



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월17일

(11) 등록번호 10-2179522

(24) 등록일자 2020년11월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01Q 9/06 (2006.01) H01Q 13/20 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H01Q 9/065 (2013.01)
H01Q 13/206 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0167826
(22) 출원일자 2019년12월16일
심사청구일자 2019년12월16일
(30) 우선권주장
1020190103214 2019년08월22일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090055002 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
변강일
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
옹우옌 티 하이 옌
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
허진명
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 나병윤

(54) 발명의 명칭 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나

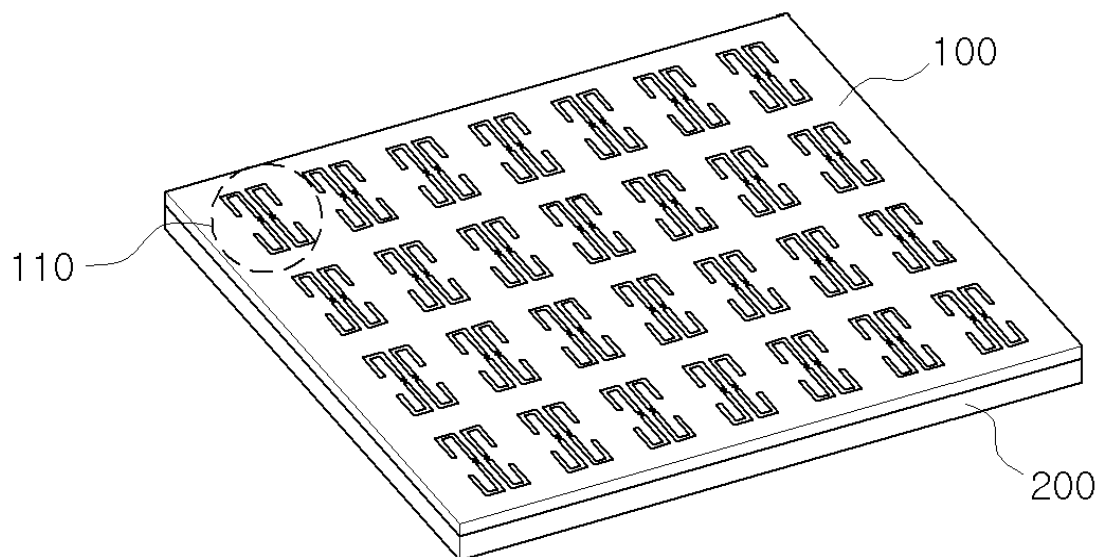
(57) 요약

본 발명은 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나에 대한 것이다.

본 발명에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나는, 복수의 단위 셀이 집합체 구조로 형성되는 메타표면; 및 상기 메타표면 하단에 배치되며, 급전부와 접지면을 포함하는 기판층을 포함하고, 상기 단위 셀은 사각 개방 루

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



프의 형태를 갖되, 중앙 및 양측면에 각각 형성되는 간극에 의해 수평 방향으로 대칭되어 상단과 하단으로 분리된 도선, 그리고 상기 분리된 도선의 어느 한 측면에 삽입되는 스위칭 소자의 온오프에 따라 트랩 모드와 일반 모드를 발생시키는 스위칭 회로가 구비되며, 상기 상단 및 하단 도선이 수직 방향으로 각각 대칭되도록 한 쌍으로 설계될 수 있다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 도선에 삽입되는 스위칭 소자를 이용하여 트랩 모드의 전환이 가능하도록 설계함으로써 하나의 구조체로 트랩 모드와 일반 모드의 장점이 모두 포함되도록 할 수 있는 효과가 있다.

(56) 선행기술조사문헌

KR1020090090017 A

KR1020100083759 A

KR1020110108131 A

KR1020120072017 A

KR1020120134818 A

KR1020180046866 A

US20090153427 A1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711085660

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구

연구과제명 차세대 무선통신을 위한 방향탐지/항간섭/무선전력전송용 통합 다기능 시간변조 배열안테나 연구

기 여 율 1/1

과제수행기관명 울산과학기술원

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나에 있어서,
 복수의 단위 셀이 집합체 구조로 형성되는 메타표면; 및
 상기 메타표면 하단에 배치되며, 급전부와 접지면을 포함하는 기관층을 포함하고,
 상기 단위 셀은,
 사각 개방 루프의 형태를 갖되, 중앙 및 양측면에 각각 형성되는 간극에 의해 수평 방향으로 대칭되어 상단과 하단으로 분리된 도선, 그리고
 상기 분리된 도선의 어느 한 측면에 삽입되는 스위칭 소자의 온오프에 따라 트랩 모드와 일반 모드를 발생시키는 스위칭 회로가 구비되며,
 상기 상단 및 하단 도선이 수직 방향으로 각각 대칭되도록 한 쌍으로 설계되는 메타표면 안테나.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 트랩 모드는,
 상기 한 쌍의 도선이 비대칭 구조가 되도록 어느 하나의 스위칭 소자에 전류가 인가되어 상기 단위 셀 근처에만 방사 필드(field)가 생성되는 모드이고,
 상기 일반 모드는,
 상기 한 쌍의 도선이 대칭 구조가 되도록 한 쌍의 스위칭 소자에 전류가 차단되어 원거리 영역에서 강한 필드가 생성되는 모드인 메타표면 안테나.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 스위칭 회로는,
 복수의 집중정수소자(Lumped elements)로 설계되어 전원 인가시 상기 스위칭 소자를 온 시키고,
 상기 스위칭 소자는,
 상기 상단 도선의 일측 하부에 각각 삽입되는 다이오드인 메타표면 안테나.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 스위칭 소자는,
 상기 한 쌍의 도선에 정반대의 극성으로 각각 삽입되는 메타표면 안테나.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 트랩 모드는,
 진동하는 파동 에너지의 생존 주기가 상기 일반 모드의 2배 이상인 메타표면 안테나.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 도선에 삽입되는 스위칭 소자를 이용하여 트랩 모드의 전환이 가능하도록 하는 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 메타물질은 광범위한 의미로, 기존에 존재하는 물질들을 이용하여 적절한 기하학적 주기 구조를 설계함으로써, 자연상에 존재하지 않은 인위적인 물성을 지니도록 설계 및 제작된 물질을 일컫는다.
- [0003] 종래의 메타물질은 상대적으로 훨씬 파장이 큰 마이크로파 대역에 맞추어 구조물들을 설계하는 일이 상대적으로 간단했기 때문에 마이크로파 대역에서 시작되었다.
- [0004] 최근에는 보다 정밀한 수준의 나노 공정 기술들이 확립되어 마이크로파 및 음파 대비 훨씬 파장이 짧은 광파에 대한 메타물질 설계가 진행되어 왔다.
- [0005] 물질 내 광파의 물성은 매질의 유전율(permittivity)과 투자율(permeability)에 의해 결정되므로, 임의의 유전율과 투자율을 가지는 물질을 설계하는 연구가 메타물질 분야에서 많이 이루어졌다.
- [0006] 최근에는 복잡한 3차원 메타물질 공정의 어려움과 실용성 등을 고려하여 2차원 박막 위에 물리적인 원리를 통해 설계된 단위 구조들을 배열하여 만들어지는 메타표면(metasurface) 구조들에 대한 연구가 이루어지고 있다.
- [0007] 메타 표면이라는 용어는 메타물질에서 파생된 것으로, 최근 정밀한 나노 공정 기술을 요구하는 가시광 대역의 메타물질들이 점차 개발되며 사용되기 시작하였다. 메타물질 연구자들의 일각에서는 단위 구조를 3차원적으로 쌓아 만들어지는 메타물질 기술이 가지는 공정의 어려움과 비용적 측면을 고려하고, 굳이 3차원 적층 구조가 아닌 2차원 단일 박막면을 통해서도 자연계에 존재하지 않은 음굴절 물성 등을 구현해 낼 수 있다.
- [0008] 메타표면은 박막 구조를 기반으로 하는 현 공정 방식들에 보다 적합하며, 다양한 물성을 나타내는 물질을 얇은 박막 구조를 통해 구현할 수 있다는 장점을 지닌다.
- [0009] 마이크로파 스펙트럼에서 메타표면은 일반적인 방사 동작을 사용하는 빔 방향 제어에 사용된다. 높은 Q(Quality) 인자를 갖는 예리한 공진에 필수적인 보조 방사 특징을 가지는 메타표면도 존재한다.
- [0010] 보조 방사 메타표면의 기본 작동 원리는 다음과 같다. 전기장 및 자기 전류의 형태로 원거리 영역에서 방사 필드가 측정되지 않기 때문에 그 대신 전자기파가 표면 근처에 갇히게 된다. 이 현상은 트랩 모드로 알려져 있으며 기존의 두 쌍극자 사이의 상호 작용은 트랩 모드의 전기적 들뜸(excitation)으로 이어질 수 있음을 보여주었다. 또한 트랩 모드는 제한적 조건에서 발생하므로 구조적인 작은 변화에도 매우 민감한 문제점이 있다.
- [0011] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0004330호(2019. 01. 11. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 도선에 삽입되는 스위칭 소자를 이용하여 트랩 모드의 전환이 가능하도록 하는 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나는, 복수의 단위 셀이 집합체 구조로 형성되는 메타표면; 및 상기 메타표면 하단에 배치되며, 급전부와 접지면을 포함하는 기판층을 포함하고, 상기 단위 셀은 사각 개방 루프의 형태를 갖되, 중앙 및 양측면에 각각 형성되는 간극에 의해 수평 방향으로 대칭되어 상단과 하단으로 분리된 도선, 그리고 상기 분리된 도선의 어느 한 측면에 삽입되는 스위칭 소자의 온오프에 따라 트랩 모드와 일반 모드를 발생시키는 스위칭 회로가 구비되며, 상기 상단 및 하단 도선이 수직 방향으로 각각 대칭되도록 한 쌍으로 설계될 수 있다.

- [0014] 또한, 상기 트랩 모드는 상기 한 쌍의 도선이 비대칭 구조가 되도록 어느 하나의 스위칭 소자에 전류가 인가되어 상기 단위 셀 근처에만 방사 필드(field)가 생성되는 모드이고, 상기 일반 모드는 상기 한 쌍의 도선이 대칭 구조가 되도록 한 쌍의 스위칭 소자에 전류가 차단되어 원거리 영역에서 강한 필드가 생성되는 모드일 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 스위칭 회로는 복수의 집중정수소자(Lumped elements)로 설계되어 전원 인가시 상기 스위칭 소자를 온 시키고, 상기 스위칭 소자는 상기 상단 도선의 일측 하부에 각각 삽입되는 다이오드일 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 스위칭 소자는 상기 한 쌍의 도선에 정반대의 극성으로 각각 삽입될 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 트랩 모드는 진동하는 파동 에너지의 생존 주기가 상기 일반 모드의 2배 이상일 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 이와 같이 본 발명에 따르면, 도선에 삽입되는 스위칭 소자를 이용하여 트랩 모드의 전환이 가능하도록 설계함으로써 하나의 구조체로 트랩 모드와 일반 모드의 장점이 모두 포함되도록 할 수 있는 효과가 있다.
- [0019] 또한 본 발명에 따르면, 일반 모드에 비해 에너지가 더 오랜 시간 동안 메타표면 구조체 내에 갇혀 있는 트랩 모드로의 전환이 용이함에 따라 에너지 하베스팅(Energy harvesting) 응용 분야에도 활용할 수 있는 효과가 있다.
- [0020] 또한 본 발명에 따르면, 메타표면을 사용함으로써 투과된 진폭의 변화 뿐만 아니라 진폭의 변화를 관찰하여 감지 응용에 적용할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나를 나타낸 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 단위 셀의 구조를 나타낸 상세도이다.
- 도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 도 3의 결과에 따른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 도 5의 결과에 따른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 제3 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 도 7의 결과에 따른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 필드 분포를 비교하기 위한 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 전류 분포 및 다중 극 모멘트를 비교한 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 에너지 생존 주기를 비교하기 위한 그래프이다.
- 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나의 적용 예시이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.
- [0023] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0024] 도 1 내지 도 12를 통해 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나에 대하여 설명한다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나를 나타낸 사시도이고, 도 2는 도 1에 도시된 단위 셀의 구조를 나타낸 상세도이다.
- [0026] 도 1 및 도 2에서와 같이 본 발명의 실시예에 따른 듀얼 모드를 갖는 메타표면 안테나는, 메타표면(100) 및 기

관층(200)을 포함한다.

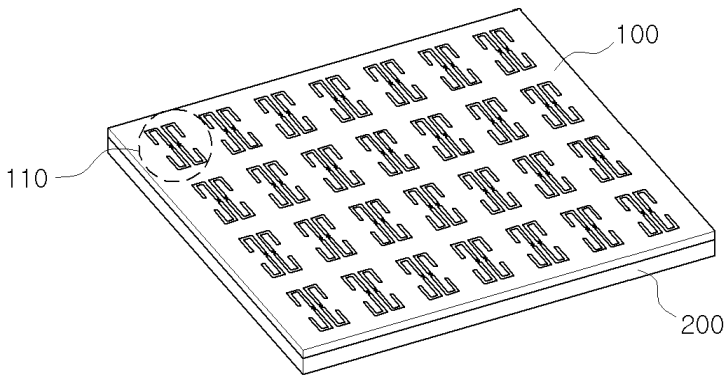
- [0027] 먼저, 메타표면(100)은 복수의 단위 셀(110)이 집합체 구조로 형성된다.
- [0028] 이때, 도 2에서와 같이 각각의 단위 셀(110)은 사각 개방 루프의 형태를 갖되, 중앙 및 양측면에 각각 형성되는 간극에 의해 수평 방향으로 대칭되어 각각 분리된 상단 도선(111a)과 하단 도선(111b), 그리고 분리된 상단 도선(111a)과 하단 도선(111b)의 어느 한 측면에 삽입되는 스위칭 소자(D)의 온오프에 따라 트랩 모드와 일반 모드를 발생시키는 스위칭 회로(112)가 구비된다.
- [0029] 또한, 단위 셀(110)은 상단 도선(111a)과 하단 도선(111b)이 수직 방향으로 각각 대칭되도록 한 쌍으로 설계될 수 있다.
- [0030] 트랩 모드일 때 메타표면(100)으로 투과된 입사파는, 필드의 표면 근처에서만 방사되는 형태를 보이고 특히, 상단 도선(111a)과 하단 도선(111b) 부근에 강한 집중과 형태를 보이고 나머지 위치에서는 급감파 형태를 보인다.
- [0031] 즉, 트랩 모드는 한 쌍의 도선(111)이 비대칭 구조가 되도록 어느 하나의 스위칭 소자(D)에 전류가 인가되어 단위 셀(110) 근처에만 방사 필드(field)가 생성되는 모드이다.
- [0032] 이때, 트랩 모드는 진동하는 파동 에너지의 생존 주기가 일반 모드의 2배 이상일 수 있다.
- [0033] 또한, 일반 모드일 때 메타표면(100)으로 투과된 입사파는, 방사 특성을 갖는 일반적인 전기 쌍극자 형태를 보이며 넓은 공진을 일으킨다.
- [0034] 즉, 일반 모드는 한 쌍의 도선(111)이 대칭 구조가 되도록 한 쌍의 스위칭 소자(D)에 전류가 차단되어 원거리 영역에서 강한 필드가 생성되는 모드이다.
- [0035] 메타 표면 안테나를 트랩 모드와 일반 모드를 전환시키기 위한 스위칭 회로(112)는 집중정수소자(Lumped elements)들로 설계되어 전원 인가시 스위칭 소자(D)를 온 시킨다. 이때, 집중정수소자로는 저항(R), 인덕터(L), 커패시터(C)가 있으며, 해당 소자들은 스위칭 회로(112)에 함께 집적되는 것이 바람직하다.
- [0036] 스위칭 회로(112)에 집적되는 인덕터(L)는 회로에서 사용하는 인덕턴스(Inductance) 요소인 RF 초크(Choke)일 수 있으며, 주로 특정 주파수 이상의 전류를 저지하는 용도로 사용된다. RF 초크는 RFC라고도 불리며, RF 주파수에 대해서는 저지하지만 DC 회로(Current)에 대해서는 흘려보내는 특성을 가지고 있다. 접지(ground)까지의 통로를 만들기 위해서 커패시터(C)와 같이 사용한다.
- [0037] 또한, 스위칭 소자(D)는 상단 도선(111a)의 일측 하부에 각각 삽입되는 다이오드일 수 있다.
- [0038] 즉, 다이오드의 온오프에 따라 수직 방향으로 대칭된 한 쌍의 도선(111)을 비대칭 구조로 전환시켜 트랩 모드가 발생되도록 한다.
- [0039] 도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 도 3의 결과에 따른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- [0040] 자세히는 도 3의 (a)는 트랩 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이고, 도 3의 (b)는 일반 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이며, 도 4의 (a)는 도 3에서의 주파수 응답 특성을 나타낸 그래프이고, 도 4의 (b)는 도 3에서의 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- [0041] 도 3에서와 같이 좌우 대칭되는 위치의 도선에 스위칭 소자(D)를 각각 삽입하고, 도 3의 (a)와 같이 한 쪽의 스위칭 소자(좌측 도선에 삽입된 다이오드)가 활성화(on)되면 한 쌍의 도선(111)이 좌우 비대칭(asymmetry) 구조가 되어 트랩 모드가 발생하게 되고, 도 3의 (b)와 같이 양 쪽의 스위칭 소자(D)가 모두 비활성화(off)되면 한 쌍의 도선(111)이 대칭(symmetry) 구조가 되어 일반 모드가 발생하게 된다.
- [0042] 또한, 도 3에서와 같이 스위칭 소자(D)를 배치하는 경우, 도 4의 (a)에서와 같이 일반 모드(대칭 구조)에서 양 쪽 스위칭 소자(D)가 오프됐을 때 원치 않는 전류 흐름 문제를 해결할 수 있다. 양쪽 스위칭 소자(D)가 오프됐을 때의 전류 분포는 도 4의 (b)와 같은 형태로 나타난다.
- [0043] 또한, 스위칭 소자(D)는 한 쌍의 도선(111)에 정반대의 극성으로 각각 삽입될 수도 있다.
- [0044] 즉, DC 전원이 켜짐과 꺼짐을 반복할 때 극이 정반대인 두 개의 다이오드를 이용하여 한 쌍의 도선(111)이 비대칭 구조일 때 트랩 모드를 발생시키고, 대칭 구조일 때 트랩 모드를 제거하여 일반 모드를 발생시킬 수 있다.
- [0045] 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이고, 도 6은 도 5의 결과에 따

른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.

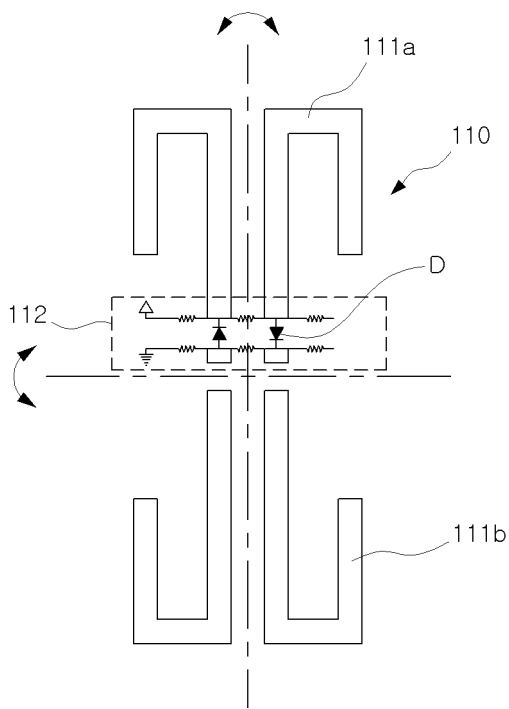
- [0046] 자세히는 도 5의 (a)는 트랩 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이고, 도 5의 (b)는 일반 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이며, 도 6의 (a)는 도 5에서의 주파수 응답 특성을 나타낸 그래프이고, 도 6의 (b)는 도 5에서의 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- [0047] 도 5에서와 같이 좌우 대칭되는 위치의 도선에 극이 정반대인 스위칭 소자(D)를 각각 삽입하고, DC 전원이 인가 되면 도 5의 (a)와 같이 스위칭 소자(D)의 극성에 의해 한 쪽의 스위칭 소자(D)만 활성화(on)되어 한 쌍의 도선(111)이 좌우 비대칭(asymmetry) 구조가 되어 트랩 모드가 발생하게 되고, 도 5의 (b)와 같이 양 쪽의 스위칭 소자(D)가 모두 비활성화(off)되면 한 쌍의 도선(111)이 대칭(symmetry) 구조가 되어 일반 모드가 발생하게 된다.
- [0048] 즉, 본 발명의 제2 실시예에 따르면, 한 쌍의 도선(111)이 비대칭 일 때 트랩 모드를 발생시키고, 대칭 일 때 일반 모드를 발생시키게 된다.
- [0049] 또한, 도 5에서와 같이 스위칭 소자(D)를 배치하는 경우, 도 6의 (a)에서와 같은 이상적인 형태로 트랩 모드와 일반 모드를 구현할 수 있게 되므로, 도 5에서와 같이 스위칭 소자(D)를 배치하는 것이 가장 바람직하다.
- [0050] 또한, 양쪽 스위칭 소자(D)가 오프됐을 때의 전류 분포는 도 6의 (b)와 같은 형태로 나타난다.
- [0051] 도 7은 본 발명의 제3 실시예에 따른 스위칭 소자의 동작을 설명하기 위한 도면이고, 도 8은 도 7의 결과에 따른 주파수 응답 및 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- [0052] 자세히는 도 7의 (a)는 트랩 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이고, 도 7의 (b)는 일반 모드의 스위칭 소자(D) 제어 상태를 나타낸 것이며, 도 8의 (a)는 도 7에서의 주파수 응답 특성을 나타낸 그래프이고, 도 8의 (b)는 도 7에서의 전류 분포를 나타낸 도면이다.
- [0053] 도 7에서와 같이 일측의 도선에만 스위칭 소자(D)를 삽입하고, 도 7의 (a)와 같이 스위칭 소자(D)가 활성화(on)되면 한 쌍의 도선(111)이 좌우 비대칭(asymmetry) 구조가 되어 트랩 모드가 발생하게 되고, 도 7의 (b)와 같이 스위칭 소자(D)가 비활성화(off)되면 한 쌍의 도선(111)이 대칭(symmetry) 구조가 되어 일반 모드가 발생하게 된다.
- [0054] 또한, 도 7에서와 같이 스위칭 소자(D)를 배치하는 경우, 트랩 모드와 일반 모드로 전환은 가능하나, 내부 정전 용량으로 인해 다이오드가 오프된 상태에서도 일부 전류가 흐르게 되어 도 8의 (a)에서와 같이 원치 않는 결과가 포함될 수도 있다. 스위칭 소자(D)가 오프됐을 때의 전류 분포는 도 8의 (b)와 같은 형태로 나타난다.
- [0055] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 필드 분포를 비교하기 위한 도면이다.
- [0056] 도 9의 (a)는 트랩 모드에서의 필드 분포를 나타낸 것이고, 도 9의 (b)는 일반 모드에서의 필드 분포를 나타낸 것이다.
- [0057] 도 9의 (a)를 통해 알 수 있듯이, 트랩 모드가 동작하는 상황에서 필드는 거의 표면 근처에서만 생성되고, 특히 가운데 갈라진 틈(상단 도선(111a)과 하단 도선(111b) 부근)에서 집중되고 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0058] 또한, 도 9의 (b)를 통해 알 수 있듯이, 일반 모드가 동작하는 상황에서 필드는 입사파가 반사되어 원거리 영역에서 강하게 생성되고 있음을 확인할 수 있다.
- [0059] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 전류 분포 및 다중 극 모멘트를 비교한 도면이다.
- [0060] 도 10의 (a)는 트랩 모드에서의 전류 분포를 나타낸 것이고, 도 10의 (b)는 일반 모드에서의 전류 분포를 나타낸 것이며, 도 10의 (c)는 다중 극 모멘트를 나타낸 것이다.
- [0061] 도 10의 (a)에서와 같이 트랩 모드가 발생할 때 한 쌍의 도선(111)에서 거의 동일한 진폭과 서로 위상이 반대인 전류가 생성되어 결국 상쇄된다. 이때, 도 10의 (c)에서와 같이 다중 극 확장은 트랩 모드에서는 마그네틱 쌍극자(M)가 최대치를 나타내고, 일반 모드에서는 전기 쌍극자가 지배적인 것을 알 수 있다.
- [0062] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 트랩 모드와 일반 모드에서의 에너지 생존 주기를 비교하기 위한 그래프이다.
- [0063] 도 11에서 알 수 있듯이 진동하는 파동 에너지의 생존 주기(lifetime) 정의에 따르면 트랩 모드에서의 수명이 일반 모드보다 2배 이상 크다는 것을 확인 할 수 있다. 이를 통해, 에너지는 트랩 모드에서 더 오래 유지됨을

도면

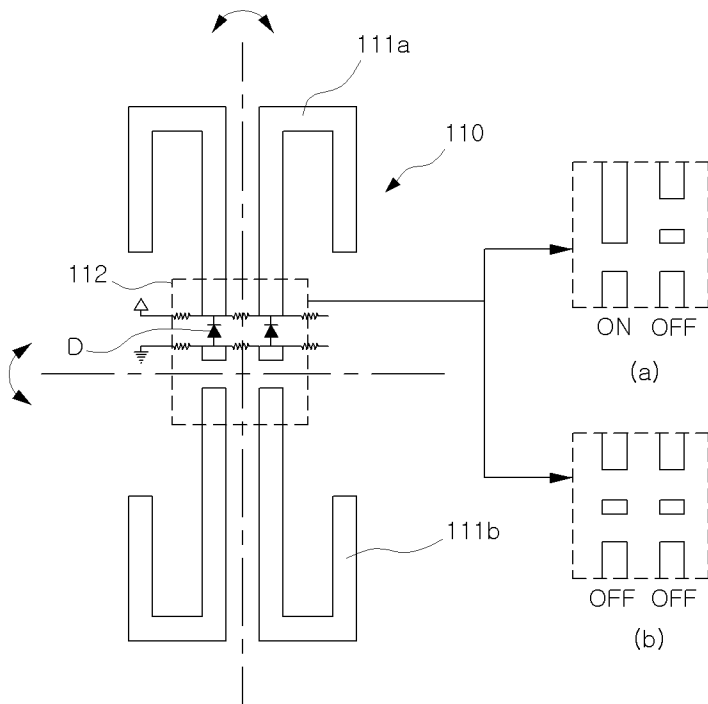
도면1



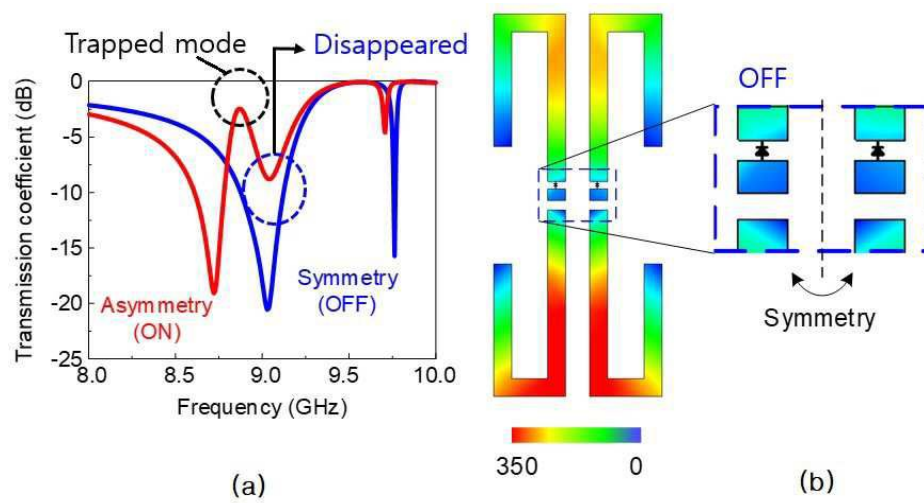
도면2



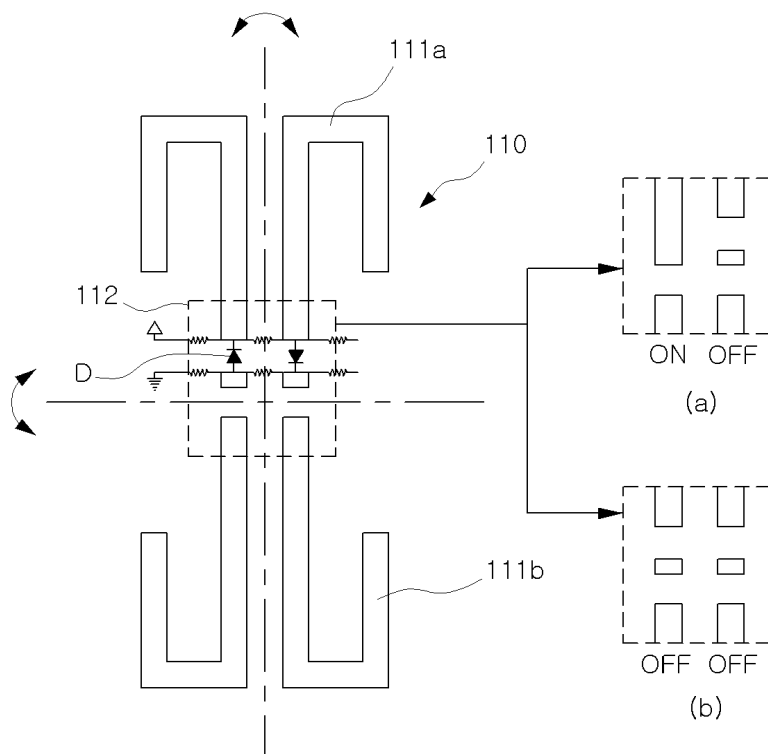
도면3



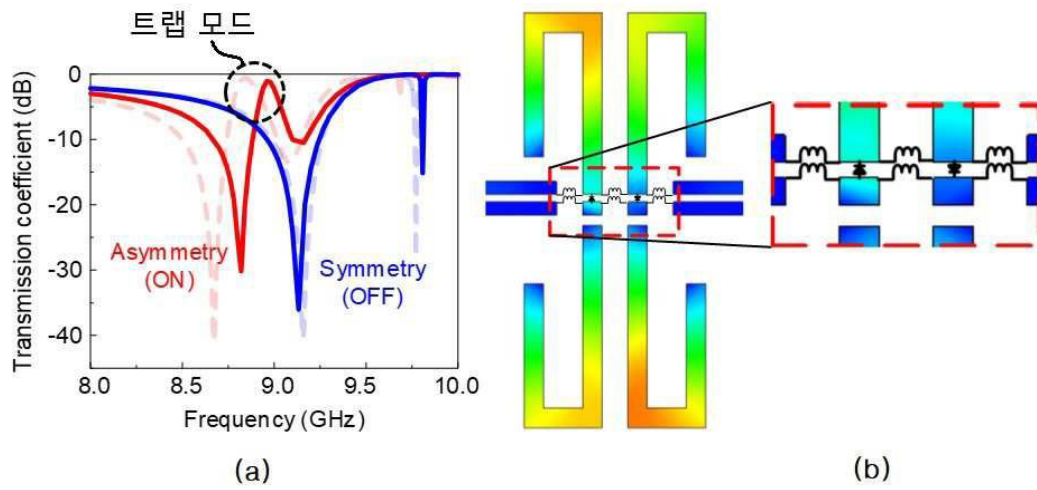
도면4



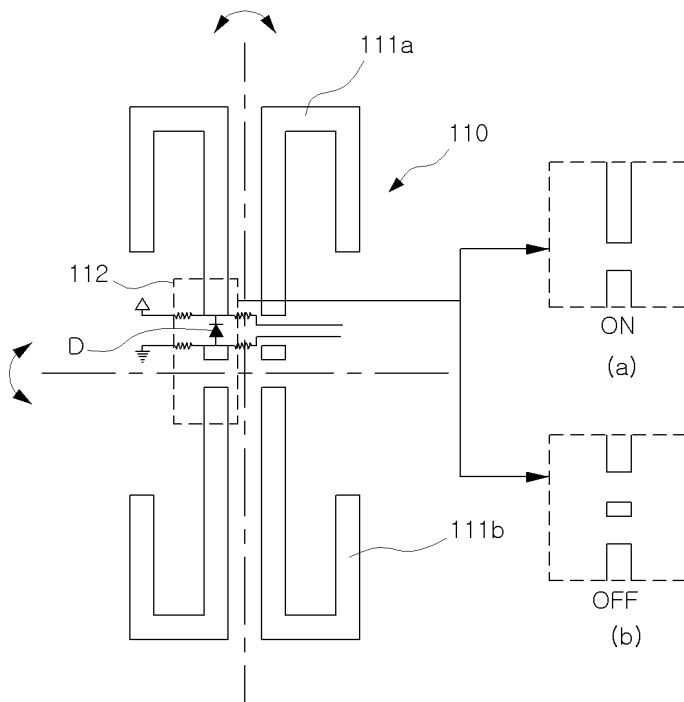
도면5



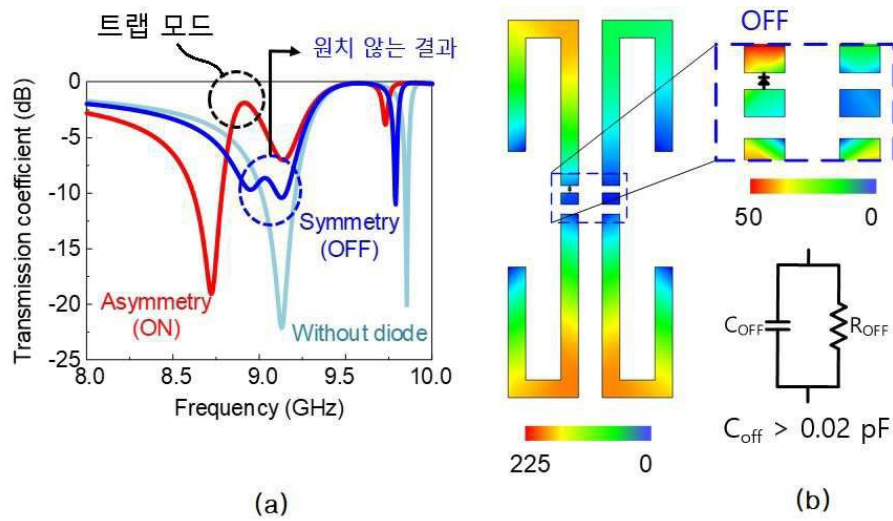
도면6



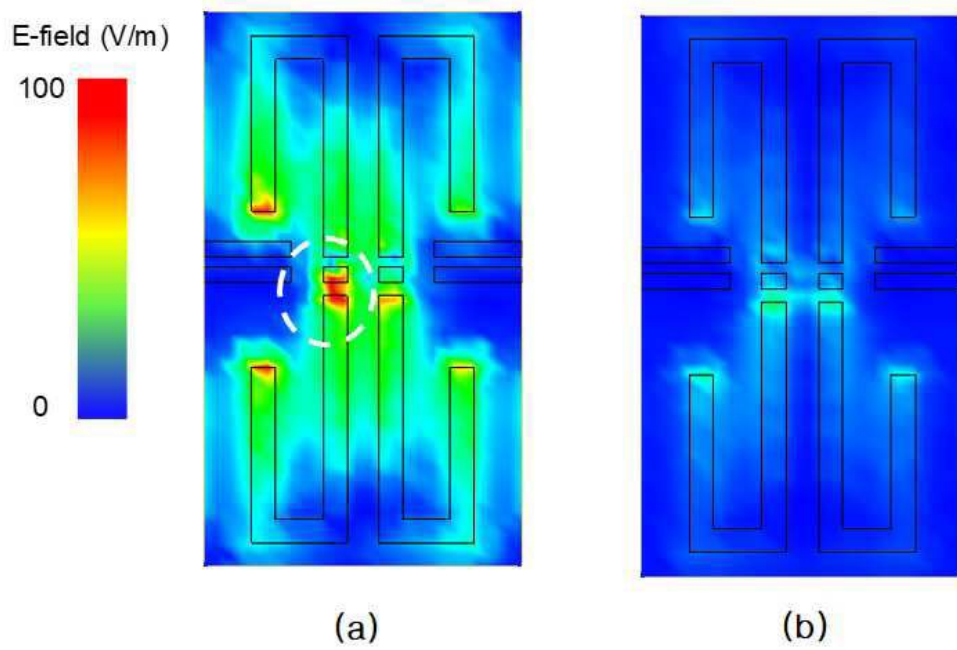
도면7



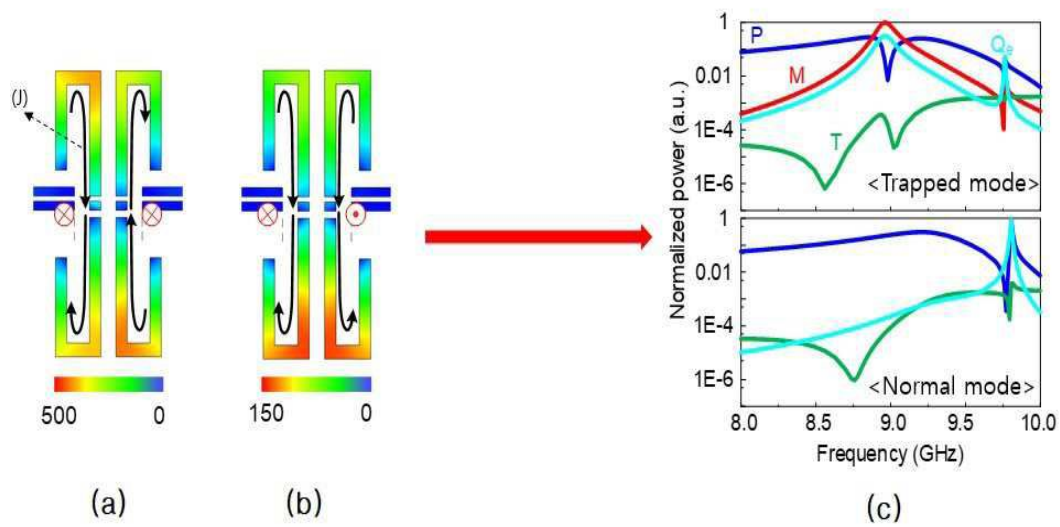
도면8



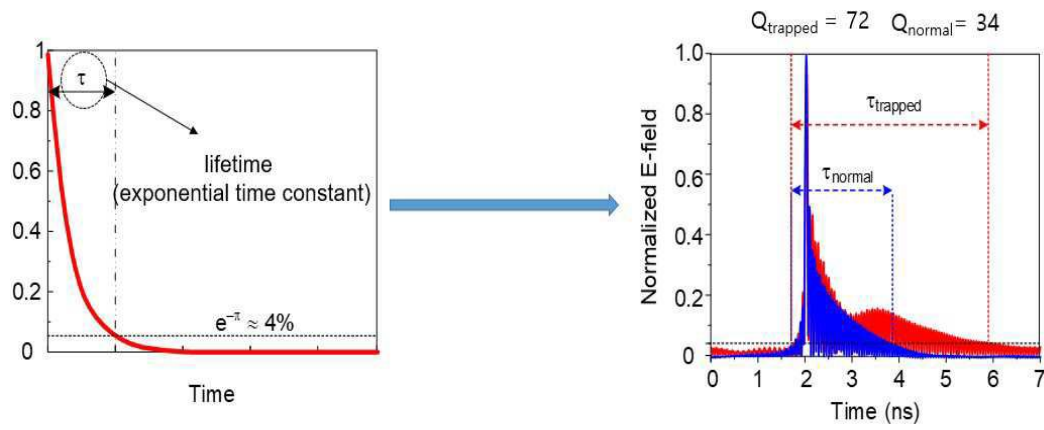
도면9



도면10



도면11



도면12

