



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0086252  
(43) 공개일자 2016년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 7/02 (2016.01) H02J 17/00 (2006.01)  
H02J 5/00 (2016.01) H04B 5/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 7/025 (2013.01)  
H02J 17/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2015-0132695  
(22) 출원일자 2015년09월18일  
심사청구일자 2015년09월18일  
(30) 우선권주장  
1020150003659 2015년01월09일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
경희대학교 산학협력단  
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)  
(72) 발명자  
이중욱  
경기도 화성시 영통로26번길 24, 301동 801호(반월동, 대우푸르지오)  
아루나 라나웨라  
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동)  
듀옹 파이 톱  
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동)  
(74) 대리인  
유미특허법인

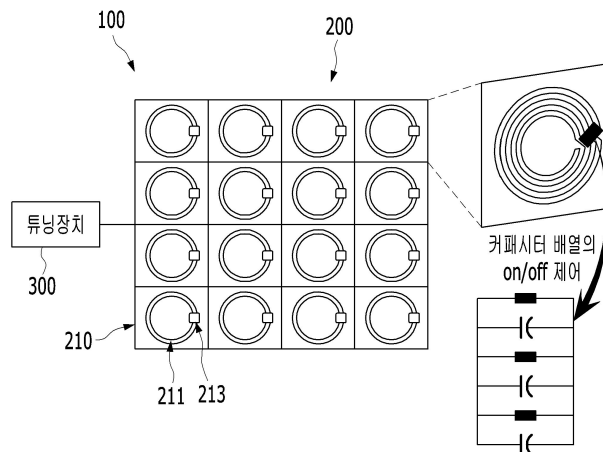
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 무선 에너지 공급 장치 및 방법

(57) 요약

무선 에너지 공급 장치가 메타물질 구조를 이용하여 단말로 에너지를 공급하는 방법으로서, 단말로부터 에너지 요구 정보를 수신하는 단계, 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 메타물질 구조에서 파워 핫 스팟 영역을 선택하는 단계, 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 파워 핫 스팟(power hot spot) 영역의 투자율을 결정하는 단계, 그리고 상기 파워 핫 스팟 영역에 포함된 단위 셀 각각의 투자율을 제어하여 상기 단말로 에너지를 공급하는 단계를 포함하며, 상기 메타물질 구조는 평면에 배열된 복수의 단위 셀로 구성되며, 상기 파워 핫 스팟 영역은 상기 복수의 단위 셀 중에서 선택된 단위 셀 그룹이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*H02J 5/005* (2013.01)

*H04B 5/0037* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무선 에너지 공급 장치로서,  
평면에 배열된 복수의 메타물질 셀로 구성된 메타물질 구조, 그리고  
상기 복수의 메타물질 셀 중 적어도 하나의 메타물질 셀의 물리적 특성값을 제어하는 튜닝 장치를 포함하고,  
상기 물리적 특성값은 투자율, 주파수 그리고 커플링 계수 중 적어도 하나를 포함하는 무선 에너지 공급 장치.

#### 청구항 2

제1항에서,  
각 메타물질 셀은 공진부와 제어부를 포함하고,  
상기 제어부는  
상기 튜닝 장치로부터 제어 신호를 수신하고, 수신한 제어 신호를 기초로 상기 공진부를 동작시키는 무선 에너지 공급 장치.

#### 청구항 3

제2항에서,  
상기 제어부는  
상기 튜닝 장치로부터 행 제어 신호와 열 제어 신호를 수신하고, 수신한 행 제어 신호와 열 제어 신호를 기초로 상기 공진부를 동작시키며,  
상기 행 제어 신호와 열 제어 신호는 상기 메타물질 구조에 배열된 해당 메타물질 셀의 행과 열 위치를 기초로 생성되는 무선 에너지 공급 장치.

#### 청구항 4

제2항에서,  
상기 공진부는 분리된 링 공진기(Split Ring Resonator, SRR)인 무선 에너지 공급 장치.

#### 청구항 5

제1항에서,  
상기 튜닝 장치는  
상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역을 선택하고, 선택한 영역의 유효 투자율을 결정하며, 선택한 영역이 상기 유효 투자율을 가지도록 선택한 영역에 포함된 메타물질 셀들을 제어하는 무선 에너지 공급 장치.

#### 청구항 6

제1항에서,  
상기 튜닝 장치는  
단말로부터 에너지 요구 정보를 수신하고, 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 복수의 메타물질 셀 중에서 상기 단말로 에너지를 공급할 메타물질 셀들을 선택하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 7

제6항에서,

상기 튜닝 장치는

상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 선택된 메타물질 셀들 각각의 물리적 특성값을 결정하고, 상기 선택된 메타물질 셀들 각각으로 결정된 물리적 특성값 제어를 위한 제어 신호를 전송하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 8

제6항에서,

상기 에너지 요구 정보는

단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리의 에너지 잔량, 배터리의 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 중 적어도 하나를 포함하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 9

제1항에서,

상기 튜닝 장치는

상기 메타물질 구조에서 전송되는 에너지가 특정 방향으로 전송되도록 상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역에 포함된 메타물질 셀들의 물리적 특성값을 제어하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 10

제1항에서,

상기 튜닝 장치는

상기 메타물질 구조에서 전송되는 에너지가 특정 방향으로 전송되도록 상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역의 동작을 무력화(deactivate)시키는 제어 신호를 생성하고, 상기 제어 신호를 상기 일부 영역에 포함된 메타물질 셀로 전송하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 11

제1항에서,

상기 튜닝 장치는

상기 메타물질 구조의 특정 지점에서 거리가 멀어질수록 작은 투자율값을 가지도록 상기 복수의 메타물질 셀을 제어하는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 12

제1항에서,

상기 메타물질 구조는 플렉시블 물질로 제작되고, 수신부를 향해 자속이 집중되도록 모양이 변형되는 무선 에너지 공급 장치.

## 청구항 13

무선 에너지 공급 장치가 메타물질 구조를 이용하여 단말로 에너지를 공급하는 방법으로서,

단말로부터 에너지 요구 정보를 수신하는 단계,

상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 메타물질 구조에서 파워 핫 스팟 영역(power hot spot)을 선택하는 단계, 그리고

상기 파워 핫 스팟 영역에 포함된 단위 셀 각각의 물리적 특성값을 제어하여 상기 단말로 에너지를 공급하는 단계

를 포함하며,  
 상기 메타물질 구조는 평면에 배열된 복수의 단위 셀로 구성되고,  
 상기 파워 핫 스팟 영역은 상기 복수의 단위 셀 중에서 선택된 단위 셀 그룹이며,  
 상기 물리적 특성값은 투자율, 주파수 그리고 커플링 계수 중 적어도 하나를 포함하는 무선 에너지 공급 방법.

#### 청구항 14

제13항에서,  
 상기 단위 셀은 공진부와 제어부를 포함하고,  
 상기 공진부는 상기 제어부에 의해 제어되어 상기 물리적 특성값이 변경되는 무선 에너지 공급 방법.

#### 청구항 15

제13항에서,  
 상기 에너지 요구 정보는  
 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리의 에너지 잔량, 배터리의 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 중 적어도 하나를 포함하는 무선 에너지 공급 방법.

#### 청구항 16

제15항에서,  
 상기 파워 핫 스팟 영역을 선택하는 단계는  
 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 단말의 위치를 판단하고, 상기 복수의 단위 셀 중에서 에너지 전송 방향이 상기 단말의 위치에 대응되는 단위 셀들을 상기 파워 핫 스팟 영역으로 선택하는 무선 에너지 공급 방법.

#### 청구항 17

제15항에서,  
 상기 에너지를 공급하는 단계는  
 상기 파워 핫 스팟 영역에 포함된 단위 셀 각각의 투자율을 음의 값으로 제어하는 무선 에너지 공급 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 에너지 공급에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 배터리를 사용하는 휴대폰과 노트북을 포함하는 단말이 증가하면서 배터리를 효과적으로 충전하는 방법에 많은 관심이 모아지고 있다. 새로운 전력 충전 방법으로서 무선 전력 전송을 이용한 방법이 있다. 배터리는 무선 전력 전송을 통해 공간 제약 없이 전력을 공급받을 수 있다. 기존 무선 전력 전송 방법으로 유도형 결합(inductive coupling) 방법, 방사형(radiation) 방법이 있으나, 가까운 거리에서만 동작하거나 먼 거리에서 얻을 수 있는 에너지가 작은 단점이 있다. 공진형 결합(resonant coupling)을 이용한 무선 전력 전송 방법은 전력 전달 거리와 효율이 기존 방법에 비해 낮지만, 송신기와 수신기의 정렬에 영향을 받는 단점이 있다. 이와 같이 종래 기술의 한계를 극복할 수 있는 새로운 무선 전력 전송 방법이 필요하다.

[0003] 또한, 최근에 많은 관심을 끌고 있는 사물인터넷(Internet of things, IoT)의 활용 범위를 넓히기 위해서는 다양한 센서에 에너지를 공급하는 문제를 해결하여야 한다. 사물인터넷을 구성하는 저전력 센서는 크기 제약에 의해 전원을 내장하기 힘들고, 내장하더라도 적은 용량의 소형 전지만 사용될 수 있다. IT 기술은 반도체 제조 기술과 관련 정보처리 기술의 발전에 힘입어 대용량의 데이터 고속처리와 저장이 가능해졌다. 그러나 사물인터넷의 다기능화는 필연적으로 많은 에너지 소모하게 되어 에너지 효율성 문제를 해결하지 않고는 그 지속발전 가능성

이 의문시되고 있다. 또한 사물인터넷은 우리 주위의 다양한 사물에 부착되기 때문에 개수가 많아 기존의 유선 충전이나 배터리를 이용한 에너지 공급에는 한계가 있다. 수많은 센서의 배터리를 일일이 교체하기도 힘들고, 유선으로는 배선이 매우 복잡하다. 그러므로 미래 초연결 사회를 구성하는 사물인터넷을 구현하기 위해서는 이들 기기에 신뢰성 있게 에너지를 공급할 수 있는 기술이 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 표면형 메타물질 구조의 일부 영역을 선택적으로 재구성하고 투자율을 제어하여 파워 핫 스팟을 구현하는 무선 에너지 공급 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 한 실시예에 따른 무선 에너지 공급 장치로서, 평면에 배열된 복수의 메타물질 셀로 구성된 메타물질 구조, 그리고 상기 복수의 메타물질 셀 중 적어도 하나의 메타물질 셀의 물리적 특성값을 제어하는 튜닝 장치를 포함하고, 상기 물리적 특성값은 투자율, 주파수 그리고 커플링 계수 중 적어도 하나를 포함한다.

[0006] 각 메타물질 셀은 공진부와 제어부를 포함하고, 상기 제어부는 상기 튜닝 장치로부터 제어 신호를 수신하고, 수신한 제어 신호를 기초로 상기 공진부를 동작시킬 수 있다.

[0007] 상기 제어부는 상기 튜닝 장치로부터 행 제어 신호와 열 제어 신호를 수신하고, 수신한 행 제어 신호와 열 제어 신호를 기초로 상기 공진부를 동작시키며, 상기 행 제어 신호와 열 제어 신호는 상기 메타물질 구조에 배열된 해당 메타물질 셀의 행과 열 위치를 기초로 생성될 수 있다.

[0008] 상기 공진부는 분리된 링 공진기(Split Ring Resonator, SRR)일 수 있다.

[0009] 상기 튜닝 장치는 상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역을 선택하고, 선택한 영역의 유효 투자율을 결정하며, 선택한 영역이 상기 유효 투자율을 가지도록 선택한 영역에 포함된 메타물질 셀들을 제어할 수 있다.

[0010] 상기 튜닝 장치는 단말로부터 에너지 요구 정보를 수신하고, 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 복수의 메타물질 셀 중에서 상기 단말로 에너지를 공급할 메타물질 셀들을 선택할 수 있다.

[0011] 상기 튜닝 장치는 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 선택된 메타물질 셀들 각각의 물리적 특성값을 결정하고, 상기 선택된 메타물질 셀들 각각으로 결정된 물리적 특성값 제어를 위한 제어 신호를 전송할 수 있다.

[0012] 상기 에너지 요구 정보는 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리의 에너지 잔량, 배터리의 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 튜닝 장치는 상기 메타물질 구조에서 전송되는 에너지가 특정 방향으로 전송되도록 상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역에 포함된 메타물질 셀들의 물리적 특성값을 제어할 수 있다.

[0014] 상기 튜닝 장치는 상기 메타물질 구조에서 전송되는 에너지가 특정 방향으로 전송되도록 상기 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역의 동작을 무력화(deactivate)시키는 제어 신호를 생성하고, 상기 제어 신호를 상기 일부 영역에 포함된 메타물질 셀로 전송할 수 있다.

[0015] 상기 튜닝 장치는 상기 메타물질 구조의 특정 지점에서 거리가 멀어질수록 작은 투자율값을 가지도록 상기 복수의 메타물질 셀을 제어할 수 있다.

[0016] 상기 메타물질 구조는 플렉시블 물질로 제작되고, 수신부를 향해 자속이 집중되도록 모양이 변형될 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 에너지 공급 장치가 메타물질 구조를 이용하여 단말로 에너지를 공급하는 방법으로서, 단말로부터 에너지 요구 정보를 수신하는 단계, 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 메타물질 구조에서 파워 핫 스팟 영역(power hot spot)을 선택하는 단계, 그리고 상기 파워 핫 스팟 영역에 포함된 단위 셀 각각의 물리적 특성값을 제어하여 상기 단말로 에너지를 공급하는 단계를 포함하며, 상기 메타물질 구조는 평면에 배열된 복수의 단위 셀로 구성되고, 상기 파워 핫 스팟 영역은 상기 복수의 단위 셀 중에서 선택된 단위 셀 그룹이며, 상기 물리적 특성값은 투자율, 주파수 그리고 커플링 계수 중 적어도 하나를 포함한다.

[0018] 상기 단위 셀은 공진부와 제어부를 포함하고, 상기 공진부는 상기 제어부에 의해 제어되어 상기 물리적 특성값이 변경될 수 있다.

- [0019] 상기 에너지 요구 정보는 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리의 에너지 잔량, 배터리의 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0020] 상기 파워 핫 스팟 영역을 선택하는 단계는 상기 에너지 요구 정보를 기초로 상기 단말의 위치를 판단하고, 상기 복수의 단위 셀 중에서 에너지 전송 방향이 상기 단말의 위치에 대응되는 단위 셀들을 상기 파워 핫 스팟 영역으로 선택할 수 있다.
- [0021] 상기 에너지를 공급하는 단계는 상기 파워 핫 스팟 영역에 포함된 단위 셀 각각의 투자율을 음의 값으로 제어할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0022] 본 발명의 실시예에 따르면 에너지 요구 정보를 기초로 에너지 전송 방향과 에너지량을 선택적으로 제어하여 에너지 요구 영역에 에너지를 집중하여 전송할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면 무선으로 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예에 따르면 사물인터넷의 에너지 공급 문제를 해결할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 무선 에너지 공급 장치의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 에너지 공급 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 파워 핫 스팟의 예시이다.
- 도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 블록별로 투자율 제어를 설명하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 파워 핫 스팟의 투자율 제어를 설명하는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면간격 제어로 커플링 계수를 조절하여 파워 핫 스팟의 투자율을 시뮬레이션한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 자기장 분포 예시이다.
- 도 8부터 도 11은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송을 설명하는 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 결함형(defected) 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송을 설명하는 도면이다.
- 도 13과 도 14는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송의 효과를 설명하는 도면과 그래프이다.
- 도 15는 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 플렉시블 특징을 나타내는 도면이다.
- 도 16은 본 발명의 한 실시예에 따른 무선 에너지 공급 방법의 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0025] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 무선 에너지 공급 장치의 구성도이고, 도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 에너지 공급 방법을 설명하는 도면이다.

- [0027] 도 1을 참고하면, 무선 에너지 공급 장치(100)는 메타물질 구조(200) 그리고 메타물질 구조(200)를 제어하는 튜닝 장치(300)를 포함한다. 메타물질 구조(200)와 튜닝 장치(300)는 유선 또는 무선으로 연결될 수 있다.
- [0028] 메타물질 구조(200)는 평면상에 배열된 복수의 메타물질 셀(210)로 구성되고, 메타 표면(meta surface) 구조 또는 2차원 구조라고 부른다.
- [0029] 메타물질 구조(200)는 얇고 제작이 간단하여 웨어러블 장치와 같은 다양한 곡면 구조에 사용될 수 있다. 메타물질 구조(200)는 축 방향으로 투과계수를 용이하게 조절할 수 있고, 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있는 비등방성(anisotropic) 구조를 가진다. 특히, 메타물질 구조(200)는 표면 자계유도 파동(surface mode magnetic-inductive wave) 특성을 가져 전자기적 해석(electro-magnetics)이 기존의 메타물질 해석과 다른 특징이 있다.
- [0030] 메타물질(Metamaterial)은 반복적인 패턴 배열에 의해 음의 물리 상수[음의 투자율(permeability,  $\mu$ ), 음의 유전율(permittivity,  $\epsilon$ )]를 가지는 물질을 지칭한다. 메타물질은 이러한 물리적 특성에 의해 필터, 전송선로, 안테나 등에 적용되고 있다.
- [0031] 메타물질 셀(210)은 다양한 형태로 구현될 수 있고, 본 발명에서는 분리된 링 공진기(Split Ring Resonator, SRR)로 구현된 메타물질 셀을 예로 들어 설명한다. SRR이 반복적인 패턴으로 배열된 구조는 음의 투자율 및 음의 유전율을 나타낸다. SRR은 다양한 형태로 구현될 수 있고, 예를 들면, 단일 링 또는 커플링된 복수의 링으로 구현될 수 있고, 링은 적어도 하나의 슬릿에 의해 분리될 수 있다. SRR은 병렬 LC 공진회로의 등가회로로 표현될 수 있다. SRR은 외부에서 인가되는 자기장과 적절한 커플링을 이루게 되면 공진 주파수보다 높은 주파수에서 음의 유효투자율( $\mu_{eff}$ )을 가지고, 공진 주파수 부근에서 매우 높은 유효투자율을 가진다. 주파수에 따른 유효투자율은 수학적 1과 같이 계산될 수 있다.

## 수학식 1

$$\mu_{eff}(\omega) = 1 + \frac{F\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

- [0032]
- [0033] 수학식 1에서,  $\omega_0$ 는 SRR의 공진주파수이다.  $F = \pi(r/p)$ 이고, r은 SRR의 반경이며, p는 SRR 구조의 주기이다. 유효 투자율 및 유전율은 S-parameter 값( $S_{21}$ 과  $S_{11}$ )을 이용하여 얻을 수 있다.
- [0034] 메타물질 구조(200)는 매트릭스(행렬)로 배열된 복수의 메타물질 셀(210)을 포함한다. 메타물질 셀(210)은 공진부(예를 들면, SRR)(211)와 제어부(213)를 포함한다. 제어부(213)는 IC칩으로 제작될 수 있다. 제어부(213)는 예를 들면, RFID 태그 형태일 수 있다.
- [0035] 도 1을 참고하면, 제어부(213)는 주파수 제어를 위한 커패시터 배열과 커패시터의 on/off를 제어하는 스위치, 그리고 스위치를 제어하는 IC 칩으로 구성될 수 있다. 제어부(213)는 주파수 가변 기능 외에 SRR을 단락시켜 공진 기능을 제거할 수 있고(도 12 참고), 이를 통해 커플링 계수도 조절할 수 있다.
- [0036] 튜닝장치(200)는 제어부(213)의 IC 칩으로 스위치를 제어하는 디지털 정보를 전송할 수 있다. 튜닝장치(200)는 주파수 또는 커플링 계수 등을 가변하여 투자율의 값을 양/음의 값으로 제어할 수 있다(수학식 1, 수학식 2, 도 15 참고). 메타물질 구조(200)에서 Lorentz local field approximation과 Clausius-Mossotti formula를 적용하면 유효투자율( $\mu_{eff}$ )은 수학식 2와 같이 커플링 계수와 주파수의 함수로 나타낼 수 있다.

## 수학식 2

$$\mu_{eff} = 1 + \chi(\omega)$$

$$\chi(\omega) = \frac{\alpha_0}{\omega^2 - 1 - \frac{\alpha_0}{3} - \frac{2M_a}{L} - \frac{4M_c}{L}}$$

[0037]

[0038] 수학식 2에서,  $M_a$ 는 axial coupling 계수이고,  $M_c$ 는 coplanar coupling 계수이다.  $\alpha_0 = \mu_o A^2/L$  이고, L은 SRR의 인덕턴스, A는 SRR의 면적이다.

[0039] 수학식 2의  $\mu_{eff}$  값을 제어하기 위해 각 메타물질 셀(210)은 메타물질 구조(200)에서의 배열 위치에 따라 행과 열의 위치(x,y)가 부여된다. 제어부(213)는 튜닝 장치(300)로부터 제어 신호를 수신한다. 제어부(213)는 수신한 제어 신호에 따라 SRR(210)의 수학식 2의 투자율에 관계된 파라미터를 가변한다. 파라미터는 주파수와 커플링 계수일 수 있다.

[0040] 제어 신호는 메타물질 셀별로 생성되고, 각 메타물질 셀에게 개별적으로 전송될 수 있다. 또는 제어 신호는 M개의 행(row) 제어 신호와 N개의 열(column) 제어 신호로 구성되고, 행 제어 신호와 열 제어 신호가 동시에 온(on)/하이(high)인 위치의 메타물질 셀이 선택될 수 있다.

[0041] 메타물질 구조(200)는 표면형 메타물질 구조가 다층으로 배열된 구조일 수 있다.

[0042] 튜닝 장치(300)는 적어도 하나의 단말로부터 에너지 요구 정보를 수신한다. 튜닝 장치(300)는 무선 단말과 통신할 수 있는 무선 통신 모듈을 포함한다. 에너지 요구 정보는 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리 리 정보(에너지 잔량 또는 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 등) 등을 포함할 수 있다. 에너지 요구 정보는 웨어러블 기기 등에 적용될 경우 개인 정보를 포함할 수 있으므로 상호인증 기반으로 암호화되어 전송될 수 있다. 단말은 튜닝 장치(300)와 무선 통신이 가능하고, 메타물질 구조(200)로부터 에너지를 무선 공급받아 배터리를 충전할 수 있는 모든 단말을 포함한다.

[0043] 튜닝 장치(300)는 에너지 요구 정보를 기초로 메타물질 구조(200) 중에서 에너지 공급에 사용할 메타물질 셀들을 선택한다. 선택된 메타물질 셀들을 파워 핫 스팟(power hot spot) 또는 액티브 셀 그룹이라고 부를 수 있다. 파워 핫 스팟은 주변에 비해 자속이 집중되어 전력 밀도가 높은 영역을 의미한다. 튜닝 장치(300)는 파워 핫 스팟에 속한 각 메타물질 셀의 제어부(213)로 제어 신호를 전송하여 각 메타물질 셀(210)의 투자율을 제어한다. 투자율은 음의 값(예를 들면, -1), 0, 양의 값(예를 들면 1), 무한대값 등일 수 있다. 튜닝 장치(300)는 메타물질 셀들의 투자율을 제어하여 에너지를 단말쪽으로 집중(포커싱)한다.

[0044] 튜닝 장치(300)는 메타물질 셀별로 투자율을 제어할 수 있다. (x, y) 위치의 메타물질 셀의 투자율은  $\mu(x,y)$ 로 표시될 수 있다. 또는 튜닝 장치(300)는 파워 핫 스팟별(그룹별, 블록별)로 투자율을 제어할 수 있다. 파워 핫 스팟의 투자율은 파워 핫 스팟의 식별자(spot\_ID)에 따라  $\mu(spot_{ID})$ 로 표시될 수 있다.

[0045] 즉, 튜닝 장치(300)는 메타물질 구조(200)에 속한 모든 메타물질 셀들을 한꺼번에 동작시키는 대신, 에너지 요구 정보를 기초로 메타물질 구조(200)에서 동작하는 메타물질 셀들을 가변하면서 파워 핫 스팟을 능동적으로 재구성(reconfig)한다. 튜닝 장치(300)는 메타물질 셀의 투자율을 제어하여 임피던스를 튜닝할 수 있다. 특히 튜닝 장치(300)는 플렉시블 구조에서 휘어짐에 따라 물질의 특성이 바뀌면 바뀐 특성을 고려하여 메타물질 셀의 파라미터 제어를 할 수 있다.

[0046] 튜닝 장치(300)는 단말과 메타물질 구조(200)의 위치 관계를 고려하여 단말로 에너지를 최적으로 공급하도록 파워 핫 스팟을 결정한다. 위치 관계는 거리와 대면 면적 등을 포함할 수 있다.

[0047] 도 2를 참고하면, 단말(400, 410, 420)은 무선 에너지 공급 장치(100)로부터 에너지를 공급받는다. 단말(400, 410, 420)의 종류는 다양할 수 있고, 예를 들면, 사물인터넷을 구성하는 센서일 수 있으나 이에 한정되지 않는다.

- [0048] 단말(400, 410, 420) 각각은 단말 식별 정보(ID)를 가지고, 자신의 식별 정보와 함께 에너지 요구 정보를 무선 에너지 공급 장치(100)로 전송한다. 에너지 요구 정보는 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리 정보(에너지 잔량 또는 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 등)를 포함할 수 있다. 에너지 요구 정보에 포함되는 정보는 단말과 무선 에너지 공급 장치 사이에 약속된 프로토콜에 따라 결정될 수 있다. 예를 들면, 단말이 자신의 식별 정보와 함께 에너지 요청 메시지를 전송하면, 무선 에너지 공급 장치(100)가 식별 정보에 해당하는 단말 종류를 파악하여 단말 종류에 적합한 에너지량을 전송할 수 있다. 단말이 자신의 식별 정보와 함께 에너지 잔량(예를 들면, 10%)을 전송하면, 무선 에너지 공급 장치(100)가 식별 정보에 해당하는 단말 종류를 파악하여 필요 에너지량을 전송할 수 있다. 단말이 자신의 식별 정보와 함께 에너지 요구량을 전송하면, 무선 에너지 공급 장치(100)가 에너지 요구량을 전송할 수 있다.
- [0049] 단말의 위치 정보는 단말이 전송할 수 있다. 또는 무선 에너지 공급 장치(100)가 단말로부터 수신한 신호를 기초로 단말과의 거리 및 방향을 추출할 수 있다.
- [0050] 단말마다 에너지를 수신할 수 있는 유효 면적(예를 들면, 안테나 구조 또는 배터리 크기)이 다를 수 있다. 따라서, 무선 에너지 공급 장치(100)는 단말의 에너지 수신 면적을 고려하여 파워 핫 스팟의 범위를 선택하고, 파워 핫 스팟의 투자율을 결정할 수 있다.
- [0051] 무선 에너지 공급 장치(100)는 단말(400)의 에너지 요구 정보를 기초로 단말(400)을 위한 파워 핫 스팟(spot1)을 결정하고, 파워 핫 스팟(spot1)에 속한 메타물질 셀들의 투자율을 제어하여 단말(400)로 에너지를 전송한다.
- [0052] 무선 에너지 공급 장치(100)는 단말(410)의 에너지 요구 정보를 기초로 단말(410)을 위한 파워 핫 스팟(spot2)을 결정하고, 파워 핫 스팟(spot2)에 속한 메타물질 셀들의 투자율을 제어하여 단말(410)로 에너지를 전송한다.
- [0053] 무선 에너지 공급 장치(100)는 단말(420)의 에너지 요구 정보를 기초로 단말(420)을 위한 파워 핫 스팟(spot3)을 결정하고, 파워 핫 스팟(spot3)에 속한 메타물질 셀들의 투자율을 제어하여 단말(420)로 에너지를 전송한다.
- [0054] 이와 같이, 각 단말의 에너지 요구 정보가 다른 경우, 무선 에너지 공급 장치(100)는 각 메타물질 셀의 투자율을 개별 제어하여 메타물질 구조(200)에서 파워 핫 스팟(spot1, spot2, spot3)을 선택적으로 구축한다.
- [0055] 무선 에너지 공급 장치(100)는 종래의 고정형/수동형 메타물질과 달리 메타물질 셀별 제어가 가능한 표면형 메타물질 구조(200)를 이용하여 파워 핫 스팟을 구축할 수 있다. 기존의 메타물질 구조는 제작 후 특성이 고정되는 반면, 메타물질 구조(200)는 각 메타물질 셀의 제어부를 통해 능동적으로 재구성될 수 있다. 따라서, 무선 에너지 공급 장치(100)는 표면형 메타물질 구조(200)를 제어하여 모바일 기기와 사물인터넷에 신뢰성 있게 에너지를 공급할 수 있다.
- [0056] 도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 파워 핫 스팟의 예시이다.
- [0057] 도 3을 참고하면, 튜닝 장치(300)는 에너지 요구 정보를 분석하여 특정 위치에 자속이 집중되도록 각 메타물질 셀의 투자율을 제어할 수 있다. 즉, 튜닝 장치(300)는 에너지 필요 영역에 전력 밀도를 높여 에너지를 집중할 수 있다.
- [0058] 도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 블록별로 투자율 제어를 설명하는 도면이다.
- [0059] 도 4를 참고하면, 튜닝 장치(300)는 메타물질 구조(200)를 블록으로 나누고, 블록별로 투자율을 다르게 제어할 수 있다.
- [0060] 메타물질 구조(200)에서 메타물질 셀별로 투자율이 제어될 수 있고, 메타물질 셀들의 그룹(블록)별로 투자율이 제어될 수 있다.
- [0061] 예를 들어, 튜닝 장치(300)는 4x4 배열 구조를 하나의 블록으로 구분하고, 블록별로 +1, 0, -1등의 다양한 투자율을 가지도록 제어할 수 있다.
- [0062] 도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 파워 핫 스팟의 투자율 제어를 설명하는 도면이다.
- [0063] 도 5를 참고하면, 표면형 메타물질 구조(200)는 두 개 이상의 평판(slab)이 일정 간격( $t_{gap}$ )으로 배열된 다층 구조일 수 있다.  $t_{gap}$ 은 표면 간격이라고 부를 수 있다. 각 평판은 앞서 설명한 바와 같이 복수의 메타물질 셀(예를 들면, SRR)로 구성된다.
- [0064] 표면 간격( $t_{gap}$ )을 제어하면 커플링 계수를 변환시킬 수 있고(수학식 2 참조) 이에 따라 전송 방향(Z축)으로의

투자율을 (a), (b), (c)와 같이 제어할 수 있다. 투자율이 양의 값, zero, 음의 값으로 각각 바뀌게 되면, 에너지 전송을 위한 자속이 효과적으로 제어된다. 예를 들어, 수신부의 크기가 파워 핫 스팟보다 넓은 경우, 투자율을 (a)와 같이 제어할 수 있고, 수신부와 파워 핫 스팟의 대면 크기가 비슷한 경우, 투자율을 (b)와 같이 제어할 수 있으며, 수신부의 크기가 파워 핫 스팟보다 좁은 경우, 투자율을 (c)와 같이 제어할 수 있다.

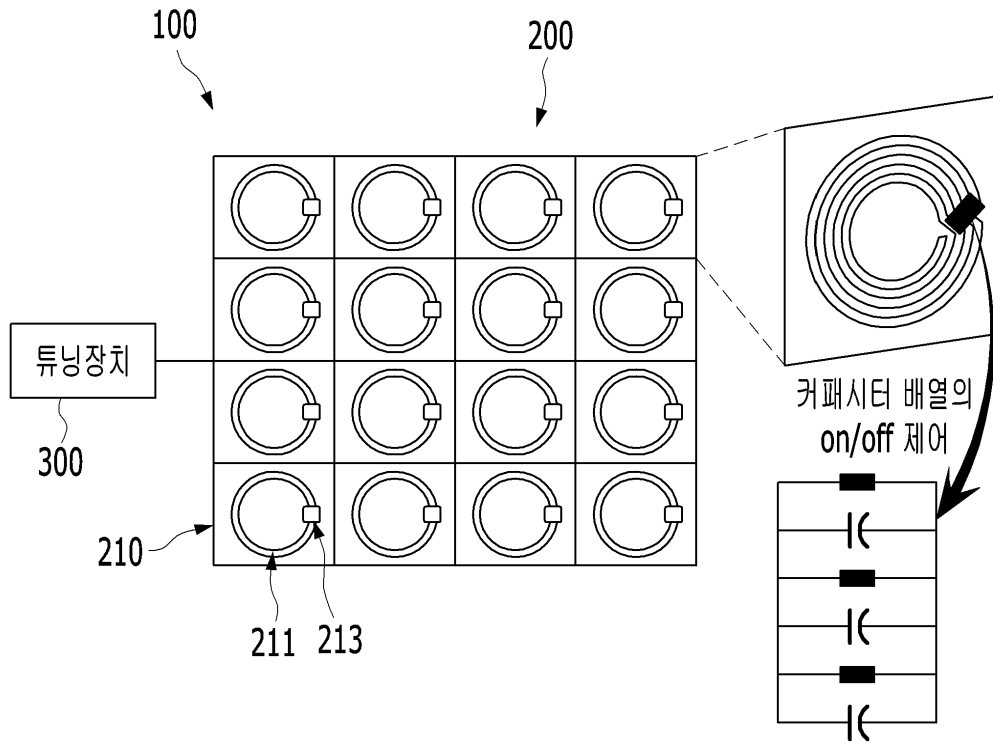
- [0065] 표면 간격( $t_{gap}$ )이 특정 구간인 경우, 투자율( $\mu$ )은 (c)와 같이 음의 값(-1)을 가질 수 있다. 그러면, 표면과 자계유도에 의해 에너지가 복원되고, 수신부로의 에너지 전달 계수가 향상된다.
- [0066] 이와 같이 무선 에너지 공급 장치(100)는 표면형 메타물질 구조의 투자율을 제어하고 이들 메타물질 구조의 상호 인덕턴스 또는 커플링 계수를 조절하여 에너지 공급/전송 방법을 능동적으로 선택할 수 있다.
- [0067] 도 6은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면간격 제어에 의한 파워 핫 스팟의 투자율을 시뮬레이션한 도면이다.
- [0068] 도 6을 참고하면, 표면 간격( $t_{gap}$ )에 따라 파워 핫 스팟이 공급하는 에너지의 패턴과 세기, 위치가 가변될 수 있다. 무선 에너지 공급 장치(100)는 파워 핫 스팟의 위치와 자속을 개별 기기에 맞게 가변할 수 있다.
- [0069] 다음에서 무선 에너지 공급 장치(100)가 메타물질 구조(200)를 이용하여 송신부(Tx)에서 수신부(Rx)로 에너지를 전송하는 방법에 대해 설명한다.
- [0070] 도 7은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 자기장 분포 예시이다.
- [0071] 도 7의 (a)를 참고하면, 본 발명의 표면형 메타물질 구조는 송신부(Tx)와 수신부(Rx) 사이에 위치하여 공진형 무선 에너지를 전송할 수 있다.
- [0072] 도 7의 (b)는 두 개의 5x5 평판으로 구성된 메타물질 구조를 EM 시뮬레이션하여 획득한 자기장(H-field) 분포이다. 도 7의 (b)를 참고하면, 메타물질 표면에 강한 자계 유도 파동(자기장)이 형성되고, 이로 인해 수신부로 전달되는 전력이 향상됨을 알 수 있다.
- [0073] 도 8부터 도 11은 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송을 설명하는 도면이다.
- [0074] 도 8을 참고하면, 무선 에너지 공급 장치(100)는 도 4와 같이 메타물질 구조의 블록별로 투자율을 제어하여 자속 방향을 제어할 수 있다. 즉, 무선 에너지 공급 장치(100)가 메타물질 구조의 블록별로 투자율을 제어하면 근접(near) 필드에서도 빔포밍과 유사한 자속 방향 제어를 할 수 있다. 한쪽 방향으로 자기장의 세기를 증가시키고, 다른 쪽 방향으로 자기장의 세기를 약하게 하면 무선 전력을 수신하는 기기의 위치를 트래킹할 수 있다.
- [0075] 도 9부터 도 11을 참고하면, 본 발명의 표면형 메타물질 구조는 수신부로 자속을 집중하도록 모양이 변형될 수 있다. 모바일 기기에 내장되는 수신부 코일의 크기는 송신부 코일보다 작다. 따라서, 송신부 코일보다 크기가 작은 수신부 코일에 에너지를 효과적으로 공급하기 위해서는 송신부에서 발생하는 자속을 수신부를 향해 집중할 필요가 있다.
- [0076] 표면형 메타물질 구조를 변형함으로써 수신부에서 받게 되는 자속의 양을 향상시킬 수 있다. 예를 들면, 도 9와 같이 평면 구조의 양끝 부분을 수신부를 향해 꺾거나 도 10과 같이 평면 구조를 곡면 형태의 유연한 구조로 변형하여 수신부로 자속을 집중시킬 수 있다.
- [0077] 도 11을 참고하면, 메타물질 구조의 각 메타물질 셀이 음의 투자율을 가지도록 제어하되, 가장자리로 갈수록 작은 값의 음의 투자율을 가지도록 제어할 수 있다. 메타물질 구조에서 중심부는 수신부 코일의 중심부를 향하기 때문에 별도의 자계 집중이 없더라도 수신부에 도달할 수 있으나, 가장자리의 경우는 중심부보다 더 많은 자계 집중이 요구된다. 따라서, 무선 에너지 공급 장치(100)는 중심부로부터의 거리에 따라 각 메타물질 셀의 투자율을 다르게 설정하는데, 중심부에서 가장자리로 갈수록 작은 값의 음의 투자율을 가지도록 각 메타물질 셀을 제어한다.
- [0078] 이와 같이 투자율이 균일하지 않은 메타물질 구조는 크기가 작은 수신부 코일로 자계를 효과적으로 공급할 수 있다.
- [0079] 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 결함형(defected) 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송을 설명하는 도면이다.
- [0080] 도 12를 참고하면, 무선 에너지 공급 장치(100)는 복수의 메타물질 셀 중 일부 영역을 물리적으로 제거하거나

전기적인 제어 신호를 이용하여 기능을 무력화 (deactivate)할 수 있다. 메타물질 셀 중 일부 영역이 제거되면 자계가 그 부분에 집중적으로 갇히게 되어, 수신부 방향으로 강력하게 자속이 집중된다.

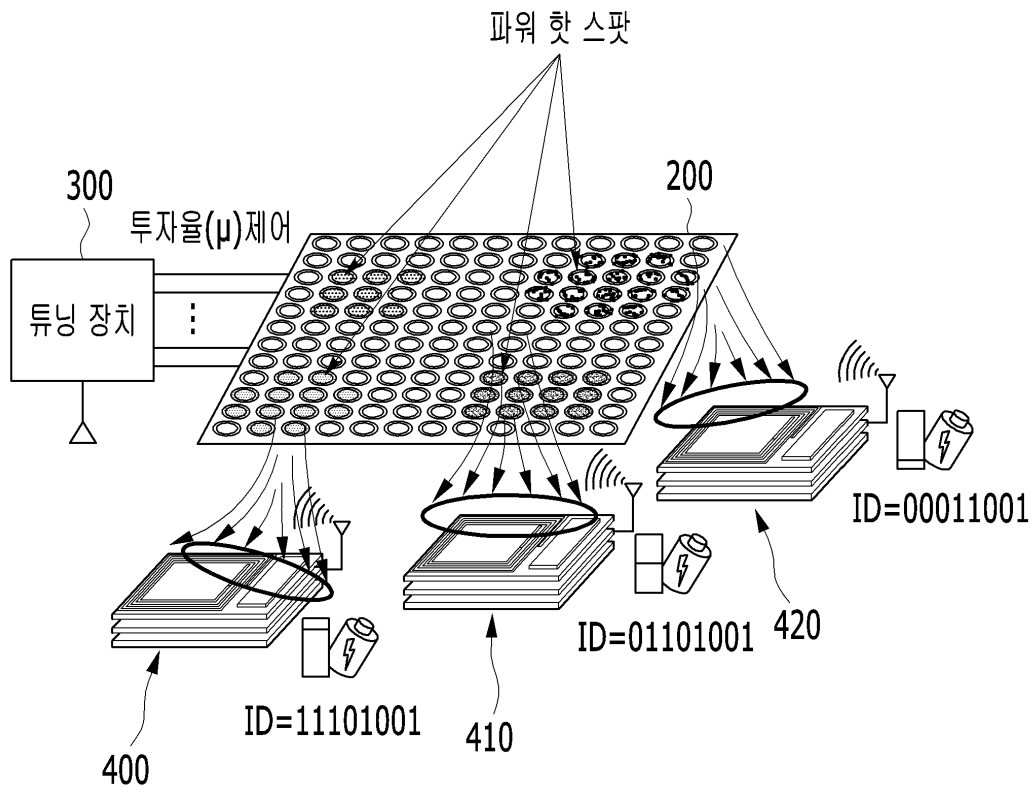
- [0081] 따라서, 무선 에너지 공급 장치(100)는 메타물질 구조에서 결합 영역을 만들어 에너지가 특정 방향으로 높은 효율로 전송되도록 제어할 수 있고, 자유공간과 같은 투자율로 에너지를 전송할 수 있다.
- [0082] 도 13과 도 14는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조를 이용한 무선 에너지 전송의 효과를 설명하는 도면과 그래프이다.
- [0083] 도 13과 도 14를 참고하면, 본 발명의 표면형 메타물질 구조는 메타물질 셀을 개별적으로 제어하여 에너지를 특정 방향으로 전송할 수 있다. 따라서 본 발명의 표면형 메타물질 구조를 사용하는 경우, 송신기와 수신기가 완벽하게 정렬되지 않더라도 에너지 전송 효율을 높일 수 있다. 도 14의 (a)와 (b)는 각각 측면 방향의 정렬 어긋남(lateral Misalignment)와 각 방향의 정렬 어긋남(angular Misalignment)이 있을 경우 본 발명에 의해 무선 전력 전송 효율이 향상됨을 보여주는 도면이다. 여기서 송신부(Tx)에서 수신부(Rx) 사이의 거리(d)는 80 cm와 100 cm일 수 있다. 또한 표면형(anisotropic) 메타물질이 등방성 벌크(isotropic) 메타물질보다 더 우수함을 보여주고 있다.
- [0084] 도 15는 본 발명의 한 실시예에 따른 표면형 메타물질 구조의 플렉시블 특징을 나타내는 도면이다.
- [0085] 도 15를 참고하면, 표면형 메타물질 구조는 표면(surface)에 기능요소가 집적되므로 웨어러블 기기 등에 적합하다. 메타물질 구조는 무선 송수신 기기의 외형에 따라 곡면 구조를 가질 수 있도록 (a)와 같이 플렉시블 물질에 제작될 수 있고, 플렉시블 반도체 기술을 이용하여 제어부(IC 칩)를 표면에 집적할 수 있다.
- [0086] 도 15의 (b)를 참고하면, 구부러지기 전후의 투자율 값의 변화에서, 투자율의 값이 약간 감소하지만, 음의 투자율은 유지됨을 확인할 수 있다. 따라서, 플렉시블 메타표면 구조를 이용하여 평면이 구부러지더라도 파워 핫 스팟을 생성할 수 있다.
- [0087] 도 16은 본 발명의 한 실시예에 따른 무선 에너지 공급 방법의 흐름도이다.
- [0088] 도 16을 참고하면, 무선 에너지 공급 장치(100)는 단말로부터 에너지 요구 정보를 수신한다(S110). 에너지 요구 정보는 단말 식별 정보, 단말 종류, 단말 위치 정보, 배터리 정보(에너지 잔량 또는 에너지 요구량, 에너지 수신 면적 등) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0089] 무선 에너지 공급 장치(100)는 에너지 요구 정보를 기초로 단말로 에너지를 공급할 메타물질 셀들을 선택한다(S120). 무선 에너지 공급 장치(100)는 에너지 요구 정보를 기초로 단말의 위치(방향)를 판단하고, 에너지 전송 방향이 단말의 위치에 대응되는 메타물질 셀들을 우선적으로 선택할 수 있다. 무선 에너지 공급 장치(100)는 에너지 요구 정보를 기초로 단말의 필요 에너지량을 계산하고, 이를 기초로 메타물질 셀들을 선택할 수 있다.
- [0090] 무선 에너지 공급 장치(100)는 에너지 요구 정보를 기초로, 선택된 메타물질 셀들의 투자율, 주파수, 커플링 계수, 무력화 등을 결정한다(S130).
- [0091] 무선 에너지 공급 장치(100)는 선택된 메타물질 셀들을 제어하여 단말로 에너지를 공급한다(S140).
- [0092] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면 에너지 요구 정보를 기초로 에너지 전송 방향과 에너지량을 선택적으로 제어하여 에너지 요구 영역에 에너지를 집중하여 전송할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면 무선으로 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예에 따르면 사물인터넷의 에너지 공급 문제를 해결할 수 있다.
- [0093] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예는 장치 및 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있다.
- [0094] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

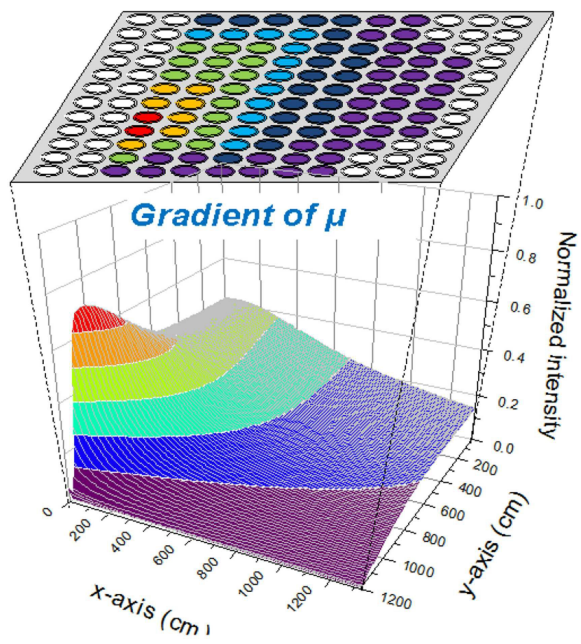
도면1



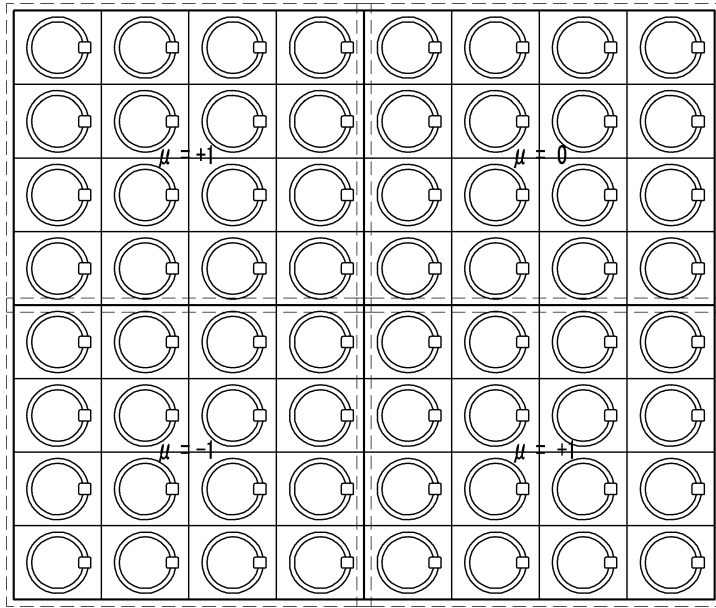
도면2



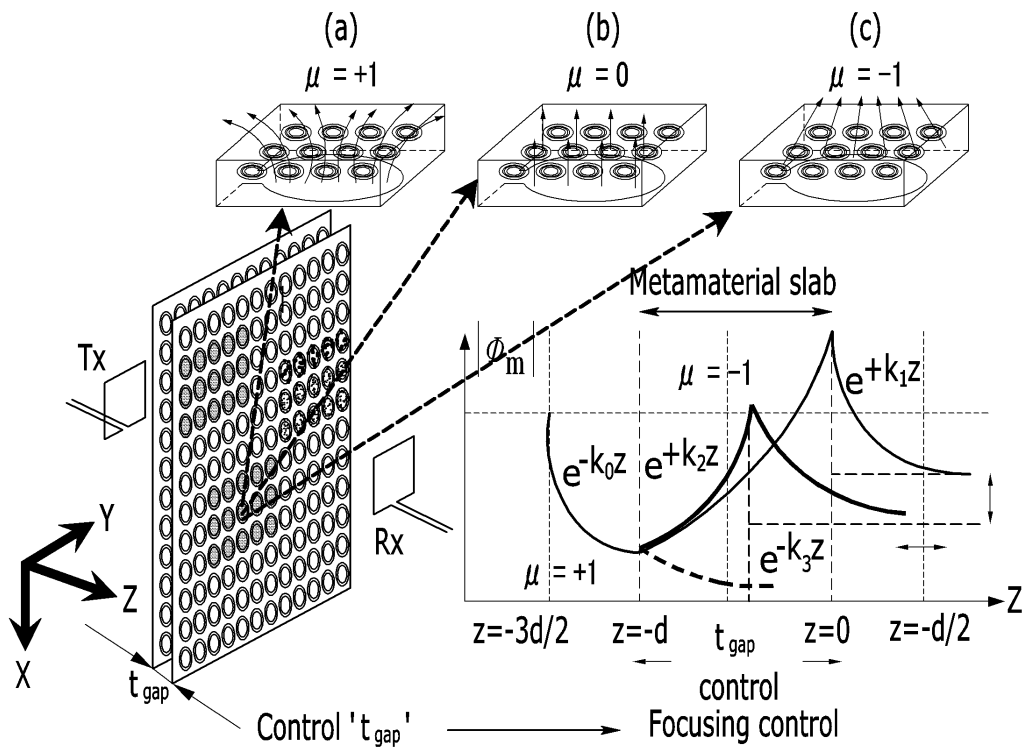
도면3



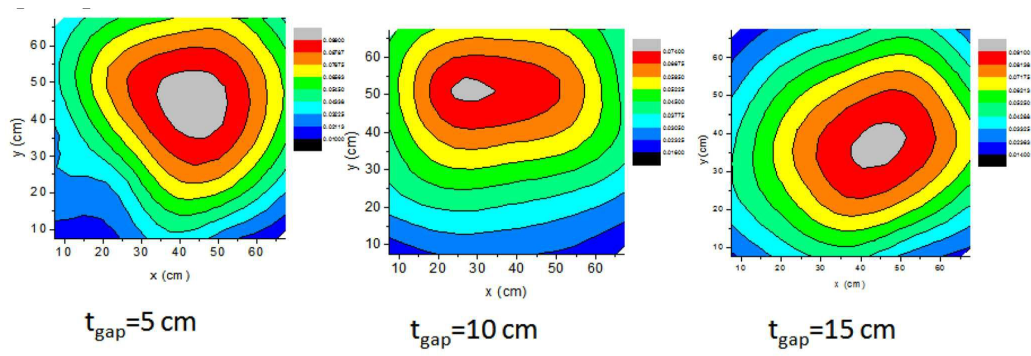
도면4



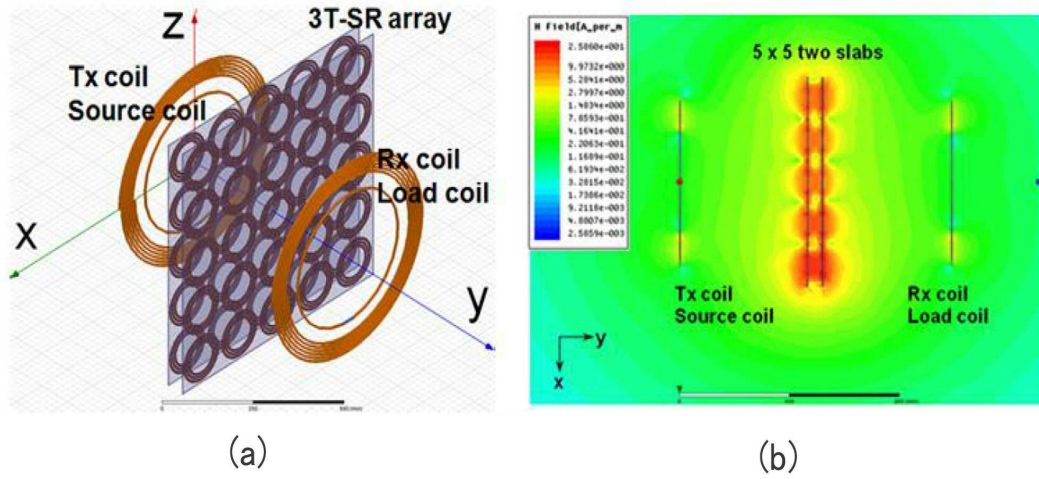
도면5



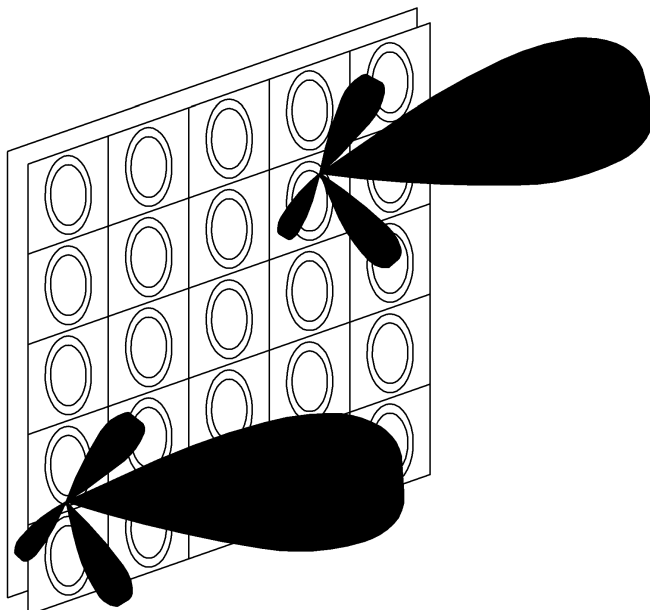
도면6



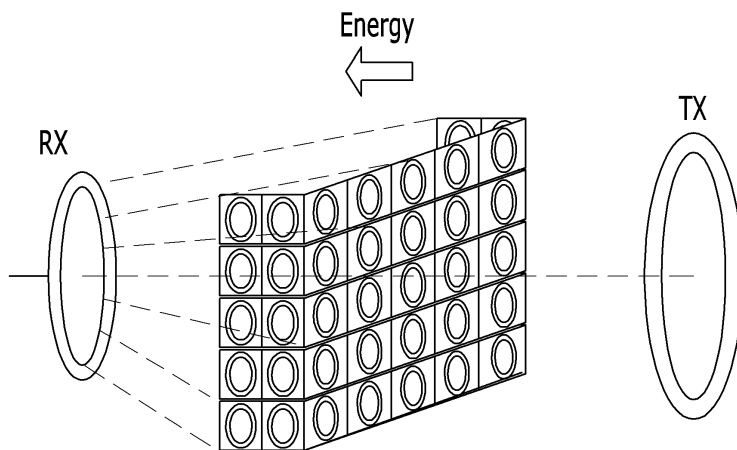
도면7



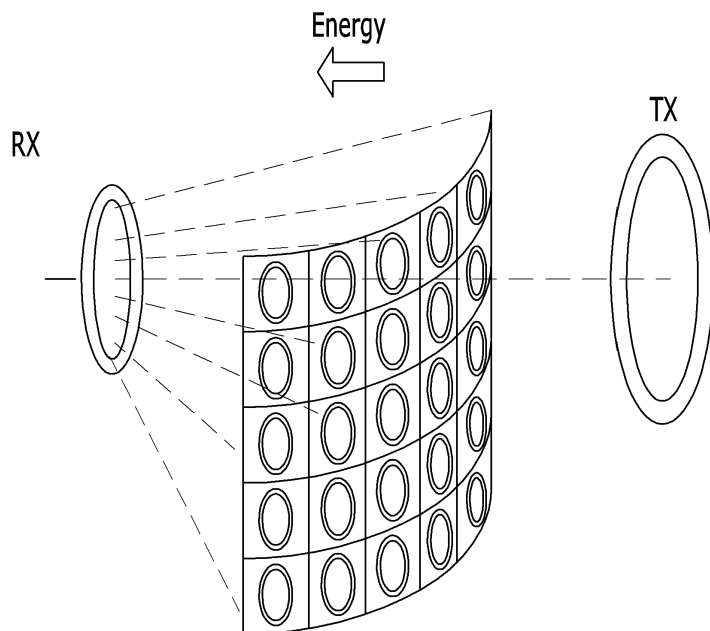
도면8



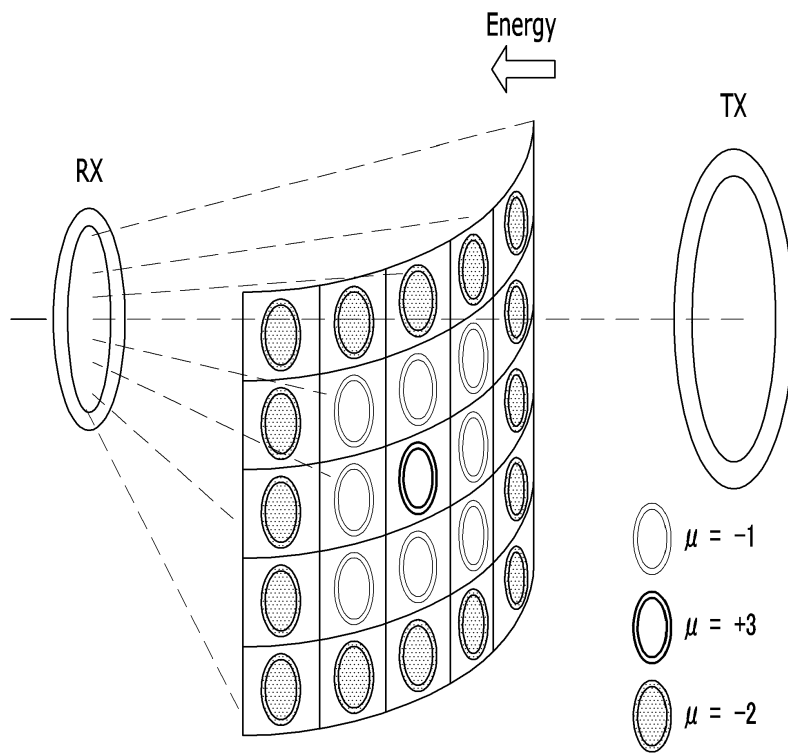
도면9



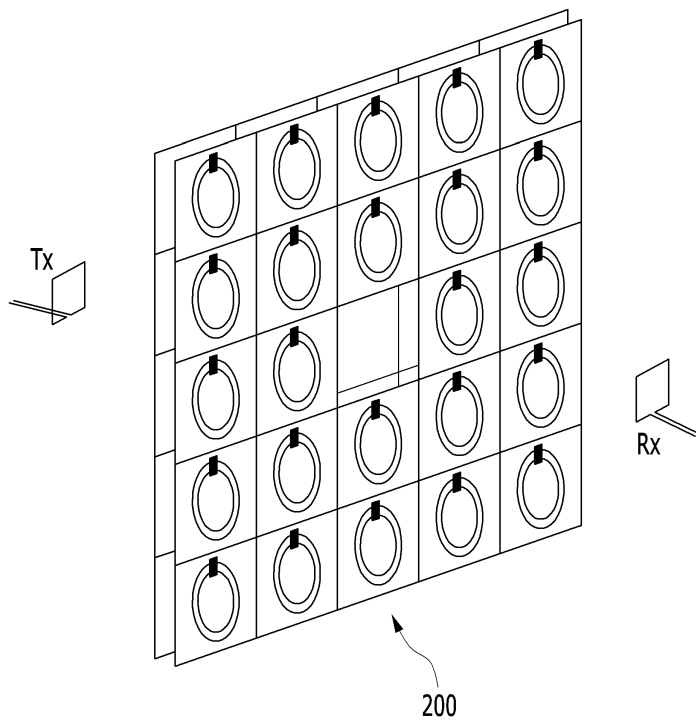
도면10



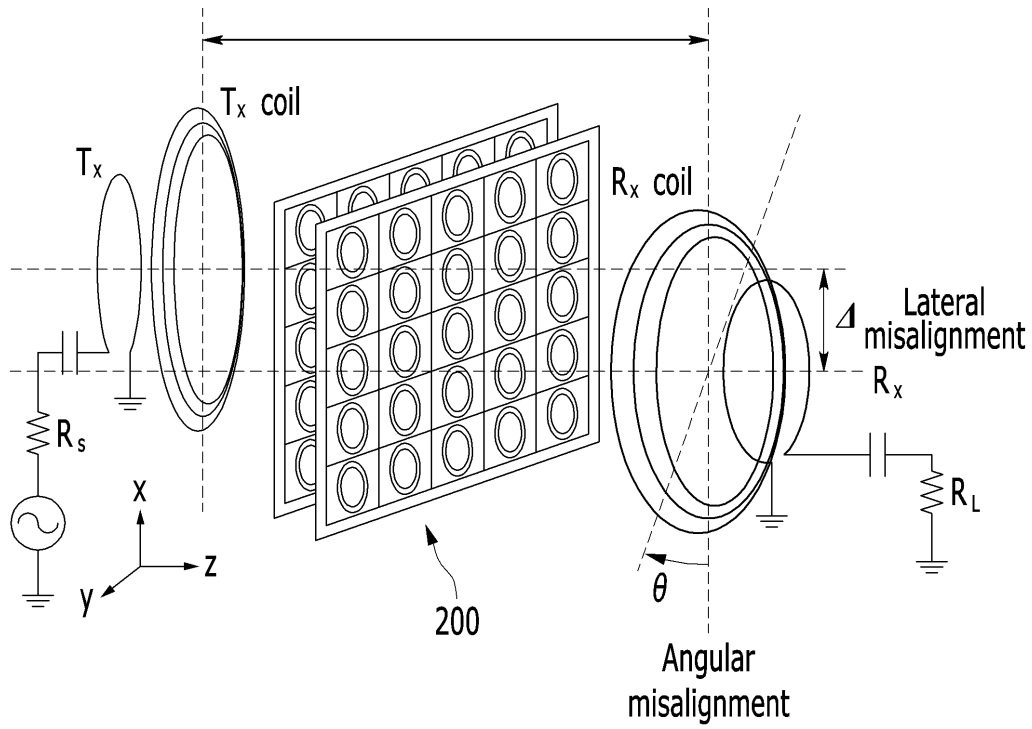
도면11



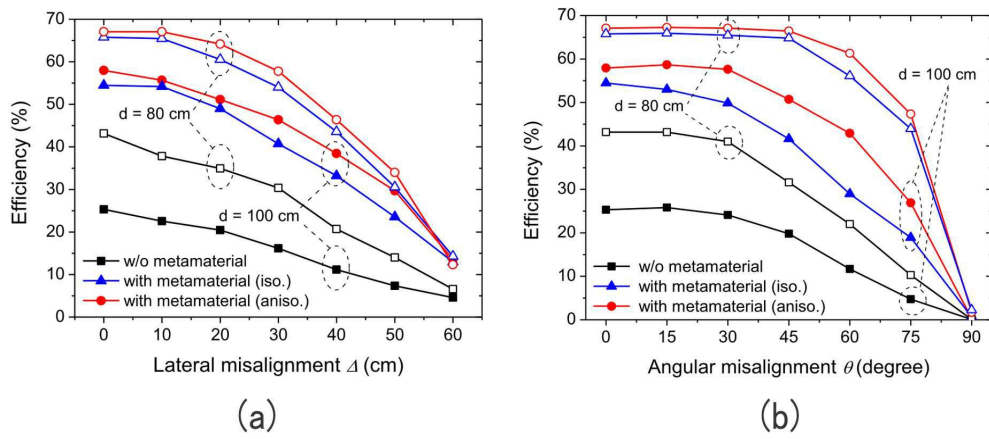
도면12



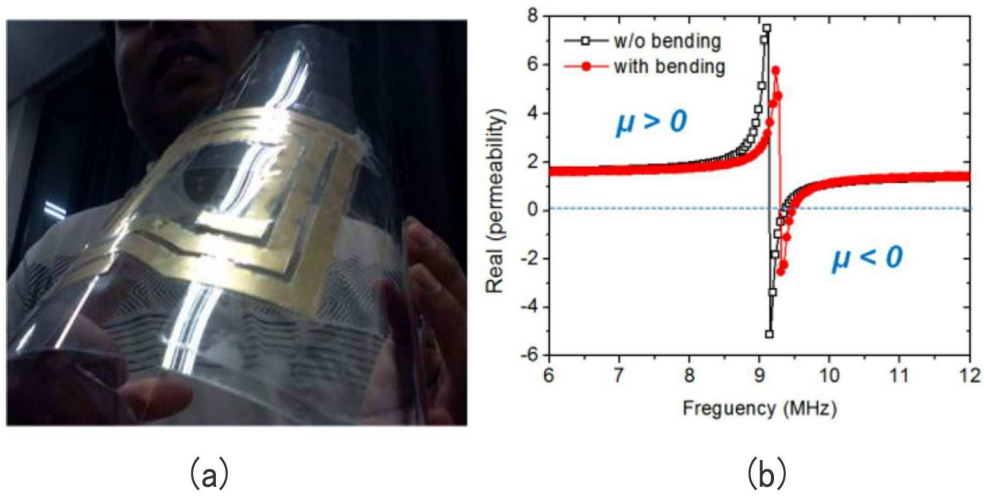
도면13



도면14



도면15



도면16

