



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년07월28일
(11) 등록번호 10-0972769
(24) 등록일자 2010년07월22일

(51) Int. Cl.

H01L 21/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-0018487

(22) 출원일자 2003년03월25일

심사청구일자 2008년03월25일

(65) 공개번호 10-2003-0077439

(43) 공개일자 2003년10월01일

(30) 우선권주장

JP-P-2002-00083260 2002년03월25일 일본(JP)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

JP07098993 B2*

JP58140605 A*

JP61253408 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

가부시키키가이샤 알박

일본 가나가와켄 지가사끼시 하기소노 2500반찌

(72) 발명자

다카하시하루오

일본가나가와켄찌가사끼시하기조노2500반찌가부시
키가이샤아루박나이

한자와고이찌

일본가나가와켄찌가사끼시하기조노2500반찌가부시
키가이샤아루박나이

마쯔모토다카후미

일본가나가와켄찌가사끼시하기조노2500반찌가부시
키가이샤아루박나이

(74) 대리인

특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 15 항

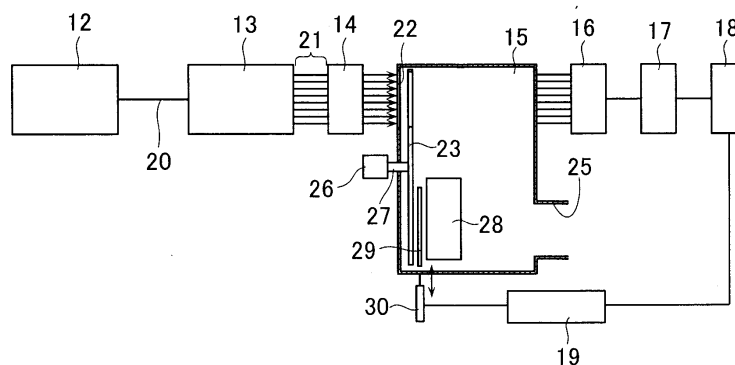
심사관 : 심병로

(54) 광학 막 두께 제어 방법, 광학 막 두께 제어 장치, 유전체 다층막 제조 장치, 및 이러한 제어 장치 또는 제조 장치로 제조된 유전체 다층막

(57) 요약

광학 박막과 같은 유전체 다층막의 막 두께를 높은 정밀도로 제어하는 방법을 제공하기 위해, 광학 막 두께 제어 장치와 상기 방법에 기초하여 막 두께를 제어할 수 있는 유전체 다층막 제조 장치와, 상기 제어 장치 또는 제조 장치를 이용하여 제조된 유전체 다층막이 제시되었다. 광학 막 두께 제어 장치는 회전가능한 기관 (23) 과 스퍼터링 타겟 (28) 을 갖는 막형성 디바이스 (15) 와, 소정의 간격으로 회전가능한 기관의 반경을 따라 회전가능한 기관에 가해진 복수의 단색 광빔의 각각을 검출하는 광전 다이오드 (16) 와, 기관 (23) 에서의 막형성을 차단하기 위해 회전가능한 기관 (23) 의 반경 방향을 따라 이동하는 가동 셔터 (29) 가 기관 (23) 과 타겟 (28) 사이에 형성된 A/D 변환기 (17) 를 구비한다. 광전 다이오드 (16) 와 A/D 변환기 (17) 에 의해 검출된 각 단색 광빔으로부터 역투과율의 2차 회귀 함수가 최소 자승법에 의해 계산되고, 최종 표면막층이 소정의 광학 막 두께에 도달한 경우에 막 성장시간의 각 예측치에 기초한 가동 셔터의 이동을 나타내는 CPU (18) 와 모터 드라이버 (19) 는, 소정의 광학 막 두께에 도달한 막형성 영역에서 막형성을 차단하기 위해 가동 셔터 (29) 를 이동시킨다.

대표도 - 도3



(30) 우선권주장

JP-P-2002-00317998 2002년10월31일 일본(JP)

JP-P-2002-00317999 2002년10월31일 일본(JP)

특허청구의 범위

청구항 1

광학 막 두께 제어 방법으로서,

한 종류 이상의 유전체로 제조된 단층 또는 다층 구조를 갖는 광학 박막의 막형성 기간에, 상기 광학 박막의 투과율을 측정하고 역투과율로서 투과율의 역수를 계산하기 위해 입사된 단색 광이 상기 단층 또는 다층 구조를 통하여 투과되고,

2개의 변수의 측정된 데이터군을, 상기 측정된 데이터군이 최고치 또는 최저치에 도달하기 전에, 최소 자승법에 의해 2차 함수로 회귀시키고,

상기 2개의 변수는 최후 표면층막의 막 두께의 증가에 따라 적층되는 상기 최후 표면층막의 막 성장 시간과 상기 역투과율이며,

상기 2차 회귀 함수의 최고점 또는 최저점에서의 막 성장 시간은, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치에서 광학 막 두께가 달성될 때 상기 막 성장 시간의 예측치로서 사용되며, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치는 간섭이론에 기초하여 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖고,

상기 최후 표면층막의 성장에 따라 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖는 상기 역투과율로부터 계산된 광학 막 두께의 시간 미분 또는 시간 차이가, 상기 최후 표면층막의 적층율로서 계산되고,

상기 최후 표면층막의 광학 막 두께의 목표치에 도달할 때의 상기 최후 표면층막의 막 성장 시간은, 상기 적층율에 기초하여 예측되는, 광학 막 두께 제어 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 광학 박막이 성장함에 따라, 상기 투과율이 제품 기관에서 측정되며, 상기 최후 표면층막의 광학 막 두께가 직접 모니터링 방법에 의해 측정되는, 광학 막 두께 제어 방법.

청구항 4

제 1 항에 기재된 광학 막 두께 제어 방법에 의해 목적하는 광학 막 두께에 도달할 때의 최후 표면층막의 막 성장 시간을 예측하기 위한 광학 막 두께 제어 장치로서,

서로 마주보는 회전가능한 기관과 막형성원을 갖는 막형성 디바이스와,

상기 회전가능한 기관의 반경을 따라 소정의 간격으로 상기 회전가능한 기관에 가해진 복수의 단색 광빔을 검출하는 광전자 변환 디바이스를 구비하며,

상기 기관상의 막형성을 차단하기 위해 상기 회전가능한 기관의 반경 방향으로 이동하는 가동 셔터가, 상기 기관과 상기 막형성원 사이에 제공되며,

상기 광전자 변환 디바이스에 의해 검출된 단색 광빔에 의해 예측된 상기 막 성장 시간의 각 예측치에 기초하여 셔터의 운동을 지시하는 제어기에 응답하여, 상기 가동 셔터가 이동하는, 광학 막 두께 제어 장치.

청구항 5

유전체 다층막의 제조를 위해 사용되며 막형성원과 반응원을 갖는 진공 챔버를 구비하고 또한, 상기 각 막형성원과 반응원은 회전가능한 기관과 마주하도록 나란히 배열된 유전체 다층막 제조 장치로서,

상기 회전가능한 기관의 원의 반경을 따라, 상기 회전가능한 기관에 형성된 상기 유전체 다층막의 막적층율에 구배를 부여하는 개구부를 갖는 막적층율 제어 부재와,

상기 회전가능한 기관에 형성된 상기 유전체 다층막의 막 두께를 보정하는 막 두께 보정 부재와,

상기 회전가능한 기관의 반경을 따라 복수의 모니터링점들을 통과하는 모니터링 단색 광의 강도를 측정하는 광도 측정 수단과,

광플럭스가 상기 각 모니터링점들을 통과하게 하도록, 상기 반경에 따른 모니터링점의 위치와 관련된 상기 단색 광플럭스의 파장의 오름차순 또는 내림차순으로 하나 이상의 파장의 모니터링 단색 광플럭스를 배열하고, 상기 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변동에 응답하여 상기 막 두께 보정 부재를 이동시킬 수 있게 하는 제어 시스템을 구비하며,

상기 막적층을 제어 부재와 상기 막 두께 보정 부재는, 상기 회전가능한 기관과 상기 막형성원 사이에 제공되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 막 두께 보정 부재는 상기 회전가능한 기관의 반경 방향으로 이동할 수 있는 가동 셔터를 구비하고, 상기 회전가능한 기관에서의 막형성이 상기 가동 셔터의 운동에 의해 상기 반경을 따라 상기 오름차순 또는 내림차순으로 차단되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 7

제 5 항 또는 제 6 항에 있어서,

상기 유전체 다층막 제조 장치의 상기 제어 시스템은, 광도의 변동을 측정하며, 상기 광도의 변동은, 상기 회전가능한 기관에서 유전체 다층막의 형성기간 동안, 하나 이상의 파장을 포함하는 모니터링 단색 광플럭스가 복수의 각 모니터링점들을 통과할 때, 투과율의 변동이 역투과율로서 투과율의 역수를 계산적으로 규정하면서, 상기 광도 측정 수단에 의해 측정되고,

상기 제어 시스템은, 2개의 변수의 측정된 데이터군을, 상기 측정된 데이터군이 최고치 또는 최저치에 도달하기 전에, 최소 자승법에 의해 2차 함수로 회귀시키며, 상기 2개의 변수는 적층되는 최후 표면층막의 막 두께의 증가에 요구되는 막 성장 시간과 상기 역투과율이고,

상기 제어 시스템은, 상기 2차 회귀 함수의 최고점 또는 최저점과 일치하는 막 성장 시간을, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치에서의 상기 최후 표면층막의 광학 막 두께 도달 예측 시간으로서 사용하며, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치는 간섭이론에 기초하여 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 8

제 5 항 또는 제 6 항에 있어서,

최후 표면층막의 막 두께가 성장함에 따라, 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖는 역투과율로부터 계산된 광학 막 두께의 시간 미분 또는 시간 차이가, 상기 최후 표면층막의 막적층율로서 계산되며,

상기 최후 표면층막이 소정의 광학 막 두께에 도달하는 데 요구되는 막 성장 시간은, 상기 계산된 막적층율에 기초하여 예측되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 9

유전체 다층막의 제조를 위해 사용되며 막형성원과 반응원을 갖는 진공 챔버를 구비하고 또한, 상기 각 막형성원과 반응원은 회전가능한 기관과 마주하도록 나란히 배열된 유전체 다층막 제조 장치로서,

상기 회전가능한 기관에 형성된 상기 유전체 다층막의 막적층율을 제어하는 개구부를 갖는 막적층율 제어 부재와,

상기 회전가능한 기관에 형성된 상기 유전체 다층막의 막 두께를 보정하는 개구부를 갖는 막 두께 보정 부재와,

상기 회전가능한 기관의 반경을 따라 복수의 모니터링점들을 통과하는 모니터링 단색 광의 강도를 측정하는 광

도 측정 수단과,

하나 이상의 파장의 모니터링 단색 광플렉스의 각각이 상기 모니터링점들을 통과할 때, 상기 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변동에 응답하여 상기 막 두께 보정 부재의 개구부를 작동시키는 제어 시스템을 구비하며,

상기 막적층을 제어 부재와 상기 막 두께 보정 부재는, 상기 회전가능한 기판과 상기 막형성원 사이에 제공되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 막 두께 보정 부재의 가동 개구부는, 상기 회전가능한 기판이 회전할 때 각 모니터링점의 궤적에 의해 그려지는 동심원의 원주를 따라 형성된 원호형상의 개구부 영역을 독립적으로 개폐하는 스플릿 셔터를 구비하는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 11

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 유전체 다층막 제조 장치의 상기 제어 시스템은, 광도의 변동을 측정하며, 상기 광도의 변동은, 상기 회전가능한 기판에서 유전체 다층막의 형성기간 동안, 하나 이상의 파장을 포함하는 모니터링 단색 광플렉스가 복수의 각 모니터링점을 통과할 때, 투과율의 변동이 역투과율로서 투과율의 역수를 계산적으로 규정하면서, 상기 광도 측정 수단에 의해 측정되고,

상기 제어 시스템은, 2개의 변수의 측정된 데이터군을, 상기 측정된 데이터군이 최고치 또는 최저치에 도달하기 전에, 최소 자승법에 의해 2차 함수로 회귀시키며, 상기 2개의 변수는 적층되는 최후 표면층막의 막 두께의 증가에 요구되는 막 성장 시간과 상기 역투과율이고,

상기 제어 시스템은, 상기 2차 회귀 함수의 최고점 또는 최저점과 일치하는 막 성장 시간을, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치에서의 상기 최후 표면층막의 광학 막 두께 도달 예측 시간으로서 이용하며, 상기 역투과율의 최고치 또는 최저치는 간섭이론에 기초하여 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 12

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

최후 표면층막의 막 두께가 성장함에 따라, 상기 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적 분포를 갖는 역투과율로부터 계산된 광학 막 두께에 기초하여 상기 최후 표면층막이 소정의 광학 막 두께에 도달하였는지를 검출함으로써, 상기 막 성장이 제어되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 13

제 5 항, 제 6 항, 제 9 항, 및 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 막형성원은 2개 이상의 상이한 재료의 스퍼터링 타겟을 구비하며, 상기 스퍼터링 타겟은 타겟 중 어느 것이라도 선택될 수 있는 방식으로 제공되는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 스퍼터링 타겟의 서로 상이한 재료는 Ta 금속과 Si 금속인, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 15

제 5 항, 제 6 항, 제 9 항, 및 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 반응원은 반응성 중성 라디칼 가스를 방출하는, 유전체 다층막 제조 장치.

청구항 16

제 1 항에 기재된 광학 막 두께 제어 방법을 이용하거나, 또는, 제 5 항, 제 6 항, 제 9 항, 및 제 10 항 중 어느 한 항에 기재된 유전체 다층막 제조 장치를 사용하여 제조된, 유전체 다층막.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- [0046] 본 발명은, 특히 광학기술에 기초하여 막 (film) 을 형성할 때 광학 박막의 두께를 제어하는 방법과, 이 방법을 실시하기 위한 막 두께 제어 장치 및, 주로 광학 박막으로 사용되며 또한 형성 중에 높은 정확도로 두께가 제어될 수 있는 유전체 다층막을 제조하는 장치에 관한 것이다. 광학 박막은 도파관, 회절 격자, 광방출기, 인디케이터, 광학 메모리 및 태양전지와 같은 다양한 종류의 광학 구성품 또는 소자에서 사용되고 있다. 특히, 광통신을 포함하는 통신기술 분야에서 밀과장 분할 멀티플렉싱 장치에 사용되는 광학 박막에 있어서는, 다층으로 제조하려는 경향이 커지고 있다. 따라서, 광학 박막의 다층 구조에서 각 층의 막 두께를 높은 정확도로 제어하는 것이 중요하게 되었다.
- [0047] 박막의 성장 중에 그 박막의 막 두께를 측정하는 것이 적층 속도 및 막 두께를 제어하는데 있어 중요하다. 광학 박막에 있어서는, 반사율 및 투과율과 같은 광학 특성을 결정하는 광학 막 두께 (굴절률 $\times$ 물리적 막 두께) 가 물리적 막 두께 보다 더 유용하다. 따라서, 박막의 광학 특성을 측정하는 소위 광학 막 두께 제어 방법에 따라 박막의 성장 중에 그 박막의 광학 특성을 측정하여 광학 막 두께를 모니터링하는 것이 널리 행해지고 있다. 광학 막 두께 제어 방법에는 단색 광도 측정법, 이색 광도 측정법 및 다색 광도 측정법이 있다. 이들 광학 막 두께 제어 방법 중에서 가장 간단한 것이 단색 광도 측정법이다.
- [0048] 단색 광도 측정법에서는, 형성되는 박막의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ (λ : 입사 단색 광의 파장) 의 정수배가 될 때 나타나는 피크 (또한 골, 각각 최대 및 최소에 해당된다) 를 사용한다. 형성되는 최표면층막이 코팅면에서 적층되는 기관층 인접 층의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ 의 정수배가 안된다면, 또는 인접 층을 포함하는 계의 어드미턴스가 수학적 실수로 표현되지 않는다면, 형성되는 막의 광학 막 두께가 성장 시작 후 최초로 $\lambda/4$ 의 정수배가 될 때 상기와 같은 피크가 항상 나타나는 것은 아니다. 그러나, 이러한 경우, 일단 피크가 나타나면, $\lambda/4$ 의 정수배에 해당되는 광학 막 두께의 성장 사이클 중에 피크가 주기적으로 나타나게 된다.
- [0049] 그러나, 단색 광도 측정법에서는, 나타나는 피크를 사용하는 피크 제어를 포함하는 상기 종래의 방법은 원리상 제어의 정확도가 어느 정도 나빠지는 것을 피할 수 없는데, 그 이유는, 증가하는 광학 막 두께에 대해 광도가 피크 부근에서는 거의 변하지 않기 때문이다.
- [0050] 피크 부근 이외의 광도가 현저하게 변하는 점에서 막형성을 종료하도록 제어하기 위해 사용되는 소망의 파장과는 다소 다른 파장을 위해 설계된 간섭 필터를 이용하여 정확도를 향상시킬 수 있다. 이러한 접근법으로서, 광학 막 두께 성장의 높은 제어 정확도를 부여하는 광학 위상각 영역을 선택하기 위해 광학 특성인 광도 (역투과율) 를 측정할 수도 있으며, 이로써 막형성의 종료 시점을 결정할 수 있다 (예컨대, 특허 문헌 1 참조).
- [0051] 한편, 예컨대 특허 문헌 2 에서는 소망의 파장을 사용하는 종래의 단색 광도 측정법이 사용되고 있다. 이러한 접근법에 따르면, 측정된 광도 (투과율) 가 광학 막 두께의 $\lambda/4$ 의 정수배 성장에 따라 피크를 이루기 직전에 얻어진 측정 데이터 군은 최소 자승법에 의해 2차 함수로 회귀된다. 막형성의 종료 시기를 결정하기 위해, 회귀 함수에서 피크가 생길 수 있는 시점이 예측된다. 가장 바람직하게는, 상기 시기는 예측된 점 자체이지만, 특정 조건을 고려한다면, 시점의 근거로서 예측된 점을 참고하여 시기가 결정된다.
- [0052] 특허 문헌 1: 일본 특허공개공보 S58-140605 호 (2~3면, 도 1)
- [0053] 특허 문헌 2: 일본 특허공개공보 S63-28862 호 (2~6면, 도 1 및 도 2)

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- [0054] 전술한 바와 같이, 더 많은 층으로 광학 박막을 형성하려는 요구가 통신 분야에서 많아지고 있다. 특히, 밀과장 분할 멀티플렉서 장치 (예컨대, 대역 통과 필터 (band pass filter)) 에서 다층 광학 박막은 100개 이상의 층을 갖는다. 다층 구조는, 각각 $\lambda/4$ 의 홀수배에 해당하는 광학 막 두께를 갖는 고굴절률층과 저굴절률층

으로 된 교대층으로 형성된다 (대역 통과 필터의 경우, 상기 교대층 사이에서 $\lambda/4$ 의 짝수배에 해당하는 광학 막 두께를 갖는 고굴절률층 또는 저굴절률층으로 캐비티 층이 형성될 수 있다). 이 경우, 관련된 모니터 기관을 교체하여 다층 구조의 각 박막의 막 두께를 제어하는 통상의 방법은, 요구되는 공정이 복잡하기 때문에 실용적이지 못하다.

[0055] 따라서, 제품 박막과 유사한 많은 교대층을 포함하는 다층 구조가 모니터 기관에 적층될 수도 있고, 이 다층 구조가 모니터링될 수도 있다. 그러나, 이 경우, 많은 층이 적층됨에 따라, 성장하는 다층 구조의 반사율이 커지게 되는데, 즉 투과율이 점차적으로 감소하여 측정값의 신뢰도가 떨어지게 된다. 그러므로, 전술한 함수 회귀가 실시된다면, 측정된 투과값은 2차 회귀 함수의 피크 부근에서 함수 곡선과 일치하지 않게 되며, 특히 이에 따라 그의 상관관계가 낮아지게 된다. 그러므로, 고정확도로 막 두께를 제어하는 것이 어렵게 된다. 또한, 정확도의 면에서 모니터 기관에서 모니터링될 다층 구조의 모든 구성 박막들이 제품 박막의 층들을 정확하게 재현할 수 있는지 아닌지도 의문이 된다.

[0056] 그러므로, 다층으로 된 광학 박막에 대해서는, 막 두께는 직접 모니터링 방법으로 제어되는데, 이 경우, 제품 기관에 적층된 많은 교대층 자체가 모니터링된다. 도 1 에는, 직접 모니터링 방법을 위한 막 두께 제어 장치의 일예가 나와 있다. 도 1a 에서 보는 바와 같이, 전자총 (2) 과 이온총 (3) 이 진공 챔버 (1) 안에서 회전가능한 기관 (4) 과 대향하여 나란히 배치되며, 광방출기 (5) 는 챔버 (1) 밖에서 회전가능한 기관 (4)의 맞은 편에 위치되고, 회전가능한 기관 (4)의 회전축 (4a)을 따라 광방출기 (5)에서 방출된 광은 하부 광유도창 (6)과 상부 광유도창 (7)을 통과하여, 챔버 (1)밖에 위치한 광수용기 (8)에 수용된다. 이 장치에 따른 막 두께 제어에 있어서, 제품 기관 (4)은 구동 모터 (9)에 의해 회전되며, 따라서 광방출기 (5)에서 나온 모니터링중인 하나의 단색 광플럭스는 회전축 (4a)을 따라 하부 광유도창 (6)을 통과하게 된다. 이 상태에서, 셔터 (2a)가 열려, 전자총 (2)으로 제품 기관 (4)에 적층막이 형성되게 된다. 이때, 광수용기 (8)은 하부 광유도창 (6)과 상부 광유도창 (7)을 통한 간섭에 기인한 광도의 변화를 검출한다. 그리고, 형성되는 적층막의 막 두께는 광도의 변화에 근거하여 제어된다. 즉, 막형성의 종료시점은 예컨대 특허 문헌 1 또는 2에 기재된 막 두께 제어 방법에 따라 결정된다. 그리고, 전자총 (2)을 사용한 막형성은 셔터 (2a)에 의해 중단되어 막 두께의 성장이 끝나게 된다. 이렇게 해서, 만족스런 스펙트럼 특성을 갖는 유전체 다층막이 제품 기관 중심의 부근에 형성되게 된다.

[0057] 그러나, 이 경우에도, 다수의 층이 적층됨에 따라, 성장하는 다층 구조의 반사율이 커지게 되는데, 즉 투과율이 점차적으로 감소하고 측정의 신뢰도가 떨어지게 되는데, 이로써 모니터 기관과 마찬가지로 동일한 단점이 생기게 된다. 이러한 영향은, $\lambda/4$ 의 고굴절률 막과 $\lambda/4$ 의 저굴절률 막으로 된 다수의 교대층들의 적층으로 만들어진 저역 통과 필터에서 특히 심각하게 된다. 또한, 다수의 교대층이 적층됨에 따라, 막 두께의 증대에 따라 변하는 투과광 세기의 변화를 나타내는 곡선은 피크와 골 부근에서조차 2차 회귀 함수와 일치하지 않게 되며, 높은 정확도로 막 두께를 제어하는 것이 어려워지게 된다. 도 2 에는 이러한 2차 회귀 함수와의 불일치가 도시되어 있다. 투과광도가 감소할 때 (즉, 저굴절률층 (L) 위에 있는 고굴절률층 (H)이 최표면층일 때), 그리고 투과광도가 증가할 때 (즉, 고굴절률층 (H) 위에 있는 고굴절률층 (H)이 최표면층일 때)는, 2차 함수 회귀로 예측된 피크와 골의 위치가 현저하게 다르게 되며, 이 결과 분산오차도 크게 된다. 그러므로, 투과광도가 감소할 때는 막형성을 위한 예측 종료시점이 너무 이르게 되고, 투과광도가 증가할 때는 막형성을 위한 예측 종료시점이 너무 늦게 된다.

[0058] 이러한 문제의 관점에서, 본 발명의 목적은, 광학 박막과 같은 유전체 다층막의 막 두께를 높은 정확도로 제어할 수 있는 방법, 이러한 방법에 의거하여 막 두께를 제어할 수 있는 광학 막 두께 제어 장치 및 유전체 다층, 그리고 이러한 제어 장치와 제조방법을 이용하여 제조된 유전체 다층막을 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

[0059] 상기 목적을 이루기 위해, 본 발명에 따르면, 단층 또는 다층 광학 박막의 형성 기간 중에, 입사 단색 광 (파장: λ)을 단층 또는 다층 구조에 투과시켜, 광학 박막의 투과율을 측정하고, 역투과율은 투과율의 역수로 계산한다.

[0060] 여기서, 구조의 경계조건으로부터 (즉, 전기장 또는 자기장의 B 또는 C의 접선성분은 각각 연속적이다), 아래의 식 1에 의해 단층막의 특성 매트릭스를 사용하여 계의 어드미턴스 (C/B)를 나타낸다.

수학식 1

[0061]
$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & i/N\sin\theta \\ iN\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Y \end{bmatrix}$$

[0062] 이 식에서, N 은 단층막의 굴절률이고, θ 는 단층막에서 서로 다른 간섭간의 위상차를 나타내며, Y 는 기판계의 어드미턴스를 나타낸다.

[0063] 단층막의 투과율 (T) 은 아래의 식 2 로 표시되며, * 는 복소 켤레를 나타낸다.

수학식 2

[0064]
$$T = 4Y/(B+C)(B+C)^*$$

[0065] 그러므로, 식 1 및 식 2 로부터 식 3 이 유도된다.

수학식 3

[0066]
$$T = 4Y/[(1+Y)^2 + \{(Y/N+N)^2 - (1+Y)^2\} \sin^2 \theta]$$

[0067] 여기서, 공기 또는 진공의 굴절률은 1 이라고 가정한다.

[0068] 그리고, 본 발명에서, 광학 위상각 (θ) 은 단색 광의 파장 (λ) 과 적층되는 성장 최표면층막의 광학 막 두께 (Nd) 를 포함해서 아래의 식 4 로 표시된다 (N 은 박막의 굴절률을 나타내고, d 는 박막의 물리적 두께를 나타낸다).

수학식 4

[0069]
$$\theta = 2\pi Nd/\lambda$$

[0070] 그리고, 최소 자승법으로, 두 변수의 측정 데이터군, 즉 광학 막 두께의 증가와 관련한 표면층막의 막성장 시간 (t) 및 역투과율 (1/T) 은 측정 데이터군이 최대치 또는 최소치에 도달하기 전에 2차 함수로 회귀되며, 따라서, 아래의 식 5 의 2차 회귀 함수가 얻어진다.

수학식 5

[0071]
$$1/T = A_0 + B_0(t-t_p)^2$$

[0072] (여기서, A_0 및 B_0 는 상수이고, t_p 는 최대치 또는 최소치에 도달할 때의 막성장 시간을 나타낸다.)

[0073] 회귀 함수의 더 높은 상관관계에 대해서는, 함수곡선의 최대치 또는 최소치에 접근하는 표면층막의 광학 막 두께가 최대치 또는 최소치에 대한 $\lambda/4$ (λ : 단색 광의 파장) 와 동일한 막 두께의 마지막 25~10% 에 이르는 시점 또는 그 후에 샘플링된 측정 데이터군에 대해서 함수 회귀를 실시하는 것이 바람직하다.

[0074] 상기 식 3 은 다음 식 6 으로 변형될 수 있다.

수학식 6

[0075]
$$1/T = (1+Y)^2/4Y + \{(Y/N+N)^2 - (1+Y)^2\} \sin^2 \theta / 4Y$$

[0076] 최표면층막의 성장이 시작될 때의 시간에서 최표면층막의 투과율 (T_0) 과, 그의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ 에 도달할 때에 최표면층의 투과율 (T_{90}) 은 각각 다음 식 (7), (8) 으로 표시된다.

수학식 7

[0077]
$$T_0 = 4Y/(1+Y)^2$$

수학식 8

- [0078] $T_{90} = 4Y/(Y/N+N)^2$
- [0079] 어드미턴스 (Y) 가 실수이면, 다음 식 9 가 이들 식으로부터 유도된다.
- 수학식 9**
- [0080] $(1/T_0-1/T)/(1/T_0-1/T_{90}) = \sin^2 \Theta$
- [0081] 따라서, 역투과율은 광학 위상각만의 함수로 표시될 수 있다.
- [0082] 전술한 간섭이론에 따르면, 역투과율은 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 매 간격마다 주기적인 분포를 갖는다. 역투과율의 최대 및 최소 부근에서, 상기 식 9 의 전개로 유도된 역투과율의 함수는 2차 함수로 접근할 수 있다 (Θ 는 변수이고 $\sin^2 \Theta$ 도 함수에 포함되어 있다). 그러므로, 최대 또는 최소시의 광학 막 두께에 이를 때의 막성장 시간의 예측값으로서, 2차 회귀 함수에서 최대 또는 최소시의 막성장 시간을 이용할 수 있다. 예측 시간에서 표면층막의 막형성을 종료하면, 광학 막 두께를 단색 광 파장의 1/4 에 해당하도록 제어할 수 있다.
- [0083] 이러한 광학 막 두께 제어 방법은 간단한데, 그 이유는, 박막 제품과 동일한 전체 다층구조의 광학적 특성을 한 번에 측정할 수 있고, 또한 이에 따라 피크 제어가 실시되기 때문이다. 또한, 피크 제어가 높은 상관관계로 2차 함수 회귀에 근거하여 실시되기 때문에, 막 두께를 높은 정확도로 제어할 수 있다.
- [0084] 이 경우, 표면층막의 광학 막 두께는 상기 식 9 의 전개로 얻어진 역투과율의 함수에 따라 계산될 수 있다. 그러므로, 최표면층막의 적층속도 (시간 미분과 시간 차이로 정의될 수 있다) 로 광학 막 두께의 목표치에 도달할 때 표면층막의 성장 시간을 예측함으로써 광학 막 두께를 소망하는 값으로 제어할 수 있다. 즉, 제어할 광학 막 두께는 단색 광 파장의 1/4 에 한정되지 않고, 어떠한 광학 막 두께라도 예측할 수 있다.
- [0085] 또한, 광학 박막의 형성과 관련된 투과율은 제품 기관에서 측정되므로, 제품 박막의 인시츄 (in-situ) 측정, 즉 최표면층막의 광학 막 두께의 직접 모니터링 방법을 실시할 수 있다. 따라서, 광학 막 두께 제어 방법이 그의 취급 및 정확도에 있어서 더욱 개선된다.
- [0086] 상기 광학 막 두께 제어 방법을 실시하기 위해, 서로 마주보는 회전가능한 기관과 막형성원을 갖는 막형성 디바이스 및, 회전가능한 기관의 반경을 따라 소정의 간격으로 회전가능한 기관에 가해진 복수의 단색 광빔을 검출하는 광전자 변환 디바이스를 포함하는 광학 막 두께 제어 장치가 제공되며, 기관상의 막형성을 차단하기 위해 회전가능한 기관의 반경 방향으로 이동하는 가동 셔터가 기관과 막형성원 사이에 제공된다. 광학 막 두께 제어 장치는, 상기 광전자 변환 디바이스에 의해 검출된 단색 광빔에 의해 예측된 막성장 시간의 각 예측치에 기초하여 셔터의 운동을 지시하는 제어기에 응답하여, 상기 가동 셔터가 이동하도록 설계된다. 따라서, 의도하는 광학 막 두께에 도달할 때의 표면층막의 막성장 시간은 전술한 광학 막 두께 제어 방법에 따라 예측할 수 있다. 표면층막에서, 막형성 공정은, 막이 원하는 광학 막 두께까지 성장한 영역내에서 종료되며, 이러한 막형성 공정의 종료는 연속적으로 실시된다. 이렇게 해서, 막 두께를 높은 정확도로 제어하여 균일한 막 두께를 얻을 수 있다.
- [0087] 그리고, 현재의 광통신 분야에서, DWDM 시스템용 멀티플렉서/디멀티플렉서에서 사용되는 저역 통과 필터는 ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) 에 의해 결정된 여러 종류의 중앙 파장 (예컨대, 4, 8, 16, ..., 128) 을 위해 설계된 일군의 대역 통과 필터를 필요로 한다. 따라서, 여러 종류의 파장을 위한 필터들을 동시에 다량으로 만들 필요가 있는 것이다.
- [0088] 그러나, 도 1 에 도시된 다층막 제조 장치에서, 모니터링 단색 광플렉스는 회전 중심축을 따라서만 지나간다. 그러므로, 직접 모니터링 방법은 도 1b 에서 참조번호 "10" 으로 나타낸 중앙 영역내에서만 유효한 것이다. 증발 분포의 변동, 제품 기관과 증발원 사이의 상대 거리의 차, 제품 기관 표면의 불균일한 온도 등에 기인하여, 기관의 중심부가 아닌, 도면번호 "11" 로 표시된 기관 영역내로부터 제공된 광학 박막 제품은 파장 특성 등의 변동을 갖게 되며, 직접 모니터링 방법에서 사용되는 모니터링 파장에 대해 만족스런 특성을 주지 못한다.
- [0089] 따라서, 기관을 통과하면서 인가된 모니터링 단색 광플렉스의 위치는, 회전 중앙축으로부터 회전가능한 기관 영역내의 동심원의 원주부상의 한 점으로 이동하게 되며, 이 원주부를 따라 환상 밴드 형상으로 형성된 영역은 직접 모니터링 방법에서 유효 영역으로 사용될 수도 있다. 그러나, 이 경우, 유효 영역에서 단지 작은 개선만 기대할 수 있다. 직접 모니터링 방법을 위한 모니터링 단색 광플렉스가 기관을 통과하는 영역에서는, 최표면

층 직전에 형성된 층의 막 두께가 더 낮은 정확도로 제어될 때도, 다음 최표면층의 막형성 종료시점이 피크와 골에서 정확히 제어될 수 있다면, 오차는 자연적으로 보정되어 오차가 감소하게 된다. 따라서, 고품질의 광학 박막 제품을 얻기 위해서는, 모니터링 영역에 상당한 이점이 있을 수 있기 때문에, 그 영역이 확대되는 것이 중요하다.

[0090] 따라서, 본 발명에 따른 유전체 다층막 제조 장치 중 하나의 장치인 진공 챔버는 막형성원과 반응원을 갖고 있으며, 각 막형성원과 반응원은 회전가능한 기관과 마주하도록 나란히 배열되어 있고, 본 유전체 다층막 제조 장치 중 하나의 장치는, 회전 기관 원의 반경을 따라, 회전가능한 기관에 형성된 유전체 다층막의 막적층율에 구배를 부여하는 개구부를 갖는 막적층율 제어 부재와; 이 막적층율 제어 부재와 함께 회전가능한 기관과 막형성원 사이에 제공되며, 회전가능한 기관에 형성된 유전체 다층막의 막 두께를 보정하는 막 두께 보정 부재와; 회전가능한 기관의 반경을 따라 복수의 모니터링점을 통과하는 모니터링 단색 광의 강도를 측정하는 광도 측정 수단과; 광플럭스가 각 모니터링점을 통과하게 하도록, 반경에 따른 모니터링점의 위치와 관련된 단색 광플럭스의 파장의 오름차순 또는 내림차순으로 둘 이상의 파장의 모니터링 단색 광플럭스를 배열하며, 또한 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변동에 응답하여 막 두께 보정 부재를 이동할 수 있게 하는 제어 시스템을 포함한다.

[0091] 본 장치에서, 단색 광플럭스는 반경을 따라 모니터링점들의 위치와 관련된 파장의 오름차순 또는 내림차순으로 배열되며, 상이한 파장의 모니터링 단색 광플럭스는 각각의 모니터링점들을 통과하게 된다.

[0092] 여기서, 모니터링점들이 반경을 따라 기관의 외주부로부터 내주부로 배열됨에 따라, 회전가능한 기관상의 모니터링점을 통과하는 모니터링 단색 광플럭스의 모니터링 파장이 되는 nd/λ , λ 의 값이 오름차순으로 배열된다.

이렇게 모니터링 단색 광플럭스가 배열된 상태에서, 유전체 다층막의 최표면층의 막 두께의 증대에 따라 광도가 광도 측정 수단에 의해 검출될 때, 막적층율 제어 부재의 개구부에 의해 부여된 막적층율의 구배가 회전 기관 원의 반경을 따라 외주부에서 내주부로 가면서 감소하게 되고, 또한 더 짧은 모니터링 파장이 부여되는 회전 기관 원의 외주부의 한 모니터링점에서 피크가 더 쉽게 형성된다. 따라서, 그에 대응하여 막 두께 보정 부재를 회전 기관 원의 외주부에서 내주부로 이동시킴으로써 유전체 다층막의 막 두께의 증대를 보정할 수 있다.

즉, 유전체 다층막의 최표면층의 막 두께를 높은 정확도로 제어할 수 있는 것이다. 또한, 하나 이상의 파장의 단색 광이 모니터링 광플럭스로 사용되므로, 다양한 모니터링 파장에 대해 직접 모니터링 방법을 써서 막 두께를 제어함으로써 유전체 다층막을 제조할 수 있다.

[0093] 막 두께 보정 부재의 운동방향은 회전 기관 원의 외주부에서 내주부로 향하는 방향으로만 한정할 필요는 없다.

회전가능한 기관상의 모니터링점을 통과하는 모니터링 단색 광플럭스의 모니터링 파장이 되는 nd/λ , λ 의 값은, 모니터링점들이 반경을 따라 기관의 외주부로부터 내주부로 배열됨에 따라 λ 가 긴 파장으로부터 짧은 파장으로, 즉, 내림차순으로 변하도록 배열된다. 이 경우, 유전체 다층막의 최표면층의 막 두께에 따라 광도가 광도 측정 수단에 의해 검출될 때, 막적층율 제어 부재의 개구부에 의해 부여된 막적층율의 구배가 회전 기관 원의 반경을 따라 외주부에서 내주부로 가면서 증가하게 되고, 또한 더 짧은 모니터링 파장이 부여되는 회전 기관 원의 내주부의 한 모니터링점에서 피크가 더 빨리 형성된다. 따라서, 그에 대응하여 막 두께 보정 부재를 구동하여 회전 기관 원의 내주부에서 외주부로 이동시킴으로써 유전체 다층막의 막 두께의 불균일성을 보정할 수 있다.

[0094] 상기 회전가능한 기관의 반경 방향으로 이동할 수 있는 서터가 막 두께 보정 부재로 사용되며, 회전가능한 기관상의 막형성이 반경을 따라 상기한 오름차순 또는 내림차순으로 가동 서터의 운동에 의해 중단된다.

[0095] 따라서, 모니터링점을 통과하는 상이한 파장의 각 단색 광에 대하여 환상 밴드 형상으로 형성된 동일한 품질의 유전체 다층막을 얻기 위해, 동일한 조건하에서 막형성이 중단될 수 있다. 그러므로, 환상 밴드 형상의 모니터링 영역으로부터 얻어지는 다양한 고품질 유전체 다층막을 대규모로 생산할 수 있는 것이다.

[0096] 또한, 하나 이상의 파장을 포함하는 모니터링 단색 광플럭스가 회전가능한 기관상의 유전체 다층막의 형성 기간 중에 복수의 각 모니터링점을 통과하고 또한 역투과율을 투과율의 역수로 정의하면, 유전체 다층막 제조 장치의 제어 시스템으로, 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변화는 먼저 투과율의 변화로서 측정된다.

[0097] 상기한 간섭 이론에 근거하여, 역투과율은 단색 광 파장의 $1/4$ 에 일치하는 광학 막 두께의 간격으로 주기적으로 분포하게 되며, 역투과율의 최대 및 최소의 부근에서, 상기 식 9의 전개로 얻어지는 역투과율의 함수는 2차 함수로 접근할 수 있다 (이 함수는 $\sin^2 \theta$ 항의 변수 θ 에 의존한다). 그러므로, 최표면층막이 최대 또는 최소로 광학 막 두께에 도달하는 예측 시간으로서, 2차 회귀 함수에서 최대치 또는 최소치에서의 막성장 시간을 이용할 수 있다. 표면층막에서의 막형성은 예측 시간에서 종료된다. 이 과정에서, 피크 제어가 높은 상

관관계로 2차 함수 회귀에 근거하여 실시되기 때문에, 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께에의 도달을 위한 제어의 정확도가 더욱 개선된다.

[0098] 이 경우, 표면층막의 광학 막 두께는 상기 식 9 의 전개로 얻어진 역투과율 함수에 근거하여 계산될 수 있다. 그러므로, 시간 미분 또는 시간 차이는 최표면층막의 막적층율로서 계산될 수 있으며, 최표면층막이 규정된 광학 막 두께에 도달하는데 걸리는 시간은 막적층율에 근거하여 예측될 수 있다. 따라서, 소망하는 광학 막 두께가 예측 및 제어될 수 있다. 즉, 제어할 광학 막 두께는 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 두께에만 한정되지 않고, 어떠한 광학 막 두께라도 제어될 수 있다.

[0099] 또한, 상기한 제조 장치 대신에, 본 발명에 따른 다른 유전체 다층막 제조 장치는 회전가능한 기관과 마주하도록 나란히 배열된 막형성원과 반응원을 갖는 제조용 진공 챔버를 구비하며, 회전가능한 기관에 형성된 유전체 다층막의 막적층율을 제어하는 개구부를 갖는 막적층율 제어 부재; 회전가능한 기관에 형성된 유전체 다층막의 막 두께를 보정하는 개구부를 가지며, 상기 막적층율 제어 부재와 함께 회전가능한 기관과 막형성원 사이에 배치되는 막 두께 보정 부재; 회전가능한 기관의 반경을 따른 복수의 모니터링점을 통과하는 모니터링 단색 광의 강도를 측정하는 광도 측정 수단; 및 하나 이상의 파장의 모니터링 단색 광플렉스 각각이 상기 모니터링점을 통과할 때, 상기 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변동에 응답하여 막 두께 보정 부재의 개구부를 부분적으로 또한 독립적으로 작동시키는 제어 시스템을 포함한다.

[0100] 이러한 장치로, 기관상에 형성되는 유전체 다층막의 최표면층의 막 두께의 증대에 의존하는 광도는 광도 측정 수단에 의해 측정되며, 막 두께 보정 부재의 개구는 광도에 따라 개폐되는데, 이로써 유전체 다층막의 막 두께의 증대가 보정될 수 있는 것이다. 즉, 유전체 다층막의 최표면층막의 막 두께를 높은 정확도로 제어할 수 있다. 그리고, 이 과정에서, 하나 이상의 파장의 단색 광이 모니터링 광플렉스로서 사용되기 때문에, 다양한 모니터링 파장에 대해 직접 모니터링 방법을 써서 막 두께를 제어함으로써 유전체 다층막을 제조할 수 있다.

[0101] 막 두께 보정 부재의 개구를 부분적으로 또한 독립적으로 개폐하기 위한 제어 시스템으로서 스플릿 셔터가 사용되는데, 이 셔터는, 회전가능한 기관이 회전할 때 각 모니터링점의 궤적으로 그려진 동심원의 원주부를 따라 형성된 아치형 영역을 독립적으로 개폐하게 된다.

[0102] 따라서, 모니터링점을 통과하는 상이한 파장의 모든 단색 광플렉스에 대하여 아치형상으로 형성된 동일한 품질의 유전체 다층막을 얻기 위해, 동일한 조건하에서 막형성이 중지될 수 있다. 그러므로, 아치형 모니터링 영역으로부터 얻어지는 다양한 고품질 유전체 다층막을 대규모로 생산할 수 있는 것이다.

[0103] 또한, 하나 이상의 파장을 포함하는 모니터링 단색 광플렉스가 회전가능한 기관상의 유전체 다층막의 형성 기간 중에 복수의 각 모니터링점을 통과하고 또한 역투과율을 투과율의 역수로 정의하면, 유전체 다층막 제조 장치의 제어 시스템으로, 광도 측정 수단에 의해 측정된 광도의 변화는 먼저 투과율의 변화로서 측정된다.

[0104] 상기한 간섭 이론에 근거하여, 역투과율은 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께의 간격으로 주기적으로 분포하게 되며, 역투과율의 최대 및 최소의 부근에서, 상기 식 9 의 전개로 얻어지는 역투과율의 함수는 2차 함수로 접근할 수 있다 (함수는 $\sin^2 \theta$ 항의 변수 θ 에 의존한다). 그러므로, 최표면층막이 최대치 또는 최소치에서 광학 막 두께에 도달하는 예측 시간으로서, 2차 회귀 함수에서 최대치 또는 최소치에서의 막성장 시간을 사용할 수 있다. 표면층막에서의 막형성은 예측 시간에서 종료된다. 이 과정에서, 피크 제어가 높은 상관관계로 2차 함수 회귀에 근거하여 실시되기 때문에, 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 광학 막 두께에의 도달을 위한 제어의 정확도가 더욱 개선된다.

[0105] 이 경우, 표면층막의 광학 막 두께는 상기 식 9 의 전개로 얻어진 역투과율 함수에 근거하여 계산될 수 있다. 그러므로, 최표면층막이 도달하는 규정된 광학 막 두께를 검출함으로써 막 두께를 소망하는 광학 막 두께로 제어할 수 있다. 즉, 제어되어질 광학 막 두께는 단색 광 파장의 1/4 에 일치하는 두께에만 한정되지 않고, 어떠한 광학 막 두께라도 제어될 수 있다.

[0106] 상기 두 유전체 다층막 제조 장치에서, 어떠한 타겟이라도 선택할 수 있도록 제공된 둘 이상의 상이한 재료의 스퍼터링 타겟이 막형성 재료원으로 사용된다. 따라서, 유전체 다층막에서 각 구성층에 대한 재료로서 소망하는 타겟 재료를 선택할 수 있고, 이에 따라 다층막 제조가 용이하게 개선된다.

[0107] 스퍼터링 타겟의 상이한 재료로서 Ta 및 Si 금속을 사용하면, Ta₂O₅ 막 (BPF 를 포함하는 광학 박막제품에서 통상적인 고굴절률층이다) 과 같은 탄탈 화합물 막 및, SiO₂ 막 (광학 박막제품에서 통상적인 저굴절률층이다) 과

같은 실리콘 화합물 막을 제조할 수 있다.

[0108] 반응원이 반응성 중성 라디칼 가스를 방출할 때, 상기한 화합물 막이 표면층막에 형성되면 기판 온도의 증가가 억제된다. 결과적으로, 광학 막 두께의 제어에 대한 정확도의 악화가 억제된다.

[0109] 또한, 상기한 광학 막 두께 제어 장치 또는 유전체 다층막 제조 장치를 사용하여 제조된 유전체 다층막은 정확히 제어된 광학 막 두께를 갖게 되며, 이로써 광학 박막에 적절하게 이용될 수 있다.

바람직한 실시형태의 상세한 설명

[0110] 도 3 은 본 발명에 따른 광학 막 두께 제어 방법을 실행하는 광학 막 두께 제어 장치를 개략적으로 도시하고 있다. 광학 막 두께 제어 장치는 조정가능 레이저 광원 (12), 8-분지 광학 커플러 (13), 8-스로 섬유 시준기 (8-throw fiber collimator; 14), 스퍼터링 막형성 디바이스 (15), InGaAs 로 제조된 8-스로 광전 다이오드 (8-throw photodiode; 16), 8-채널 A/D 변환기 (17), 데이터 처리용 CPU (18) 및 리니어 모터 드라이버 (19) 로 이루어진다.

[0111] 조정가능 레이저 광원 (12) 은 단일 모드의 광섬유 케이블 (20) 을 통하여 광학 커플러 (13) 에 연결되고, 광학 커플러 (13) 는 단일 모드의 광섬유 케이블 (21) 을 통하여 섬유 시준기 (14) 에 연결된다. 상기 레이저 광원 (12) 으로부터의 광은 광학 커플러 (13) 에 의해서 8개의 광빔으로 분리된다. 그 후, 8개의 광빔은 상기 섬유 시준기 (14) 에 의해서 서로 평행하게 만들어지고 난 후에, 스퍼터링 막형성 디바이스 (15) 의 투명창 (22) 과 회전가능한 기판 (23) 을 통하여 광전 다이오드 (16) 로 통과한다. 데이터 처리용 CPU (18) 및 리니어 모터 드라이버 (19) 는 RS232C 와 같은 출력/입력 계면 (31) 을 통하여 서로 연결된다.

[0112] 상기 스퍼터링 막형성 디바이스 (15) 는 진공 펌프 (도면에 도시안됨) 에 커플링된 배기구 (25) 를 구비하고 있다. 이 스퍼터링 막형성 디바이스에서, 회전 구동 메커니즘 (26) 에 의해서 구동된 회전축 (27) 에 의해서 지지된 회전가능한 기판 (23) 과, 스퍼터링 캐소드 (도면에 도시안됨) 에 장착된 타겟 (28) 은 마주보도록 배치된다. 기판 (23) 의 반경 방향으로 이동가능한 가동 셔터 (29) 는 회전가능한 기판 (23) 과 타겟 (28) 사이에 제공된다. 이 기판 (23) 과 타겟 (28) 사이에 끼워진 가동 셔터 (29) 는 기판 (23) 상의 막형성을 중지시킬 수 있다. 가동 셔터 (29) 의 운동은 리니어 모터 드라이버 (19) 로부터의 지시에 따라 리니어 모터 (30) 에 의해서 외부에서 제어된다.

[0113] 막 두께 제어 장치를 사용함으로써 본 발명에 따른 막 두께 제어를 수행함에 있어서, 배기구 (25) 에 커플링된 진공 펌프 (도면에 도시안됨) 는 먼저 스퍼터링 막형성 디바이스 (15) 가 작동될 수 있게 작동된다. 그 후, 조정가능 레이저 광원 (12) 은 회전가능한 기판 (23) 에 상술한 8개의 평행한 광빔을 조사하도록 작동된다. 이 상태에서, 상기 막형성 디바이스 (15) 에 의한 스퍼터링 막형성이 개시된다. 여기서, 이 시간 지점은 박막의 막형성 시간의 개시점으로서 정의된다.

[0114] 기판 (23) 을 통과하는 8개의 평행한 광빔의 각각은 광전 다이오드 (16) 에 의해서 전압신호로 변환된다. 전압신호는 A/D 변환기 (17) 에 의해서 디지털 수신호로 변환된다. 디지털 수신호는 데이터 처리용 CPU (18) 에 입력되며, 여기서 신호는 식 5 에 근거한 막형성 시간의 70 내지 90% 와 등가인 번역을 갖는 2차 함수로 회귀된다.

[0115] 도 4 는 광전 다이오드 (16) 에 의해서 검출된 8개의 광신호에 대한 상호 투과곡선을 도시한다. 도 4 에서 알 수 있는 바와 같이, 기판 (23) 에 가해진 평행한 광빔이 광전 다이오드 (16) 에 의한 각각 검출 위치, 다시 말해서 기판 (23) 의 반경 방향으로 외부에서 내부로의 위치에 근거하여 할당된 연속적인 수 (1 내지 8) 라고 한다면, 8개의 평행한 광빔은 막의 80% 가 형성된 지점으로부터 약 120초의 경과후 순서대로 피크 (최대값) 를 이룬다. 여기서, 상호 투과곡선이 피크를 이루는 시간 지점은, 형성되어질 박막이 원하는 광학 막 두께를 갖는 시간 지점으로서 간주된다.

[0116] 도 5 는 도 4 의 광빔 (1) 이 먼저 피크를 이룰 때 시간이 제로 지점이라고 한다면, 검출 지점과, 평행한 광빔 (1 내지 8) 의 예측 피크 시간간의 관계를 도시하는 그래프이다. 이 그래프의 실선은 평행한 광빔 (1 내지 8) (검출 위치 번호) 과 이들 각각의 예측 피크 시간 (피크 위치) 간의 상호관계의 3차 함수에 대한 회귀로부터 유도된다. 이 회귀함수는 다음과 같이 나타내어진다:

수학식 10

[0117]
$$y = -0.0227x^3 + 0.4204x^2 + 1.8345x - 2.1685$$

[0118] 식 10 을 미분하면 다음 식 11 이 된다.

수학식 11

[0119] $y = 0.681x^2 + 0.8408x + 1.8345$

[0120] 식 (11) 은 모터 드라이버의 속도의 함수로서 사용된다. 이 함수에 근거하여, 도 3 에 도시된 가동 셔터 (29) 는 기관 (23) 의 반경 방향으로 안쪽으로 이동되어 기관 (23) 의 막형성 영역상의 막형성을 서서히 중지시킨다.

[0121] 기관 (23) 상의 박막의 광학 막 두께는, 막 두께가 균일하도록 확실하게 제어될 수 있다.

[0122] 도 6a 는 본 발명의 제 1 양태에 따른 유전체 다층막 제조 장치의 개략 단면도를 도시한다. 도 6 에 대하여 언급하면, 진공 챔버 (61) 안에, 막형성원인 스퍼터링 타겟 유닛 (62) 와 반응원인 이온총 유닛 (63) 가 회전가능한 기관 (64) 을 향하도록 나란히 배치되어 있다. 광 방사체 (65) 는 회전가능한 기관 (64) 위의 챔버 (61) 외부에 배치되어 있다. 8-채널 광 방사체 (65) 로부터의 8개의 평행한 단색 광플럭스는 상부 광유도창 (66), 회전가능한 기관 (64) 및 하부 광유도창 (67) 을 통해 통과하여 챔버 (61) 외부에 위치한 8-채널 광 수신기 (68) 에 의해서 수신된다.

[0123] 광 수신기 (68) 에 의해서 수신된 8개의 단색 광플럭스는 도면에서 점선으로 도시된 전기신호라인을 통하여 컴퓨터 (72) 에, 그리고 8-채널 전치 증폭기 (69), 8-채널 A/D 변환기 (70) 및 디지털 신호 처리기 (DSP; 71) 에 연결된다. 컴퓨터 (72) 는 원하는 막 두께에 도달하는 시간을 계산하고, 계산된 예측시간에 근거하여 막형성이 종결됨을 가리킴으로써 막 두께를 제어하며, 여기서 계산된 예측시간은 막형성동안 종결 시점으로서 간주된다.

[0124] 스퍼터링 타겟 유닛 (62) 는 Ta 타겟 (74) 과 Si 타겟 (75) 을 구비하고, 이들은 회전 메커니즘 (73) 에 의해서 수직 위치로 역전될 수 있다. 이 타겟 (74, 75) 은 보호커버 (74a, 75a) 를 각각 구비하고, 스퍼터링 가스 파이프 (76) 는 각각의 보호커버 (74a, 75a) 에 의해서 둘러 싸여진 공간내로 관통한다. 다른 타겟위에 위치되는 타겟 (74, 75) 중의 하나의 타겟은 고정 개구부 (77) 를 통하여 회전가능한 기관 (64) 에 향하고, 이 고정 개구부는 막적층을 제어 부재이다. 이온총 유닛 (63) 는 반응가스 파이프 (78) 가 관통하는 ECR 이온총 (79) 으로 구성된다.

[0125] 회전가능한 기관 (64) 은 구동 모터 (80) 에 의해서 회전되고, 막 두께 보정 부재인 가동 셔터 (81) 는 회전가능한 기관 (64) 과 스퍼터링 타겟 유닛 (62) 사이에 제공된다.

[0126] 회전가능한 기관 (64) 과 스퍼터링 타겟 유닛 (62) 간의 배열은 상세하게 기술될 것이다. 도 6b 에 도시된 바와 같이, 기관 (64) 상에는 이 기관 (64) 의 반경을 따라서 8개의 모니터링 단색 광플럭스의 통과 지점 (모니터링점; 82 내지 89) 이 있다. 여기서, 모니터링점을 통과하는 모니터링 광플럭스는, 그 파장이 모니터링점 (82) 으로부터 모니터링점 (89) 으로 갈수록 더 길어지도록 배열된다.

[0127] 도 6c 는 이 기관 (64) 을 포함하는 장치 (61) 의 평면도이다. 이 도면에서, 스퍼터링 타겟 (74, 75; 도면에 도시안됨) 은 바닥에 배치되고, 고정 개구부 (77) 가 안에 형성된 평면 플레이트 (77a) 는 스퍼터링 타겟위에 배치되고, 가동 셔터 (81) 는 평면 플레이트 (77a) 위에 배치되고, 그리고 회전가능한 기관 (64) 은 가동 셔터 (81) 위에 배치된다. 상술된 고정 개구부 (77) 는 기관 (64) 의 모니터링 영역에 형성된 막의 막적층을 제어하도록 의도된다. 이 실시예에서, 고정 개구부 (77) 는 회전하는 기관의 원의 외부 가장자리에서의 막적층이 상기 기관의 원의 내부 가장자리에서의 속도보다 더 빨라지도록 회전하는 기관 원의 호를 따라서 부채꼴 (sector) 로 형성된다. 장치 외부에 위치한 구동 모터 (81a) 에 의해서 구동된 이송나사 (도면에 도시안됨) 의 작동에 의해서, 호형상 첨단 가장자리를 갖는 가동 셔터 (81) 는 모니터링 단색 광플럭스의 통과지점 (82 내지 89; 도면에 도시안됨) 을 갖는 회전하는 기관의 원의 반경을 따라서 직선으로 이동된다. 이 작동은 가동 셔터 (81) 가 고정 개구부 (77) 를 통하여 실행된 막형성을 중지시킬 수 있다. 가동 셔터 (81) 의 직선운동은 광 수신기 (68) 와 결합된 컴퓨터 (72) 로부터의 지시에 따라 장치의 외부에서 제어된다.

[0128] 도 6a 에 도시된 유전체 다층막 제조 장치가 막 두께 제어를 실행할 때, 예정 압력상태는 진공 펌프 (도면에 도시안됨) 의 작동에 의해서 챔버 (61) 에서 확립된다. 그 후, 제품 기관 (64) 은 구동 모터 (80) 에 의해서 회전된다. 그 후, 광 방출기 (65) 로부터의 8개의 모니터링 단색 광플럭스는 상부 광도입창 (66), 회전가능한 기관 (64) 및 하부 광도입창 (67) 을 통하여 광 수신기 (68) 를 통과하게 된다. 여기에서, 8개의 모니터

링 단색 광빔은 2개 채널의 단색 광빔으로 된 4개의 세트에 이루어져 있고, 이 4개의 세트는 서로 다른 모니터링 파장을 갖고, 2개 채널의 각 세트는 동일한 파장을 갖는다. 가동 셔터 (81) 는 회전가능한 기관 (64) 과, Ta 타겟 (74) 또는 Si 타겟 (75) 이 서로 방해됨이 없이 향하도록 고정 개구부 (77) 의 외부에 유지된다. 아르곤가스는 스퍼터링 가스 파이프 (76) 를 통하여 타겟 (74 또는 75) 부근으로 도입되고, 소정의 캐소드 파워가 공급되어 스퍼터링 막형성을 개시한다. 이 공정에서, 산소가스와 아르곤가스를 함유하는 혼합가스는 ECR 이온총 (79) 내로 도입되어 ECR 이온총 (79) 이 중성 라디칼 산소를 방출하도록 함으로써 기관 (64) 상에 증착된 Ta 또는 Si 로 이루어진 금속층의 산화가 일어나게 한다.

[0129] 고굴절율을 갖는 Ta₂O₅ 막과 저굴절율을 갖는 SiO₂ 막으로 이루어진 교대 다층막은 Ta 타겟 (74) 및 Si 타겟 (75) 중의 하나를 선택적으로 채택함으로써 제품 기관 (64) 상에 형성된다. 상술된 바와 같이, 고정밀도로 교대 다층막의 각각의 구성층의 광학 막 두께를 제어하는 것이 필수적이다.

[0130] 그러므로, 타겟 (74 또는 75) 에 의한 스퍼터링 막형성이 이루어지는 시점은 막 두께를 증가시키는데 요구되는 막형성 시간의 개시점으로서 정의된다. 각각이 2개의 광플럭스로 할당된 상술된 4개의 모니터링 파장의 평행한 광플럭스인 8개의 모니터링 단색 광빔은 회전가능한 기관 (64) 을 통과한 후, 광 수신기 (68) 에 의해서 수신된다. 그 후, 각각의 단색 광빔은 8-채널 전치 증폭기 (69) 에 의해서 전압신호로 변환된다. 전압신호는 8-채널 A/D 변환기 (70) 에 의해서 디지털 수신신호로 변환된다. 디지털 수신신호는 DSP (71) 에 입력되고, 여기서 신호는 2차 함수로 회귀되고, 그 변역은 식 5 에 근거한 막형성 시간의 80% 를 넘는 시간 기간이다.

[0131] 원하는 막 두께에 도달될 때, 이에 따라 각각의 모니터링 파장에 대한 모니터링 영역에 대해서 막형성이 종결되는 시간지점으로서 얻어지는 예측시간에 대하여 언급하면, 컴퓨터 (72) 는 가동 셔터 (81) 가 이동하도록 지시하여 그 첨단부분 (tip portion) 이 막형이 종결되어지는 모니터링 영역에서 모니터링점을 뒀다. 이런 식으로, 모니터링 영역에서의 막형성은 중지된다.

[0132] 본 발명에 따르면, 막적층을 및 모니터링 파장의 배열을 제어하는 부채꼴형상 고정 개구부 (77) 로 인하여, 회전가능한 기관의 원의 외부 가장자리상의 모니터링점은 더 일찍 피크를 이룬다. 그러므로, 컴퓨터 (72) 의 지시에 의해서 속도가 제어된 가동 셔터 (81) 는 회전 기관 원의 외부 가장자리로부터 내부 가장자리로 일 방향으로 이동한다.

[0133] 모든 모니터링 파장에 대한 모니터링 영역에서 막형성이 이런 식으로 종료된다면, 하부위치에서 아이들 (idle) 인 타겟 유닛 (62) 의 타겟 (75 또는 74) 은 다음 표면층막을 형성하기 위하여 상부위치로 올려진다. 그 후, 다음 막형성은 상술된 바와 동일한 방식으로 실행된다. 피크 제어공정을 반복함으로써, 각 모니터링 영역에서 적층은 독립적으로 완성된다.

[0134] 한편, 시간경과에 따라 변하는 광학 막 두께는 초기 투과율, 다음 피크가 달성될 때 얻어지는 투과율 및 막형성 동안의 투과율로부터 계산될 수 있다. 게다가, 막적층율은 광학 막 두께의 미분 또는 규칙적인 간격으로 계산된 광학 막 두께간의 차이로부터 얻어질 수 있다.

[0135] 다시 말해서, 식 6 으로부터 유도된 식 9 를 변형시킨 것이 다음 식 12 를 제공한다.

수학식 12

$$[0136] \quad \Theta = \sin^{-1}[\sqrt{\{(1 - T_0 - 1/T_0) / (1/T_0 - 1/T_{90})\}}] \quad \dots(12)$$

[0137] 예를 들어, 모니터링 파장이 1550nm 이고, 막형성이 종결되는 원하는 광학 막 두께가 580nm 이면, 막형성이 종결되는 상 차이는 다음과 같이 나타내어진다: $\Theta = 2\pi^*$ (광학 막 두께)/(모니터링 파장) = 134.7도. 계산된 속도 (광학 막 유닛) 가 1.2nm/초 (= 0.2787도/초) 이고, 현재의 광학 막 두께가 500nm (= 116.13도) 라고 하면, 종점 지점으로서의 나머지 시간 X (초) 는 다음 식 13 으로 나타내어진다.

수학식 13

$$[0138] \quad 134.7 = 116.13 + 0.2787 \times X$$

[0139] 따라서, 시간 X 는 66.63 초로서 측정된다. 다시 말해서, 피크 제어 뿐만 아니라, 어떠한 광학 막 두께의 계산도 막형성동안의 종결 시간 지점을 제공할 수 있다.

[0140] 원하는 막 두께에 도달될 때, 이에 따라 각각의 모니터링 파장에 대한 모니터링 영역에 대해서 막형성이 종결되

는 시간지점으로서 얻어지는 예측시간에 대하여 언급하면, 컴퓨터 (72) 는 가동 셔터 (81) 가 이동하도록 지시하여 그 첨단부분이 막형이 종결되어지는 모니터링 영역에서 모니터링점을 뒀는다. 이런 식으로, 모니터링 영역에서의 막형성은 중지된다.

[0141] 모든 모니터링 파장에 대한 모니터링 영역에서 막형성이 이런 식으로 종료된다면, 하부위치에서 아이들인 타겟 유니트 (62) 의 타겟 (75 또는 74) 은 다음 표면충격을 형성하기 위하여 상부위치로 올려진다. 그 후, 다음 막형성은 상술된 바와 동일한 방식으로 실행된다. 이와 같이 임의의 막형성 공정을 반복함으로써, 각 모니터링 영역에서 적층이 독립적으로 완성된다.

[0142] 도 7a 는 본 발명의 제 2 양태에 따른 유전체 다층막 제조 장치의 개략 단면도이다. 도 7 에 대하여 언급하면, 진공 챔버 (91) 안에, 막형성원인 스퍼터링 타겟 유니트 (92) 와 반응원인 이온총 (93) 이 회전가능한 기관 (94) 을 향하도록 나란히 배치된다. 광 방출기 (95) 는 회전가능한 기관 (94) 위의 챔버 (91) 외부에 배치되어 있다. 8-채널 광 방사체 (95) 로부터의 8개의 평행한 단색 광플럭스는 상부 광유도창 (96), 회전가능한 기관 (94) 및 하부 광유도창 (97) 을 통하여 통과하여 챔버 (91) 외부에 위치된 8-채널 광 수신기 (98) 에 의해서 수신된다.

[0143] 광 수신기 (98) 에 의해서 수신된 8개의 단색 광플럭스는 도면에서 점선으로 도시된 전기신호라인을 통하여 컴퓨터 (102) 에, 8-채널 전치 증폭기 (99), 8-채널 A/D 변환기 (100) 및 디지털 신호 처리기 (DSP; 101) 에 연결된다. 컴퓨터 (102) 는 원하는 막 두께에 도달하는 예측 시간을 계산하고, 계산된 예측시간에 근거하여 막형성이 종결됨을 가리킴으로써 막 두께를 제어하며, 여기서 계산된 예측시간은 막형성동안 종결시간 지점으로서 간주된다.

[0144] 스퍼터링 타겟 유니트 (92) 는 Ta 타겟 (104) 과 Si 타겟 (105) 을 구비하고, 이들은 회전 메커니즘 (103) 에 의해서 수직위치로 역전될 수 있다. 이 타겟 (104, 105) 은 보호커버 (104a, 105a) 를 각각 구비하고, 스퍼터링 가스 파이프 (106) 는 각각의 보호커버 (104a, 105a) 에 의해서 둘러 싸여진 공간내로 관통한다. 다른 타겟위에 위치되는 타겟 (104, 105) 중의 하나의 타겟은 고정 개구부 (107) 를 통하여 회전가능한 기관 (94) 에 향하고 있다. 이온총 유니트 (93) 는 반응가스 파이프 (108) 가 관통하는 ECR 이온총 (109) 으로 구성된다.

[0145] 회전가능한 기관 (94) 은 구동 모터 (110) 에 의해서 회전되고, 막적층을 제어 부재인 가변 개구부 (111a, 111b) 및 막 두께 보정 부재인 스플릿 셔터 (112 내지 115) 는 회전가능한 기관 (94) 과 스퍼터링 타겟 유니트 (92) 사이에 제공된다.

[0146] 회전가능한 기관 (94) 과 스퍼터링 타겟 유니트 (92) 간의 배열은 상세하게 기술될 것이다. 도 7b 에 도시된 바와 같이, 기관 (94) 부근에 제공된 스플릿 셔터 (112, 113, 114 및 115) 는 구동축 (112a, 113a, 114a 및 115a) 각각에 의해서 독립적으로 작동되고, 기관 (94) 상의 8개의 모니터링 단색 광플럭스의 각각의 통과지점 (모니터링점; 116a 내지 116h) 의 흔적에 의해서 생기는 동심원의 원주를 따라서 형성된 호형상 개구부 영역을 개방 또는 폐쇄하도록 배열된다.

[0147] 도 7c 는 이 기관 (94) 및 스플릿 셔터 (112 내지 115) 를 포함하는 장치 (91) 의 평면도이다. 이 도면에서, 스퍼터링 타겟 (104, 105; 도면에 도시안됨) 은 바닥에 배치되고, 고정 개구부 (107) 가 안에 형성된 평면 플레이트 (107a) 는 스퍼터링 타겟위에 배치되고, 가변 개구부 (111a, 111b) 는 평면 플레이트 위에 배치되고, 스플릿 셔터 (112 내지 115) 는 평면 플레이트 위에 배치되고, 그리고 회전가능한 기관 (94) 은 스플릿 셔터 위에 배치된다. 상술된 고정 개구부 (107) 는 증발된 재료분포를 제어하여 광범위하게 광학 특성을 제공하도록 한다. 이 개구부는 가변 개구부일수도 있다. 가변 개구부 (111a, 111b) 는, 막형성이 거의 끝났을 때 고정 밀도로 막 두께를 제어하기 위하여 막적층율을 감소시키도록 한다. 스퍼터링 타겟의 출력을 조정함으로써 막적층율을 감소시키는 것이 직접적인 효과를 제공하지 못하고, 시간을 많이 걸리게 하여 생산성을 낮추기 때문에, 가변 개구부는 스퍼터링 타겟 (104, 105) 을 대신한다. 다시 말해서, 막형성은 초기에는 높은 막적층율로 실행되고, 막형성이 거의 끝나가면 막 두께는 막적층율을 감소시키도록 가변 개구부 (111a, 111b) 의 개방도를 감소시킴으로써 정확하게 제어된다. 스플릿 셔터 (112, 113, 114 및 115) 는 구동축 (112a, 113a, 114a 및 115a) 각각에 의해서 독립적으로 끌어 당겨지거나 밀어 내어져서 기관 (94) 상의 모니터링 단색 광플럭스의 각각의 통과지점 (도면에 도시안됨; 116a 내지 116h) 의 흔적에 의해서 생기는 동심원의 원주를 따라서 형성된 호형상 개구부 영역을 개방하거나 폐쇄함으로써 개구부 영역에서 막형성을 중지한다. 가변 개구부 (111a, 111b) 의 개방도 및 스플릿 셔터의 개방/폐쇄는 광 수신기 (98) 와 결합된 컴퓨터 (102) 로부터의 지시에 따라 장치의 외부에서 제어된다.

- [0148] 도 7a 에 도시된 유전체 다층막 제조 장치가 막 두께 제어를 실행할 때, 소정 압력상태는 진공 펌프 (도면에 도시안됨) 의 작동에 의해서 챔버 (91) 에서 확립된다. 그 후, 제품 기관 (94) 은 구동 모터 (110) 에 의해서 회전된다. 그 후, 광 방사체 (95) 로부터의 8개의 모니터링 단색 광플럭스는 상부 광도입창 (96), 회전가능한 기관 (94) 및 하부 광도입창 (97) 을 통하여 광 수신기 (98) 를 통과하게 된다. 여기에서, 8개의 모니터링 단색 광빔은 2개 채널의 단색 광빔으로 된 4개의 세트에 이루어져 있고, 이 4개의 세트는 서로 다른 모니터링 파장을 갖고, 2개 채널의 각 세트는 동일한 파장을 갖는다. 가변 개구부 (111a, 111b) 의 예정 개방도가 유지되고, 스플릿 셔터 (112 내지 115) 는 회전가능한 기관 (94) 과, Ta 타겟 (104) 또는 Si 타겟 (105) 이 서로 방해됨이 없이 향하도록 완전히 개방된다. 아르곤가스는 스퍼터링 가스 파이프 (106) 를 통하여 타겟 (104 또는 105) 부근으로 도입되고, 소정의 캐소드 파워가 공급되어 스퍼터링 막형성을 개시한다. 이 공정에서, 산소가스와 아르곤가스를 함유하는 혼합가스는 ECR 이온총 (109) 내로 리액티브형 가스파이프 (108) 로부터 도입되어 ECR 이온총 (109) 이 중성 라디칼 산소를 방출하도록 함으로써, 기관 (94) 상에 증착된 Ta 또는 Si 로 이루어진 금속층의 산화가 일어나게 한다.
- [0149] 고굴절율을 갖는 Ta_2O_5 막과 저굴절율을 갖는 SiO_2 막으로 이루어진 교대 다층막은 Ta 타겟 (104) 및 Si 타겟 (105) 중의 하나를 선택적으로 채택함으로써 제품 기관 (94) 상에 형성된다. 상술된 바와 같이, 고정밀도로 교대 다층막의 각각의 구성층의 광학 막 두께를 제어하는 것이 필수적이다.
- [0150] 그러므로, 타겟 (104 또는 105) 에 의한 스퍼터링 막형성이 이루어지는 시점은, 막 두께를 증가시키는데 요구되는 막형성 시간의 개시점으로서 정의된다. 각각이 2개의 광플럭스로 할당된 상술된 4개의 모니터링 파장의 평행한 광플럭스인 8개의 모니터링 단색 광빔은, 회전가능한 기관 (94) 을 통과한 후, 광 수신기 (98) 에 의해서 수신된다. 그 후, 각각의 단색 광빔은 8-채널 전치 증폭기 (99) 에 의해서 전압신호로 변환된다. 전압신호는 8-채널 A/D 변환기 (100) 에 의해서 디지털 수신호로 변환된다. 디지털 수신호는 DSP (101) 에 입력되고, 여기서 신호는 2차 함수로 회귀되고, 그 번역은 식 5 에 근거한, 가변 개구부가 작동될 때의 시간지점으로부터 개시하는 막형성 시간이다.
- [0151] 원하는 막 두께에 도달될 때, 예측시간으로서 2차 회귀함수의 최대치 또는 최소치에 대응하는 막형성 시간에 대하여 언급하면, 컴퓨터 (102) 는 스플릿 셔터 (112 내지 115) 가 폐쇄되도록 지시함으로써, 호형상 모니터링 영역에서 막형성을 중지시킨다.
- [0152] 모든 모니터링 파장에 대한 모니터링 영역에서 막형성이 이런 식으로 종료된다면, 하부위치에서 아이들인 타겟 유닛 (92) 의 타겟 (105 또는 104) 은 다음 표면층막을 형성하기 위하여 상부위치로 올려진다. 그 후, 다음 막형성은 상술된 바와 동일한 방식으로 실행된다. 이러한 공정을 반복함으로써, 각 모니터링 영역에서 적층은 독립적으로 완성된다.
- [0153] [실시예]
- [0154] 실시예 1 내지 실시예 4 에서, 도 3 에 도시된 발명에 따른 제어 방법을 실시하는 광학 막 두께 제어 장치를 사용하여 얻어진 광학 박막의 광학 막 두께의 제어의 정밀도가 논의될 것이다.
- [0155] [실시예 1]
- [0156] 도 3 에 도시된 막 두께 제어 장치에서, 분지되지 않은 하나의 입사광빔 (파장 λ : 1552nm) 은 기관상으로 발사되었고, 가동 셔터 (29) 의 운동이 종결되었다. 이 상태에서, Ta_2O_5 의 단층막은 기관 (23) 상에 스퍼터링함으로써 형성되었다. Ta_2O_5 막이 고굴절율층이고, Ta_2O_5 막의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ 인 상태가 문자 "H" 로 표시되면, H 단층막 및 HH 단층막이 유리 기관상에 형성되었다. 이런 구성에서, H 단층막을 형성할 때, 측정된 투과율이 바닥 (2차 회귀함수에서의 최소값) 에 이를 때의 막성장 시간의 예측이 시도되었고, HH 단층막을 형성할 때, 측정된 투과율이 피크 (2차 회귀함수에서의 최대값) 에 이를 때의 막성장 시간의 예측이 시도되었다.
- [0157] 여기서, 상술된 바닥 및 피크는 측정된 투과율의 변화와 관련이 있다. 상호 투과율이 상기 투과율에 근거하여 계산되어진다면, 바닥 및 피크는 거꾸로 취급되어야 한다는 점에 특히 주의해야 한다. 어떠한 혼동도 회피하기 위하여, 이 실시예에서는 바닥 및 피크가 투과율과 관련이 있다는 것을 일관되게 고려해야 한다. 이러한 사실은 다음 실시예에서도 여전히 유효하다.
- [0158] Ta_2O_5 의 증착속도가 0.17nm/초이고, 그리고 Ta_2O_5 막의 광학 막 두께가 실제 피크 또는 바닥에 대하여, $\lambda/4$ 의 80% 에 도달해서 형성된 시간으로부터 2초 정도 앞서가는 시간까지의 기간에서 얻어진 측정된 데이터군을 사

용한다면, 데이터군은 데이터 처리용 CPU (18) 에 입력되어 식 5 에 근거한 역투과율의 2차 함수로 회귀되었다.

[0159] 그 후, 피크 또는 바닥 이후 결정된 피크 또는 바닥에서의 막성장 시간의 결정값을 2차 회귀함수로부터 유도된 피크 또는 바닥에서의 막성장 시간의 예측값과 비교하는 것으로 조사를 수행했다. 상기 언급된 결정값으로부터 10회 조사함으로써 얻어진 평균값의 플로팅은 평균오차로서 간주되고, 평균오차 및 표준편차는 다음 표 1 에 도시되어 있다.

[0160] 이 실시예에서, 이러한 회귀곡선은 실제 피크 또는 바닥 이전 2초까지 얻어진 측정된 데이터군으로 실행되었다. 하지만, 실제 피크 또는 바닥 이전 30초까지 얻어진 측정된 데이터군은 동일한 결과를 제공한다는 것을 확인하였다.

[0161] [비교예 1]

[0162] 바닥에서의 H 단층막의 막성장 시간과 피크에서의 HH 단층막의 막성장 시간은, 회귀함수가 투과율의 2차 함수라는 점을 제외하고는 실시예 1 에서와 동일한 방식으로 예측되었다. 이 실시예에서 얻어진 평균오차 및 표준편차는 다음 표 1 에 도시되어 있다.

표 1

	회귀 방식		H: 바닥에서의 회귀	HH: 피크에서의 회귀
	제공 역투과율	평균오차 표준편차	2.4nm 3.5nm	2.6nm 0.1nm
실시예 1	제공 투과율	평균오차 표준편차	1.8nm 3.1nm	4.2nm 2.5nm

[0164] 표 1 에서 알 수 있는 바와 같이, 비교예 1 은 바닥에서의 H 단층막의 막형성 시간이 예측되었을때만 실시예 1 에서보다 더 정확한 값을 제공하였다. 하지만, 다른 모든 경우에는, 회귀함수가 역투과율의 함수인 실시예 1 이 비교예 1 에서 훨씬 더 높은 정확도를 제공하였다.

[0165] [실시예 2]

[0166] 스퍼터링 장치가 리액티브형 스퍼터링 장치로 대체되는 것 외에는 도 3 에 도시된 실시예 1 에서와 동일한 광학 막 두께 제어 장치를 사용하여, 다양한 다층막이 유리 기판 (BK7) 상에 형성되었다. 다층막 각각은 고굴절율 층 (H) 인 Ta₂O₅ 막과, 저굴절율층 (L) 인 SiO₂ 막의 교대층으로 각각 이루어졌고, 피크 또는 바닥에 이를 때의 막성장 시간은 각각의 다층막에 대해서 예측되었다. 사용된 다층막은 다음과 같다. 교대층 뒤에 기재된 문자 (P) 및 문자 (B) 는, 예측시간이 피크에 이를 때의 시간과, 예측시간이 바닥에 이를 때의 시간을 각각 나타낸다.

[0167] H(B), HH(P), HL(P), HLL(B), HLH(B), HLHH(P), HLHL(P), HLHLL(B), HLHLH(B), HLHLHH(P), HLHLHL(P), HLHLHLL(P), HLHLHLH(B), HLHLHLHH(P)

[0168] 이 실시예에서, Ta₂O₅ 의 증착속도가 0.17nm/초이고, 그리고 Ta₂O₅ 막의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ 의 85% 에 도달해서 형성된 시간으로부터 2초 정도 앞서가는 시간까지의 기간에서 얻어진 측정된 데이터군이, 실제 피크 또는 바닥에 대하여, 사용된다고 가정하였다. 이 데이터군은 데이터 처리용 CPU (18) 에 입력되어 식 5 에 근거한 역투과율의 2차 함수로 회귀되었다.

[0169] 도 8 에 표시된 "실시예 2" 는 수평축에 플로팅된 다층막의 층배열과 수직축에 플로팅된 다층막의 층배열의 회귀오차 (도 8 의 평균오차) 간의 상호관계를 나타낸다.

[0170] [비교예 2]

[0171] 피크 또는 바닥에서의 각각의 다층막의 막성장 시간은, 회귀함수가 투과율의 2차 함수라는 점을 제외하고는 실시예 2 에서와 동일한 방식으로 예측되었다. 사용된 데이터는 10회 검사함으로써 얻어졌다. 도 8 에 도시된 "비교예 2" 는 수평축에 플로팅된 다층막의 층배열과 수직축에 플로팅된 다층막의 층배열의 회귀오차 간의 상호관계를 나타낸다.

[0172] 실시예 2 와 비교예 2 간의 비교는 다음 사실을 나타낸다. 비교예 2 에서, 다시 말해서, 회귀함수가 투과율

의 2차 함수이면, 피크 또는 바닥에서의 막성장 시간의 결정값 (0초의 평균오차의 라인상에 놓여 있는 값) 으로 부터의 플로팅 오프는 보다 적은 수의 층으로 구성된 다층막에 대해서 작다. 하지만, 더 많은 수의 층으로 구성된 다층막에 대해서는, 투과율의 증가에 의하여 나타내는 피크에서의 막성장 시간의 예측값의 오차는 커지는 경향이 있다.

[0173] 그리고, 실시예 2 에서, 다시 말해서, 회귀함수가 역투과율의 2차 함수이면, 다층막마다 안정적으로 고정밀도가 유지된다.

[0174] [실시예 3]

[0175] 실시예 2 의 다양한 다층막 대신에, Ta₂O₅ 막으로 구성된 단층막이 실시예 2 의 리액티브형 스퍼터링 장치를 사용하여 형성되었고, 피크 또는 바닥에 이를 때의 막성장 시간은 상기 광학 막 두께 제어 방법으로 예측되었다.

[0176] 이 실시예에서, Ta₂O₅ 막의 광학 막 두께가 $\lambda/4$ 의 소정 퍼센트의 범위 (70 내지 90%) 에 도달해서 형성된 시간 지점에서, 그리고 그 시간 지점 이후에 얻어진 측정된 데이터군이 사용되었다. 이 데이터군은 데이터 처리용 CPU (18) 에 입력되어 식 5 에 근거한 역투과율의 2차 함수로 회귀되었고, 그리고 이 2차 회귀함수는 예측하는데 사용되었다.

[0177] 도 9 에는 좌측수직축에는 회귀 오차가 도시되어 있고, 수평축에는 회귀 개시점 ($\lambda/4$ 의 70% ~ 90%의 특정 길이) 이 도시되어 있으며, 도 9 에서 "실시예 3-1E" 로 명명된 그래프는, 바닥에서의 예측이 수행된 경우 야기된 특성을 나타내며, "실시예 3-2E" 로 명명된 그래프는, 피크에서의 예측이 수행된 경우 야기된 특성을 나타낸다.

[0178] 도 9 는 우측수직축에 표준편차가 기입된 복합그래프이다. 이 도면에서는 실시예 3-1E 에서 예측시간에서의 표준편차가 "실시예 3-1 σ "로 명명되며, 실시예 3-2E 에서 예측시간에서의 표준편차가 "실시예 3-2 σ "로 명명된다.

[0179] [비교예 3]

[0180] 막 성장 시간은, 회귀시에 2차 회귀 투과율 함수가 사용된다는 점을 제외하고는 실시예 3 에서와 동일한 방식으로 예측되었다. 도 9 에서 "비교예 3-1E" 라고 명명된 그래프는, 바닥에서 예측이 수행된 경우의 특성을 나타내며, "비교예 3-2E" 라고 명명된 그래프는, 피크에서 예측이 수행된 경우의 특성을 나타낸다.

[0181] 또한, 도 9 에 있어서 비교예 3-1E 에서 예측 시간에서의 표준 편차는 "비교예 3-1 σ " 로 명명되며, 비교예 3-2E 에서 예측 시간에서의 표준 편차는 "비교예 3-2 σ " 로 명명된다.

[0182] 실시예 3 과 비교예 3 을 비교해 보면, 양자의 경우에 회귀 개시점이 피크 또는 바닥으로 접근하는 경우 (회귀 개시점이 100% 에 접근하는 경우), 비록 표준편차가 더 커지고 분산이 증가한다 하더라도 정확도는 더 높아짐을 알 수 있다. 특히, 비교예 3 (비교예 3-2E) 의 피크에서의 예측에 있어서 충분한 정확도가 제공되지 않는다.

[0183] 실시예 3 에서 역투과율의 2차 회귀 곡선이 사용된 경우, 회귀는 바람직하게는 $\lambda/4$ 의 75% ~ 90% 범위의 한 점에서 개시됨이 입증되었다.

[0184] [실시예 4]

[0185] 도 3 에 도시된 광학 막 두께 제어 장치에 의해 수행된 막 두께 제어 방법에 따라 대역 통과 필터 (BPF) 가 준비되었다. 대역 통과 필터는 Ta₂O₅ (H) 막과 SiO₂ (L) 의 교대하는 155 개의 층을 구비하는 7-공동 대역 통과 필터이었다. 이 대역 통과 필터는 다음과 같이 배열되었다.

[0186] 공기 | ARC | HLHLHLHL2HLHLHLHLHL

[0187] HLHLHLHL0.39H0.2065L(A)0.39H(B)L2HL0.39H0.2065L(A)0.39H(B)LHL

[0188] HLHLHL

[0189] HLHLHLHLHL2HLHLHLHLHLHL

[0190] HLHLHLHLHL2HLHLHLHLHLHL

[0191] HLHLHLHLHL2HLHLHLHLHLHL

- [0192] HLHLHLHL0.39H0.2065L(A)0.39H(B)L2HL0.39H0.2065L(A)0.39H(B)LHL
- [0193] HLHLHL
- [0194] HLHLHLHL2HLHLHLHLH | 유리
- [0195] 이러한 배열에서, Ta₂O₅ 막에 부여된 지수 "B" 는, 피크 또는 바닥 제어에 의한 2차 함수 회귀에 의해서가 아니라, 역투과율의 변환에 의해 얻어진 광학 막 두께의 순간 (temporal) 미분에 의해 계산된 상기 막의 증착율을 나타내며, 임의의 막 두께 제어 방법에 의한 증착율에 기초한 막형성 종결 시점을 예측함으로써 막의 형성이 종결되었다.
- [0196] 이러한 배열에서, SiO₂ 막에 부여된 지수 "A" 는, 사전에 설정된 스퍼터링 레이트를 나타내며, 이 막의 막 두께는 증착 시간에 기초하여 제어되었다.
- [0197] 이렇게 획득된 대역 통과 필터의 막 두께는, 1552 nm 의 모니터링 파장이 사용되고, 300 mm 의 직경과, 그의 후면에 반사방직코팅 (ARC) 을 갖는 유리 디스크가 사용되는 조건에서 제어되었으며, 투과된 광 측정 센서 (도 3에서의 광전 다이오드 (16) 에서의 센서) 는 디스크의 외주로부터 10 mm 떨어진 점으로부터 10 mm 의 일정한 간격으로 8군데에 배치되어 있다.
- [0198] 대역 통과 필터는 도 10 에 도시된 스펙트럼을 가지며, 이 대역 통과 필터는 모든 모니터링구간에 걸쳐 만족할 만한 특성을 갖는 유전체 막임이 확인되었다.
- [0199] 이제 실시예 5 ~ 7 에서, 도 6 에 도시된 본 발명에 따른 제어 방법을 수행하는 유전체 다층막 제조 장치에 의해 제공된 광학 박막 제품의 광학 막 두께 제어의 정확성에 대해 설명할 것이다.
- [0200] [실시예 5]
- [0201] 중간 대역 통과 필터가, 도 6에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 중간 대역 통과 필터는 고굴절율층인 Ta₂O₅ 막과 저굴절율층인 SiO₂ 막의 교대하는 층들의 스택을 구비하며, 상기 모든 구성층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배이다. 사용된 모니터링 파장은 1552.52nm, 1554.12nm, 1555.72nm, 1557.32nm 이다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.
- [0202] 반사방직코팅을 갖는 유리 제품 기판 (BK7) | (HL)³L(HL)⁶L(HL)⁶L(HL)³L | 공기
- 굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고 제품 기판 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.
- [0203] 삭제
- [0204] 도 6b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 1 과 관련된 모니터링점 (82) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기판 (64) 의 외주로부터 안쪽으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8 과 관련된 모니터링점 (83 ~ 89) 은 각각 회전하는 기판 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (82) 로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.
- [0205] 도 6 에서의 광 방사체 (65) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 발산되는 8개의 단색 광플렉스중에서, 채널 1 과 2 는 1552.52nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1554.12nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1555.72nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1557.32nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었다. 광 수용체 (68) 에 의해 수용된 광플렉스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (71) 에 의해 투과율이 계산되었다. 계산된 투과율을 이용하여, 투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 이에 의해 피크에 도달한 경우의 예측시간이 계산되었다. 예측시간은 막형성의 종결시점으로 간주되었다.
- [0206] 도 11 은 전술한 과정을 반복적으로 수행함으로써 획득된 제품 기판 (64) 에서의 특성분포를 도시한다. 도 11 에 도시된 바와 같이, 약 10mm 의 폭을 갖는 각각의 환형 대역 영역 (90 ~ 93) 은 균일한 광학 특성을 가진다.

- [0207] 도 12 는 막형성의 종결시점의 표시에 응답하는 가동 셔터 (81) 의 운동을 나타내는 그래프를 도시하며, 여기서 표시는 저굴절율층인 제 3 층에서의 피크 제어에 의해 획득된다. 상기 그래프에서 알 수 있는 바와 같이, 회전하는 기관 원의 외주로부터 내주부로의 일 방향으로 가변속도로 이동하도록, 가동 셔터 (81) 가 제어된다.
- [0208] 도 13 은 채널 1 ~ 8 과 관련된 기관에서의 모니터링 영역에 대한 분광 투과율 (spectral transmittance) 특성을 나타낸다. 중간 대역 통과 필터로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.
- [0209] [실시예 6]
- [0210] 중간 대역 통과 필터가, 도 6에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 중간 대역 통과 필터는 고굴절율층인 Ta_2O_5 막과 저굴절율층인 SiO_2 막의 교대하는 층들의 스택을 구비하며, 모든 구성층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배이다. 1552.52nm, 1553.32nm, 1554.12nm, 1554.92nm 의 모니터링 파장이 사용되었다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.
- [0211] 반사방지코팅을 갖는 유리 제품 기관 (BK7) | (HL)⁸L(HL)¹⁶L(HL)¹⁶L(HL)⁸ | 공기
- 굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고 제품 기관 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.
- [0212] 삭제
- [0213] 도 6b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 (1) 과 관련된 모니터링점 (82) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기관의 외주로부터 안으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8과 관련된 모니터링점 (83 ~ 89) 은 회전하는 기관 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (82) 로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.
- [0214] 도 6 에서의 광 방사체 (65) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 방출되는 8개의 단색 광플럭스 중에서, 채널 1 과 2 는 1552.52nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1553.32nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1554.12nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1554.92nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었다. 광 수용체 (68) 에 의해 수용된 광플럭스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (71) 에 의해 계산된 투과율이 계산되었다. 계산된 역투과율을 이용하여, 역투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 이에 의해 피크에 도달한 경우의 예측시간이 계산되었다. 예측시간은 막형성의 종결시점으로 간주되었다.
- [0215] 도 14 은 채널 1 ~ 8 과 관련된 기관에서의 모니터링 영역에 대한 분광 투과율 특성을 나타낸다. 중간 대역 통과 필터로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.
- [0216] [실시예 7]
- [0217] 반사방지막이, 도 6에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 반사방지막은 고굴절율층인 Ta_2O_5 막과 저굴절율층인 SiO_2 막의 교대하는 층들을 구비하며, 제 1 층과 제 2 층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배가 아니며, 최종 표면막 (제 2 막) 의 막형성 종결시점은 피크 제어에 의해 예측되었다. 1550nm, 1555nm, 1560nm, 1565nm 의 모니터링 파장이 사용되었다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.
- [0218] 반사방지코팅을 갖는 유리 제품 기관 (BK7) | 0.35H, 1.288L | 공기
- [0219] 굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고 제품 기관 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.
- [0220] 도 6b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 (1) 과 관련된 모니터링점 (82) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기관 (64) 의 외주로부터 안으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8 과 관련된 모니터링점 (83 ~ 89) 은 각각 회전하는 기관 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (82) 로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.
- [0221] 도 6 에서의 광 방사체 (65) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 방출되는 8개의 단색 광플럭스 중에

서, 채널 1 과 2 는 1550nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1555nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1560nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1565nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었다. 광 수용체 (68) 에 의해 수용된 광플렉스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (71) 에 의해 계산된 투과율이 계산되었다.

제 1 층에 대해, 역투과율이 0.35H 에 대한 막형성 종결 시점을 예측하기 위해 이용되었고, 제 2 층에 대해, 역투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 이에 의해 피크에 도달한 경우의 예측시간이 계산되었고, 예측시간은 막형성의 종결 시점으로 간주되었다.

[0222] 도 15 은 채널 1 ~ 8 과 관련된 기관에서의 모니터링 영역에 대한 분광 반사율 특성을 나타낸다. 반사방지막으로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.

[0223] 후술하는 실시예 8 ~ 10 에서는, 도 7 에 도시된 본 발명에 따라 제어 방법을 수행하는 유전체 다층막 제조 장치에 의해 제공된 광학 박막 제품의 광학 막 두께의 제어의 정확성에 대해 설명하기로 한다.

[0224] [실시예 8]

[0225] 중간 대역 통과 필터가, 도 7에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 중간 대역 통과 필터는 고굴절율층인 Ta₂O₅ 막과 저굴절율층인 SiO₂ 막의 교대하는 층들의 스택을 구비하며, 상기 모든 구성층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배이다. 사용된 모니터링 파장은 1552.52nm, 1554.12nm, 1555.72nm, 1557.32nm 이다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.

[0226] 반사방지코팅된 유리 제품 기관 (BK7) | (HL)³L(HL)⁶L(HL)⁶L(HL)³L | 공기

굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고 제품 기관 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.

[0227] 삭제

[0228] 도 7b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 1 과 관련된 모니터링점 (116a) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기관 (94) 의 외주로부터 안쪽으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8 과 관련된 모니터링점 (116b ~ 116h) 은 각각 회전하는 기관 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (116a) 로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.

[0229] 도 7 에서의 광 방사체 (95) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 방출되는 8개의 단색 광플렉스 중에서, 채널 1 과 2 는 1552.52nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1554.12nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1555.72nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1557.32nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플렉스에 부여되었다. 광 수용체 (98) 에 의해 수용된 광플렉스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (101) 에 의해 투과율이 계산되었다. 계산된 투과율을 이용하여, 투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 이에 의해 피크에 도달한 경우의 예측시간이 계산되었다. 예측시간은 막형성의 종결시점으로 간주되었다.

도 16 은 상기 과정을 반복적으로 수행함으로써 획득된 제품 기관 (94) 에서의 특성 분포를 도시한다. 도 16 에 도시된 바와 같이, 약 10mm 의 폭을 가지는 각각의 환형 대역 영역 (117 ~ 120) 은 균일한 광학 특성을 가진다.

[0230] 삭제

[0231] 도 17 은 채널 1 ~ 8 과 관련된 기관에서의 모니터링 영역에 대한 분광 투과율 특성을 나타낸다. 중간 대역 통과 필터로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.

[0232] [실시예 9]

[0233] 중간 대역 통과 필터가, 도 7 에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 중간 대역 통과 필터는 고굴절율층인 Ta₂O₅ 막과 저굴절율층인 SiO₂ 막의 교대하는 층들의 스택을 구비하며, 모든 구성층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배이다. 1552.52nm, 1553.32nm, 1554.12nm, 1554.92nm 의 모니터

링 과장이 사용되었다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.

[0234] 반사방지코팅된 유리 제품 기판 (BK7) | (HL)⁸L(HL)¹⁶L(HL)¹⁶L(HL)⁸ | 공기

[0235] 굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고 제품 기판 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.

[0236] 도 7b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 1 과 관련된 모니터링점 (116a) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기판의 외주로부터 안으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8 과 관련된 모니터링점 (116b ~ 116h) 은 각각 회전하는 기판 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (116a) 로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.

[0237] 도 7 에서의 광 방사체 (95) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 방출되는 8개의 단색 광플럭스 중에서, 채널 1 과 2 는 1552.52nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1553.32nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1554.12nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1554.92nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었다. 광 수용체 (98) 에 의해 수용된 광플럭스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (101) 에 의해 계산된 투과율로부터 계산되었다. 계산된 역투과율을 이용하여, 역투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 이에 의해 피크에 도달한 경우의 예측시간이 계산되었다. 예측시간은 막형성의 종결시점으로 간주되었다.

[0238] 도 18 은 채널 1 ~ 8 과 관련된 기판에서의 모니터링 영역에 대한 분광 투과율 특성을 나타낸다. 중간 대역 통과 필터로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.

[0239] [실시에 10]

[0240] 반사방지막이, 도 7 에 도시된 유전체 다층막 제조 장치에 의해 준비되었으며, 이 반사방지막은 고굴절율층인 Ta₂O₅ 막과 저굴절율층인 SiO₂ 막의 교대하는 층들의 적층을 구비하며, 제 1 층과 제 2 층의 광학 막 두께는 $\lambda/4$ (λ : 모니터링 파장) 의 정수배가 아니며, 최종 표면막 (제 2 막) 의 막형성 종결시점은 피크 제어에 의해 예측되었다. 1550nm, 1555nm, 1560nm, 1565nm 의 모니터링 파장이 사용되었다. 광학 박막은 다음과 같이 배열되었다.

반사방지코팅된 유리 제품 기판 (BK7) | 0.35H, 1.288L | 공기

굴절율의 설계치는 저굴절율층에 대하여는 1.444, 고굴절율층에 대하여는 2.08로 설정하고, 제품 기판 (BK7) 에 대하여는 1.5로 설정되었다.

[0241] 삭제

[0242] 삭제

[0243] 도 7b 를 참조하면, 모니터링 단색 광빔 채널 1 과 관련된 모니터링점 (116a) 이 300mm의 직경을 갖는 제품 기판 (94) 의 외주로부터 안으로 5mm 의 거리에 있는 위치에 설정되었다. 채널 2 ~ 8과 관련된 모니터링점 (116b ~ 116h) 은 각각 회전하는 기판 원의 중심을 향하는 방향으로 모니터링점 (116a) 으로부터 10mm 의 일정한 간격을 갖는 위치에 설정되었다.

[0244] 도 7 에서의 광 방사체 (95) 에 해당하는 조정가능한 레이저 광원으로부터 방출되는 8개의 단색 광플럭스 중에서, 채널 1 과 2 는 1550nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 3 과 4 는 1555nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 5 와 6 은 1560nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었으며, 채널 7 과 8 은 1565nm의 모니터링 파장을 갖는 단색 광플럭스에 부여되었다. 광 수용체 (98) 에 의해 수용된 광플럭스에 대하여는 디지털 신호 처리기 (101) 에 의해 계산된 투과율로부터 계산되었다. 제 1 층에 대해, 역투과율이 0.35H 에 대해 막형성 종결 시점을 예측하도록 이용되었으며, 제 2 층에 대해, 피크에 도달한 경우의 예측 시간을 계산하도록, 역투과율 곡선의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되었으며, 예측시간이 막형성의 종결 시점으로서 간주되었다.

[0245] 도 19 는 채널 1 ~ 8 과 관련된 기관에서의 모니터링 영역에 대한 분광 투과율 특성을 나타낸다. 반사방지 필름으로서 역할하는 만족할만한 광학 제품이 제공되어 있는 것을 알 수 있다.

발명의 효과

[0246] 전술한 바로부터 명백한 바와 같이, 본 발명에 따른 광학 막 두께 제어 방법에 따르면, 형성될 최후 표면막이 변경되어야 하는 매시간마다, 모니터링 기관이 새 기관으로 교체될 필요가 없으며, 측정의 정확성을 개선하기 위해 (종래기술에서와 같은) 상 차이의 부가적인 배열이 불필요하게 되며, 그 이유는 피크 또는 바닥 제어가 수행되기 때문이다. 따라서, 공정이 단순하게 된다. 또한, 역투과율이 사용되기 때문에 2차 회귀가 만족할 만한 상호관계를 가지면서 피크 또는 바닥 예측이 수행되며, 따라서, 막 두께가 높은 정확도로 제어될 수 있다.

[0247] 더욱이, 제품 박막의 인시츄 측정, 즉 직접 모니터링이 수행될 수 있기 때문에, 모니터링된 막의 재생산성을 고려할 필요가 없다.

[0248] 본 발명에 따른 막 두께 제어 장치에서는, 다수의 평행한 광선이 막 두께의 모니터링을 위해 사용된다. 그러므로, 최후 표면층막의 막 두께의 분포가 높은 정확도로 검출될 수 있으며, 따라서, 막 두께의 높은 균일성을 확보할 수 있게 된다.

[0249] 본 발명에 따른 유전체 다층막 제조 장치에 의하면, 역투과율이나 투과율의 피크 근처에서의 2차 함수 회귀가 수행되며, 결과적인 회귀 함수의 최고치 또는 최저치에 해당하는 막 성장 시간이, 소망하는 막 두께에 도달하는 예측시간으로서 사용된다. 따라서, 광학 막 두께의 증가가 높은 정밀도로 제어될 수 있다. 더욱이, 다양한 모니터링 과정을 포함하는 직접 모니터링 방법이, 만족할만한 특성을 갖는 유전체 박막을 제공하는 확대된 모니터링 영역을 제공할 수 있다. 따라서, 협대역 통과 필터와 같은 조밀한 파장 분할 다중 시스템용 장치인 고품질 광학 박막 제품이 대량으로 생산될 수 있다.

[0250] 또한, 전술한 광학 막 두께 제어 장치 또는 유전체 다층막 제조 장치에 의해 제조된 대역 통과 필터를 포함하는 유전체 다층막은, 만족할 만한 광학 특성을 가지며, 따라서 고성능을 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0001] 도 1a 는 직접 모니터링 방법으로 의도된 종래의 유전체 다층막 제조 장치의 개략 단면도.
- [0002] 도 1b 는 도 1a 에 도시된 제조 장치에서 사용된 기관상의 광학성 영역을 도시하는 개념도.
- [0003] 도 2 는 종래의 광학 막 두께 제어 방법에 따른 2차 회귀함수로부터의 편차를 도시하는 그래프.
- [0004] 도 3 은 본 발명에 따른 광학 막 두께 제어 장치를 개략적으로 도시하는 도면.
- [0005] 도 4 는 Ta_2O_5 로 제조된 단층막이 도 3 에 도시된 광학 막 두께 제어 장치를 사용하여 형성될 때 광전 다이오드에 의해서 검출된 8개 광채널에 대한 상호 투과치를 도시하는 광학 신호 측정 그래프.
- [0006] 도 5 는 도 4 의 각각의 광학 신호와, 피크가 광학신호로 될 때의 예측시간간의 상호관계를 도시하고, 3차 함수로 회귀되는 그래프.
- [0007] 도 6a 는 본 발명에 따른 유전체 다층막 제조 장치의 개략 단면도.
- [0008] 도 6b 는 도 6a 에 도시된 제조 장치의 기관과 모니터링점의 위치를 도시하는 평면도.
- [0009] 도 6c 는 도 6a 에 도시된 제조 장치의 평면도.
- [0010] 도 7a 는 본 발명에 따른 유전체 다층막 제조 장치의 개략 단면도.
- [0011] 도 7b 는 도 7a 에 도시된 제조 장치에서의 기관과 스플릿 서터를 도시하는 평면도.
- [0012] 도 7c 는 도 7a 에 도시된 제조 장치의 평면도.
- [0013] 도 8 은 실시예 2 에서의 Ta_2O_5 막 (H) 과 SiO_2 막 (L) 으로 구성된 다층막의 투과율의 2차 회귀함수와, 다층막의 역투과율의 2차 회귀함수 간의 정밀도를 비교하는 그래프.
- [0014] 도 9 는 실시예 3 에서 제조된 Ta_2O_5 막으로 구성된 단층막의 투과율의 2차 회귀함수와, 단층막의 상호 투과율의 2차 회귀함수 간의 회귀범위에 근거한 정밀도를 비교하는 그래프.

- [0015] 도 10 은 실시예 4 에서 제조된 대역 통과 필터에 대한 스펙트럼을 도시하는 그래프.

[0016] 도 11 은 실시예 5 에 제공된 기관상에 광학적 영역을 도시하는 개념도.

[0017] 도 12 는 실시예 5 의 가동 셔터의 작동을 예시하는 그래프.

[0018] 도 13 은 실시예 5 에 제공된 중간 대역 통과 필터의 스펙트럼 투과성을 도시하는 그래프.

[0019] 도 14 는 실시예 6 에 제공된 좁은 대역 통과 필터의 스펙트럼 투과성을 도시하는 그래프.

[0020] 도 15 는 실시예 7 에 제공된 반사방지막의 스펙트럼 반사성을 도시하는 그래프.

[0021] 도 16 은 실시예 8 에 제공된 기관상의 광학적 영역을 도시하는 개념도.

[0022] 도 17 은 실시예 8 에 제공된 중간 대역 통과 필터의 스펙트럼 투과성을 도시하는 그래프.

[0023] 도 18 은 실시예 9 에 제공된 좁은 대역 통과 필터의 스펙트럼 투과성을 도시하는 그래프.

[0024] 도 19 는 실시예 10 에 제공된 반사방지막의 스펙트럼 반사성을 도시하는 그래프.

[0025]

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 *

[0026] 1, 61, 91 : 진공 챔버 2 : 전자 총

[0027] 2a : 셔터 4, 23, 64, 94 : 회전가능한 기관

[0028] 12 : 조정가능 레이저 광원 13 : 광학 커플러

[0029] 14 : 섬유 시준기 15 : 스퍼더링 막형성 디바이스

[0030] 16 : 광 다이오드

 17, 70, 100 : 8-채널 A/D 컨버터 (A/D 컨버터)

[0031] 18 : CPU (제어기) 19 : 모터 드라이버 (제어기)

[0032] 20, 21 : 광섬유

[0033] 28, 62, 92 : 스퍼더링 타겟 유닛 (막형성원)

[0034] 29, 81 : 가동 셔터

[0035] 63, 93 : 이온총 유닛 (반응원)

[0036] 65, 95 : 광 방도체 66, 96 : 상부 광유도창

[0037] 67, 97 : 하부 광유도창 68, 98 : 광 수신기 (광도 측정 수단)

[0038] 69, 99 : 8-채널 전치 증폭기 71, 101 : 디지털 신호 처리기 (DSP)

[0039] 72, 102 : 컴퓨터 74, 104 : Ta 타겟

[0040] 75, 105 : Si 타겟 76, 106 : 스퍼더링 가스 파이프

[0041] 77, 107 : 고정 개구부 78, 108 : 반응성 가스 파이프

[0042] 79, 109 : ECR 이온총 82 ~ 89 : 모니터링점

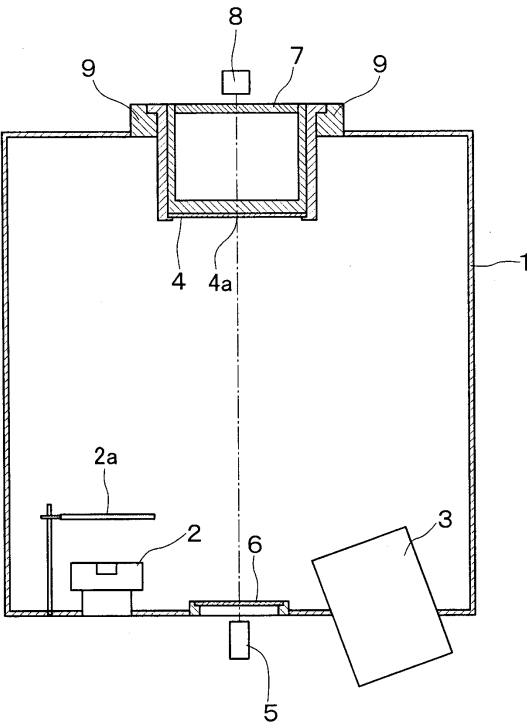
[0043] 111a, 111b : 가변 개구 (막적층을 제어 부재)

[0044] 112 ~ 114 : 분리 셔터 (막 두께 보정수단)

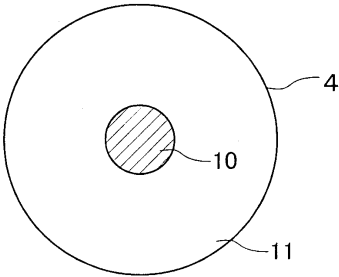
[0045] 116a ~ 116h : 모니터링점

도면

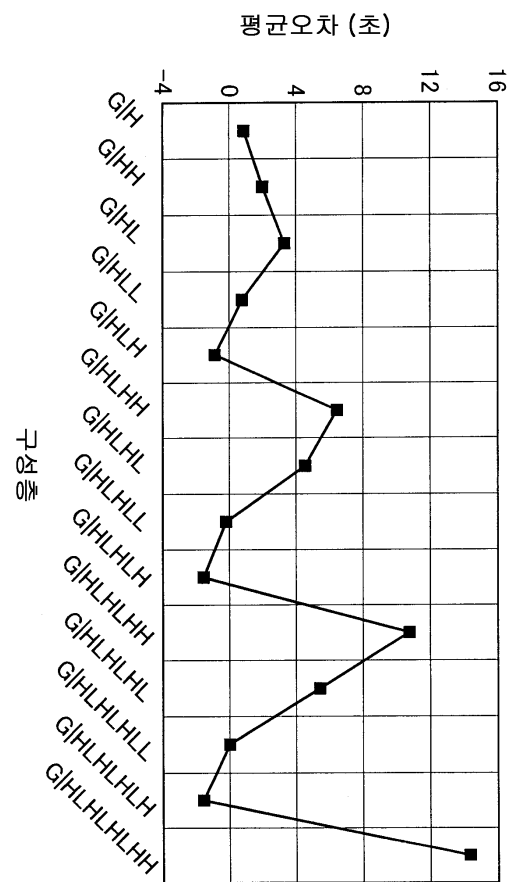
도면1a



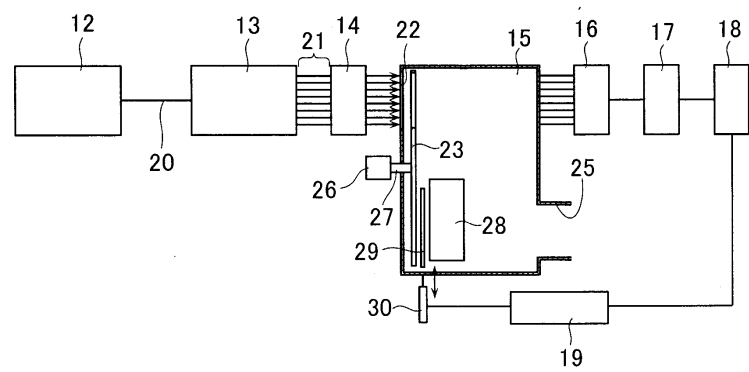
도면1b



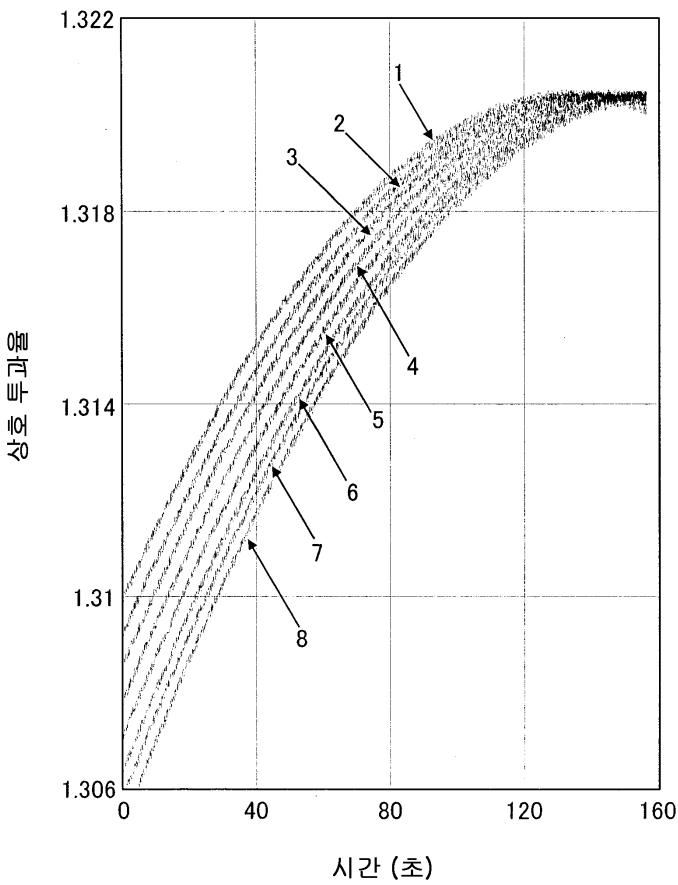
도면2



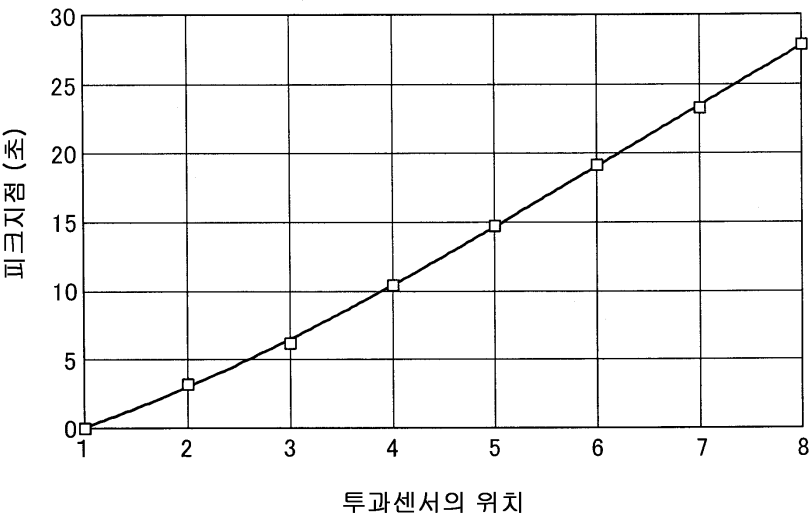
도면3



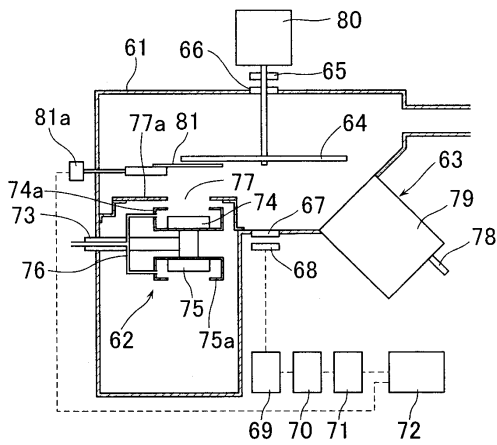
도면4



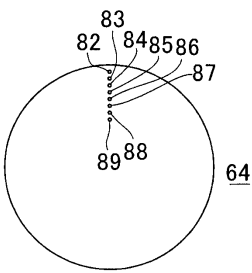
도면5



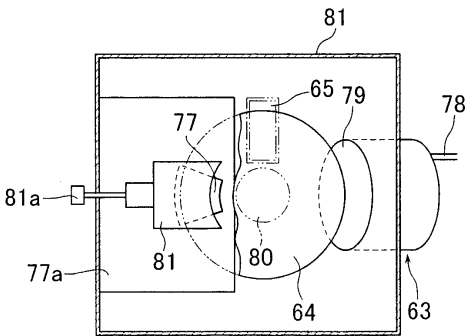
도면6a



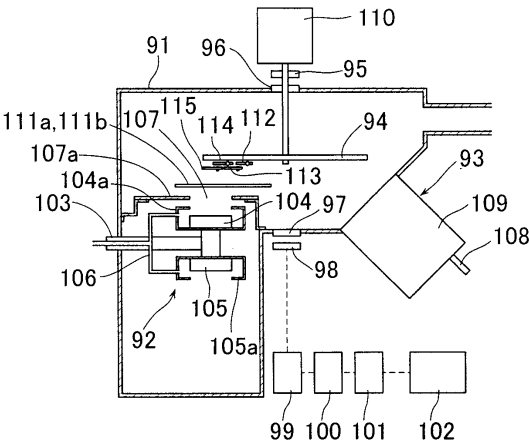
도면6b



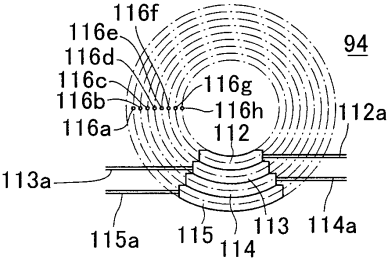
도면6c



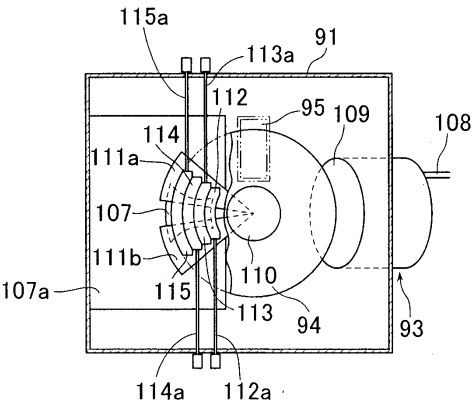
도면7a



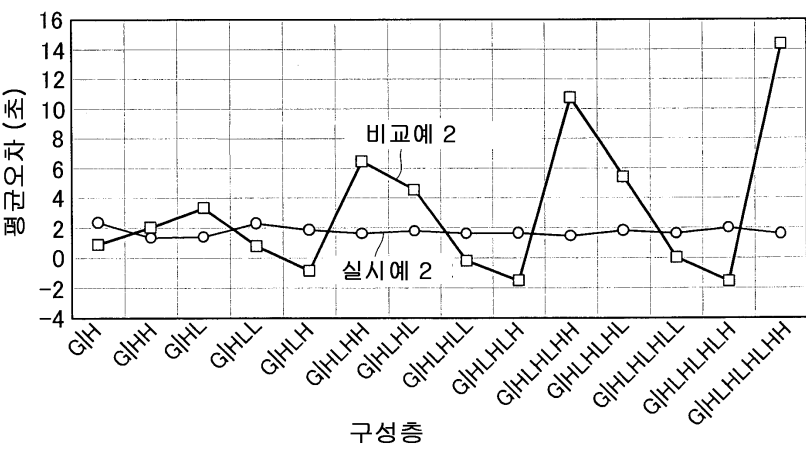
도면7b



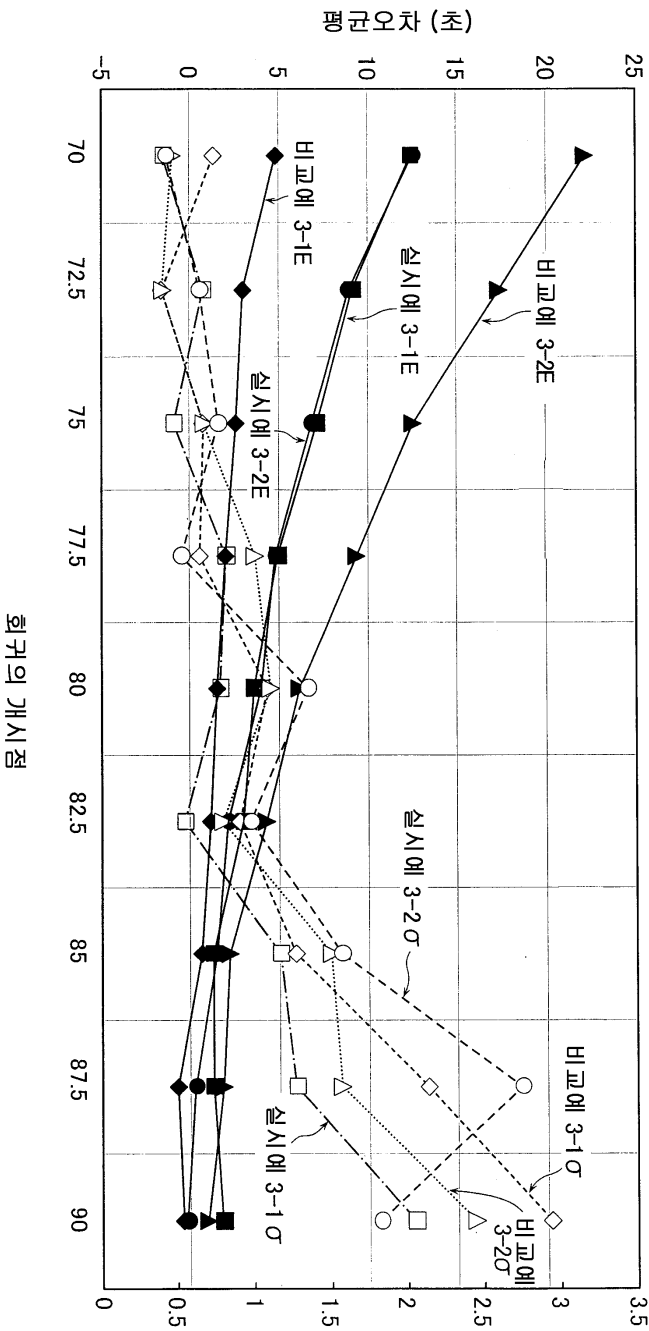
도면7c



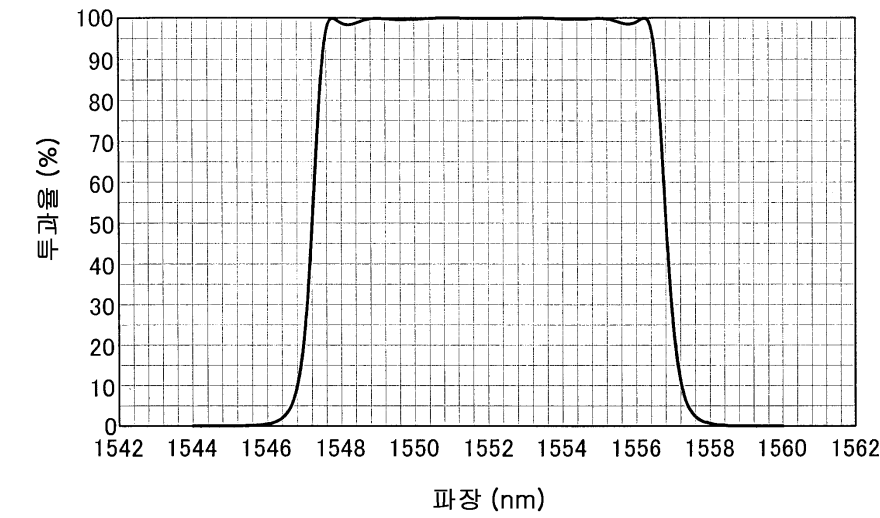
도면8



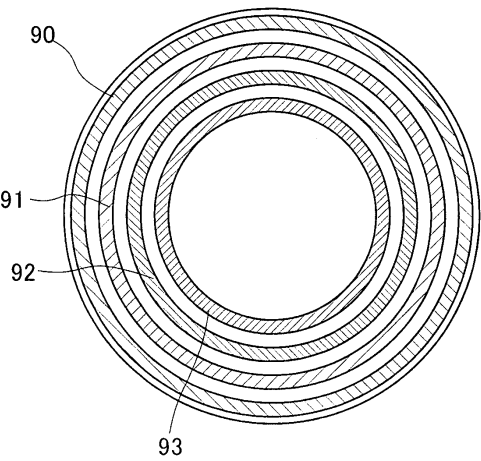
도면9



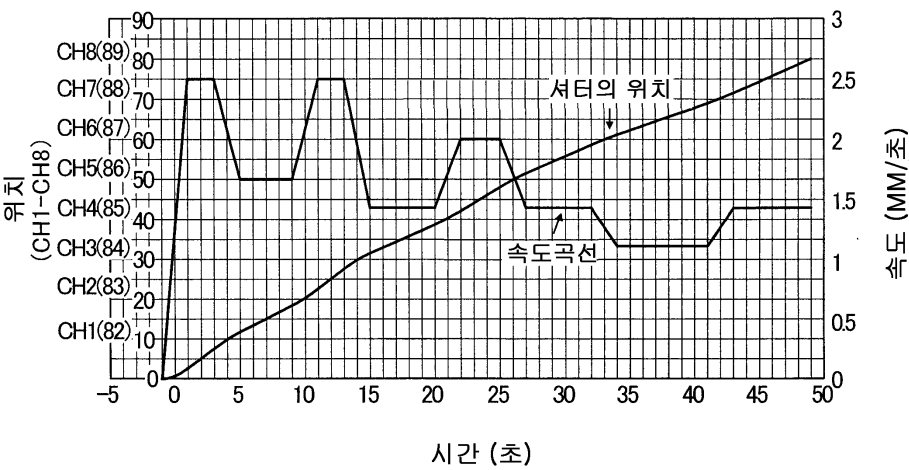
도면10



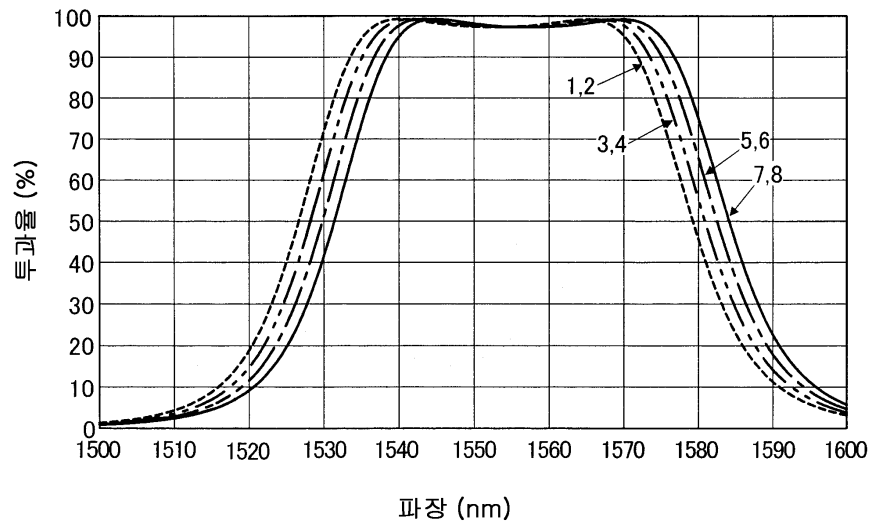
도면11



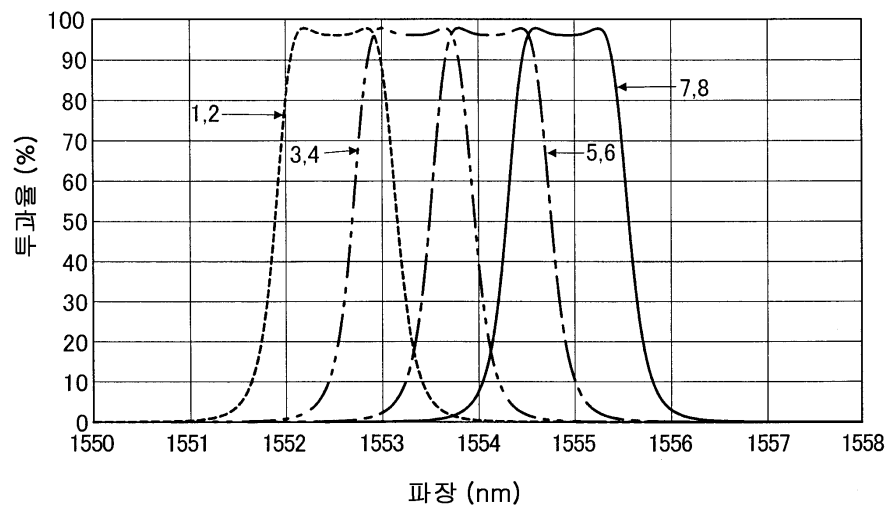
도면12



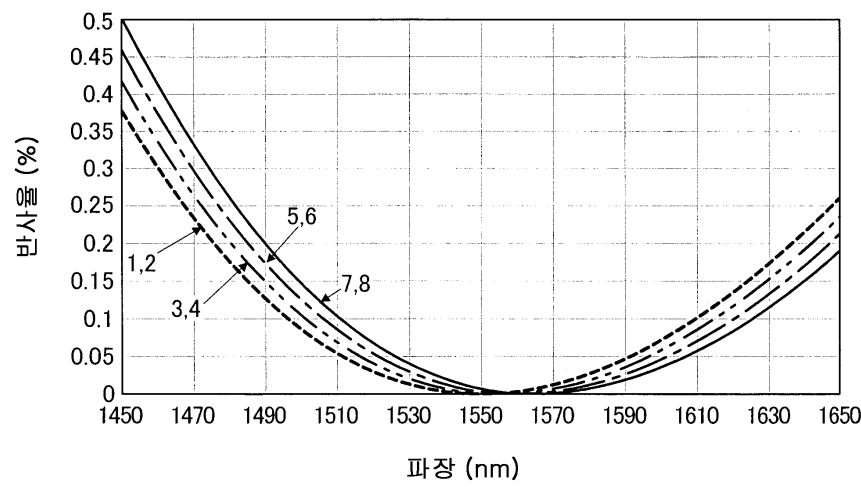
도면13



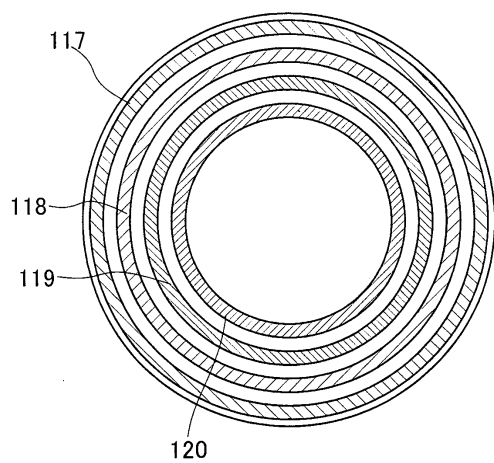
도면14



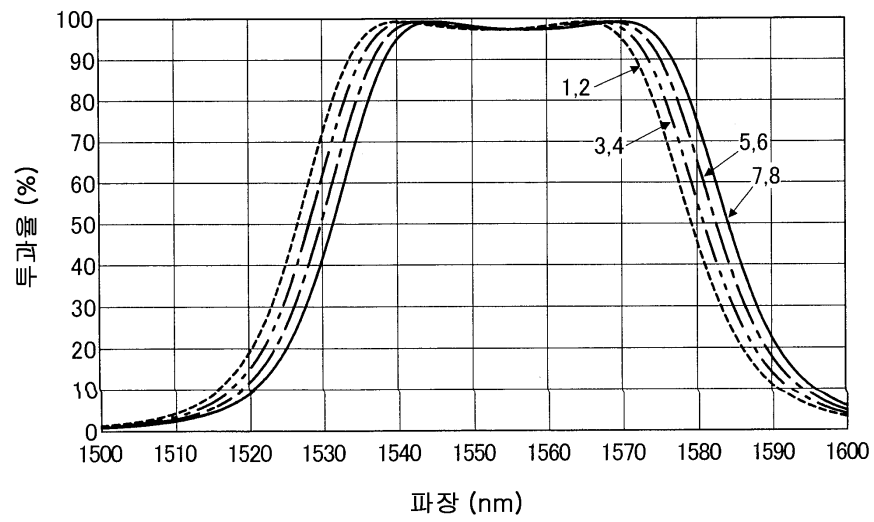
도면15



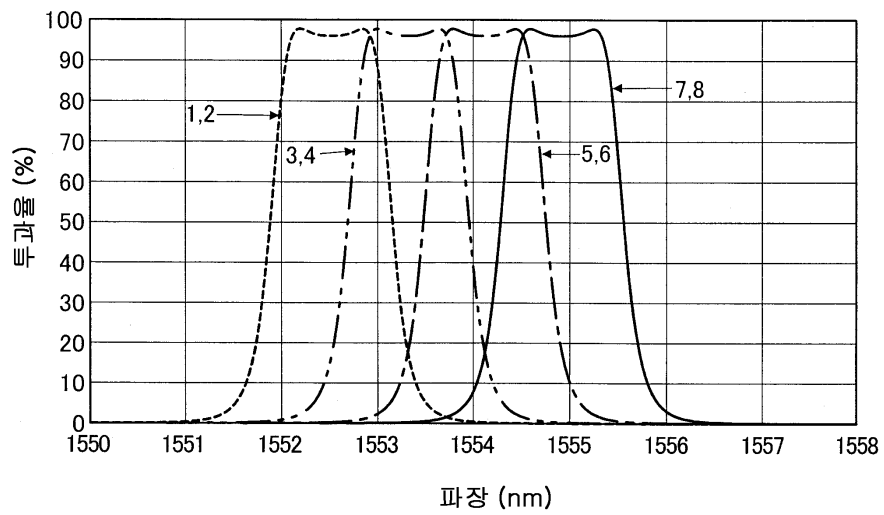
도면16



도면17



도면18



도면19

