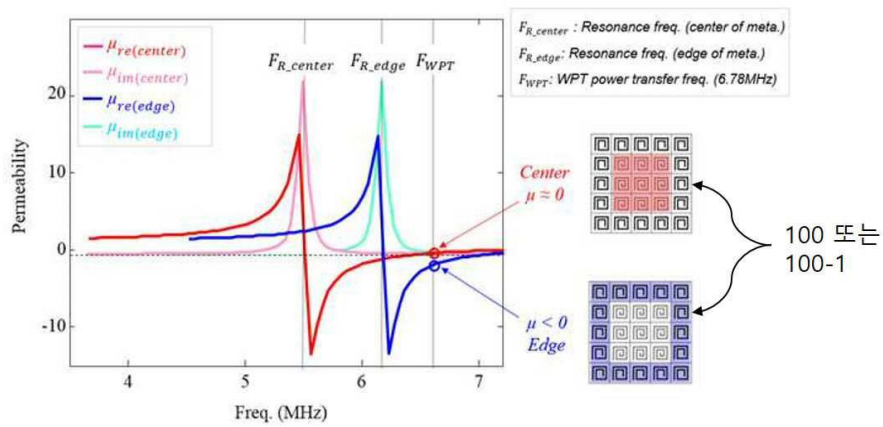
도면3



도면4



도면5



도면6

