



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월21일
(11) 등록번호 10-2133543
(24) 등록일자 2020년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/3581 (2014.01) *G01N 33/20* (2019.01) (73) 특허권자
홍익대학교 산학협력단
(52) CPC특허분류
G01N 21/3581 (2013.01) (72) 발명자
G01N 33/20 (2019.01) 박종언
(21) 출원번호 10-2019-0042907
(22) 출원일자 2019년04월12일
심사청구일자 2019년04월12일 (류성준)
(65) 공개번호 10-2020-0033710
(43) 공개일자 2020년03월30일
(30) 우선권주장 1020180112602 2018년09월20일 대한민국(KR)
추호성

(56) 선행기술조사문헌
류성준 외 3, '테라헤르츠 대역에서 금속으로 구성된 주기적인 소형 개구의 투과 현상 (한국전자파학회논문지, 29(2), 2018.02.28.) pp. 77~82.
KR1020170022497 A
허준 외 2, 'Modal Analysis of Point and Discretized Continuous Spectra for Metal-Insulator- Metal Waveguides in the Terahertz Region' (Journal of EE&T, 13(4), 2018.07.31) pp. 1644~1654.

JP2006184078 A

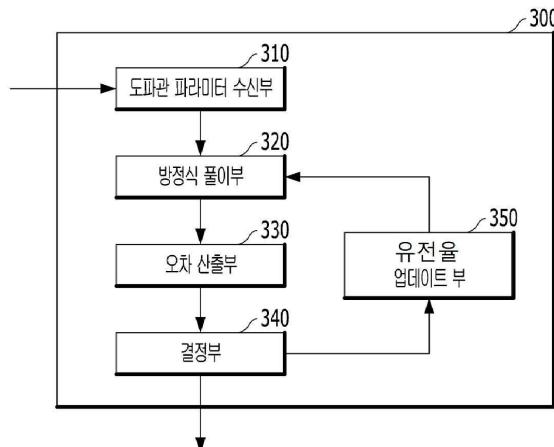
전체 청구항 수 : 총 13 항

심사관 : 장일석

(54) 발명의 명칭 테라 헤르츠 대역에서 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 장치 및 방법

(57) 요약

테라 헤르츠 대역에서 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 장치 및 방법이 개시된다. 개시된 도파관 해석 장치는 도파관의 형태에 따라 고유하게 결정되는 분산 방정식의 해를 산출하여 도파관을 해석한다. 테라 헤르츠 대역에서 복소수 값을 가지는 금속의 유전율을 고려하여 유전율의 실수값만을 고려하여 해의 초기값을 설정하고, 유전율의 허수부는 값을 증가시키며 정확한 해를 찾는다.

대 표 도 - 도3

이) 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016-0-00130

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 정보통신연구개발사업

연구과제명 RF 설계 및 EM 해석을 위한 클라우드 기반 SW 플랫폼 개발

기 예 율 1/2

주관기관 서울대학교 산학협력단

연구기간 2016.04.01 ~ 2018.12.31

이) 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A6A1A03031833

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 대학중점연구소지원사업

연구과제명 메타물질 융합 핵심요소기술 연구

기 예 율 1/2

주관기관 홍익대학교 사학협력단

연구기간 2015.09.01 ~ 2024.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 해석장치에 있어서,

금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받고, 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 도파관 파라미터 수신부;

상기 스펙트럼 해석 장치가 상기 금속의 유전율의 실수부만을 이용하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출하는 방정식 풀이부;

상기 산출된 해를 이용하여 상기 분산 방정식의 오차를 산출하는 오차 산출부;

상기 오차를 미리 결정된 임계값과 비교하고, 그 결과에 따라 상기 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정하는 결정부

를 포함하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 결정부는

상기 산출된 오차의 절대값이 상기 미리 결정된 임계값 이하라면 상기 임시해를 상기 최종 해로 결정하는 금속-절연체-금속-도파관의 해석 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 상기 금속의 유전율을 업데이트하는 유전율 업데이트부;

를 더 포함하고,

상기 방정식 풀이부는 상기 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 상기 분산 방정식의 임시해를 재산출하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식은 하기 수학식 1에 따라 정의되는 금속-절연체-금속-도파관의 해석 장치.

[수학식 1]

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

where $k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,m} = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,i}$

여기서, $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서 n번째 횡방향 전파 상수이고, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서 n번째 횡방향 전파

상수이다. $\epsilon_{r,m}$ 은 금속의 상대 유전율(relative permittivities)이고, $\epsilon_{r,i}$ 는 절연체의 상대 유전율이다. g 는 절연체의 두께의 절반을 나타내고, h 는 금속의 두께의 절반을 나타낸다. $k_{z,n}^2$ 는 z 축을 따른 진행 방향의 n 번째 전파 상수이고, ω 는 주파수에 2π 를 곱한 값이고, μ 는 투자율이다.

청구항 5

테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 해석장치에 있어서,

금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받고, 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 도파관 파라미터 수신부;

상기 금속의 유전율의 실수부 만으로 유전율의 초기값을 설정하는 초기화부;

상기 유전율의 허수부를 미리 결정된 증가량 만큼 증가시키는 허수부 증가부;

상기 허수부가 증가된 유전율에 기초하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 도출하는 해집합 도출부;

상기 도출된 임시해가 수렴한 것인지 여부를 판단하는 판단부;

상기 임시해가 수렴한 경우에, 상기 임시해를 최종해로 결정하는 최종해 결정부; 및

상기 임시해가 수렴하지 않은 경우에, 상기 미리 결정된 증가량의 크기를 재조정하는 증가량 재조정부를 포함하고,

상기 허수부 증가부는 상기 크기가 재조정된 증가량 만큼 상기 유전율의 허수부를 증가시키는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 판단부는 상기 임시해의 허수부의 크기가 제1 임계값 이하인 경우 또는 상기 임시해의 실수부에 대한 상기 임시해의 허수부의 비율이 제2 임계값 이하인 경우 상기 임시해가 수렴한 것으로 판단하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치.

청구항 7

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

금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받는 단계;

상기 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 단계;

상기 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 상기 금속의 유전율의 실수부만을 이용하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출하는 단계;

상기 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 상기 산출된 해를 이용하여 상기 분산 방정식의 오차를 산출하는 단계;

상기 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 상기 오차를 미리 결정된 임계값과 비교하고, 그 결과에 따라 상기 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정하는 단계

를 포함하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정하는 단계는,

상기 산출된 오차의 절대값이 상기 미리 결정된 임계값 이하라면 상기 임시해를 상기 최종 해로 결정하는 금속-절연체-금속-도파관의 해석 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 상기 금속의 유전율을 업데이트하는 단계;

를 더 포함하고,

상기 분산 방정식의 임시해를 산출하는 단계는 상기 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 상기 분산 방정식의 임시해를 재산출하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식은 하기 수학식 2에 따라 정의되는 금속-절연체-금속-도파관의 해석 방법.

[수학식 2]

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

where $k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,m} = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,i}$

여기서, $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서 n번째 횡방향 전파 상수이고, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서 n번째 횡방향 전파 상수이다. $\varepsilon_{r,m}$ 은 금속의 상대 유전율(relative permittivities)이고, $\varepsilon_{r,i}$ 는 절연체의 상대 유전율이다.

g 는 절연체의 두께의 절반을 나타내고, h 는 금속의 두께의 절반을 나타낸다. $k_{z,n}^2$ 는 z축을 따른 진행 방향의 n번째 전파 상수이고, ω 는 주파수에 2π 를 곱한 값이고, μ 는 투자율이다.

청구항 11

테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 해석방법에 있어서,

금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받고, 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 단계

상기 금속의 유전율의 실수부 만으로 유전율의 초기값을 설정하는 단계;

상기 유전율의 허수부를 미리 결정된 증가량 만큼 증가시키는 단계;

상기 허수부가 증가된 유전율에 기초하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 도출하는 단계;

상기 도출된 임시해가 수렴한 것인지 여부를 판단하는 단계;

상기 임시해가 수렴한 경우에, 상기 임시해를 최종해로 결정하는 단계; 및

상기 임시해가 수렴하지 않은 경우에, 상기 미리 결정된 증가량의 크기를 재조정하는 단계를 포함하고,

상기 허수부를 증가시키는 단계는 상기 크기가 재조정된 증가량 만큼 상기 유전율의 허수부를 증가시키는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 판단하는 단계는 상기 임시해의 허수부의 크기가 제1 임계값 이하인 경우 또는 상기 임시해의 실수부에 대한 상기 임시해의 허수부의 비율이 제2 임계값 이하인 경우 상기 임시해가 수렴한 것으로 판단하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법.

청구항 13

제7항 내지 제12항 중에서 어느 하나의 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

하기의 실시예들은 테라 헤르츠 대역에서 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 장치 및 방법에 관한 것으로, 구체적으로는 해당 금속-절연체-금속 도파관의 경계조건으로부터 유도되는 분산 방정식의 해를 산출하여 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

테라 헤르츠(THz) 대역에서 슬릿(Slit)이나 어퍼처(aperture)를 이용한 전자기파의 전송에 대한 연구가 다수 진행되고 있다. 이 중에서도 금속과 절연체가 번갈아 가며 구성된 금속-절연체-금속 도파관(Metal-Insulator-Metal Waveguide, MIMW)은 불연속, 다중 접합 구조에서의 반사 및 전송 효과를 연구하기 위해 널리 사용되고 있다.

[0003]

금, 은, 알루미늄 및 구리와 같은 실제 금속의 유전율은 복소수이며, 유전율의 실수부는 일반적으로 플라즈마 주파수와 마이크로파 주파수 이하의 테라헤르츠파 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 이고, 이때 MIMW는 평행판 도파관(Parallel Plate Waveguide, PPW)로 간주될 수 있다.

[0004]

MIMW를 구성하는 금속의 다양한 상대 유전율, 금속 사이의 거리 등에 따라서 전파 모드가 논의될 수 있다. MIMW에서 전파 모드를 해석하기 위해서는 MIMW의 특성을 결정하는 분산 방정식의 해를 산출해야 하나, 테라 헤르츠 환경에서는 유전율의 허수부의 절대값은 급격히 증가하여 분산 방정식의 해를 산출하는 것은 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005]

하기의 실시예들은 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 것을 목적으로 한다.

[0006]

하기의 실시예들은 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식의 복소수 해를 산출하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007]

예시적 실시예에 따르면, 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 해석장치에 있어서, 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금

속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받고, 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 도파관 파라미터 수신부, 상기 금속의 유전율의 실수부만을 이용하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출하는 방정식 풀이부, 상기 산출된 해를 이용하여 상기 분산 방정식의 오차를 산출하는 오차 산출부 및 상기 오차를 미리 결정된 임계값과 비교하고, 그 결과에 따라 상기 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정하는 결정부를 포함하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치가 제공된다.

[0008] 여기서, 상기 결정부는 상기 계산된 오차의 절대값이 상기 미리 결정된 임계값 이하라면 상기 임시해를 상기 최종 해로 결정할 수 있다.

[0009] 그리고, 상기 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 상기 금속의 유전율을 업데이트하는 유전율 업데이트부를 더 포함하고, 상기 방정식 풀이부는 상기 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 상기 분산 방정식의 임시해를 재산출할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식은 하기 수학식 1에 따라 정의될 수 있다.

[0012] [수학식 1]

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

where $k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,m} = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,i}$

[0014]

[0016] 여기서, $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서 n번째 횡방향 전파 상수이고, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서 n번째 횡방향 전파 상수이다. $\varepsilon_{r,m}$ 은 금속의 상대 유전율(relative permittivities)이고, $\varepsilon_{r,i}$ 는 절연체의 상대 유전율이다. g 는 절연체의 두께의 절반을 나타내고, h 는 금속의 두께의 절반을 나타낸다. $k_{z,n}^2$ 는 z축을 따른 진행 방향의 n번째 전파 상수이고, ω 는 주파수에 2π 를 곱한 값이고, μ 는 투자율이다.

[0017] 또 다른 예시적 실시예에 따르면, 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관에 대한 이산화된 연속 스펙트럼의 해를 찾기 위한 해석 방법에 있어서, 스펙트럼 해석 장치가 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 상기 금속의 두께를 각각 입력받는 단계, 상기 스펙트럼 해석 장치가 상기 금속의 유전율 및 상기 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는 단계, 상기 스펙트럼 해석 장치가 상기 금속의 유전율의 실수부만을 이용하여 상기 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출하는 단계, 상기 산출된 해를 이용하여 상기 분산 방정식의 오차를 산출하는 단계, 및 상기 오차를 미리 결정된 임계값과 비교하고, 그 결과에 따라 상기 분산 방정식의 임시해를 최종 해로 결정하는 단계를 포함하는 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법이 제공된다.

[0018] 여기서, 상기 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정하는 단계는, 상기 계산된 오차의 절대값이 상기 미리 결정된 임계값 이하라면 상기 임시해를 상기 최종 해로 결정할 수 있다.

[0019] 그리고, 상기 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 상기 금속의 유전율을 업데이트하는 단계를 더 포함하고, 상기 분산 방정식의 임시해를 산출하는 단계는 상기 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 상기 분산 방정식의 임시해를 재산출할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식은 하기 수학식 2에 따라 정의될 수 있다.

[0022] [수학식 2]

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

where $k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \epsilon_{r,m} = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \epsilon_{r,i}$

[0024]

여기서, $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서 n번째 횡방향 전파 상수이고, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서 n번째 횡방향 전파 상수이다. $\epsilon_{r,m}$ 은 금속의 상대 유전율(relative permittivities)이고, $\epsilon_{r,i}$ 는 절연체의 상대 유전율이다. g 는 절연체의 두께의 절반을 나타내고, h 는 금속의 두께의 절반을 나타낸다. $k_{z,n}^2$ 는 z축을 따른 진행 방향의 n번째 전파 상수이고, ω 는 주파수에 2π 를 곱한 값이고, μ 는 투자율이다.

발명의 효과

[0027] 하기의 실시예들에 따르면, 테라 헤르츠 영역에서 금속-절연체-금속 도파관을 해석할 수 있다.

[0028] 하기의 실시예들에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 분산 방정식의 복소수 해를 산출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 경계 조건을 설명하는 도면이다.

도 3은 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

도 4는 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

도 5는 또 다른 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

도 6은 또 다른 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0031] 도 1은 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 구조를 도시한 도면이다.

[0032] 도 1의 (a)는 해당 도파관을 위에서 비스듬히 바라본 도면이고, 도 1의 (b)는 해당 도파관은 측면에서 수직으로 바라본 도면이다.

도 1의 (a) 및 도 1의 (b)를 참고하면, 금속-절연체-금속 도파관은 두께(10)가 $2h$ 인 금속(131, 132)이 $2g$ (120)의 간격을 두고 반복적으로 배치되는 형상을 가진다. 도 1의 (a)에서, TM 모드의 전자기파는 z축을 따라 전파한다. 분석의 편의를 위하여 도파관을 구성하는 각각의 금속판은 y축 "??" z축 방향으로 무한히 연장된다고 가정한다. 또한, 도 1의 (a)에서 개시된 구조는 $2(g+h)$ 의 주기를 가지고 x축 방향으로도 무한히 연장된다고 가정한다.

[0034] 일측에 따르면, 금속(131, 132) 사이의 절연체(133)는 진공(vacuum)일 수 있다.

[0036] 도 2는 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 경계 조건을 설명하는 도면이다.

[0037] 도 2의 (a)는 하나의 금속판을 대상으로 전계와 자계를 분석한 도면이고, 도 2의 (b)는 일정한 간격으로 배치되어 금속-절연체-금속 도파관을 구성한 금속판을 대상으로 전계와 자계를 분석한 도면이다.

[0038] 도 2의 (a)에서는, 두께가 $2d$ 이고, y축과 z축 방향으로 무한히 연장된 금속판을 가정한다.

[0039] $|x| < d$ 인 경우에, 전계와 자계는 아래 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

[0041] [수학식 1]

$$\begin{cases} H_y = B_e \cdot \cos(i \cdot \kappa_{i,n} \cdot x) \\ E_z = \frac{i}{\omega \cdot \varepsilon} \cdot (-\kappa_{i,n}) \cdot B_e \cdot \sin(i \cdot \kappa_{i,n} \cdot x) \end{cases}$$

[0043]

[0045] 여기서, H_y 는 y축 방향의 자계이고, E_z 는 z축 방향의 전계이다. B_e 는 임의의 상수이다. $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서의 n번째 횡방향 전파 상수(transverse propagation constant)이다. ω 는 각 주파수이고, ε 는 매질에서의 비유전율을 포함한 유전율을 나타낸다.

[0047] 또한, $|x| > d$ 인 경우에, 전계와 자계는 아래 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

[0049] [수학식 2]

$$\begin{cases} H_y = B_e \cdot \cos(i \cdot \kappa_{i,n} \cdot d) \cdot e^{-\kappa_{m,n} \cdot (|x|-d)} \\ E_z = \frac{x}{|x|} \cdot \frac{i \cdot \kappa_{m,n}}{\omega \cdot \varepsilon} \cdot B_e \cdot \cos(i \cdot \kappa_{i,n} \cdot x) \cdot e^{-\kappa_{m,n} \cdot (|x|-d)} \end{cases}$$

[0051]

[0053] 여기서, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서의 n번째 횡방향 전파 상수이다.

[0055] $x = \pm d$ 에서, 전계 E_z 의 연속성을 고려하면, 아래 수학식 3을 얻을 수 있다.

[0057] [수학식 3]

$$\tan(i \cdot \kappa_{i,n} \cdot d) = \frac{n_1^2 \cdot \kappa_{m,n}}{n_2^2 \cdot i \cdot \kappa_{i,n}}$$

[0059]

[0061] 여기서, n_1 은 영역 1(진공)에서의 굴절률이고, n_2 는 영역2(금속)에서의 굴절률이다.

[0063] 도 2의 (b)와 같이, 도 2의 (a)에 도시된 금속 판이 주기적으로 반복되는 경우 y축 방향의 자계는 아래 수학식 4, 5와 같이 표현할 수 있다.

[0065] 1) $0 \leq x < a + h$ 인 영역에서,

[0067] [수학식 4]

$$H_y = \begin{cases} H_0 \cdot \frac{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot x)}{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot a)}, & 0 \leq x < a \\ H_0 \cdot \{\cosh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x - a)] + \xi \sinh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x - a)]\}, & a \leq x < a + h \end{cases}$$

[0069]

[0071] 여기서, H_0 는 임의의 상수이고, $\kappa_{m,\nu}$ 는 금속에서의 ν 번째 횡방향 전파 상수이다.

[0073] 2) $-a - h \leq x \leq 0$ 인 영역에서,

[0075] [수학식 5]

$$H_y = \begin{cases} H_0 \cdot \frac{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot x)}{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot a)}, & -a \leq x \leq 0 \\ H_0 \cdot \{\cosh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x + a)] + \xi \sinh[\kappa_{m,\nu} \cdot (-x - a)]\}, & -a - h \leq x \leq -a \end{cases}$$

[0077]

$$\xi = \frac{\kappa_{i,\nu}/\varepsilon_i}{\kappa_{m,\nu}/\varepsilon_m} \cdot \tanh(\kappa_{i,\nu} \cdot a)$$

[0079]

여기서, ε_i 는 절연체에서의 유전율이고, ε_m 금속에서의 유전율이다.

[0081] 1) $0 \leq x < a + h$ 인 영역에서, $E_z = \frac{1}{\varepsilon(x)} \cdot \frac{\partial H_y}{\partial x}$ 이므로, z 축방향의 전계 E_z 는 아래 수학식 6, 7과 같이 얻을 수 있다.

[0083] 1) $0 \leq x < a + h$ 인 영역에서,

[0085] [수학식 6]

$$E_z = \begin{cases} \frac{\kappa_{i,\nu}}{\varepsilon_i} \cdot H_0 \cdot \frac{\sinh(\kappa_{i,\nu} \cdot x)}{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot a)}, & 0 \leq x < a \\ \frac{\kappa_{m,\nu}}{\varepsilon_m} \cdot H_0 \cdot \{\sinh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x - a)] + \xi \cdot \cosh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x - a)]\}, & a \leq x < a + h \end{cases}$$

[0086]

[0088] 2) $-a - h \leq x \leq 0$ 인 영역에서,

[0090] [수학식 7]

$$E_z = \begin{cases} \frac{\kappa_{i,\nu}}{\varepsilon_i} \cdot H_0 \cdot \frac{\sinh(\kappa_{i,\nu} \cdot x)}{\cosh(\kappa_{i,\nu} \cdot a)}, & -a \leq x \leq 0 \\ \frac{\kappa_{m,\nu}}{\varepsilon_m} \cdot H_0 \cdot \{\sinh[\kappa_{m,\nu} \cdot (x + a)] - \xi \cdot \cosh[\kappa_{m,\nu} \cdot (-x - a)]\}, & -a - h \leq x \leq -a \end{cases}$$

[0091]

[0093] 도 2의 (b)에 도시된 도파관은 2(g+h)를 주기로 반복되는 특성이 있으므로, 아래 수학식 8의 관계를 가진다.

[0095] [수학식 8]

$$E_z(x = a + h) = E_z(x = -a - h)$$

[0097] 수학식 6, 7, 및 수학식 8을 참고하면, 하기 수학식 9를 도출할 수 있다.

[0101] [수학식 9]

$$\sinh(\kappa_{m,v} \cdot h) = -\xi \cdot \cosh(\kappa_{m,v} \cdot h)$$

[0103] [0105] 여기서, ξ 를 대입하면, 하기 수학식 10을 얻을 수 있다.

[0107] [수학식 10]

$$\sinh(\kappa_{m,v} \cdot h) = -\frac{\kappa_{i,v}/\varepsilon_i}{\kappa_{m,v}/\varepsilon_m} \cdot \tanh(\kappa_{i,v} \cdot a) \cdot \cosh(\kappa_{m,v} \cdot h)$$

[0109]

[0111] 이를 정리하고, 도 1에 도시된 도파관의 파라미터를 대입하면, 아래 수학식 11을 얻을 수 있다.

[0113] [수학식 11]

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

[0115] where $k_{z,n}^2 = \kappa_{m,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,m} = \kappa_{i,n}^2 + \omega^2 \mu \varepsilon_{r,i}$ [0117] 여기서, 여기서, $\kappa_{i,n}$ 는 절연체에서 n번째 횡방향 전파 상수이고, $\kappa_{m,n}$ 은 금속에서 n번째 횡방향 전파 상수이다. $\varepsilon_{r,m}$ 은 금속의 상대 유전율(relative permittivities)이고, $\varepsilon_{r,i}$ 는 절연체의 상대 유전율이다.[0118] g 는 절연체의 두께의 절반을 나타내고, h 는 금속의 두께의 절반을 나타낸다. $k_{z,n}^2$ 는 z축을 따른 진행 방향의 n번째 전파 상수이고, ω 는 주파수에 2π 를 곱한 값이고, μ 는 투자율이다.

[0119] 상기 수학식 11과 같이 정의된 방정식을 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식(dispersion equation)이라 하며, 분산 방정식의 해를 구하는 것이 곧 금속-절연체-금속 도파관을 해석하는 것이라고 간주된다.

[0121] 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 수학식 11의 분산방정식의 해를 산출하여 주어진 금속-절연체-금속 도파관을 해석한다.

[0123] 도 3은 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

[0124] 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 도파관 파라미터 수신부(310), 방정식 풀이부(320), 오차 산출부(330), 결정부(340) 및 유전율 업데이트부(350)를 포함한다.

[0125] 도파관 파라미터 수신부(310)는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 금속의 두께를 각각 입력받고, 금속의 유전율 및 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는다. 일측에 따르면, 금속 사이의 절연체는 진공(vacuum)일 수 있다.

[0126] 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관은 테라 헤르츠 영역에서 동작할 수 있으며, 이 주파수 대역에서 금속

의 유전율은 복소수일 수 있다. 금속-절연체-금속 도파관을 구성하는 금속의 재질이 각각 은(Ag), 구리(Cu), 알루미늄(Al)인 경우에 각 주파수 대역에서의 상대 유전율을 하기의 표에 정리하였다.

[0128] [표 1]

Frequency (THz)	Ag	Cu	Al
1.2	-192760 - <i>j</i> 731720	-13536 - <i>j</i> 158760	-44623 - <i>j</i> 513470
10	-37433 - <i>j</i> 21558	-7032.0 - <i>j</i> 15057	-30276 - <i>j</i> 33929
30	-3738.3 - <i>j</i> 1487.3	-4030.1 - <i>j</i> 1090.7	-6361.9 - <i>j</i> 3670.2
50	-1470.8 - <i>j</i> 355.65	-1509.2 - <i>j</i> 288.09	-2776.2 - <i>j</i> 1294.0
100	-380.76 - <i>j</i> 48.957	-389.12 - <i>j</i> 59.843	-845.11 - <i>j</i> 245.75
200	-94.108 - <i>j</i> 7.567	-100.72 - <i>j</i> 14.034	-213.96 - <i>j</i> 42.987

[0130]

[0132] 수학식 11에 정의된 분산 방정식에서, $\kappa_{i,n}$, $\kappa_{m,n}$ 을 제외한 모든 인자들은 금속-절연체-금속 도파관과 관련된 상수들이고, 도파관 파라미터 수신부를 이용하여 수신할 수 있다. 다만, 금속의 상대 유전율이 복소수값을 가지므로, 분산 방정식의 해를 구하는 것은 쉽지 않으며, 이하에서 설명하는 방법과 같이 초기값으로부터 반복적인 계산을 통해 정확한 해로 접근해야만 한다.

[0134] 방정식 풀이부(320)는 해당 주파수 대역에서 금속-절연체-금속 도파관을 구성하는 금속의 상대 유전율 중에서 실수부만을 이용하여 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출한다.

[0135] 방정식 풀이부(320)는 금속의 상대 유전율 $\epsilon_{r,m}$ 중에서 실수부만을 분산방정식에 대입하고, 절연체의 상대 유전율 $\epsilon_{r,i}$, 절연체의 두께의 절반인 g , 금속의 두께의 절반인 h 를 분산 방정식에 대입하여 연립하여 풀 수 있는 2개의 방정식을 도출할 수 있다.

[0136] 방정식 풀이부(320)는 도출된 2개의 방정식을 연립하여 절연체의 n 번째 횡방향 전파 상수 $\kappa_{i,n}$ 과 금속의 n 번째 횡방향 전파 상수 $\kappa_{m,n}$ 을 포함하는 임시해를 도출할 수 있다.

[0137] 방정식 풀이부(320)가 산출한 임시해는 금속의 상대 유전율 중에서 실수부만을 이용한 것이므로, 정확한 값이 아니다. 그러나, 정확한 값을 구하기 위한 초기값으로 사용될 수는 있다.

[0139] 오차 산출부(330)는 방정식 풀이부(320)가 산출한 임시해를 이용하여 분산 방정식의 오차를 산출할 수 있다. 일측에 따르면, 오차 산출부(330)는 분산 방정식을 하기 수학식 12와 변형하여 오차 함수를 생성하고, 오차 함수에 임시해를 입력하여 오차를 산출할 수 있다.

[0141] [수학식 12]

$$\text{err} = \tanh(\kappa_{i,n}g) + \frac{\kappa_{m,n} / \epsilon_{r,m}}{\kappa_{i,n} / \epsilon_{r,i}} \tanh(\kappa_{m,n}h)$$

[0143]

[0145] 여기서, err 은 오차 함수의 값이다.

[0147] 결정부(340)는 산출된 오차를 미리 결정된 임계값과 비교하고, 그 결과에 따라 분산 방정식의 임시해를 최종해로 결정한다. 일측에 따르면, 계산된 오차의 절대값이 미리 결정된 임계값 이하라면, 결정부(430)는 임시해를

최종해로 결정할 수 있다.

[0148] 계산된 오차의 절대값이 미리 결정된 임계값보다 더 큰 값이라면, 유전율 업데이트부(350)는 금속-절연체-금속 도파관을 구성하는 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 금속의 유전율을 업데이트할 수 있다. 일측에 따르면, 유전율 업데이트부(350)는 미리 결정된 스텝의 크기만큼 금속의 유전율 중 허수부의 절대값을 증가시킬 수 있다.

[0149] 방정식 풀이부(320)는 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 분산 방정식의 임시해를 재산출할 수 있다. 이 경우, 오차 산출부(330)는 재산출된 임시해를 이용하여 오차를 재산출하고, 결정부(340)는 재산출된 오차와 미리 결정된 임계값을 비교하여 임시해를 최종해로 결정할 수 있다.

[0151] 도 4는 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

[0152] 단계(410)에서 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 금속의 두께를 각각 입력받는다.

[0153] 단계(420)에서 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속의 유전율 및 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는다. 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속 사이의 절연체를 진공(vacuum)으로 가정하고, 절연체의 유전율을 입력 받는 것은 생략할 수도 있다.

[0154] 단계(430)에서 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속의 유전율 중에서 실수부만을 이용하여 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식의 임시해를 산출할 수 있다.

[0155] 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관에 대한 분산 방정식은 수학식 11과 같이 정의될 수 있고, 금속-절연체-금속 도파관이 동작하는 주파수 대역에서 금속의 유전율은 표 1에 기재된 바와 같이 복소수일 수 있다. 이 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속의 유전율 중에서 실수부만을 고려하여 분산 방정식의 임시해를 산출할 수 있다.

[0156] 단계(440)에서 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 산출된 분산 방정식의 해를 이용하여 분산 방정식의 오차를 산출할 수 있다. 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 수학식 12와 같이 분산 방정식을 변형하여 오차 함수를 생성할 수 있다. 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(430)에서 산출된 분산 방정식의 임시해를 오차 함수에 대입하여 임시해에 따른 오차를 산출할 수 있다.

[0157] 단계(450)에서 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 산출된 오차를 미리 결정된 임계값과 비교한다. 계산된 오차의 절대값이 미리 결정된 임계값 이하라면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(470)에서 임시해를 최종해로 결정할 수 있다.

[0158] 계산된 오차의 절대값이 미리 결정된 임계값보다 더 큰 값이라면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(460)에서 금속-절연체-금속 도파관을 구성하는 금속의 유전율의 허수부의 절대값을 증가시켜 금속의 유전율을 업데이트할 수 있다. 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 미리 결정된 스텝의 크기만큼 금속의 유전율 중 허수부의 절대값을 증가시킬 수 있다. 이 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(430)에서 업데이트된 금속의 유전율을 이용하여 분산 방정식의 임시해를 재산출할 수 있다. 이 경우, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(440)에서 재산출된 임시해를 이용하여 오차를 재산출하고, 단계(450)에서 재산출된 오차와 미리 결정된 임계값을 다시 비교할 수 있다.

[0160] 도 5는 또 다른 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

[0161] 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 도파관 파라미터 수신부(510), 초기화부(520), 인덱스 업데이트부(530), 허수부 증가부(540), 해집합 도출부(550), 판단부(560), 최종해 결정부(570) 및 증가량 계조정부(580)를 포함할 수 있다.

[0162] 도파관 파라미터 수신부(510)는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 금속의 두께를 각각 입력받고, 금속의 유전율 및 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는다.

[0163] 초기화부(520)는 수신된 도파관 파라미터에 기초하여 해의 초기값을 산출한다. 일측에 따르면, 초기화부(520)는 금속의 상대 유전율 $\epsilon_{r,m}$ 중에서 실수부만을 상대 유전율의 초기값으로 결정하고, 상대 유전율의 초기값을

$$\{\kappa_{m,n}\}$$

하기 수학식 13에 대입하여 분산 방정식의 해집합

의 초기값을 산출할 수 있다.

[0165] [수학식 13]

$$f(\kappa_{m,n}) = \tanh\left(g\sqrt{\kappa_{m,n}^2 + (\varepsilon_{r,m} - \varepsilon_{r,i})}\right) + \frac{\varepsilon_{r,i}}{\varepsilon_{r,m}} \frac{\kappa_{m,n}}{\sqrt{\kappa_{m,n}^2 + (\varepsilon_{r,m} - \varepsilon_{r,i})}} \tanh(h\kappa_{m,n})$$

[0167]

수학식 13은 수학식 11을 방정식의 형태로 변형한 것으로, 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 상대 유전율이 실수부만을 가지는 경우를 가정하여 수학식 13에 기재된 방정식에 대해서

$$f(\kappa_{m,n}) = 0 \quad \{\kappa_{m,n}\}$$

를 만족하는 해집합

의 초기값을 산출할 수 있다. 일측에 따르면, 초

기화부(520)는 인덱스 n 을 '0'으로 초기화할 수 있다.

[0169] 인덱스 업데이트부(530)는 반복적 계산을 수행하기 위한 인덱스를 업데이트할 수 있다. 예를 들어, 인덱스 업데이트부는 인덱스 n 을 $n = n + 1$ 과 같이 업데이트할 수 있다.

[0170] 허수부 증가부(540)는 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 의 허수부를 미리 결정된 증가량 만큼 증가시킨다. 일측에 따르면, 허수부 증가부(540)는 하기 수학식 14에 따라서 상대 유전율의 허수부를 증가시킬 수 있다.

[0171] [수학식 14]

$$\varepsilon_{r,m} = \operatorname{Re}\{\varepsilon_{r,m}\} + j \operatorname{Im}\{\varepsilon_{r,m}\} \times \frac{n}{N}$$

[0172]

[0173] 수학식 14에 따르면, 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 의 허수부는 허수부의 크기의 $1/N$ 만큼 증가한다.

[0174] 해집합 도출부(550)는 허수부가 증가된 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 을 수학식 13에 기재된 방정식에 대입하고, 허수부가 증가된 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 을 기초하여 수학식 13에 기재된 방정식의 해를 도출하여 해집합 $\{\kappa_{m,n}\}$ 를 업데이트 한다. 해집합 도출부(550)가 도출한 방정식의 해는 수학식 13에 기재된 방정식의 임시해이다.

[0175] 판단부(560)는 업데이트된 해집합이 수렴된 것인지 여부를 판단한다. 일측에 따르면, 판단부(560)는 임시해의 허수부의 크기가 제1 임계값 이하인 경우 또는 임시해의 실수부에 대한 임시해의 허수부의 비율이 제2 임계값 이하인 경우 임시해가 수렴한 것으로 판단할 수 있다.

[0176] 임시해가 수렴한 것으로 판단된 경우, 인덱스 업데이트부(530)는 인덱스를 다시 증가시키고, 허수부 증가부(540)는 미리 결정된 증가량 만큼 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 의 허수부를 다시 증가시킨다. 해집합 도출부(550)는 허수부의 크기가 추가적으로 증가된 상대 유전율 $\varepsilon_{r,m}$ 에 기초하여 해집합 $\{\kappa_{m,n}\}$ 을 도출하고, 도출

된 해집합을 이용하여 임시해를 업데이트할 수 있다.

[0183] 판단부(560)는 반복 계산이 미리 정해진 횟수(N번)에 도달하였는지 여부를 판단할 수 있다. 만약 반복 계산의 횟수가 미리 정해진 횟수에 도달하였다면, 최종해 결정부(570)는 반복 계산을 통해 업데이트된 임시해를 최종해로 결정할 수 있다.

[0185] 만약 임시해가 수렴하지 않고, 발산한 것으로 판단된 경우에, 증가량 재조정부(580)는 미리 결정된 증가량의 크기를 재조정할 수 있다. 예를 들어, 1번째 반복 계산(상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 의 허수부가 1/N배 만큼 증가한 경우)에서 임시해가 수렴하였으나, 2번째 반복 계산(상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 의 허수부가 2/N배 만큼 증가한 경우)에서 임시해가 수렴하지 못할 수 있다. 이 경우에, 증가량 재조정부(580)는 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 다음 계산에서 0.5/N배 만큼 증가하도록 허수부의 증가량을 재조정할 수 있다.

[0186] 이 경우에, 허수부 증가부(540)는 임시해가 수렴하였던 상대 유전율(허수부가 1/N배 만큼 증가한 경우)로부터 허수부를 증가시킬 수 있다. 예를 들어 재조정된 증가량이 0.5/N배인 경우, 이전에 수렴하였던 1/N배로부터 0.5/N배 증가하여 다음 계산에서는 허수부가 1.5/N배 증가한 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 이 수학식 13에 기재된 방정식에 대입될 수 있다.

[0187] 일측에 따르면, 허수부의 증가량을 재조정하였으나, 또 다시 수렴하지 않은 경우에, 증가량 재조정부는 이전 증가량인 0.5/N 보다 작은 값인 0.25/N 등으로 증가량을 재조정할 수 있다.

[0189] 도 6은 또 다른 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

[0190] 단계(610)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속, 절연체, 금속이 하나의 주기에 포함되어 반복 배열되는 금속-절연체-금속 도파관에 포함된 두 개의 금속 사이의 간격 및 금속의 두께를 각각 입력받는다.

[0191] 단계(611)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 금속의 유전율 및 금속 사이의 절연체의 유전율을 각각 입력받는다.

[0192] 단계(620)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 수신된 도파관 파라미터에 기초하여 해의 초기값을 산출한다. 일측에 따르면, 초기화부(520)는 금속의 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 중에서 실수부만을 상대 유전율의 초기값으로 결정하고, 상대 유전율의 초기값을 상기 수학식 13에 대입하여 분산 방정식의 해집합 $\{\kappa_{m,n}\}$ 의 초기값을 산출할 수 있다.

[0193] 수학식 13은 수학식 11을 방정식의 형태로 변형한 것으로, 예시적 실시예에 따른 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(620)에서, 상대 유전율이 실수부만을 가지는 경우를 가정하여 수학식 13에 기재된 방정식에 대

해서 $f(\kappa_{m,n})=0$ 를 만족하는 해집합 $\{\kappa_{m,n}\}$ 의 초기값을 산출할 수 있다. 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(620)에서 반복 계산에 대한 인덱스 n 을 '0'으로 초기화할 수 있다.

[0194] 단계(630)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 반복적 계산을 수행하기 위한 인덱스를 업데이트할 수 있다. 예를 들어, 인덱스 업데이트부는 인덱스 n 을 $n = n + 1$ 과 같이 업데이트할 수 있다.

[0196] 단계(640)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 의 허수부를 미리 결정된 증가량 만큼 증가시킨다. 일측에 따르면, 허수부 증가부(540)는 상기 수학식 14에 따라서 상대 유전율의 허수부를 증가시킬 수 있다.

[0197] 단계(650)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 허수부가 증가된 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 을 수학식 13에 기재된 방정식에 대입하고, 허수부가 증가된 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 에 기초하여 수학식 13에 기재된 방정식의 해

$$\{k_{m,n}\}$$

를 도출하여 해집합 $\{k_{m,n}\}$ 를 업데이트 한다. 해집합 도출부(550)가 도출한 방정식의 해는 수학식 13에 기재된 방정식의 임시해이다.

[0198] 단계(660)에서, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 업데이트된 해집합이 수렴된 것인지 여부를 판단한다. 일측에 따르면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 임시해의 허수부의 크기가 제1 임계값 이하인 경우 또는 임시해의 실수부에 대한 임시해의 허수부의 비율이 제2 임계값 이하인 경우 임시해가 수렴한 것으로 판단할 수 있다.

[0200] 임시해가 수렴한 것으로 판단된 경우, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(670)에서 반복 계산이 미리 정해진 횟수(N번)에 도달하였는지 여부를 판단할 수 있다. 만약 반복 계산의 횟수가 미리 정해진 횟수에 도달하였다면, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(680)에서 반복 계산을 통해 업데이트된 임시해를 최종해로 결정할 수 있다.

[0202] 만약 반복 계산이 미리 정해진 횟수(N번)에 도달하지 않은 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(630)에서 인덱스를 증가시키고, 추가적인 반복 계산을 통해 해집합을 업데이트할 수 있다.

[0204] 만약 임시해가 수렴하지 않고, 발산한 것으로 판단된 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 단계(690)에서 미리 결정된 증가량의 크기를 재조정할 수 있다. 예를 들어, 1번째 반복 계산(상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$)의 허수부가 $1/N$ 배 만큼 증가한 경우)에서 임시해가 수렴하였으나, 2번째 반복 계산(상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$)의 허수부가 $2/N$ 배 만큼 증가한 경우)에서 임시해가 수렴하지 못할 수 있다. 이 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 이 다음 계산에서 $0.5/N$ 배 만큼 증가하도록 허수부의 증가량을 재조정할 수 있다.

[0205] 이 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 임시해가 수렴하였던 상대 유전율(허수부가 $1/N$ 배 만큼 증가한 경우)로부터 허수부를 증가시킬 수 있다. 예를 들어 재조정된 증가량이 $0.5/N$ 배인 경우, 이전에 수렴하였던 $1/N$ 배로부터 $0.5/N$ 배 증가하여 다음 계산에서는 허수부가 $1.5/N$ 배 증가한 상대 유전율 $\mathcal{E}_{r,m}$ 이 수학식 13에 기재된 방정식에 대입될 수 있다.

[0206] 일측에 따르면, 허수부의 증가량을 재조정하였으나, 또 다시 수렴하지 않은 경우에, 금속-절연체-금속 도파관의 해석 장치는 이전 증가량인 $0.5/N$ 보다 작은 값인 $0.25/N$ 등으로 증가량을 재조정할 수 있다.

[0208] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플로피 디스크 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 룸(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴퓨터에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0210] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태

로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0211]

그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0213]

10: 금속의 두께

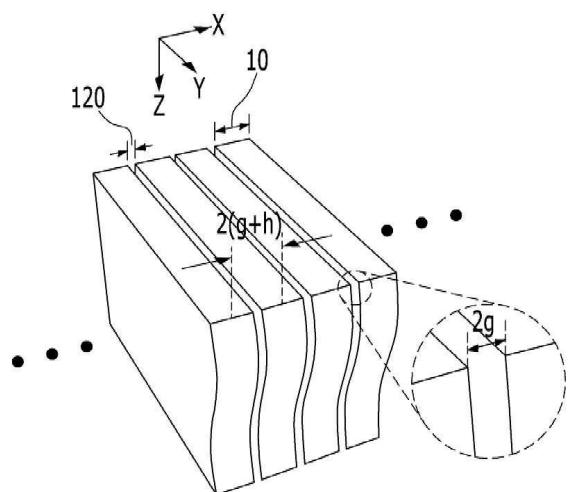
120: 간격

131, 132: 금속

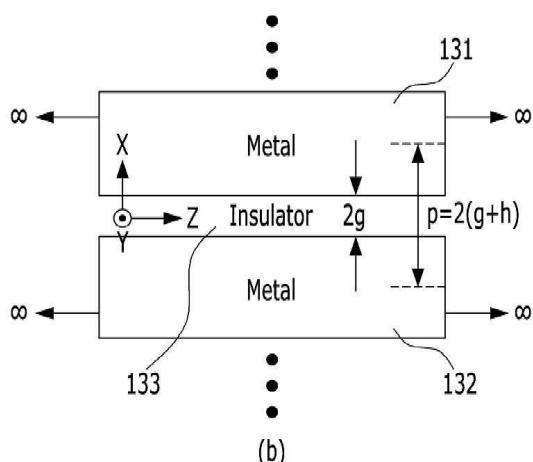
133: 절연체

도면

도면1

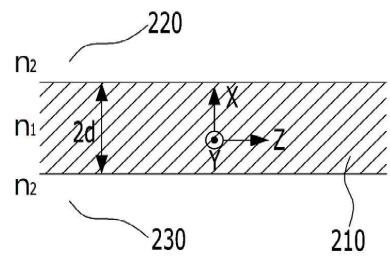


(a)

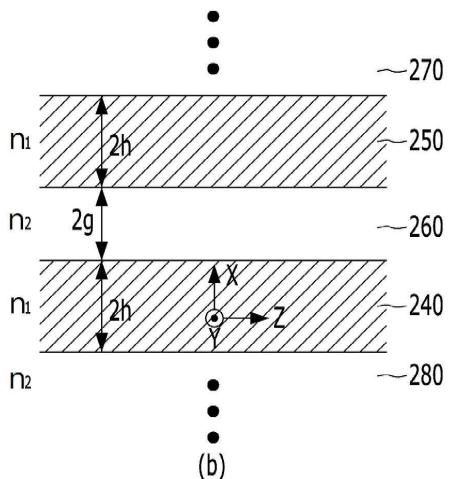


(b)

도면2

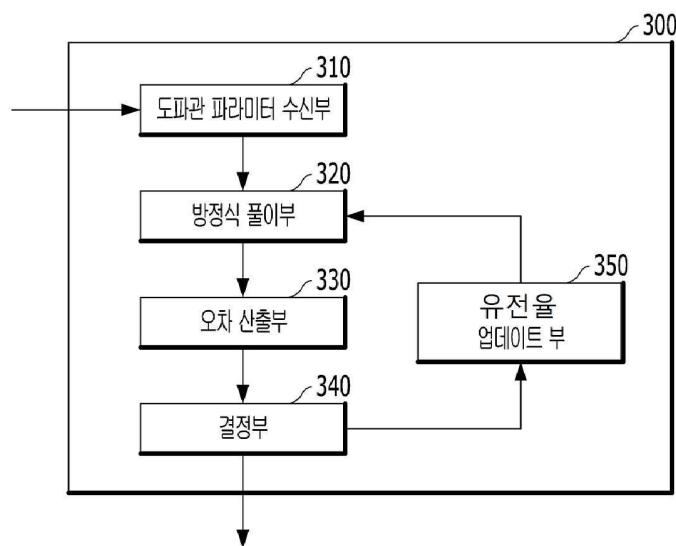


(a)

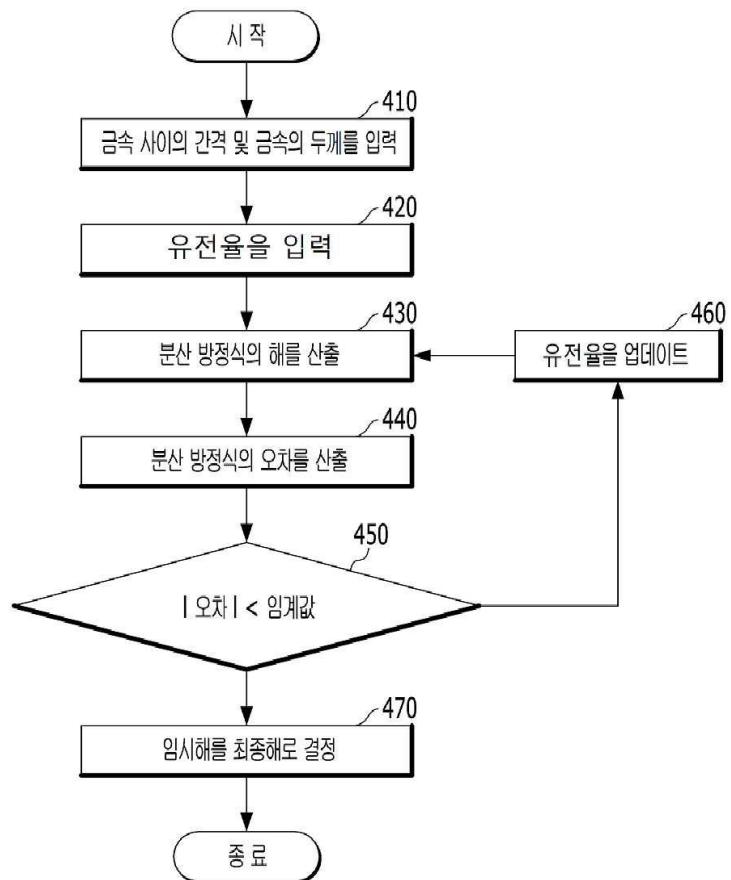


(b)

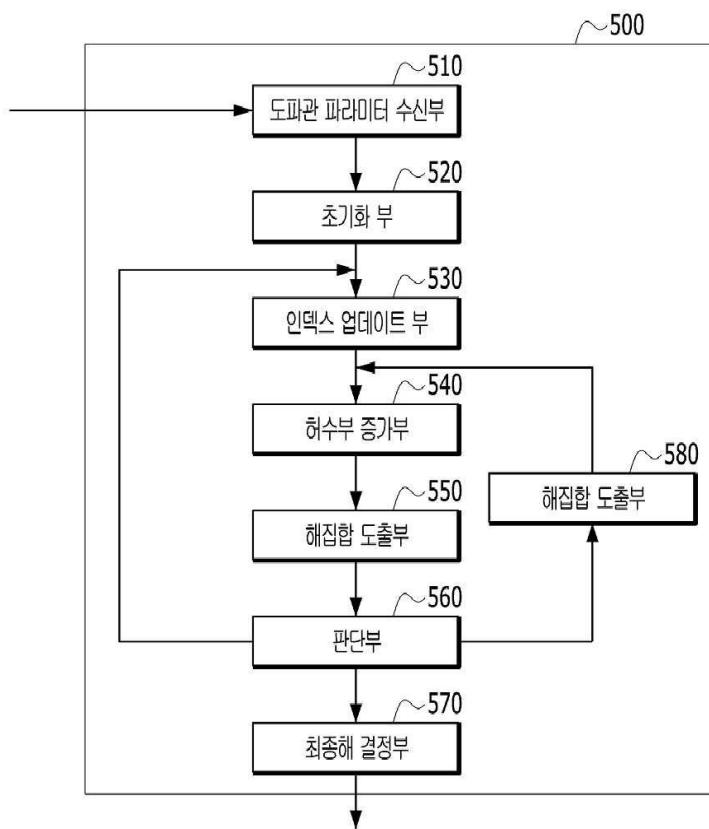
도면3



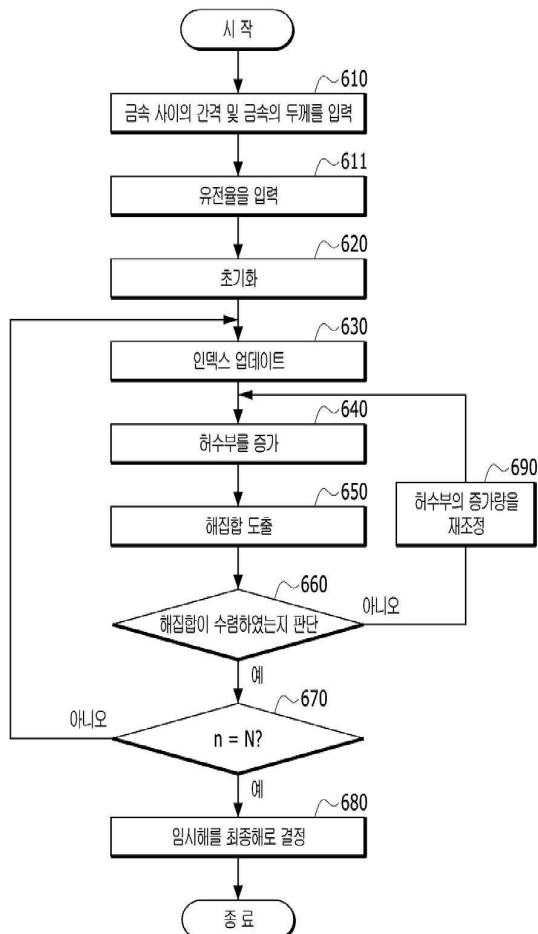
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 8 (2행)

【변경전】

계산된

【변경후】

산출된

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 2 (2행)

【변경전】

계산된

【변경후】

산출된