(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0096676
(43) 공개일자 2022년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G10K 11/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G10K 11/20 (2013.01)
G10K 2210/3214 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0189329
(22) 출원일자 2020년12월31일
심사청구일자 2020년12월31일

(71) 출원인
한국표준과학연구원
대전 유성구 가정로 267(가정동, 한국표준과학연구원)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
최원재
서울특별시 강동구 고덕로27길 36(암사동, 강동현대홈타운), 105동 2001호
오주환
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 플러스

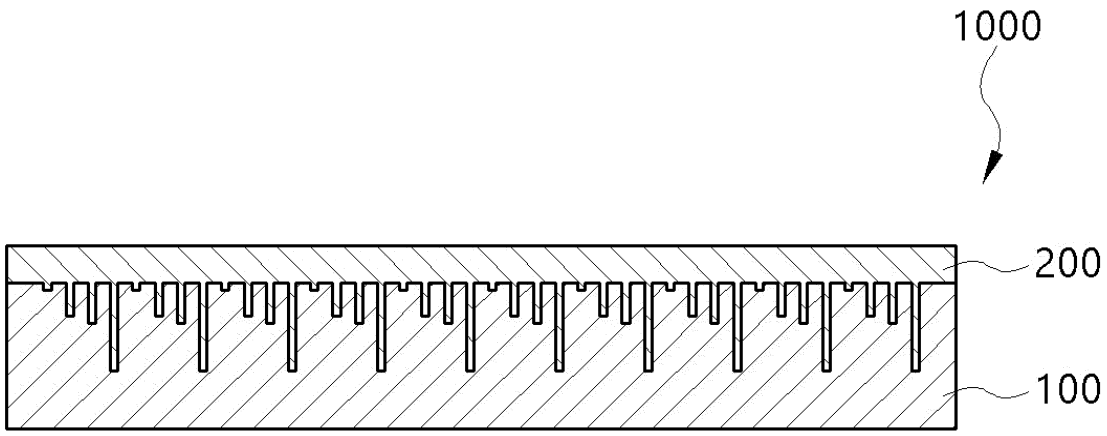
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면**

(57) 요 약

본 발명에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면은, 반사층 및 상기 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면에 있어서, 상기 반사층은 일 방향으로 배열되는 동일한 단위 셀을 복수 개 포함하고, 상기 복수의 단위 셀 각각은 일면에 상기 일 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 n(n은 4 이상인 자연수)개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성되고, 상기 소산층은 상기 일 방향으로 반복 배열되는 상기 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 연속적으로 형성된 일면과 음향파의 상기 메타표면으로의 입사면이 되는 이면을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G10K 2210/3223 (2013.01)
G10K 2210/3224 (2013.01)
(72) 발명자
승홍민
대전광역시 유성구 지족로190번길 36(지족동, 트리풀시티 포레), 104동 1404호

하종문
대전광역시 유성구 지족로 317(지족동, 반석마을아파트1단지), 110동 1504호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711119198
과제번호	2020M3F6A1081013
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래국방혁신기술개발사업
연구과제명	수중음향 회피를 위한 무반향 메타코팅 기술개발
기 여 율	80/100
과제수행기관명	한국표준과학연구원
연구기간	2020.05.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	220083401
과제번호	2020M3F6A1081805
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래국방혁신기술개발사업
연구과제명	수중메타표면 단위구조 해석 및 설계기술 개발
기 여 율	20/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.05.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

반사층 및 상기 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면에 있어서,

상기 반사층은 일 방향으로 배열되는 동일한 단위 셀을 복수 개 포함하고,

상기 복수의 단위 셀 각각은 일면에 상기 일 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 n(n은 4 이상인 자연수)개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성되고,

상기 소산층은 상기 일 방향으로 반복 배열되는 상기 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 연속적으로 형성된 일면과 음향파의 상기 메타표면으로의 입사면이 되는 이면을 포함하는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이는,

상기 소산층을 통과하고 상기 n개의 오목부의 바닥면에서 반사되는 음향파가 등간격의 위상 구배를 갖게 하고,

상기 단위 셀의 일면의 법선으로 입사하는 음향파가 상기 법선에 대해 일정한 각도를 가지고 반사되게 하는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 메타표면은 유체 매질에서 운행되는 이동 수단의 표면과 결합하고,

상기 단위 셀의 이면으로 형성되는 상기 반사층의 일면이 상기 이동 수단의 표면과 결합되는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 소산층은 상기 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공되는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 유체 매질이 물인 경우, 상기 하나의 재료는 PDMS인, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 반사층은, 상기 유체 매질의 음향 임피던스와 차이가 나는 재료 또는 상기 이동 수단의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공되는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면.

청구항 7

반사층 및 상기 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면의 설계 방법에 있어서,

상기 반사층의 일 단위이며, 서로 다른 깊이를 갖는 n(n은 4 이상인 자연수)개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성되는 단위 셀을 설계하는 단계;

상기 단위 셀이 일 방향으로 반복 배열되도록 상기 반사층을 가공하는 단계; 및

상기 일 방향으로 반복 배열되는 상기 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 일면에 연속적으로 형성된 상기 소산층을 가공하는 단계;를 포함하는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 단위 셀을 설계하는 단계는,

상기 메타표면에 입사되는 음향파의 파장 및 상기 메타표면의 법선으로 입사하는 상기 음향파가 상기 n개의 오목부의 바닥에서 반사되어 진행하는 반사각을 이용하여 상기 단위셀의 배열 주기를 선정하는 단계,

상기 n개의 오목부의 상기 폭 및 상기 이격 간격을 선정하는 단계, 및

상기 소산층을 통과하고 상기 n개의 오목부의 바닥면에서 반사되는 상기 음향파가 등간격의 위상 구배를 갖도록 상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이를 도출하는 단계를 포함하는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이를 도출하는 단계는,

상기 오목부의 깊이에 따른 상기 음향파의 위상 차를 계산하는 단계를 포함하는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법.

청구항 10

청구항 7에 있어서,

상기 소산층을 가공하는 단계는,

상기 소산층을 이루는 재료를 선정하는 단계를 포함하고,

상기 소산층을 이루는 재료는 상기 음향파가 상기 메타표면으로 입사되기 전에 진행하는 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 선정되는, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 유체 매질이 물인 경우, 상기 하나의 재료는 PDMS인, 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면에 관한 것으로 보다 상세하게는 반사각이 조절되도록 설계된 메타표면과 에너지 소산층을 융합한 새로운 개념의 메타표면에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 메타물질은 주기적인 인공구조물을 이용하여 영(0) 굴절률 및 음의 굴절률과 같은 자연 물질이 가지기 어려운 파동 특성을 구현하는 것이다. 과거에는 전자기 분야에서 활발했던 메타물질의 연구가 최근 음향 분야로 빠르게 이동하면서 음향파(acoustic wave)의 파동 특성을 이용한 음향 메타 물질에 대한 연구가 활발해지고 있다. 예를 들어 소리를 파장보다 작은 영역에 극소적으로 집중시키거나, 진행경로를 자유자재로 바꾸거나, 음파 및 초음파 이미징 화질을 개선하는데 음향 메타 물질이 이용될 수 있다. 이를 위해서는 파장보다 작은 구조체를 주기적인 배열을 통해 탄성률, 밀도, 굴절률을 자유자재로 조절하는 인공 구조체 설계 기술이 필수적이다.

[0003] 최근에는 2차원 박막 위에 물리적인 원리를 통해 설계된 단위 구조들을 배열하여 만들어지는 메타표면(meta surface) 구조들에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 음향파의 탐지 신호에 대항하는 은폐 기술, 즉 스텔스(stealth) 기능을 갖는 메타표면의 개발이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 음향파를 입사각도와 다른 각도로 반사하며 동시에 입사된 음향파의 에너지를 소산시켜 반사되는 음향에너지의 양을 줄이는 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면은, 반사층 및 상기 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면에 있어서, 상기 반사층은 일 방향으로 배열되는 동일한 단위 셀을 복수 개 포함하고, 상기 복수의 단위 셀 각각은 일면에 상기 일 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 n(n은 4 이상인 자연수)개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성되고, 상기 소산층은 상기 일 방향으로 반복 배열되는 상기 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 연속적으로 형성된 일면과 음향파의 상기 메타표면으로의 입사면이 되는 이면을 포함한다.

[0006] 또한, 상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이는, 상기 소산층을 통과하고 상기 n개의 오목부의 바닥면에서 반사되는 음향파가 등간격의 위상 구배를 갖게 하고, 상기 단위 셀의 일면의 법선으로 입사하는 음향파가 상기 법선에 대해 일정한 각도를 가지고 반사되게 한다.

[0007] 또한, 상기 메타표면은 유체 매질에서 운행되는 이동 수단의 표면과 결합하고, 상기 단위 셀의 이면으로 형성되는 상기 반사층의 일면이 상기 이동 수단의 표면과 결합된다.

[0008] 또한, 상기 소산층은 상기 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공된다.

[0009] 또한, 상기 유체 매질이 물인 경우, 상기 하나의 재료는 PDMS이다.

[0010] 또한, 상기 반사층은, 상기 유체 매질의 음향 임피던스와 차이가 나는 재료 또는 상기 이동 수단의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공된다.

[0011] 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법은, 반사층 및 상기 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면의 설계 방법에 있어서, 상기 반사층의 일 단위이며, 서로 다른 깊이를 갖는 n(n은 4 이상인 자연수)개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성되는 단위 셀을 설계하는 단계; 상기 단위 셀이 일 방향으로 반복 배열되도록 상기 반사층을 가공하는 단계; 및 상기 일 방향으로 반복 배열되는 상기 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 일면에 연속적으로 형성된 상기 소산층을 가공하

는 단계;를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 단위 셀을 설계하는 단계는, 상기 메타표면에 입사되는 음향파의 파장 및 상기 메타표면의 법선으로 입사하는 상기 음향파가 상기 n개의 오목부의 바닥에서 반사되어 진행하는 반사각을 이용하여 상기 단위 셀의 배열 주기를 선정하는 단계, 상기 n개의 오목부의 상기 폭 및 상기 이격 간격을 선정하는 단계, 및 상기 소산층을 통과하고 상기 n개의 오목부의 바닥면에서 반사되는 상기 음향파가 등간격의 위상 구배를 갖도록 상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이를 도출하는 단계를 포함한다.

[0013] 또한, 상기 n개의 오목부의 서로 다른 깊이를 도출하는 단계는, 상기 오목부의 깊이에 따른 상기 음향파의 위상 차를 계산하는 단계를 포함한다.

[0014] 또한, 상기 소산층을 가공하는 단계는, 상기 소산층을 이루는 재료를 선정하는 단계를 포함하고, 상기 소산층을 이루는 재료는 상기 음향파가 상기 메타표면으로 입사되기 전에 진행하는 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 선정된다.

[0015] 또한, 상기 유체 매질이 물인 경우, 상기 하나의 재료는 PDMS이다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면은, 반사각이 입사각과 다른 각도를 가지고 반사되는 음향파의 에너지를 양을 확연히 줄임으로써 상기 메타표면이 형성된 이동 수단을 음향파 탐지 신호에 대해 은폐시킬 수 있다.

[0017] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 사시도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 단면도이다.

도 4는 도 3의 A 부분의 확대도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 소산층의 사시도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 소산층의 단면도이다.

도 7은 도 6의 B부분의 확대도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법의 순서도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 단위 셀 설계 방법의 순서도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 단위 셀을 설계하는 원리를 설명하는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 단위 셀을 설계하는 원리를 설명하는 도면이다.

도 12는 오목부의 깊이에 따른 반사파의 위상 차를 도시한 그래프에서 오목부의 깊이를 도출하는 과정을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0020] 본 명세서 사용되는 용어들은 본 발명의 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 하여 내려져야 할 것이다.

[0021] 아울러, 아래에 개시된 실시 예는 본 발명의 권리범위를 한정하는 것이 아니라 본 발명의 청구범위에 제시된 구성요소의 예시적인 사항에 불과하며, 본 발명의 명세서 전반에 걸친 기술사상에 포함되고 청구범위의 구성요소에서 균등물로서 치환 가능한 구성요소를 포함하는 실시 예는 본 발명의 권리범위에 포함될 수 있다.

[0022] 그리고 아래에 개시된 실시 예에서의 “제1”, “제2”, “일면”, “타면” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로서, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 단면도이다.

[0024] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면(1000)은 반사층(100) 및 소산층(200)을 포함하고, 반사층(100)의 음향파에 대한 입사 측에 해당하는 면에 서로 다른 깊이의 오목부를 형성하여 음향파의 반사 방향을 조절하고, 반사층의 음향파에 대한 입사측에 해당하는 면에 적층되는 소산층을 두어 입사하는 음향파 및 반사하는 음향파의 에너지를 소산시킨다. 이로써 메타표면(1000)은 메타표면(1000)이 형성된 이동 수단을 음향파 탐지 신호에 대해 은폐시킬 수 있다.

[0025] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 사시도 및 단면도이다. 도 4는 도 3의 A 부분의 확대도이다.

[0026] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 반사층(100)은 복수 개의 동일한 단위 셀(110)을 포함한다. 반사층(100)에서, 복수의 단위 셀(110)은 일 방향(도시된 X축 방향)으로 배열된다. 단위 셀(110)은 일면에 x축 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 적어도 4개 이상인 개수의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성된다. 이 때, 적어도 4개 이상인 개수를 n이라 하고, n은 4 이상인 자연수 중에서 하나이다. 반사층(100)의 일면(101)은 오목부가 형성된 단위 셀의 일면이 연속적으로 배열되고, 반사층(100)의 이면(102)은 단위 셀의 이면으로 형성되는 매끈한 면으로서 음향파 탐지 신호에 대해 은폐를 요하는 이동 수단의 외면과 결합한다.

[0027] 반사층(100)은 복수의 단위 셀(110)이 배열되는 방향으로 최외곽에 제1 에지부(103)를 더 포함할 수 있다.

[0028] 반사층(100)은 상기 이동 수단의 음향 임피던스 유사한 재료 또는 상기 이동 수단이 이동하는 유체 매질의 음향 임피던스와 차이가 나는 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공될 수 있다. 일 예로, 상기 유체 매질이 물이고, 상기 이동 수단이 금속으로 이루어진 경우 반사층(100)은 금속을 재료로 가공된다.

[0029] 단위 셀(110)은 일면에 x축 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성된다. 여기서, n은 4 이상인 자연수 중에서 하나이다. 도시된 실시 예에서, n은 4이다. n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)는 평평한 바닥면을 가지는 단면이 직사각형인 홈으로 각각의 깊이는 서로 다르게 형성된다. n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)는 서로 다른 깊이로 형성되어 음향파의 반사각을 조절한다. n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)의 단면 형태는 도면에 도시된 실시 예에 한정하지 않고, 음향파의 효율적인 반사각 조절을 위해 코일 모양 등 다양한 형태로 변형될 수 있다.

[0030] n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n) 각각의 서로 다른 깊이는 소산층(200)을 통과하고 n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)들의 바닥 면에서 반사되는 음향파가 등간격의 위상 구배를 갖게 한다. 도 4에 도시된 실시 예에서, 4개의 오목부의 바닥면 각각에서 반사되는 음향파는 90도의 등간격의 위상 구배를 갖는다.

[0031] n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n) 각각의 서로 다른 깊이는 단위 셀의 일면(101) 또는 이면(102)의 법선으로 입사하는 음향파가 상기 법선에 대하여 일정한 각도를 가지고 반사되게 한다. 즉, n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)가 서로 다른 깊이를 가짐으로 인해 입사각이 0도로 반사층(100)에 입사한 음향파는 오목부들의 바닥면에서 반사되어 0도가 아닌 일정한 각도에 해당하는 반사각으로 반사하게 된다. 이로써, 반사층(100)은 특정 주파수의 음향파의 탐지를 회피하기 위한 물리적 구조를 가지게 된다.

[0032] n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)의 서로 다른 깊이를 포함하여 상기 반사층(100)의 물리적 구조를 설계하는 원리는 후술한다.

[0033] 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 소산층의 사시도 및 단면도이다. 도 7은 도 6의 B부분의 확대도이다.

[0034] 도 5 및 도 6을 참조하면, 소산층(200)은 반사층(100)의 일 방향으로 반복 배열되는 n개의 오목부(110)의 형상

과 대응되는 볼록부(210)가 연속적으로 형성된 일면(201)과 음향파의 메타표면(1000)으로의 입사면이 되는 이면(202)을 포함한다. 상기 일면(201) 중 상기 n개의 오목부의 최상면과 맞닿는 부분에서 상기 이면(202)까지는 일정한 두께를 가지며, 이면(202)는 매끈하다. 도 1과 같이 소산층(200)은 볼록부(210)와 반사층의 오목부(110)가 서로 맞닿도록 반사층(100)에 적층된다. 복수 개의 동일한 단위 셀(110)을 포함한다. 소산층(200)은 최외곽에 제1 에지부(103) 상에 적층되는 제2 에지부(203)를 더 포함할 수 있다.

[0035] 소산층(200)은 음향파가 메타표면(1000)으로 입사하기 전에 진행하는 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택된 하나의 재료로 가공된다. 예를 들어, 유체 매질이 물인 경우, 소산층(200)의 가공 재료는 PDMS(polydimethylsiloxane)일 수 있다.

표 1

[0036]

	물	PDMS	철
음향파 속도(m/s)	1484	1076	5893
음향 임피던스(MPa · s · m^{-1})	1.5	0.99	47.4
파장(m)	0.03	0.022	0.118

[0037] 표 1은 물, PDMS 및 철 각각이 음향파에 대한 매질일 때 음향파의 속도, 음향 임피던스, 음향파의 파장을 각각 나타낸다.

[0038] 소산층(200)의 재료가 음향파가 메타표면(1000)으로 입사하기 전에 진행하는 유체 매질의 음향 임피던스와 유사한 재료 중에서 선택되는 경우 메타표면(1000)으로 입사하는, 즉, 소산층의 이면(202)으로 입사하는 음향파의 반사율을 낮추고 소산층(200) 내에서 진행하는 음향파의 양을 늘이는 효과가 있다.

[0039] 또한, 메타표면(1000)은 입사하는 음향파가 반사층에 의해 입사각도와 다른 반사각도로 반사되어 음향파의 탐지를 회피하는 스텔스 기능을 가지며, 반사층(100) 상에 적층되는 소산층(200)의 재료를 음향파의 에너지를 열에너지 등으로 소산시키는 소산 성능이 우수한 재료로 선택함으로써 입사각도와 다른 반사각도로 반사되는 음향파의 세기를 소산층이 없이 반사층으로 이루어진 메타표면에 비하여 확연히 줄일 수 있고, 더 강력한 스텔스 기능을 가지게 된다.

[0040] 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법의 순서도이고, 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 단위 셀 설계 방법의 순서도이다.

[0041] 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면 설계 방법(S100)은, 반사층 및 반사층에 적층되는 소산층을 포함하는 메타표면의 설계 방법으로서, 반사층의 단위 셀을 설계하는 단계(S110), 반사층을 가공하는 단계(S120) 및 소산층을 가공하는 단계(S130)를 포함한다.

[0042] 단계 S110에서 설계되는 단위 셀은 반사층의 일 단위이고, 단위 셀의 일면에 일 방향으로 서로 다른 깊이를 갖는 n 개의 오목부가 동일한 폭 및 동일한 이격 간격으로 형성된다. 여기서, n은 4 이상인 자연수이다.

[0043] 도 9를 참조하면, 단위 셀을 설계하는 단계(S110)는, 단위 셀의 배열 주기를 선정하는 단계(S111), 오목부의 이격 간격 및 폭을 선정하는 단계(S113), 및 오목부의 서로 다른 깊이를 도출하는 단계(S115)를 포함한다.

[0044] 도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 반사각 조절 및 음향에너지 소산을 위한 메타표면의 반사층의 단위 셀을 설계하는 원리를 설명하는 도면이다.

[0045] 도 10 및 도 11을 참조하면, 단계 S111에서, 먼저 반사층의 일 단위인 단위 셀의 일 방향으로의 크기에 해당하는 주기(M)를 선정한다. 단위 셀(110)의 주기(M)는, 반사층의 법선(도 10의 점선)으로 입사하는 음향파(입사파)가 상기 법선에 대하여 Θ 각도를 가지고 반사되도록 탐지 신호에 해당하는 입사파의 파장(λ)을 sinΘ로 나눈 값으로 선정된다.

[0046] 단계 S111에서 단위 셀의 주기(M)가 선정되면, 단계 S113에서, 단위 셀의 주기(M) 내에 형성되는 오목부의 개수(n), 오목부의 이격 간격(a) 및 오목부의 폭(b)을 선정한다. 오목부의 이격 간격(a)은 단위 셀의 주기(M)를 4로 나눈 것보다 크거나 같아야 한다. 즉, 오목부의 개수가 4개 이상하여야 한다. 따라서, 단계 S113에서, 오목부의 개수(n)는 4개 이상인 자연수로 선정하고 주기(M)을 n으로 나누어 오목부의 이격 간격(a)을 계산한다. 도시된 실시 예에서, n은 4이다. 오목부의 폭(b)은 오목부의 이격 간격 보다는 작지만 음향파에 대해 저항으로 작용할

수 있는 적정한 폭으로 선정한다.

[0047] 단계 S115에서, n 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이를 도출하기 위해, 이동 수단(10)의 표면에 반사층의 매끈한 이면(102)이 결합되고 오목부가 형성된 반사층의 일면(101)으로 음향파가 입사되는 것을 단면도로 도시한 도 11을 참조하면, 깊이(L)인 오목부에 입사되는 음향 입사파(I)에 대한 오목부의 바닥면에서 반사되는 반사파(R)의 반사 효율(R/I)은 아래 수학식 1과 같이 나타낸다.

[0048] 수학식 1

[0049] $$\frac{R}{I} = \frac{m - 1 + \exp(-i2 * k * L)\,(m + 1)}{m + 1 + \exp(-i2 * k * L)\,(m - 1)}$$

[0050] 여기서, m은 (a-b)/a 이고, k는 입사파의 파수(wave number)이다.

[0051] 도 12는 오목부의 깊이에 따른 반사파의 위상 차를 도시한 그래프에서 오목부의 깊이를 도출하는 과정을 설명하는 도면이다.

[0052] 상기 수학식 1을 통해 깊이(L)인 오목부에 입사되는 음향 입사파(I)가 오목부의 바닥면에서 반사됨으로써 위상 차가 생기고 그때의 위상 차(Δφ)는 다음 수학식 2와 같다.

[0053] 수학식 2

[0054] $$\Delta\phi = \arg\left(\frac{Re\left(\frac{R}{I}\right)}{Im\left(\frac{R}{I}\right)}\right)$$

[0055] 도 12를 참조하면, 단계 S115에서, n 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이를 도출하기 위해 오목부의 깊이(L)에 따른 음향 반사파의 위상 차(Δφ)를 수학식 1 및 2를 통해 그래프로 도시한다.

[0056] 단계 S115에서, 오목부의 깊이(L)에 따른 음향 반사파의 위상 차(Δφ)를 도시한 그래프에서 n 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이를 도출한다. n 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이는, 상기 그래프 곡선에서 360도의 위상 차의 범위에서 동일한 위상 차를 갖는 n 개의 등간격선을 그린 후 상기 등간격선과 만나는 그래프 곡선 내의 좌표값 중 깊이(L)에 해당하는 값을 통해 도출된다. 즉, n 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이는, n개의 오목부 각각의 바닥면에서 반사되는 음향파가 등간격의 위상 구배를 가지도록 도출된다.

[0057] 일 실시 예에서, n이 4로 선정되고, 4 개의 오목부 각각의 서로 다른 깊이로 형성된 바닥면에서 반사된 음향파는 각각 90도씩 위상 차가 발생한다. n개의 오목부(111-1, 111-2,…, 111-n)가 서로 다른 깊이를 가짐으로 인해 입사각이 0도로 반사층에 입사한 입사파는 오목부들의 바닥면에서 반사되어 0도가 아닌 일정한 각도에 해당하는 반사각으로 반사하게 된다. 이로써, 반사층은 음향파를 입사각도와 다른 각도로 반사시켜 특정 주파수의 음향파의 탐지를 회피하기 위한 물리적 구조를 가지게 된다.

[0058] 단계 S120에서, 단계 S110에서 설계된 단위 셀이 일 방향으로 반복 배열되도록 반사층이 가공된다. 오목부의 가공에 앞서 단위 셀의 재료를 선정한다. 반사층의 재료 선정은 반사층(100)에 대한 설명에서 상술한 바와 같다.

[0059] 단계 S130에서, 단계 S120에서 가공된 일 방향으로 반복 배열되는 n개의 오목부의 형상과 대응되는 볼록부가 일면에 연속적으로 형성된 소산층이 가공된다. 소산층의 이면은 음향파의 메타표면(1000)으로의 입사면으로서 매끈하게 가공된다. 단계 S130에서 가공된 소산층은, 일면의 볼록부와 반사층의 오목부가 서로 대응되는 형상을 가지고 맞닿도록 반사층에 적층된다. 이때, 소산층의 일면 중 상기 n개의 오목부의 최상면과 맞닿는 부분에서 소산층의 이면까지는 거리는 일정하게 형성된다.

[0060] 단계 S130은 소산층을 이루는 재료를 선정하는 단계를 포함하고, 소산층을 이루는 재료의 선정은 소산층(200)에 대한 설명에서 상술한 바와 같다.

부호의 설명

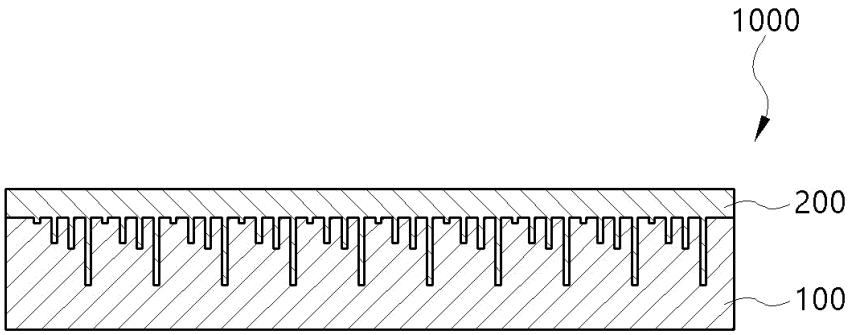
[0061] 1000 메타표면

100 반사층

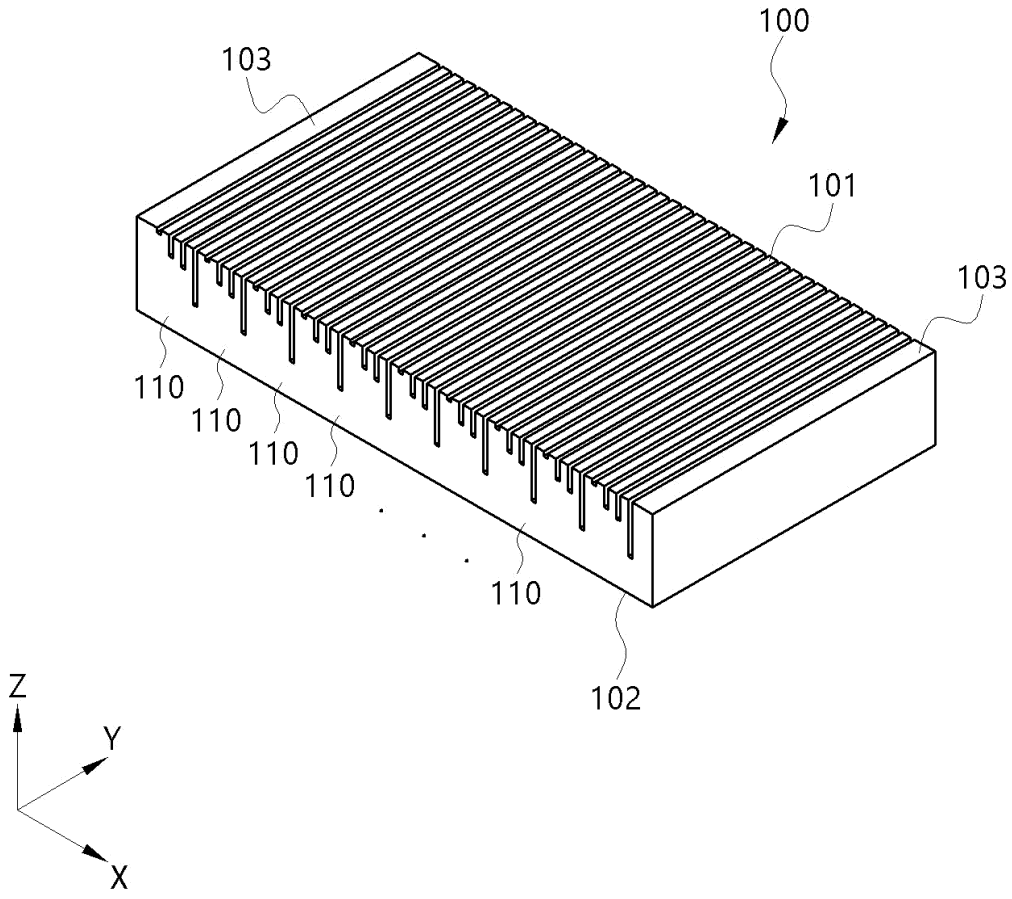
200 소산층

도면

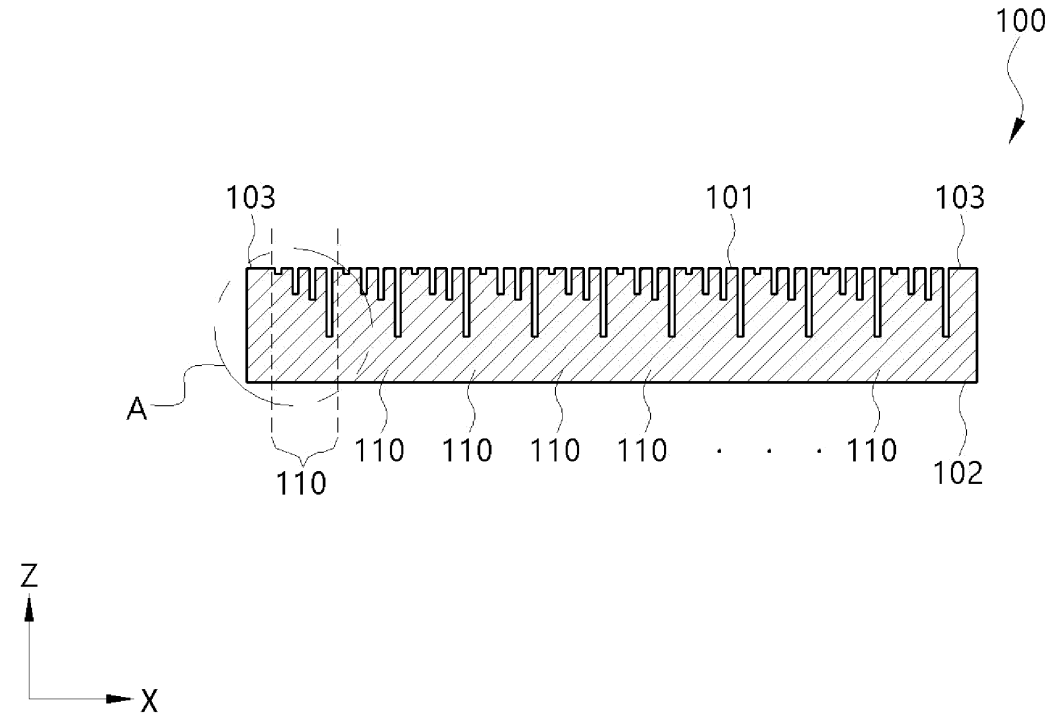
도면1



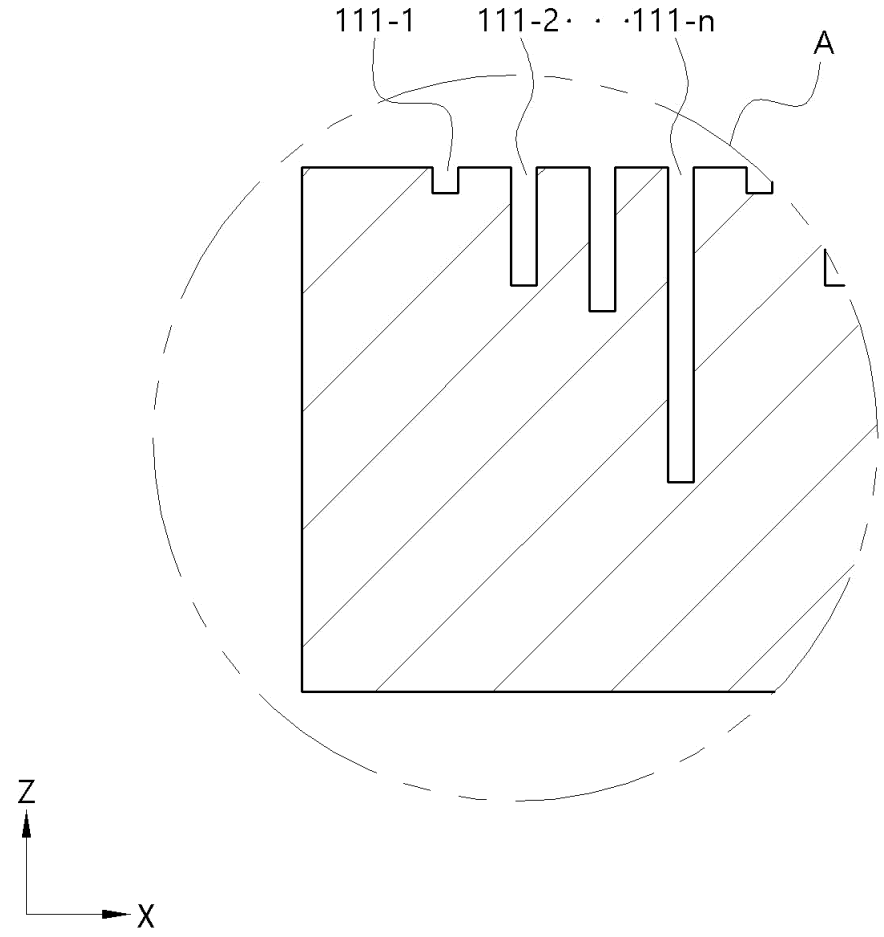
도면2



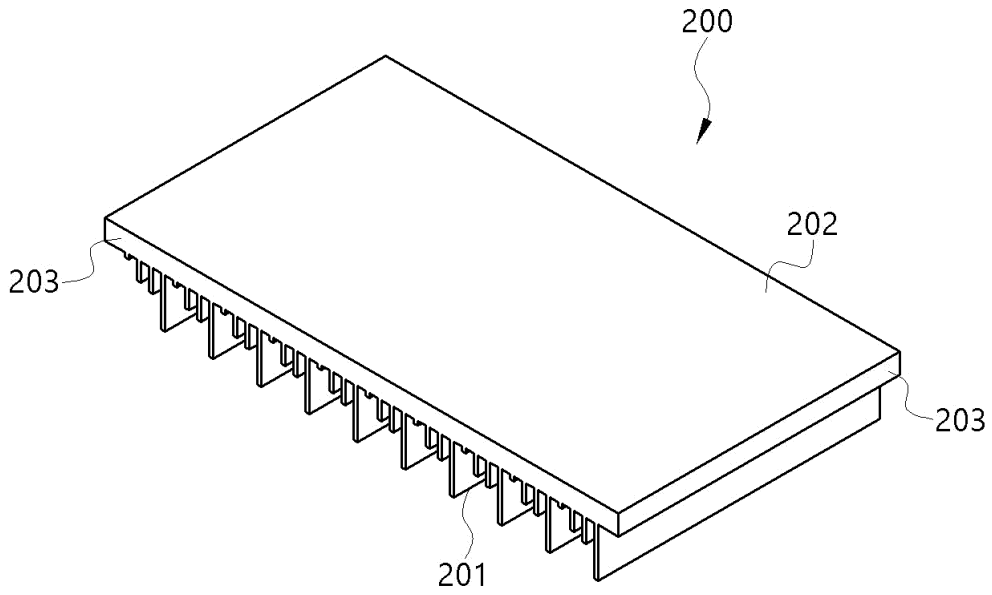
도면3



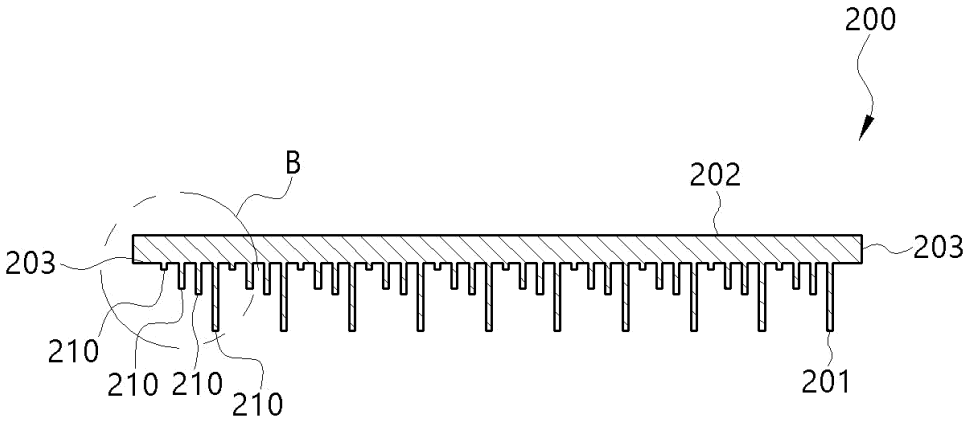
도면4



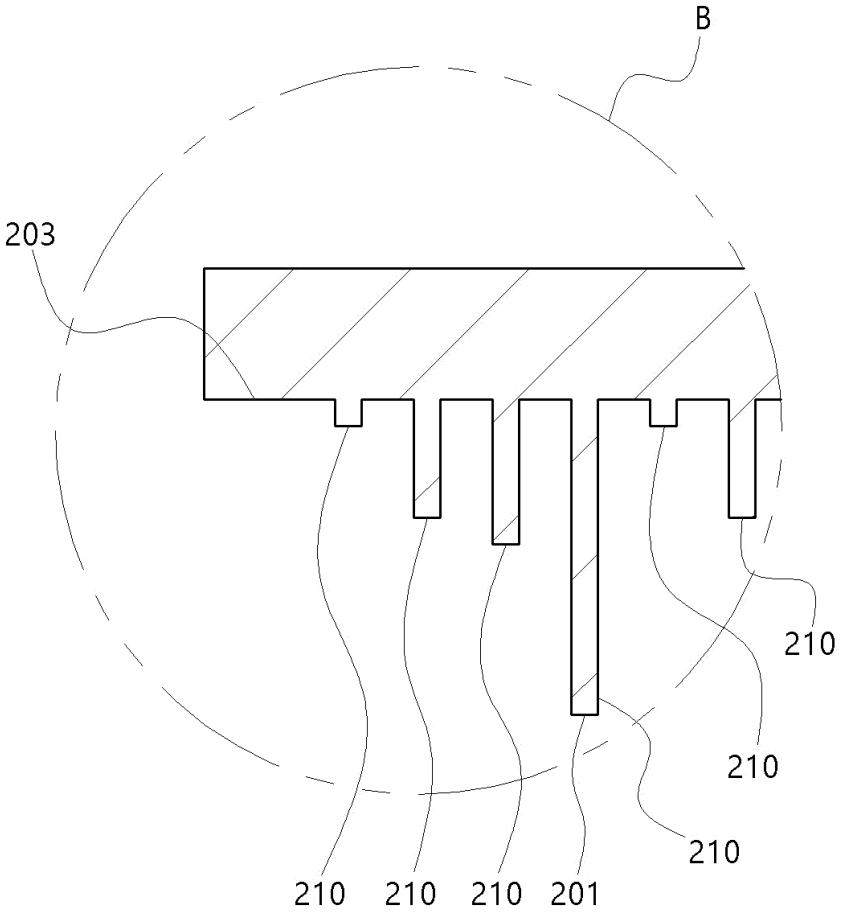
도면5



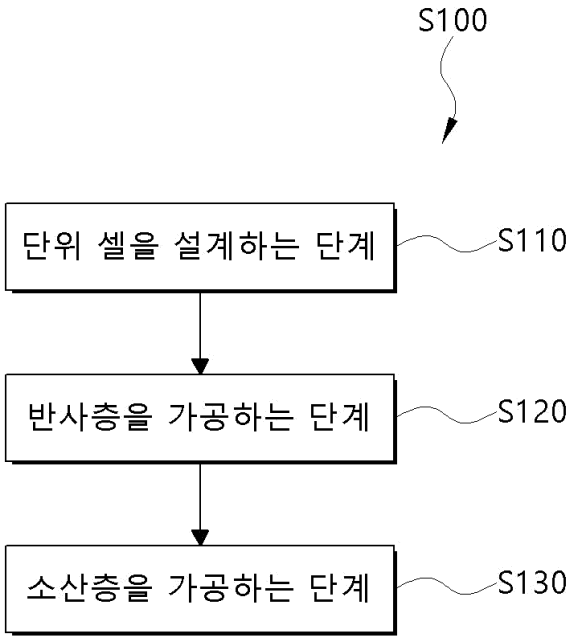
도면6



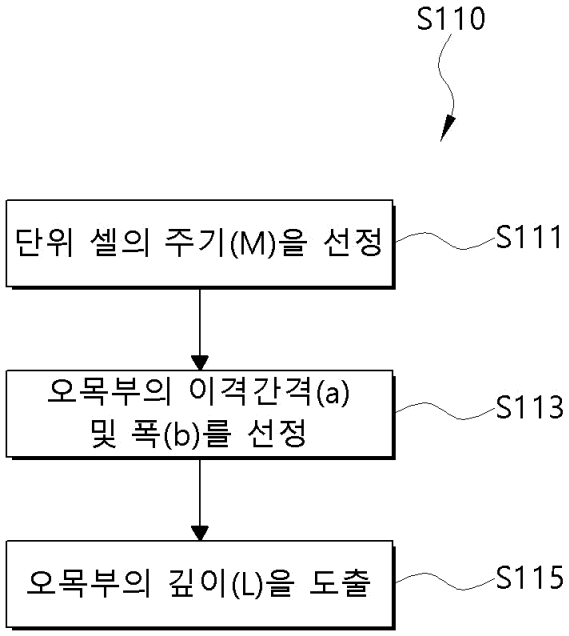
도면7


B
203
210
210
210
210
210
210
201

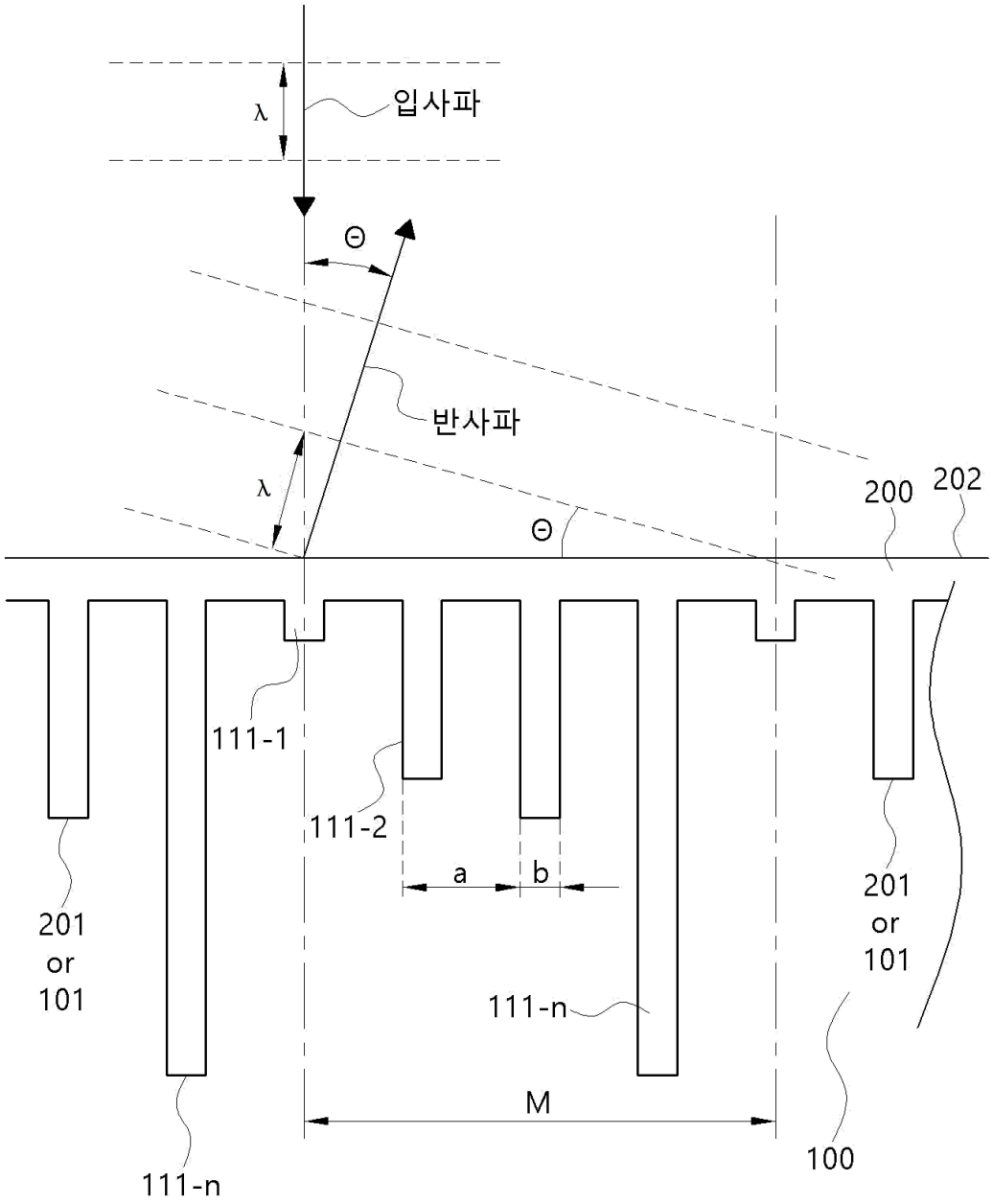
도면8


S100
단위 셀을 설계하는 단계
S110
반사층을 가공하는 단계
S120
소산층을 가공하는 단계
S130

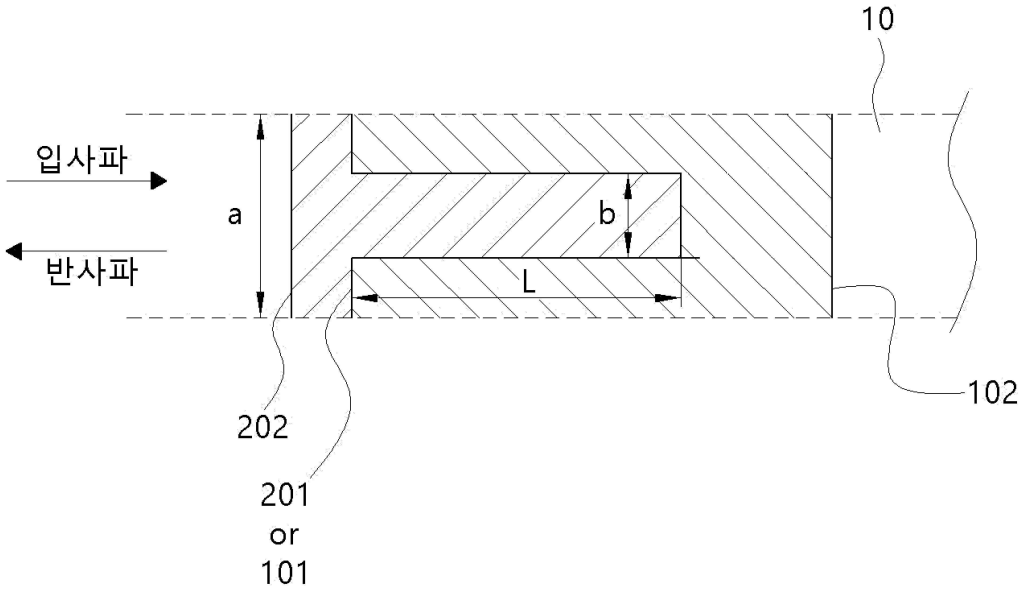
도면9


S110
단위 셀의 주기(M)을 선정
S111
오목부의 이격간격(a)
및 폭(b)를 선정
S113
오목부의 깊이(L)을 도출
S115

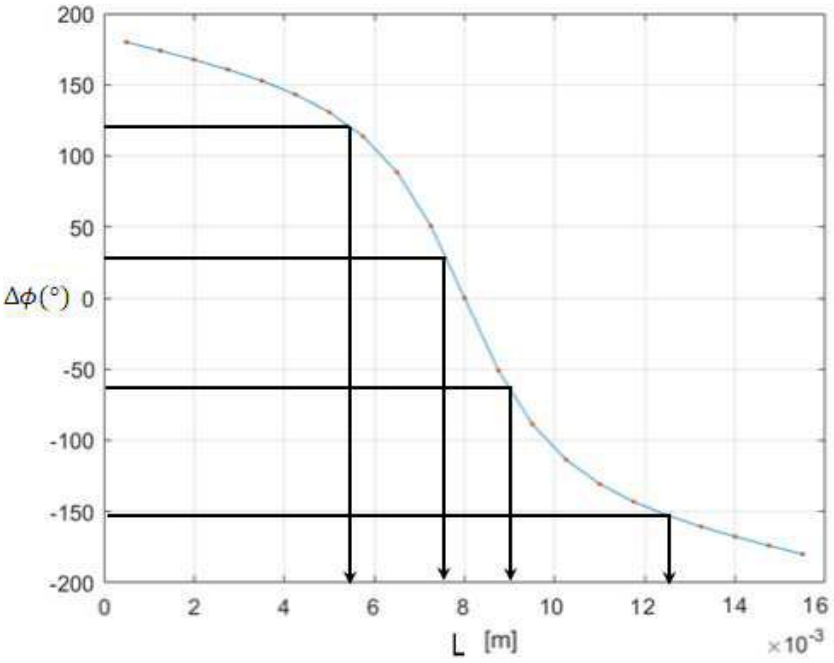
도면10


λ
입사파
Θ
반사파
λ
Θ
200
202
111-1
111-2
a
b
201
or
101
111-n
M
201
or
101
111-n
100

도면11


10
입사파
반사파
a
b
L
102
202
201
or
101

도면12


200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Δφ(°)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
L [m]
×10-3