



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월05일
 (11) 등록번호 10-1905337
 (24) 등록일자 2018년09월28일

- | | |
|--|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
GO1R 23/16 (2006.01) G06F 17/11 (2006.01)
H01P 3/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
GO1R 23/16 (2013.01)
G06F 17/11 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0157194
(22) 출원일자 2017년11월23일
심사청구일자 2017년11월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020040092311 A*
Modal Analysis of Point and Discretized
Continous Spectra for Metal-Insulator-Metal
Waveguides in the Terahertz Region
Analysis of deep-subwavelength Au and Ag slit
transmittances at terahertz
frequencies(J.-E.Park 외 2인, Journal of the
Optical Society of America B, 2016.06.06)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌 | (73) 특허권자
홍익대학교 산학협력단
(72) 발명자
추호성
박중언
허준
(74) 대리인
특허법인태백 |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 김기환

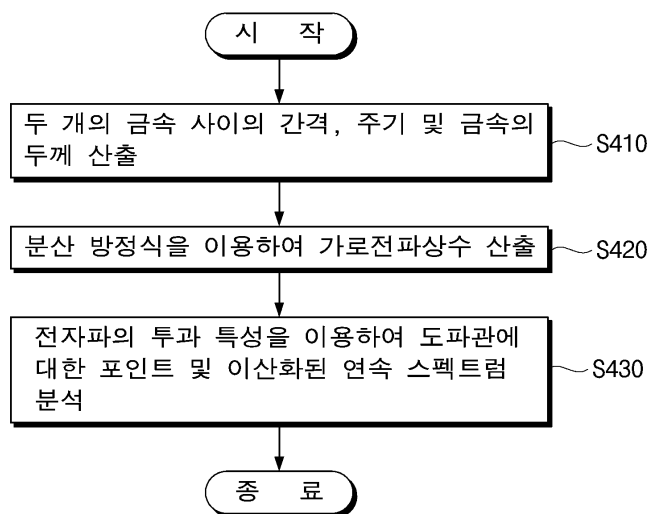
(54) 발명의 명칭 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법

(57) 요약

본 발명은 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 대한 것이다.

본 발명에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해 (뒷면에 계속)

대표도 - 도4



를 찾기 위한 분석 방법에 있어서, 스펙트럼 분석 장치는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격, 주기 및 금속의 두께를 각각 입력받는 단계; 상기 입력된 값을 분산 방정식에 반영하여 도파로 축에 대한 수직 방향으로의 가로전파상수를 산출하는 단계; 및 상기 가로전파상수를 이용하여 전자파의 투과 특성을 분석하고, 분석된 투과 특성을 이용하여 상기 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 금속의 상대 유전율을 이용하여 물리 기법(Muller's Method)에 의해 산출된 MIM 도파관의 가로전파상수를 이용하여 금속의 투과 특성을 분석함으로써 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속으로 구성되는 도파관(MIMW)에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 비교적 수월하게 구할 수 있으며, 해석을 정확하고 용이하게 수행할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01P 3/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345267068
 부처명 교육부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 대학중점연구소지원사업
 연구과제명 메타물질 융합 핵심요소기술 연구
 기여율 1/2
 주관기관 홍익대학교
 연구기간 2017.09.01 ~ 2018.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711056592
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
 연구사업명 정보통신연구개발사업
 연구과제명 RF 설계 및 EM 해석을 위한 클라우드 기반 SW플랫폼 개발
 기여율 1/2
 주관기관 서울대학교 산학협력단
 연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 있어서,

스펙트럼 분석 장치는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격, 주기 및 금속의 두께를 각각 입력받는 단계;

상기 입력된 값을 분산 방정식에 반영하여 도파로 축에 대한 수직 방향으로의 가로전파상수를 산출하는 단계; 및

상기 가로전파상수를 이용하여 전자파의 투과 특성을 분석하고, 분석된 투과 특성을 이용하여 상기 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석하는 단계를 포함하는 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 분산 방정식은,

복소수의 해를 추출하는 뮐러 기법(Muller's Method)을 이용하여 기 정의된 테이블을 이용하여 복소수로 표현된 유전율 값을 기 정의된 수학식에 대입하되, 상기 유전율 값의 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 기 설정된 수 만큼씩 증가하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 기 정의된 방정식을 만족하는 첫 번째 복소수의 해를 추출하는 제1 단계; 및

상기 추출된 복소수의 해의 실수 부분을 감하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 상기 기 정의된 방정식에 가장 근접한 실수 값을 추출한 후, 상기 추출된 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 상기 기 설정된 수만큼 증가하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 상기 기 정의된 방정식을 만족하는 다음 복소수의 해를 추출하는 제2 단계; 및

상기 제2 단계를 반복 수행하여 다음 단계의 복소수의 해를 추출하는 제3 단계를 포함하는 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기 정의된 수학식은 아래의 수학식으로 표현되고,

$$f(x) = \tanh\left(\sqrt{x^2 + \epsilon_m - \epsilon_i} \times (k_0 g)\right) + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_m} \frac{x}{\sqrt{x^2 + \epsilon_m - \epsilon_i}} \tanh(x \times (k_0 h)) = 0$$

상기 기 정의된 방정식은 아래의 수학식으로 표현되는 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법:

$$f(x) = 0$$

여기서, x 는 복소수의 해, ϵ_m 은 금속의 유전율, ϵ_i 는 절연체의 유전율, K_0 는 자유공간 파상수(free-space wavenumber), g 는 두 개의 금속 사이의 간격의 1/2, h 는 금속의 두께의 1/2이다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 기 정의된 방정식을 만족하는 다수의 복소수의 해 중 실수 값이 가장 큰 값이 복소수의 첫 번째 해로 추출되는 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

아래의 수학적식을 이용하여 상기 추출된 각 복소수의 해에 대응하는 TM(Transpose Magnetic) 모드별 상기 가로전파상수를 산출하되, 상기 TM 모드는 $2n$ 모드만 산출하고, n 은 0 또는 양의 정수인 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법:

$$x = \frac{K_{m,n}}{K_0}$$

여기서, x 는 복소수의 해, $K_{m,n}$ 은 가로전파상수, K_0 는 자유공간 전파상수이다.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 기 정의된 테이블의 유전율 값은 테라 헤르츠 대역의 주파수별 금속의 상대 유전율을 복소수로 나타낸 값이며, 실수부와 허수부의 크기는 주파수에 반비례하는 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 MIM(METAL-INSULATOR-METAL) 도파관의 가로전파상수를 산출하여 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석하는 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 테라헤르츠파(Terahertz wave)는 마이크로파(micro-wave)와 광파(light wave)의 중간 영역에 위치하는 근적외선 영역의 전자기파이다. 테라헤르츠파는 0.1~10 THz 정도의 주파수를 가지고 있으며, 파장으로는 0.03~3 mm, 에너지로는 0.4~40 meV를 갖는다. 이와 같은 테라헤르츠파는 발생과 검출의 기술적인 한계로 전자기파의 영역 중 유일하게 미지의 영역으로 남아 연구가 되지 않았다.

[0003] 그러나 테라헤르츠파의 광원인 펄스 레이저가 개발됨에 따라 발생과 검출이 가능해지고, 최근에는 전 세계적으로 테라헤르츠파 대역에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

[0004] 테라헤르츠파 대역은 마이크로파와 광파 대역의 중간에 위치하고 있어, 빛의 직진성과 전자기파의 투과성을 모두 가지고 있으며, 마이크로파나 광파가 투과할 수 없는 물질을 쉽게 투과하고 수분에 잘 흡수되는 특성을 가지고 있다.

[0005] 이에 테라헤르츠파는 의학, 의공학, 생화학, 식품공학, 공해감시 및 보안검색 등 다양한 산업에 적용되고 있으며, 그 중요성도 증대되고 있다. 또한, 나노기술, 정보기술, 생명기술, 환경기술, 우주기술 및 군사기술 등 다양한 응용기술에의 적용을 위하여 테라헤르츠파 도파관, 필터, 공진기 등과 같은 수동소자의 개발이 요구된다.

[0006] 특히, 도파관(waveguide)의 경우 집적회로의 기판과 기판 사이에서 근거리 전송과 장비들 간의 전송에 있어서

반드시 개발되어야 한다.

[0007] 일차원 금속-절연체-금속(METAL-INSULATOR-METAL) 층을 갖는 기본 구조는 금속-절연체-금속 도파관(MIMW)으로 알려져 있다. MIMW는 테라헤르츠와 응용 분야, 특히 불연속 및 다중 접합 구조의 반사 및 투과 특성을 연구하기 위해 도파관 구조 또는 서브 파장 개구에서 보다 더 중요해진다.

[0008] MIMW의 기본 개념을 설명하려면 유전체 슬래브 도파관(DSWs)에서 평행판 도파로(PPWs)의 변환을 이해하여야 한다. 일반적으로 금속의 상대 유전율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon''$$

[0009] 금, 은, 알루미늄 및 구리와 같은 실제 금속의 유전율 $\text{Re}(\epsilon_r)$ 의 실수부는 일반적으로 플라즈마 주파수와 마이크로파 주파수 이하의 테라헤르츠와 대역에서 음의 값이다. 주파수가 감소하고 마이크로파 대역에 접근하면 그 실수부의 절대값은 증가하는데, 마이크로파 대역에서 전도 효과가 지배적이어서 이 때, 금속은 완벽한 전기 전도체(PEC)로 간주될 수 있다. 이러한 경우, 내부 전기 전도체 전자기장은 0이고, 이때 MIMW는 PPW로 간주될 수 있다.

[0010] 일반적으로 모드 해석은 MIMW의 전자기 특성과 PPW와 DSW 사이의 전이 특성을 조사하는 가장 기본적이고 직관적인 방법이다.

[0011] MIMW의 고유치는 포인트 스펙트럼과 연속 스펙트럼으로 분리된다. 포인트 스펙트럼은 PPW의 스펙트럼과 유사한 전파 모드, 감쇄 모드 그리고 특이 모드로 다시 분류된다. 이때 포인트 스펙트럼은 절연체에서 사인과 전자기장 패턴을 설명할 수 있다.

[0012] MIMW에서 연속 스펙트럼의 고유치는 주기구조의 경우에 이산화되어 이산화된 연속 스펙트럼(discretized continuous spectrum, DCS)으로 이름이 바뀐다.

[0013] 이산화된 연속 스펙트럼은 주로 금속 영역에서 사인과 필드 패턴을 형성하고 DSW에서 방사 모드를 모방하지만 방사선에 의한 역할은 없다. 스펙트럼의 고유 치로부터 전자기장 패턴, 전파 특성 및 모드 간의 직교 관계를 자세히 설명할 수 있다.

[0014] DSW와 PPW에 대한 모드 해석과 그 완전성에 대한 이론은 잘 정립되어 있고, 최근에는 MIMW가 연구되었으며 관련 문헌이 발표되었다.

[0015] MIMW에 대한 연구는 테라헤르츠와 대역에서 깊은 서브 파장 슬릿의 투과율의 특성 관찰로 확대되었다. 특히, 은(Ag)에 대한 특정 파장의 유전율과 제한된 주파수 범위가 이전 연구에서 관찰되었으나, 고유치 분석과 그 분포에 대해서는 자세하게 조사되지 않았으므로, 테라헤르츠와 대역에서 MIMW의 주파수, 간격, 폭 및 주기에 따라 실제 금속에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 고유치를 분석하기 위해 각 스펙트럼에서 해를 구하는 방법을 연구하는 것이 중요하다.

[0016] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2017-0090971호(2017.08.08. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0017] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 MIM 도파관의 가로전파상수를 산출하여 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석하는 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 있어서, 스펙트럼 분석 장치는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격, 주기 및 금속의 두께를 각각 입력받는 단계; 상기 입력된 값을 분산 방정식에 반영하여 도파로 축에 대한 수직 방향으로의 가로전파상수를 산출하는 단계; 및 상기 가로전파상수를 이용하여 전자파의 투과 특성을 분석

하고, 분석된 투과 특성을 이용하여 상기 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석하는 단계를 포함한다.

[0020] 상기 분산 방정식은 복소수의 해를 추출하는 뮐러 기법(Muller's Method)을 이용하여 기 정의된 테이블을 이용하여 복소수로 표현된 유전율 값을 기 정의된 수학식에 대입하되, 상기 유전율 값의 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 기 설정된 수 만큼씩 증가하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 기 정의된 방정식을 만족하는 첫 번째 복소수의 해를 추출하는 제1 단계; 및 상기 추출된 복소수의 해의 실수 부분을 감하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 상기 기 정의된 방정식에 가장 근접한 실수 값을 추출한 후, 상기 추출된 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 상기 기 설정된 수만큼 증가하여 상기 기 정의된 수학식에 대입하여 상기 기 정의된 방정식을 만족하는 다음 복소수의 해를 추출하는 제2 단계; 및 상기 제2 단계를 반복 수행하여 다음 단계의 복소수의 해를 추출하는 제3 단계를 포함한다.

[0021] 상기 기 정의된 수학식은 아래의 수학식으로 표현되고,

$$f(x) = \tanh\left(\sqrt{x^2 + \varepsilon_m - \varepsilon_i} \times (k_0 g)\right) + \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_m} \frac{x}{\sqrt{x^2 + \varepsilon_m - \varepsilon_i}} \tanh(x \times (k_0 h)) = 0$$

[0022]

[0023] 상기 기 정의된 방정식은 아래의 수학식으로 표현될 수 있다.

$$f(x) = 0$$

[0024]

[0025] 여기서, x 는 복소수의 해, ε_m 은 금속의 유전율, ε_i 는 절연체의 유전율, K_0 는 자유공간 파상수(free-space wavenumber), g 는 두 개의 금속 사이의 간격의 1/2, h 는 금속의 두께의 1/2이다.

[0026] 상기 기 정의된 방정식을 만족하는 다수의 복소수의 해 중 실수 값이 가장 큰 값이 복소수의 첫 번째 해로 추출될 수 있다.

[0027] 아래의 수학식을 이용하여 상기 추출된 각 복소수의 해에 대응하는 TM(Transpose Magnetic) 모드별 상기 가로전 파상수를 산출하되, 상기 TM 모드는 $2n$ 모드만 산출하고, n 은 0 또는 양의 정수일 수 있다.

$$x = \frac{K_{m,n}}{K_0}$$

[0028]

[0029] 여기서, x 는 복소수의 해, $K_{m,n}$ 은 가로전파상수, K_0 는 자유공간 전파상수이다.

[0030] 상기 기 정의된 테이블의 유전율 값은 테라 헤르츠 대역의 주파수별 금속의 상대 유전율을 복소수로 나타낸 값이며, 실수부와 허수부의 크기는 주파수에 반비례할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 이와 같이 본 발명에 따르면, 금속의 상대 유전율을 이용하여 뮐러 기법(Muller's Method)에 의해 산출된 MIM 도파관의 가로전파상수를 이용하여 금속의 투과 특성을 분석함으로써 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속으로 구성되는 도파관(MIMW)에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 비교적 수월하게 구할 수 있으며, 해석을 정확하고 용이하게 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관을 나타낸 사시도이다.

도 2는 도 1의 금속-절연체-금속 도파관의 평면도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼 분석 장치의 구성도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에서 주파수별 포인트 스펙트럼 분포를 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에서 주파수별 이산화된 연속 스펙트럼 분포를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 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.
- [0034] 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.
- [0035] 먼저, 도 1 및 도 2를 통해 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관에 대하여 설명한다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관을 나타낸 사시도이고, 도 2는 도 1의 금속-절연체-금속 도파관의 평면도이다.
- [0037] 도 1 및 도 2에서와 같이 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속(Metal-Insulator-Metal) 도파관(100)은, 금속(110), 절연체, 금속(110)이 하나의 주기를 가지며 반복 배열되는 구조를 가진다.
- [0038] 이때, 절연체는 금속(110)과 금속(110) 사이에 이격된 빈 공간으로, 금속(110), 절연체, 금속(110)의 유전율은 각각 $Small(g < x < g+h)$, $large(-g \leq x \leq g)$, $small(-g-h < x < -g)$ 과 같이 나타낼 수 있다. 이때, 절연체의 유전율은 공기의 유전율인 1이고, $2g$ 는 두 개의 금속(110) 사이의 간격, $2h$ 는 금속(110)의 두께를 나타낸다.
- [0039] 이하에서는 도 3을 통해 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 분석 장치에 대하여 설명한다.
- [0040] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼 분석 장치의 구성도이다.
- [0041] 도 3과 같이 본 발명의 실시예에 따른 스펙트럼 분석 장치(300)는 입력부(310), 산출부(320) 및 분석부(330)를 포함한다.
- [0042] 먼저 입력부(310)는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격, 주기 및 금속의 두께를 각각 입력받는다.
- [0043] 그리고 산출부(320)는 입력된 값을 분산 방정식에 반영하여 도파로 축에 대한 수직 방향으로의 가로전파상수를 산출한다.
- [0044] 마지막으로 분석부(330)는 가로전파상수를 이용하여 전자파의 투과 특성을 분석하고, 분석된 투과 특성을 이용하여 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석한다.
- [0045] 이하에서는 도 4 내지 도 6을 통해 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에 대하여 설명한다.
- [0046] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 구체적인 동작을 설명한다.
- [0047] 먼저, 전파상수는 두 개의 금속(110) 사이의 간격($2g$), 주기(p) 및 금속(110)의 두께($2h$)에 따라 변하므로 전자파의 투과 특성을 분석하기 위해 대상 도파관(100)의 두 개의 금속(110) 사이의 간격($2g$), 주기(p) 및 금속(110)의 두께($2h$)를 각각 산출한다(S410).
- [0048] 그 다음 S410 단계에서 산출된 값을 분산 방정식에 반영하여 도파로 축에 대한 수직 방향으로의 가로전파상수를 산출한다(S420).

[0049] 이때 분산 방정식은, 복소수의 해를 추출하는 물러 기법(Muller's Method)을 이용하여 기 정의된 테이블을 이용하여 복소수로 표현된 유전율 값을 기 정의된 수학식에 대입하되, 유전율 값의 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 기 설정된 수 만큼씩 증가하여 기 정의된 수학식에 대입하여 기 정의된 방정식을 만족하는 첫번째 복소수의 해를 추출한다.

[0050] 분산방정식은 다음의 수학식 1 및 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\tanh(\kappa_{i,n}g) = -\frac{\kappa_{m,n} / \epsilon_m}{\kappa_{i,n} / \epsilon_i} \tanh(\kappa_{m,n}h)$$

[0051]

수학식 2

$$k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \epsilon_m = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \epsilon_i$$

[0052]

[0053] 여기서, ϵ_m 과 ϵ_i 는 각각 금속(110)과 절연체의 유전율이다. $\kappa_{m,n}$ 및 $\kappa_{i,n}$ 은 각각 금속(110) 및 절연체에서 n 번째 횡방향 전파상수이고, $k_{z,n}$ 은 z축을 따른 n번째 전파 상수이다. $\kappa_{m,n}$, $\kappa_{i,n}$ 및 $k_{z,n}$ 의 첨자 n은 일반적으로 수학식 2에서와 같이 서로 관련된 n번째 모드를 나타낸다. 분산 방정식의 해 $\kappa_{m,n}$ 은 물러 기법을 이용하여 기하학적 파라미터인 두 개의 금속(110) 사이의 간격(2g)과 금속(110)의 두께(2h)와 물질 파라미터인 금속(110)의 유전율(ϵ_m)을 변화시키면서 찾는다.

[0054] 그리고 기정의된 테이블의 유전율 값은 아래의 표 1과 같이 테라 헤르츠 대역의 주파수별 은(Ag), 구리(Cu) 및 알루미늄(Al)의 상대 유전율을 복소수로 나타낸 값이며, 유전율의 허수부는 음의 숫자로 나타내었고, 실수부와 허수부의 크기는 주파수에 반비례한다. 즉, 주파수가 감소함에 따라 실수부와 허수부의 크기가 모두 증가한다.

표 1

[0055]

주파수(테라 헤르츠)	은(Ag)	구리(Cu)	알루미늄(Al)
30	-3738.3 -j1487.3	-4030.1-j1090.7	-6361.9-j3670.2
50	-1470.8-j355.65	-1509.2-j288.09	-2776.2-j1294.0
100	-380.76-j48.957	-389.12-j59.843	-845.11-j245.75
200	-94.108-j7.567	-100.72-j14.034	-213.96-j42.987

[0057] 물러 기법(Muller's Method)을 이용한 기 정의된 수학식은 수학식 3으로 표현된다.

수학식 3

$$f(x) = \tanh\left(\sqrt{x^2 + \epsilon_m - \epsilon_i} \times (k_0 g)\right) + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_m} \frac{x}{\sqrt{x^2 + \epsilon_m - \epsilon_i}} \tanh(x \times (k_0 h)) = 0$$

[0058]

[0059] 그리고, 기 정의된 방정식은 수학식 4로 표현된다.

수학식 4

$$f(x)=0$$

- [0060]
- [0061] 여기서, x 는 복소수의 해, ε_m 은 금속(110)의 유전율, ε_i 는 절연체의 유전율, K_0 는 자유공간 전파상수(free-space wavenumber), g 는 두 개의 금속(110) 사이의 간격의 1/2, h 는 금속(110)의 두께의 1/2이다.
- [0062] 첫 번째 복소수의 해가 추출되면, 수학식 3 및 4에 의해 추출된 복소수의 해의 실수 부분을 증가하면서 수학식 3에 대입하여 수학식 4를 만족하는 가장 근접한 실수 값(x)을 추출한 후, 추출된 실수 값을 고정시킨 상태에서 허수 부분을 기 설정된 수만큼 증가하면서 수학식 3에 대입하여 수학식 4를 만족하는 다음 복소수의 해를 추출하고, 충분한 개수 만큼의 복소수의 해를 추출할 때까지 반복한다.
- [0063] 이때, 수학식 4를 만족하는 다수개의 복소수의 해 중 실수 값이 가장 큰 값이 복소수의 첫 번째 해로 추출되는 것이 가장 바람직하다.
- [0064] 이때, 추출된 첫 번째 복소수의 해는 TM(Transpose Magnetic)0 모드의 해가 되고, 두 번째 복소수의 해는 TM2 모드의 해가 되며, TM 모드의 $2n$ 모드 즉, 짝수모드만 산출하고, n 은 0 또는 양의 정수이다.
- [0065] 아래의 수학식 5를 이용하여 추출된 각 복소수의 해에 대응하는 TM(Transpose Magnetic) 짝수 모드별 가로전파상수를 산출한다.

수학식 5

$$x = \frac{K_{m,n}}{K_0}$$

- [0066]
- [0067] 여기서, x 는 복소수의 해, $K_{m,n}$ 은 가로전파상수, K_0 는 자유공간 전파상수이다.
- [0068] 마지막으로 S420 단계에서 TM 모드별로 산출된 가로전파상수를 이용하여 전자파의 투과 특성을 분석하고, 분석된 투과 특성을 이용하여 도파관(100)에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석한다(S430).
- [0069] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에서 주파수별 포인트 스펙트럼 분포를 나타낸 그래프이다.
- [0070] 도 5의 (a)는 두 개의 금속(110) 사이의 간격($2g$)이 $0.1\lambda_0$ 이고, 주기(P)가 $5\lambda_0$ 인 경우 4개의 주파수별 포인트 스펙트럼의 처음부터 20개의 해(K_m/K_0)를 나타낸 그래프이고, 도 5의 (b)는 100 테라 헤르츠 대역에서 실수부만 고려한(파란색으로 표시) 경우와 실수부와 허수부를 함께 고려한(초록색으로 표시) 경우로 구분하여 처음부터 6개의 해를 나타낸 그래프이다.
- [0071] 자세히는 도 5의 (b)는 표 1를 참고하여 100 테라 헤르츠 대역에서 알루미늄(Al)의 상대 유전율을 이용하여 6개의 TM 모드(TM0, TM2, TM4, TM6, TM8, TM10)의 복소수의 해를 나타낸 것이다.
- [0072] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법에서 주파수별 이산화된 연속 스펙트럼 분포를 나타낸 그래프이다.
- [0073] 자세히는 두 개의 금속(110) 사이의 간격($2g$)이 $0.1\lambda_0$ 이고, 주기(P)가 $5\lambda_0$ 인 경우 4개의 주파수별 이산화된 연속 스펙트럼에서의 해(K_m/K_0)와 포인트 스펙트럼의 해(K_m/K_0)를 나타낸 것이다.
- [0074] 즉, 본 발명의 실시예에 따르면 S420 단계에서 산출된 가로전파상수를 이용하여 도 4 내지 도 5와 같이 TM 모드별로 나타내어 도파관(100)에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼을 분석할 수 있다.
- [0075] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 포인트 및

이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 분석 방법은 금속의 상대 유전율을 이용하여 물러 기법(Muller's Method)에 의해 산출된 MIM 도파관의 가로전파상수를 이용하여 금속의 투과 특성을 분석함으로써 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속으로 구성되는 도파관(MIMW)에 대한 포인트 및 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 비교적 수월하게 구할 수 있으며, 해석을 정확하고 용이하게 수행할 수 있다.

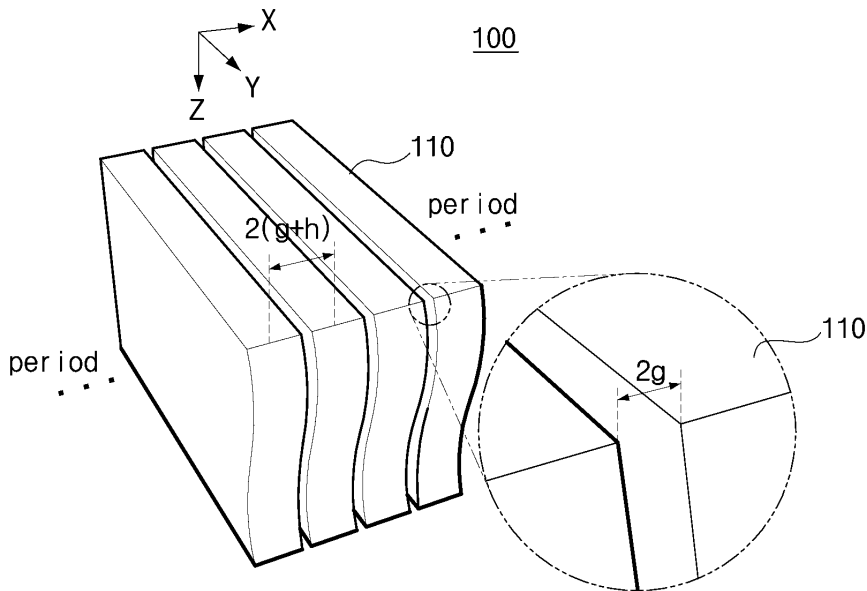
[0076] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

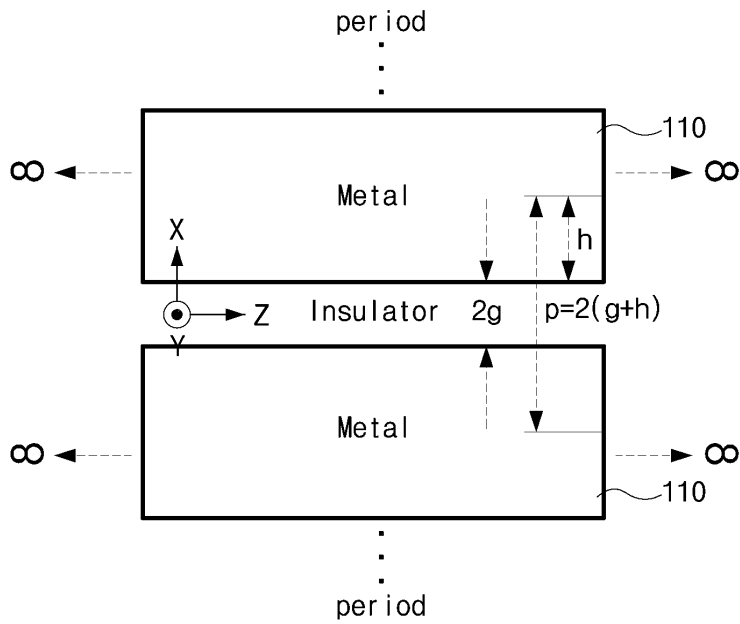
- | | | |
|--------|---------------------|-----------|
| [0077] | 100 : 금속-절연체-금속 도파관 | 110 : 금속 |
| | 300 : 스펙트럼 분석 장치 | 310 : 입력부 |
| | 320 : 산출부 | 330 : 분석부 |

도면

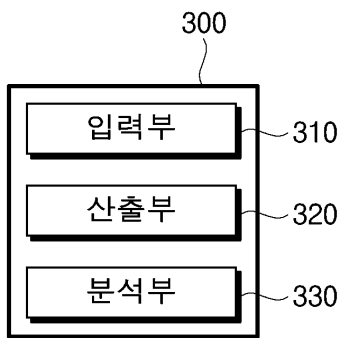
도면1



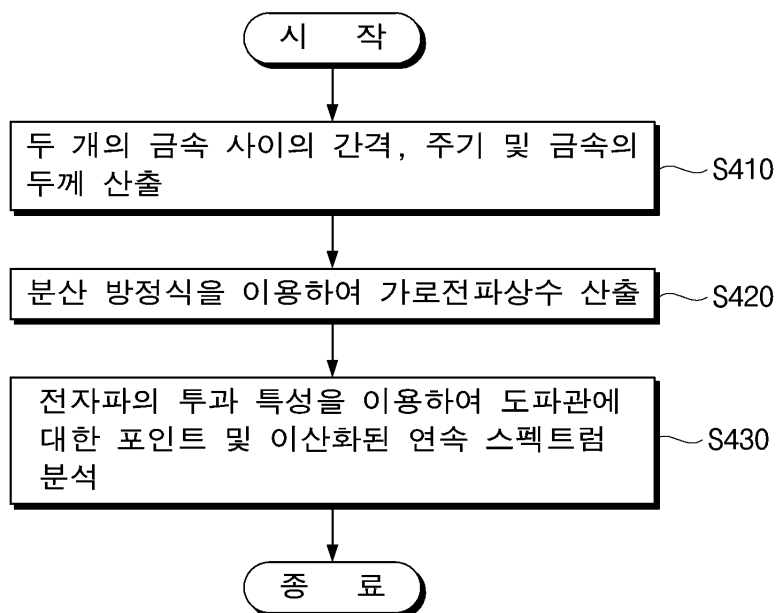
도면2



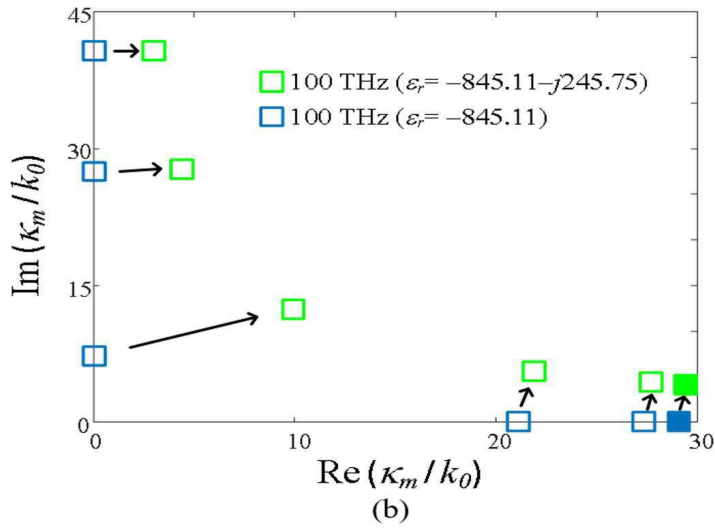
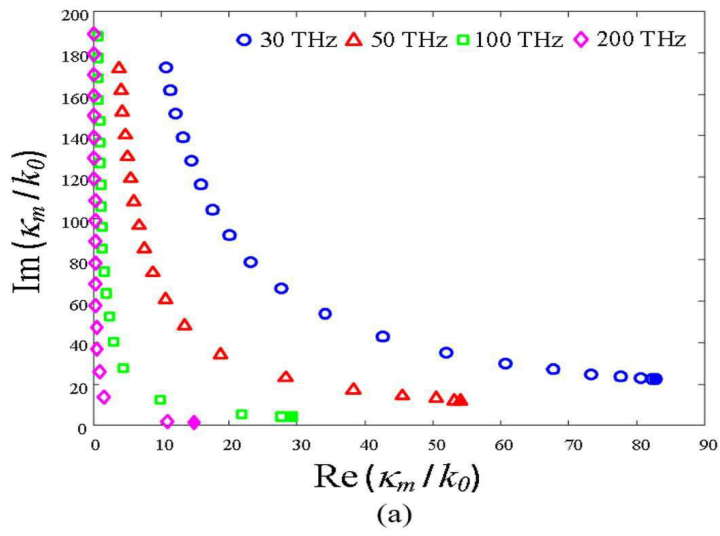
도면3



도면4



도면5



도면6

