



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년01월28일
(11) 등록번호 10-2357452
(24) 등록일자 2022년01월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 61/30 (2006.01) H01J 9/24 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 61/302 (2013.01)
H01J 9/247 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7022529
- (22) 출원일자(국제) 2015년02월27일
심사청구일자 2019년10월10일
- (85) 번역문제출일자 2016년08월18일
- (65) 공개번호 10-2016-0125961
- (43) 공개일자 2016년11월01일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2015/055925
- (87) 국제공개번호 WO 2015/129882
국제공개일자 2015년09월03일
- (30) 우선권주장
JP-P-2014-037979 2014년02월28일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP09124400 A*
JP2000128696 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
가부시키가이샤 니콘
일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 15반 3고
- (72) 발명자
우에하라 나오야스
일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 15반 3고 가
부시키가이샤 니콘 지테크자이산훈부 나이
가게야마 모토후사
일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 15반 3고 가
부시키가이샤 니콘 지테크자이산훈부 나이
- (74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 28 항

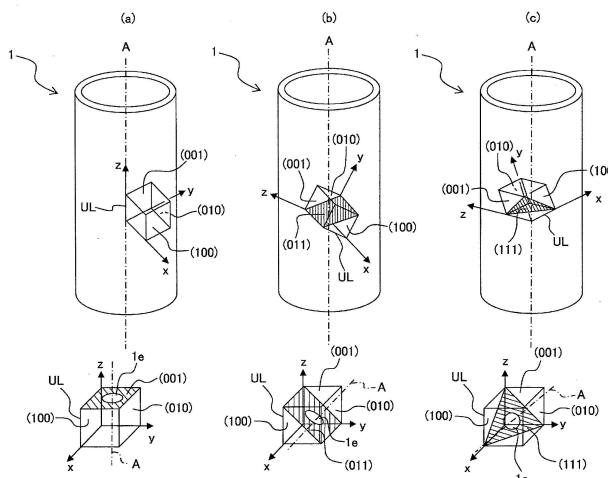
심사관 : 이별섭

(54) 발명의 명칭 불화칼슘 광학 부재, 그 제조 방법, 기체 유지 용기 및 광원 장치

(57) 요약

고온 또한 고압하에 있어서도 확실하게 사용할 수 있는 CaF₂ 단결정 광학 부재를 제공한다. 불화칼슘 광학 부재 (1) 는, 단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 갖는다. 단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면이, 상기 통의 중심축 (A) 에 직교하고 있다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

불화칼슘 광학 부재로서,
단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 가지며,
단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면이, 상기 통의 중심축에 직교하고 있는, 불화칼슘 광학 부재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 통상은 원통상인, 불화칼슘 광학 부재.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
단결정 불화칼슘의 {110} 결정면이, 상기 통의 중심축에 직교하고 있는, 불화칼슘 광학 부재.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 불화칼슘 광학 부재는, 내부에 기체를 밀봉하는 기체 밀봉용 용기인, 불화칼슘 광학 부재.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
광원용 부재로서 사용되는, 불화칼슘 광학 부재.

청구항 6

불화칼슘 광학 부재의 제조 방법으로서,
단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면의 방향을 특정하는 것과,
상기 단결정 불화칼슘을 통상으로 깎아 내는 것을 갖고,
상기 깎아 내는 것은, 상기 통의 중심축과, 상기 특정한 {110} 결정면 또는 {111} 결정면의 방향이 서로 직교하도록 실시되는, 불화칼슘 광학 부재의 제조 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 통상은 원통상인, 불화칼슘 광학 부재의 제조 방법.

청구항 8

불화칼슘 부재로서,
단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 가지며,
단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면과 상기 통의 연신 방향이 교차하는 각도가 $90^\circ \pm 5^\circ$ 의 범위인, 불화칼슘 부재.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면과 상기 통의 연신 방향이 교차하는 각도가 90 ° 인, 불화칼슘 부재.

청구항 10

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 통상 불화칼슘 부재의 연신 방향이 상기 통의 중심축의 방향인, 불화칼슘 부재.

청구항 11

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 불화칼슘 부재는, 내부에 기체를 밀봉하는 기체 밀봉용 용기인, 불화칼슘 부재.

청구항 12

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 통상은 원통상인, 불화칼슘 부재.

청구항 13

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 불화칼슘 광학 부재와,

상기 통상의 불화칼슘 광학 부재에 연결되어 상기 통상의 불화칼슘 광학 부재의 내부에 폐공간을 형성하는 봉지 부재를 갖는, 기체 유지 용기.

청구항 14

제 8 항 또는 제 9 항에 기재된 불화칼슘 부재와,

상기 통상의 불화칼슘 부재에 연결되어 상기 통상의 불화칼슘 부재의 내부에 폐공간을 형성하는 봉지 부재를 갖는, 기체 유지 용기.

청구항 15

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 불화칼슘 광학 부재와,

상기 통상의 불화칼슘 광학 부재에 연결되어 상기 통상의 불화칼슘 광학 부재의 내부에 폐공간을 형성하는 봉지 부재와,

상기 폐공간에 유지된 기체에 대해 그 기체를 여기하기 위한 에너지를 부여하는 기체 여기부를 갖는, 광원 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 불화칼슘 광학 부재의 내부에서 상기 기체 여기부에 의해 여기된 여기광을 집광하는 집광부를 갖는, 광원 장치.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 기체 여기부는, 상기 불화칼슘 광학 부재의 내부의 폐공간에 형성된 전극을 포함하는, 광원 장치.

청구항 18

제 8 항 또는 제 9 항에 기재된 불화칼슘 부재와,

상기 통상의 불화칼슘 부재에 연결되어 상기 통상의 불화칼슘 부재의 내부에 폐공간을 형성하는 봉지 부재와,

상기 폐공간에 유지된 기체에 대해 그 기체를 여기하기 위한 에너지를 부여하는 기체 여기부를 갖는, 광원 장치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 불화칼슘 부재의 내부에서 상기 기체 여기부에 의해 여기된 여기광을 집광하는 집광부를 갖는, 광원 장치.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 기체 여기부는, 상기 불화칼슘 부재의 내부의 폐공간에 형성된 전극을 포함하는, 광원 장치.

청구항 21

불화칼슘 부재로서,

상기 불화칼슘 부재는, 제 1 방향으로 장척의 형상을 갖고,

단결정 불화칼슘의 {110} 결정면과 상기 제 1 방향이 교차하는 각도가 $90^\circ \pm 5^\circ$ 의 범위인, 불화칼슘 부재.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

단결정 불화칼슘의 {110} 결정면과 상기 제 1 방향이 교차하는 각도가 90° 인, 불화칼슘 부재.

청구항 23

제 21 항 또는 제 22 항에 있어서,

상기 불화칼슘 부재의 형상은 중공체이고,

상기 중공체의 중심축은, 상기 제 1 방향과 평행인, 불화칼슘 부재.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 중공체는, 원통상인, 불화칼슘 부재.

청구항 25

제 21 항 또는 제 22 항에 있어서,

상기 불화칼슘 부재는, 내부에 기체를 밀봉하는 기체 밀봉용 용기인, 불화칼슘 부재.

청구항 26

제 21 항 또는 제 22 항에 기재된 불화칼슘 부재와,

상기 불화칼슘 부재에 연결되어 상기 불화칼슘 부재의 내부에 폐공간을 형성하는 봉지 부재와,

상기 폐공간에 유지된 기체에 대해 그 기체를 여기하기 위한 에너지를 부여하는 기체 여기부를 갖는, 광원 장치.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 불화칼슘 부재의 내부에서 상기 기체 여기부에 의해 여기된 여기광을 집광하는 집광부를 갖는, 광원 장치.

청구항 28

제 26 항에 있어서,

상기 기체 여기부는, 상기 불화칼슘 부재의 내부의 폐공간에 형성된 전극을 포함하는, 광원 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 불화칼슘 광학 부재, 그 제조 방법, 기체 유지 용기 및 광원 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 불화칼슘 단결정의 광학 부재와 그 제조 방법, 불화칼슘 단결정의 광학 부재를 포함하는 기체 유지 용기 및 광원 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 불화칼슘 (CaF₂, 형석) 단결정은, 진공 자외 영역에서 적외 영역에 걸친 넓은 파장 영역의 광에 대해 높은 투과율을 갖고 있다. 그 때문에 CaF₂ 단결정은 광학 부재로서 널리 사용되고 있고, 예를 들어, 엑시머 램프의 발광관의 재료로서 사용되고 있다 (특허문헌 1).

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2009-163965호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] CaF₂ 단결정에 의해 형성된 광학 부재는, 온도나 압력이 상이한 여러 가지 환경하에서 사용되지만, 고온, 고압의 환경하에 있어서는, 강도가 충분하지 않은 것을 알고 있다. 그 때문에, 광학 부재의 용도나 환경에 따라서는, CaF₂ 단결정에 의해 형성된 광학 부재가 적합하지 않은 경우가 있었다.

[0005] 그래서 본 발명은, 상기 과제를 해결하는 것을 목적으로 하고, 고온 또한 고압하에 있어서도 확실하게 사용할 수 있는 CaF₂ 단결정 광학 부재, 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 제 1 양태에 따르면,

[0007] 불화칼슘 광학 부재로서,

[0008] 단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 가지며,

[0009] 단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면이, 상기 통의 중심축에 직교하고 있는 불화칼슘 광학 부재가 제공된다.

[0010] 본 발명의 제 2 양태에 따르면,

[0011] 불화칼슘 광학 부재의 제조 방법으로서,

[0012] 단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면의 방향을 특정하는 것과,

[0013] 상기 단결정 불화칼슘을 통상으로 깎아 내는 것을 갖고,

[0014] 상기 깎아 내는 것은, 상기 통의 중심축과, 상기 특정한 {110} 결정면 또는 {111} 결정면의 방향이 서로 직교하

도록 실시되는 불화칼슘 광학 부재의 제조 방법이 제공된다.

- [0015] 본 발명의 제 3 양태에 따르면,
- [0016] 불화칼슘 부재로서,
- [0017] 단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 가지며,
- [0018] 단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면과 상기 통의 연신 방향이 교차하는 각도가 $90^\circ \pm 5^\circ$ 의 범위인 불화칼슘 부재가 제공된다.
- [0019] 본 발명의 제 4 양태에 따르면,
- [0020] 불화칼슘 부재로서,
- [0021] 단결정 불화칼슘으로 형성되고 또한 통상의 형상을 가지며,
- [0022] 단결정 불화칼슘의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면과 상기 통의 연신 방향이 90° 에 가까운 각도로 교차하는 불화칼슘 부재가 제공된다.

발명의 효과

- [0023] 본 발명에 의하면, 고온 또한 고압의 환경하에 있어서도 충분한 강도를 갖는 CaF₂ 단결정 광학 부재, 및 그 제조 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1 은, 본 발명의 실시형태에 관련된 광학 부재의 사시도이다.
- 도 2 는, 시뮬레이션에 있어서의 위치 구속 조건 및 하중 조건을 나타내는 설명도이다.
- 도 3(a) ~ 3(c) 는, 광학 부재와 CaF₂ 단결정의 단위 격자 (입방 격자) 의 위치 관계, 및 광학 부재와 단위 격자의 주축 x, 주축 y, 주축 z 의 위치 관계를 나타낸다.
- 도 4 는, 시뮬레이션에서 사용하는 탄성 스티프니스의 값이다.
- 도 5 는, 각 해석에마다의 해석 조건, 및 해석 결과를 나타낸다.
- 도 6 은, CaF₂ 단결정의 임계 분해 전단 응력 (CRSS) 과 온도의 관계를, 결정면마다 나타내는 그래프이다.
- 도 7 은, 본 발명의 실시형태에 관련된 광원 장치의 개략도이다.
- 도 8 은, 본 발명의 다른 실시형태에 관련된 광원 장치의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] <제 1 실시형태>
- [0026] 도 1 ~ 도 6 을 참조하여, 본 발명의 제 1 실시형태에 대해 설명한다.
- [0027] 본 실시형태의 광학 부재 (1) 는, 도 1 에 나타내는 바와 같이, 중심축 (회전축) (A) 을 갖는 원통상의 CaF₂ 관이다. 광학 부재 (1) 는 CaF₂ 단결정에 의해 형성되어 있고, CaF₂ 단결정의 {110} 결정면 또는 {111} 결정면이, 중심축 (A) 과 직교하는 방향에 존재하고 있다. 광학 부재 (1) 의 외표면 (1o), 내표면 (1i), 및 단면 (端面) (1e) 에는, 각각 광학 연마가 실시되어 있다. 이하, {110} 결정면, {111} 결정면 등은, 간단히 {110} 면, {111} 면 등으로 기재한다.
- [0028] 또한, 본 명세서에 있어서 「CaF₂ 단결정」 이란, 하나의 결정으로 이루어지는 문자 그대로의 단결정뿐만 아니라, 2 개 이상의 셀 수 있는 정도의 수의 결정으로 이루어지는 CaF₂ 결정으로서, 문자 그대로의 CaF₂ 단결정과 동일한 정도의 광학 특성을 구비하는 CaF₂ 결정도 포함하는 것으로 한다. 또 본 명세서에 있어서 「축 (중심축, 회전축) 과 직교하고 있는 면」, 「축 (중심축, 회전축) 과 직교하여 존재하는 면」 이란, 축과 직교하는 (90° 의 각도로 교차하는) 면 (「직교면」) 뿐만 아니라, 직교면을, 당해 직교면 내에 포함되고 또한 당해 축과 교차

하는 임의의 축 둘레로, 임의의 회전 방향으로, 약 5° 이하의 각도만큼 회전시킨 면 (90° ± 5° 의 각도로 축과 교차하는 면) 도 포함되는 것으로 한다.

[0029] 광학 부재 (1) 는 여러 가지 분야에서 사용할 수 있지만, 예를 들어 반도체 제조 장치의 분야에서는, 노광 장치의 광원, 웨이퍼 검사 장치의 광원 등에 있어서 사용할 수 있다. 이 경우에는, 일례로서, 광학 부재 (1) 의 양측의 단면 (1e) 의 개구 (1a) 의 적어도 일방으로부터, 광학 부재 (1) 의 내측에 기체를 공급한 후, 양측의 단면 (1e) 의 개구 (1a) 에 도시 생략된 덮개를 부착하여, 기체를 밀봉한다. 그리고 내측에 기체가 밀봉된 광학 부재 (1) 를 임의의 유지 부재 (도시 생략) 에 의해 유지한다. 이 상태에서 밀봉된 기체에 적외선 등의 여기광을 조사하여 기체 원자 (기체 분자) 를 플라즈마 상태에 이르게 함으로써, 내표면 (1i) 및 외표면 (1o) 을 개재하여, 광학 부재 (1) 의 외부에 플라즈마광을 추출할 수 있다.

[0030] 본 발명자는, 원통 형상의 광학 부재 (1) 의, 내부에 수용되는 기체의 가스압 (내압) 에 대한 강도, 즉 내압성 또는 내구성인, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF₂ 단결정의 결정면의 배치에 의존하는 것을 알아내어, 이하의 시물레이션 (유한 요소 해석) 에 의해, 광학 부재 (1) 의 내압에 대한 강도를 가장 높일 수 있는 결정면 배치를 특정하였다.

[0031] <해석 대상>

[0032] 시물레이션에 있어서의 해석 대상은, 도 1 에 나타난 원통 형상의 광학 부재 (1) 이다. 시물레이션에 있어서는, 광학 부재 (1) 의 치수는, 외경을 30 mm, 내경을 25 mm, 중심축 (A) 방향의 길이를 50 mm 로 설정하였다. 또, 시물레이션에 있어서는, 광학 부재 (1) 는 1 개의 결정으로 이루어지는 좁은 의미의 CaF₂ 단결정에 의해 형성되어 있는 것으로 하였다.

[0033] <해석 조건>

[0034] 시물레이션에 있어서는, 상기 치수의 광학 부재 (1) 를 대상으로 하여, 이와 같은 광학 부재 (1) 에 내압이 발생했을 때, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 값을 해석하였다. 먼저, 본 시물레이션에서 해석을 실시한 9 가지 방법의 해석예 (해석예 1 ~ 9) 의 각 해석 조건에 대해 설명한다.

[0035] 다음 해석 조건은, 모든 해석예에 있어서 동일하다.

[0036] (1) 위치 구속 조건

[0037] 해석예 1 ~ 9 전부에 있어서, 도 1, 도 2 에 나타내는 바와 같이, 광학 부재 (1) 의 단면 (1e) 을 포함하는 면과 중심축 (A) 의 교점에 가상 구속점 (VC) 을 설정하고, 이 가상 구속점 (VC) 의 위치를 구속함으로써, 광학 부재 (1) 의 가상 구속점 전체 구속을 실시하였다. 이로써 광학 부재 (1) 를, 하중에 따른 형상 변화에 관해서는 전혀 규제를 받지 않고 자유롭게 변형하는 것이 가능한 상태이고, 또한 하중을 받아 전체의 위치가 시프트되지 않도록 걸린 상태에서 구속하였다.

[0038] (2) 하중 조건

[0039] 해석예 1 ~ 9 전부에 있어서, 광학 부재 (1) 의 내측을 30 atm 으로 설정하고, 이로써 광학 부재 (1) 가, 반경 방향의 압력 (P) (도 2) 을, 원주 방향에 있어서 균등하게 받는 것으로 하였다.

[0040] 다음 해석 조건은 해석예마다 상이한 것으로 하였다.

[0041] (3) 결정면 배치

[0042] 본 해석에 있어서는, 다음 3 가지 방법의 결정면 배치를 갖는 광학 부재 (1) 를 해석 대상으로 하였다.

[0043] 배치 I : 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {100} 면이 존재한다 (해석예 1 ~ 3. 도 3(a)).

[0044] 배치 II : 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {110} 면이 존재한다 (해석예 4 ~ 6. 도 3(b)).

[0045] 배치 III : 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {111} 면이 존재한다 (해석예 7 ~ 9. 도 3(c)).

[0046] 배치 I ~ III 에 대해, 도 3 을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 도 3(a) ~ 3(c) 의 상측에는, 광학 부재 (1) 를 기준으로 하여, 광학 부재 (1) 에 대한 CaF₂ 단결정의 단위 격자 (입방 격자) (UL) 및 단위 격자 (UL) 의 주축 x, 주축 y, 주축 z 의 배치를 나타내고, 동(同) 도면의 하측에는, CaF₂ 단결정의 단위 격자 (UL) 를 기준으로 하여, 단위 격자 (UL) 에 대한 광학 부재 (1) 의 배치를 나타낸다. 각 도면의 상하는 서로 대응하고 있고, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 의 방향과, 단위 격자 (UL) 의 주축 x, 주축 y, 주축 z 의 방향의 관계는, 도 3(a) ~ 3(c) 의 상하에서 각각 동일하다. 또한, 편의상, 도 3(a) ~ 3(c) 의 상측에 있어서는, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 이 주축 x, y, z 의 원점을 지나는 것으로 하여 그렸다. 동 도면의 하측에 있어서는, 광학 부재 (1) 의 배치는, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 단면 (1e) 의 윤곽에 의해서만 나타나 있다.

[0047] 배치 I 에 있어서는, 도 3(a) 에 나타내는 바와 같이, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {100} 면 중 하나인 (001) 면이 존재한다. 이 때, 단위 격자 (UL) 의 주축 z 와 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 은 일치하고 있다. 또, 주축 x, 주축 y 는, 중심축 (A) 과 직교하는 면 내에 존재하고 있다.

[0048] 배치 II 에 있어서는, 도 3(b) 에 나타내는 바와 같이, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {110} 면 중 하나인 (011) 면이 존재한다. 또한, 도 3(b) 에 있어서의 단위 격자 (UL) 는, 도 3(a) 에 있어서의 단위 격자 (UL) 를, 주축 x 를 중심으로 주축 y 의 정방향으로부터 주축 z 의 정방향을 향하여 45° 회전한 위치에 배치되어 있다. 즉, 도 3(b) 에 있어서는, 단위 격자 (UL) 의 주축 x 는 중심축 (A) 과 직교하는 면 내에 존재하고 있고, 단위 격자 (UL) 의 주축 y, z 는 각각, 주축 y 와 주축 z 에 의해 구획되는 면 내에 있어서, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 에 대해 45° 경사져 있다.

[0049] 배치 III 에 있어서는, 도 3(c) 에 나타내는 바와 같이, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로, CaF₂ 단결정의 {111} 면 중 하나인 (111) 면이 존재한다. 또한, 도 3(c) 에 있어서의 단위 격자 (UL) 의 배치는, 도 3(a) 에 있어서의 단위 격자 (UL) 를, 주축 x 를 중심으로 주축 y 의 정방향으로부터 주축 z 의 정방향을 향하여 54.7359° 회전한 후, 회전 후의 주축 z 를 중심으로 주축 x 의 정방향으로부터 주축 y 의 정방향을 향하여 45° 회전함으로써 얻어진다. 이 때문에, 도 3(c) 에 있어서는, 단위 격자 (UL) 의 주축 x, y, z 는 모두 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하는 면 내에는 없고, 각각 중심축 (A) 에 대해 소정각만큼 경사져 있다.

[0050] (4) 재료 물성

[0051] 본 해석에 있어서는, 다음의 3 가지 방법의 재료 물성을 갖는 광학 부재 (1) 를 해석 대상으로 하였다.

[0052] 재료 물성 I : 직교 이방성 재료로, 그 온도가 25 °C 인 광학 부재 (1) (해석예 1, 4, 7).

[0053] 재료 물성 II : 직교 이방성 재료로, 그 온도가 100 °C 인 광학 부재 (1) (해석예 2, 5, 8).

[0054] 재료 물성 III : 직교 이방성 재료로, 그 온도가 200 °C 인 광학 부재 (1) (해석예 3, 6, 9).

[0055] 광학 부재 (1) 가 직교 이방성을 갖는 점은 재료 물성 I ~ III 에 있어서 공통되어 있다. 이것은 CaF₂ 단결정이 직교 이방성 재료이기 때문이다. 또 CaF₂ 단결정은 입방정계 단결정체이고, 따라서 해석에 사용되는 구성식 중의 탄성 매트릭스는, 재료 물성 I ~ III 전부에 있어서 하기 식 (1) 이 된다.

[0056] [수학식 1]

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ & & & C_{44} & 0 & 0 \\ \text{sym} & & & & C_{44} & 0 \\ & & & & & C_{44} \end{bmatrix} \dots \text{식 (1)}$$

[0057]

- [0058] 여기서, C_{11} , C_{12} , C_{44} 는, 각각 탄성 스티프니스 [GPa] 이다.
- [0059] 한편으로, 식 (1) 에 포함되는 각 탄성 스티프니스의 값은, 온도마다 상이하고, 즉 재료 물성 I ~ III 에서 각각 상이하다. 본 해석에 사용한 탄성 스티프니스 C_{11} , C_{12} , C_{44} 의 값을 도 4 에 나타낸다. 이들 값은, JIS R 1602 의 「과인 세라믹스의 탄성률 시험 방법」 "동적 탄성률 시험 방법 초음파 펄스법" 에 준거하여 CaF_2 단결정 내를 통과하는 초음파의 음속 [m/s] 을 측정하고, 이 측정값을 사용하여 산출한 것이다. 재료 물성 I 의 조건하에 있어서 해석을 실시하는 경우에는, 도 4 중 25 °C 의 란에 기재된 탄성 스티프니스 C_{11} , C_{12} , C_{44} 를 식 (1) 에 적용하여 해석이 실시된다. 동일하게, 재료 물성 II, III 의 조건하에 있어서 해석을 실시하는 경우에는, 도 4 중의 100 °C, 200 °C 의 란에 기재된, 탄성 스티프니스 C_{11} , C_{12} , C_{44} 를 식 (1) 에 적용하여 해석이 실시된다.
- [0060] 상기 서술한 제(諸)조건, 즉 위치 구속 조건, 하중 조건, 결정면 배치, 재료 물성의 조합에 의해 얻어지는 해석 예 1 ~ 해석예 9 를 도 5 의 표 중에 정리한다. 위치 구속 조건, 및 하중 조건은 상기 서술한 바와 같이 모든 해석예에서 동일하기 때문에 도 5 의 표 중의 「해석 조건」 란에서는 기재를 생략하고 있다. 결정면 배치는, 해석예 1 ~ 3 에서는, {100} 면이 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 에 직교하고 있는 배치 I 이고, 해석예 4 ~ 6 에서는 {110} 면이 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 에 직교하고 있는 배치 II 이며, 해석예 7 ~ 9 에서는 {111} 면이 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 에 직교하고 있는 배치 III 이다. 또, 재료 물성은, 해석예 1, 4, 7 에서는 광학 부재 (1) 의 온도가 25 °C 이고, 해석예 2, 5, 8 에서는 광학 부재 (1) 의 온도가 100 °C 이며, 해석예 3, 6, 9 에서는 광학 부재 (1) 의 온도가 200 °C 이다.
- [0061] 다음으로, 상기 조건하에서 실시한 시뮬레이션의 결과에 대해 서술한다. 본 발명자는, 상기 해석 조건하에서, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 3 개의 {100} 면, 즉 (100) 면, (010) 면, (001) 면에 발생하는 최대 전단 응력의 크기를 추정하였다.
- [0062] <해석예 1 ~ 3>
- [0063] 해석예 1 ~ 3 에 있어서는, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면, 보다 상세하게는 (001) 면이, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) (도 3(a)) 에 대해 해석을 실시하였다. 이 해석에 의해 얻어진, CaF_2 단결정의 (100) 면, (010) 면, (001) 면에 발생하는 최대 전단 응력 [MPa] 의 값은 도 5 의 표 중에 나타내는 바와 같다. 또한, 도 3(a) 에 나타내는 바와 같이, 해석예 1 ~ 3 에 있어서의 (100) 면은, 단위 격자 (UL) 의 주축 z 가 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 일치한 상태에 있어서, 주축 y 와 주축 z 에 의해 구획되는 면 (이하, 적절히 「yz 면」 이라고 칭한다) 과 평행하게 존재하고 있다. 마찬가지로 (010) 면은, 동일 상태에 있어서 주축 x 와 주축 z 에 의해 구획되는 면 (이하, 적절히 「xz 면」 이라고 칭한다) 과 평행하게 존재하고 있다.
- [0064] 도 5 의 표 중에 나타내는 바와 같이, 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 1), 100 °C 일 때 (해석예 2), 200 °C 일 때 (해석예 3) 의 어느 경우에 있어서도, (100) 면에 발생하는 최대 전단 응력은 0.01 MPa, (010) 면에 발생하는 최대 전단 응력은 0.01 MPa, (001) 면에 발생하는 최대 전단 응력은 9.21 MPa 이다. 따라서, 해석예 1 ~ 3 의 어느 경우에 있어서도, {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, (001) 면에 발생하는 값이 가장 크고, 그 값은 9.21 MPa (도 5 의 표 중의 「최대값」 란) 이다.
- [0065] 또한, 그 밖의 조건은 바꾸지 않고 하중 조건만을, 내압 30 atm 에서 20 atm, 10 atm 으로 저하시킨 경우의, {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 해석값을 추가로 도 5 의 표 중에 나타낸다. 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 1), 100 °C 일 때 (해석예 2), 200 °C 일 때 (해석예 3) 의 어느 경우에 있어서도, 내압이 20 atm 일 때 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (001) 면에 발생하는 6.14 MPa 이고, 내압이 10 atm 일 때 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (001) 면에 발생하는 3.07 MPa 이다. 또, 상기 각 조건하에 있어서, 최대 전단 응력이 발생하는 위치는, 광학 부재 (1) 의 내표면 (1i) 상이었다.
- [0066] <해석예 4 ~ 6>
- [0067] 해석예 4 ~ 6 에 있어서는, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {110} 면, 보다 상세하게는 (011) 면이, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) (도 3(b)) 에 대해 해석을 실시하였다. 이 해석에 의해 얻어진, CaF_2 단결정의 (100) 면, (010) 면, (001) 면에 발생하는 최대 전단 응력 [MPa] 의 값은 도

5의 표 중에 나타내는 바와 같다. 또한, 도 3(b)에 나타내는 바와 같이, 해석예 4 ~ 6에 있어서의 (100)면은, 단위 격자(UL)의 주축 x가 광학 부재(1)의 중심축(A)과 직교하는 면 내에 존재하고, 주축 y 및 주축 z가, yz면 내에 있어서 중심축(A)에 대해 각각 45°의 각도를 가지며 존재하는 상태에 있어서, yz면과 평행하게 존재하고 있다. 동일하게 (010)면은, 동일 상태에 있어서 xz면과 평행하게 존재하고 있고, (001)면은, 동일 상태에 있어서 주축 x와 주축 y에 의해 구획되는 면(이하, 적절히 「xy면」이라고 칭한다)과 평행하게 존재하고 있다.

[0068] 도 5에 나타내는 바와 같이, 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 4)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.67 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.92 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.92 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 25 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (100)면에서 발생하는 7.67 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다.

[0069] 또, 재료 물성이 100 °C 일 때 (해석예 5)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.66 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.93 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.93 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 100 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (100)면에서 발생하는 7.66 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다. 동일하게, 재료 물성이 200 °C 일 때 (해석예 6)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.67 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.92 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 6.92 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 200 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (100)면에서 발생하는 7.67 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다.

[0070] 또한, 그 밖의 조건은 바꾸지 않고 하중 조건만을, 내압 30 atm에서 20 atm, 10 atm으로 저하시킨 경우의, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 해석값을 추가로 도 5의 표 중에 나타낸다. 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 4), 100 °C 일 때 (해석예 5), 200 °C 일 때 (해석예 6)의 어느 경우에 있어서도, 내압이 20 atm 일 때 {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (100)면에 발생하는 5.11 MPa이고, 내압이 10 atm 일 때 {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (100)면에 발생하는 약 2.56 MPa이다. 또, 상기 각 조건하에 있어서, 최대 전단 응력이 발생하는 위치는, 광학 부재(1)의 내표면(1i)상이었다.

[0071] <해석예 7 ~ 9>

[0072] 해석예 7 ~ 9에 있어서, 광학 부재(1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {111}면, 보다 상세하게는 (111)면이, 광학 부재(1)의 중심축(A)과 직교하고 있는 광학 부재(1) (도 3(c))에 대해 해석을 실시하였다. 이 해석에 의해 얻어진, CaF₂ 단결정의 (100)면, (010)면, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력 [MPa]의 값은 도 5의 표 중에 나타내는 바와 같다. 또한, 도 3(c)에 나타내는 바와 같이, 해석예 7 ~ 9에 있어서의 (100)면은, 단위 격자(UL)의 주축 x, y, z가, 광학 부재(1)의 중심축(A)에 대해, 각각 소정 각만큼 경사져 존재하는 상태에 있어서, yz면과 평행하게 존재하고 있다. 동일하게 (010)면은, 동일 상태에 있어서 xz면과 평행하게 존재하고 있고, (001)면은, 동일 상태에 있어서 xy면과 평행하게 존재하고 있다.

[0073] 도 5의 표 중에 나타내는 바와 같이, 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 7)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.17 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.80 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 5.70 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 25 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (010)면에서 발생하는 7.80 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다.

[0074] 또, 재료 물성이 100 °C 일 때 (해석예 8)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.18 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.80 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 5.70 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 100 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (010)면에서 발생하는 7.80 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다. 마찬가지로, 재료 물성이 200 °C 일 때 (해석예 9)에 있어서, (100)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.19 MPa, (010)면에 발생하는 최대 전단 응력은 7.79 MPa, (001)면에 발생하는 최대 전단 응력은 5.69 MPa이다. 따라서, 재료 물성이 200 °C 일 때에는, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력은, (010)면에서 발생하는 7.79 MPa (도 5의 표 중의 「최대값」란)이다.

[0075] 또한, 그 밖의 조건은 바꾸지 않고 하중 조건만을, 내압 30 atm에서 20 atm, 10 atm으로 저하시킨 경우의, {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 해석값을 추가로 도 5의 표 중에 나타낸다. 재료 물성이 25 °C 일 때 (해석예 7), 100 °C 일 때 (해석예 8), 200 °C 일 때 (해석예 9)의 어느 경우에 있어서도, 내압이 20 atm 일 때 {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (010)면에 발생하는 약 5.20 MPa이며, 내압이 10 atm 일 때 {100}면에 발생하는 최대 전단 응력의 값은, (010)면에 발생하는 2.60 MPa이다. 또, 상기 각 조건하에

있어서, 최대 전단 응력이 발생하는 위치는, 광학 부재 (1) 의 내표면 (1i) 상이었다.

[0076] 이상의 시뮬레이션으로부터, 광학 부재 (1) 의 내압을 30 atm 으로 한 경우에, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, CaF_2 단결정의 {100} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 있어서는, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 어느 조건하에 있어서도, 9.21 MPa 이다. 다시 내압을 20 atm, 10 atm 로 작게 한 경우에는, CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력도, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 모든 조건하에 있어서, 6.14 MPa, 3.07 MPa 로 작아진다.

[0077] 마찬가지로, 광학 부재 (1) 의 내압을 30 atm 으로 한 경우에, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 있어서는, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 어느 조건하에 있어서도, 약 7.67 MPa 이다. 다시 내압을 20 atm, 10 atm 로 작게 한 경우에는, CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력도, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 모든 조건하에 있어서 5.11 MPa, 약 2.56 MPa 로 작아진다. 또, 광학 부재 (1) 의 내압을 30 atm 으로 한 경우에, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, CaF_2 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 있어서는, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 어느 조건하에 있어서도, 약 7.80 MPa 이다. 다시 내압을 20 atm, 10 atm 로 작게 한 경우에는, CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력도, 25 °C, 100 °C, 200 °C 의 모든 조건하에 있어서 약 5.20 MPa, 2.60 MPa 로 작아진다.

[0078] 여기서, 도 6 에 나타내는 바와 같이, CaF_2 단결정의 {100} 면, {110} 면, {111} 면의 임계 분해 전단 응력 (CRSS) 은, 약 600 °C 이하의 온도역에 있어서는, {100} 면의 값이 가장 작다. 또, {100} 면의 임계 분해 전단 응력과, {110} 면, {111} 면의 임계 분해 전단 응력의 차이는, CaF_2 단결정에 소성 변형이 발생하는 온도 (약 250 °C) 이하의 온도역에 있어서 특히 크다. 따라서, 600 °C 이하의 온도 영역, 특히 250 °C 이하의 온도 영역에 있어서는, CaF_2 단결정으로 형성된 광학 부재 (1) 에 응력이 발생한 경우에 광학 부재 (1) 에 발생하는 파괴는, 주로, {100} 면에 발생하는 전단 응력이 임계 분해 전단 응력에 이르러, CaF_2 단결정 내부에 미끄러짐이 발생하는 것에서 기인된다고 생각된다.

[0079] 따라서, 상기 시뮬레이션에 따르면, 25 °C ~ 200 °C 의 온도 영역에 있어서 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 값이 가장 작은 광학 부재 (1), 즉 CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 가, 내압에 대해 가장 우수한 강도 (내압성) 를 갖고, {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력의 값이 다음으로 작은 광학 부재 (1), 즉 CaF_2 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 가, 내압에 대해 다음으로 우수한 강도를 갖는 것을 알 수 있다.

[0080] 보다 구체적으로는, 도 5 의 표로부터, CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 의 내압이 30 atm 일 때에는, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C 의 온도역에 있어서 약 7.67 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 내압 30 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 110 °C 까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있으며, 광학 부재 (1) 의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다. 또한 내압이 20 atm 일 때에는, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C 의 온도역에 있어서 약 5.11 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 내압 20 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 160 °C 까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있으며, 광학 부재 (1) 의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다. 또한, 내압이 10 atm 일 때에는, 광학 부재 (1) 를 형성하는 CaF_2 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C 의 온도역에 있어서 약 2.56 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF_2 단결정의 {110} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1) 에 내압 10 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 200 °C 이상의 온도역까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있고, 특히 약 250 °C (CaF_2 단결정에 소성 변형이 발생하는 온도) 이하의 온도역 전역에 있어서 바람직하게 사용할 수 있다. 또, 광학 부재 (1) 의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이

상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다.

[0081] 또 도 5의 표로부터, CaF₂ 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)의 내압이 30 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 약 7.80 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 30 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 110 °C 까지, {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있고, 광학 부재 (1)의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다. 또한 내압이 20 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 약 5.20 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 20 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 160 °C 까지, {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있고, 광학 부재 (1)의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다. 또한, 내압이 10 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 약 2.60 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 10 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 200 °C 이상의 온도역까지, {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있고, 특히 약 250 °C (CaF₂ 단결정에 소성 변형이 발생하는 온도) 이하의 온도역 전역에 있어서 바람직하게 사용할 수 있다. 또, 광학 부재 (1)의 반경 방향의 두께를 크게 하면, 그 이상의 온도까지 바람직하게 사용할 수 있다.

[0082] 한편으로, 도 5의 표로부터, CaF₂ 단결정의 {100} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)의 내압이 30 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 9.21 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {100} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 30 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 70 °C 까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있지만, 이 온도는, CaF₂ 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 동일한 내압을 가한 경우에 이들 광학 부재 (1)를 안전하게 사용할 수 있는 온도 (상기 서술한 110 °C)와 비교하여 낮다. 또한 내압이 20 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 약 6.14 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {100} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 20 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 120 °C 까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있지만, 이 온도도, CaF₂ 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 동일한 내압을 가한 경우에 이들 광학 부재 (1)를 안전하게 사용할 수 있는 온도 (상기 서술한 약 160 °C)와 비교하여 낮다. 또한 내압이 10 atm 일 때에는, 광학 부재 (1)를 형성하는 CaF₂ 단결정의 {100} 면에 발생하는 최대 전단 응력은, 25 °C 내지 200 °C의 온도역에 있어서 약 3.07 MPa 이다. 따라서 도 6 으로부터, CaF₂ 단결정의 {100} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 내압 10 atm 이 가해진 경우에는, 적어도 약 200 °C 정도까지 {100} 면의 미끄러짐에 의한 파괴를 발생시키지 않고 바람직하게 사용할 수 있지만, 이 온도도 또한, CaF₂ 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 광학 부재 (1)에 동일한 내압을 가한 경우에 이들 광학 부재 (1)를 안전하게 사용할 수 있는 온도 범위 (상기 서술한 바와 같이, 약 250 °C 이하의 온도역 전역)와 비교하여 좁다.

[0083] 이상으로부터, 광학 부재 (1)에 있어서, CaF₂ 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 중심축 (A) 과 직교하고 있는 경우에 광학 부재 (1)의 내압에 대한 강도는 높아진다. 따라서, 광학 부재 (1)에 있어서, 중심축 (A) 과 직교하는 방향으로 CaF₂ 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면을 배치하는 것이 바람직하고, {110} 면을 배치하는 것이 보다 바람직하다. 이로써, 광학 부재 (1)를, 고온 또한 고압하에서 사용할 수 있다.

[0084] 다음으로, 본 실시형태의 광학 부재 (1)의 제조 방법을 설명한다. 광학 부재 (1)의 재료가 되는 CaF₂ 단결정은, 예를 들어, 일본 특허 제4569872호, 일본 공개특허공보 제2006-327837호 등에 기재된 단결정 제조 방법

을 사용하여 제조할 수 있다. 얻어진 CaF_2 단결정의 잉곳에 대해, X 선 결정 방위 측정 장치 등을 사용하여 결정 방위의 측정을 실시한다.

[0085] 상기 측정에 의해 CaF_2 단결정 잉곳에 있어서의 {110} 면 또는 {111} 면의 연장 방향을 특정한 후, 당해 방향이 중심축 (A) 과 직교하는 방향이 되도록, 깎아 내기 가공을 실시하여, 도 1 에 나타내는 바와 같은 원통을 얻는다. 원통을 깎아 내는 가공에 있어서는, CaF_2 단결정 잉곳을 직접 원통 형상으로 깎아 내도 되고, CaF_2 단결정 잉곳을 일단 각주상으로 깎아 낸 후에, 이것을 원통으로 깎아 내도 된다.

[0086] 마지막으로, 깎아 내기 가공에 의해 얻어진 원통의 내주면, 외주면, 단면에 대해 광학 연마 처리를 실시함으로써, 본 실시형태의 광학 부재 (1) 를 얻을 수 있다. 본 실시형태에 있어서의 광학 연마 처리에는, 광학 부품에 적용되는 일반적인 연마 방법을 그대로 사용할 수 있다. 예를 들어 연마 패드, 연마사를 사용하여 깎아 낸 원통을 연마할 수 있다.

[0087] 다음으로, 본 실시형태의 효과에 대해 정리한다.

[0088] 본 실시형태의 광학 부재 (1) 에 있어서는, 광학 부재 (1) 의 내부에 내압이 발생한 경우에 {100} 면에 발생하는 분해 전단 응력, 즉 CaF_2 단결정의 미끄러짐의 원인이 되는 분해 전단 응력이 작아지도록, CaF_2 단결정의 결정면이 배치되어 있다. 따라서 본 실시형태의 광학 부재 (1) 에 의하면, 파괴를 발생시키지 않고, 보다 고온 또한 고압의 기체를 내부에 봉입하는 것이 가능해져, 플라즈마 발광 효율의 향상이나, 플라즈마 발광에 사용하는 기체의 선택지의 증가 등을 실현할 수 있다.

[0089] 또 본 실시형태의 광학 부재 (1) 에 의하면, 원통상의 CaF_2 단결정 부재에 대해, 어떠한 추가적인 부재나 구조를 더하지 않고, CaF_2 단결정의 결정면의 배치를 적절히 설정하는 것 만으로, 원통상의 CaF_2 단결정 부재의 내압에 대한 강도를 높이고 있다. 따라서 본 실시형태의 광학 부재 (1) 는, 간단한 형상인체로 보다 고온 또한 고압의 환경하에서 사용하는 것이 가능하고, 또한 광학 부재 (1) 의 내부에서 발생하는 광을, 비네팅을 발생시키지 않고 높은 효율로 외측으로 추출할 수 있다.

[0090] < 제 2 실시형태 >

[0091] 다음으로, 도 7 을 참조하여 본 발명의 제 2 실시형태에 대해 설명한다.

[0092] 도 7 에 나타내는 바와 같이, 제 2 실시형태의 광원 장치 (20) 는, 챔버 (21), 점화원 (22), 및 집광 부재 (23) 를 주로 구비한다. 챔버 (21) 는, 제 1 실시형태의 원통상의 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 방향 양단부에 덮개 (L) 를 부착한 기체 유지 용기로, 내부에 기체 (이온성 매체) 가 유지되어 있다. 덮개 (L) 는 봉지 부재의 일례로, 금속, 합금 등을 사용할 수 있다. 봉지 부재는, 덮개 (L) 와 광학 부재 (1) 사이에 형성된 밀봉 부재를 포함해도 된다. 밀봉 부재로는 금속, 합금을 연화시킨 상태인 것을 사용할 수 있고, 이로써 덮개 (L) 와 광학 부재 (1) 를 접합해도 된다. 또, 밀봉 부재로서의 불소 고무 (FKM) 등의 시일 링을 광학 부재 (1) 와 덮개 (L) 사이에 개재시켜, 광학 부재 (1) 의 양단부의 덮개 (L) 를 축 방향으로 가압함으로써 덮개 (L) 가 광학 부재 (1) 의 단면을 유지하는 구성으로 해도 된다. 혹은, 세라믹스를 덮개 (L) 와 광학 부재 사이에 개재시켜 밀봉 부재로 해도 된다.

[0093] 점화원 (22) 은, 애노드 (22a), 캐소드 (22c), 및 이 두 개의 전극에 접속된 전원 (22s) 을 갖는다. 애노드 (22a) 는 챔버 (21) 의 양단부의 덮개 (L) 내의 일방의 중앙을 관통하여 덮개 (L) 에 고정되어 있고, 애노드 (22a) 의 선단부는 챔버 (21) 의 내부에 위치하고 있다. 캐소드 (22c) 도 동일하게, 챔버 (21) 의 타방의 덮개 (L) 의 중앙을 관통하여 덮개 (L) 에 고정되어 있고, 캐소드 (22c) 의 선단부는 챔버 (21) 의 내부에 위치하고 있다. 이로써, 애노드 (22a) 의 선단부와 캐소드 (22c) 의 선단부는, 챔버 (21) 의 내부에 있어서, 간극을 가지고 대향하고 있다.

[0094] 점화원 (22) 은, 전원 (22s) 에 의해 애노드 (22a) 및 캐소드 (22c) 사이에 전위차를 발생시키고, 애노드 (22a) 와 캐소드 (22c) 사이의 간극에 방전을 발생시킨다. 이하의 설명에서는, 점화원 (22) 에 의해 방전을 일으키는 애노드 (22a) 와 캐소드 (22c) 사이의 간극을 방전 영역 (DA) 이라고 부른다. 전극의 재료로는, 귀금속, 귀금속을 함유하는 합금, 니켈 등을 사용할 수 있다.

[0095] 광원 장치 (20) 의 사용시에는, 점화원 (22) 에 의해 방전 영역 (DA) 에 방전을 발생시켜, 챔버 (21) 내에 유지된 이온성 매체를 여기한다. 이로써, 플라즈마 상태에 이른 이온성 매체가 발광되어, 플라즈마광 (LH1) 이 방사된다. 방사된 플라즈마광 (LH1) 은, 챔버 (21) 의 광학 부재 (1) 를 투과한 후, 집광 부재 (23) (일례

로서 방사면경이다) 에서 반사되어, 검사 장치 (일례로서 웨이퍼 검사 시스템) 나 노광 장치 등의 대상물을 향하게 된다.

[0096] 또한, 레이저원 (도시 생략) 을 사용하여 방전 영역 (DA) 에 여기 레이저를 조사해도 된다. 이 경우에는 예를 들어, 점화원 (22) 에 의해 방전 영역 (DA) 에 방전을 발생시키고, 플라스마 상태가 된 방전 영역 (DA) 의 이온성 매체로부터 플라스마 발광시킨다. 이어서 레이저원에 의해 방전 영역 (DA) 의 이온성 매체에 레이저 에너지를 공급하여, 방전 영역 (DA) 으로부터의 고휘도의 플라스마광 (LH1) 을 유지 또는 생성한다. 레이저 원을 사용하여 방전 영역 (DA) 에 레이저 에너지를 공급하기 위한 구조로는, 예를 들어 후술하는 제 3 실시형태의 구조를 사용할 수 있다.

[0097] 제 2 실시형태의 광원 장치 (20) 는, 챔버 (21) 의 일부에 제 1 실시형태의 광학 부재 (1) 를 사용하고 있다. 따라서 제 1 실시형태와 동일하게, 플라스마 발광 효율의 향상이나, 플라스마 발광에 사용하는 기체의 선택지의 증가 등을 실현할 수 있다. 또, 챔버 (21) 의 내부에서 발생하는 플라스마광 (LH1) 을, 비네팅을 발생시키지 않고 높은 효율로 챔버 (21) 의 외측으로 취출할 수 있다.

[0098] <제 3 실시형태>

[0099] 도 8 을 참조하여 본 발명의 제 3 실시형태에 대해 설명한다.

[0100] 도 8 에 나타내는 바와 같이, 제 3 실시형태의 광원 장치 (30) 는, 챔버 (31) 와 집광 부재 (32) 를 주로 구비한다. 챔버 (31) 는, 제 1 실시형태의 원통상의 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 방향 양단부에 덮개 (L) 를 부착한 기체 유지 용기로, 내부에 기체 (이온성 매체) 가 유지되어 있다. 집광 부재 (32) 는 일례로서 방물면경이다.

[0101] 광원 장치 (30) 의 사용시에는, 레이저원 (도시 생략) 으로부터 화살표 a (도 8) 방향으로 공급되는 여기광 (LH2) 을, 빔스플리터 (BS) 및 집광 부재 (32) 를 통해, 챔버 (31) 내의 이온성 매체에 조사한다. 이로써, 조사된 여기광 (LH2) 으로부터 에너지가 공급된 이온성 매체가 플라스마 상태에 이르러, 고휘도의 플라스마광 (LH1) 을 발생시킨다. 발생된 플라스마광 (LH1) 은, 챔버 (31) 의 광학 부재 (1) 를 투과시킨 후, 집광 부재 (32), 및 빔스플리터 (BS) 에서 반사되어 화살표 b (도 8) 방향으로 나아가, 검사 장치 (일례로서 웨이퍼 검사 시스템) 나 노광 장치 등의 대상물에 공급된다. 또한, 이하에 있어서는, 챔버 (31) 내에 있어서의, 이온성 매체가 플라스마 상태에 이르는 영역을 플라스마 영역 (PA) 이라고 부른다.

[0102] 본 실시형태의 광원 장치 (30) 에 있어서는, 집광 부재 (32) 를 사용하여 여기광 (LH2) 을 집광하고, 챔버 (21) 내의 작은 영역에 플라스마 영역 (PA) 을 형성하여 플라스마광 (LH1) 을 발생시키고 있다. 따라서, 고휘도의 플라스마광 (LH1) 을 발생시킬 수 있다. 또한, 집광 부재 (32) 의 형상 등을 조정하여 플라스마 영역 (PA) 을 보다 작게 하면, 보다 고휘도의 플라스마광 (LH1) 을 발생시킬 수 있다.

[0103] 제 3 실시형태의 광원 장치 (30) 는, 챔버 (31) 의 일부에 제 1 실시형태의 광학 부재 (1) 를 사용하고 있다. 따라서 제 1 실시형태와 동일하게, 플라스마 발광 효율의 향상이나, 플라스마 발광에 사용하는 기체의 선택지의 증가 등을 실현할 수 있다. 또, 챔버 (31) 의 내부의 플라스마 영역 (PA) 에 효율적으로 여기광 (LH2) 을 부여할 수 있음과 동시에, 챔버 (31) 의 내부에서 발생하는 플라스마광 (LH1) 을, 비네팅을 발생시키지 않고 높은 효율로 챔버 (31) 의 외측으로 취출할 수 있다.

[0104] 또한 상기 각 실시형태에 있어서는, 광학 부재 (1) 는 원통이라고 했지만, 광학 부재 (1) 의 형상은 이것에는 한정되지 않고, 통상이면 원통이 아니어도 된다. 예를 들어, 중심축 (A) 에 직교하는 단면의 형상이, 타원, 긴 원, 중심으로부터의 거리가 일부에서 주위와는 상이한 대략 원형 등인 통이어도 되고, 그 밖에 임의의 단면 (斷面) 형상일 수 있다. 또 원통 및 통은, 반경 방향의 두께가 일정한 것에는 한정되지 않고, 일부에 있어서의 반경 방향의 두께가, 다른 부분에 있어서의 반경 방향의 두께보다 크게 되어 있어도 된다.

[0105] 또한, 상기 제 2 실시형태, 제 3 실시형태에 있어서는, 광학 부재 (1) 의 중심축 (A) 방향의 양측에 있어서, 단부 (1e) 의 개구 (1a) 에 덮개 (L) 를 부착하여 기체를 밀봉하고, 광학 부재 (1) 를 단독으로 광원용 부재로서 사용하고 있지만, 광학 부재 (1) 의 사용 방법은 이것에는 한정되지 않는다. 예를 들어, 광학 부재 (1) 와 다른 CaF₂ 단결정 부재를 압착 등에 의해 접합하여 얻어지는 보다 큰 광학 부재의 일부로서 광학 부재 (1) 를 사용해도 된다. 이와 같이 하여 얻어지는 보다 큰 광학 부재는, 일례로서, 중심축 (A) 을 공유하는 2 개의 광학 부재 (1), 및 중심축 (A) 방향에 있어서 그 2 개의 광학 부재 (1) 에 끼워지고 또한 중심축 (A) 과 동일한 축 상에 회전축을 갖는 구각부 (球殼部) 를 갖는 광학 부재일 수 있다. 또 예를 들어, 광학 부재 (1) 의 일

단에 원판상의 덮개부를 압착하고, 타단에 원판상의 플랜지부를 압착한 광학 부재일 수 있다.

[0106] 또한, 상기 실시형태의 광학 부재 (1) 에 있어서는, 중심축 (A) 과 $90^\circ \pm 5^\circ$ 의 각도를 가지고 교차하는 방향으로 CaF_2 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 배치되어 있었다. 그러나, 중심축 (A) 과 $90^\circ \pm 3^\circ$ 의 각도를 가지고 교차하는 방향으로 CaF_2 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 배치되어 있는 것이 보다 바람직하고, 중심축 (A) 과 90° 의 각도를 가지고 교차하는 방향으로 CaF_2 단결정의 {110} 면 또는 {111} 면이 배치되어 있는 것이 보다 더 바람직하다.

[0107] 제 2 실시형태의 챔버 (21) 및 제 3 실시형태의 챔버 (31) 는, 기체 유지 용기로서 사용할 수도 있다. 기체 유지 용기 중에, 검사 또는 측정 대상이 되는 물체를 기체 내에 보존한 상태에서 밀봉하여 사용해도 된다.

[0108] 또한, 상기 실시형태에 있어서, 기체 (이온성 매체) 는 플라즈마광을 발하기 위한 기체에는 한정되지 않고, 엑시머광 등, 진공 자외 영역으로부터 적외 영역에 걸친 파장 영역의 광을 발하기 위한 임의의 기체이면 된다.

[0109] 본 발명의 특징을 유지하는 한, 본 발명은 상기 실시형태에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 생각할 수 있는 그 밖의 형태에 대해서도, 본 발명의 범위 내에 포함된다.

[0110] 산업상 이용가능성

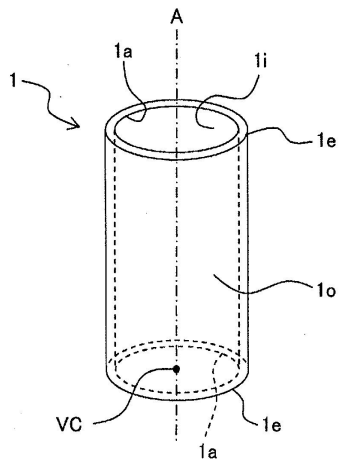
[0111] 본 발명의 불화칼슘 광학 부재에 의하면, 고온·고압의 환경하에 있어서도, 파손되지 않고 바람직하게 사용할 수 있는 CaF_2 단결정 광학 부재를 간편하게 얻을 수 있다. 따라서 반도체 제조 장치 등의 여러 가지 분야에, 충분한 강도를 갖는 불화칼슘 광학 부재를 제공하는 것이 가능해진다. 또, 충분한 강도를 갖는 불화칼슘 광학 부재를 구비한 기체 유지 용기나 광원 장치를 제공하는 것이 가능해지고, 나아가서는 보다 정밀한 반도체 디바이스 등의 제조가 가능해진다.

부호의 설명

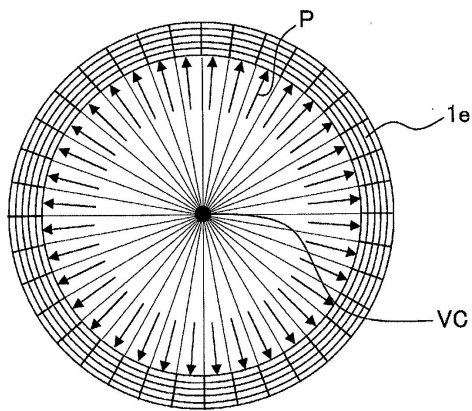
- [0112] 1 : 광학 부재
- 1a : 개구
- 1e : 단면
- 1i : 내표면
- 1o : 외표면
- 20, 30 : 광원 장치
- 21, 31 : 챔버
- 22 : 점화원
- 23, 32 : 집광 부재
- A : 중심축
- BS : 빔스플리터
- L : 덮개
- LH1 : 플라즈마광
- LH2 : 여기광
- UL : 단위 격자

도면

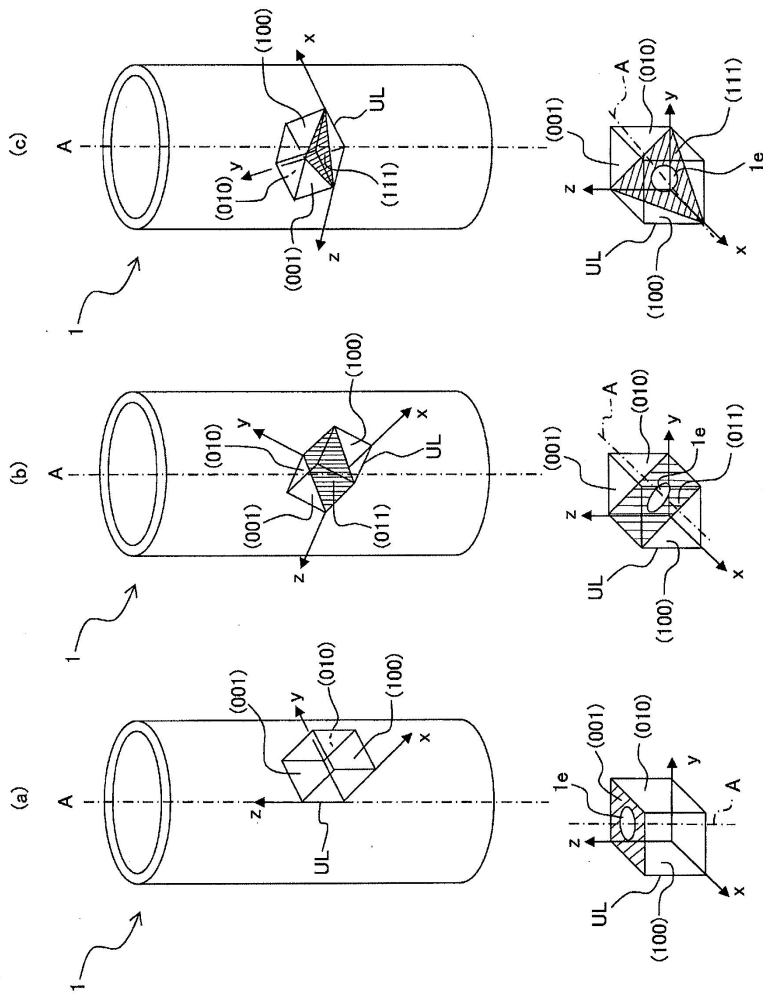
도면1



도면2



도면3



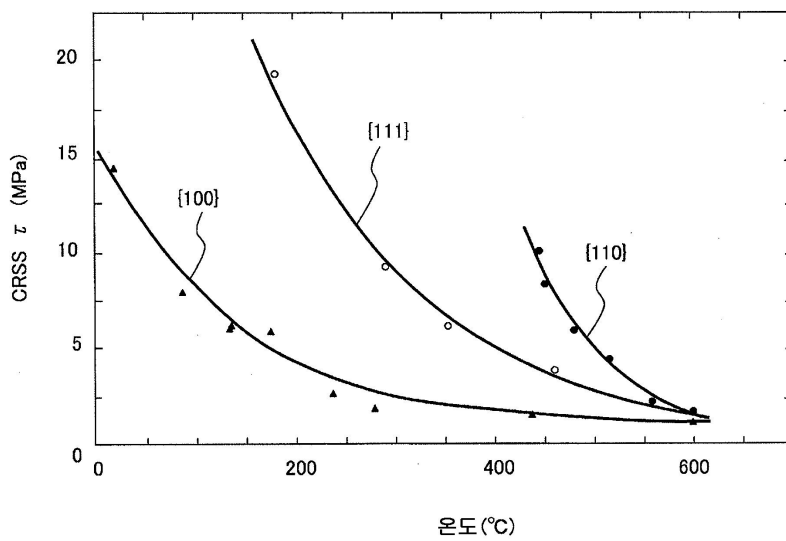
도면4

온도 [°C]	탄성 스티프니스 [GPa]		
	C_{11}	C_{12}	C_{44}
25	164	43.7	34.6
100	159	41.3	34.2
120	159	40.9	34.1
150	157	40.2	34.0
200	155	39.6	33.8
250	153	39.0	33.2
500	141	34.7	31.0
1000	104	18.4	26.0

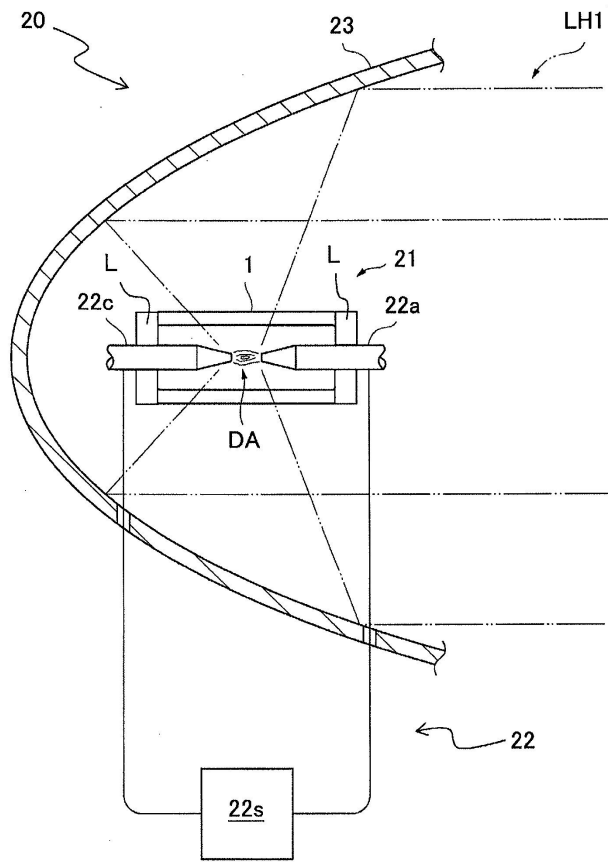
도면5

해석예	해석 조건		{100} 면에 발생하는 최대 전단 응력 [MPa]															
			30atm			20atm			10atm									
			결정면 배치	재료 물성 [°C]	최대값	(001)면	(100)면	(010)면	최대값	(001)면	(100)면	(010)면	최대값					
1	{100}면	25	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	3.07	
2		100	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	3.07	
3		200	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	6.14	9.21	9.21	0.01	0.01	3.07	
4	{110}면	25	7.67	6.92	7.67	6.92	5.11	7.67	6.92	7.67	6.92	5.11	7.67	6.92	7.67	6.92	2.56	
5		100	7.66	6.93	7.66	6.93	5.11	7.66	6.93	7.66	6.93	5.11	7.66	6.93	7.66	6.93	2.55	
6		200	7.67	6.92	7.67	6.92	5.11	7.67	6.92	7.67	6.92	5.11	7.67	6.92	7.67	6.92	2.56	
7	{111}면	25	7.80	5.70	7.17	7.80	5.20	7.80	5.70	7.17	7.80	5.20	7.80	5.70	7.17	7.80	5.20	2.60
8		100	7.80	5.70	7.18	7.80	5.20	7.80	5.70	7.18	7.80	5.20	7.80	5.70	7.18	7.80	5.20	2.60
9		200	7.79	5.69	7.19	7.79	5.19	7.79	5.69	7.19	7.79	5.19	7.79	5.69	7.19	7.79	5.19	2.60

도면6



도면7



도면8

