(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0095824
(43) 공개일자 2023년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/042 (2006.01) *H01S 3/02* (2006.01)
H01S 3/04 (2021.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/042 (2013.01)
H01S 3/025 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0175920
(22) 출원일자 2022년12월15일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
21216774.6 2021년12월22일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
이노토닉스 게엠베하
오스트리아, 1010 비엔나, 살츠토르가쎄 5/17
피지칼니 우스타브 에이브이 씨알, 브이.브이.아이
체코 18221 프라하 8 나 슬로반체 1992/2
(72) 발명자
우구르 세제르
오스트리아, 비엔나 1010, 살츠토르가쎄 5/17
마틴 스므르즈
체코, 252 41 돌니 브르제자니, 자 라드니치 828
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
정영수

전체 청구항 수 : 총 16 항

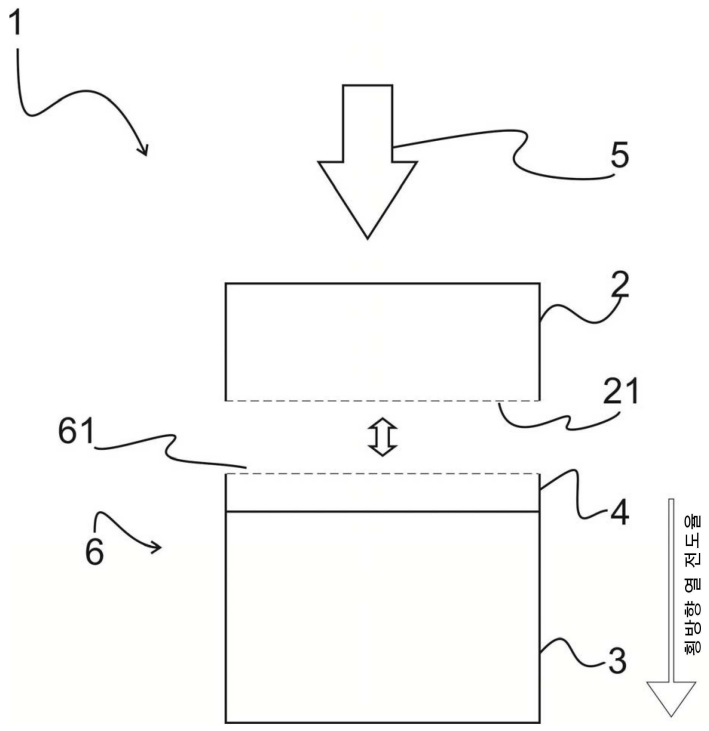
(54) 발명의 명칭 **고체-상태 레이저 시스템용 레이저 증폭 모듈 및 그의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 고체-상태 레이저용 레이저 증폭 모듈에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 고체-상태 디스크에 접합된 히트 싱크를 효과적으로 냉각할 수 있는 레이저 빔을 증폭하는 모듈에 관한 것이다. 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)은 고체-상태 디스크(2), 및 200 nm - 10 ㎛의 파장 범위(λ)에서 상기 고체-상태 디스크(2)에 전파

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



된 입사 빔(5)을 적어도 부분적으로 반사시키도록 구성된 반사 코팅(4)과 히트 싱크(3)를 포함한 모놀리식 복합체(6)를 포함하고, 상기 반사 코팅(4)은 증착 방법에 의해 히트 싱크의 표면에 증착되고, 상기 히트 싱크(3)는 적어도 100 W/m*K의 횡방향 열 전도율, 적어도 100 GPa, 바람직하게는 적어도 300 GPa의 영의 계수를 갖고; 그리고 상기 히트 싱크의 두께는 적어도 1 mm, 바람직하게는 적어도 2 mm이고, 상기 고체-상태 디스크 및 상기 모놀리식 복합체는 PV-평탄도 < 210 nm 및 표면 거칠기 RMS < 2 nm를 갖는 표면(21 및 6)을 구비하고, 상기 고체-상태 디스크(2) 및 상기 모놀리식 복합체(6)의 상기 표면(21 및 61)은 직접적으로 그리고 영구적으로 함께 접합된다.

(52) CPC특허분류
H01S 3/0401 (2013.01)

(72) 발명자
잔 스브르체크
체코, 252 41 돌니 브르제자니, 자 라드니치 828

온드레이 노박
체코, 252 41 돌니 브르제자니, 자 라드니치 828

명 세 서

청구범위

청구항 1

고체-상태 레이저 시스템용 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)으로서,

고체-상태 디스크(2); 및

히트 싱크(3), 및 200 nm - 10 ㎛의 파장 범위(λ)에서 상기 고체-상태 디스크(2)에 전파된 입사 빔(5)을 적어도 부분적으로 반사시키도록 구성된 반사 코팅(4)을 포함한 모놀리식 복합체(6);를 포함하고,

상기 반사 코팅(4)은 증착 방법에 의해 상기 히트 싱크의 표면에 증착되고,

상기 히트 싱크(3)는:

적어도 100 W/m*K의 횡방향 열 전도율;

적어도 100 GPa, 바람직하게는 적어도 300 GPa의 영의 계수; 및

적어도 1 mm, 바람직하게는 적어도 2 mm의 히트 싱크의 두께;를 갖고,

상기 고체-상태 디스크 및 상기 모놀리식 복합체는 < 210 nm의 PV-평탄도 및 < 2 nm 표면 거칠기 RMS를 갖는 표면(21 및 61)을 구비하고;

상기 고체-상태 디스크(2) 및 상기 모놀리식 복합체(6)의 상기 표면(21 및 61)은 직접적으로 그리고 영구적으로 함께 접합되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 직접적으로 접합된 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)은, 레이저 작동에 의한 < 500℃의 고체-상태 디스크 온도에 대해, >0.1 W/(m K)의 열 전도율, 바람직하게는 >1 W/(m K)의 열 전도율을 갖는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 모놀리식 복합체(6)는 상기 반사 코팅(4)을 형성하는 복수의 교대 레이어를 포함하고, 레이어(41, 42)는 교번 굴절률을 갖는 재료로 만들어지고, 그리고 최상부 레이어는 상기 고체-상태 디스크(2)에 접합되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 모놀리식 복합체(6)는 상기 반사 코팅(4)의 상부에서 희생 레이어(7)를 포함하고, 상기 희생 레이어(7)의 재료와 두께는 상기 코팅(4)의 반사율을 10 % 보다 작게 감소시키는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 모놀리식 복합체(6)의 상기 희생 레이어(7)는 필름 스택을 형성하는 복수의 레이어(71, 72)를 포함하고, 적어도 하나의 희생 레이어는 상기 고체-상태 디스크(2)의 기계적 및/또는 열적 특성을 증대시키는 마이크로 또는 나노-패턴(711)으로 구조화되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 6

제4항 또는 제5항에 있어서, 상기 모놀리식 복합체(6)의 상기 희생 레이어(7)는 필름 스택을 형성하는 복수의 레이어(71, 72)를 포함하고, 이러한 필름 스택은 상기 모듈(1)의 레이저 유도 손상 임계치를 증대시키도록 구성되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고체-상태 디스크(2)에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 상기 모놀리식 복합체(6)의 상기 표면(61)은 만곡되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고체-상태 디스크(2)의 상기 표면(21) 및 상기 모놀리식 복합체의 상기 표면(61)은 PV < 70 nm 및 RMS < 0.8 nm를 갖는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 모듈(1)의 상기 표면(61)은 만곡되고, 상기 만곡된 표면은 PV < 210 nm 및 RMS < 2 nm를 갖는 직접적인 그리고 영구적인 접합을 위해 사용되고, 그리고 상기 만곡된 표면은 상기 모놀리식 복합체(6)의 총 표면의 일부인, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고체-상태 디스크(2)는, 가넷, 바나데이트, 텅스텐산염, 사파이어, 칼코게나이드(chalcogenides) 또는 세라믹 재료나 반도체 게인 재료로 이루어진 그룹에서 선택된 도프된 레이저 크리스탈 또는 도프되지 않은 레이저 크리스탈을 포함하는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 히트 싱크(3)는 감쇠 계수 < 1 cm^{-1}를 갖는, 200 nm - 10 ㎛ 사이의 파장에 대해 투명한, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 히트 싱크(3)는 다이아몬드, 질화 붕소, 실리콘, 실리콘 카바이드, 세라믹, 금속, 금속-다이아몬드 복합체, 금속-질화 붕소 복합체 또는 실리콘-다이아몬드 복합체로 만들어지는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고체-상태 디스크(2)는 상기 모놀리식 복합체(6)에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 표면(21) 반대쪽 표면에 반사-방지 코팅(22)을 포함하는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 모듈(1)의 에지는 거칠게 되고 및/또는 베벨링 되는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1).

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따른 상기 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)의 제조 방법으로서,

고체-상태 디스크(2)를 제공하는 단계,

히트 싱크(3)를 제공하는 단계,

모놀리식 복합체(6)를 성형하기 위하여, 200 nm - 10 ㎛의 파장 범위(λ)에서 입사 빔을 적어도 부분적으로 반사시키는 반사 코팅(4)에 의해 상기 히트 싱크(3)를 코팅하는 단계,

상기 고체-상태 디스크(2) 및 상기 모놀리식 복합체(6)의 표면(21 및 41)을 세척하는 단계,

상기 표면(21 및 41)을 활성화하는 단계, 및

직접적이고 영구적인 접합을 함께 형성하도록, 상기 모놀리식 복합체와 상기 히트 싱크 모두의 RMS < 2 nm 및 PV< 210 nm의 표면 평탄도를 갖는 상기 표면(21 및 41)을 정렬 및 가압하는 단계를 포함하고,

상기 고체-상태 디스크의 적어도 하나의 표면(21)은 평균 제곱근(RMS) <2 nm의 표면 거칠기 및 PV < 210 nm의

표면 평탄도를 갖고;

상기 히트 싱크의 적어도 하나의 표면(31)은 평균 제곱근(RMS) <2 nm 및 PV< 210 nm의 표면 평탄도를 갖고, 상기 히트 싱크의 두께는 적어도 1 mm인, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)의 제조 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

희생 레이어(7)를 제공하는 단계;

모놀리식 복합체(6)를 형성하기 위하여, 상기 희생 레이어(7)에 의해 상기 반사 코팅(4)을 더 코팅하는 단계 ;

결함이나 공극의 크기와 수를 감소시키도록, RMS < 2 nm 의 표면 거칠기 및 PV < 210 nm의 표면 평탄도를 제공하는 화학적-기계적 폴리싱이나 이온-빔 보조 폴리싱으로써, 상기 모놀리식 복합체(6)의 희생 레이어(7)를 처리하는 단계;를 더 포함하는, 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고체-상태 레이저용 레이저 증폭 모듈에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 고체-상태 디스크에 접합된 히트 싱크를 효과적으로 냉각할 수 있는 레이저 빔을 증폭하는 모듈에 관한 것이다.

[0002] 다른 특징으로서, 본 발명은 상기 레이저 증폭 모듈의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 높은 평균의 파워 레이저 시스템은, 특히 빔 증폭 동안에, 레이저 구성요소에서 발생된 열로 인해 어려움을 겪고 있다. 통상적으로, 고체-상태 레이저 디스크는 수냉식 히트 싱크에 접착되거나 납땜되며, 상기 수냉식 히트 싱크에서 열은 고체-상태 레이저 디스크로부터 히트 싱크까지 전달된다. 이러한 열 제거 기술은 매우 효율적이지 않고, 특히 평균 파워가 kW-급 영역에 접근할 때, 대부분의 높은 평균 파워 레이저 시스템에서 불량한 빔 포인팅(pointing)을 초래하게 된다.

[0004] 특허문헌 EP 2 996 211 A1는, 투명한 히트 싱크에 직접적으로 접합된 고체-상태 디스크로서 또한 알려진 고체-상태 레이저 활성 매체를 개시하고 있다. 상기 히트 싱크는 149 W/m*K 이상의 열 전도율을 갖고; 이 경우 고체-상태 레이저 활성 매체 및 히트 싱크는 <1 nm의 평균 제곱근(root-mean square, RMS) 표면 거칠기를 나타내고, 이 경우 광학 게인(gain) 재료는 직접적인 접합에 의해 투명한 히트 싱크에 부착된다. 이 특허문헌은 또한 고체-상태 레이저 디스크 및 상기 레이저 디스크의 상부의 반사 레이어를 포함한 비정질 구조나 모놀리식 반도체를 개시하고 있다. 고-반사율 레이어는 스퍼터링, 증발, 화학 기상 증착 등과 같은 직접적인 증착 방법에 의해 고체-상태 레이저 디스크에 부착될 수 있거나, 또는 고체-상태 디스크에 직접적으로 접합될 수 있다. 도 1은 상기 언급된 종래 기술에 개시된 2개의 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 제1 실시예로서, 도 1A은 반사 레이어(4)에 직접적으로 접합되고(점선으로 표시됨) 투명한 히트 싱크(3)에 직접적으로 접합된 고체-상태 디스크(2)를 포함한 고체-상태 레이저 빔용 모듈을 개시하고 있다. 광학 빔(5)은 고체-상태 디스크(2)에 입사되고, 반사 레이어(4) 및 투명한 히트 싱크(3)를 통해 전파된다. 증폭된 빔(51)은 투명한 히트 싱크(3)로부터 빠져나온다. 제2 실시예로서, 도 1B는 고체-상태 디스크(2) 및 상기 고체-상태 디스크(2) 증착된 (실선으로 표시됨) 반사 레이어(4)를 포함한 고체-상태 레이저 빔용 모듈을 개략적으로 나타내고 있으며, 상기 반사 레이어는 투명한 히트 싱크(3)에 직접적으로 접합된다(점선으로 표시됨). 광학 빔(5)은 고체-상태 디스크(2)에 입사되고, 반사 레이어(4) 및 투명한 히트 싱크(3)를 통해 전파된다. 증폭된 빔(51)은 투명한 히트 싱크(3)를 빠져나온다. 그러나 이들 두 실시예는 히트 싱크(2)의 하부로부터 나오는 워터 제트로써, 열을 제거하는 경우에, 불리하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명의 목적은 종래 기술 실시예에 비해 용이하게 제조될 수 있으면서, 열을 효과적으로 제거할 수 있는, 고체-상태 레이저 시스템용 레이저 증폭 모듈을 제공하는 것이다. 열을 보다 효율적으로 제거하게 된다면, 필연적으로 레이저 성능이 보다 높고 안정적이게 된다. 표면 활성화는 <500℃의 온도에서 적어도 0.5 J/㎡

의 접합 강도를 보장한다. 이들 표면은 이후 서로에 대해 정렬되고, 주위 압력이나 진공에서 접합되어, 제조가 보다 용이하게 된다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 제1 특징으로서, 상기 언급한 목적에 대한 해결책을 제공하는, 고체-상태 레이저 시스템용 모놀리식 레이저 증폭 모듈은 청구항 1에 의해 정의된다.

[0007] 본 발명에 따른 레이저 증폭 모듈은 레이저 드릴링, 레이저 쇼크 피닝(laser shock peening), 입자 가속 등과 같은 산업용이나 과학용으로 사용되는 레이저 빔, 특히 고-파워 레이저 빔을 방출하는 고체-상태 레이저 시스템으로 구현될 수 있다.

[0008] 고체-상태 레이저는 고체인 게인 매체를 사용하는 레이저 종류이다. 본 발명에 따르면, 고체 매체는, 활성 게인 매체의 얇은 레이어의 반대 쪽에 실현된 히트 싱크와 레이저 아웃풋에 의해 특정되는 다이오드 펌프된 고체-상태 레이저의 종류인, 최신의 얇은 디스크 레이저로 또한 알려진 고체-상태 디스크이다. 레이저 디스크는 임의의 형상, 바람직하게는 원형 또는 직사각형일 수 있다. 고체-상태 디스크의 두께는 레이저 빔 직경보다 상당히 작다. 본 발명의 맥락내에서, 게인 매체라는 용어는 광학 게인을 생성할 수 있는 재료로 이해될 수 있으며, 여기서 광학 게인이 상기 재료에서의 광학 증폭 공정을 설명하는 것으로 이해될 수 있다. 게인 매체는 예를 들면, YAG, 사파이어, 실리케이트, 가넷(garnets), 바나데이트, 텅스텐산염, 또는 인산염 유리와 같은, 도프되거나 도프되지 않은 크리스탈 일 수 있고, 바람직하게는 레이저-활성 이온, 또는 GaAs, InGaAs이나 GaN와 같은 반도체 재료나 세라믹 재료로써 도프될 수 있다. 도판트(Dopant) 함량은 고체-상태 레이저 시스템의 특별한 사용에 따라 변할 수 있으며, 바람직하게는 0.01 - 20 몰 (원자) %이다. 다른 한 실시예로서, 고체-상태 디스크는 인산염 유리 또는 비정질 실리카 등과 같은 비정질 게인 재료로 만들어질 수 있다. 고체-상태 디스크는 임의의 두께를 가질 수 있지만, 그러나, 본 발명에 따른 모듈 및 방법 각각은 유리하게도 5 ㎛ 만큼 작은 두께를 제공할 수 있다는 것이다.

[0009] 모놀리식 복합체는 히트 싱크 및 반사 코팅을 포함한 연속의 고체 부재로서 이해될 수 있다. 반사 코팅은, 물리적 기상 증착, 스퍼터링, 증발, 화학 기상 증착, 또는 심지어 분자 빔 에피택시(epitaxy)와 같은 결정 성장 기술과 같은 최신 증착 방법에 의해 히트 싱크 상에 증착될 수 있다. 반사 코팅은 입사 빔을, 특히 펌프 빔을 적어도 부분적으로 반사시키도록 구성된다. 반사 코팅은 200 nm 내지 10 ㎛의 범위의 파장을 갖는 빔을 반사시킨다. 반사 코팅은 황화 아연, 이산화 티타늄, 오산화 탄탈륨, 이산화 규소, 산화 하프늄, 갈륨 비소, 알루미늄 갈륨 비소 등의 재료 그룹에서 선택될 수 있다.

[0010] 본 발명에 따른 히트 싱크는 적어도 100 W/m*K의 횡방향 열 전도율과 적어도 100 GPa의 영의 계수; 및 적어도 1 mm의 히트 싱크 두께를 갖는다. 히트 싱크는 다이아몬드, 질화 붕소, 실리콘, 실리콘 카바이드(SiC), 세라믹, 금속, 금속-다이아몬드 복합체, 금속-질화 붕소 복합체 또는 실리콘-다이아몬드 복합체로 만들어질 수 있다. 더욱 바람직한 실시예에 있어서, 히트 싱크의 영의 계수는 적어도 300 GPa이고 및/또는 상기 히트 싱크의 두께는 적어도 2 mm이다. 적어도 2 mm의 히트 싱크의 두께는 코팅 공정 동안에 굽힘을 방지한다.

[0011] 모놀리식 복합체 및 고체-상태 디스크는 PV-평탄도 < 210 nm 및 거칠기 RMS < 2 nm 모두를 갖는 표면을 구비한다. 상기 언급된 표면은 직접적으로 그리고 영구적으로 함께 접합된다. 직접적인 접합 공정은 접착제나 금속 솔더와 같은 임의의 중간 접착 레이어 없이, 레이저 디스크를 히트 싱크에 직접적으로 결합하는 것으로 이해될 수 있다. 히트 싱크는 실온에서 100 W/m*K 이상의 열 전도율을 갖는 열 분산기 또는 최종 캐리어 기판으로 이해될 수 있다.

[0012] PV(피크대 밸리(peak to valley)) 평탄도는 이상적인 표면과 관련하여 광학 표면 상의 최고점과 최저점 사이의 절대 차이로 정의된다. RMS는 나노미터-규모의 표면 파형의 평균 제곱근으로 일반적으로 정의되는, 최신 기술의 잘 알려진 매개변수이다. PV 평탄도 및 RMS는, 레이저 간섭계 또는 원자력 현미경과 같은 최신 방법으로써, 측정될 수 있다.

[0013] 청구항 1에서 정의된 바와 같은 고체-상태 레이저 시스템용 모놀리식 레이저 증폭 모듈은 레이저 작동에 의한, < 500℃의 고체-상태 디스크 온도에 대해, >0.1 W/(m K)의 열 전도율, 바람직하게는 >1 W/(m K)의 열 전도율을 제공한다.

[0014] 바람직한 실시예로서, 모놀리식 복합체는 반사 코팅을 형성하는 적어도 2개의 레이어를 포함한다. 더욱 바람직하게는, 모놀리식 복합체는 복수의 레이어를 포함한다. 레이어의 특정 수는 산업 적용에 따라 결정된다. 고체

-상태 레이저의 특정 분야에서의 당업자는 얼마나 많은 레이어가 요구되는 미러 사양을 만족시키는데 충분한지 알고 있다. 0° 입사각에서 1030 nm에 대해 계산된 SiO_2/Ta_2O_5 기반 코팅에 대해, 반사율은 총 4개의 레이어(2 x SiO_2+Ta_2O_5)에 대해 60%에서 총 8개의 레이어에 대해 90%를 넘어 총 20개의 레이어에 대해 99.9%까지 변할 수 있다. 반사 코팅을 형성하는 레이어는 굴절률과 관련하여 교호한다. 제1 레이어 및 제2 레이어는 상이한 굴절률을 갖는다. 복수의 레이어를 포함한 실시예에 있어서, 제1 레이어 및 제2 레이어는 교호하는 굴절률을 가지며, 예로서, 상기 제1 레이어는 n=1,46 (SiO_2)이고; 상기 제2 레이어는 n=2,1 (Ta_2O_5)를 갖고, 그리고 제3 레이어는 다시 n=1,46를 갖는다. 최종 상부 레이어는 고체-상태 디스크에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된다. 바람직한 실시예에 있어서, 최저 굴절률 n_{low} = 1,35 및 최고 굴절률 n_{high} = 5,6은 고 반사율 코팅을 제조하는데 사용될 수 있다.

[0015] 모놀리식 복합체는 바람직하게는 희생 레이어를 포함한다. 이러한 희생 레이어의 기능적 역할은, (a) 반사 코팅의 보호 (b) 레이저-유도 손상 임계치의 향상 및/또는 (c) 필요한 표면 사양에 도달하도록 후처리될 수 있는 버퍼 레이어를 제공하는 것이다. 희생 레이어는 반사 코팅의 반사율을 10% 보다 낮게 감소시키는 재료로 만들어진다. 이러한 보호 희생 레이어는 SiO_2, Si_3N_4, HfO_2, 임의의 금속의 임의의 산화물일 수 있으며, 필요한 표면 지형, 특히 210 nm 보다 작은 PV-평탄도 및 RMS<2 nm의 RMS 표면 거칠기, 바람직하게는 PV<70 nm 및 RMS<0.8 nm에 도달하도록 폴리싱 처리될 수 있는 Al_2O_3, GaAs, AlGaAs, NiP 또는 포토레지스트 재료일 수 있다. 90%로부터 99.9%에 이르는 반사율이 특히 유리하다. 예를 들면, 407 nm의 두께를 갖는 SiO_2로 만들어진 적어도 하나의 희생 레이어는 기저 멀티레이어 반사 코팅의 LIDT(Laser Induced Damage Threshold)를 대략 7배 만큼 증대시킬 수 있다.

[0016] 더욱더 바람직하게는, 모놀리식 복합체는 필름 스택을 형성하는 복수의 희생 레이어를 포함한다. 복수의 희생 레이어는 모놀리식 레이저 증폭 모듈의 레이저-유도 손상 임계치를 증대시키도록 구성될 수 있다. 희생 레이어의 필름 스택은 AlGaAs 또는 GaAs를 포함한 코팅과 조합하는게 특히 유리하다. 이들 재료는 10 ns 보다 작은 길이의 펄스를 갖는 펄스 레이저에 대한 저 손상 임계치를 나타낸다. 더욱 바람직하게는, 필름 스택에서, 적어도 하나의 레이어가 패턴에 의한 마이크로-구조 또는 나노-구조이다. 패턴은 고체-상태 디스크의 기계적 및/또는 열적 특성을 증대시킨다. 패턴은 반대 표면 상의 패턴과 함께 맞춰지는 임의의 종류의 패턴일 수 있으며, 이 반대 표면은 반사 코팅 또는 희생 레이어나 추가 희생 레이어 및 히트 싱크 및/또는 이들의 임의의 조합의 표면일 수 있다. 패턴은 홈의 형태를 가질 수 있다.

[0017] 또 다른 실시예로서, 멀티레이어 반사 코팅의 LIDT는 계면에서 공증발되는(co-evaporated) 나노라미네이트의 제조에 의해 증가될 수 있다.

[0018] 모놀리식 복합체는 바람직하게는 폴리싱 처리된다. 서로에 대해 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 모놀리식 복합체 및 고체-상태 디스크의 폴리싱처리된 표면은 PV< 210 nm의 평탄도를 갖는다. 폴리싱 방법은 상기-언급된 매개변수, PV의 평탄도 및 RMS가 달성된다면, 기계적, 자기유동식(magnetorheological), 화학적 또는 이온-보조와 같은 최신 기술에 따라 선택될 수 있다.

[0019] 모놀리식 복합체의 표면은 바람직하게는 만곡된다. 더욱더 바람직하게는, 모놀리식 복합체의 표면은 만곡되고, 이 경우 PV < 210 nm 값 및 RMS < 2 nm을 갖는 표면은 총 표면의 80% 보다 더 큰 영역에 제공된다.

[0020] 고체-상태 디스크 및 모놀리식 복합체의 표면은 PV < 70 nm 및 RMS < 0.8 nm을 갖는다. 이들 값은 보다 큰 접합 강도를 제공한다.

[0021] 히트 싱크는, 바람직하게는, 감쇠 계수 < 1 cm^{-1}를 갖는, 200 nm - 10 ㎛ 사이의 파장에 대해 투명하다. 투명한 히트 싱크는, 레이저 빔의 아웃풋 커플링이 투명한 히트 싱크를 통해 제공될 수 있는, 실시예를 제공할 수 있다. 다른 한 실시예로서, 히트 싱크는 레이저 파장에 대해 불투명할 수 있어, 레이저 빔의 반사 아웃풋 커플링이 제공될 수 있다.

[0022] 히트 싱크는 바람직하게는 적어도 100 W/(m*K)의 열 전도율을 갖는 재료를, 바람직하게는 다이아몬드, 질화 붕소, 실리콘, 실리콘 카바이드, 세라믹, 금속, 금속-다이아몬드 복합체, 금속-질화 붕소 복합체 또는 실리콘-다이아몬드 복합체를 포함한다.

[0023] 고체-상태 디스크는 바람직하게는 모놀리식 복합체에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 표면 반대쪽 표면에

반사-방지 코팅을 포함한다 .

[0024] 모놀리식 레이저 증폭 모듈의 측면 에지는 바람직하게는 거칠게 되고 및/또는 베벨처리된다(bevelled). 거칠어진 및/또는 베벨처리된 에지는 레이저 활성 매체로부터의 증폭된 자발적 방출(amplified spontaneous emission, ASE)을 최소화한다.

[0025] 본 발명의 제 2 특징은 청구항 15에서 정의된 바와 같은 레이저 증폭 모듈의 제조 방법이다.

[0026] 본 방법은 고체-상태 디스크 제공 단계를 포함하며, 여기서 상기 고체-상태 디스크의 적어도 하나의 표면은 <2 nm의 평균 제곱근(RMS) 및 PV< 210 nm의 표면 평탄도를 갖고; 그리고 상기 고체-상태 디스크의 두께는 적어도 5 ㎛이다.

[0027] 다음 단계는 히트 싱크를 제공하는 것이며, 여기서 상기 히트 싱크의 적어도 하나의 표면은 <2 nm의 평균 제곱근(RMS) 및 PV< 210 nm의 표면 평탄도를 갖고; 그리고 상기 히트 싱크의 두께는 적어도 1 mm이다.

[0028] 이어서, 히트 싱크는, 모놀리식 복합체를 형성하기 위하여, 200 nm - 10 ㎛의 파장 범위(λ)에서 입사 빔을 적어도 부분적으로 반사시키는 반사 코팅에 의해 코팅된다.

[0029] 제1 단계로서, 모놀리식 복합체 및 히트 싱크를 함께 모두 < 2 nm의 RMS와 PV < 210 nm의 표면 평탄도를 갖는 표면을 정렬하고 직접적으로 접합하는 단계가 제공된다.

[0030] 반사 코팅에 의한 히트 싱크의 코팅 단계는 바람직하게는, 90% 보다 큰 반사율에 대한 간섭 코팅을 형성하도록, 교번 굴절률을 갖는 교대 재료의 필름 스택을 만드는 복수의 코팅 단계를 포함한다. 복수의 코팅 단계는 증발, 이온 보조, 이온 빔 스퍼터링이나 마그네트론(magnetron) 스퍼터링, 또는 분자 빔 에피택시과 같은 종래 수단을 통해 제공될 수 있다.

[0031] 코팅 단계는 히트 싱크에 원치않는 곡률을 유도할 수 있고 RMS > 1nm의 큰 표면 거칠기를 갖는다. 유도된 곡률을 보상하기 위하여, 당업자는 a) 코팅-유도된 굽힘이 매우 드물도록 적어도 300 GPa의 영의 계수와 적어도 2 mm의 두께를 바람직하게 갖는 히트 싱크를 제공하는 단계, 또는 b) 고-반사율 코팅은 바람직하게는 반사 코팅의 상부에 희생 레이어를 또한 제공하는 단계를 더욱 제공할 수 있다. 화학적 기계적 폴리싱 공정이나 이온-보조 폴리싱 공정은 공극(void) 밀도를 감소시키고 동시에 표면 품질(PV 평탄도, RMS 표면 거칠기)을 증대시키는데 도움이 될 수 있다. 일반적으로, 공극은 예로서, 재료의 가스방출에 의해 야기된 빈 공간(구멍)이라는 것을 알 수 있을 것이다. 결함은 크리스탈 구조의 오류로 여겨진다.

[0032] 제조 방법은 바람직하게는, 반사 코팅의 상부에 희생 레이어를 제공하는 단계와, PV< 210 nm 및 RMS < 1 nm로 상기 희생 레이어를 폴리싱하는 단계를 포함한다. 보호 희생 레이어의 폴리싱은 이온 빔 보조 폴리싱 기술로써 행해질 수 있다. 이러한 방법에 있어서, 전형적으로 아르곤 이온은 이온 건(gun)에서 발생되고 보호 희생 레이어 쪽으로 가속된다. 보호 희생 레이어의 충격은 표면 원자의 스퍼터링을 유도한다. 표면 거칠기의 감소가 관찰될 수 있다. 특정 기판 재료, 입사각 뿐만 아니라 이온 빔 전압은 표면 거칠기의 최종 품질에 큰 영향을 미친다. 이러한 처리 방법으로써, 또한 표면 지형을 정확하게 변경할 수 있어, 특히 매우 높은 수준의 평탄도(용융된 실리카 기판에 대해 PV < 10 nm)로 기판을 에칭할 수 있다. 처리 동안에 표면 공극을 피하기 위하여, 표면은 매우 청결하게 유지되고 소프트(soft) 빔 매개변수(저 이온 에너지)가 이에 따라 선택된다.

[0033] 반사 코팅의 상부에 희생 레이어를 제공하는 다른 한 실시예로서, 상기 희생 레이어의 폴리싱은 화학적 기계적 폴리싱이다. 화학적 기계적 폴리싱 처리는 다양한 웨이퍼 재료에 적용되는 반도체 산업에서의 통상적인 절차이다. 원자 규모 재료 제거를 위한 화학적 에칭과 기계적 마모의 조합으로 전반적인 평탄도가 달성된다. 최종 표면은 재료에 따라, PV < 70 nm의 평탄도 및 RMS < 0.5 nm의 표면 거칠기를 달성할 수 있다.

[0034] 직접 접합 단계는 모놀리식 복합체 뿐만 아니라 과도하게 세척되고 표면 활성화된 고체-상태 디스크를 제공하는 단계를 포함한다. 표면 활성화는 화학적, 플라즈마 또는 이온-빔 활성화일 수 있다. 표면은 이어서 함께 가압된다. 가해진 압력은 기판의 두께에 따라 변할 수 있지만, 그러나 전형적으로 2 kPa 내지 10 MPa의 범위를 갖는다. 만곡된 기판에 대해, <5 ㎛의 정밀도에 의한 정렬은 높은 접합 강도을 위해 사용된다.

[0035] 본 발명에 따른 방법은 0.1 J/㎡, 유리하게도 0.5 J/㎡의 접합 강도를 제공할 수 있다. 이로써, 고체-상태 디스크의 제2 표면의 기계적 폴리싱이 가능하고 및/또는 전형적으로 > 5 ㎛, 이상적으로 > 100 ㎛의 원하는 두께로 상기 디스크를 얇게 할 수 있다. 얇게한 이후에 및/또는 폴리싱 이후에, 고체-상태 디스크의 제2 표면은 높은 평탄도(이상적으로 < 70 nm) 및 낮은 RMS 표면 거칠기(이상적으로 RMS< 0.8 nm)를 나타낸다.

[0036] 본 방법은 바람직하게는 펌프 소스로부터 광학 빔을 수용하도록 구성된 표면을 코팅하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 표면은 이후 효율적인 레이저 작동을 위한 반사-방지 코팅으로써 코팅될 수 있다. 코팅은 증발, 이온 보조, 이온 빔 스퍼터링 또는 마그네트론(magnetron) 스퍼터링과 같은 종래 수단에 의해 실행될 수 있다. 대안적으로, 반도체-기반 반사방지 코팅(AlGaAs/GaAs)이 또한 사용될 수 있다.

[0037] 다른 바람직한 실시예로서, 본 방법은 접합된 디스크 및/또는 베벨링의 측면-거칠기(side-roughening)를 더 포함한다. 측면-거칠기 및/또는 베벨링은 에지가 거칠게 때, 레이저 게인 매체로부터의 증폭된 자발적 방출(ASE)을 최소화한다. 표면 거칠기가 클수록 작은 반사 부위가 만들어져, 반사된 광에 대한 큰 회절 손실을 야기한다. ASE를 억제하는 다른 한 접근법은 얇은-디스크의 에지를 베벨처리하는 것이다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1A 및 1B는, 최신 기술에 따른 2개의 실시예를 나타낸 도면이다.

도 2는, 본 발명의 제1 실시예를 나타낸 도면이다.

도 3은, 반사 코팅을 형성하는 2개의 레이어를 포함한 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 4는, 반사 코팅을 형성하는 복수의 교대 레이어를 포함한 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 5는, 코팅 상부에 희생 레이어를 포함한 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 6은, 나노구조의 희생 레이어를 포함한 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 7은, 반사-방지 코팅을 포함한 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 8A 및 8B는, 본 발명에 따른 모듈을 나타낸 바람직한 실시예를 나타낸 도면이다.

도 9는, 고체-상태 레이저 시스템에서의 본 발명에 따른 레이저 증폭 모듈의 구현예를 나타낸 도면이다.

도 10A 및 10B는, 반사 코팅의 상부에서 희생 레이어의 두께가 변하는, 본 발명에 따른 실험예를 나타낸 도면이다.

도 11A는, 본 발명에 따른 비교 연구-예를 나타낸 도면이다.

도 11B는, 본 발명에 따른 비교 연구-다른 예를 나타낸 도면이다.

도 12는, 최신 기술에 따른 비교 연구-예를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039] 최신 기술과 비교하여, 고성능 반사기(>98%)를 형성하는 반사 코팅은 증착 방법에 의해, 특히 스퍼터링에 의해 고체-상태 디스크 상에 증착된다. 이는 과도한 고체-상태 디스크 곡률을 야기하는 코팅 내부의 고유 필름 응력을 유도한다. 고체-상태 디스크가 보다 얇고 탄성적이면, 보다 더 잘 구부러지게 된다. 그러나, 본 발명에 따라, 적어도 100 GPa의 영의 계수와 > 1mm의 두께를 갖는 히트 싱크는, 상기 히트 싱크가 기계적으로 강성이어서, 굽힘이 심하지 않고, PV 평탄도가 고체-상태 디스크와의 직접적인 접합을 위해 여전히 사용될 수 있거나 수정될 수 있다는 것을 보장한다.

[0040] 도 2는 본 발명에 따른 제1 실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다. 고체-상태 레이저 시스템용 모놀리식 레이저 증폭 모듈(1)이 도시되어 있다. 모듈(1)은 얇은 고체-상태 디스크(2)를 포함하며, 상기 디스크는 도프되거나 도프되지 않은 크리스탈(예를 들면, YAG, 사파이어, 실리케이트, 가넷, 바나데이트, 텅스텐산염, 또는 인산염 유리)과 같은 광학 게인 매체로부터 만들어지거나, 바람직하게는 레이저-활성 이온, 세라믹 재료, 또는 GaAs, InGaAs이나 GaN과 같은 반도체 재료로써 도프될 수 있다. 일반적으로, 레이저 설계에 관한 당업자는 게인 매체의 무슨 종류가 특별한 산업 적용에 적당하다는 것을 알고 있다. 고체-상태 디스크(2)는 2개의 표면을 갖는다. 제1 표면은 고체-상태 디스크 레이저의 펌핑 소스로부터의 펌프 빔과 같은 입사 빔(5)을 위한 평면으로서 사용된다. 펌프 빔은 다른 한 레이저 빔일 수 있다. 반대 표면(21)은, PV-평탄도 < 210 및 RMS < 2 nm가 달성되도록 처리된다. 이들 매개변수를 초래하는 처리는, 예를 들면, 어닐링, 폴리싱, 또는 기계 및/또는 화학처리 중 어느 하나이다. 표면(21)은 모놀리식 복합체(6)와의 직접적이고 영구적인 접합을 제공하도록 상기 언급된 매개변수로써 구성된다. 모놀리식 복합체(6)는 히트 싱크(3) 및 반사 코팅(4)을 포함한다. 모놀리식 복합체(6)는 PV-평탄도 < 210 nm 및 RMS < 2 nm이도록 처리되는 표면(61)을 구비한다. 직접적인 그리고 영구적인

접합은, 접착제나 금속 솔더와 같은 임의의 중간 접착 레이어 없이, 모놀리식 복합체(6)에 고체-상태 디스크(2)를 직접적으로 결합하게 한다. 이러한 접합은, 0.1 J/㎡, 바람직하게는 > 0.5 J/㎡의 강도를 제공한다. 히트 싱크(3)는, 적어도 100 W/m*K의 횡방향 열 전도율, 적어도 100 GPa, 바람직하게는 적어도 300 GPa의 영의 계수, 및 적어도 1 ㎜, 바람직하게는 적어도 2 ㎜의 히트 싱크의 두께를 갖는다. 히트 싱크는 다이아몬드, 질화 붕소, 실리콘, 실리콘 카바이드(SiC), 세라믹, 금속, 금속-다이아몬드 복합체, 금속-질화 붕소 복합체 또는 실리콘-다이아몬드 복합체로 만들어질 수 있다. 적어도 2 ㎜의 히트 싱크 두께는 코팅 공정 동안에 굽힘을 방지하며, 이는 도 11A, 11B 및 12에 따라 개시된 실험에 의해 증명될 수 있다. 모놀리식 복합체(6)는 히트 싱크(3)의 상부에 증착된 반사 코팅(4)을 더 포함한다. 반사 코팅(4)은, 화학 기상 증착, 스퍼터링, 증발, 화학 기상 증착, 또는 심지어 분자 빔 에피택시와 같은 결정 성장 기술과 같은 최신 기술의 증착 방법에 의해, 히트 싱크(3) 상에 증착될 수 있다. 반사 코팅은 고체-상태 디스크(2)를 통해 전파된 입사 빔(5), 특히 펌프 빔을 적어도 부분적으로 반사시키도록 구성된다. 반사 코팅(4)은 200 ㎚ 내지 10 ㎛ 범위의 파장을 갖는 빔을 반사시킨다. 반사 코팅은 황화 아연, 이산화 티타늄, 오산화 탄탈륨, 이산화 규소, 산화 하프늄, 갈륨 비소, 알루미늄 갈륨 비소 등의 그룹에서 선택될 수 있다. 반사 코팅(4)은 이에 따라 히트 싱크(3)와 고체-상태 디스크(2) 사이에서 샌드위치된다.

[0041] 도 3은 바람직한 실시예를 또한 나타내고 있으며, 이 실시예에서 반사 코팅(4)은 적어도 2개의 레이어(41 및 42)를 포함한다. 제1 레이어(41)는 약 3,97 굴절률을 갖는 Si로부터 만들어질 수 있고, 제2 레이어(42)는 약 1.46 굴절률을 갖는 SiO_2로부터 만들어질 수 있다.

[0042] 도 4는 다른 한 바람직한 실시예를 또한 나타내고 있으며, 이 실시예에서 반사 코팅(4)은 교번 굴절률을 갖는 재료의 복수의 레이어를 포함한다. 도 4에 도시된 일 실시예에 있어서, 4개의 반사 레이어가 선택된다. 제1 레이어(41)는 굴절률 n=2.1를 가질 수 있고, 제2 레이어는 굴절률 n=1.5을 가질 수 있고, 제3 레이어는 굴절률 n=2.1를 가질 수 있으며, 그리고 최상부 레이어(42)는 굴절률 n=1.5를 가질 수 있다. 다른 하나의 바람직한 실시예에 있어서, 세트의 교대 레이어가 특허문헌 EP 3076208로부터 채택될 수 있다.

[0043] 도 5는 다른 한 바람직한 실시예를 또한 나타내고 있으며, 이 실시예에서 모놀리식 복합체(6)는 반사 코팅의 상부에 제공되고 PV-평탄도 < 210 ㎚ 및 RMS < 2 ㎚를 갖는 표면을 구비한 희생 레이어(7)를 더 포함하여, 고체-상태 디스크(2)와의 직접적인 그리고 영구적인 접합이 설정될 수 있다. 희생 레이어(7)는 반사 코팅(4)의 보호를 위해 사용된다. 희생 레이어(7)는 바람직하게는 반사 코팅의 반사율을 10 % 미만으로 낮추는 재료로 만들어질 수 있다. 희생 레이어(7)는, 필요한 표면 지형, 특히 <210 ㎚ 보다 작은 PV-평탄도 및 RMS<2 ㎚ RMS 표면 거칠기, 바람직하게는 PV < 70 ㎚ 및 RMS < 0.8 ㎚에 도달하도록 폴리싱 처리될 수 있는, 특히 Al_2O_3, GaAs, AlGaAs, NiP 또는 포토레지스트 재료와 같은 임의의 금속의 임의의 산화물, SiO_2, Si_3N_4, HfO_2로부터 만들어질 수 있다. 90%에서 99.9%에 이르는 반사율은 특히 유리하다. 예를 들면 SiO_2로 만들어지고 407 ㎚의 두께를 갖는 적어도 하나의 희생 레이어는, Schlitz 등, Applied Optics 56 (4), C136-C139에 따른 실험 결과에 나타난 바와 같이 기저 멀티레이어 반사 코팅의 LIDT를 약 7배 만큼 증가시킬 수 있다.

[0044] 도 6은 필름 스택을 형성하는 반사 코팅(4)의 보호를 위한 복수의 희생 레이어(71, 72)를 포함한다. 복수의 희생 레이어(71, 72)는 모놀리식 레이저 증폭 모듈의 레이저-유도된 손상 임계치를 증대시키도록 구성될 수 있다. 더욱 바람직하게는, 필름 스택에서, 적어도 하나의 레이어가 패턴에 의한 마이크로구조나 나노-구조를 가질 수 있다. 패턴은 고체-상태 디스크의 기계적 및/또는 열적 특성을 증대시킨다. 패턴은 표면을 증대시키기 위하여 서로 맞춰지는(fit) 홈일 수 있다. 증가된 표면적은 보다 큰 열 전달을 제공할 수 있고, 이는 보다 우수한 레이저 안정성을 제공한다. 형상, 크기, 주기성에 의한 특별한 패턴이 리쏘그래피(lithography)와 같은 최신 방법에 의해 달성될 수 있다. 포개지는 홈(nesting groove)은 예를 들면, 직사각형 형상을 가질 수 있다. 나노 또는 마이크로 패턴은 희생 레이어의 개별 표면에, 희생 레이어를 직접적으로 접합하는데 사용되지 않는 반사 코팅의 표면에, 또는 코팅과 히트 싱크 사이의 경계면에 제공될 수 있다.

[0045] 도면에 도시되지 않은 일 실시예로서, 고체-상태 디스크(2)에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 모놀리식 복합체의 표면(61)은 PV< 70 ㎚의 평탄도를 갖는다. PV의 이러한 평탄도는 기계적, 화학적 또는 이온-보조 폴리싱과 같은 최신 방법에 의한 폴리싱으로써 달성될 수 있다.

[0046] 다른 한 실시예에 있어서, 고체-상태 디스크(2)에 직접적으로 그리고 영구적으로 접합된 모놀리식 복합체(6)의 표면(61)이 만곡된다. 곡률 반경은 >0.05 m일 수 있고, 더욱 바람직하게는 >0.5 m일 수 있다.

[0047] 또 다른 한 실시예에 있어서, 고체-상태 디스크(2)의 표면(21)과 모놀리식 복합체(6)의 표면(61)은 PV < 70 ㎚

및 RMS < 0.8 nm을 갖는다.

[0048] 다른 한 실시예에 있어서, 모놀리식 복합체(6)의 표면(61)은 만곡되고, 평탄도 PV < 210 nm 및 RMS < 2 nm가 모놀리식 복합체(6) 및 고체 디스크(2)의 만곡된 표면 상에 제공되며, 여기서 상기 만곡된 표면은, 상기 모놀리식 복합체의 총 표면의 일부로서, 예로서 모놀리식 복합체 총 표면의 80% 보다 크다. 따라서, 전체 경계면을 직접적으로 접합할 필요가 없다.

[0049] 다른 한 실시예에 있어서, 히트 싱크(3)는 감쇠 계수 > 1 cm^{-1}을 갖는 200 nm - 10 ㎛ 사이의 파장에 대해 투명하고 및/또는 레이저 파장에 대해 불투명하다.

[0050] 도 7은, 반사방지 코팅(22)이 투과를 증대시키고 원치않는 반사된 광의 양을 감소시키도록 사용되는 표면 상에 증착되는 실시예를 나타내고 있다.

[0051] 도면에 도시되지 않은 다른 한 실시예로서, 모듈(1)의 에지가 거칠게 되고 및/또는 베벨처리된다. 이러한 실시예는 레이저 게인 매체로부터의 최소 증폭된 자발 방출(ASE)의 최소화를 제공한다.

[0052] 도 8A 및 도 8B는 본 발명에 따른 2개의 예시적인 실시예의 특징의 조합을 도시하고 있다.

[0053] 도 9는 디스크 레이저의 일부로서 본 발명에 따른 모듈의 예시적인 구현을 나타내고 있다. 펌프 빔(5)은 렌즈(81)를 통해, 본 발명에 따른 모듈(1)로 나아가게 된다. 펌프 빔(5)의 일부가 모듈(1)에서 흡수되고 증폭되며, 일부의 빔은 빔이 미러(82)에서 반사되면 상기 빔을 상기 모듈(1)로 다시 반사시킨다. 증폭된 레이저 빔은, 상기 모듈(1)로부터, 레이저 빔(51)을 부분적으로 투과하고, 상기 레이저 빔을 상기 모듈(1)로 다시 적어도 부분적으로 반사시킬 수 있는 부분 반사 부재(83)로 방출된다.

[0054] 도 10A는 모듈(1)로써 실행된 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션은 상기 반사 코팅의 상부에서 희생 레이어(7)를 갖는 반사 코팅(4)의 일례의 반사율을 나타내고 있다. 여기서 반사 코팅은 SiO_2 및 Ta_2O_5(이에 대응하는 1.46 및 2.1의 굴절률을 갖는)의 교대 레이어로 이루어진다. 여기서 반사 코팅은 171,2 nm의 SiO_2 레이어 두께 및 119 nm의 Ta_2O_5 레이어 두께를 야기하는 1000 nm의 중앙 파장에 대해 설계된다. 99.9%의 고 반사율은 20개의 교대 레이어를 통해 달성된다. 반사 코팅의 상부에서, SiO_2 희생 레이어가 시뮬레이트된다. 도 10A는 희생 레이어의 상이한 두께부에서 코팅의 상이한 반사율의 거동을 나타내고 있다.

[0055] 도 10B는 희생 레이어 두께부의 두께에 대한 코팅의 반사율의 결과를 나타낸다. 코팅은 도 10A과 관련하여 동일한 방식으로 구성된다. 희생 레이어의 두께 만이 코팅의 최종 반사율 성능에 한계 효과(marginal effect)를 갖는다는 것이 나타나 있다. 이러한 사실에 기초하여, 희생 레이어는 표면 품질을 향상시키는데 사용될 수 있어, PV<210 nm 및 < 2 nm의 RMS 표면 거칠기를 설정한다.

[0056] 도 11A는 코팅된 히트싱크의 실험적 증거를 나타낸다. 이러한 실시예에서, 히트 싱크는 >300 GPa의 영의 계수, 및 12 mm의 직경과 2 mm의 두께를 갖는다. 히트 싱크는 PV< 70 nm의 평탄도와 RMS < 0.4 nm의 표면 거칠기로 먼저 폴리싱 처리된다. 평탄도 측정은 632.8 nm에서 작동하는 레이저 간섭계로써 실행된다. 표면 거칠기는 비접촉 모드에서 원자력 현미경으로써 측정된다. 상부에서 340 nm SiO_2 희생 레이어를 갖는, SiO_2/Ta_2O_5로 이루어진 대략적으로 4 ㎛의 총 두께의 고 반사율 코팅이, 1030 nm에 대해 >99.9%의 반사율을 제공하는 히트 싱크 상에 도포된다. 코팅은 구형 곡률을 유도한다. 측정된 PV 평탄도는 대략 130 nm이고, 표면 거칠기는 대략 RMS = 0.5 nm이도록 측정된다. 도 12에 개시된 바와 같이 최신 기술과 코팅 유도된 굽힘을 비교하면, 본 명세서에 기재된 발명은 거의 100 배 적은 굽힘을 제공한다. 130 nm의 PV 평탄도가 여전히 매우 큰 경우에, 희생 레이어는 공-증착될 수 있고(co-deposited), 이어서 필요한 표면 품질로 폴리싱 처리된다.

[0057] 도 11B는 폴리싱 처리된 희생 레이어를 갖는 코팅된 히트싱크의 실험적 증거를 나타내고 있다. 이러한 실시예에 있어서, 히트 싱크는 >300 GPa의 영의 계수 및, 12 mm의 직경과 2 mm의 두께를 갖는다. 히트 싱크는 PV< 70 nm의 평탄도 및 RMS < 0.4 nm의 표면 거칠기로 먼저 폴리싱 처리된다. 평탄도 측정은 632.8 nm에서 작동하는 레이저 간섭계로써 실행된다. 표면 거칠기는 비-접촉 모드에서 원자력 현미경으로써 측정된다. 상부에서 340 nm SiO_2 희생 레이어를 갖는 SiO_2/Ta_2O_5로 이루어진 대략적으로 총 두께 4 ㎛의 고 반사율 코팅이 1030 nm에 대해 >99.9%의 반사율을 제공하는 히트 싱크 상에 도포된다. 상부 희생 레이어는 이후 이온-빔 보조 폴리싱 방법을 통해 폴리싱 처리된다. 이러한 방법에 의해, <40 nm의 PV 평탄도와 <0.4 nm의 RMS 표면 거칠기를 갖는 표면이 달성될 수 있다. 도 12에 도시된 바와 같은 최신 기술에 의한 이온 보조 후-폴리싱 방법과 비교하여, 본 명

세서에 기재된 발명은 300 배 이상의 보다 우수한 표면 평탄도를 제공한다.

[0058] 다른 한편으로, 도 12는, 특히 특허문헌 EP 2 996 211와 같은 최신 기술에 따른 실험 결과를 나타내고 있으며, 이 특허문헌에서 200 ㎛ 두께의 고체-상태 디스크가 코팅된다. 곡률을 최소화하기 위하여, 응력-방지 코팅이 상기 디스크에 도포된다. 그럼에도 불구하고, 고체-상태 디스크가 PV = 10 ㎛에 이르기까지 과도하게 만곡된다는 것이 보여질 수 있다. 이러한 큰 굽힘은 상쇄(counteracting) 분자 력에 의한 접합 강도를 감소시킬 것이다. 지형은 고체-상태 디스크(파란색 라인)의 총 직경부를 가로질러 측정된다.

부호의 설명

[0059] 1 모놀리식 레이저 증폭 모듈 2 고체-상태 디스크

21 고체-상태 디스크의 표면 22 반사방지 코팅

3 히트 싱크 4 반사 코팅

41 제1 레이어 42 제2 레이어

5 입사 빔 6 모놀리식 복합체

61 모놀리식 복합체의 표면 7 희생 레이어

71 제1 희생 서브-레이어

711 희생 레이어 상의 나노 또는 마이크로 패턴

72 제2 희생 서브-레이어 81 렌즈

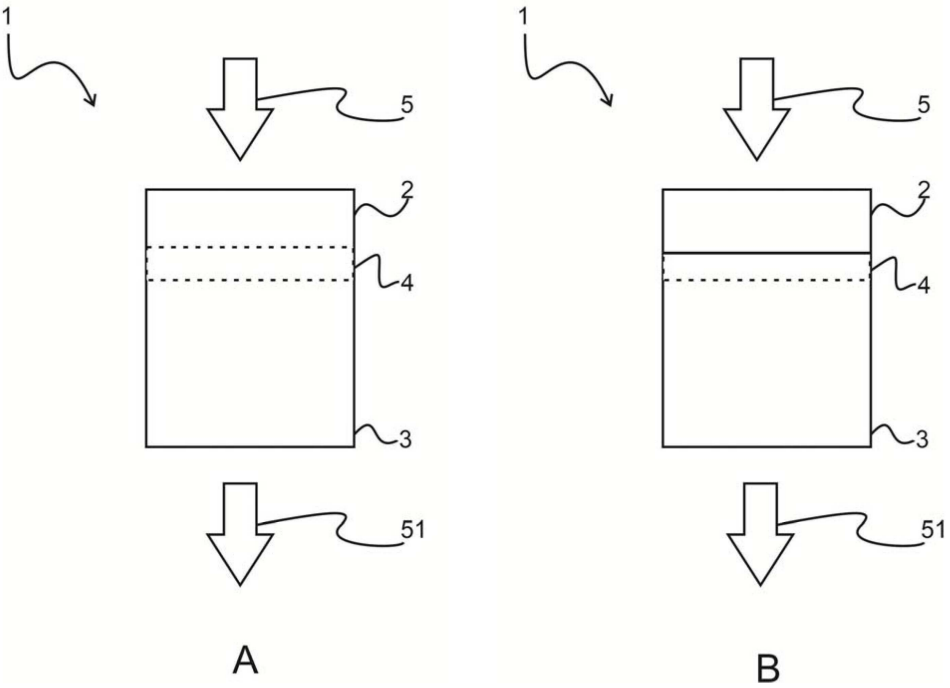
82 미러 83 부분 반사 부재

9 냉각

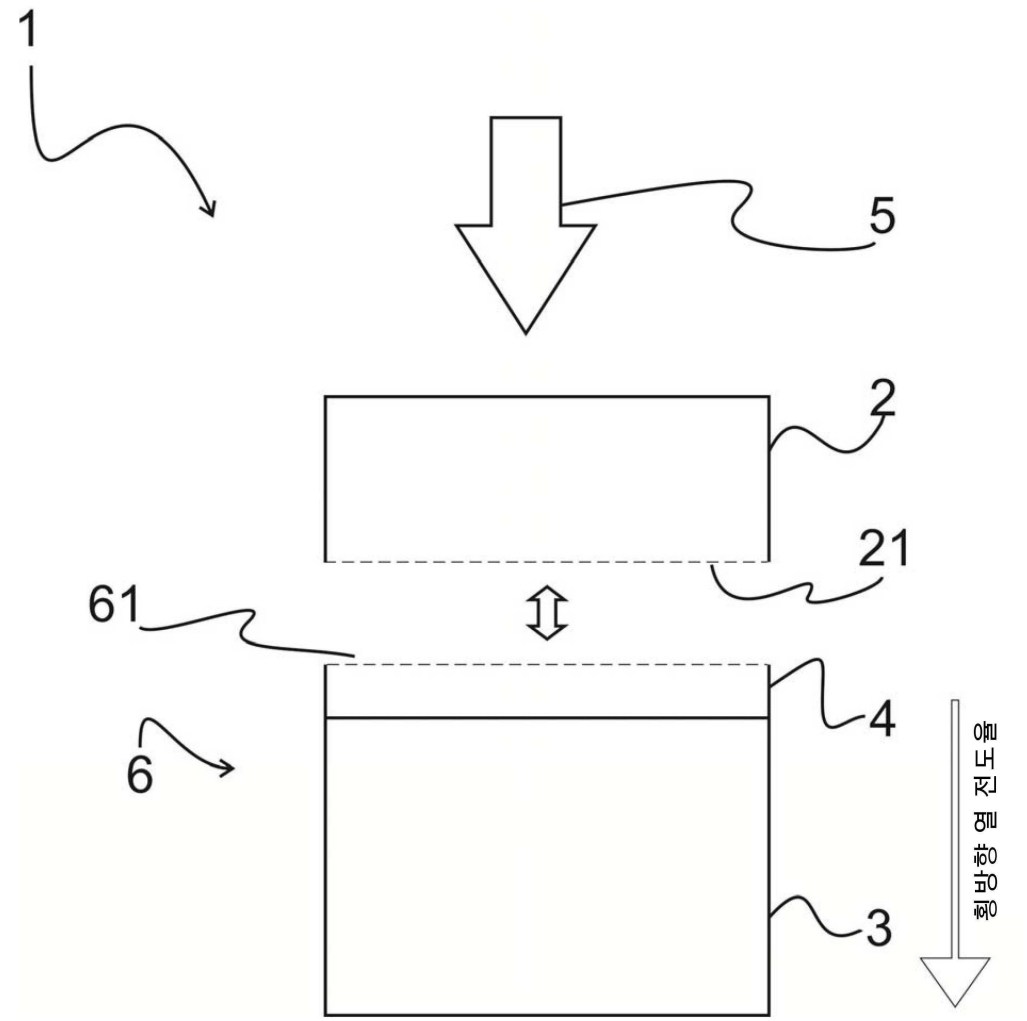
도면

도면1

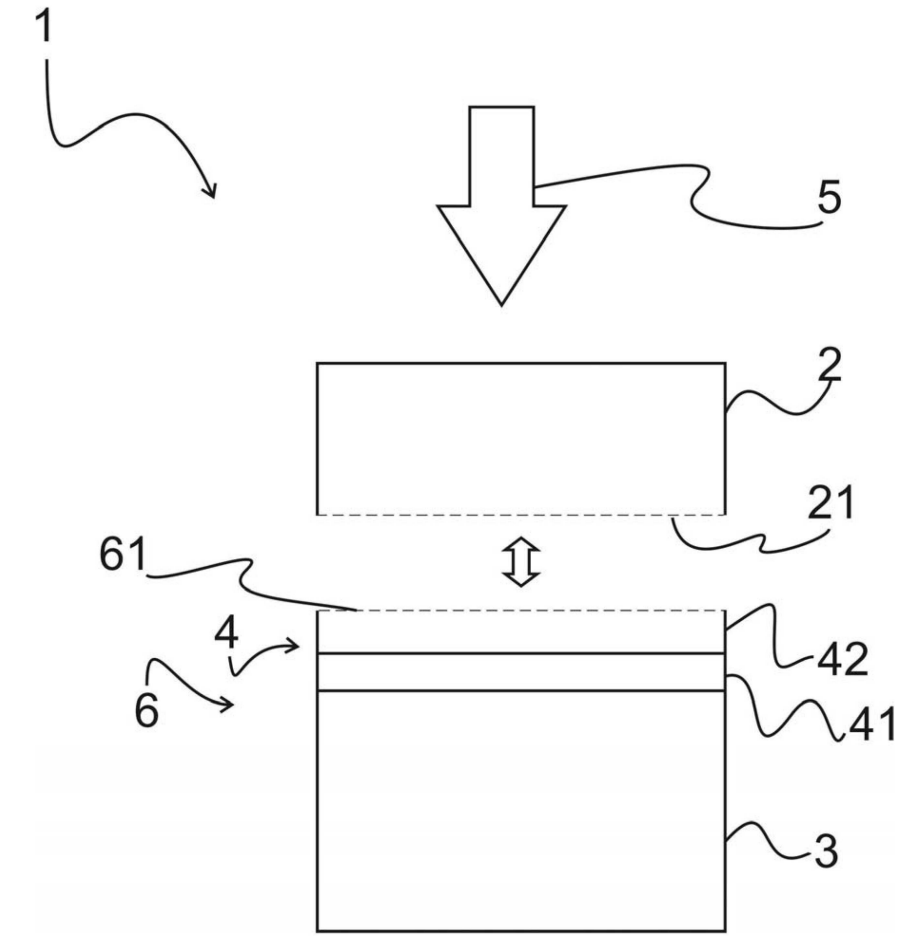
종래기술



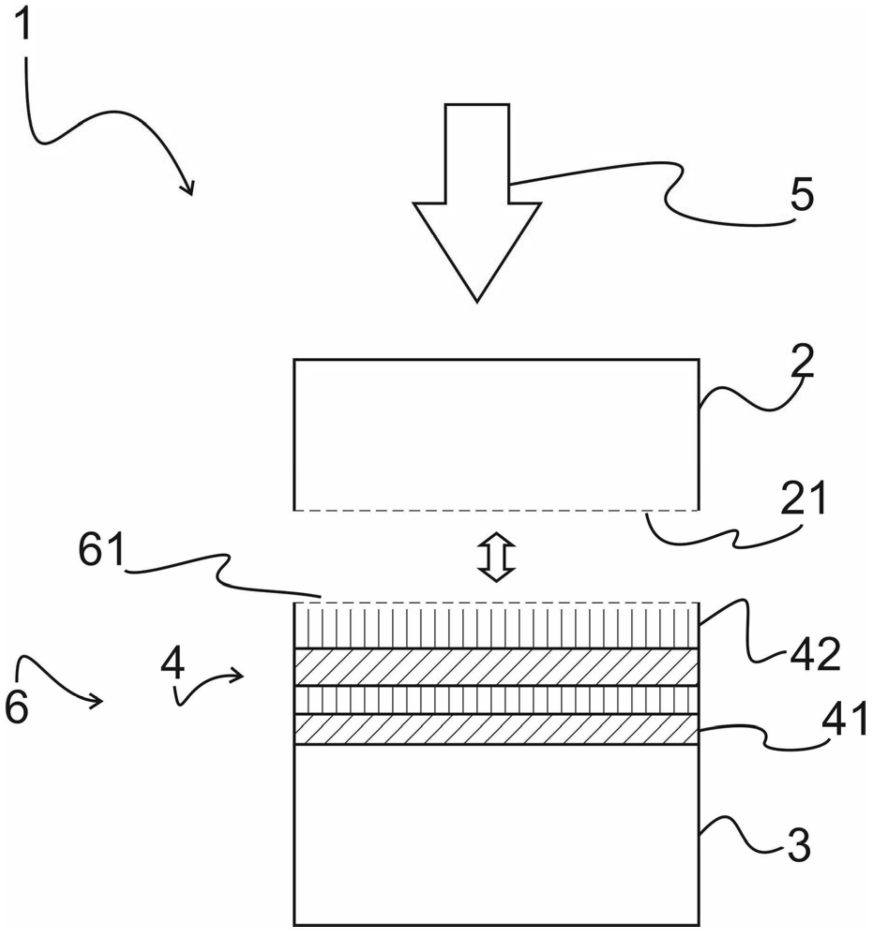
도면2



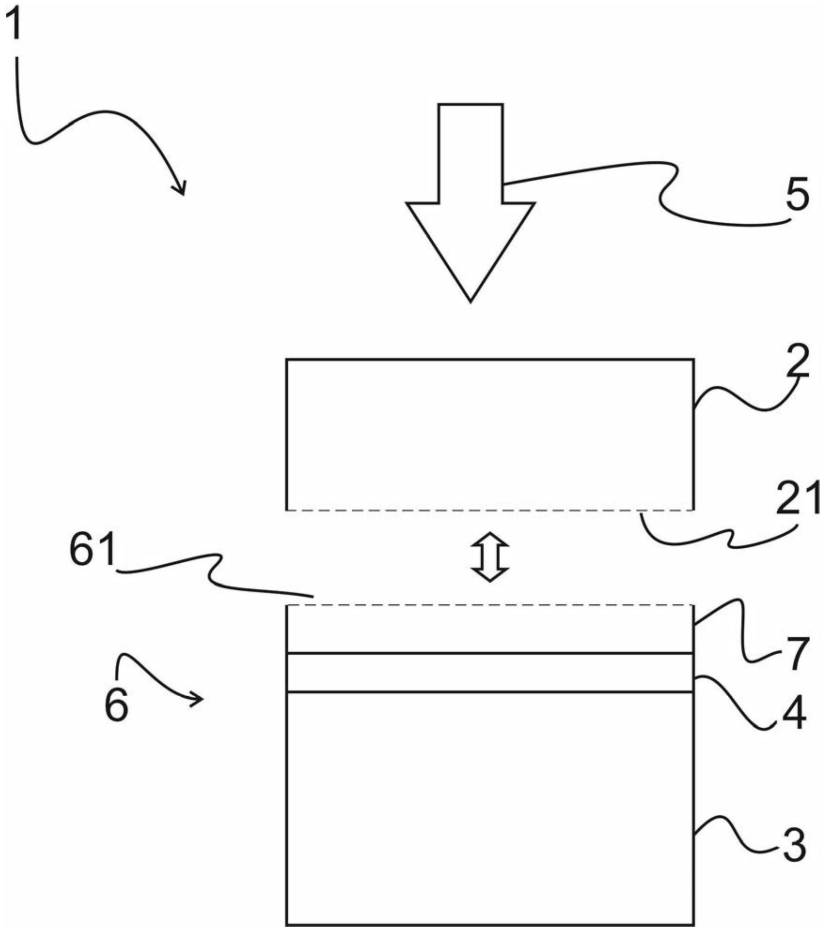
도면3



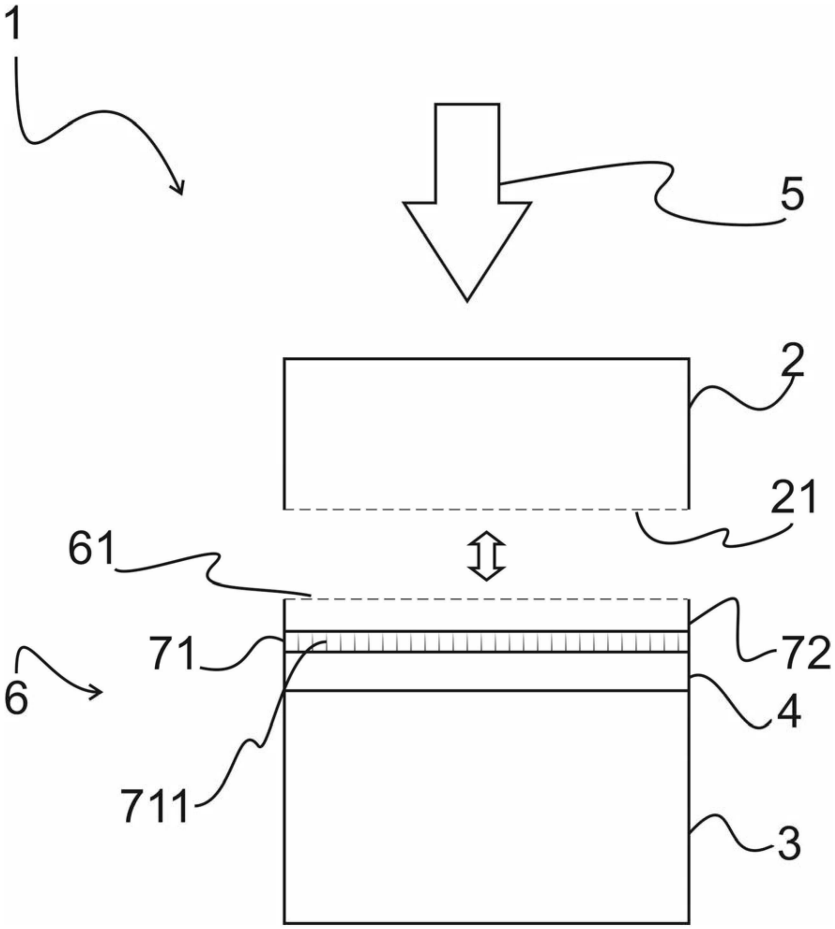
도면4



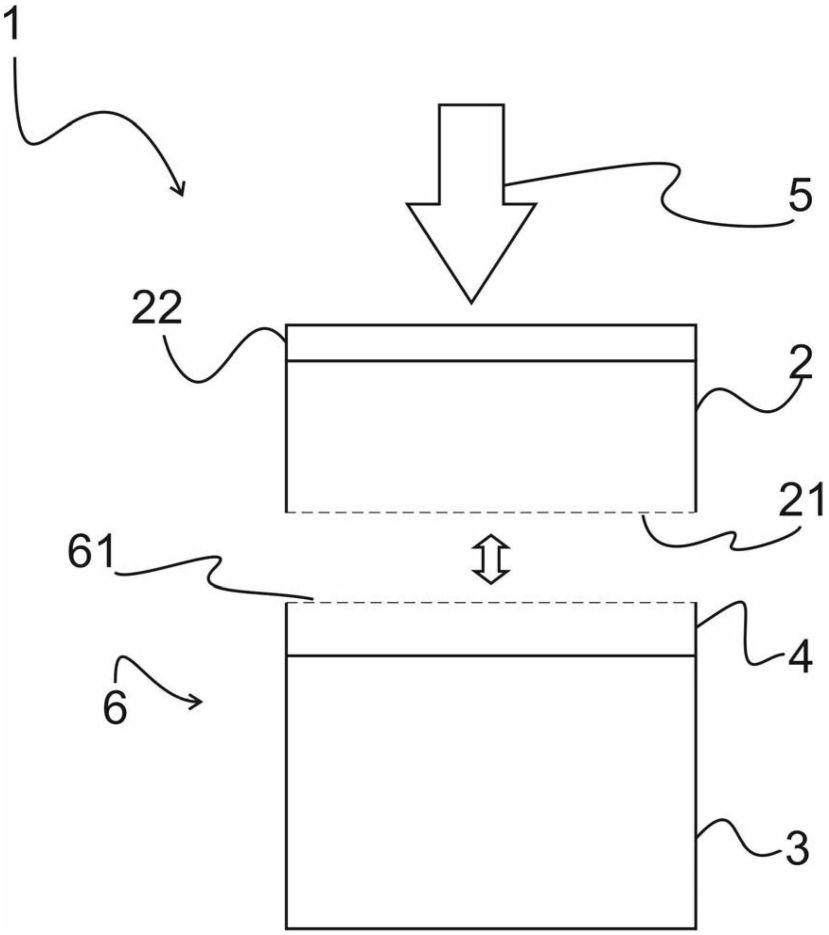
도면5



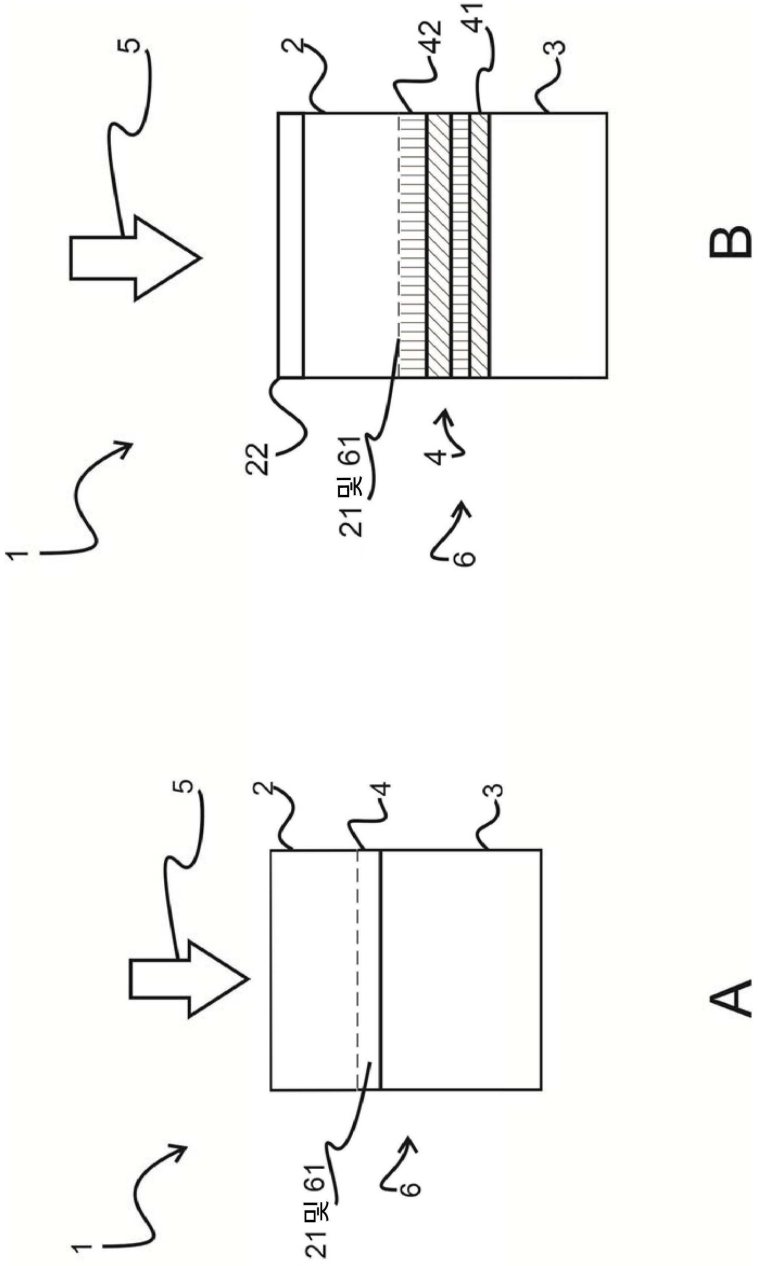
도면6



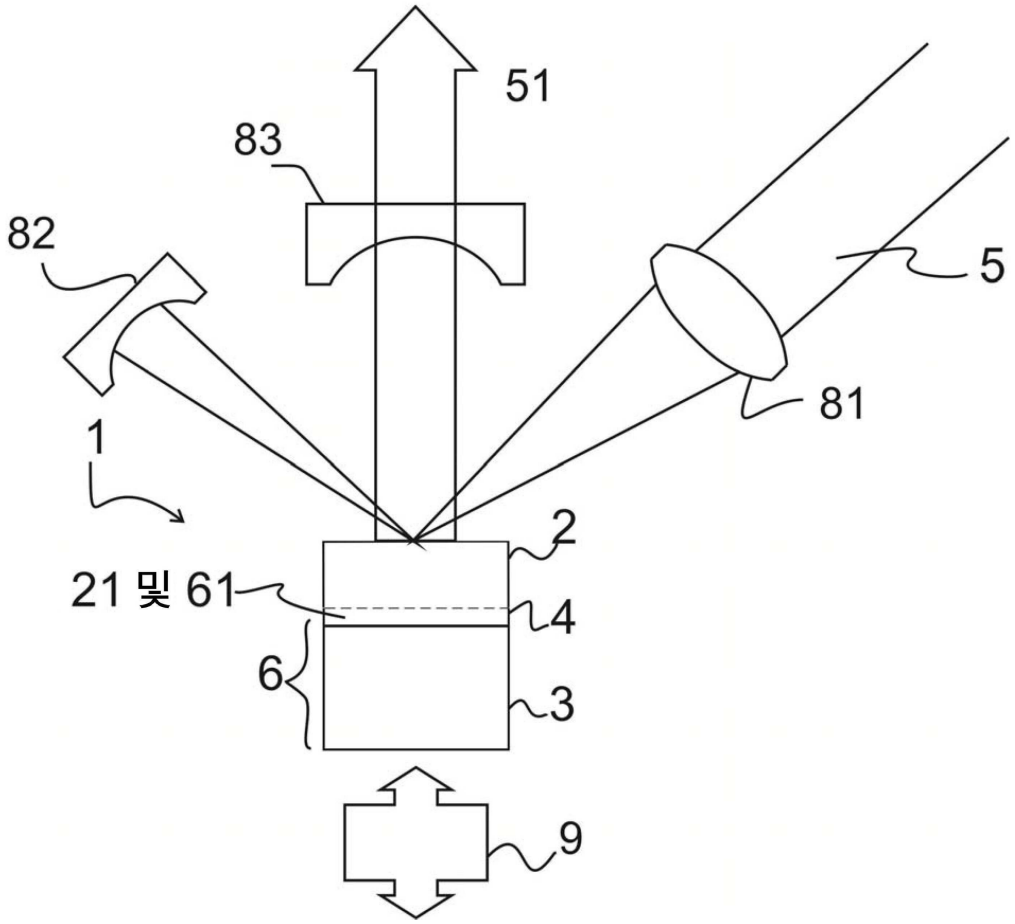
도면7



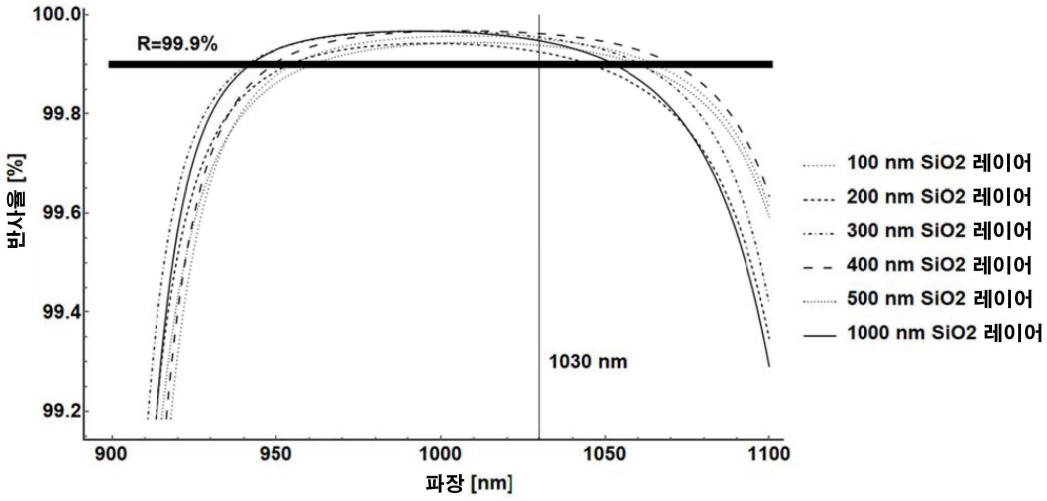
도면8



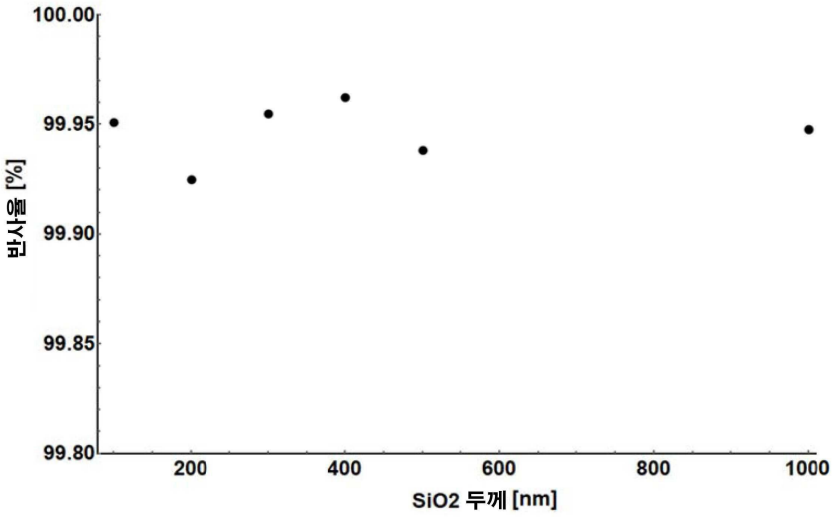
도면9


51
83
82
5
81
1
2
21 및 61
4
6
3
9

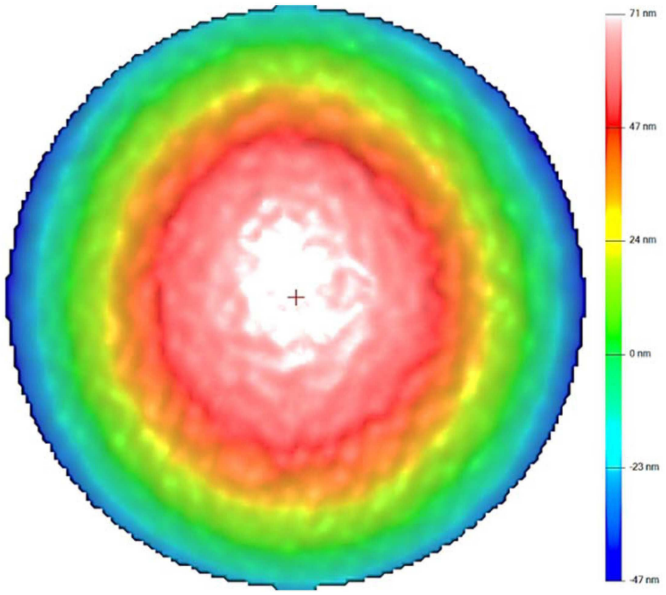
도면10a


100.0
99.8
99.6
99.4
99.2
R=99.9%
반사율 [%]
1030 nm
900
950
1000
1050
1100
파장 [nm]
100 nm SiO2 레이어
200 nm SiO2 레이어
300 nm SiO2 레이어
400 nm SiO2 레이어
500 nm SiO2 레이어
1000 nm SiO2 레이어

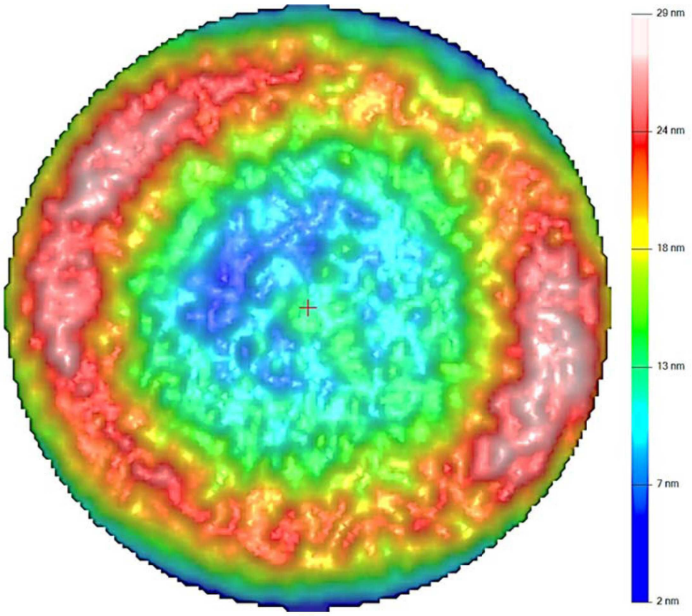
도면10b


100.00
99.95
99.90
99.85
99.80
반사율 [%]
200
400
600
800
1000
SiO2 두께 [nm]

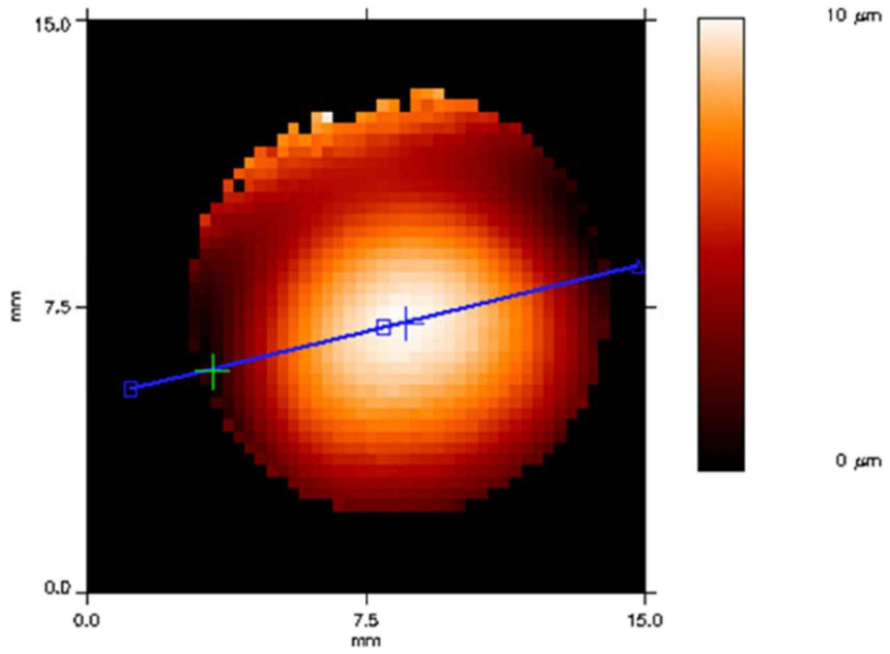
도면11a

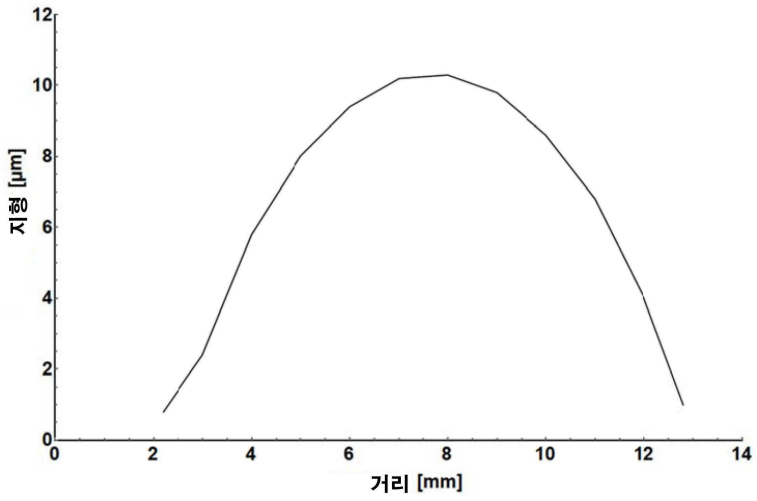

71 nm
47 nm
24 nm
0 nm
-23 nm
-47 nm

도면11b



도면12


15.0
7.5
0.0
mm
0.0
7.5
15.0
mm
10 μm
0 μm


12
10
8
6
4
2
0
지형 [μm]
0
2
4
6
8
10
12
14
거리 [mm]