



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월01일

(11) 등록번호 10-2789621

(24) 등록일자 2025년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01Q 15/00 (2018.01) H01Q 21/00 (2018.01)

H01Q 21/24 (2018.01) H01Q 5/307 (2015.01)

(52) CPC특허분류

H01Q 15/0086 (2013.01)

H01Q 21/0081 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0187073

(22) 출원일자 2023년12월20일

심사청구일자 2023년12월20일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020100124368 A

KR1020110031614 A

KR1020120015163 A

(73) 특허권자

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

변강일

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

허진명

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 변종길

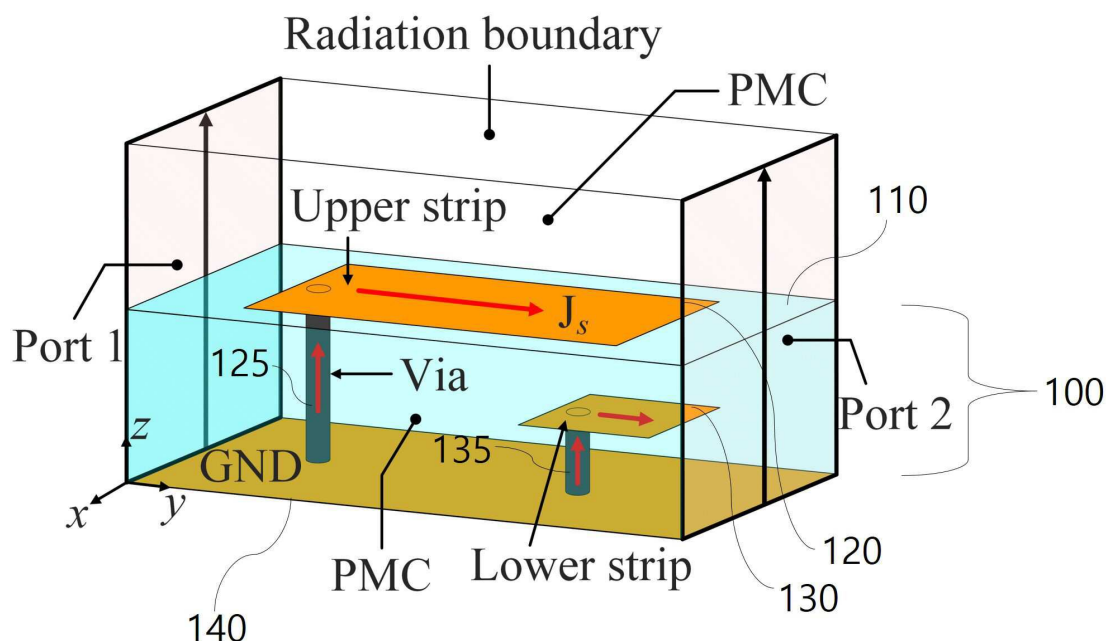
(54) 발명의 명칭 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면

(57) 요약

본 발명은 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면 안테나에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 유전체의 상면에 형성되고 유전체 하면의 접지면과 제1 비아홀로 연결되어 상단 버섯 구조를 형성하며 제1 동작 주파수에서 공진하는 상단 스트립과, 상기 유전체 내부의 설정 높이에 위치하고 상기 접지면

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



과 제2 비아홀로 연결되어 하단 버섯 구조를 형성하며, 상기 제1 동작 주파수보다 높은 제2 동작 주파수에서 공진하는 하단 스트립으로 이루어진 단위셀을 포함하며, 상기 상단 스트립이 하단 스트립보다 긴 길이로 이루어지고, 상기 상단 버섯 구조의 하측에 상기 하단 버섯 구조가 이격 적층된 구조를 가지는 이중대역 이중편파 메타표면 안테나를 제공한다.

본 발명에 따르면, 다중 안테나 시스템에서 서로 다른 동작 주파수 대역을 갖거나 이중 편파를 갖는 안테나 사이에 배치되어 안테나 간에 격리도를 개선할 수 있다. 또한, 본 발명은 이중 대역에서 표면파 진행을 억제 가능하며 안테나의 방사 이득을 향상시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01Q 21/24 (2018.05)

H01Q 5/307 (2015.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179301
과제번호	00156361
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	지역지능화혁신인재양성(울산과학기술원)
기 여 율	33.40/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711187222
과제번호	2021R1C1C1012955
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	인-빌딩 네트워크 클러스터 구축을 위한 디스플레이 집적 투명 배열안테나 및 지능형 메타표면 개발
기 여 율	33.30/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193693
과제번호	2022-0-00720-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발
연구과제명	차세대 초고속 저궤도 위성통신을 위한 W밴드 컴팩트·고효율·신개념 RF/전력 핵심 부품 개발
기 여 율	33.30/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면 안테나에 있어서,

유전체의 상면에 형성되고 유전체 하면의 접지면과 제1 비아홀로 연결되어 상단 버섯 구조를 형성하며 제1 동작 주파수에서 공진하는 상단 스트립과, 상기 유전체 내부의 설정 높이에 위치하고 상기 접지면과 제2 비아홀로 연결되어 하단 버섯 구조를 형성하며 상기 제1 동작 주파수보다 높은 제2 동작 주파수에서 공진하는 하단 스트립으로 이루어진 단위셀을 포함하며,

상기 상단 스트립이 하단 스트립보다 긴 길이로 이루어지고, 상기 상단 버섯 구조의 하측에 상기 하단 버섯 구조가 이격 적층된 구조를 가지는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 단위셀이 복수로 배열된 구조를 가지는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 복수의 단위셀이 배열된 구조를 가지는 메타표면이 서로 다른 동작 주파수 대역을 가지는 두 안테나 사이에 배치되어 상기 두 안테나 간 신호를 격리하는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 상단 및 하단 스트립의 각 동작 주파수는,

각 스트립 길이, 스트립 간 간격, 상기 제1 및 제2 비아홀 간의 간격, 상기 유전체의 두께에 의해 결정되는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 단위셀의 측면으로 입사되는 표면파는 버섯 구조의 상기 상단 및 하단 스트립에 의해 방사파로 변환되며, 상기 하단 스트립에 의한 방사파의 일부는 상기 상단 스트립에 유도 전류를 생성하여 상기 상단 스트립을 통해 재차 방사되는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 유전체의 측면에서 상기 유전체의 x-y 평면에 대한 x축 방향 또는 y축 방향으로 입사되는 표면파를 방사파로 변환하는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 상단 스트립과 상기 하단 스트립의 길이 방향의 일단이 동일 위치 상에 정렬된 상태에서 상기 상단 스트립의 타단이 상기 제1 비아홀을 통해 상기 접지면과 수직 연결되고 상기 하단 스트립의 타단이 상기 제2 비아홀을 통해 상기 접지면과 수직 연결되며,

상기 제1 비아홀과 상기 제2 비아홀은 상기 상단 및 하단 스트립 간 길이 편차에 대응한 간격으로 서로 이격된 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 제1 비아홀의 길이는 상기 유전체의 두께에 대응하고, 상기 제2 비아홀의 길이는 상기 유전체의 하면에 대한 상기 하단 스트립의 설치 높이에 대응하는 이중대역 이중편파 메타표면.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 제1 동작 주파수는 S-대역의 주파수이고, 상기 제2 동작 주파수는 X-대역의 주파수인 이중대역 이중편파 메타표면.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면에 관한 것으로, 다중 안테나 시스템에서 안테나 간 격리도를 개선할 수 있는 이중대역 이중편파 메타표면에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 다양한 기능 수행을 위하여 다중 안테나 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 다중 안테나 시스템에서는 서로 다른 동작 주파수 대역을 가지는 안테나 간에 상호 결합(mutual coupling)이 발생하게 된다.

[0003] 상호 결합은 안테나 탑재 방향에 따라 동일 편파 또는 교차 편파 간에 발생할 수 있다. 상호 결합은 표면파(surface wave) 또는 공간파(space wave)에 의해 발생하며, 특히 마이크로스트립 패치와 같은 평면형 안테나에서는 표면파가 주요 원인으로 작용한다.

[0004] 다중 안테나 시스템에서 안테나 간 상호 결합 문제를 해결하기 위해서는 안테나간 격리도를 개선하여야 하며 이를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

[0005] 그 하나의 방법으로, DGS(defected ground structure)를 적용하여 격리도를 개선하는 연구가 진행된 바 있다. 그러나 이 방식은 원치 않는 후방 방사를 증가시키며, 단일 대역에서만 동작하는 단점이 있다.

[0006] 또 다른 방법으로 디커플링(Decoupling) 공진기를 사용하는 방식이 시도되었으나, 단일 편파에 대해서만 격리도 개선이 이루어졌다. 그 밖에도, 표면파 억제 특성을 가진 버섯 형태 EBG(electromagnetic bandgap) 구조에 대한 연구도 활발히 이루어진 바 있으나 단일 대역에서만 국한 적용되는 한계가 따른다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-1803204호(2017.11.29 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 다중 안테나 시스템에서 서로 다른 대역에서 동작하는 안테나 사이에 상호 결합 문제를 해결하고 안테나 간의 격리도를 개선할 수 있는 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은, 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면 안테나에 있어서, 유전체의 상면에 형성되고 유전체 하면의 접지면과 제1 비아홀로 연결되어 상단 버섯 구조를 형성하며 제1 동작 주파수에서 공진하는 상단 스트립과, 상기 유전체 내부의 설정 높이에 위치하고 상기 접지면과 제2 비아홀로 연결되어 하단 버섯 구조를 형성하며, 상기 제1 동작 주파수보다 높은 제2 동작 주파수에서 공진하는 하단 스트립으로 이루어진 단위셀을 포함하며, 상기 상단 스트립이 하단 스트립보다 긴 길이로 이루어지고, 상기 상단 버섯

구조의 하측에 상기 하단 버섯 구조가 이격 적층된 구조를 가진다.

- [0010] 또한, 상기 이중대역 이중편파 메타표면은 상기 단위셀이 복수로 배열된 구조를 가질 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 복수의 단위셀이 배열된 구조를 가지는 메타표면이 서로 다른 동작 주파수 대역을 가지는 두 안테나 사이에 배치되어 상기 두 안테나 간 신호를 격리할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 상단 및 하단 스트립의 각 동작 주파수는, 각 스트립 길이, 스트립 간 간격, 상기 제1 및 제2 비아홀 간의 간격, 상기 유전체의 두께에 의해 결정될 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 이중대역 이중편파 메타표면은, 상기 단위셀의 일측면으로 입사되는 표면파는 버섯 구조의 상기 상단 및 하단 스트립에 의해 방사파로 변환되되, 상기 하단 스트립에 의한 방사파의 일부는 상기 상단 스트립에 유도 전류를 생성하여 상기 상단 스트립을 통해 재차 방사될 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 이중대역 이중편파 메타표면은, 상기 유전체의 측면에서 상기 유전체의 x - y 평면에 대한 x 축 방향 또는 y 축 방향으로 입사되는 표면파를 방사파로 변환할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 상단 스트립과 상기 하단 스트립의 길이 방향의 일단이 동일 위치 상에 정렬된 상태에서 상기 상단 스트립의 타단이 상기 제1 비아홀을 통해 상기 접지면과 수직 연결되고 상기 하단 스트립의 타단이 상기 제2 비아홀을 통해 상기 접지면과 수직 연결되며, 상기 제1 비아홀과 상기 제2 비아홀은 상기 상단 및 하단 스트립 간 길이 편차에 대응한 간격으로 서로 이격될 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 제1 비아홀의 길이는 상기 유전체의 두께에 대응하고, 상기 제2 비아홀의 길이는 상기 유전체의 하면에 대한 상기 하단 스트립의 설치 높이에 대응할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 제1 동작 주파수는 S -대역의 주파수이고, 상기 제2 동작 주파수는 X -대역의 주파수일 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 따르면, 다중 안테나 시스템에서 서로 다른 동작 주파수 대역을 갖거나 이중 편파를 갖는 안테나 사이에 배치되어 안테나 간에 격리도를 개선할 수 있다.
- [0019] 또한, 본 발명은 이중 대역에서 표면파 진행을 억제 가능하며 안테나의 방사 이득을 향상시킬 수 있다.
- [0020] 아울러, 메타표면 단위셀 구조 내에서 상단 버섯 구조가 하단 버섯 구조를 포함하므로 단위셀의 크기 증가 없이도 이중 대역으로 동작 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편파 메타표면의 단위셀 구조를 설명하는 도면이다.
- 도 2는 도 1의 단위셀 구조에 대한 등가 회로를 보여주는 보면이다.
- 도 3은 도 1에서 Port 1로부터 입사되는 z -축 편파 표면파에 대한 단위 셀의 S -대역에서의 주파수 응답을 보여주는 도면이다.
- 도 4는 도 1에서 Port 1로부터 입사되는 z -축 편파 표면파에 대한 단위 셀의 X -대역에서의 주파수 응답을 보여주는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 메타표면의 성능을 검증하기 위해 제작된 S -대역 플랫폼을 예시적으로 보여주는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 메타표면의 성능을 검증하기 위해 제작된 X -대역 플랫폼을 예시적으로 보여주는 도면이다.
- 도 7은 제작된 메타표면의 전면뷰와 후면뷰 형상을 보여주는 도면이다.
- 도 8은 메타표면 탑재 전과 후의 S -대역 안테나의 측정된 반사 계수 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 9는 메타표면 탑재 전과 후의 X -대역 안테나의 측정된 반사 계수 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 10은 메타표면 탑재 전과 후의 측정된 S -대역 안테나 port 간 격리도를 보여주는 도면이다.

도 11은 메타표면 탑재 전과 후의 측정된 X-대역 안테나 port 간 격리도를 보여주는 도면이다.

도 12는 S-대역 플랫폼에서 메타표면 탑재 전과 후의 시뮬레이션 근접장 결과이다.

도 13은 X-대역 플랫폼에서 메타표면 탑재 전과 후의 시뮬레이션 근접장 결과이다.

도 14는 측정된 S-대역 안테나 1의 방사 패턴(E-평면, H-평면)을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 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 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0023] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 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.
- [0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편과 메타표면의 단위셀 구조를 설명하는 도면이고, 도 2는 도 1의 단위셀 구조에 대한 등가 회로를 보여주는 보면이다.
- [0025] 도 1에 나타난 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 이중대역 이중편과 메타표면은 적어도 하나의 단위셀(100) (이하, 단위셀)을 포함한다.
- [0026] 단위셀(100)은 유전체(110)의 상면에 형성되어 저주파 대역에서 동작하는 상단 스트립(Upper Strip)(120)과 유전체(110)의 내부에 삽입되고 상단 스트립(120)의 하측에서 상단 스트립(Lower Strip)(120)보다 짧은 길이로 형성되어 고주파 대역에서 동작하는 하단 스트립(130)으로 이루어진다. 도 2에서 상단 스트립(120)의 길이는 l_s , 하단 스트립의 길이는 l_x 로 표현되어 있으며, 이때 $l_s > l_x$ 이다.
- [0027] 상단 스트립(120)은 유전체(110)의 상면에 형성되고 유전체 하면의 접지면(140)과 제1 비아홀(125)로 연결되어 상단 버섯 구조를 형성하며 제1 동작 주파수에서 공진한다.
- [0028] 하단 스트립(130)은 유전체(110) 내부의 설정 높이(h_x)에 위치하고 접지면(140)과 제2 비아홀(135)로 연결되어 하단 버섯 구조를 형성하며, 제1 동작 주파수보다 높은 제2 동작 주파수에서 공진한다.
- [0029] 도 1에서와 같이, 상단 스트립(120)은 하단 스트립(130)의 상부에서 하단 스트립(130) 보다 긴 길이로 이루어져 비대칭 비아 기둥(asymmetric via post) 구조를 형성한다. 이와 같이 상단 버섯 구조의 하측에 하단 버섯 구조가 이격 적층된 구조로 이루어져 적층형 버섯 구조를 형성한다. 이를 통해 본 발명은 비대칭 비아 포스트와 적층형 버섯 구조를 가진 이중대역 이중편과 메타표면을 제공한다.
- [0030] 본 발명의 실시예에서 상단 스트립(120)에 의한 제1 동작 주파수는 S-대역의 주파수이고, 하단 스트립(130)에 의한 제2 동작 주파수는 X-대역의 주파수에 해당할 수 있다. 물론, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 설계 변경을 통해 다른 동작 주파수 대역에 적용될 수도 있다.
- [0031] 여기서, 상단 스트립(120)과 하단 스트립(110)의 각각의 동작 주파수는 각 스트립(120,130)의 길이(l_s, l_x), 상단 스트립(120)과 하단 스트립(130) 간 간격($h_s - h_x$), 제1 및 제2 비아홀(125,125) 간의 간격(S_{via}), 유전체(110)의 두께(h_s) 등에 의해 결정될 수 있다.
- [0032] 그리고, 도 1 및 도 2를 참조하면, 상단 스트립(120)과 하단 스트립(130)의 길이 방향의 일단(그림 상의 우측단)이 동일 위치 상에 정렬된 상태에서 상단 스트립(120)의 타단(좌측단)이 제1 비아홀(125)을 통해 접지면(140)과 수직 연결되고, 하단 스트립(130)의 타단이 제2 비아홀(135)을 통해 접지면(140)과 수직 연결된다.
- [0033] 또한, 제1 비아홀(125)과 제2 비아홀(135)은 서로 이격되며, 상단 및 하단 스트립(120,130) 간의 길이 차이에 대응한 간격으로 이격된 것을 알 수 있다.

- [0034] 이때, 제1 비아홀(125)의 길이는 유전체(110)의 두께(h_s)에 대응하고, 제2 비아홀(135)의 길이는 유전체(110)의 하면에 대한 하단 스트립(130)의 설치 높이(h_x)에 대응하는 것을 알 수 있다.
- [0035] 다음은 도 1 및 도 2를 바탕으로 본 발명의 실시예에 따른 메타표면 단위셀을 더욱 상세히 설명한다.
- [0036] 본 발명의 실시예에 따른 단위셀(100)은 $w_s \times l_s = 3 \text{ mm} \times 8.3 \text{ mm}$ 크기를 가지는 상단 스트립(120)과 $w_x \times l_x = 3 \text{ mm} \times 2.2 \text{ mm}$ 크기를 가지는 하단 스트립(130)으로 구성될 수 있다.
- [0037] 상단 스트립(120)과 하단 스트립(130)은 유전체(110)에 대해 $h_s = 2.54 \text{ mm}$ 높이와 $h_x = 1.27 \text{ mm}$ 높이에 각각 위치한다. 0.4 mm의 직경을 가지는 비아홀(125, 135)에 의한 비아 포스트(via post)는 각 스트립(120, 130)의 가장 자리에 위치할 수 있다. 이때, 제1 비아홀(125)은 하단의 접지면(140)(GND)과 상단 스트립(130)을 연결하고 제2 비아홀(135)은 접지면(140)과 하단 스트립(130)을 연결한다. 이러한 비대칭 비아 기둥(포스트)은 기존의 버섯 형태 EBG 구조와는 구별된다.
- [0038] 이러한 본 발명의 구조에서, 단위셀의 측면으로 입사되는 표면파는 버섯 구조의 상단 및 하단 스트립(120, 130)에 의해 방사파로 변환되는데, 이때 하단 스트립(130)에 의한 방사파의 일부는 상단 스트립(120)에 유도 전류를 생성하여 상단 스트립(120)을 통해 다시 방사될 수 있다.
- [0039] 이와 같이, 메타표면 단위셀(100)은 유전체(110)의 측면에서 유전체(110)의 x-y 평면에 대한 x축 방향 또는 y축 방향으로 입사되는 표면파를 방사파로 변환할 수 있다.
- [0040] 입사되는 표면파는 안테나의 편파가 x-축 편파 또는 y-축 편파인지 여부와 상관없이 스트립(120, 130)의 y-방향으로 유도 전류를 생성하며(도 1의 화살표 참조), 이로 인해 표면파는 방사파로 변환된다. 결과적으로, 본 발명의 실시예에 따른 메타표면은 안테나 편파와 무관하게 표면파 진행을 억제하고 안테나의 방사 이득은 향상시킬 수 있다.
- [0041] 스트립의 동작 주파수는 스트립의 길이와 반비례하므로, 상단 스트립(120)이 저대역에서, 하단 스트립(130)이 고대역에서 동작한다. 이 때, 길이가 짧은 스트립(130)이 아래에 위치하는데, 이러한 구조는 상단 버섯 구조가 하단 버섯 구조를 포함하게 하여 단위셀의 크기 증가를 막기 위함이다.
- [0042] 상단 스트립(120)과 하단 스트립(130)은 표면파를 방사파로 변환할 수 있는데, 이때 하단 스트립(130)으로부터 발생하는 방사파의 일부는 상단 스트립(120)에 유도 전류를 생성하기 때문에, 상단 스트립(120)에서 재차 방사가 가능하게 된다.
- [0043] 이와 같은 본 발명의 실시예에 따른 제안된 구조의 동작 원리를 입증하기 위해 시뮬레이션 조건을 인가하였다. 즉, 도 1에서 xz-평면에 위치하는 Port 1과 Port 2는 wave port로 설정하였으며, 두 개의 yz-평면은 주기 경계 조건을 위해 PMC (perfect magnetic conductor)로 설정하였다.
- [0044] 도 2는 제안된 메타표면 단위 셀의 등가회로를 보여준다. 각 비아홀(125, 135) 즉, via post는 L_1 과 L_3 와 같이 병렬 인덕턴스로 표현된다. 상단 스트립(120)과 하단 스트립(130)은 각각 직렬 인덕턴스인 L_2 와 L_4 와. 방사 저항인 R_1 , R_2 로 표현된다. 여기서, 병렬 인덕턴스 L_1 과 L_3 는 각각 스트립(120, 130)의 높이 h_s 와 h_x 에 의해 조절되며, 직렬 인덕턴스 L_2 와 L_4 는 상단과 하단 스트립(120, 130)의 길이 l_s 와 l_x 에 의해 조절될 수 있다.
- [0045] C_1 은 상단 스트립(120)과 접지면(140) 사이에 형성되는 병렬 커패시턴스, C_2 는 하단 스트립(130)과 접지면(140) 사이의 병렬 커패시턴스를 나타낸다. 이 때, 상단 스트립(120)은 접지면(140)보다 하단 스트립(130)과 더 가까우므로 C_1 은 상단과 하단 스트립 사이 간격에 의해 주로 결정될 수 있다. 제안된 단위셀의 공진 주파수는 주로 스트립의 길이에 따른 직렬 인덕턴스 L_2 와 L_4 에 의해 결정되나, via post 간격인 s_{via} 와 C_1 에 의해서도 조절될 수 있다.
- [0046] 본 발명의 실시예에 따른 이중대역 이중편파 메타표면은 상술한 구조의 단위셀(100)이 복수로 배열된 형태를 가질 수 있다. 또한, 후술하는 도 5 및 도 6의 예시와 같이, 복수의 단위셀(100)이 배열된 구조를 가지는 메타표면이 서로 다른 동작 주파수 대역을 가지는 두 안테나(ant 1, ant 2) 사이에 배치되어, 두 안테나 간 상호 결합 현상을 줄임에 따라 두 안테나 간 신호 격리도를 높일 수 있다.
- [0047] 도 3은 도 1에서 Port 1로부터 입사되는 z-축 편파 표면파에 대한 단위 셀의 S-대역에서의 주파수 응답을 보여

준다.

- [0048] 도 3에서 P_{in} 은 Port 1에 입사된 표면파의 전력이며, P_{in} 에 대해 $|S_{11}|^2$ 은 Port 1로 입사되어 다시 Port 1로 반사되는 전력의 비율, $|S_{21}|^2$ 은 Port 1에 입사되어 Port 2로 전달되는 전력의 비율로 정의된다. P_r 은 방사되는 전력이다. P_d 와 P_s 는 각각 유전 손실과 저장 손실을 나타낸다. 제안된 단위 셀(100)의 $|S_{21}|^2$ 은 공진 주파수인 3.08 GHz에서 0.02로 크게 감소하며, 반대로 P_r/P_{in} 은 3 GHz - 3.4 GHz에서 최대 0.69의 값을 가지며 크게 증가한다.
- [0049] 도 4는 도 1에서 Port 1로부터 입사되는 z-축 편파 표면파에 대한 단위 셀의 X-대역에서의 주파수 응답을 보여주는 도면이다. $|S_{21}|^2$ 은 9.5 GHz에서 공진하며 P_r/P_{in} 은 0.69로 최대이다. 입사되는 표면파는 제안된 단위 셀(100)을 통과하며 대부분 방사되거나 반사된다.
- [0050] 방사 전력의 크기가 반사 전력보다 더 크므로, 도 3 및 도 4의 결과로부터 제안된 단위셀(100) 구조는 S-대역, X-대역에서 표면파를 효과적으로 방사파로 변환하는 것을 확인할 수 있다.
- [0051] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 메타표면의 성능을 검증하기 위해 제작된 S-대역 플랫폼을 예시적으로 보여주는 도면이다.
- [0052] 플랫폼에는 2개의 이중편파 S-대역 안테나(S-band ant 1, ant 2)가 탑재되며, 2개의 안테나 사이에 본 발명에 의해 제안된 메타표면이 위치한다. 탑재되는 메타표면은 26×4 배열의 단위셀들로 이루어진 메타표면(26×4 MTS)에 의해 최적화되었다.
- [0053] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 메타표면의 성능을 검증하기 위해 제작된 X-대역 플랫폼을 예시적으로 보여주는 도면이다. 플랫폼에는 2개의 이중편파 X-대역 안테나(X-band ant 1, ant 2)가 탑재되며, 안테나 사이에 제안된 메타표면이 위치한다. 탑재되는 메타표면은 14×3 배열의 단위셀들로 이루어진 메타표면(14×3 MTS)에 의해 최적화되었다.
- [0054] 도 7은 제작된 메타표면의 전면뷰와 후면뷰 형상을 보여주는 도면이다. 전면부(Top view)에는 상단 스트립과, 가장자리에 위치한 비대칭 via post가 보여지며, 후면부(Bottom view)에는 접지면과 이러한 접지면과 연결된 상단 및 하단 스트립의 via post들이 보여진다. 메타표면의 접지면은 도전 필름을 통해 플랫폼의 접지면에 부착되며 전기적으로 도통될 수 있다.
- [0055] 도 8은 메타표면 탑재 전과 후의 S-대역 안테나의 측정된 반사 계수 결과를 나타낸 도면이다. 도면에서 w/o MTS는 도 5에서 두 개의 S-대역 안테나(안테나 1, 2) 사이에 제안된 메타표면(26×4 MTS)을 탑재하기 전(without MTS)의 테스트 결과이고, w/ MTS는 메타표면 탑재 후(with MTS)의 테스트 결과이다.
- [0056] 안테나 1과 안테나 2의 포트(port 1, 2: 안테나1 / port 3, 4: 안테나 2)를 각각 동작시켰을 때, 메타표면 존재 유무에 관계없이 안테나는 약 3.08 GHz에서 공진하며 매칭 특성이 유지된다. 여기서, w/o MTS는 메타표면 탑재 전의 테스트 결과이고, w/ MTS는 메타표면 탑재 후의 테스트 결과이다.
- [0057] 도 9는 메타표면 탑재 전과 후의 X-대역 안테나의 측정된 반사 계수 결과를 나타낸 도면이다. 도면에서 w/o MTS는 도 6에서 두 개의 X-대역 안테나(안테나 1, 2) 사이에 제안된 메타표면(14×3 MTS)을 탑재하기 전(without MTS)의 테스트 결과이고, w/ MTS는 메타표면 탑재 후(with MTS)의 테스트 결과이다. 메타표면 존재 유무에 관계없이 안테나는 약 9.5 GHz에서 공진하며 대역폭이 유지된다.
- [0058] 도 10은 메타표면 탑재 전과 후의 측정된 S-대역 안테나 port 간 격리도를 보여주는 도면이다. 메타표면을 탑재했을 때, S-대역에서 최대 20.6 dB ($|S_{13}|$), 23.2 dB ($|S_{24}|$), 15.9 dB ($|S_{14}|$), and 21.1 dB ($|S_{23}|$)까지 격리도가 개선된다.
- [0059] 도 11은 메타표면 탑재 전과 후의 측정된 X-대역 안테나 port 간 격리도를 보여주는 도면이다. 메타표면을 탑재했을 때, X-대역에서 최대 14.9 dB ($|S_{13}|$), 23.3 dB ($|S_{24}|$), 27.1 dB ($|S_{14}|$), and 17.5 dB ($|S_{23}|$)까지 격리도가 개선된 것을 확인할 수 있다.
- [0060] 이와 같은 도 10과 도 11의 측정 결과로부터 제안된 메타표면이 S-대역, X-대역에서 이중 편파에 대해 상호 결합 저감이 가능한 구조임을 입증할 수 있다.
- [0061] 도 12는 S-대역 플랫폼에서 메타표면 탑재 전과 후의 시뮬레이션 근접장 결과이다. 안테나 1의 port 1을 급전시

켰을 때 y-축 편파 방사가 발생하며, port 2를 급전시켰을 때 x-축 편파 방사가 발생한다. 이 때 생성되는 표면파는 xy-평면 방향으로 진행하여 안테나 2에 상호 결합을 유발한다. 메타표면을 탑재 시, 메타표면의 상단 스트립에 근접장이 집중되며 이는 제안된 방식에 따라 메타표면이 표면파 진행을 억제하고 있음을 의미한다.

[0062] 도 13은 X-대역 플랫폼에서 메타표면 탑재 전과 후의 시뮬레이션 근접장 결과이다. 메타표면 탑재에 의한 효과는 도 12와 유사하며, 안테나 1의 편파와 무관하게 메타표면이 표면파를 억제함을 보여준다. X-대역에서는 메타표면의 하단 스트립에 근접장이 주로 집중되는 것이 확인된다.

[0063] 도 14는 측정된 S-대역 안테나 1의 방사 패턴(E-평면, H-평면)을 보여주는 도면이다. 안테나 1의 port 1을 급전시켰으며, 이외의 포트는 모두 50-옴으로 종단되었다. 안테나 1과 안테나 2 사이에 본 발명의 제안된 메타표면 탑재 시 3.05 GHz에서 안테나의 측면 방사가 크게 줄어들고 전면방향이득이 1.69 dB 향상된다.

[0064] 도 15는 측정된 X-대역 안테나 1의 방사 패턴(E-평면, H-평면)을 보여주는 도면이다. 안테나 1의 port 1을 급전시켰으며, 이외의 포트는 모두 50-옴으로 종단되었다. 안테나 1과 안테나 2 사이에 본 발명의 제안된 메타표면 탑재 시 9.7 GHz에서 안테나의 측면 방사가 크게 줄어들고 전면방향이득이 1.71 dB 향상된다. 이는 제안된 구조의 메타표면이 이중대역에서 격리도를 개선할 뿐만 아니라 안테나의 이득을 향상시키는 구조임을 입증하는 결과이다.

[0065] 이와 같은 본 발명에 따르면, 다중 대역 안테나가 공존하는 시스템에서 편파와 상관없이 안테나 간 상호 결합 저감이 가능하다. 또한, 다중 안테나 시스템에서, 이중 대역에서 표면파 진행을 억제 가능하며 안테나의 방사 이득을 향상시킬 수 있다.

[0066] 또한, 본 발명에 따르면, 격리도가 개선되는 각 동작 주파수 대역은 스트립 길이, 상단과 하단 스트립 간의 간격 및 via post 간 간격에 의해서 조절이 가능하다. 아울러, 단위셀에서 상단 버섯 구조가 하단 버섯 구조를 포함하므로 단위셀의 크기 증가 없이도 이중 대역으로 동작 가능하다.

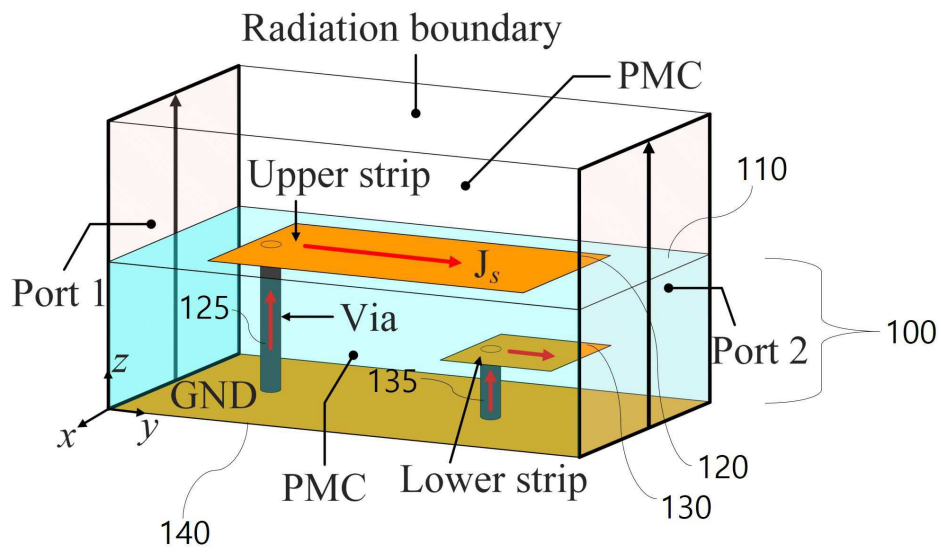
[0067] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

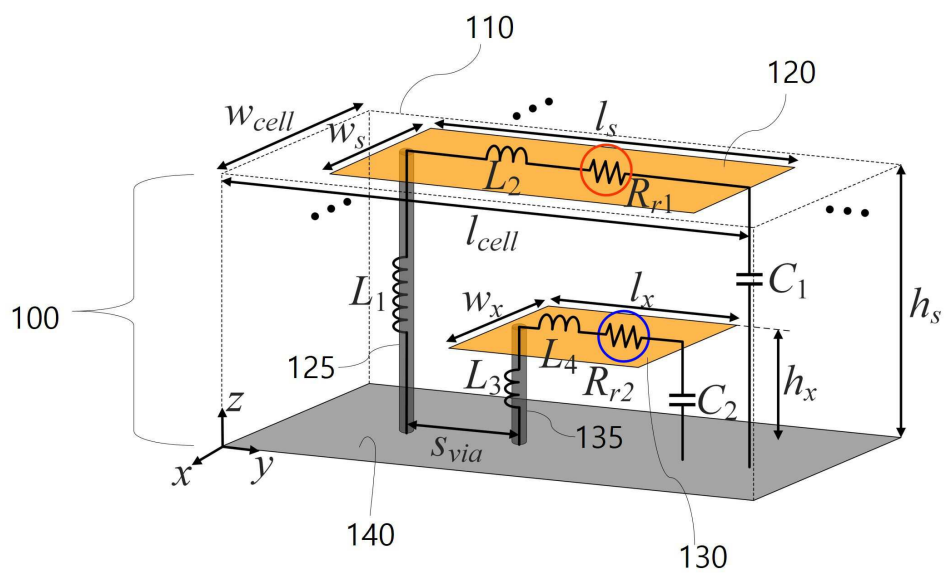
[0068]	100: 메타표면 단위셀	110: 유전체
	120: 상단 스트립	125: 제1 비아홀
	130: 하단 스트립	135: 제2 비아홀
	140: 접지면	

도면

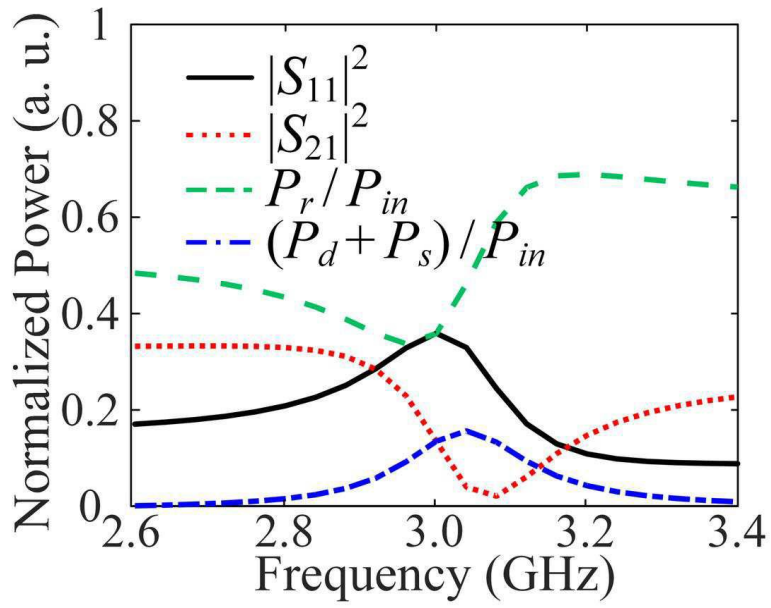
도면1



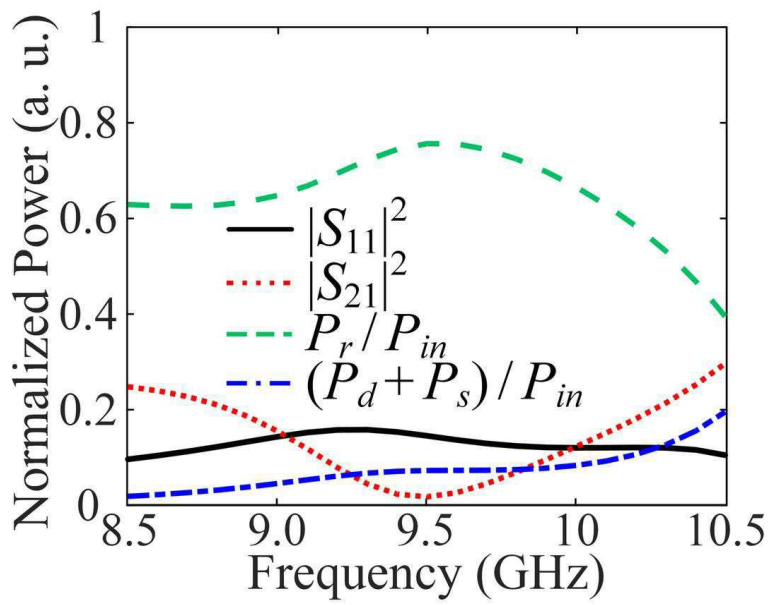
도면2



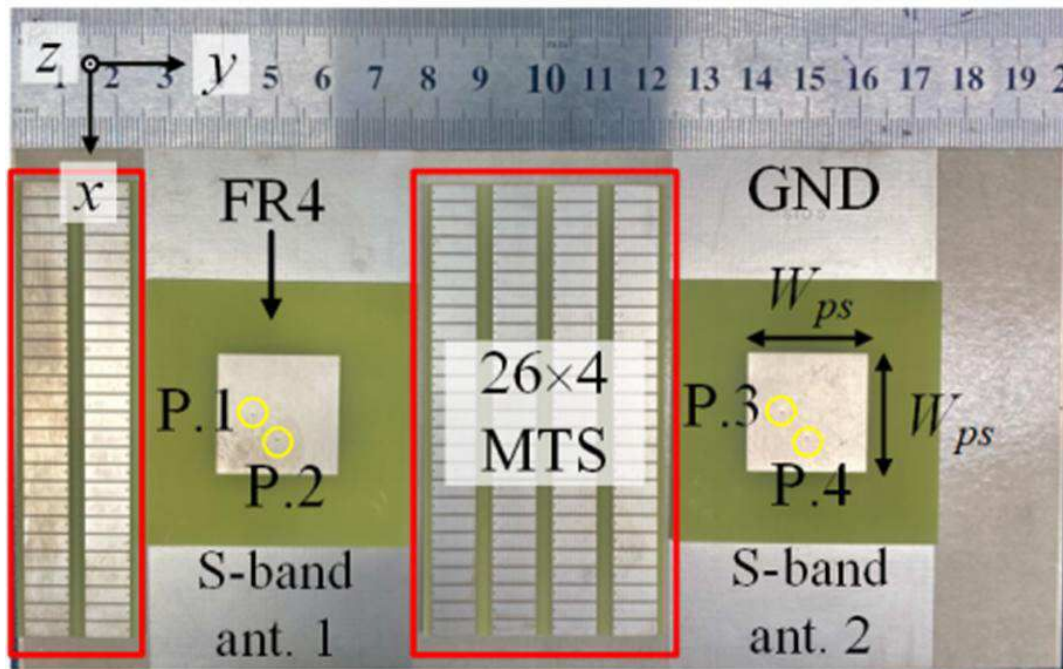
도면3



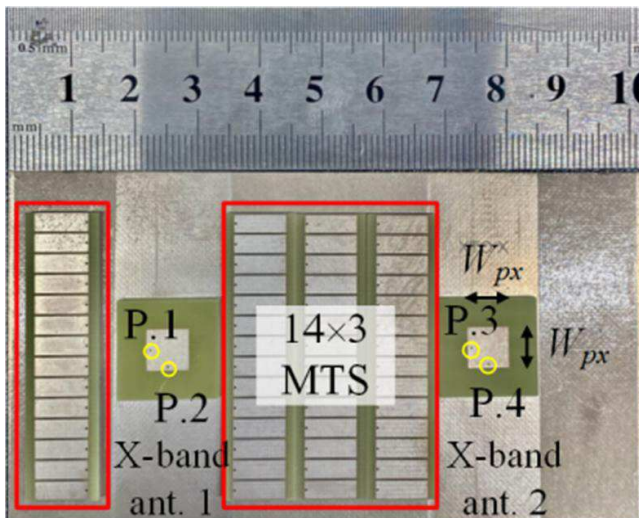
도면4



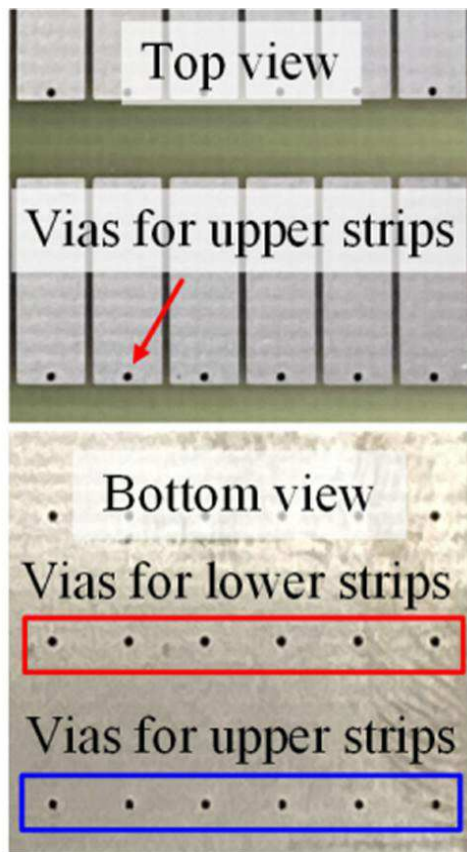
도면5



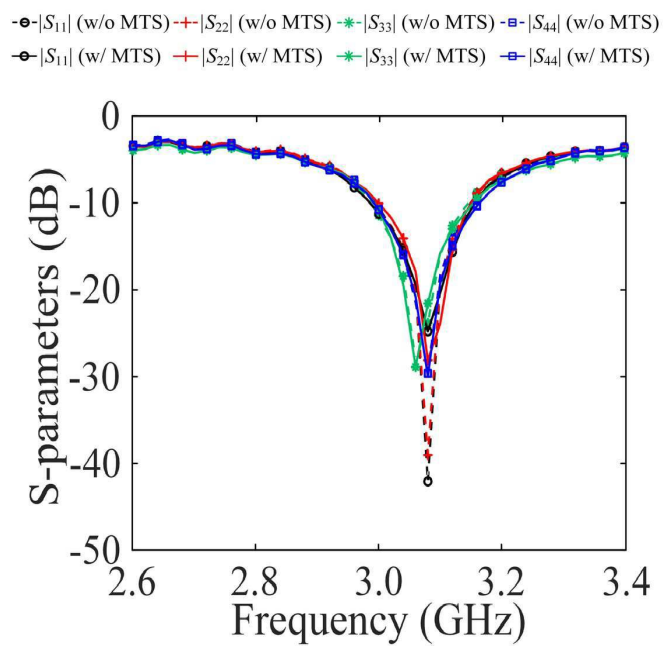
도면6



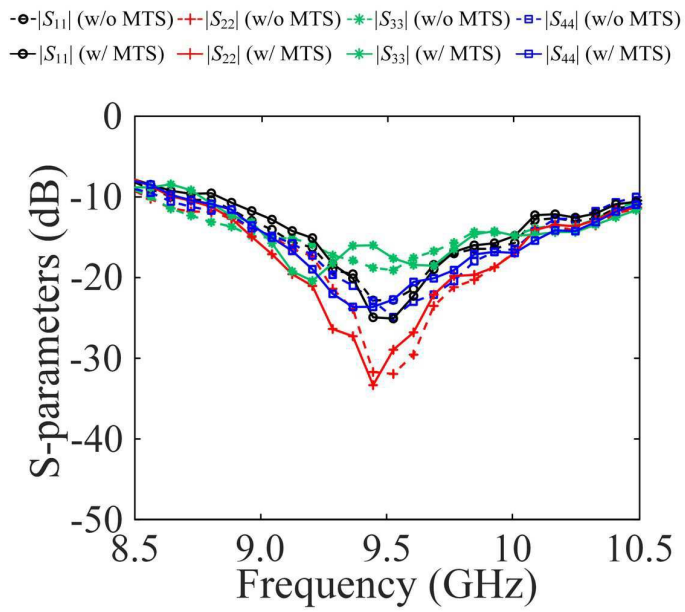
도면7



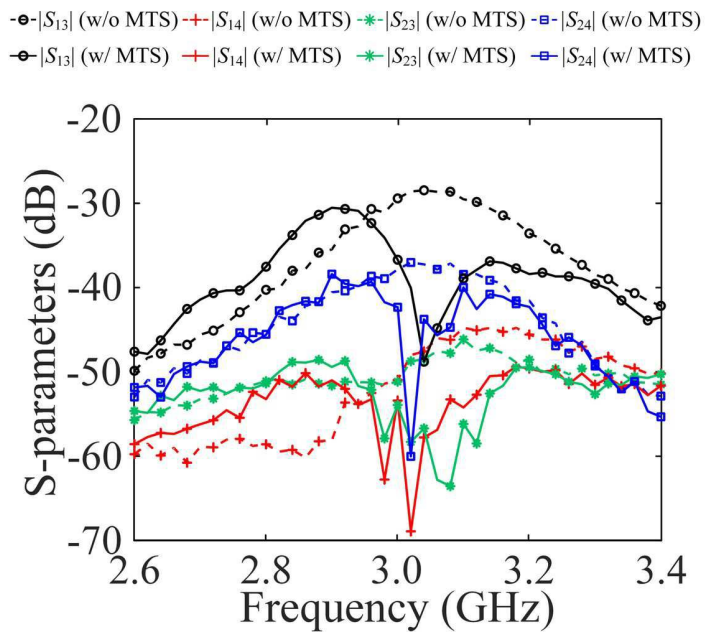
도면8



도면9

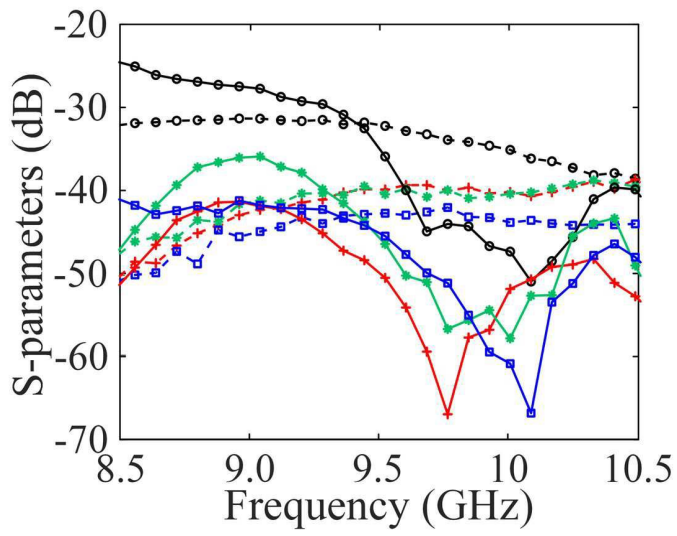


도면10

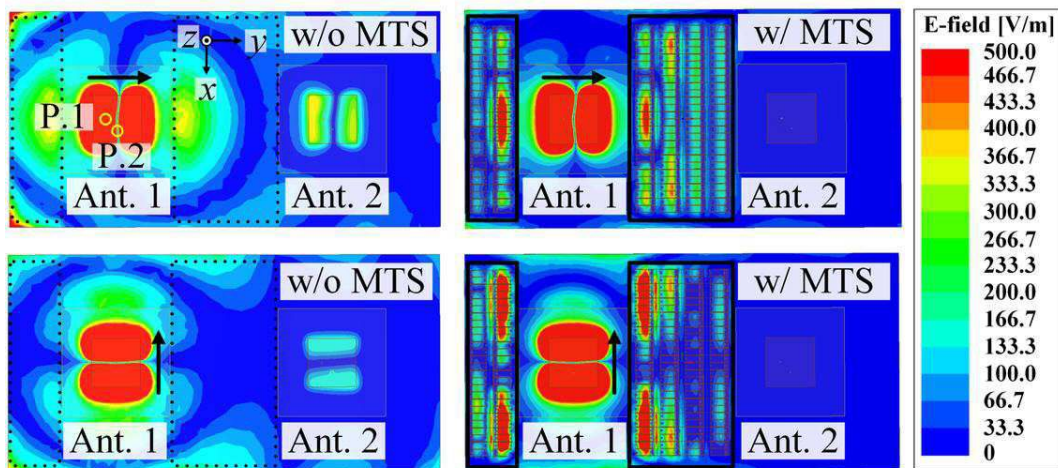


도면11

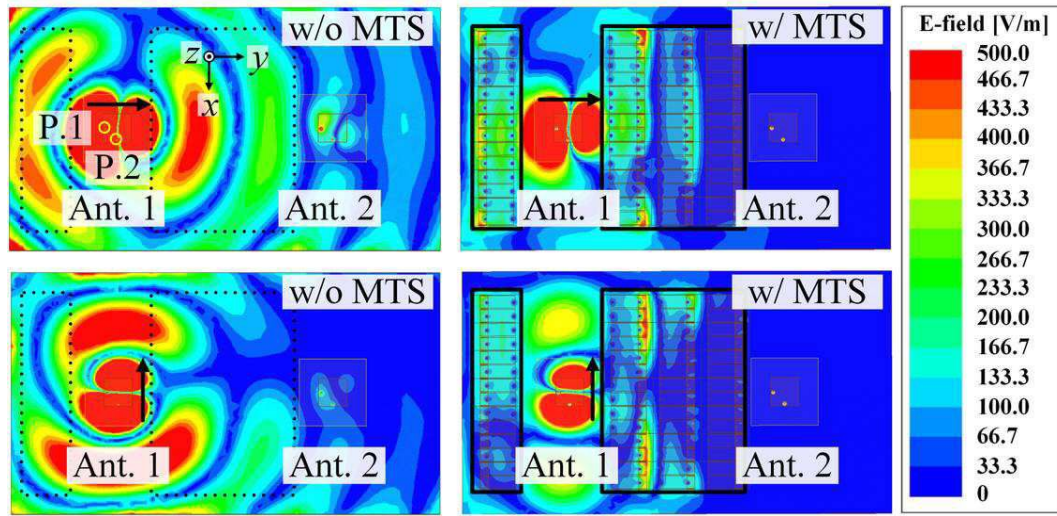
$\bullet$ $|S_{13}|$ (w/o MTS) $\text{---} \text{+}$ $|S_{14}|$ (w/o MTS) $\text{---} \text{*}$ $|S_{23}|$ (w/o MTS) $\text{---} \square$ $|S_{24}|$ (w/o MTS)
 $\bullet$ $|S_{13}|$ (w/ MTS) $\text{---} \text{+}$ $|S_{14}|$ (w/ MTS) $\text{---} \text{*}$ $|S_{23}|$ (w/ MTS) $\text{---} \square$ $|S_{24}|$ (w/ MTS)



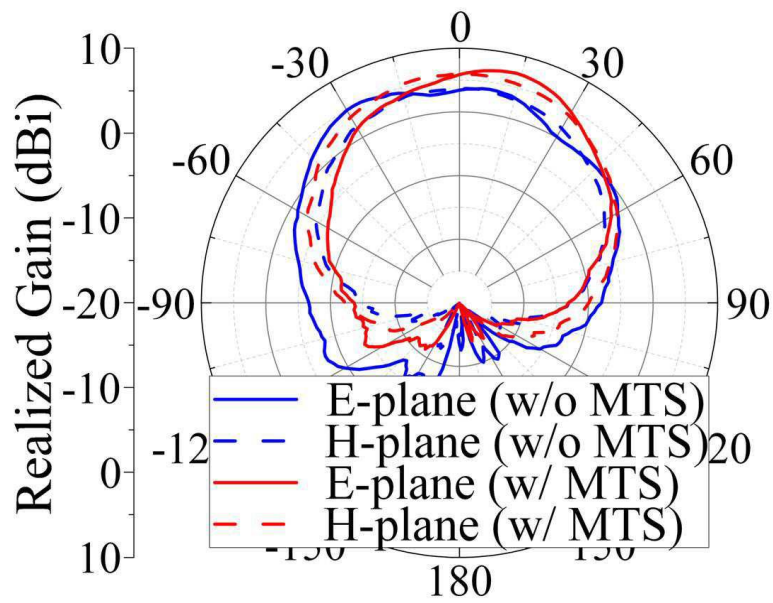
도면12



도면13



도면14



도면15

