



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년01월07일
(11) 등록번호 10-1347629
(24) 등록일자 2013년12월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/11 (2006.01) B32B 7/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0105320
(22) 출원일자 2012년09월21일
심사청구일자 2012년09월21일
(56) 선행기술조사문헌
JP2000133983 A
KR100591909 B1

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145 (안암동5가)
(72) 발명자
박규환
서울특별시 강남구 학동로68길 30 (삼성동, 삼성
동중앙하이츠빌리지) 102-804
김경호
충청남도 천안시 서북구 직산읍 마정1길 62
(74) 대리인
특허법인주원

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 김성훈

(54) 발명의 명칭 무반사막, 및 무반사막 형성 방법

(57) 요약

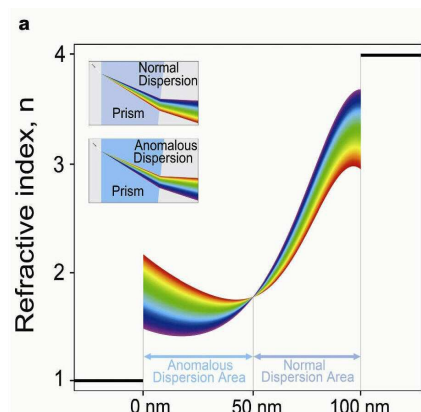
무반사막, 및 무반사막 형성 방법이 개시된다. 무반사막은, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에 형성되어 두 매질 사이의 전자기파의 반사를 방지하기 위한 무반사막으로서, 아래의 수학식에 따른 유전율, 및 투자율 공간분포 특성을 가진다.

$$\mu(x) = \frac{1}{2\omega Y_r(x) Y_i(x)} \frac{dY_r(x)}{dx},$$

$$\epsilon(x) = \frac{-Y_i(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx} + 2Y_r(x) Y_i(x) \frac{dY_i(x)}{dx} + Y_r(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx}}{2\omega Y_i(x) Y_r(x)},$$

이러한 구성으로 인해, 두께가 얇으면서도 입사되는 광의 주파수에 관계없이, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에서의 광반사를 완전히 차단할 수 있는 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
 과제고유번호 20100028713
 부처명 한국연구재단
 연구사업명 중견연구자지원_도약연구(전략)
 연구과제명 메타 안테나 기술
 기 여 율 1/1
 주관기관 고려대학교 산학협력단
 연구기간 2010.09.01 ~ 2011.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에 형성되어 상기 두 매질 사이의 전자기파의 반사를 방지하기 위한 무반사막으로서,

상기 무반사막은 아래의 수학식에 따른 유전율, 및 투자율 공간분포 특성을 가지며,

$$\mu(x) = \frac{1}{2\omega Y_r(x) Y_i(x)} \frac{dY_r(x)}{dx},$$

$$\epsilon(x) = \frac{-Y_i(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx} + 2Y_r(x) Y_i(x) \frac{dY_i(x)}{dx} + Y_r(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx}}{2\omega Y_i(x) Y_r(x)},$$

상기 전자기파의 파동 어드미턴스는 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Y(x) = Y_r(x) + iY_i(x) = \frac{1}{Z(x)} = \frac{1}{i\omega\mu(x)P(x)} \frac{dP(x)}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)^2},$$

상기 전자기파의 전기장의 진폭은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$P(x)^2 = \frac{2S_x}{Y_r(x)},$$

여기서, 상기 두 매질은 상기 무반사막에 의해 x 방향으로 서로 이격되고, $\epsilon(x)$ 는 상기 무반사막내의 유전율 공간분포함수이고, $\mu(x)$ 는 상기 무반사막내의 투자율 공간분포함수이고, $P(x)$ 는 상기 전자기파의 전기장의 진폭이고, ω 는 상기 전자기파의 각주파수이고, $Y(x)$ 와 $Z(x)$ 는 각각 상기 무반사막내의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스의 공간분포함수이고, S_x 는 포인팅(Poynting) 벡터의 x 방향의 시간 평균인 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 전자기파의 전기장 및 자기장의 위상은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Q(x) = \int \frac{2\omega\mu(x)S_x}{P(x)^2} dx,$$

상기 전자기파의 자기장의 진폭은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지며,

$$R(x) = \frac{1}{i\omega\mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)},$$

$Q(x)$ 는 상기 전자기파의 위상이고, $R(x)$ 는 상기 전자기파의 자기장의 진폭인 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 무반사막의 유전율은, 상기 무반사막의 투자율이 공간에 대하여 균일한 경우, 아래의 수학식에 따른 공간 분포 특성을 가지고,

$$\epsilon(x) = \frac{4\mu S_x^2}{P^4(x)} - \frac{1}{\omega^2 \mu P(x)} \frac{d^2 P(x)}{dx^2},$$

μ 는 공간에 대하여 상수인 투자율인 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 $P(x)$ 는 아래의 수학식에 의한 공간분포 특성을 가지며,

$$P(x) = \sqrt{2\mu_0 c S_x} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{n_1}} - \frac{1}{\sqrt{n_2}} \right) \left(\frac{2x^3}{d^3} - \frac{3x^2}{d^2} \right) + \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right]$$

여기서, μ_0 는 진공에서의 투자율이고, c 는 진공에서의 광속도이고, n_1 및 n_2 는 각각 상기 무반사막에 의해 이격되는 제 1 매질 및 제 2 매질의 굴절률, d 는 상기 무반사막의 두께인 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 무반사막은 분산 매질인 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 무반사막은 정상 분산 매질 영역과 음의 유전율을 가지는 이상 분산 매질 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 무반사막.

청구항 7

서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에 형성되어 상기 두 매질 사이의 전자기파의 반사를 방지하기 위한 무반사막 형성 방법으로서,

상기 무반사막은 아래의 수학식에 따른 유전율, 및 투자율 공간분포 특성을 가지며,

$$\mu(x) = \frac{1}{2\omega Y_r(x) Y_i(x)} \frac{dY_r(x)}{dx},$$

$$\epsilon(x) = \frac{-Y_i(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx} + 2Y_r(x) Y_i(x) \frac{dY_i(x)}{dx} + Y_r(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx}}{2\omega Y_i(x) Y_r(x)},$$

상기 전자기파의 파동 어드미턴스는 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Y(x) = Y_r(x) + iY_i(x) = \frac{1}{Z(x)} = \frac{1}{i\omega\mu(x)P(x)} \frac{dP(x)}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)^2},$$

상기 전자기파의 전기장의 진폭은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$P(x)^2 = \frac{2S_x}{Y_r(x)},$$

여기서, 상기 두 매질은 상기 무반사막에 의해 x 방향으로 서로 이격되고, $\epsilon(x)$ 는 상기 무반사막내의 유전률 공간분포함수이고, $\mu(x)$ 는 상기 무반사막내의 투자율 공간분포함수이고, $P(x)$ 는 상기 전자기파의 전기장의 진폭이고, ω 는 상기 전자기파의 각주파수이고, $Y(x)$ 와 $Z(x)$ 는 각각 상기 무반사막내의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스의 공간분포함수이고, S_x 는 포인팅(Poynting) 벡터의 x 방향의 시간 평균인 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 전자기파의 전기장 및 자기장의 위상은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Q(x) = \int \frac{2\omega\mu(x)S_x}{P(x)^2} dx,$$

상기 전자기파의 자기장의 진폭은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지며,

$$R(x) = \frac{1}{i\omega\mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)},$$

$Q(x)$ 는 상기 전자기파의 위상이고, $R(x)$ 는 상기 전자기파의 자기장의 진폭인 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 무반사막의 유전율은, 상기 무반사막의 투자율이 공간에 대하여 균일한 경우, 아래의 수학식에 따른 공간분포 특성을 가지고,

$$\epsilon(x) = \frac{4\mu S_x^2}{P^4(x)} - \frac{1}{\omega^2\mu P(x)} \frac{d^2 P(x)}{dx^2},$$

μ 는 공간에 대하여 상수인 투자율인 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 $P(x)$ 는 아래의 수학식에 의한 공간분포 특성을 가지며,

$$P(x) = \sqrt{2\mu_0 c S_x} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{n_1}} - \frac{1}{\sqrt{n_2}} \right) \left(\frac{2x^3}{d^3} - \frac{3x^2}{d^2} \right) + \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right]$$

여기서, μ_0 는 진공에서의 투자율이고, c 는 진공에서의 광속도이고, n_1 및 n_2 는 각각 상기 무반사막에 의해 이격되는 제 1 매질 및 제 2 매질의 굴절률, d 는 상기 무반사막의 두께인 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 무반사막은 분산 매질인 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 무반사막은 정상 분산 매질 영역과 음의 유전율을 가지는 이상 분산 매질 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 무반사막 형성 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 광학 렌즈나 태양 전지, 군사적 광학 장비, 스텔스 장비, 디스플레이 발광 다이오드, 유기 발광 다이오드, 광학 센서, 레이돔(Radom) 등에 사용되는 코팅 막에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 광학적, 전자기적 물성이 다른 두 물질 사이에서의 반사를 방지하기 위한 무반사막에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 빛 혹은 전자기파는 광학적, 전자기적 특성이 다른 매질 사이의 경계를 투과하여 진행할 때, 광학적, 전자기적 특성의 변화에 의해 발생하는 임피던스 혹은 어드미턴스 부정합으로 인해 부분적으로 혹은 완전히 반사된다.

[0003] 빛 혹은 전자기파의 반사는 다양한 광학, 전자기 장치 및 장비에서의 장치의 성능 및 효율을 낮추는 요인으로 작용하는 경우가 많으며, 이러한 성능 감소를 피하기 위해 반사를 감소 혹은 제거하는 무반사 기술이 계속적으로 발명되었다.

[0004] 대표적인 방법으로 1/4 파장 무반사(quarter-wave anti-reflection), 다중층 무반사(multi-layer coating anti-reflection), 비균질 무반사(inhomogeneous anti-reflection)가 있다.

[0005] 나방눈 구조 무반사(moth-eye anti-reflection)는 비균질 무반사의 한 종류로 최근 나노 기술을 기반으로 많은 기술적인 진보를 이룬 무반사 구조이다. 하지만, 상기의 기술들은 완벽한 무반사 기술이 아니다.

[0006] 1/4 파장 무반사막은 완벽한 무반사 성능을 보이지만, 단색(monochromatic) 빛 혹은 전자기파에서만 무반사 성능을 보이므로, 그 활용이 제한된다. 다중층 및 비균질 무반사막은 1/4 파장 무반사막이 가지는 무반사 파장 스펙트럼(Spectrum)의 제한을 해소하고자 제시되었다.

[0007] 다중층 및 비균질 무반사막은 1/4 파장 대비 무반사를 이루는 파장 스펙트럼의 폭을 상당히 개선하였지만, 무반사막의 두께가 파장대비 매우 얇아지는 경우에 대해서는 여전히 무반사 특성을 잃어버리는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 두께가 얇으면서도 입사되는 광의 주파수에 관계없이, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에서의 광반사를 완전히 차단할 수 있는 무반사막을 형성하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따른 무반사막은, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에 형성되어 두 매질 사이의 전자기파의 반사를 방지하기 위한 무반사막으로서,

[0010] 무반사막은 아래의 수학식에 따른 유전율, 및 투자율 공간분포 특성을 가지며,

$$\mu(x) = \frac{1}{2\omega Y_r(x) Y_i(x)} \frac{dY_r(x)}{dx},$$

[0011]

$$\epsilon(x) = \frac{-Y_i(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx} + 2Y_r(x)Y_i(x) \frac{dY_i(x)}{dx} + Y_r(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx}}{2\omega Y_i(x)Y_r(x)},$$

[0012]

[0013] 전자기파의 파동 어드미턴스는 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Y(x) = Y_r(x) + iY_i(x) = \frac{1}{Z(x)} = \frac{1}{i\omega\mu(x)P(x)} \frac{dP(x)}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)^2}$$

[0014]

[0015] 전자기파의 전기장의 진폭은 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$P(x)^2 = \frac{2S_x}{Y_r(x)},$$

[0016]

[0017] 여기서, 두 매질은 무반사막에 의해 x 방향으로 서로 이격되고, $\epsilon(x)$ 는 무반사막내의 유전률 공간분포함수이고, $\mu(x)$ 는 무반사막내의 투자율 공간분포함수이고, P(x)는 전자기파의 전기장의 진폭이고, ω 는 전자기파의 각주파수이고, Y(x)와 Z(x)는 각각 무반사막내의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스의 공간분포함수이고, S_x 는 포인팅(Poynting) 벡터의 x 방향의 시간 평균이다.

[0018]

이러한 구성으로 인해, 두께가 얇으면서도 입사되는 광의 주파수에 관계없이, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질 사이에서의 광반사를 완전히 차단할 수 있는 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

[0019]

이때, 전자기파의 전기장 및 자기장의 위상은 아래의 식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$Q(x) = \int \frac{2\omega\mu(x)S_x}{P(x)^2} dx$$

[0020]

[0021] 여기서, Q(x)는 상기 전자기파의 위상일 수 있다. 또한, 전자기파의 자기장의 진폭은 아래의 식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$R(x) = \frac{1}{i\omega\mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)}$$

[0022]

[0023] 여기서, R(x)는 전자기파의 자기장의 진폭일 수 있다.

[0024]

이와 같은 구성은 전자기파의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스를 전기장의 진폭과 투자율로부터 명료하게 표현할 수 있도록 해준다.

[0025]

또한, 무반사막의 유전율은, 무반사막의 투자율이 공간에 대하여 균일한 경우, 아래의 수학식에 따른 공간분포특성을 가지고,

$$\epsilon(x) = \frac{4\mu S_x^2}{P^4(x)} - \frac{1}{\omega^2\mu P(x)} \frac{d^2P(x)}{dx^2}$$

[0026]

[0027] μ 는 공간에 대하여 상수인 투자율일 수 있다.

[0028]

이러한 구성으로 인해, 무반사막에서의 투자율이 공간에 대하여 균일한 경우에는 유전율의 변화만으로도 용이하게 완전 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

[0029] 또한, $P(x)$ 는 아래의 수학식에 의한 공간분포 특성을 가지며,

$$P(x) = \sqrt{2\mu_0 c S_x} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{n_1}} - \frac{1}{\sqrt{n_2}} \right) \left(\frac{2x^3}{d^3} - \frac{3x^2}{d^2} \right) + \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right]$$

[0031] 여기서, μ_0 는 진공에서의 투자율이고, c 는 진공에서의 광속도이고, n_1 및 n_2 는 각각 상기 무반사막에 의해 이격되는 제 1 매질 및 제 2 매질의 굴절률, d 는 상기 무반사막의 두께일 수 있다.

[0032] 또한, 무반사막은 분산 매질일 수 있으며, 이때, 무반사막은 정상 분산 매질 영역과 음의 유전율을 가지는 이상 분산 매질 영역을 포함할 수 있다. 이러한 구성에 의해, 금속 물질, 반도체 물질, 메타 물질을 포함한 다양한 물질을 이용하여 무반사막을 형성할 수 있게 되며, 반도체, 자성체, 금속 물질 등 광학적 전자기적 특성이 다른 다양한 매질사이에 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

[0033] 아울러, 상기 무반사막을 방법의 형태로 구현한 발명이 함께 개시된다.

발명의 효과

[0034] 본 발명은 비균질 무반사막을 통하여 종래의 기술들이 가지는 파장 스펙트럼 특성 및 두께 제한 특성을 혁신적으로 개선하였다. 또한, 종래 기술들이 서로 다른 유전체 간의 반사를 감소하는 기술에 제한된 것에 반해, 본 발명은 유전체뿐 아니라, 광학적, 전자기적 특성이 다른 두 매질간의 반사를 감소하는 기술로 기존의 무반사 기술을 크게 개선하는 발명이다.

[0035] 본 발명에 의하면, 두께가 얇으면서도 입사되는 광의 주파수에 관계없이, 서로 다른 굴절률을 가지는 두 매질사이에서의 광반사를 완전히 차단할 수 있는 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

[0036] 또한, 무반사막에서의 투자율이 진공에서와 같이 공간에 대해 균일한 경우 에는 유전율을 변화시키는 것만으로도 용이하게 완전 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

[0037] 또한, 전자기파의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스를 전기장의 진폭과 투자율로부터 명확하게 파악할 수 있게 된다.

[0038] 또한, 금속 물질, 반도체 물질, 메타 물질을 포함한 다양한 물질을 이용하여 무반사막을 형성할 수 있게 되며, 반도체, 자성체, 금속 물질 등 광학적 전자기적 특성이 다른 다양한 매질사이에 무반사막을 형성할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 비균질 무반사 구조를 이루는 굴절을 분포를 여러 파장에 대하여 도시한 그래프.

도 2는 도 1의 실시예의 굴절률 분포를 이루는 무반사막을 투과하는 빛 혹은 전자기파의 펄스(pulse)의 진행 형태를 Finite Difference Time Domain(FDTD)법으로 계산하여 얻은 결과를 도시한 그래프.

도 3은 도 1의 실시예의 무반사막 구조의 유전율을 입사하는 빛 혹은 전자기파 파장 1500nm, 2000nm, 2500nm인 경우에도 도시한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0041] 본 발명에서는, 종래의 접근 방법과 다른 방법으로 반사를 "0"으로 만드는 무반사막과 그에 대한 설계를 해석적인 방법으로 얻었으며, 얻어진 해석적인 방법을 통해 완벽한 임피던스 정합을 이룸으로써, 광대역 및 초박 무반사막을 이론적, 실험적으로 실현 가능하게 한다. 특히, 무반사막을 이루는 물질이 정상 분산 매질 및 이상 분산 매질로 이루어졌을 때 완벽한 광대역 무반사막 구조가 가능해 보인다.

[0042] 유전율 $\epsilon(x)$, 투자율 $\mu(x)$ 이 공간에 대해서 변하는 비균질(inhomogeneous) 매질을 x 축 방향으로 각주파수 ω 를 가지고 투과하는 단색(monochromatic)의 빛 혹은 전자기파를 고려할 때, 비균질 매질 내부에서의 빛 혹은 전

자기파의 전기장과 자기장은

$$E_y(x) = P(x)e^{iQ(x)-i\omega t}, \quad H_z(x) = R(x)e^{iQ(x)-i\omega t} \quad (1)$$

로 표현할 수 있으며, 여기서, E_y 는 전기장, H_z 는 자기장, $P(x)$ 는 전기장의 진폭, $Q(x)$ 는 전기장과 자기장의 위상, $R(x)$ 는 자기장의 진폭이다. 비균질 매질이 비흡수성(non-dissipative) 매질이면, 맥스웰 방정식을 통하여 비균질 매질 안에서 전기장과 자기장이 만족하는 2차 미분 방정식은

$$\frac{d^2 P(x)}{dx^2} - \frac{1}{\mu(x)} \frac{d\mu(x)}{dx} \frac{dP(x)}{dx} + \left(\omega^2 \mu(x) \epsilon(x) - \frac{4\omega^2 \mu^2(x) S_x^2}{P(x)^4} \right) P(x) = 0 \quad (2)$$

로 표현되며, 여기서, S_x 는 포인팅(Poynting) 벡터의 x 방향 성분의 시간 평균이다. 식(2)를 만족하는 위상 $Q(x)$ 와 자기장의 진폭 $R(x)$ 는

$$Q(x) = \int \frac{2\omega \mu(x) S_x}{P(x)^2} dx, \quad R(x) = \frac{1}{i\omega \mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)} \quad (3)$$

로 표현되며, 전기장과 자기장의 위상인 실함수 $Q(x)$ 와 자기장의 진폭인 복소 함수 $R(x)$ 는 전기장의 진폭 $P(x)$ 와 투자율의 공간 분포 함수 $\mu(x)$ 로부터 결정할 수 있다.

종래의 기술들은 비균질 매질 안에서 진행하는 빛 혹은 전자기파의 전기장과 자기장의 위상을 $n(x)k_0x$ 로 표현하며, $n(x)$ 는 비균질 물질의 굴절률, k_0 는 진공에서의 파수이다. 또한, 종래의 기술은 비균질 매질 안에서 진행하는 빛 혹은 전자기파의 전기장과 자기장의 진폭 함수간의 관계를 명확히 밝히지 못하였다.

본 발명에서는 비균질 매질 안에서 진행하는 빛 혹은 전자기파의 전기장과 자기장의 위상 $Q(x)$ 를 종래와 다르게 식(3)과 같이 표현하며, 전기장의 진폭 $P(x)$ 과 자기장의 진폭 $R(x)$ 의 관계를 명확하게 나타낸다.

전기장의 진폭 $P(x)$ 와 자기장의 진폭 $R(x)$ 의 해석적인 관계를 보이는 식 (3)으로부터 빛 혹은 전자기파의 파동 어드미턴스(wave admittance) 공간 분포 함수 $Y(x)$ 와, 파동 임피던스(wave impedance) 공간 분포 함수 $Z(x)$ 를 얻으며, 이는

$$Y(x) = Y_r(x) + iY_i(x) = \frac{1}{Z(x)} = \frac{1}{i\omega \mu(x) P(x)} \frac{dP(x)}{dx} + \frac{2S_x}{P(x)^2} \quad (4)$$

로 표현된다. 여기서, $Y_r(x)$ 는 파동 어드미턴스 공간 분포 함수의 실수부이며, $Y_i(x)$ 는 파동 어드미턴스 공간 분포 함수의 허수부이다. 종래의 기술들이 비균질 매질 안에서 진행하는 빛 혹은 전자기파의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스의 해석적인 표현을 얻지 못하였으나, 본 발명에서는 파동 어드미턴스와 파동 임피던스를 전기장의 진폭 $P(x)$ 와 투자율 $\mu(x)$ 로부터 명료하게 표현됨을 보인다.

[0054] 식(4)와 같은 관계를 이용하여, 역으로 주어진 파동 어드미턴스로부터 전기장의 진폭 $P(x)$ 와 투자율 $\mu(x)$, 유전률 $\epsilon(x)$ 을 얻을 수 있다.

$$P(x)^2 = \frac{2S_x}{Y_r(x)} \quad (5)$$

$$\mu(x) = \frac{1}{2\omega Y_r(x) Y_i(x)} \frac{dY_r(x)}{dx} \quad (6)$$

$$\epsilon(x) = \frac{-Y_i(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx} + 2Y_r(x) Y_i(x) \frac{dY_i(x)}{dx} + Y_r(x)^2 \frac{dY_r(x)}{dx}}{2\omega Y_i(x) Y_r(x)} \quad (7)$$

[0058] 종래의 기술들이 비균질 무반사막 구조를 설계함에 있어 겪은 어려움은 주어진 비균질 매질의 유전율과 투자율로부터 빛 혹은 전자기파의 파동 어드미턴스와 파동 임피던스를 구할 수 없기 때문이었다.

[0059] 본 발명에서는 주어진 파동 어드미턴스 혹은 파동 임피던스로부터 비균질 매질의 유전율과 투자율의 공간 분포 함수를 역으로 얻음으로써 완벽한 임피던스 정합 무반사막 구조를 구현할 수 있게 한다.

[0060] 비균질 매질의 투자율이 공간에 대하여 균일하고 유전율이 공간에 대하여 불균일한 경우, 유전율 분포 함수는 식 (2)로부터

$$\epsilon(x) = \frac{4\mu S_x^2}{P^4(x)} - \frac{1}{\omega^2 \mu P(x)} \frac{d^2 P(x)}{dx^2} \quad (8)$$

[0062] 로 표현되며, 비균질 매질의 투자율 μ 는 공간에 대해서 변하지 않는 상수이다.

[0063] 상기 파동 어드미턴스로부터 투자율과 유전율을 얻는 것과 같이, 전기장의 진폭 $P(x)$ 를 정함으로 무반사막 구조를 이루는 비균질 매질의 유전률 분포 함수를 얻을 수 있다.

[0064] 전기장의 진폭 $P(x)$ 는 무반사를 이루고자 하는 두 가지 광학적 혹은 전자기적 물성이 서로 다른 매질과의 경계에서, 식(4)의 파동 어드미턴스 혹은 파동 임피던스가 각 매질의 고유 어드미턴스(intrinsic impedance)와 같은 조건을 이용하여 정한다.

[0065] 한 예로, 투자율 μ_0 인 굴절율 n_1 인 매질과 굴절율 n_2 인 매질 사이의 무반사막의 두께가 d 인 경우, 완벽한 임피던스 정합을 이루는 비균질 무반사막 내를 진행하는 전기장의 진폭 $P(x)$ 는

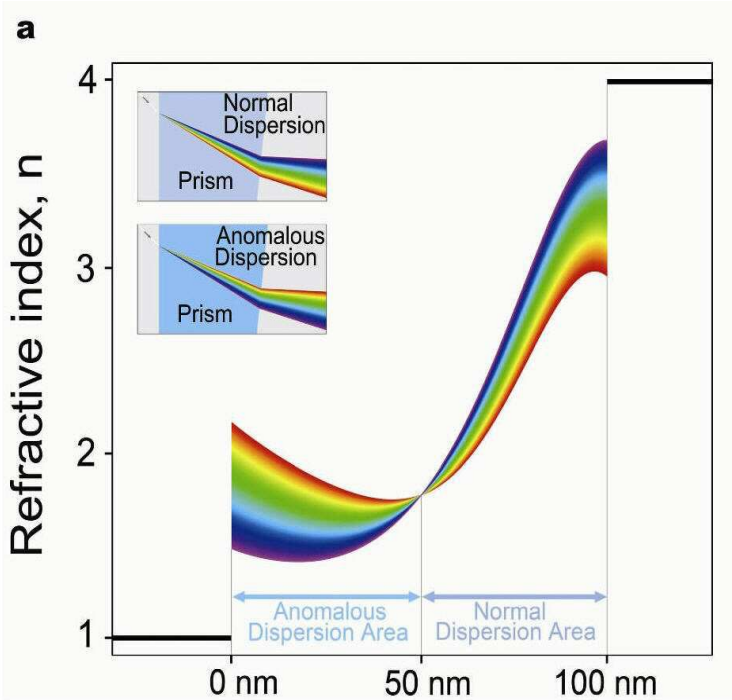
$$P(x) = \sqrt{2\mu_0 c S_x} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{n_1}} - \frac{1}{\sqrt{n_2}} \right) \left(\frac{2x^3}{d^3} - \frac{3x^2}{d^2} \right) + \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right] \quad (9)$$

[0067] 로 정할 수 있으며, 식 (8)에 식 (9)를 대입하여, 비균질 무반사막의 유전율 분포 함수를 정할 수 있다. 여기서, μ_0 는 진공에서의 투자율이며, c 는 진공에서의 빛 혹은 전자기파의 전파 속도이다.

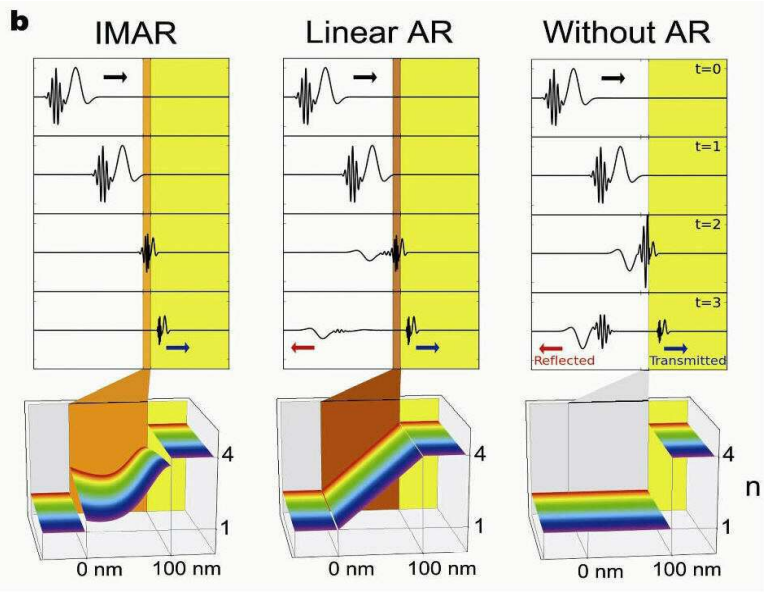
- [0068] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 비균질 무반사 구조를 이루는 굴절률 분포를 여러 파장에 대하여 도시한 그래프이다.
- [0069] 공기($n_1=1$)로부터 공기와 다른 매질 ($n_2=4$)로 입사하는 빛 혹은 전자기파의 반사를 방지하는 두께 d 의 무반사막의 굴절률은 식 (8)과 식 (9)로부터 결정되었다.
- [0070] 무반사막의 굴절률 분포 함수는 무반사막의 유전율 분포 함수 식(8)의 양의 제곱근으로 정의된다.
- [0071] 도 1의 실시예에서 사용된 무반사막의 두께 d 는 100nm이며, 파장은 700nm(적색)에서부터 400nm(자색)까지이다.
- [0072] 종래의 기술은 비분산 매질(non-dispersive material)로 이루어지며, 비분산 특성을 갖는 매질인 유전체(dielectric)로만 구성된다. 본 발명은 종래와 다르게 분산 매질(dispersive material)로 이루어진 무반사막을 가능하게 한다.
- [0073] 도 1의 실시예에서 보이는 본 발명의 비균질 무반사막은 정상 분산 매질(normal dispersive material)과 이상 분산 매질(anomalous dispersive material)로 이루어지며, 본 발명은 정상 분산 매질과 이상 분산 매질을 도 1에 도시된 것과 같이 비균질하게 분포함으로써 완벽한 무반사막이 실현 가능하게 한다.
- [0074] 도 2는 도 1의 실시예의 굴절률 분포를 이루는 무반사막을 투과하는 빛 혹은 전자기파의 펄스(pulse)의 진행 형태를 Finite Difference Time Domain(FDTD)법으로 계산하여 얻은 결과를 도시한 그래프이다.
- [0075] 종래의 기술인 선형 무반사막(Linear anti-reflection)의 경우, 무반사막이 없는 경우 대비 상당한 반사 감소를 보이나, 여전히 부분적인 반사가 존재하며, 파장의 길이가 길어질수록 반사가 심하게 일어남이 보인다.
- [0076] 대조적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 완벽 무반사막(Perfect anti-reflection)은 어떠한 반사도 보이지 않으며, 식(8)과 식(9)를 만족하는 무반사막이 모든 파장에 대하여 완벽한 임피던스 정합을 통한 무반사를 이루는 사실을 알 수 있다.
- [0077] 본 발명에서 제시하는 무반사막을 파장 700nm(적색)으로부터 400nm(자색)에 이르기까지 완벽한 임피던스 정합이 이루어지게 한다. 그러나 상기와 같은 임피던스 정합은 상기의 파장에만 국한된 것은 아니며, 식(8)과 식(9)를 만족하는 무반사막 구조는 모든 파장에 대하여 완벽한 임피던스 정합을 이룬다.
- [0078] 따라서, 무반사막의 두께가 무반사막을 투과하는 빛 혹은 전자기파의 파장보다 매우 얇아도 본 발명의 무반사막은 완벽한 임피던스 정합을 가능하게 한다.
- [0079] 도 3은 도 1의 실시예의 무반사막 구조의 유전율을 입사하는 빛 혹은 전자기파 파장 1500nm, 2000nm, 2500nm인 경우에도 도시한 그래프이다. 두께 대비 파장의 길이가 15배, 20배, 25배로 증가함에 따라 무반사막 구조의 일부 영역의 유전율이 음수의 값, 즉 음유전율(negative permittivity)을 가지면서, 음유전율의 값이 커짐을 보인다.
- [0080] 음유전율을 가지는 물질의 예로, 가시 광선 영역(Visible regime)에서, 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 알루미늄(Al) 등의 금속 물질이 있다.
- [0081] 종래의 기술들은 유전체로만 무반사막이 가능함을 보였지만, 본 발명은 금속 물질로 이루어진 무반사막이 가능하게 된다. 음유전율을 가지는 물질은 금속 물질뿐 아니라, 반도체 물질, 메타 물질(Metamaterial)도 가능하므로, 무반사막을 이루는 물질이 반드시 금속으로 제한될 필요는 없다.
- [0082] 도 1의 실시예는 유전체(공기, $n_1=1$)에서 다른 광학적, 전자기적 특성이 다른 유전체($n_2=2$)로 빛 혹은 전자기파가 입사하는 경우에 대해서만 다루었으나, 본 발명의 무반사막은 서로 다른 유전체들 사이의 반사를 제거하는 경우를 포함할 뿐만 아니라, 반도체, 자성체, 금속 물질 등 두 광학적 전자기적 특성이 서로 다른 매질 사이에서도 완벽한 임피던스 정합을 가능하게 하며, 임피던스 정합으로 반사를 완벽하게 제거할 수 있다.
- [0083] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3

