



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월02일

(11) 등록번호 10-2403313

(24) 등록일자 2022년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01Q 9/28 (2018.01) H01Q 15/00 (2018.01)

(52) CPC특허분류
H01Q 9/285 (2013.01)
H01Q 15/0026 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0165758

(22) 출원일자 2020년12월01일

심사청구일자 2020년12월01일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020100083759 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 10 항

(73) 특허권자

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

최상조

울산광역시 남구 대학로 93 (무거동, 울산대학교)

이슬람 케이디 엠 라지울

울산광역시 남구 신복로23번길 21 (무거동)

(74) 대리인

김중선, 이형석

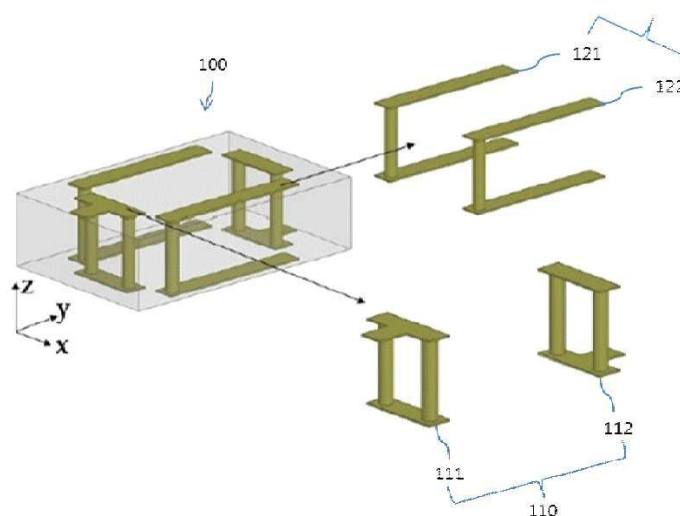
심사관 : 나병윤

(54) 발명의 명칭 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열

(57) 요약

본 발명은 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열에 관한 것으로, 이중 레이어 기판 내 마련되는 전기 다이폴과 자기 다이폴을 포함하며 서로 다른 투과 위상 범위를 가지는 복수의 메타표면 단위 셀을 포함하고, 상기 복수의 메타표면 단위 셀은 수평적으로 정렬된다.

대표도 - 도1a



(56) 선행기술조사문헌
 KR1020140030514 A
 KR1020160008457 A
 KR1020180105833 A
 US20150116173 A1
 US20160226156 A1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711107706
과제번호	2020R1C1C1012099
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	우수신진연구
연구과제명	고효율 적외선 나노안테나 기반 Full Stokes 편광기 설계기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2022.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

이중 레이어 기판 내 마련되는 전기 다이폴과 자기 다이폴을 포함하며 서로 다른 투과 위상 범위를 가지는 복수의 메타표면 단위 셀을 포함하고,

상기 복수의 메타표면 단위 셀은 수평적으로 정렬되는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 메타표면 단위 셀은,

전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 독립적으로 제어할 수 있는 3가지 토폴로지로 구현되는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 메타표면 단위 셀은,

서로 대향하게 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 서로 대향하게 배치되는 두 개의 자기 다이폴을 포함하는 제1 메타표면 단위 셀;

서로 대향하게 배치되는 두 개의 자기 다이폴과 중심에 하나의 전기 다이폴을 포함하는 제2 메타표면 단위 셀; 및

상부 레이어와 하부 레이어에 각각 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 중심에 배치되는 하나의 자기 다이폴을 포함하는 제3 메타표면 단위 셀을 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 제1 메타표면 단위 셀 및 상기 제2 메타표면 단위 셀의 전기 다이폴 및 자기 다이폴 각각은 바이어에 의해 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 제1 메타표면 단위 셀은,

자기 다이폴 길이를 조정하여 자기 표면 임피던스를 조절하고, 전기 다이폴 간의 간격 및 전기 다이폴 폭을 조정하여 전기 표면 어드미턴스를 조절하는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 6

청구항 3에 있어서,

상기 제2 메타표면 단위 셀은,

자기 다이폴 길이 및 전기 다이폴 폭 중 적어도 하나를 조정하여 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 조절하는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 7

청구항 3에 있어서,

상기 제3 메타표면 단위 셀은,

자기 다이폴과 전기 다이폴 사이의 수평 간격 및 자기 다이폴 길이를 조정하여 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 조절하는 것을 특징으로 하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열.

청구항 8

이중 레이어 내 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 두 개의 자기 다이폴을 포함하고,

상기 전기 다이폴 각각은 두 개의 바이어를 통해 연결되며 서로 다른 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하고,

상기 자기 다이폴 각각은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 메타표면 단위 셀.

청구항 9

이중 레이어 내 배치되는 하나의 전기 다이폴과 두 개의 자기 다이폴을 포함하고,

상기 전기 다이폴은 중심에 위치하며 하나의 바이어를 통해 중심이 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하고,

상기 자기 다이폴 각각은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 메타표면 단위 셀.

청구항 10

상부 레이어와 하부 레이어에 각각 배치되는 제1 및 제2 전기 다이폴; 및

상기 상부 레이어와 상기 하부 레이어 사이 중심에 위치하는 자기 다이폴을 포함하고,

상기 제1 및 제2 전기 다이폴은 사각형 형상의 금속 패턴을 포함하고,

상기 자기 다이폴은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 하는 메타표면 단위 셀.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

[0003] 투과배열(transmitarray)은 안테나에서 방사된 빔을 원하는 방향으로 변형하여 이득의 개선이나 빔 패턴의 변형을 얻는데 사용하는 안테나 렌즈이다. 메타표면(metasurface) 기반 투과배열은 공기 중 손실이 큰 밀리미터파 대역 시스템의 내장형 안테나를 위해 케이스 내부에 적용되고 있다.

[0004] 메타표면(metasurface)은 전자기파의 전파 방향, 편파 및 각운동량을 조작하기 위해 서브 파장 파티클 또는 단위 셀을 가지는 2차원 구조이다. 메타표면은 표면 전류(electric current) 및 자기 전류(magnetic current)를 통해 파장이 굴절하는 메타표면의 효율성을 개선하기 위해 호이겐스 원리(huygens's principle)를 기반으로 설계된다. 표면 전류(electric current) 및 자기 전류(magnetic current)를 도입하여 파장이 굴절하는 메타표면의 효율성을 개선하기 위해 호이겐스 원리가 활용되고 있다. 호이겐스 원리는 2차원 경계로 메타표면을 모델링하고, 투과된 파장의 방향을 조절하기 위해 전자파와 자기파에 대한 표면 임피던스를 제공한다. 호이겐스 원리에 기반한 메타표면 설계는 이론적으로 타당하나 실제로 PCB와 같은 평면 2D 구조에서 고전송 효율로 넓은 투과 위상 범위를 커버하는 전기 및 자기 표면 임피던스를 구현하는 것은 간단하지 않다.

[0005] 메타표면 단위 셀은 호이겐스 원리에 따른 표면 전기 및 자기 임피던스를 기반으로 설계된다. 그러나, 넓은 전송 위상 범위에서 낮은 전송 손실을 위한 단위 셀은 단위 셀 설계 과정을 복잡하게 하는 적어도 3개 이상의 금속 레이어를 필요로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR102027714B1 (2019.09.25)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 이중 레이어 내 마련되는 전기 다이폴과 자기 다이폴을 포함하는 메타표면 단위 셀을 이용하여 넓은 투과 위상 범위에서 높은 투과 효율을 제공하는 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시 예들에 따른 이중 레이어 메타표면 단위 셀 기반 투과배열은 이중 레이어 기판 내 마련되는 전기 다이폴과 자기 다이폴을 포함하며 서로 다른 투과 위상 범위를 가지는 복수의 메타표면 단위 셀을 포함하고, 상기 복수의 메타표면 단위 셀은 수평적으로 정렬되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 복수의 메타표면 단위 셀은, 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 독립적으로 제어할 수 있는 3가지 토폴로지로 구현되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 복수의 메타표면 단위 셀은, 서로 대향하게 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 서로 대향하게 배치되는 두 개의 자기 다이폴을 포함하는 제1 메타표면 단위 셀, 서로 대향하게 배치되는 두 개의 자기 다이폴과 중심에 하나의 전기 다이폴을 포함하는 제2 메타표면 단위 셀, 및 상부 레이어와 하부 레이어에 각각 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 중심에 배치되는 하나의 자기 다이폴을 포함하는 제3 메타표면 단위 셀을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 제1 메타표면 단위 셀 및 상기 제2 메타표면 단위 셀의 전기 다이폴 및 자기 다이폴 각각은 바이어에 의해 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 제1 메타표면 단위 셀은, 자기 다이폴 길이를 조정하여 자기 표면 임피던스를 조절하고, 전기 다이폴 간의 간격 및 전기 다이폴 폭을 조정하여 전기 표면 어드미턴스를 조절하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 제2 메타표면 단위 셀은, 자기 다이폴 길이 및 전기 다이폴 폭 중 적어도 하나를 조정하여 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 조절하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 상기 제3 메타표면 단위 셀은, 자기 다이폴과 전기 다이폴 사이의 수평 간격 및 자기 다이폴 길이를 조정하여

전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 조절하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 본 발명의 실시 예들에 따른 메타표면 단위 셀은 이중 레이어 내 배치되는 두 개의 전기 다이폴과 두 개의 자기 다이폴을 포함하고, 상기 전기 다이폴 각각은 두 개의 바이어를 통해 연결되며 서로 다른 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하고, 상기 자기 다이폴 각각은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 본 발명의 실시 예들에 따른 메타표면 단위 셀은 이중 레이어 내 배치되는 하나의 전기 다이폴과 두 개의 자기 다이폴을 포함하고, 상기 전기 다이폴은 중심에 위치하며 하나의 바이어를 통해 중심이 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하고, 상기 자기 다이폴 각각은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 본 발명의 실시 예들에 따른 메타표면 단위 셀은 상부 레이어와 하부 레이어에 각각 배치되는 제1 및 제2 전기 다이폴, 및 상기 상부 레이어와 상기 하부 레이어 사이 중심에 위치하는 자기 다이폴을 포함하고, 상기 제1 및 제2 전기 다이폴은 사각형 형상의 금속 패턴을 포함하고, 상기 자기 다이폴은 하나의 바이어를 통해 연결되며 동일한 형상을 가지는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 이중 레이어 내 마련되는 전기 다이폴과 자기 다이폴을 포함하는 메타표면 단위 셀을 이용하여 넓은 투과 위상 범위에서 높은 투과 효율을 제공할 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명에 따르면, 고효율 메타표면 단위 셀에 기반한 투과배열은 고이득 안테나 시스템에 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이다.

도 1b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.

도 2a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 2b 및 도 2c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 3a는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+150^\circ$ 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+150^\circ$ 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 4a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀의 $+120^\circ$ 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 4b 및 도 4c는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+120^\circ$ 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 5a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 과 -120° 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 5b 및 도 5c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -120° 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 6a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제2 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이다.

도 6b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제2 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.

도 7a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -90° 의 투과 위상에 대한 제2 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 7b 및 도 7c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -90° 의 투과 위상용 제2 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 8a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제3 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이다.

도 8b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제3 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.

도 9a 및 도 9b는 본 발명의 실시 예들에 따른 -60° 및 -30° 의 투과 위상에 대한 제3 메타표면 단위 셀의 주 파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이다.

도 9c 내지 도 9f는 본 발명의 실시 예들에 따른 -60° 및 -30° 의 투과 위상용 제3 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 모든 단위 셀의 평면도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 본 발명에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적인 용어가 본 발명의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에는, 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에서 사용되는 일반적인 용어는 사전에 정의되어 있는 바에 따라, 또는 전후 문맥상에 따라 해석되어야 하며, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.
- [0026] 또한, 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 발명에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계를 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복된 설명은 생략하기로 한다.
- [0028] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.
- [0029] 본 명세서에서는 호이겐스 원리를 기반으로 이중 레이어 내 전기 다이폴(electric dipole)과 자기 다이폴(magnetic dipole)을 구성하여 넓은 위상 커버리지(wide phase coverage)를 가지며 고효율과 고투과 효율을 제공하는 이중 레이어 메타 표면 단위 셀을 제시한다.
- [0030] 이하에서는 호이겐스 원리에 기반하여 메타표면 단위 셀을 설계하는 방법을 설명한다.
- [0031] GSTC(generalized sheet transition condition)는 메타표면을 전기 편극 밀도(electric polarizability density) α_{ES} 와 자기 편극 밀도(magnetic polarizability density) α_{MS} 로 모델링하고, 메타표면의 투과 계수 T 와 반사 계수 R 와 관련이 있다. 전기 편극 밀도 α_{ES} 와 자기 편극 밀도 α_{MS} 는 [수학식 1]과 [수학식 2]를 이용하여 전기 표면 어드미턴스(electric surface admittance, Y_{es})와 자기 표면 임피던스(magnetic surface impedance, Z_{ms})로 변환한다. 여기서, 등방성 표면 전기 어드미턴스와 자기 임피던스로 가정한다.

수학식 1

$$Y_{es} = j\omega\epsilon\alpha_{ES}$$

[0032]

수학식 2

$$Z_{es} = j\omega\mu\alpha_{MS}$$

[0033]

[0034] 정규화된 전기 표면 어드미턴스 $Y_{es} \eta_0$ 및 자기 표면 임피던스 Z_{ms}/η_0 는 수직 입사 상황에서 [수학식 3]과 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다. [수학식 3]과 [수학식 4]는 입사파와 투과파의 전파 방향이 동일하다는 가정하에 도출된 것이다.

수학식 3

$$Y_{es}\eta_0 = 2 \frac{1-T-R}{1+T+R}$$

[0035]

수학식 4

$$Z_{ms}/\eta_0 = 2 \frac{1-T+R}{1+T-R}$$

[0036]

[0037] 여기서, η_0 는 자유 공간에서 전파 임피던스이다. [수학식 3] 및 [수학식 4]는 무반사($R=0$) 메타표면이 정규화된 전기 표면 어드미턴스 $Y_{es} \eta_0$ 및 자기 표면 임피던스 Z_{ms}/η_0 의 동일한 값을 필요로 함을 나타낸다. 또한, 넓은 투과 위상 변화로 거의 완전한 투과($T=1$)를 유지하기 위하여, 전기 표면 어드미턴스 Y_{es} 및 자기 표면 임피던스 Z_{ms} 의 허수 부분만 사용해야 한다.

[0039] 본 발명은 모든 주파수 대역에서 낮은 투과 손실(<1dB)로 넓은 투과 위상 범위($-150^\circ \sim +150^\circ$)를 커버하기 위해 요구되는 정규화된 전기 표면 어드미턴스와 정규화된 자기 표면 임피던스를 제공하는 메타표면 단위 셀을 제시한다. 또한, 본 발명은 특정 투과 위상 범위에 최적화된 3가지 단위 셀 토폴로지를 제시한다.

[0040] 이하에서는 3가지 단위 셀 토폴로지로 구성되는 메타표면 단위 셀의 구조를 설명한다. 메타표면 단위 셀은 각각 4.3의 상대 유전율 ϵ_r 과 0.008의 손실 탄젠트 $\tan \delta$ 를 가지는 1.6 mm 두께의 이중 레이어 FR4 기판에 구현될 수 있다.

[0042] 도 1a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이고, 도 1b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.

[0043] 제1 메타표면 단위 셀(100)은 이중 레이어 내 배치되는 2개의 전기 다이폴(110: 111 및 112) 및 2개의 자기 다이폴(120: 121 및 122)을 포함할 수 있다. 제1 메타표면 단위 셀(100)은 길이 l 및 폭 w이 각각 6mm 및 3.9mm로 고정되는 직사각형 모양이다.

[0044] 전기 다이폴(110) 각각(111, 112)은 두 개의 바이어(via)를 통해 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함할 수 있다. 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 구리와 같은 금속으로 형성될 수 있다. 제1 다이폴(111)은 T형상의 상부 금속 패턴과 라인 형상의 하부 금속 패턴으로 구성되고, 제2 다이폴(112)은 라인 형상의 상부 금속 패턴과 T형상의 하부 금속 패턴으로 구성된다. 제1 다이폴(111)과 제2 다이폴(112)은 xz면을 기준으로 대칭되게 배치될 수 있다.

[0045] 자기 다이폴(120) 각각(121, 122)은 하나의 바이어를 통해 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함할 수 있다. 여기서, 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴은 라인 형상으로 동일하다. 자기 다이폴(120)의 yz 단면은 'ㄷ'자 형상을 가진다. 제1 자기 다이폴(121)과 제2 자기 다이폴(122)은 zy면을 기준으로 대칭되게 배치된다.

- [0046] 제1 메타표면 단위 셀(100)의 전기 표면 어드미턴스 Y_{es} 및 자기 표면 임피던스 Z_{ms} 는 자기 다이폴 길이 ml , 용량성 결합 전기 다이폴 사이의 간격(gap) g , 전기 다이폴의 커패시터 폭(전기 다이폴 폭) ew , 및 전기 다이폴 길이 el 등의 파라미터에 의해 조절될 수 있다. 여기서, 전기 다이폴 길이 el 은 용량성 결합 전기 다이폴 사이의 간격 g 에 종속된다. 자기 표면 임피던스 Z_{ms} 는 자기 다이폴 길이에 의해 결정되고, 전기 표면 어드미턴스 Y_{es} 는 용량성 결합 전기 다이폴 사이의 간격 및 전기 다이폴 폭에 의해 결정될 수 있다.
- [0047] 제1 메타표면 단위 셀(100)에 적용된 제1 단위 셀 토폴로지는 전기 및 자기 구조가 모두 호이겐스의 표면 전류 및 자기 전류에 수직으로 구현되기 때문에 전기 공명 및 자기 공명을 독립적으로 제어할 수 있게 한다.
- [0049] 이하에서는 제1 메타표면 단위 셀을 특정 투과 위상에 최적화한 예를 설명한다.
- [0050] 도 2a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 2b 및 도 2c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0051] 낮은 투과 손실로 -150° 의 투과 위상을 구현하기 위해서는 높은 양(positive)의 전기 표면 어드미턴스 Y_{es} 및 자기 표면 임피던스 Z_{ms} 를 요구한다. $ml=3.64mm$, $g=3.68mm$, 및 $ew=1.7mm$ 인 단위 셀은 $-0.96dB$ 의 투과 손실(투과 효율)과 -150° 의 투과 위상을 가지는 높은 전기 표면 어드미턴스 7.55 및 자기 표면 임피던스 5.87를 구현할 수 있다. 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스의 균형을 위해, 전기 표면 어드미턴스의 피크가 발생하는 전기 표면 어드미턴스 공명은 12.4GHz 근처에 위치해야 하는데, 이는 도 2b에 도시된 바와 같이, 두 개의 전기 다이폴 사이의 넓은 간격($g=3.68mm$)으로 낮은 커패시턴스를 구현할 수 있다. 그러나, 자기 표면 임피던스 공명은 10GHz에서 전기 표면 어드미턴스와 일치할 위해 충분히 높은 자기 표면 임피던스를 달성하기 위해 10GHz에 가까워야 한다. 도 2c에 도시된 바와 같이 높은 자기장은 자기 다이폴(120)에 전류가 흐르기 때문에 x 축을 따라 얻어진다.
- [0053] 도 3a는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+150^\circ$ 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+150^\circ$ 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0054] 도 3a에 도시된 바와 같이, $+150^\circ$ 의 투과 위상을 구현하기 위해, 10GHz에서 음(negative)의 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스가 요구된다. 음의 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 얻기 위해 전기 표면 어드미턴스 공명 주파수와 자기 표면 임피던스 공명 주파수를 줄였다. $+150^\circ$ 의 투과 위상용 단위 셀에서 전기 다이폴 사이의 간격은 1.30mm까지 줄이고, 자기 다이폴 길이는 3.61mm까지 증가시킨다. 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스 공명 주파수는 8.2GHz와 9.8GHz로 이동하고, 10GHz에서 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스는 -7.19 및 -7.15 로 $-1.1dB$ 의 손실로 $+150^\circ$ 의 투과 위상을 제공할 수 있다.
- [0055] 도 3b를 참조하면, 10GHz에서 단위 셀 중심의 x - y 면 전기장의 y 성분은 -150° 위상의 단위 셀에 비하여 전기 표면 어드미턴스의 낮은 공명 주파수를 담당하는 전기 다이폴의 커패시터 구조 사이의 갭 근처에 분포된다. 도 3c를 참조하면, 자기장의 강한 x 성분은 자기 표면 임피던스의 공명 주파수를 낮추고 10GHz에서 음의 자기 표면 임피던스 값을 제공하는 중간 자기 다이폴에 분포된다.
- [0057] 도 4a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제1 메타표면 단위 셀의 $+120^\circ$ 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 4b 및 도 4c는 본 발명의 실시 예들에 따른 $+120^\circ$ 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장 및 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0058] $+120^\circ$ 에서 0° 까지의 투과 위상을 커버하기 위해서는 낮은 음(negative)의 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스 값이 요구된다. -150° 위상의 단위 셀에 기반하여, 10GHz에서 요구되는 전기 표면 어드미턴스를 달성하기 위해서 전기 다이폴 폭을 튜닝하고 전기 다이폴 사이의 간격을 줄여 전기 표면 어드미턴스의 공명 주파수를 줄였다. 자기 다이폴 길이는 자기 표면 임피던스 공명 주파수를 줄이기 위해 증가되고 10GHz에서 더 낮은 음의 자기 표면 임피던스 값을 구현했다. 도 4a를 참조하면, $g = 0.37\text{ mm}$, $ew = 1.0\text{ mm}$, 및 $ml = 3.70\text{ mm}$ 인 단위 셀의 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스가 10GHz에서 -3.5 및 -3.3 이면, $-1.1dB$ 의 낮은 손실로 $+120^\circ$ 의 투과 위상을 구현할 수 있다. 도 4b 및 4c를 참조하면, $+120^\circ$ 의 단위 셀의 전기장의 y 성분과 자기장의 x 성분은 150° 의 단위 셀에 비해 자기 다이폴의 길이가 더 길기 때문에, 전기 다이폴의 더 작은 간격에서 유사하게 제한된 y 성분의 전기장과 더 강한 자기장이 분포된다. y 방향을 따라 더 제한된 전기장과 x 방향을 따라 더 높

은 자기장으로 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스 공명 주파수를 낮추는 동일한 방법을 사용하여 $+90^\circ$ 에서 0° 까지의 위상을 커버할 수 있다.

- [0060] 도 5a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -150° 과 -120° 의 투과 위상에 대한 제1 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 5b 및 도 5c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -120° 의 투과 위상용 제1 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0061] 음의 투과 위상을 구현하기 위해 -150° 의 단위 셀을 이용하고 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스에 대한 공명 주파수를 증가시켜 -120° 를 구현할 수 있다. 단위 셀의 유효 커패시턴스와 인덕턴스를 줄이기 위해, 전기 다이폴 사이의 간격을 3.68mm에서 4.60mm로 증가시키고, 자기 다이폴 길이를 3.64mm에서 3.61mm로 줄였다. 최종적으로, 10 GHz에서 더 낮은 양의 전기 표면 어드미턴스 3.9 및 자기 표면 임피던스 2.8은 -0.72 dB의 낮은 투과 손실을 구현했다.
- [0062] 도 5a는 -150° 과 -120° 에 대한 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한다. 14.8GHz 근처에서 전기 표면 어드미턴스 공명 주파수가 더 높기 때문에, 10GHz에서 -120° 의 경우 더 낮은 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 보인다. -120° 의 경우 낮은 자기 표면 임피던스는 10.2GHz 근처에서 공명 주파수를 더 높은 주파수로 이동시킨다. 도 5b를 참조하면, -120° 의 단위 셀의 전기장 y성분은 -150° 의 경우에 비하여 넓은 면적으로 분포한다.
- [0064] 도 6a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제2 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이고, 도 6b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제2 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.
- [0065] 제2 메타표면 단위 셀(200)은 낮은 전기 표면 어드미턴스를 제공하기 위해 하나의 전기 다이폴(210)과 두 개의 자기 다이폴(220)로 구성되는 제2 단위 셀 토폴로지로 구현될 수 있다.
- [0066] 전기 다이폴(210)은 라인 형상의 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함하고, 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴의 중심을 연결하는 하나의 바이어를 포함할 수 있다. 상부 금속 패턴, 하부 금속 패턴 및 바이어는 구리와 같은 금속 물질로 형성될 수 있다.
- [0067] 자기 다이폴(220)은 z-y면을 기준으로 대칭되게 배치되는 제1 자기 다이폴(221) 및 제2 자기 다이폴(222)을 포함할 수 있다. 제1 자기 다이폴(221) 및 제2 자기 다이폴(222) 각각은 하나의 바이어를 통해 연결되는 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함할 수 있다. 여기서, 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴은 라인 형상으로 동일하다. 자기 다이폴(220)의 y-z 단면은 'ㄷ'자 형상을 가진다.
- [0068] 제2 메타표면 단위 셀(200)의 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스는 전기 다이폴 폭과 자기 다이폴 길이에 의해 조절될 수 있다.
- [0069] -90° 의 투과 위상을 커버하기 위해 낮은 양의 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스가 요구된다. 도 6b를 참조하면, 전기 다이폴 폭과 자기 다이폴 길이를 2mm와 3.47mm로 조정하여 정규화된 전기 표면 어드미턴스와 자기 표면 임피던스를 2.8과 1.4로 조절하여 -0.72 dB의 낮은 투과 손실로 -90° 의 투과 위상을 구현했다.
- [0071] 도 7a는 본 발명의 실시 예들에 따른 -90° 의 투과 위상에 대한 제2 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 7b 및 도 7c는 본 발명의 실시 예들에 따른 -90° 의 투과 위상용 제2 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0072] 도 7a를 참조하면, 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스는 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스의 공명 주파수가 10GHz보다 더 높기 때문에, 10GHz에서 더 낮아진다. 도 7b 및 7c를 참조하면, 전기장은 -120° 에 비하여 더 넓게 분포하고, 자기장은 더 약해진다.
- [0074] 도 8a는 본 발명의 실시 예들에 따른 제3 메타표면 단위 셀을 도시한 측면도이고, 도 8b는 본 발명의 실시 예들에 따른 제3 메타표면 단위 셀을 도시한 상면도이다.
- [0075] 제3 메타표면 단위 셀(300)은 제3 단위 셀 토폴로지로 구현될 수 있다. 제3 메타표면 단위 셀(300)은 두 개의 전기 다이폴(310)과 하나의 자기 다이폴(320)을 포함할 수 있다. 제3 단위 셀 토폴로지는 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 추가로 줄여 -60° 및 -30° 의 투과 위상을 커버할 수 있게 한다.
- [0076] 전기 다이폴(310)은 상부 레이어에 형성되는 제1 전기 다이폴(311) 및 하부 레이어에 형성되는 제2 전기 다이폴(312)을 포함할 수 있다. 제1 전기 다이폴(311)은 상부 레이어의 경계를 따라 형성되는 사각형 형상의 금속 패턴을 포함하고, 제2 전기 다이폴(312)은 하부 레이어의 경계를 따라 형성되는 사각형 형상의 금속 패턴을 포함

할 수 있다.

- [0077] 자기 다이폴(320)은 단위 셀(300)의 중심에 배치될 수 있다. 자기 다이폴(320)은 하나의 바이어를 통해 연결되는 라인 형상의 상부 금속 패턴과 하부 금속 패턴을 포함할 수 있다.
- [0078] 제3 단위 셀 토폴로지의 기하학적 파라미터는 $g1$, $g2$, $g3$ 및 $m1$ 을 포함할 수 있다. 여기서, $g1$ 과 $g2$ 는 전기 다이폴(310)과 자기 다이폴(320) 사이의 수평 간격이고, $g3$ 은 전기 다이폴(310)의 양단부 사이의 간격으로, 0.5mm 로 고정될 수 있다. $m1$ 은 자기 다이폴 길이로, 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 거의 제로로 조절하기 위해 조정될 수 있다. 여기서, $m1$ 과 $g2$ 는 전기 다이폴의 수직 길이를 결정한다.
- [0080] 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 실시 예들에 따른 -60° 및 -30° 의 투과 위상에 대한 제3 메타표면 단위 셀의 주파수에 따른 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스를 도시한 그래프이고, 도 9c 내지 도 9f는 본 발명의 실시 예들에 따른 -60° 및 -30° 의 투과 위상용 제3 메타표면 단위 셀의 전기장과 자기장 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- [0081] 제3 단위 셀 토폴로지는 -60° 및 -30° 의 경우에 -0.34dB 및 -0.59dB 의 제로 투과 손실을 구현할 수 있게 한다. 이 토폴로지는 도 9a 및 도 9b에 도시된 바와 같이, 최대 전기 표면 어드미턴스 공명 주파수는 8GHz 미만이고, 10GHz 에서 제로 전기 표면 어드미턴스를 구현했다.
- [0082] 도 9c 및 도 9d를 참조하면, -60° 및 -30° 의 경우, 단위 셀의 모든 영역에 전기장이 분포된다. 전기장의 광범위한 분포는 두 경우 모드 10GHz 에서 거의 0에 가까운 전기 표면 어드미턴스 때문일 수 있다. -60° 의 경우와 비교하여 -30° 의 경우에는 더 분산된 전기장을 보여주므로, -60° 에서 약간 더 높은 전기 표면 어드미턴스를 달성했다. 도 9e 및 도 9f를 참조하면, -60° 의 경우 x 축을 따라 더 높은 자기장을 보여 10GHz 에서 더 높은 자기 표면 임피던스를 나타낸다.
- [0084] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 모든 단위 셀의 평면도를 도시한다.
- [0085] 도 10을 참조하면, 전체 단위 셀은 제1 내지 제3 단위 셀 토폴로지에 따른 11개의 단위 셀을 포함한다. 각 단위 셀의 전기 표면 어드미턴스 및 자기 표면 임피던스와 투과 파라미터는 [표 1]과 같다. [표 1]을 참조하면, 최대 및 최소 투과 손실 레벨은 각각 1.1 dB 및 0.34 dB 이고 평균 투과 손실은 0.82dB 이다. 각 단위 셀 토폴로지는 특정 투과 위상에 대해 최적화됨에 따라 전체 단위 셀의 투과 손실을 줄일 수 있다.

표 1

Cell	Topology	g (mm)	$g1$ (mm)	$g2$ (mm)	$m1$ (mm)	ew (mm)	Im (Y_{es})	Im (Z_{ms})	Transmission Phase($^\circ$)	Transmission Loss (dB)
1	1	0.20			4.60	1.7	0	0	0	-0.4
2	1	0.20			4.15	1.7	-1.1	-0.2	30	-1.1
3	1	0.20			3.72	2.1	-1.5	-0.9	60	-1.0
4	1	0.20			3.76	1.0	-2.4	-1.7	90	-1.0
5	1	0.37			3.70	1.0	-3.5	-3.3	120	-1.1
6	1	1.30			3.61	1.7	-7.19	-7.15	150	-1.1
7	1	3.68			3.64	1.7	7.55	5.87	-150	-0.96
8	1	4.60			3.61	1.7	3.9	2.8	-120	-0.72
9	2				3.47	2.0	2.8	1.4	-90	-0.72
10	3		0.5	0.8	3.6		1.4	0.88	-60	-0.59
11	3		1	0.6	2.8		0.7	0.4	-30	-0.34

- [0086]
- [0087] $-150^\circ \sim 150^\circ$ 의 투과 위상 범위를 커버할 수 있는 11개의 단위 셀을 기반으로 근거리에서 방사되는 입사 구형파를 콜리메이트하는 투과배열을 설계할 수 있다. 투과배열 설계 시 초점에서 구형파를 콜리메이트하기 위해 요구되는 투과 위상 Φ_i 은 [수학식 5]를 이용하여 결정하고 결정된 투과 위상에 대응하는 단위 셀이 정렬된다.

수학식 5

$$\phi_i = k_0(R_i - f) + \phi_0$$

[0088]

[0089]

여기서, R_i 는 단위 셀의 중심과 초점 사이의 거리이고, f 는 초점 거리이다. k_0 는 10GHz 주파수의 파수이고, ϕ_0 는 R_i 와 f 가 일치하는 투과배열의 중심 디폴트 위상으로, -150° 로 할당될 수 있다.

[0090]

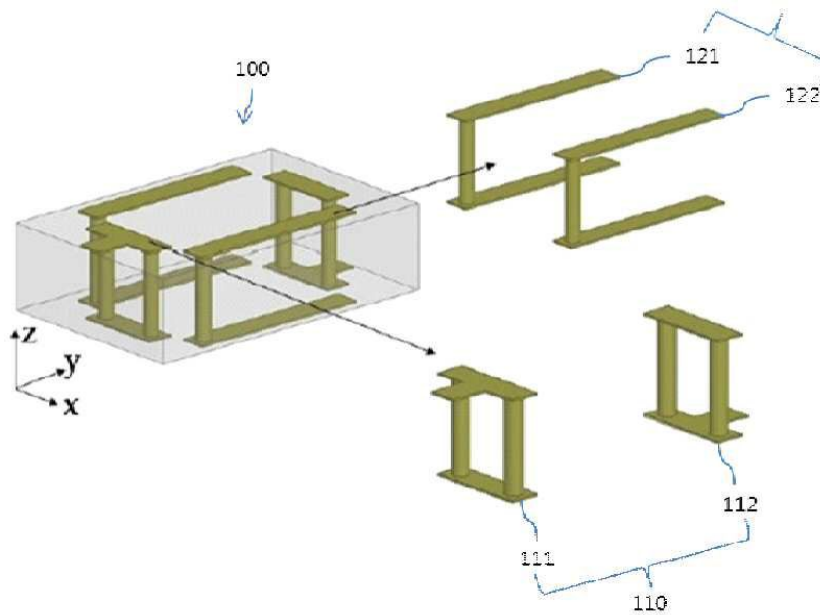
투과배열은 서로 다른 투과 위상 범위를 가지는 복수의 메타표면 단위 셀을 포함할 수 있다. 복수의 메타표면 단위 셀은 수평 방향으로 나란히 정렬될 수 있다.

[0091]

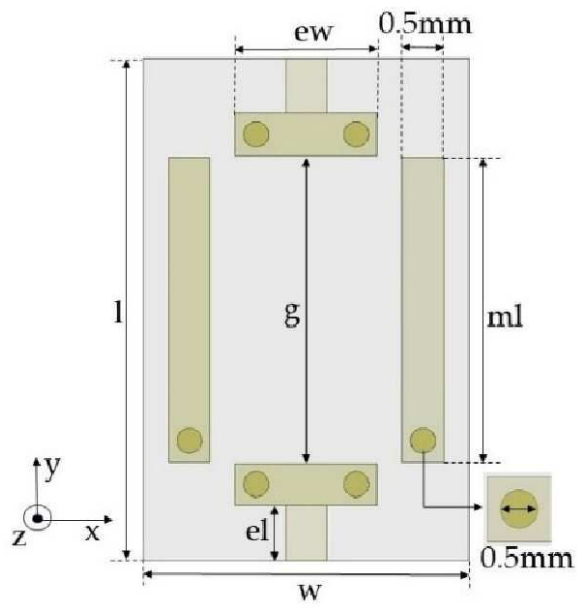
이상에서는 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

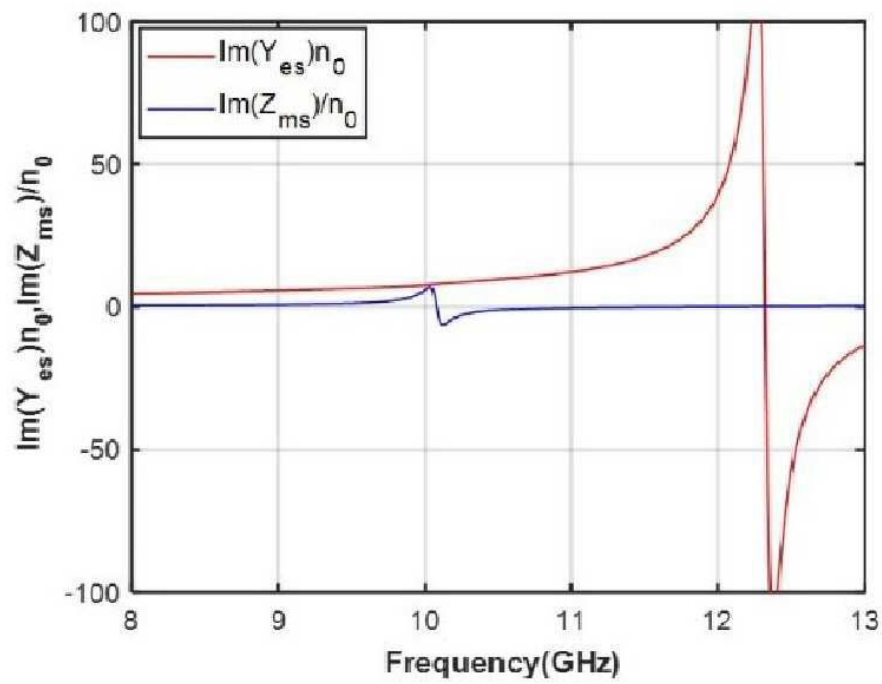
도면1a



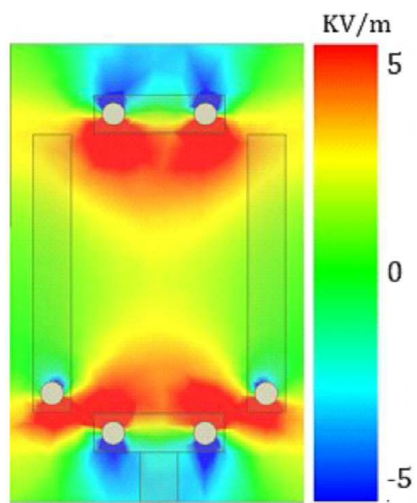
도면1b



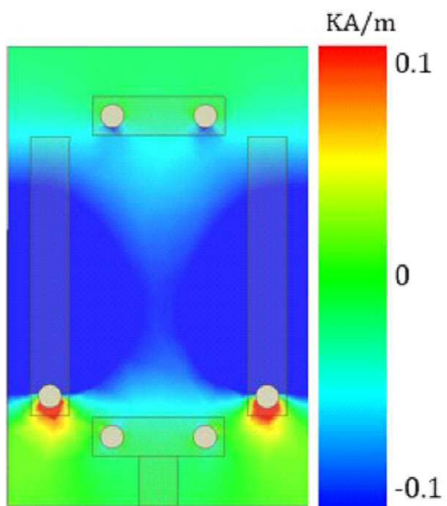
도면2a



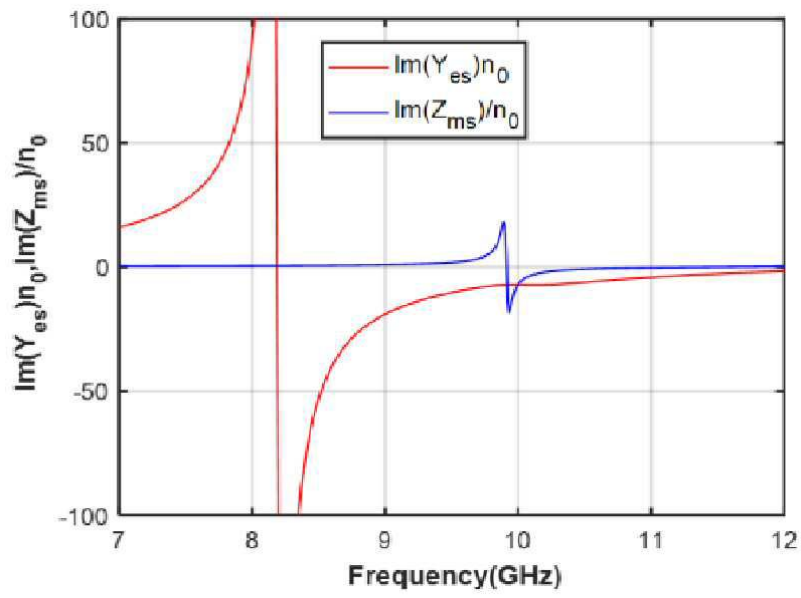
도면2b



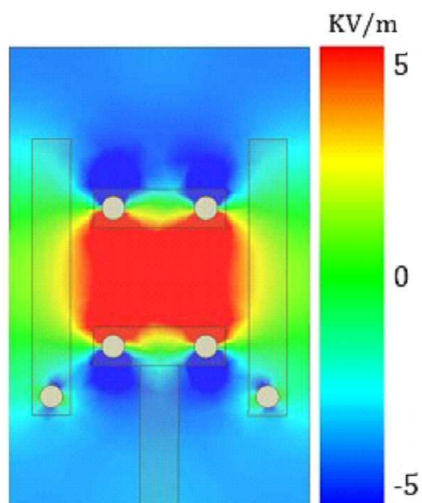
도면2c



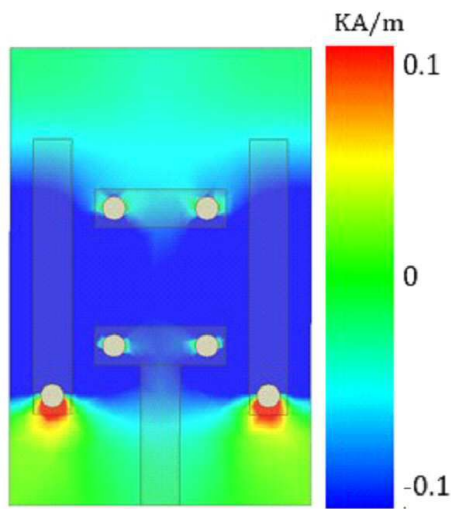
도면3a



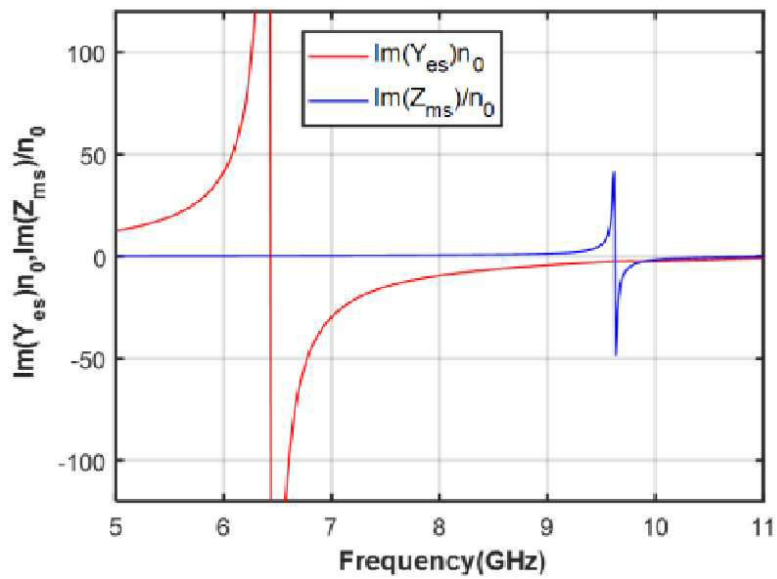
도면3b



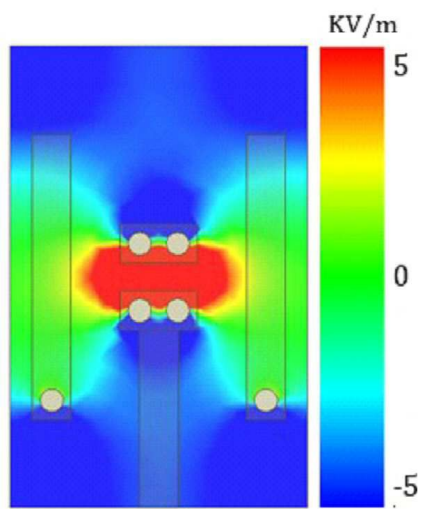
도면3c



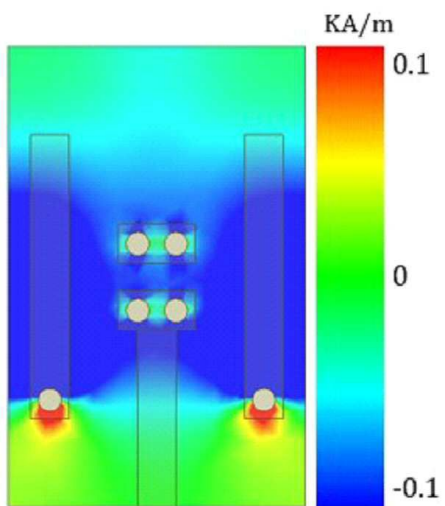
도면4a



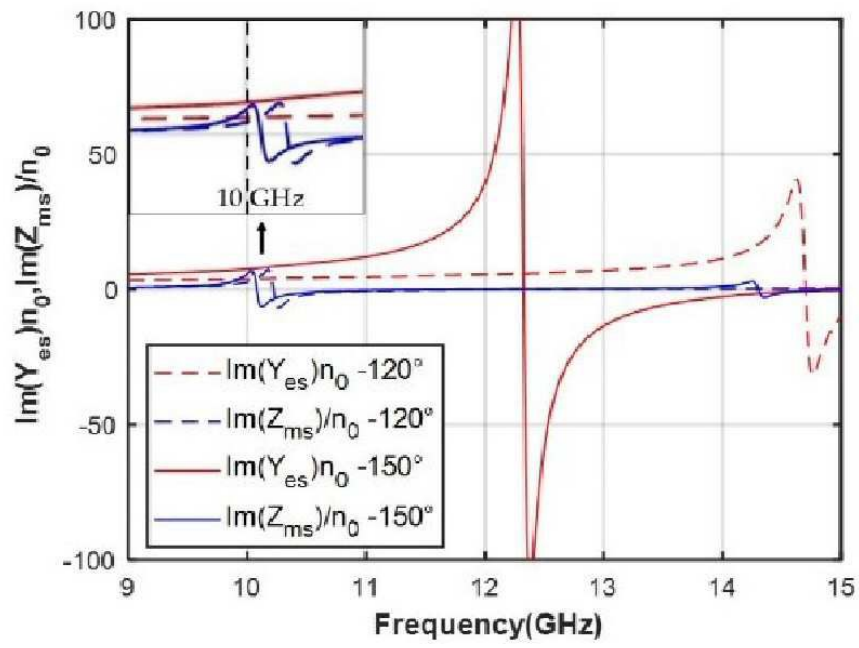
도면4b



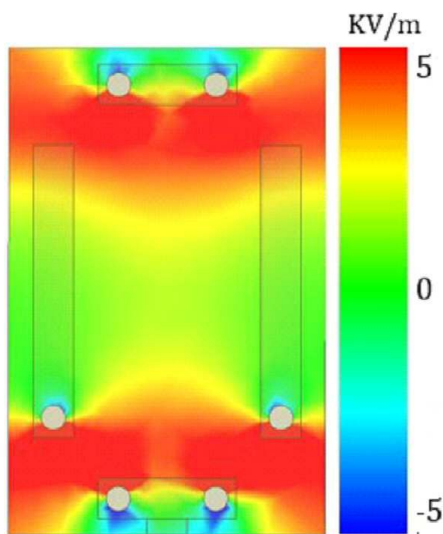
도면4c



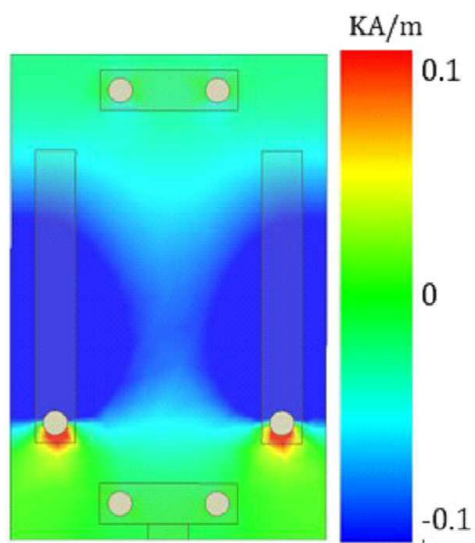
도면5a



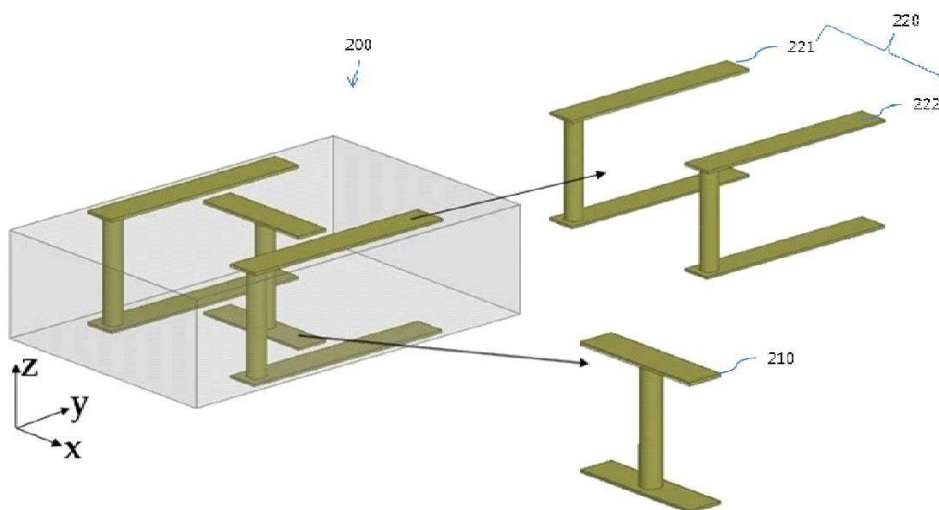
도면5b



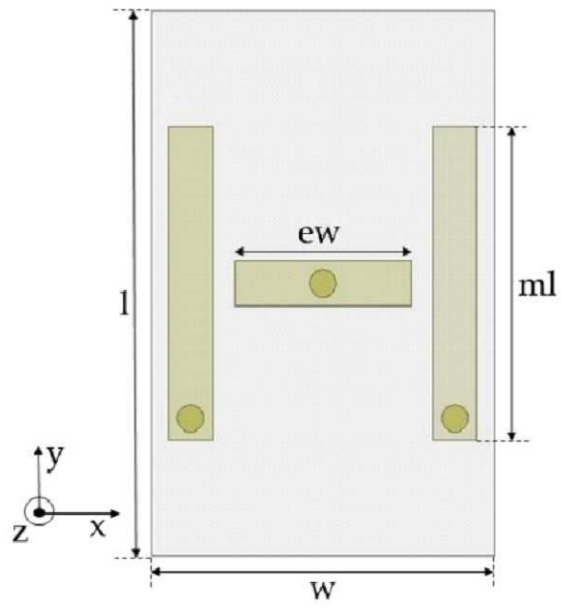
도면5c



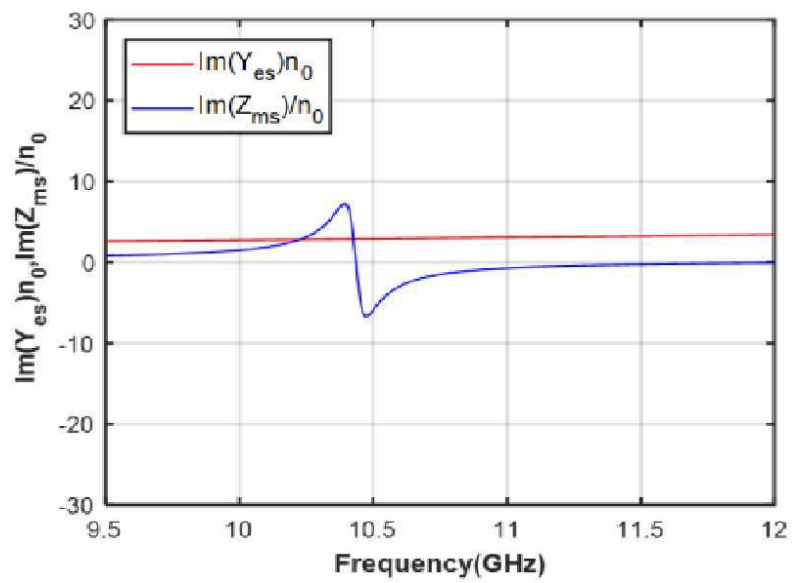
도면6a



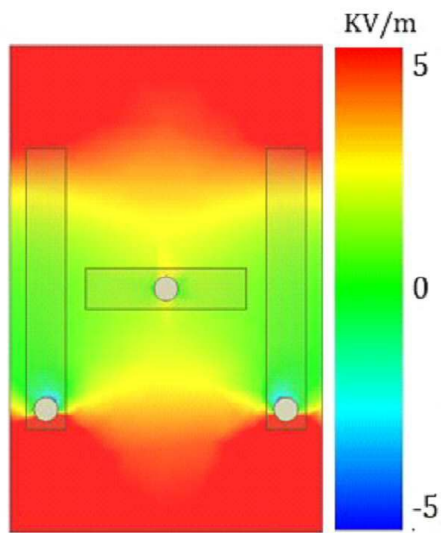
도면6b



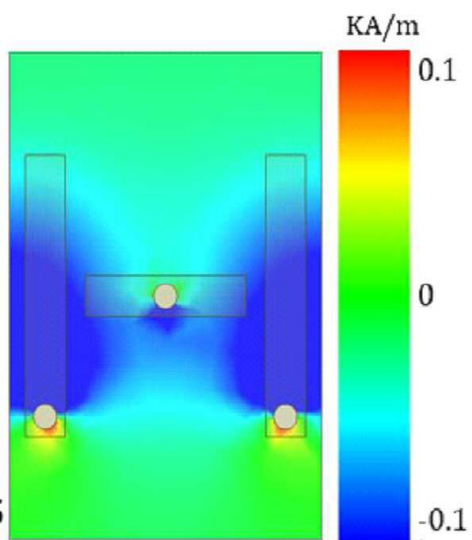
도면7a



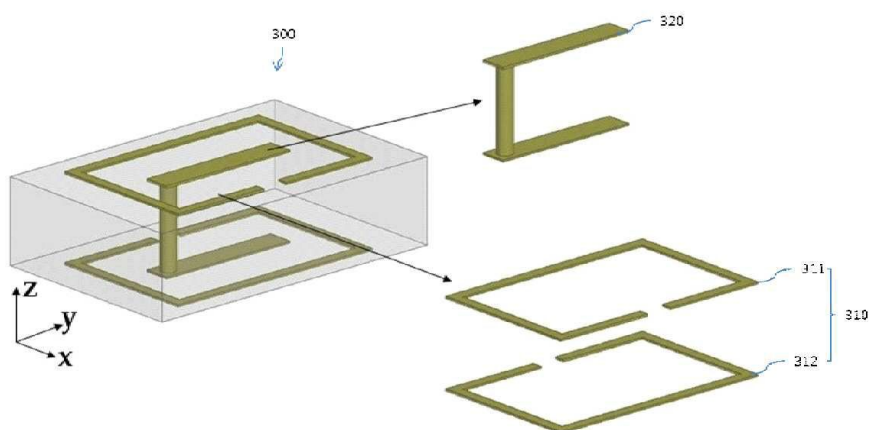
도면7b



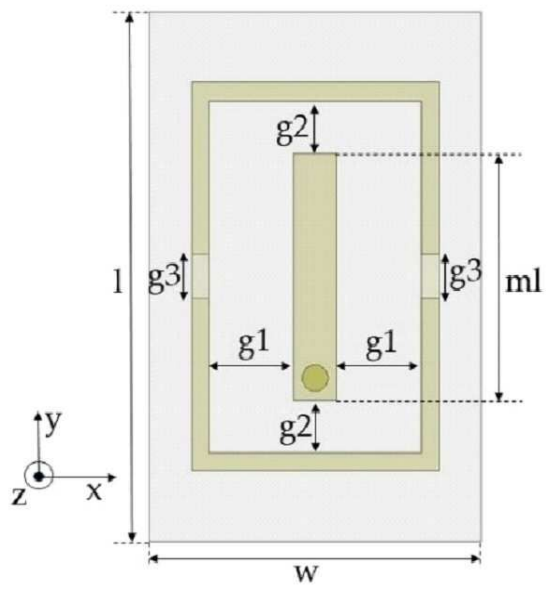
도면7c



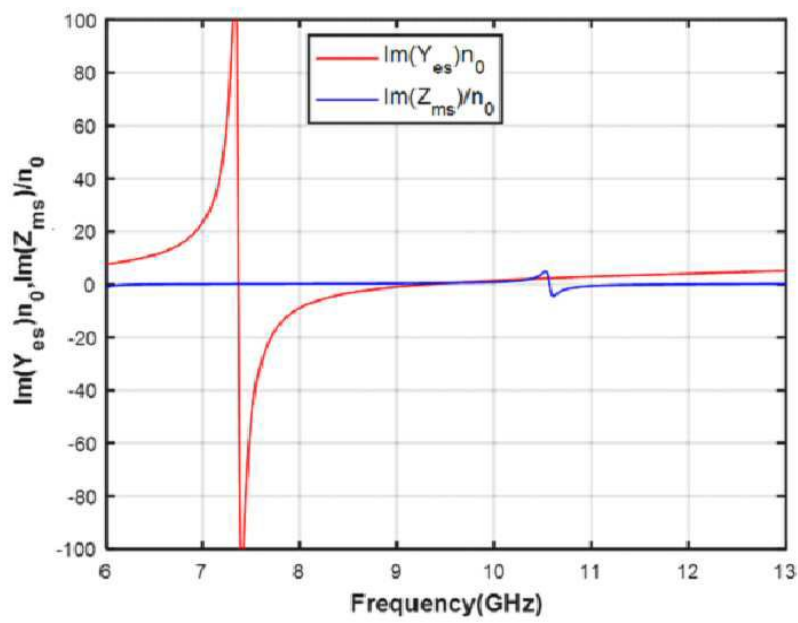
도면8a



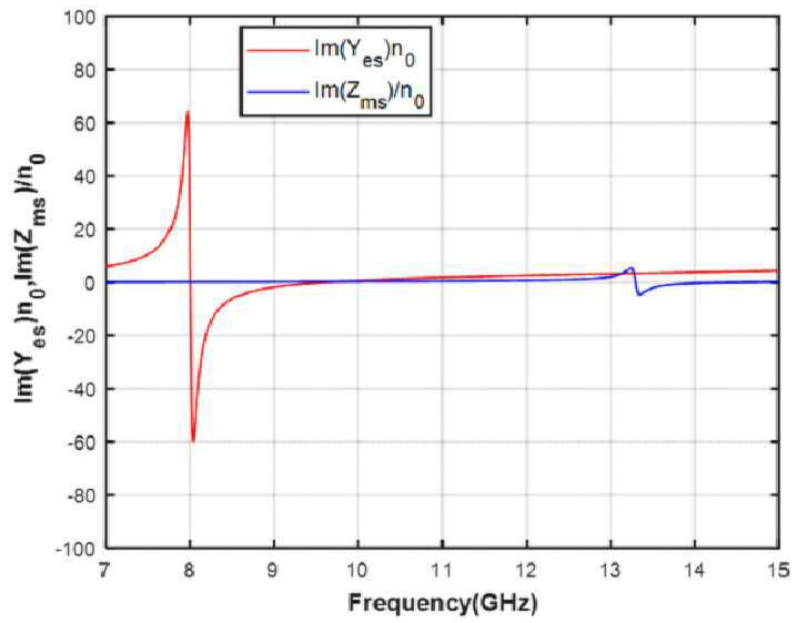
도면8b



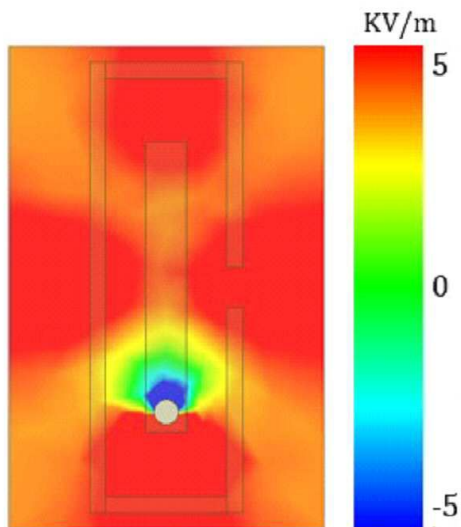
도면9a



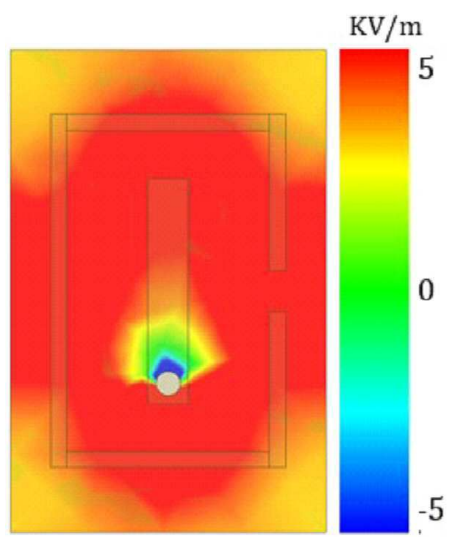
도면9b



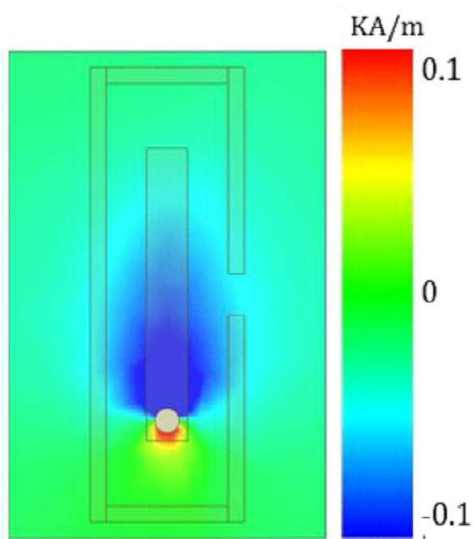
도면9c



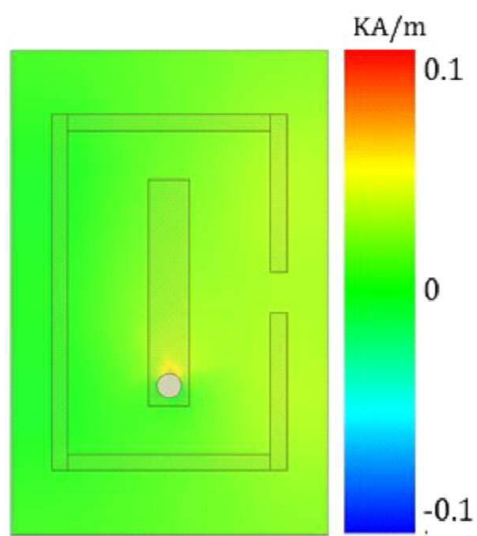
도면9d



도면9e



도면9f



도면10

