



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년07월13일
(11) 등록번호 10-1048308
(24) 등록일자 2011년07월05일

(51) Int. Cl.

G02B 1/11 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0006968

(22) 출원일자 2010년01월26일

심사청구일자 2010년01월26일

(56) 선행기술조사문헌

JP1998227902 A

JP2007171735 A

KR1020060135443 A

전체 청구항 수 : 총 4 항

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

박규환

서울특별시 강남구 삼성동 중앙하이츠빌리지
102-804

(74) 대리인

송경근, 박보경

심사관 : 정성용

(54) 광대역 반사 방지막

(57) 요약

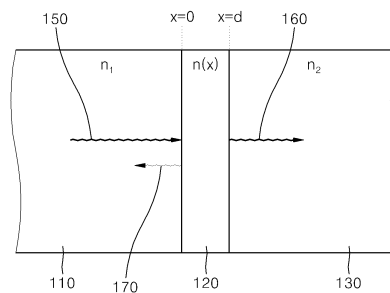
본 발명은 두 개의 매질 사이에 배치되어 하나의 매질에서 다른 매질로 빛이 진행할 때, 넓은 파장 영역대의 빛이 투과되는 비율을 증가시킬 수 있는 반사 방지막(anti-reflection layer)에 관한 것이다. 본 발명에 따른 반사 방지막은 굴절률이 n_1 인 제1 매질과 굴절률이 $n_2(n_1 \neq n_2)$ 인 제2 매질 사이에 배치되어, 제1 매질에서 상기 제2 매질로 빛이 진행할 때, 제1 매질에서 상기 제2 매질 방향으로 x 만큼 떨어진 지점에서의 굴절률($n(x)$)이 수학식 1로 설정된다.

[수학식 1]

$$n(x) = \frac{1}{(ax + b)^2}$$

이때, 수학식 1의 a 및 b 는 제1 매질의 굴절률(n_1), 제2 매질의 굴절률(n_2) 및 반사 방지막의 두께 중 적어도 하나의 함수이다.

대표도 - 도3



$$n(x) = \frac{1}{(ax+b)^2}$$

$$a = \frac{1}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{n_2}} - \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right), \quad b = \frac{1}{\sqrt{n_1}}$$

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090092831

부처명 한국과학재단

연구관리전문기관

연구사업명 중견연구자지원_도약연구

연구과제명 메타 안테나 기술

기여율

주관기관 고려대학교산학협력단

연구기간 2009년 09월 01일 ~ 2010년 08월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

굴절률이 n_1 인 제1 매질과 굴절률이 $n_2(n_1 \neq n_2)$ 인 제2 매질 사이에 배치되어, 상기 제1 매질에서 상기 제2 매질로 빛이 진행할 때, 빛이 투과되는 비율을 증가시키기 위한 반사 방지막(anti-reflection layer)으로, 상기 제1 매질에서 상기 제2 매질 방향으로 x 만큼 떨어진 지점에서의 굴절률($n(x)$)이 하기 수학적 식 1로 설정되는 것을 특징으로 하는 반사 방지막.

[수학적 식 1]

$$n(x) = \frac{1}{(ax + b)^2}$$

[상기 수학적 식 1의 a 및 b 는 상기 제1 매질의 굴절률(n_1), 상기 제2 매질의 굴절률(n_2) 및 상기 반사 방지막의 두께 중 적어도 하나의 함수이다.]

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 a 는 하기 수학적 식 2로 설정되고, 상기 b 는 하기 수학적 식 3으로 설정되는 것을 특징으로 하는 반사 방지막.

[수학적 식 2]

$$a = \frac{1}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{n_2}} - \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right)$$

[수학적 식 3]

$$b = \frac{1}{\sqrt{n_1}}$$

[상기 수학적 식 2의 d 는 상기 반사 방지막의 두께이다.]

청구항 3

제1항 또는 제2항에 기재된 반사 방지막을 구비한 반도체 소자.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 기재된 반사 방지막을 구비한 광학 소자.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 두 개의 매질 사이에 배치되어 하나의 매질에서 다른 매질로 빛이 진행할 때, 빛이 투과되는 비율을 증가시키기 위한 반사 방지막으로, 보다 상세하게는, 넓은 파장 영역대의 빛이 투과되는 비율을 증가시킬 수 있는 반사 방지막이다.

배경기술

[0002] 도 1은 서로 다른 굴절률을 갖는 두 개의 매질에서 빛이 진행되는 경우를 나타내는 도면이다.

[0003] 도 1에 도시된 바와 같이, n_1 굴절률을 갖는 제1 매질(10)에서 $n_2(n_1 \neq n_2)$ 굴절률을 갖는 제2 매질(30)로 빛이 진행되는 경우, 제1 매질(10)에서 제2 매질(30)을 향해 진행되는 빛(50)은 제1 매질(10)과 제2 매질(30)의 경계

면에서 나뉘게 된다. 진행하는 빛(50)의 일부는 투과되어 제2 매질(30)을 통해 진행하는 투과광(60)이 되고, 일부는 반사되어 다시 제1 매질(10)을 통해 진행하는 반사광(65)이 된다. 이때, 초기 진행하는 빛(50)의 광량에 대해 투과광의 광량의 비를 투과율이라 하고, 초기 진행하는 빛의 광량에 대해 반사광의 광량을 반사율이라 한다. 투과율과 반사율은 두 매질(10, 30)의 굴절률 차이 등에 따라 결정된다.

[0004] 수많은 반도체 소자나 광학 소자에서는 반사율을 최소화하고 투과율을 증가시킬 필요가 있다. 특히, 태양전지와 같은 반도체 소자에서는 많은 양의 외부의 태양광을 태양전지 내부로 투과시켜야 한다. 따라서 태양전지에서는 투과율을 높일 필요가 있다. 이를 위해, 굴절률이 서로 다른 두 개의 매질 사이에 반사 방지막(anti-reflection layer)을 배치하여, 투과율을 높이기 위한 여러 시도들이 이루어지고 있다. 이를 도 2에 나타내었다.

[0005] 도 2는 종래의 반사 방지막의 일 예를 나타낸 도면이다.

[0006] 도 2에 도시된 바와 같이, n_1 굴절률을 갖는 제1 매질(10)과 $n_2(n_1 < n_2)$ 굴절률을 갖는 제2 매질(30) 사이에 $n(n_1 < n < n_2)$ 굴절률을 갖는 반사 방지막(20)을 배치하면, 투과율이 높아진다. 즉, 제1 매질(10)을 통해 제2 매질(30)에 입사광(70)이 입사되었을 때, 투과광(80)의 비율이 반사광(85)의 비율에 비해 증가하게 된다. 태양전지와 같이 외부(air, $n_1=1$)에서 태양전지(n_2) 내부로 태양광이 입사되는 경우, 반사 방지막의 굴절률(n)이 $\sqrt{n_2}$ 로 설정되면, 투과율이 현저히 증가하게 된다. 그러나 이 경우, 반사 방지막의 두께(d)의 4배에 해당하는 파장($\lambda=4d$)의 태양광의 투과율은 거의 1에 가까우나 이 파장($\lambda=4d$)에서 멀어질수록 투과율이 감소하는 문제점이 있다.

[0007] 결과적으로, 도 2에 도시된 반사 방지막(20)을 이용하면, 특정 파장 영역대의 투과율은 증가시킬 수 있으나, 넓은 파장 영역대의 투과율은 증가시킬 수 없는 문제점이 있다. 따라서 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사되는 반사 방지막에 대한 필요성이 증대되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사되는 반사 방지막 및 이 반사 방지막을 구비한 반도체 소자와 광학 소자를 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한, 본 발명에 따른 반사 방지막은 굴절률이 n_1 인 제1 매질과 굴절률이 $n_2(n_1 \neq n_2)$ 인 제2 매질 사이에 배치되어, 상기 제1 매질에서 상기 제2 매질로 빛이 진행할 때, 빛이 투과되는 비율을 증가시키기 위한 반사 방지막(anti-reflection layer)으로, 상기 제1 매질에서 상기 제2 매질 방향으로 x 만큼 떨어진 지점에서의 굴절률($n(x)$)이 하기 수학식 1로 설정된다.

[0010] [수학식 1]

$$n(x) = \frac{1}{(ax + b)^2}$$

[0011]

[0012] 상기 수학식 1의 a 및 b 는 상기 제1 매질의 굴절률(n_1), 상기 제2 매질의 굴절률(n_2) 및 상기 반사 방지막의 두께 중 적어도 하나의 함수이다.

[0013] 이때, 상기 a 는 하기 수학식 2로 설정되고, 상기 b 는 하기 수학식 3으로 설정될 수 있다.

[0014] [수학식 2]

$$a = \frac{1}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{n_2}} - \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right)$$

[0015]

[0016] [수학식 3]

$$b = \frac{1}{\sqrt{n_1}}$$

[0017]

[0018] 상기 수학식 2의 d는 상기 반사 방지막의 두께이다.

[0019] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 반도체 소자와 광학 소자는 상기의 반사 방지막을 구비한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 반사 방지막은 수학식 1에 나타난 바와 같은 굴절률을 가짐으로써, 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사하게 된다. 그리고 수학식 1의 결과는 맥스웰 방정식으로부터 도출된 결과이기 때문에, 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사하는 유일하면서도 최종적인 결과물이라고 할 수 있다.

[0021] 본 발명에 따른 반사 방지막을 이용하여 투과율을 도출한 결과, 대부분의 파장 영역대에서 99% 이상의 투과율을 보임을 알 수 있다. 따라서 반도체 소자와 광학 소자가 본 발명에 따른 반사 방지막을 구비하게 되면, 넓은 파장 영역대의 빛을 반사시키지 않고 내부로 투과시킬 수 있다. 특히, 태양전지는 모든 파장 영역대의 태양광을 태양전지 내부로 투과시켜 전력 생산에 모든 파장 영역대의 태양광을 이용할 있으므로, 효율이 증가하게 된다. 그리고 발광 다이오드와 같은 발광 소자는 내부에서 생성된 빛을 외부로 방출시키기 용이하게 된다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 서로 다른 굴절률을 갖는 두 개의 매질에서 빛이 진행되는 경우를 나타내는 도면이다.

도 2는 종래의 반사 방지막의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 반사 방지막의 바람직한 일 실시예를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 비교예로, 반사 방지막의 유전율이 선형적인 경우를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예로, 반사 방지막의 유전율이 본 발명에 따른 굴절률의 제곱 형태인 경우를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 6은 도 4의 반사 방지막이 이용된 경우의 투과율을 나타낸 도면이다.

도 7은 도 5의 반사 방지막이 이용된 경우의 투과율을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 광대역 반사 방지막의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0024] 도 3은 본 발명에 따른 반사 방지막의 바람직한 일 실시예를 나타낸 도면이다.

[0025] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 반사 방지막(120)은 굴절률이 n_1 인 제1 매질(110)과 굴절률이 $n_2(n_1 \neq n_2)$ 인 제2 매질(130) 사이에 배치된다. 그리고 반사 방지막(120)의 굴절률은 $n(x)$ 으로 나타낼 수 있다. 반사 방지막(120)의 두께를 d라고 하면, 도 3에 도시된 바와 같이, 제1 매질(110)과 반사 방지막(120) 사이의 경계면을 $x=0$ 으로, 제2 매질(130)과 반사 방지막(120) 사이의 경계면을 $x=d$ 로 정의할 수 있다. 이때, 반사 방지막(120)의 굴절률 $n(x)$ 은 수학식 1로 설정된다.

[0026] [수학식 1]

$$n(x) = \frac{1}{(ax + b)^2}$$

[0027]

[0028] 수학식 1의 a 및 b는 제1 매질(110)의 굴절률(n_1), 제2 매질(120)의 굴절률(n_2) 및 반사 방지막의 두께(d) 중

적어도 하나의 함수이다. 즉, 제1 매질(110)에서 제2 매질(130) 방향으로 x만큼 떨어진 지점에서의 반사 방지막(120)의 굴절률이 수학식 1의 $n(x)$ 가 된다.

[0029] 이때, a 는 수학식 2로 설정되고, b 는 수학식 3으로 설정될 수 있다.

[0030] [수학식 2]

$$a = \frac{1}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{n_2}} - \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right)$$

[0032] [수학식 3]

$$b = \frac{1}{\sqrt{n_1}}$$

[0034] 반사 방지막(120)의 굴절률이 수학식 1의 $n(x)$ 로 설정되면, 제1 매질(110)을 통해 제2 매질(130)에 입사광(150)이 입사되었을 때, 대부분의 입사광(150)이 투과되고, 반사되는 광은 거의 없게 된다. 즉, 투과광(160)이 대부분이고, 반사광(170)은 거의 없게 되므로, 투과율은 거의 1에 가깝게 되고, 반사율은 거의 0에 가깝게 된다. 그리고 이와 같이 반사 방지막(120)의 굴절률이 상술한 $n(x)$ 로 설정되면, 넓은 파장 영역대에서 투과율이 거의 1에 가깝게 된다. 즉, 본 발명에 따른 반사 방지막(120)은 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사되는 반사 방지막에 해당한다.

[0035] 굴절률이 서로 다른 매질(110, 130)을 통과하는 파의 전달 방정식은 맥스웰 방정식(Maxwell equation)에 의해 주어진다. 1-D 맥스웰 방정식은 수학식 4와 수학식 5로 나타낼 수 있다.

[0036] [수학식 4]

$$\frac{\partial}{\partial x} E_y = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} H_z$$

[0038] [수학식 5]

$$\frac{\partial}{\partial x} H_z = -\epsilon_0 \epsilon(x) \frac{\partial}{\partial t} E_y$$

[0040] 수학식 4와 수학식 5에서 E_y 와 H_z 는 각각 전기장과 자기장을 나타내며, ϵ_0 와 μ_0 는 각각 진공에서의 유전율과 투자율을 나타낸다. 그리고 $\epsilon(x)$ 는 반사 방지막의 유전율을 나타낸 것으로, 유전율($\epsilon(x)$)은 수학식 6과 같이 굴절률($n(x)$)의 제곱으로 나타낼 수 있다. 반사 방지막의 유전율과 굴절률은 위치에 따라 값이 변화하는 x 의 함수로 주어진다.

[0041] [수학식 6]

$$\epsilon(x) = n(x)^2$$

[0043] 수학식 4와 수학식 5의 맥스웰 방정식을 풀기 위해, 전기장 E_y 는 수학식 7과 같이 가정한다.

[0044] [수학식 7]

$$E_y = f(x) e^{ig(x)-i\omega t}$$

[0046] 수학식 7에서 ω 는 각진동수를 나타낸다.

[0047] 그리고 수학식 7의 E_y 를 수학식 4에 대입하면, 수학식 8을 얻을 수 있다.

[0048] [수학식 8]

$$\frac{\partial}{\partial t} H_z = -\frac{1}{\mu_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} f(x) + if(x) \frac{\partial}{\partial x} g(x) \right] e^{ig(x)-i\omega t}$$

[0050] 그리고 수학식 8을 자기장인 H_z 에 대해 풀면, 수학식 9를 얻을 수 있다.

[0051] [수학식 9]

$$H_z = \frac{1}{i\omega\mu_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} f(x) + if(x) \frac{\partial}{\partial x} g(x) \right] e^{ig(x)-i\omega t}$$

[0053] 그리고 수학식 7의 E_y 와 수학식 9의 H_z 를 수학식 5에 대입하고 반사 방지막(120)의 유전율인 $\varepsilon(x)$ 에 대해 풀면, 수학식 10과 수학식 11과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

[0054] [수학식 10]

$$\varepsilon(x) = -\frac{1}{\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0} \left[\frac{1}{f(x)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x) - \left(\frac{\partial}{\partial x} g(x) \right)^2 \right]$$

[0056] [수학식 11]

$$0 = \left(2 \frac{\partial}{\partial x} f(x) \frac{\partial}{\partial x} g(x) + f(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2} g(x) \right) i$$

[0058] 그리고 수학식 11을 풀면, 수학식 12를 얻을 수 있다.

[0059] [수학식 12]

$$f(x) = \frac{1}{\beta \sqrt{\frac{\partial}{\partial x} g(x)}}$$

[0061] 수학식 12에서 β 는 상수이다.

[0062] 그리고 반사 방지막(120)이 모든 파장 영역대에서 완전 반사되려면, 즉 모든 파장 영역대에서 반사가 일어나지 않고 투과하려면, 수학식 10에서 반사 방지막(120)의 유전율인 $\varepsilon(x)$ 가 각진동수(ω)와 무관하여야 한다. 이를 위해서는 수학식 13과 같은 관계식을 만족하여야 한다.

[0063] [수학식 13]

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x) = 0$$

[0065] 따라서 수학식 13을 풀면, $f(x)$ 는 수학식 14로 나타내어진다.

[0066] [수학식 15]

$$f(x) = ax+b$$

[0068] 수학식 15에서 a 와 b 는 상수이다.

[0069] 그리고 수학식 15를 수학식 12에 대입하면, 수학식 16과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

[0070] [수학식 16]

$$\frac{\partial}{\partial x} g(x) = \frac{1}{\beta^2 (ax+b)^2}$$

[0072] 그리고 수학식 13과 수학식 16을 수학식 10에 대입하면, 반사 방지막(120)의 유전율인 $\varepsilon(x)$ 는 수학식 17으로 나타내어진다.

[0073] [수학식 17]

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 \beta^4} \frac{1}{(ax+b)^4}$$

[0074]

[0075] 이때, 상수 β 를 $\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 \beta^4 = 1$ 이 되도록 취하면, 반사 방지막(120)의 유전율인 $\varepsilon(x)$ 는 수학식 18로 나타내어진다.

[0076] [수학식 18]

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{(ax+b)^4}$$

[0077]

[0078] 그리고 수학식 18을 수학식 6에 대입하고, 반사 방지막(120)의 굴절률인 $n(x)$ 에 대해 풀면, $n(x)$ 는 수학식 19와 같이 나타내어진다.

[0079] [수학식 19]

$$n(x) = \frac{1}{(ax+b)^2}$$

[0080]

[0081] 따라서, 수학식 18과 수학식 19에 나타낸 바와 같이, 반사 방지막(120)의 유전율인 $\varepsilon(x)$ 와 굴절률인 $n(x)$ 는 각 진동수(ω)와 무관하게 된다.

[0082] 그리고 반사 방지막(120)의 굴절률이 제1 매질(110)과 제2 매질(120) 각각의 경계면에서 연속적으로 변화하도록 설정하면, 수학식 20과 수학식 21과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

[0083] [수학식 20]

$$n(0) = n_1 = \frac{1}{b^2}$$

[0084]

[0085] [수학식 21]

$$n(d) = n_2 = \frac{1}{(ad+b)^2}$$

[0086]

[0087] 수학식 20과 수학식 21을 a 와 b 에 대해 풀면, 수학식 2와 수학식 3에 나타낸 바와 같이 a 와 b 를 얻을 수 있다.

[0088] 넓은 영역대의 파장을 무반사시키기 위해, 종래에는 굴절률이 점진적으로 변화(graded refractive index, GRIN)하는 반사 방지막을 이용하였다. 그러나 단순히 굴절률이 점진적으로 변화하는 반사 방지막을 이용하는 경우 굴절률이 변화하지 않는 반사 방지막에 비해 우수한 효과가 있으나, 넓은 파장 영역대에서 완전하게 무반사되지 않는다. 이에, 반사 방지막 내의 굴절률 프로파일(profile)을 트라이얼-에러(trial-err) 방식, 즉 수많은 반복적인 실험을 통해, 조금 더 넓은 파장 영역대에서 투과율을 높이는 방식으로 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이러한 방식으로 반사 방지막 내의 굴절률 프로파일을 도출하는 것은 엄청나게 많은 시간과 비용이 소모되고, 또, 이러한 방식으로 반사 방지막 내의 굴절률 프로파일을 도출한다고 하더라도 이는 반복적인 실험을 통한 것이 아니므로, 그것이 완전한 해결방법은 되지 못한다.

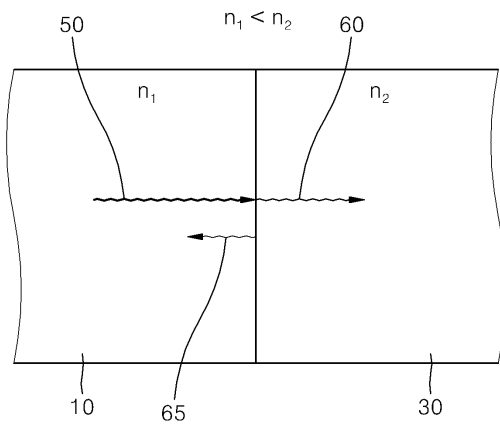
[0089] 이에 반해, 본 발명에 따른 반사 방지막(120)은 맥스웰 방정식으로부터 도출된 굴절률 프로파일을 가지므로, 수많은 반복적인 실험을 수행하지 않아도 된다. 또한, 상기의 수학식 1 내지 3의 굴절률 프로파일은 이보다 더 성능이 우수한 굴절률 프로파일은 존재할 수 없는 유일하면서도 최종적인 반사 방지막의 굴절률 프로파일이라고 할 수 있다.

[0090] 따라서 반도체 소자와 광학 소자가 본 발명에 따른 반사 방지막을 구비하게 되면, 넓은 파장 영역대의 빛을 반사시키지 않고 내부로 투과시킬 수 있다. 특히, 태양전지는 모든 파장 영역대의 태양광을 태양전지 내부로 투과시켜 전력 생산에 모든 파장 영역대의 태양광을 이용할 있으므로, 효율이 증가하게 된다. 그리고 발광 다이오드와 같은 발광 소자는 내부에서 생성된 빛을 외부로 방출시키기 용이하게 된다.

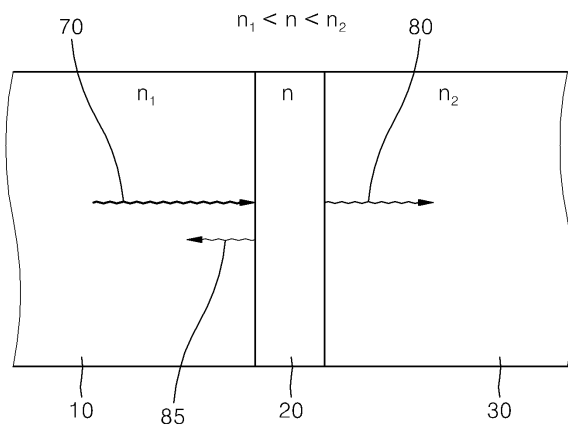
- [0091] 이하에서, 본 발명에 따른 반사 방지막의 효과에 대해 살펴본다. 그리고 비교예로서, 반사 방지막의 유전율이 선형적인 경우에 대해서도 같이 살펴본다.
- [0092] 도 4는 본 발명의 비교예로, 반사 방지막의 유전율이 선형적인 경우를 개략적으로 나타낸 도면이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예로, 반사 방지막의 유전율이 본 발명에 따른 굴절률의 제곱 형태인 경우를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0093] 비교예의 반사 방지막은 도 4에 도시된 바와 같이, 굴절률이 n_1 인 제1 매질과 굴절률이 n_2 인 제2 매질 사이에 배치되며, 이 반사 방지막의 유전율($\epsilon(x)$)은 선형적으로 변화한다. 비교예의 반사 방지막의 유전율($\epsilon(x)$)은 수학식 22로 나타내어진다.
- [0094] [수학식 22]
- [0095]
$$\epsilon(x) = n(x)^2 = \left(\frac{n_2^2 - n_1^2}{d} \right) x + n_1^2$$
- [0096] 본 발명의 실시예의 반사 방지막은 도 5에 도시된 바와 같이, 굴절률이 n_1 인 제1 매질과 굴절률이 n_2 인 제2 매질 사이에 배치되며, 이 반사 방지막의 유전율($\epsilon(x)$)은 상기 수학식 18로 나타내어진다. 이때, a 와 b 는 각각 수학식 2와 수학식 3에 나타낸 바와 같다.
- [0097] 이와 같은 비교예와 실시예의 파장에 따른 투과율을 각각 도 6과 도 7에 나타내었다.
- [0098] 도 6은 도 4의 반사 방지막이 이용된 경우의 투과율을 나타낸 도면이고, 도 7은 도 5의 반사 방지막이 이용된 경우의 투과율을 나타낸 도면이다. 이때, n_1^2 은 1로 설정하고, n_2^2 은 10으로 설정하였다. 도 6 및 도 7의 y 축은 투과율을 나타내며, x 축은 d (반사 방지막의 두께)/ λ (제1 매질에 입사되는 파장)을 나타낸다.
- [0099] 도 4의 비교예의 반사 방지막도 굴절률이 점진적으로 변화하는(graded refractive index, GRIN) 반사 방지막이므로, 도 6에 도시된 바와 같이, 투과율이 상당히 1에 근접해 있다. 특히 파장이 작은 경우에는 투과율이 거의 1에 가깝다. 그러나 파장이 큰 경우에는 투과율이 95%에 미치지 못한다는 것을 알 수 있다. 그리고 중간 영역의 파장을 갖는 경우에도 99%에 미치지 못하는 투과율을 갖는다는 것을 알 수 있다.
- [0100] 이에 반해, 도 5의 실시예의 반사 방지막의 경우는 도 7에 도시된 바와 같이, 거의 모든 파장 영역대에서 투과율이 거의 1에 근접해 있음을 알 수 있다. 파장이 아주 큰 경우에만, 투과율이 약간의 변동이 있을 뿐, 대부분의 파장 영역대에서는 99% 이상의 투과율을 갖게 됨을 알 수 있다. 특히, 반사 방지막의 두께보다 짧은 파장 영역대(도 7의 x 축의 값이 1보다 큰 경우)의 경우에는 완전 무반사된다고 할 수 있다. 따라서 반사 방지막의 두께를 수백 나노미터에서 수천 나노미터 정도로 설정하면, 적외선, 가시광선 및 자외선 모두를 완전하게 무반사하게 된다. 물론 이러한 반사 방지막의 두께는 제1 매질에 입사되는 파장 영역대에 따라 반사 방지막의 두께를 적절히 조절되어질 수 있다.
- [0101] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면

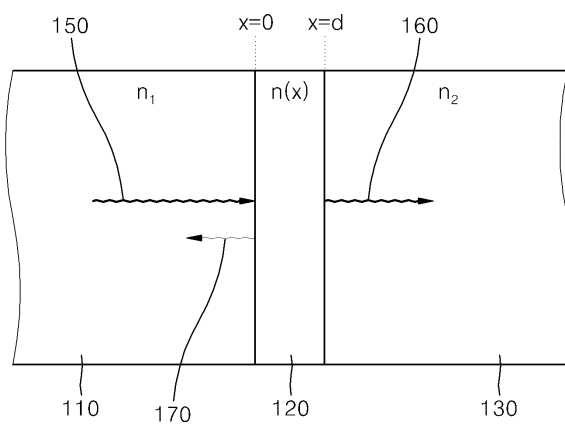
도면1



도면2



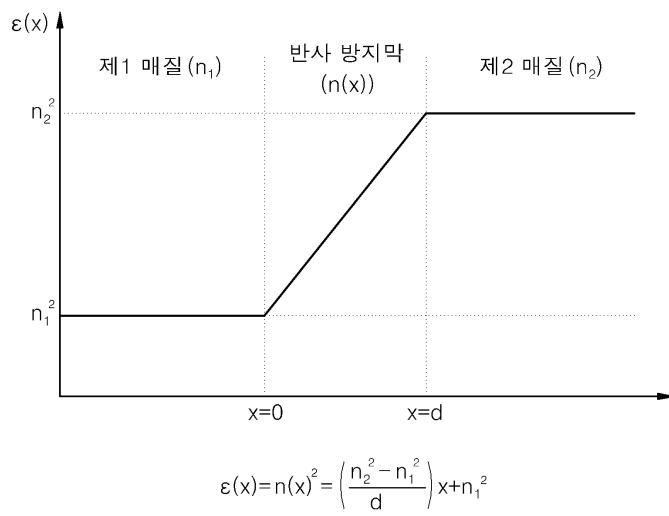
도면3



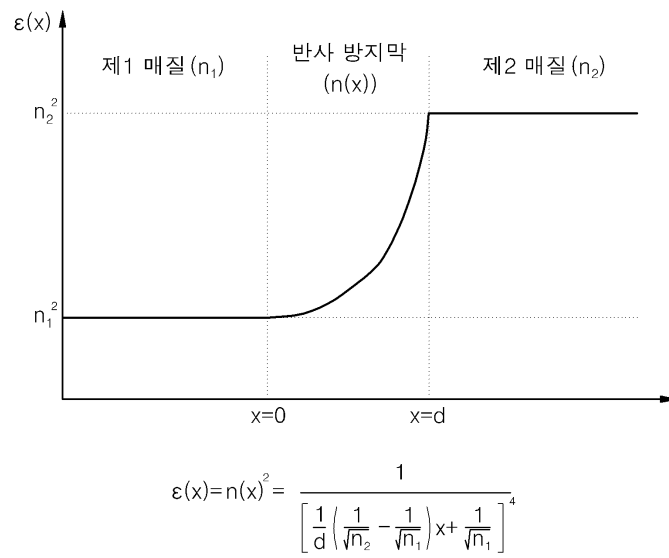
$$n(x) = \frac{1}{(ax+b)^2}$$

$$a = \frac{1}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{n_2}} - \frac{1}{\sqrt{n_1}} \right), \quad b = \frac{1}{\sqrt{n_1}}$$

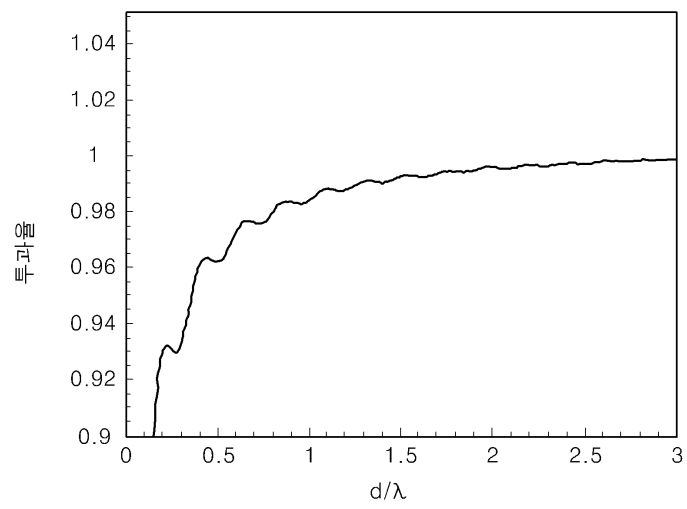
도면4



도면5



도면6



도면7

