



(19) 대한민국특허청(KR)  
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월22일  
 (11) 등록번호 10-1257125  
 (24) 등록일자 2013년04월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G02B 5/30* (2006.01) *G02B 27/10* (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2007-7024211  
 (22) 출원일자(국제) 2006년03월14일  
 심사청구일자 2011년02월22일  
 (85) 번역문제출일자 2007년10월22일  
 (65) 공개번호 10-2007-0121792  
 (43) 공개일자 2007년12월27일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2006/009265  
 (87) 국제공개번호 WO 2006/101879  
 국제공개일자 2006년09월28일  
 (30) 우선권주장  
 11/088,153 2005년03월23일 미국(US)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 US05327270 A\*  
 US05576854 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 7 항

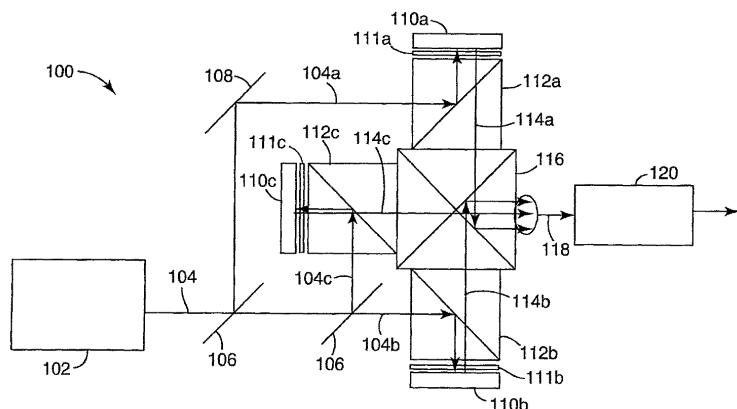
심사관 : 정수환

(54) 발명의 명칭 편광 빔스플리터 및 이를 사용하는 시스템에서의 응력복굴절 보정 방법

**(57) 요 약**

본 발명은 화상 형성 장치에 대해 빛을 입출 결합시키기 위해 편광 빔스플리터(PBS)를 사용하는 투사 시스템에 관한 것이다. PBS는 통상 유리 커버 사이에 배치된 반사 편광층으로 형성된다. 반사 편광층과 화상 형성 장치 사이에 놓이는 유리 커버에서의 응력 복굴절은 투사 시스템의 화상 콘트라스트를 감소시킬 수 있다. 유리 커버와 화상 형성 장치 사이에 배치되는 1/4 파장 지연 요소가 복굴절을 적어도 부분적으로 보정하기 위해 사용된다. 이로 인해 PBS는 전보다 높은 광응력 계수를 갖지만 여전히 높은 화상 콘트라스트를 유지하는 유리 재료로 형성된 유리 커버를 사용할 수 있다.

**대 표 도**



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

편광 빔스플리터(PBS)와, 1/4 파장 지연 요소를 포함하는 광학 유닛이며,

편광 빔스플리터는,

광선을 투과시키기 위해 제1 표면과 제2 표면을 갖는 제1 커버와,

광선을 투과시키기 위해 적어도 제1 표면을 갖는 제2 커버로서, 제2 커버의 제1 표면은 제1 커버의 제1 표면에 대면하는 상태로 배열되는, 제2 커버와,

제1 커버의 제1 표면과 제2 커버의 제1 표면 사이에 배치되는 반사 편광층을 포함하고,

1/4 파장 지연 요소는 제1 커버의 제2 표면 근방에 배치되고,

1/4 파장 지연 요소는 제1 표면과 제2 표면 사이에서 제1 커버를 통해 이중 통과되는 광을 위해 제1 커버의 복굴절에 대한 보상을 최대화하도록 정렬되고,

반사 편광층은 다층 폴리머 광학 필름을 포함하는 광학 유닛.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 제1 커버는 1.8 이하의 굴절률을 갖는 유리를 포함하는 광학 유닛.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 제1 커버의 광응력 계수는  $0.1 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$  초파인 광학 유닛.

### 청구항 4

삭제

### 청구항 5

제1항에 있어서, 제1 커버의 제2 표면으로부터 그리고 1/4 파장 지연 요소를 통해 진행하는 광 경로에 배치되는 화상 형성 장치를 더 포함하고, 화상 형성 장치는 임의로 반사 액정 화상 형성 장치를 포함하는 광학 유닛.

### 청구항 6

제5항에 있어서, 1/4 파장 지연 요소의 빠른 축의 배향 각도는 제1 커버를 통해 이중 통과된 광이 겪는 복굴절 및 화상 형성 장치의 잔여 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 선택되는 광학 유닛.

### 청구항 7

제1항에 있어서, 1/4 파장 지연 요소와 반사 편광층 사이에 배치되는 렌즈를 더 포함하는 광학 유닛.

### 청구항 8

제1항에 있어서, 제1 커버는 무연 유리 재료로 형성되는 광학 유닛.

### 청구항 9

삭제

### 청구항 10

삭제

### 청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 광학 시스템에 관한 것이며, 보다 구체적으로는, 상이한 편광 상태의 광을 분리하거나 조합하기 위해 편광 빔스플리터를 사용하는 광학 시스템에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002]

편광 빔스플리터(PBS: polarizing beamsplitter)의 기능은 하나의 편광 상태의 광을 반사시키고 직교 편광 상태의 광을 투과시키는 것이다. 따라서, PBS는 광의 편광에 의존하는 광학 시스템에서 널리 사용되고 있다. 이러한 광학 시스템의 일 예가, 조명 광선을 변조하기 위해 반사 LCD(액정 디스플레이) 패널을 사용하며 편광된 조명 광선이 예를 들어 PBS에서의 반사에 의해 LCD 패널을 향하게 되는 화상 투사 시스템이다. 광선은 반사된 광선이 조명 광선의 편광 상태의 비변조 광을 일부 포함하고 직교 편광 상태의 변조 광을 일부 포함하도록 LCD 패널에 의해 입체 변조된다. 비변조 비화상 광(non-image light)은 PBS에 의해 반사되며, 바람직한 화상을 포함하는 변조 화상 광은 PBS를 통해서 투과된다. 따라서, PBS는 비화상 광으로부터 화상 광을 분리하며, 이후 화상 광은 사용자의 관측을 위해 화면에 투사될 수 있다.

[0003]

다른 형태의 PBS가 사용될 수도 있는 바: 편광 상태중 하나에 대해 브루어(Brewer's) 각도로 배향된 등방성 재료의 1/4 파장(quarter wave) 필름의 스택(stack)에 의존하는 MacNeille PBS를 사용하고, 교호적인 등방성 재료 및 복굴절 폴리머 재료의 스택을 이용하는 직교(Cartesian) 다층 광학 필름(MOF: multilayer optical film) PBS를 사용하는 투사 시스템들이 보고되었다. 직교 MOF PBS는 MacNeille PBS에 비해 낮은 f-수(f-number)와 높은 콘트라스트 및 투과율로 작동할 수 있다.

[0004]

PBS는 종종 두 개의 직각 유리 프리즘의 사변(斜邊) 사이에 개재되는 편광층으로서 형성된다. 그러나, 편광층과 화상 패널 사이에 놓이는 유리 프리즘에서 임의의 복굴절 지연이 있으면, 편광면에서 반사되는 정상 s-편광된 조명 광이 화상 패널에 입사될 때 부분적으로 p-편광되도록 회전되기 때문에 PBS에 의해 제공되는 콘트라스트가 감소될 수 있다. 이는 화상 패널에서의 반사 이후 광의 누설을 초래하여, 어두운 상태에서의 휘도 레벨 증가로 이어지고, 결국 콘트라스트가 감소된다. 유리 프리즘에서의 복굴절 지연은 여러가지 다른 원인에 기인할 수 있는 바, 예를 들면 PBS 조립 중에 PBS 부품에 유도되는 기계적 응력, 또는 집중 조명 광선에 쏘일 때 PBS에서의 열팽창 또는 PBS 고정구에 의해 유도되는 응력에 기인할 수 있다. 또한, 활상 기기를 장착하기 위한 하드웨어가 PBS의 입력 프리즘에 부착되면, 이는 대개 유리 내의 과생(resulting) 응력으로 인해 PBS의 적어도 일부 영역에 걸쳐서 급격한 콘트라스트 감소를 초래할 것이다.

[0005]

이 문제를 해결하기 위한 일환으로, 기계적 응력에 반응하여 복굴절을 거의 발달시키지 않는 낮은 SOC(stress-optic coefficient: 광응력 계수)를 갖는 유리를 만들기 위한 상당한 작업이 유리 제조업자에 의해 이루어졌다. Ohara 및 Schott에 의해 각각 제작된 PBH56 및 SF57이 이 형태의 예시적인 유리이다. 이러한 유리는 납을 상당량 함유하는 바, PBH56 및 SF57은 납을 70중량% 이상 함유한다. 따라서 이들 저SOC 유리는 환경적으로 바람직하지 않은 재료이며, 게다가 비싸고 가공이 어렵다. 또한, 저SOC 유리는 1.8보다 큰 고굴절율을 갖는 바, 이는 저굴절율 편광층에 매치될 때 광학 비효율 또는 수차를 초래할 수도 있다.

## 발명의 상세한 설명

[0006]

본 발명의 일 실시예는 편광 빔스플리터(PBS)를 포함하는 광학 유닛에 관한 것이다. PBS는 광선을 투과시키기 위해 제1 표면과 제2 표면을 갖는 제1 커버와, 광선을 투과시키기 위해 적어도 제1 표면을 갖는 제2 커버를 갖는다. 제2 커버는 그 제1 표면이 제1 커버의 제1 표면과 대향하도록 배열된다. 제1 및 제2 커버의 제1 표면 사이에는 반사 편광층이 배치된다. 제1 커버의 제2 표면 근처에는 1/4 파장 지연 요소가 배치된다. 1/4 파장 지연 요소는 제1 표면과 제2 표면 사이에서 제1 커버를 통해 이중 통과되는 광을 위해 제1 커버의 복굴절에 대한 보정을 실질적으로 최대화하도록 정렬된다.

[0007]

본 발명의 다른 실시예는 제1 및 제2 커버 사이에 배치되는 반사 편광층을 갖는 제1 편광 빔스플리터(PBS)를 포함하는 광학 시스템에 관한 것이다. 제1 커버는 0.1보다 큰 광응력 계수를 갖는 재료로 형성된다. 광이 제1 커버를 통해 제1 PBS의 반사 편광층으로부터 제1 반사 화상 형성 장치로 진행하고 제1 커버를 통해 반사 화상 형성 장치로부터 제1 PBS의 반사 편광층으로 반사되도록 제1 반사 화상 형성 장치는 제1 커버의 제1 표면과 대면하며, 광은 제1 커버에서 응력 복굴절을 겪게 되고 반사 화상 형성 장치에서 잔여 복굴절을 겪게 된다. 제1 커버의 제1 표면과 반사 화상 형성 장치 사이를 통과하는 광을 지연시키기 위해 제1 1/4 파장 지연 요소가 배치된다.

[0008]

본 발명의 다른 실시예는 화상 형성 장치와, 광을 화상 형성 장치로 또는 그로부터 선택된 편광 상태로 반사시키도록 배치되는 반사 편광층을 갖는 광학 시스템에 관한 것이다. 화상 형성 장치와 편광층 사이의 광로에는 복굴절 요소가 배치된다. 복굴절 요소는 광로에 대해 실질적으로 직각인 면을 갖는다. 복굴절 요소의 복굴절은 면의 상이한 부분을 통과하는 광의 복굴절 지연의 값이 상이하도록 불균일하다. 복굴절 요소와 화상 형성

장치 사이에는 1/4 파장 지연 요소가 배치된다. 1/4 파장 지연 요소는 반사 편광층과 화상 형성 요소 사이를 일주(round trip)할 때 광의 지연을 적어도 부분적으로 보정하도록 배향된다.

[0009] 본 발명의 다른 실시예는 상이한 색 대역(color band)과 연계되는 적어도 두 개의 진입면을 갖는 색 조합 유닛과, 적어도 두 개의 진입면에 대해 각각 배치되어 작동되는 적어도 두 개의 편광 빔스플리터(PBS)를 포함하는 광학 시스템에 관한 것이다. 적어도 두 개의 PBS 중 적어도 제1 PBS는 제1 및 제2 커버의 각각의 제1 표면 사이에 배치되는 제1 반사 편광층을 포함한다. 제2 커버는 반사 편광층과 색 조합 유닛 사이에 배치된다. 제1 커버는  $0.1 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 보다 큰 광응력 계수(SOC)를 갖는 투명한 재료로 형성된다. 제1 PBS는 제1 반사 평면을 형성한다. 제1 PBS의 제1 커버는 1/4 파장 지연 요소와 반사 편광층 사이에 놓인다. 1/4 파장 지연 요소는 제1 반사 평면에 대하여 평행이 아니고 그리고 직각이 아니게 배향되는 빠른 축(fast axis)을 갖는다.

[0010] 본 발명의 다른 실시예는 화상 투사 시스템에서의 복굴절을 보정하는 방법에 관한 것이다. 본 방법은 편광층에서 실질적으로 광을 선택된 편광 상태로 편광시키는 단계와, 편광된 광을 복굴절 요소를 통해 화상 형성 장치로 유도하는 단계를 포함한다. 편광된 광은 화상 형성 장치에서 반사되며, 반사된 편광된 광은 편광층에서 분석된다. 편광된 광선과 반사된 편광된 광선은 복굴절 요소와 화상 형성 장치 사이에 배치된 1/4 파장 지연 요소를 통과한다. 1/4 파장 지연 요소는 복굴절 요소에서의 지연 보정을 실질적으로 최적화하도록 배향된다.

[0011] 본 발명의 상기 개요는 본 발명의 각각의 예시된 실시예 또는 모든 실시예를 기술하도록 의도된 것이 아니다. 후술하는 도면 설명 및 상세한 설명이 이들 실시예를 보다 구체적으로 예시할 것이다.

### 실시예

[0026] 본 발명은 편광 빔스플리터(PBS)를 사용하는 시스템에 적용될 수 있으며, 특히 조명 광으로부터 편광 변조기를 사용하여 발생되는 화상 광을 분리하기 위해 PBS를 구비하는 화상 투사 시스템에 유용한 것으로 믿어진다. 본 발명은 PBS가 사용되는 어떤 용도에서도 유용할 수 있지만, 이하에서는 특히 투사 시스템에 사용되는 것으로 기술된다. 그러나 본 발명의 범위를 투사 시스템에만 한정하려는 의도는 아님을 알아야 한다.

[0027] 본 발명은 여러가지 다른 형태의 투사 시스템에 사용될 수 있다. 후술하는 본 발명을 포함할 수 있는 멀티-패널 투사 시스템(100)의 예시적인 일 실시예가 도1에 개략 도시되어 있다. 투사 시스템(100)은, 광선(104)을 발생시키는 광원(102)을 가지며 세 가지 다른 색 대역의 광을 갖는 3-패널 투사 시스템이다. 광선(104)은 예를 들어 2색(dichroic) 거울과 같은 색 분할 요소(106)에 의해 상이한 색상의 광을 포함하는 제1, 제2 및 제3 광선(104a, 104b, 104c)으로 분할된다. 이들 광선(104a, 104b, 104c)은 예를 들어 각각 적색, 녹색 및 청색의 색상일 수 있다. 이들 광선(104a, 104b, 104c) 중 어느 것을 조향(steer)하기 위해 예를 들어 거울이나 프리즘과 같은 광선 조향 요소(108)가 사용될 수 있다.

[0028] 광선(104a, 104b, 104c)은 각각의 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)로 향하며, 이들 화상 형성 장치는 예를 들어 LCoS(liquid crystal on silicon) 패널과 같은 LCD-기반의 반사성 화상 형성 패널일 수 있다. 광선(104a, 104b, 104c)은 각각의 편광 빔스플리터(PBS)(112a, 112b, 112c)를 거쳐서 각각의 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)에 결합된다. 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)는 입사 광선(104a, 104b, 104c)을 편광 변조시키며 이에 의해 각각의 화상 빔(114a, 114b, 114c)은 PBS(112a, 112b, 112c)에 의해 분리되어 색 조합 유닛(116)으로 이동된다. 도시된 예시적 실시예에서, 조명 광선(104a, 104b, 104c)은 PBS(112a, 112b, 112c)에 의해 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)로 반사되며, 그 결과적인 화상 광선(114a, 114b, 114c)은 PBS(112a, 112b, 112c)를 통과한다. 도시되지 않은 다른 접근 방법에서는, 조명 광선이 PBS를 통하여 화상 형성 장치로 이동되고 반면에 화상 광선이 PBS에 의해 반사될 수도 있다.

[0029] 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)와 그 각각의 PBS(112a, 112b, 112c) 사이에는 1/4 파장 지연 요소(111a, 111b, 111c)가 배치된다. 1/4 파장 지연 요소(111a, 111b, 111c)는 화상 형성 장치(110a, 110b, 110c)에서의 잔여 복굴절을 보정하고, 또한 나중에 더 자세히 설명될 PBS(112a, 112b, 112c)에서의 복굴절을 보정하기 위해 사용될 수 있다.

[0030] 도시된 예시적 실시예에서, 색 조합 유닛(116)은 예를 들어 하나 이상의 2색 요소를 사용하여 상이한 색상의 화상 광선(114a, 114b, 114c)을 조합한다. 특히, 도시된 예시적 실시예는 x-큐브 색 조합기를 도시하고 있지만, 다른 형태의 조합기가 사용될 수도 있다. 세 개의 화상 광선(114a, 114b, 114c)은, 투사 렌즈 시스템(120)에 의해 화면(도시되지 않음)으로 향할 수 있는 단일 색상의 화상 광선(118)을 생성하도록 색 조합 유닛(116)에서 조합된다.

- [0031] 투사 시스템의 다른 실시예는 하나 이상의 PBS를 사용할 수 있다. 예를 들어, 투사 시스템은 미국 특허 출원 제10/439,449호 및 10/914,596호에 보다 자세히 기술되어 있듯이 하나 또는 둘의 화상 형성 장치를 각각의 PBS와 함께 사용할 수 있다. 화상 형성 장치의 최대 개수는 세 개로 제한되지 않으며, 투사 시스템은 셋 이상의 화상 형성 장치를 사용할 수도 있다. 또한, 고압 수은등과 같은 백색 광원 및 발광 다이오드와 같은 칼라 광원을 포함하는 다른 형태의 광원이 사용될 수도 있다. 본 발명은 PBS에 도달하는 조명 광이 발생되는 방법 또는 광이 PBS에 도달하기 전에 처리되는 방법을 제한하지 않는다.
- [0032] 투사 시스템에 고 콘트라스트 화상을 제공하기 위한 고품질(hight quality) 편광 빔스플리터(PBS)는 예전에는 광탄성 정수로도 알려진 낮은 광응력 계수(SOC)를 갖는 유리의 사용을 필요로 하였다. 저SOC 유리의 예로는 PBH56 및 SF57 유리가 포함된다. 이들 유리는 납 함량이 예를 들어 납산화물이 70중량% 이상일 정도로 높고, 1.8을 초과하는 높은 굴절율을 갖는다. PBS 유리에서의 납 함량이 높으면 환경 문제를 초래한다. 또한, 다층 광학 필름 편광기에서의 편광층이 통상 약 1.5-1.6 범위의 굴절율을 갖기 때문에, 편광층과 유리 사이의 굴절율 차이가 높고, 이는 저SOC 유리가 사용될 때 편광층에 대한 입사의 준-최적 각도를 초래할 수도 있다. 이러한 비교적 큰 굴절율 차이는 예를 들어 미국 특허 제6,672,721호 및 제6,786,604호에 개시되어 있듯이 시스템 또는 PBS 자체의 광학 설계에 있어서 해결될 수 있는 수치를 초래할 수도 있다. 또한, 저SOC 유리는 낮은 아베 수(Abbe number)를 갖는 바, 이는 분산(dispersion)이 크다는 것을 의미하고, 따라서 SOC 유리는 광범위한 파장을 커버하는 용도에 덜 적합할 수 있다.
- [0033] 제품에서 납을 제거하는 것은 환경적으로 중요한 목적이며, 복굴절 감지 광학 시스템의 성능에 영향을 미치는 것이다. 본 발명은 예를 들어 Duryea, Pennsylvania 소재의 Schott North America로부터 입수가능한 N-BK7, N-SK5 등과 같은 표준 유리 또는 등가 유리의 사용에 관한 것이다. 예를 들어, S-BAL35 및 ZK3은 NSK5와 대략 동등하며, 각각 일본의 Ohara Incorporated 및 중국의 Chengdu Guangming에 의해 공급된다. 이들 유리는 예를 들어 전술한 저SOC 유리의 SOC값보다 백배 이상 높은 SOC값을 갖지만, 본 발명에 따르면 프로젝션 텔레비전용 활상 코어의 조명시에 겪게되는 응력을 받을 때에도 높은 콘트라스트를 유지하는 PBS 용도에 사용될 수 있다. 이들 표준 유리는 납을 함유하지 않는다.
- [0034] 활상 PBS 용도에서 무연(lead-free) 유리를 사용하기 위한 여러가지 비성공적인 시도가 이루어졌다. 예를 들어, Cline 등(LCOS 투사 디스플레이에서의 열응력 복굴절, Display 23 (2002) pp. 151-159)은 조명-유도(illumination-induced) 열응력 복굴절, 즉 조명 광선에 의해 조명될 때 유리의 흡수성 가열로 인해 초래되는 응력 복굴절에 대해 다수의 유리를 분석 및 검사하였다. 분석에 의하면 조명-유도 열응력 복굴절에 대한 성능 지수가 도출되었는 바, 이는 SK5, BK7, 및 Ultran 30의 조명-유도 열응력 복굴절이 프로젝션 텔레비전 시스템에 사용하기에 충분히 낮을 수 있음을 제안하였다. 그러나, Cline 등은 그들의 분석이 조립 및 장착에 기인하는 기계적 응력, 및 조명 이외의 원인, 예를 들면 냉각 팬, 전자기기로부터의 열 또는 반사식 활상기(imager)에 의해 흡수 및 방출되는 열에 기인하는 열응력을 포함하는 다른 응력 복굴절 소스는 고려하지 않았음을 주목하였다. 일부 추가적인 응력 복굴절은 예를 들어 PBS의 유리 프리즘과 편광층 사이에 사용되는 접착제로 인해 초래될 수도 있다. 이 접착제는 예를 들어 유리 커버에 응력을 생성하도록 경화될 수 있는 바, 이는 제작 응력으로 이어질 수도 있다. 또한, 고온에서의 작업은 접착제, 유리 커버 및/또는 편광층 사이의 상이한 열팽창계수로 인해 발생되는 추가적인 열유도(thermally-induced) 응력을 초래할 수도 있다. 이들 추가 응력 소스는 Cline에 의해 논의된 조명-유도 열응력 복굴절에 비해 상당한 그 이상의 응력 복굴절을 유도하며, 결국 이들 무연(non-leaded) 유리는 프로젝션 시스템에 사용되는 PBS에서의 저SOC 유리를 간단히 대체하기에는 적합하지 않다. 이하에서는 N-SK5 유리를 사용할 때 PBS의 콘트라스트가 상당히 손상될 수 있음을 보여주는 실험 결과가 제공된다.
- [0035] PBS 부품에서의 복굴절을 제거하는 대신에, 본 발명의 일부 실시예는 PBS 부품에서의 복굴절 광학 유리의 효과를 보정하기 위한 방법에 관한 것이다. 본 발명은 여러가지 상이한 형태의 PBS내 반사 편광층에 유용할 것으로 믿어지지만, 특히 예를 들어 공동 소유된 미국 특허 제6,486,997호에 기술된 편광 필름과 같은 직교 다층 광학 필름(MOF) PBS에 유용할 것으로 믿어진다. 본 발명은 또한 편광층과 화상 형성 장치 사이에 유리 요소가 구비된 MacNeille PBS 및 와이어 그리드 PBS와 같은 다른 형태의 PBS에도 효과적일 수 있다.
- [0036] 본 발명에 사용될 수 있는 1.8 미만, 1.7 미만 및 심지어 1.6 미만의 굴절율을 갖는 유리를 포함한다. 또한, 일 실시예에서의 유리에 대한 SOC의 값은  $0.1 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 보다 클 수 있거나, 다른 실시예에서는  $0.5 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 보다 클 수 있거나, 또는 다른 실시예에서는  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 보다 클 수도 있다. PBS의 고 콘트라스트 동작을 제공하기 위해 본 발명에 사용될 수 있는 무연 유리의 일부 예로는 Duryea, Pennsylvania 소재의 Schott North

America로부터 입수 가능한 N-SK5 및 N-BK7 유리가 포함된다. N-SK5 유리는 가시광선 스펙트럼에서  $2.16 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 의 SOC 값을 가지며, NBK-7은  $2.7 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ 의 SOC 값을 갖는다. 이는 PBH56 유리의 SOC( $0.09 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ )의 이십배 이상이며, SF57 유리의 SOC( $0.02 \times 10^{-6} \text{ mmN}^{-1}$ )의 일백배 이상이다. 따라서, 무연 유리는 고-연 (high-lead) 유리에 비해 기계적 및/또는 열적 응력에 대해 약 이십배 내지 일백배 이상 민감할 수 있다. 응력 없이 조립된 PBS는 접착제 및 다층 편광기의 폴리머 필름에서의 열폭주 및 수분 흡수에 의해 발달된 응력에 대해 여전히 민감할 수 있다. 후술하듯이, 초기에 무응력 PBS가 준비되었을 때에도, 거울 암 상태의 PBS를 사용하고 PBS가 가열, 냉각되어 적소에 고정될 때 양호한 암 상태 균일성을 유지하기는 어렵다.

[0037] 무연 유리에서의 응력-관련 복굴절을 적어도 부분적으로 보정하기 위해, PBS와 화상 형성 장치 사이에 배치되는 1/4 파장 필름 또는 1/4 파장 플레이트와 같은 1/4 파장 지연 요소가 사용될 수 있다. 이는 종래의 PBS에서의 무연 유리 사용과 대개 연관되는 콘트라스트 저하를 감소시킨다.

[0038] 응력식 PBS의 복굴절은 이제, 두 커버(204, 206)의 대향 표면(204a, 206a) 사이에 개재된 반사 편광층(202)을 갖는 PBS(200)를 개략 도시하는 도2를 참조하여 보다 자세히 기술될 것이다. 상기 커버(204, 206)는 PBS(200)의 내외로 광을 투과시키기 위해 표면(204a, 206a)에 대하여 평행이 아닌 추가 표면을 갖는 프리즘 형태일 수도 있다. 도시된 실시예에서, 커버(204, 206)는 반사 편광층(202)의 대향 표면(204a, 206a)이 출력면(204b)에 대해 45도로 배치된 각각 프리즘이지만, 상기 표면(204a, 206a)은 다른 각도로 배치될 수도 있다. 상기 커버(204, 206)는 예를 들어 반사 편광층(202)과 커버(204, 206) 사이에 각각 접착제 층(205a, 205b)을 사용하여 반사 편광층(202)에 부착될 수도 있다. 접착제의 적합한 일 예는 미국 특허 공보 제2004/023477A1호에 교시된 광 에폭시이다.

[0039] 일부 실시예에서, 반사 편광층(202)은 상이한 폴리머 재료의 교호 층(alternating layers)으로 형성된 다층 광학 필름 반사 편광기일 수 있으며, 여기에서 교호 층 세트 중 하나의 층은 복굴절 재료로 형성되고, 상이한 재료의 굴절율은 하나의 선형 편광 상태로 편광된 광에 대해서는 매치되고 직교하는 선형 편광 상태의 광에 대해서는 매치되지 않는다. 따라서, 매칭된 편광 상태의 입사 광은 층(202)을 실질적으로 투과하고, 비매칭된 편광 상태의 광은 층(202)에 의해 실질적으로 반사된다.

[0040] 다른 형태의 반사 편광층이 사용될 수 있는 바, 예를 들면 MacNeille PBS에서 종종 사용되는 무기 유전층의 스택, 또는 미국 특허 제6,719,426호에 교시하듯이 유리 프리즘에 사용되는 와이어 그리드 편광기, 또는 유사한 방식으로 사용되는 임의의 기타 편광 선택층이 사용될 수 있다. 반사 편광층(202)은 전술한 바와 유사하게, 커버(204)에 고결(cemented)될 수도 있다.

[0041] 비편광 조명 광선(210) 또는 혼합 편광 상태의 광선이 PBS(200)에 입사될 때, 반사 편광층(202)은 본원에서 s-편광 상태로 지칭되는 일 편광 상태(210a)의 광을 실질적으로 반사하고, 본원에서 p-편광 상태로 지칭되는 직교 편광 상태(210b)의 광을 실질적으로 투과시킨다. 그러나, PBS가 직교 MOF일 때, 반사 및 투과된 광의 편광 상태는 PBS의 고정된 재료 축을 기준으로 결정되며, 반사 편광층 자체의 물리적 이방성의 방향에 의해 결정됨을 알아야 한다. MacNeille 편광기에 있어서, 편광 방향은 편광기에서의 반사 평면에 대해 결정된다. 따라서, s-편광 및 p-편광으로 지칭되는 용어는 본원에서, 이 명명법이 완전히 정확한 MacNeille PBS의 경우와, 상기 명명법이 대략 그리고 실질적으로 정확하며 편리하게 유지되는 직교 PBS의 경우에 PBS에 의해 각각 주로 반사 및 투과되는 광의 직교 편광 상태를 지칭하는데 사용된다. 와이어 그리드 편광기 및 MOF 편광기는 직교 편광기의 두 예이다.

[0042] 반사 편광층(202)에 의해 반사된 입사 s-편광된 광선의 일부는 Rs로서 지칭되고, 반사 편광층(202)에 의해 투과된 입사 p-편광된 광선의 일부는 Tp로서 지칭된다. 반사 편광층(202)이 s-편광된 광선(Rs=1)만을 반사하고 p-편광된 광선(Tp=1)만을 투과시키는 완벽한 편광기라고 하더라도, 화상 형성 장치(212)에 도달하는 광선은 이제 설명하듯이 혼합된 편광의 것이다.

[0043] 제1 커버(204)는 응력 하에 있는 바, 이는 결국 응력 복굴절로 이어진다. 응력은 여러가지 다른 이유로 인해 초래될 수 있다. 예를 들어, 응력은 제조 과정 중에 또는 PBS(200)를 광학 시스템에 장착할 때 발생하는 기계적 고려사항으로부터 초래될 수 있다. 또한, 응력은 예를 들어 조명-유도 열응력으로부터 또는 유리, 광학 접착제, 반사 편광층 또는 PBS 마운트의 열팽창계수 차이로부터 초래되는 열적 속성을 가질 수 있다. 따라서, p-편광된 광선이 전혀 반사되지 않을 때에도, 즉 Tp=1일 때에도, 반사된 광선(210a)은 복굴절 커버(204)를 통해서 화상 형성 장치(212)로 이동되며, 따라서 화상 형성 장치(212)에 도달하는 광은 s-편광된 광선과 p-편광된 광선의 양자를 포함한다. 반사 편광층(202)과 제1 커버(204) 사이의 접착층(205a)에는 추가 복굴절이 존재할 수도

있다.

[0044] 응력-유도 복굴절에 기인한 지연 효과는 PBS(200)의 한 쪽에서 다른 쪽에 비해 클 수 있는 바, 이제 이를 설명한다. 광선(220)은 제1 커버(204)의 좌측 에지로 진입하여, 제1 커버(204)에서의 비교적 긴 경로를 따라서 전파되며, 이후 제1 커버(204) 내의 비교적 짧은 경로를 따르는 광선(220a)으로서 화상 형성 장치(212)로 반사된다. 광선(230)은 제1 커버(204)의 우측 에지로 진입하여, 제1 커버(204) 내의 비교적 짧은 경로를 따라서 전파되며, 이후 커버(204) 내의 비교적 긴 경로를 따르는 광선(230a)으로서 화상 형성 장치(212)로 반사된다. 따라서, 화상 형성 장치에 도달하는 광선(230a)은 반사 편광층(202)에서 반사된 후 광선(220a)보다 긴 제1 커버(204) 내의 경로를 통과하며, 따라서 제1 커버(204) 내의 복굴절로 인해 광선(220a)에 비해 많은 양의 p-편광된 광선을 갖는다. 반사 편광층(202)을 통해서 투과된 광선(220b, 230b)은 버려질(dump) 수도 있다.

[0045] 암 상태에서, 화상 형성 장치(212)는 반사된 광선의 편광을 실질적으로 변조하지 않으며, 따라서 화상 형성 장치(212)로부터 반사된 광선(222, 232)의 편광 상태는 화상 형성 장치(212)에 입사되는 빛과 거의 동일하다. 광선(222)이 p-편광된 광선을 거의 포함하지 않기 때문에, 비교적 소량의 광선만이 반사 편광층(202)에 의해 광선(222a)으로서 투과되며, 비교적 다량의 광선이 광선(222b)으로서 반사된다. 한편 광선(232)은 반사 편광층(202)으로 되돌아갈 때 증가하는 p-편광된 광선을 다량 포함하며, 따라서 광선(232a)으로서 투과된 광은 광선(222a)에 비해 강한 광도를 가질 수 있다. 따라서, 반사 편광층(202)에 의해 반사된 광선(232b)은 광선(222b)보다 덜 강할 수 있다. 따라서, 암 상태에서, 화상 광선은 불균일 할 수 있으며, PBS의 다른 쪽에 비해 한 쪽에서 더 밝아질 수 있다.

[0046] 제1 커버(204)에서의 응력 복굴절의 효과는 축상(on-axis) 광선 및 경사 광선을 포함하는 화상 형성 장치에 입사되는 모든 광선에 적용된다. 또한, 상기 효과는 PBS의 한 쪽에서 다른 쪽으로 증가되며, 따라서 적어도 반사 평면에서 조명 광선의 중심에 대해 대칭적이지 않다.

[0047] 이 거동은 실험적으로 관찰되었다. 도3a 및 도3b에 도시된 두 개의 실험 설비가 사용되었다. 도3a에 도시된 설비(300)에서, 고암 수은등으로부터의 s-편광된 광선(302)은 f/2.3 광선에 있어서 MOF PBS(304)로 향하였다. MOF PBS(304)는 실질적으로 s-편광된 광선을, 반사 화상 형성 장치를 암 상태로 에뮬레이트(emulate)하는데 사용되는 평면 거울(306)로 반사한다. 거울(306)에서 반사되고 PBS(304)를 통과한 광선(308)은 선회 프리즘(310)을 통해서 렌즈(312)로 향하며, 렌즈는 50"(127cm) 대각선 화면에 거울(306)의 화상을 형성하였다. 화면 상의 화상은 이후 Radiant Imaging Inc.(Duval WA)에 의해 만들어진 ProMetric PM-1421-1 촬상 비색계(Imaging Colorimeter)를 사용하여 캡처되었다. PBS는 공동 소유된 미국 특허 제6,609,705호 및 제6,721,096호에 기술된 바와 같이 MOF PBS였다. 이 PBS는 f/2.3 광선에 대해서 가시 영역(430nm 내지 700nm)에 걸쳐서 Tp와 Rs의 값이 95%를 초과하는 편광층을 구비하였다.

[0048] 도3b에 도시된 설비(350)는 거울(306)이 1/4 과장 거울(QWM: quarter-wave mirror)(356), 즉 1/4 과장 지연기(358)가 부착된 거울(357)로 대체된 것을 제외하고 도3a의 것과 동일하다. 각각의 설비(300, 350)에 대해 암-상태 화상이 기록되었다. QWM(356)은 최상의 암 상태를 얻기 위해 z축에 평행한 축 주위로 회전되었다. 화면에서 가장밝은 광선을 얻기 위해 QWM(356)을 z축에 평행한 축 주위로 회전시킴으로써 QWM 설비(350)에 대해 명-상태 화상도 기록되었다.

[0049] 도4a는 16:9의 가로세로비를 갖는, 투사된 화상(400)의 외주를 개략 도시한다. 여섯 개의 곡선(402a-c, 404a-c)은 투사된 화상을 가로지르는 선을 나타낸다. 도4b는 화면 상의 세 개의 수직선(402a-c)을 따르는 거울 암 상태의 휘도를 도시하며, 곡선(412a)은 선(402a)을 따르는 암 상태 휘도를 도시하고, 곡선(412b)은 선(402b)을 따르는 암 상태 휘도를 도시하며, 곡선(412c)은 선(402c)을 따르는 암 상태 휘도를 도시한다. 암 상태 휘도의 값들은 QWM 암 상태 휘도로 표준화되는 바, 즉 그래프에서의 값은 거울 암 상태 휘도를 QWM 암 상태 휘도로 나눔으로써 얻어졌다. 이는 상기 결과로부터 예를 들면 거울에 조사되는 광선의 강도 프로파일에서의 임의의 불균일성으로부터 초래되는 일부 체계적인 인공음영물(artifact)을 제거하였다.

[0050] 좌표계는 선(402b, 404b)이 교차하는 화면의 중심에 원점을 배치한다. 수직선(402a-c)은 -0.45, 0, 0.45의 각각의 x좌표를 가지며, 수평선(404a-c)은 0.27, 0, -0.27의 각각의 y좌표를 갖는다. 따라서, A 내지 I로 표기된, 선(402a-c, 404a-c)의 교차점은 하기의 좌표를 갖는다: A(-0.45, 0.27), B(0, 0.27), C(0.45, 0.27), D(-0.45, 0), E(0, 0), F(0.45, 0), G(-0.45, -0.27), H(0, -0.27), I(0.45, -0.27). 좌표는 투사 화면에서 측정되는 위치(미터)에 대응한다.

[0051] 화상의 우측에 대응하는 곡선(412c)을 먼저 보면, 거울 암 상태 휘도는 약 -0.3m와 0m 사이의 위치에 대한 QWM

휘도에 근사한다. 그러나, 0m와 0.3m 사이의 위치에 대해서, 거울 암 상태의 상대 휘도는 약 7의 값까지 급격하게 증가한다. 즉, 거울 암 상태는 QWM 암 상태에 비해 약 일곱배 더 밝다. 이는 1/4 파장 지연기가 존재하지 않을 때 이 부위에서 현저히 많은 암 상태 누설이 있음을 의미한다. 따라서, 화상의 우상 코너가 좌하 코너보다 밝게 보였다. 다른 곡선(412a, 412b)은 화상의 높이에 대해서 곡선(412c) 만큼 변화하지 않으며, 암 상태 화상이 화상(400)의 우상 코너에서 가장 밝음을 보여준다.

[0052] 도4c는 화면(400)을 가로지르는 세 개의 수평선(404a-c)에 대한 거울 암 상태의 표준화된 휘도를 도시하는 바, 곡선(414a)은 선(404a)을 따르는 암 상태 휘도를 도시하고, 곡선(414b)은 선(404b)을 따르는 암 상태 휘도를 도시하며, 곡선(414c)은 선(404c)을 따르는 암 상태 휘도를 도시한다. 화상(400)의 상부를 따르는 위치에 대한 암 상태 화상 휘도를 도시하는 곡선(414a)은 화면의 좌측 위치(0m보다 낮은 위치)에서는 상대적으로 낮은 값을 갖지만, 화면의 우측 위치에서는 높은 값을 갖는다. 이는 수직선(412a-c)에 대해 이전 단락에서 논의된 결과와 일치한다. 곡선(414b, 414c)은 비교적 편평한 바, 이는 이들 영역에서 거울(306) 또는 QWM(356)에 대한 암 상태 강도에 있어서 큰 차이가 없음을 나타낸다. 416으로 표기된 지점은 면지의 존재가 암 상태 휘도의 실제 측정을 방지하는 영역에 대응한다.

[0053] 콘트라스트비, 즉 암 상태 조도에 대한 명 상태 조도의 비율은, 위치 A 내지 I에 대응하는, 투사되는 화상 영역 내의 아홉 군데의 상이한 위치에 대해서 계산되었다. 콘트라스트비는 QWM이 검출기(314)에 최대 투과율을 부여하는 조건으로 회전했을 때 암 상태 광의 휘도 및 가장 밝은 상태의 휘도를 측정함으로써 측정되었다. 각각의 설비(300, 350)에 대한 콘트라스트 측정의 결과를 표I에 요약하였다.

[0054] 표I 1/4 파장 보정의 유무와 더불어 화상 광선의 다양한 위치에서의

콘트라스트비

암 상태	A	B	C	D	E
거울(306)	15214	2397	1051	7972	4294
QWM (356)	6052	5009	6844	8275	5754

암 상태	F	G	H	I
거울(306)	6904	5926	6661	19171
QWM (356)	6252	7723	8223	11486

[0058] 텔레비전 투사 시스템에서의 콘트라스트비는 2500 이상의 레벨인 것이 바람직하다. 알 수 있듯이, 거울(306)이 단독으로 사용되었을 때 지점 B와 C는 이 기준을 충족하지 못하는 바, 이는 PBS 커버에서의 응력 복굴절에 기인한다. 대조적으로, QWM 암 상태에서의 콘트라스트비는 투사된 화상의 모든 지점에서 2500을 넘는다.

[0059] 예를 들어 지점 A 및 I와 같은 일부 지점에서는, QWM(356) 대신에 거울(306)이 사용되었을 때 콘트라스트가 현저히 높다. 이들은 응력 복굴절을 거의 또는 전혀 겪지 않는 PBS 커버 내의 위치에 대응한다. 결과적인 콘트라스트비는, 1/4 파장 지연기(358)에서의 아마도 지연기(358) 장착에 의해 유도되거나 지연기(358) 자체의 고유 성질인 불완전성, 예를 들면 배향의 불완전성으로 인해 QWM 투사된 화상에 대해 감소된다. 또한, QWM(356)을 사용하는 설비(350)는 파장 최적화되지 않았으며, 최적화된 부품에 의하면 개선된 콘트라스트 성능이 기대된다. QWM(356) 상의 1/4 파장 지연기(358)는 스펙트럼상 중립적이지 않았지만, 약 137nm의 복굴절을 가졌다. 따라서, 1/4 파장 필름은 550nm 근방의 파장에 대해 정확한(true) 1/4 파장 지연을 제공했을 뿐이다. QWM의 경우에는 사용되는 입사광의 대역폭을 좁히거나 조명 광의 파장 범위에 걸쳐서 플래터(flatter) 지연을 갖는 QWM(356)을 사용함으로써 개선된 콘트라스트 결과가 기대될 것이다. 3-패널 투사 시스템에서는 화상-생성 장치에 입사되는 광의 대역폭이 통상 70nm 이하이며 PBS 및 1/4 지연기를 구비하는 광학 요소들은 각각의 투사되는 색 대역에서의 작업을 위해 최적화될 수 있음을 알아야 한다.

[0060] 1/4 파장 지연기(QWR)의 사용 효과는 물리 행렬(Mueller Matrix) 편광 모델링을 사용하여 모델링되었다. 이 효과를 나타내는 가장 간단한 모델은 PBS 기능과 동등한 기능을 위한 교차식(crossed) 선형 편광기를 구비하며, 교차식 편광기는 PBS를 통한 하나의 반사 및 하나의 투과와 동등하다. 동등한 편광기 사이에는 PBS 커버를 모델링하기 위한 복굴절 유리, QWR, 약간의 이탈 지연을 갖는 LCoS 활성화, 및 거울이 배치된다.

[0061] 도5는 편광(s-편광)의 방향을 나타내는 PBS의 면(500), 및 상이한 복굴절 방향을 나타내는 면(500) 내의 여러

화살표를 개략 도시한다. 복굴절의 방향은 유리 재료 내의 응력 방향에 의존한다. 결과 분석에 의하면, QWR 보정기가 45°로 배향된 임의 레벨의 복굴절 또는 응력을 화살표(a) 방향의 편광 방향으로 실질적으로 보정함을 보여준다. 0°나 90°로 배향된 응력(각각 화살표(b) 및 (c))은 편광된 광선의 편광에 전혀 영향을 미치지 않는다. 분석에 의하면 22.5°(모듈로(modulo) 45°)로 배향된 응력이 QWR를 보정하기에 가장 어려운 것으로 나타난다.

[0062] 이러한 거동의 원인을 이제 도6a-d를 참조하여 논의한다. 도6a는 두 개의 커버(604, 606) 사이의 반사 편광층(602)에 의해 형성된 PBS(600)에 진입하는 광선(610)을 개략 도시한다. 광선은 제1 커버(604)에 진입하고, 반사 편광층(602)에서 화상 형성 장치(608)를 향해서 반사된다. 제1 커버(604)는 응력 복굴절을 표시한다.

[0063] 광(610)은 반사 편광층(602)에서 편광되거나, 또는 사전에 예비편광되었을 경우에는 재편광된다. 이는 반사 편광층(602)이 입사광의 대역폭 및 입사각 범위에 걸쳐서 적어도 90% 이상, 바람직하게는 92% 이상, 보다 바람직하게는 94% 이상의 높은  $T_p$ 값을 갖는 것으로 가정한다. 미국 특허 제6,609,795호에 기재된 다중 필름 편광층은, 430nm 내지 700nm의 전체 파장 범위에 걸쳐서 f/2.3 광선에 대해 96% 내지 98%의 통상적인 값에 도달하는 높은  $T_p$ 값을 달성한다. 따라서, 원치않는 편광 상태의 광의 작은 일부만이 화상 형성 장치(608)로 반사된다.

[0064] 반사된 광선(610a)은 제1 커버(604)를 통한 경로를 따라서 전파된다. 제1 커버(604)를 떠날 때, z축에 수직한 평면A에서의 광선(610a)의 편광 상태는 직교 편광된 성분들의 조합이다. 광선에 대한 편광 성분들의 예시적인 선택이 도6b에 도시되어 있으며, 도6b는 -z 방향을 따라서, 화상 형성 장치에서 PBS(600)를 통해서 바라보는 관찰자가 볼 때, 유리 자연 부위를 통과하는 광선(610a)의 일부의 편광 상태를 도시한다. s-편광 방향은 y방향에 평행할 것으로 가정되고 p-편광 방향은 x방향에 평행할 것으로 가정되며, 이는 축방향 광선에 대해서 그러할 것이다. 광선(610)은 y축(s-편광 방향)에 대해  $\Theta_0$ 의 편광 각도를 갖는다. 광선은 타원형으로 편광되며, 편광 각도( $\Theta_0$ )는 편광 타원의 장축 방향이다. 편광 방향에 대한 45°의 자연을 위한 편광 각도( $\Theta_0$ )는 하기 표면을 사용하여 얻어진다:

$$\Theta_0 = \tan^{-1}(I_x/I_y),$$

[0065] 여기에서  $I_x = I_o \cdot \sin^2(2\Box\Box n \cdot d/\Box)$ 이며

$$I_y = I_o \cdot \cos^2(2\Box\Box n \cdot d/\Box) \text{이다.}$$

[0066]  $I_o$ 는 진입 광선의 강도이고,  $I_x$ 와  $I_y$ 는 각각 x축에 평행하게 편광된 광선(p-편광된 광선)과 y축에 평행하게 편광된 광선(s-편광된 광선)에 대한 상대 강도이며,  $\Box n \cdot d$ 는 고려중인 유리 부위에서의 광로를 따른 전체 합계 자연이고,  $\Box$ 는 진공에서의 광의 파장이다. 자연의 다른 배향에서 방정식은 더 복잡하지만 품질적으로 유사하다.  $\Theta_0$ 의 실제 값은 제1 커버(604)의 자연특성에 의존하며, 실제 상황에서는 도6b에 도시된 것보다 낮은 값을 가질 수 있다. 도6b에 도시된  $\Theta_0$ 의 특정 값은 단지 예시적인 목적으로 선택된 것이다.

[0067] 광선(610a)은 QWR(612)을 통해서 통과하고, 화상 형성 장치(608)에서 반사 광선(614)으로서 반사되며, QWR을 한번 더 통과한다. QWR(612)을 통한 이중 통과는 기능적으로 1/2 파장 자연기를 통과한 것과 동등하다. 결과적으로, 반사 광선(614)의 편광 각도는  $-\Theta_0$ 으로 반전(flip)된다. 도6c는 화상 형성 장치(608)로부터 반사된 후, 평면A에서의 반사 광선(614)의 편광 각도를 도시한다.

[0068] QWR(612)을 다시 통과한 후, 광선(614)은 거의 동일한 경로를 따라서 커버(604)를 통해서 반사 편광층(602)으로 이동하며, 따라서 광선(610)이 진입 경로에서 행한 것과 거의 동일한 응력 복굴절에 기인한 자연을 겪는다. 광선(614)의 편광 각도가 평면A에서 광선(610)에 대해 역전되므로, 그러나 정미(net) 효과는 광선(614)이 제1 커버(604)를 통해서 다시 편광층(602)으로 이동하면 편광 각도( $\Theta$ )가 제로 또는 제로에 가까운 값으로 되돌아가는 것이다. 이는 반사 편광층(602)에서 평면B에서의 광선(614)의 편광 상태를 도시하는 도6d에 개략 도시되어 있다. 도시된 예에서, 보정은 이상적이며, 광선(614)은 y축에 평행하게 s-편광된다. 이 광선은 PBS(600)의 편광층(602)에 의해 반사될 것이며, 투사된 화상의 휘도에 실질적으로 기여하지 못하는 바, 이는 암 상태 화상에 대한 경우와 마찬가지이다. 한편, 편광-변조된 광선(614)은 반사 편광층(602)을 화상 광선으로서 통과한다. PBS 커버의 복굴절에 대한 보정은 후술하는 이유로 항상 완전할 수 없음을 알아야 할 것이다. 그러나, 보정의 정도는 현저할 수 있으며, 무연 유리가 하이 콘트라스트의 PBS에 사용될 수 있게 된다.

- [0071] QWR(612)을 이용한 응력 복굴절의 보정은 축상에 있는 광선(610a), 즉 반사 편광층(602)으로부터 z축에 평행한 방향으로 제1 커버(604)를 통해서 전파되는 광선에 대해서 양호하게 이루어지며, 여기에서 반사 편광기는 비교적 높은 Tp값을 갖는다. 그러나, 실제로, 조건은 덜 유리하다. 예를 들면, 화상 형성 장치는 통상 특정 원추각도 이내의 광선으로 조명되며, 그 결과 화상 형성 장치(608)에 입사되는 광선은 z축에 대해 반드시 평행하지 않다. 따라서, 진입 및 퇴출되는 광선에 대한 복굴절 이력이 달라지는 바, 조명 광선에 대한 편광 각도의 회전은 z축으로부터 증가된 각도로 전파되는 반사 광선에 대한 편광의 회전과는 현저히 상이하다. 따라서, 제1 커버(604) 내의 응력 복굴절이 보상되는 정도가 감소될 수 있다.
- [0072] 또한, Tp값이 100% 아래로 떨어지면, 반사 편광층(604)에 의해 화상 형성 장치(608)로 반사된 광선은 p-편광된 광을 다량 함유한다. 편광층(602)과 화상 형성 장치(608) 사이의 광로 상에서의, 편광층(602)으로부터의 반사 이후의 복굴절 효과만이 QWR(612)에 기인한 편광 각도 역전에 의해 보정된다. 따라서, 반사 광선(602a)이 p-편광된 광선을 함유하는 정도까지, 콘트라스트가 저하될 것이다. 따라서, 반사 편광층(602)에서 반사되는 p-편광된 광선의 양을 감소시키기 위해서는 Tp가 높은 것이 매우 중요하다. 응력 복굴절 효과를 감소시키기 위한 이러한 접근법은 따라서 말하자면 f/3.0 또는 심지어 f/2.0 이하의 유용한 f-수를 갖는 조명 광선을 사용할 때 극단 광선에 대해서 Tp값이 90%보다 높을 때 가장 유용하다. Tp의 값은 92% 이상인 것이 바람직하며, 94% 이상인 것이 보다 바람직하다.
- [0073] QWR(612)은 PBS 커버(604) 뿐 아니라 편광층(602)과 QWR(612) 사이에 배치되는 임의의 구성 요소에서의 복굴절을 적어도 부분적으로 보정한다. 예를 들어, QWR(612)은 커버(604)와 편광층(602) 사이의 접착층에서 초래되는 복굴절을 보정할 수도 있다. 또한, 화상 형성 장치(608) 근처에 선택적 대물 렌즈(618)가 배치될 수도 있는 바, 이 배열은 특히 횡 색수차(lateral color)의 측면에서 투사 렌즈에 대한 추가 설계 자유도를 얻는다. 대물 렌즈(618)에서의 복굴절은 대물 렌즈(618)가 QWR(612)와 편광층(612) 사이에 배치될 경우 QWR(612)에 의해 보정될 수 있다. QWR(612)과 편광층(602) 사이에 배치될 수 있는 다른 구성 요소로는 예를 들어, QWR(612)을 지지하기 위한 유리 기판(도시되지 않음)이 포함된다.
- [0074] 화상 형성 장치(608)의 거울면과 편광층(602) 사이의 광학 표면에는 예를 들어 반사방지 코팅을 사용하여 반사방지 특성이 제공될 수 있다. 이는 반사 손실을 감소시키며, 따라서 화상 광선에서의 광학 처리량(throughput)을 증가시킨다. 또한, 반사방지 표면의 사용은 투사된 화상에서 어두운 배경에 대해 설정된 밝은 영역 주위에서의 할로(halo) 발생을 감소시킬 수 있다. 이러한 할로는 광학 표면에서 벗어나 밝은 영역으로부터 화상 형성 장치(608) 내의 거울로 발산되는 광선에서 초래될 수 있다. 광선은 이후 정확한 편광 상태를 갖는 거울에서 반사되어 PBS(600)를 화상 광선으로서 통과한다. 이를 광선은 밝은 영역 외부에 놓이며, 관찰자에게는 밝은 영역을 바로 둘러싸는 어두운 영역에서 기원하는 것으로 보인다.
- [0075] 이제 수치 모델링으로부터의 일부 결과를 논의한다. 도7은 계산된 콘트라스트비를 (i) 편광층(602)과 화상 형성 장치(608) 사이에서의, 유리 커버를 통한 싱글-패스에 대한 유리 커버(604)에서의 지연, 및 (ii) QWR(612)의 배향의 함수로서 도시하는 등고선도이다. QWR(612)의 배향은 QWR(612)의 빠른 축이 반사 평면에 평행하거나 수직한 조건에 대한 각도(degree)로 제공된다. 커버(604)에서의 복굴절은 반사 평면에 대해 45° 인 것으로 가정되었다. 모델은 화상 형성 장치가 반사 평면에 대해 45°에서 5nm의 면내 잔여 복굴절을 갖는 VAN-모드 엘시디 패널이라고 가정하였다. 알 수 있듯이, 최대 콘트라스트는 QWR(612)가 반사 평면에 대해 그 빠른 축이 약 1.8°로 회전될 때 달성된다. 이 계산은 PBS(600)에서 Tp값이 100%라고 가정하였다. 일부 MOF PBS는 98%를 초과하는 Tp값을 나타낼 수 있으므로, 이 가정은 부당하지 않다. 전술했듯이, 유리 커버(604) 내의 임의 정도의 복굴절은 그 복굴절의 배향에 대한 QWR(612)의 하나의 단일 배향에 의해 정확히 보정됨을 알아야 한다.
- [0076] 도8은 도7과 유사하지만, 이 방법을 사용하여 보정하기에 가장 어려운 조건인 22.5°로 배향된 유리 커버(604) 내의 복굴절에 대한 등고선도를 도시한다. 일부 레벨의 지연에서 QWR은 복굴절을 완전히 보정하지 못할 것임이 명백하다. 그러나, 예를 들어 직선(802)으로 도시된 레벨에서의, QWR의 배향 각도의 현명한 선택은 여전히 20nm까지의 유리 커버 지연에 대해 6000:1을 초과하는 비교적 높은 콘트라스트비를 제공한다. 실제 PBS에서 유리 커버내의 복굴절은 항상 22.5°로 배향되지 않으며 따라서 얻을 수 있는 실제 콘트라스트비는 이 그래프에 도시된 것보다 높을 수도 있음을 알아야 한다. 따라서, QWR은 1nm보다 크고, 5nm보다 크며, 10nm보다 큰 커버내의 지연 레벨을 보정하는데 사용될 수 있다.
- [0077] 도9는 커버(604) 내의 복굴절의 배향 각도 및 QWR(612)의 배향의 함수로서의 콘트라스트의 등고선도를 도시한다. 이 도면에서의 결과는 유리 커버(604)의 지연이 10nm라는 가정하에 얻어진 것이다. 이 결과는 수평선(902)으로 도시된 QWR(612)의 단일 배향이 임의 각도의 복굴절 배향에 대해 8000:1을 초과하는 높은 콘트라스

트 성능을 제공함을 명백히 보여준다.

[0078] 도10은 (a) QWR 보정이 전혀 없는 상태의 곡선(1002), (b) 화상 형성 장치에서의 잔여 복굴절이 전혀 없다는 가정 하에 QWR 보정이 최적화된 상태의 곡선(1004), 및 (c) 오프-상태에서 진입하는 편광 상태에 대해  $45^\circ$ 에서 약 5nm의 잔여 지연이 존재하는 경우에서의 QWR 보정이 최적화된 상태의 곡선(1006)에 대해 유리 커버(604)내 지연의 함수로서의 콘트라스트를 비교하는 그래프이다. 유리 커버(604)내 복굴절의 배향은  $25^\circ$ 인 것으로 가정되었다. 보정이 없는 곡선(1002)에서, 콘트라스트는 유리 커버(604) 내의 지연 값이 적을 때 급격히 감소한다. 약 0.004 웨이브의 지연(가시광선에 대해 ~2nm)에서, 콘트라스트는 절반으로 감소된다. 그러나, 보정된 경우의 곡선(1004, 1006)에서, 지연 크기는 비슷한 정도의 콘트라스트 감소를 초래하기 위해 0.03(가시광선에 대해 ~15nm)을 초과해야 한다. 유용한 PBS 콘트라스트 레벨은 대부분의 후방-투사 텔레비전(RPTV)에 있어서 2500:1 을 넘어야 한다. 도10에서의 결과는 이 콘트라스트 레벨이 QWR 보정이 전혀 없을 때  $25^\circ$ 의 응력 배향에서 0.004 웨이브 이상의 지연이 존재할 것을 요구함을 보여준다. 상대적으로, 복굴절-보정된 시스템은 이 복굴절 레벨의 열 배 이상을 허용할 수 있으며, 여전히 2500:1의 콘트라스트 요건을 충족한다. 표I에 요약된 실험 결과에 의하면, 유리 커버는 약 0.0085 웨이브(가시광선에 대해 약 4.7nm)의 응력-유도 지연(이는 보정되지 않은 시스템이 허용할 수 있는 것 이상이지만 보정된 시스템에서는 허용가능한 지연 레벨 이내임)을 갖는다고 평가할 수 있다.

[0079] 응력-유도 복굴절의 효과를 감소시키는데 있어서 QWR에 의한 보정에 추가적으로 고려될 수 있는 다른 인자는 PBS에 인가되는 응력의 양을 감소시키는 것이다. PBS 유리에서의 광학적 흡광에 기인하는 열유도 응력과 같은 일부 응력 소스는 방지하기 어렵다. 예를 들어 장착에 기인하는 응력과 같은 다른 응력 소스는 세심한 엔지니어링 및 설계를 통해서 감소될 수 있다.

[0080] 광학 요소에 부착되는 단수 또는 복수의 PBS를 포함하는 광학 코어를 제공하는 것은 종종 편리하다. 예를 들어, 도1의 투사 시스템(100)은 예를 들어 감압 접착제 또는 광 애피시와 같은 광학 접착제를 사용하여 색 조합 유닛(116)에 부착된 PBS(112a, 112b, 112c)를 도시하고 있다.

[0081] 따라서, 본 발명은 전술한 특정 예에 한정되는 것으로 간주되지 않아야 하며, 청구범위에 기재된 본 발명의 모든 태양을 망라하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명이 적용될 수 있는 다양한 수정예, 등가 공정뿐 아니라 수많은 구조가 본 명세서를 읽어본 당업자에게는 쉽게 자명해질 것이다. 청구범위는 이러한 수정예 및 장치를 커버하는 것으로 의도된다.

### 도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명은 첨부도면을 참조하여 본 발명의 다양한 실시예에 대한 하기의 상세한 설명을 고려할 때 보다 완벽하게 이해될 수 있을 것이다.

[0013] 도1은 본 발명의 원리에 따른 투사 시스템의 일 실시예의 개략도이다.

[0014] 도2는 편광 빔스플리터의 작동의 개략도이다.

[0015] 도3a 및 도3b는 실험 결과를 얻기 위해 사용된 실험 배열의 개략도이다.

[0016] 도4a는 투사된 화상 영역의 개략도이다.

[0017] 도4b 및 도4c는 투사된 화상 영역에 걸친 상이한 위치에서의 1/4 파장 보정이 있는 암 상태(dark state) 광의 휘도에 대한 1/4 파장 보정이 없는 암 상태 광의 휘도의 비율을 도시하는 실험 결과를 도시하는 그래프이다.

[0018] 도5는 편광 빔스플리터의 커버에서의 복굴절 각도의 개략도이다.

[0019] 도6a는 본 발명의 원리에 따른, 1/4 파장 지연 보정기를 구비한 편광 빔스플리터의 일 실시예의 개략도이다.

[0020] 도6b 내지 도6d는 도6a의 배열 내의 다양한 지점에서의 광에 대한 편광 각도를 도시하는 그래프이다.

[0021] 도7은  $45^\circ$ 의 복굴절 각도에 있어서, 콘트라스트의 계산된 윤곽 플롯을 (i) 편광 빔스플리터의 유리 커버에서의 복굴절 및 (ii) 1/4 파장 지연기의 배향 각도의 함수로서 도시하는 그래프이다.

[0022] 도8은  $22.5^\circ$ 의 복굴절 각도에 있어서, 콘트라스트의 계산된 윤곽 플롯을 (i) 편광 빔스플리터의 유리 커버에서의 복굴절 및 (ii) 1/4 파장 지연기의 배향 각도의 함수로서 도시하는 그래프이다.

[0023] 도9는 유리 커버에서의 10nm의 지연에 있어서, 콘트라스트의 계산된 윤곽 플롯을 (i) 복굴절 각도 및 (ii) 1/4

파장 지연기의 배향의 함수로서 도시하는 그래프이다.

[0024]

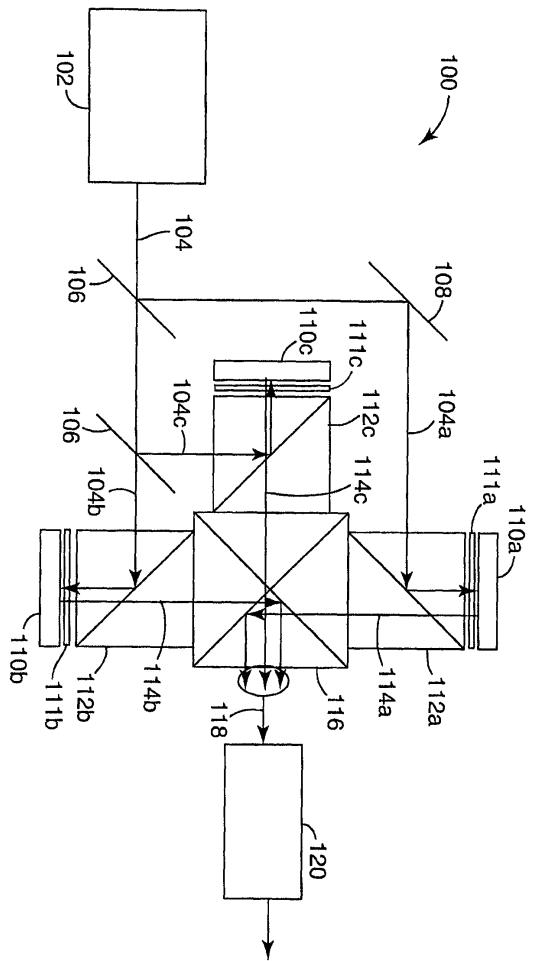
도10은 1/4 파장 지연기를 이용한 보정의 유무와 더불어 유리 커버에서의 복굴절의 함수로서 콘트라스트를 도시하는 그래프이다.

[0025]

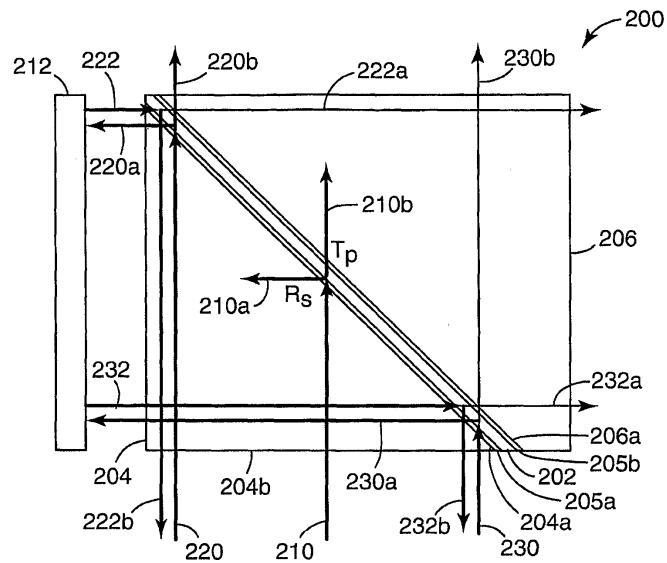
본 발명은 다양한 수정 및 변경 형태를 따를 수 있지만, 그 상세는 도면에서 예시적으로 도시되어 있으며, 상세히 후술될 것이다. 그러나, 본 발명을 기술되는 특정 실시예로 한정하려는 의도가 아님을 알아야 한다. 오히려, 청구범위에 의해 한정되는 본 발명의 정신 및 범위에 포함되는 모든 수정예, 등가예, 및 변형예를 망라하려는 의도임을 알아야 한다.

## 도면

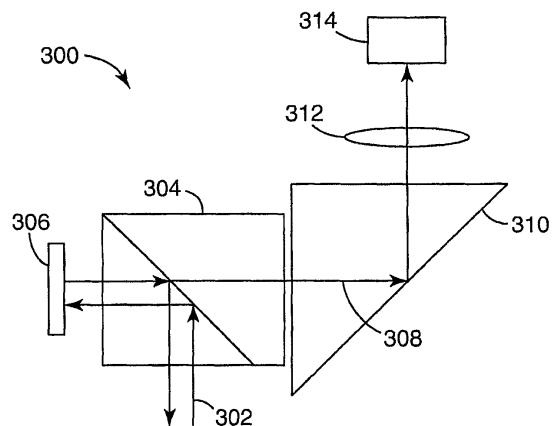
### 도면1



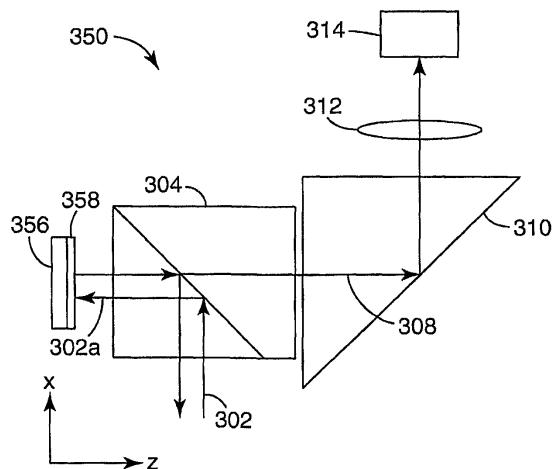
## 도면2



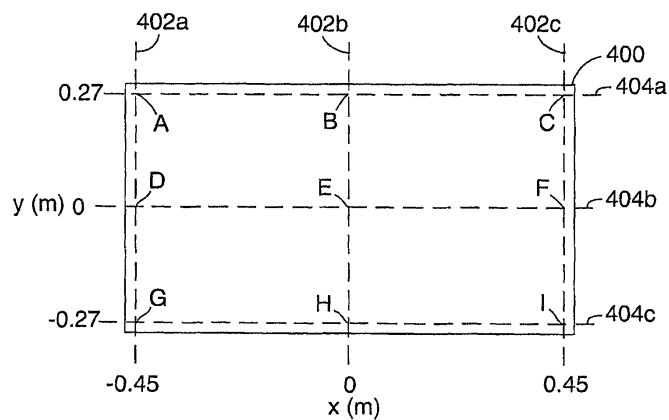
### 도면3a



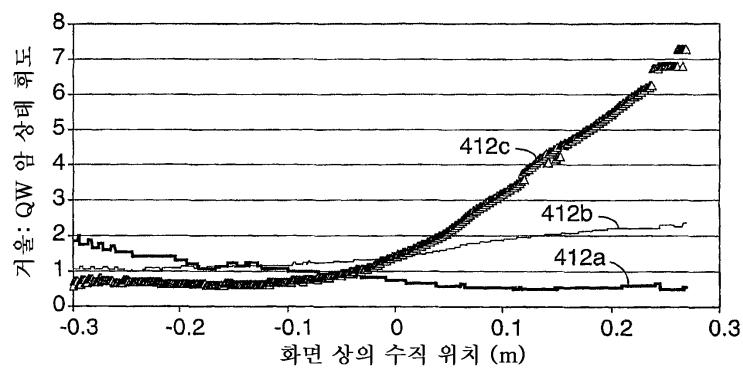
도면3b



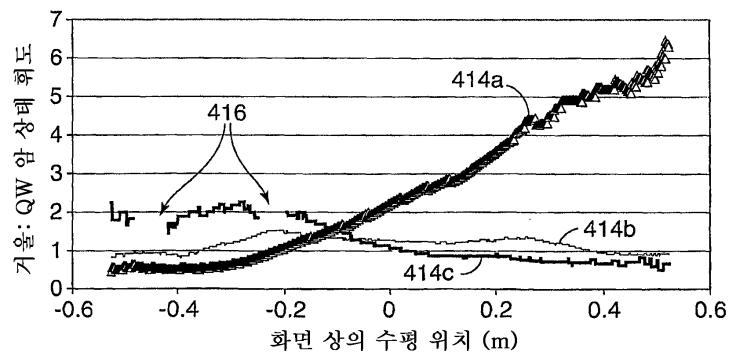
도면4a



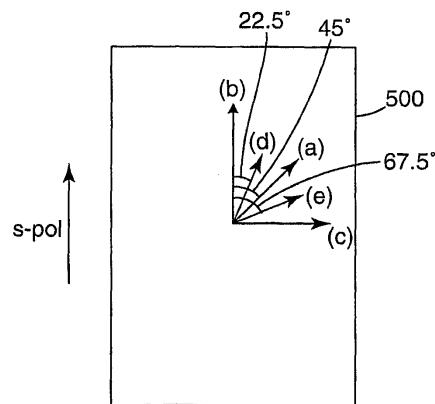
도면4b



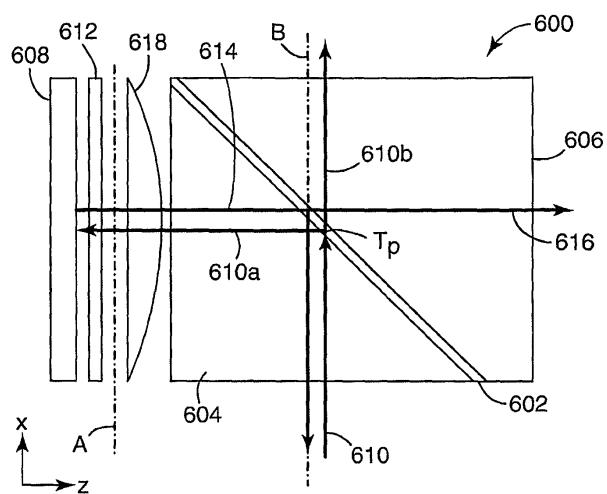
## 도면4c



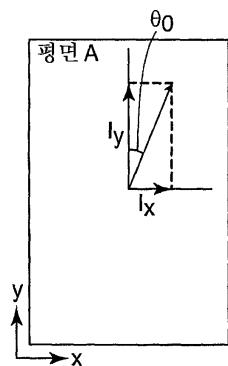
## 도면5



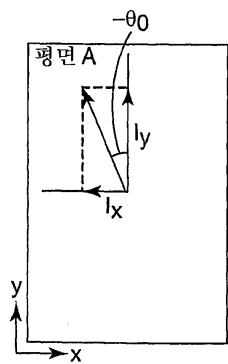
## 도면6a



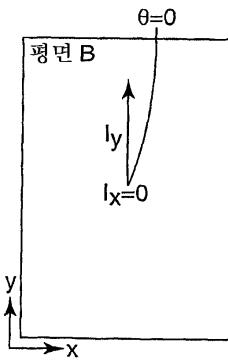
도면6b



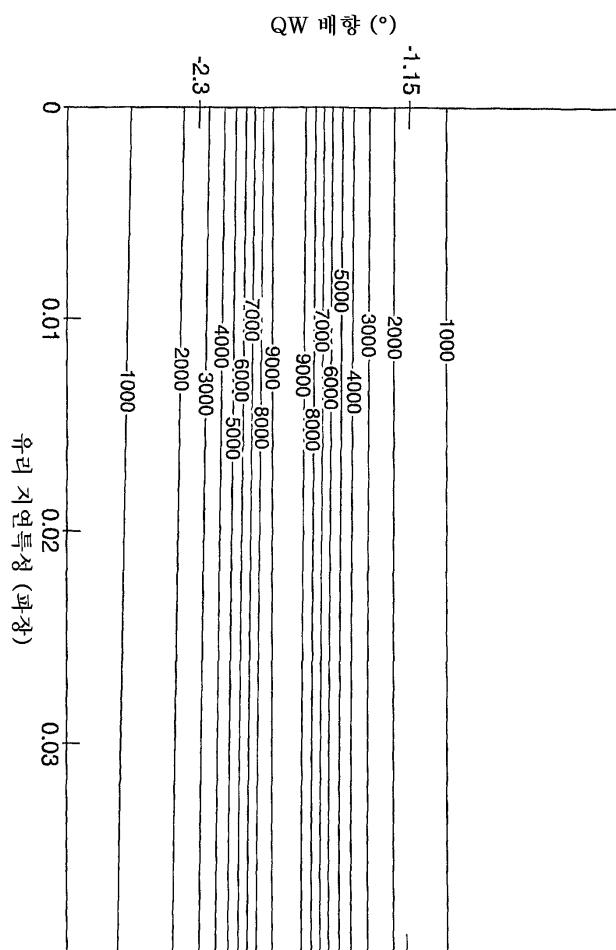
도면6c



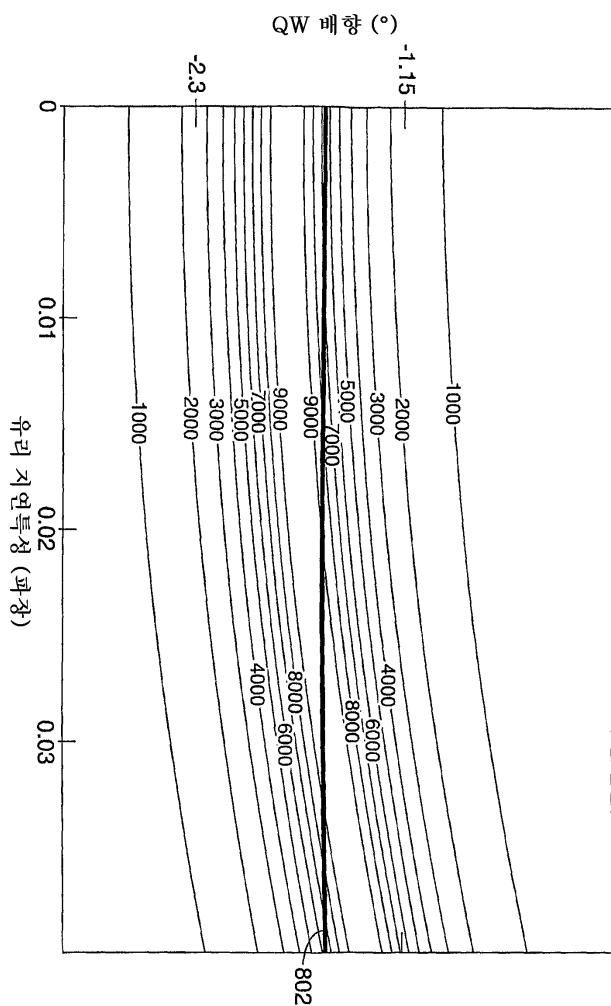
도면6d



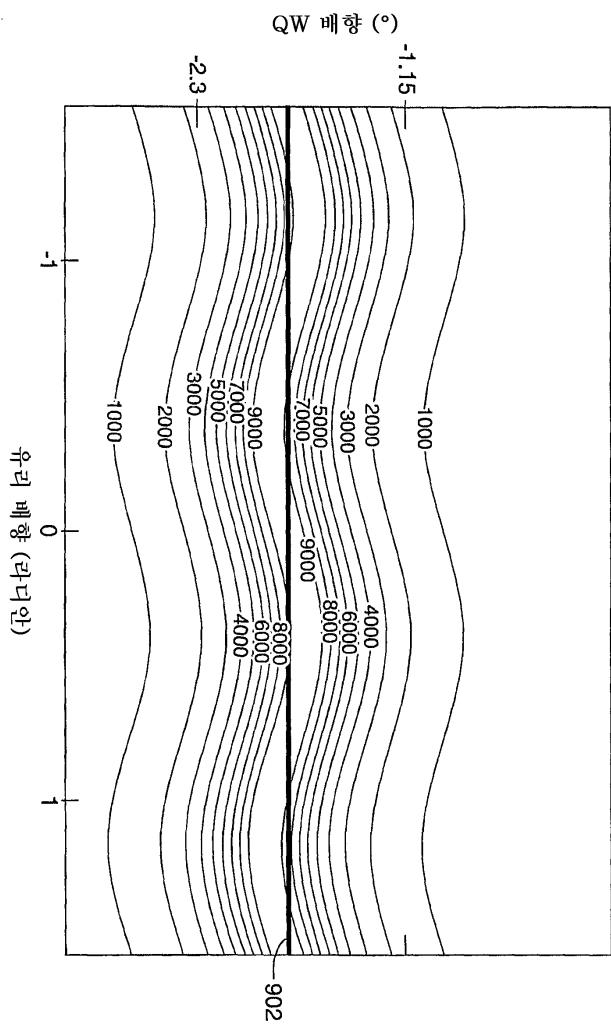
도면7



도면8



도면9



도면10

