



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년09월06일
(11) 등록번호 10-1775746
(24) 등록일자 2017년08월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/30 (2006.01) G02B 27/10 (2006.01)
G02B 5/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7033227
(22) 출원일자(국제) 2011년05월10일
심사청구일자 2016년05월10일
(85) 번역문제출일자 2012년12월20일
(65) 공개번호 10-2013-0090786
(43) 공개일자 2013년08월14일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/035967
(87) 국제공개번호 WO 2011/146288
국제공개일자 2011년11월24일
(30) 우선권주장
61/347,072 2010년05월21일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP09506837 A*
JP2002521730 A*
W02009123928 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠 센터
(72) 발명자
웨버 마이클 에프
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오
피스 박스 33427 쓰리엠 센터
스토버 칼 에이
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오
피스 박스 33427 쓰리엠 센터
(74) 대리인
양영준, 김영

전체 청구항 수 : 총 5 항

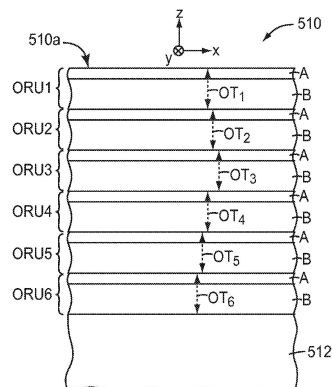
심사관 : 장혜정

(54) 발명의 명칭 색상이 감소된 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름

(57) 요약

다층 광학 필름 바디는 제1 및 제2 미세층 패킷을 포함한다. 각각의 패킷은, 가시 영역과 같은 연장된 파장 범위에 걸쳐 필름 바디의 제1 주 축을 따라 편광된 수직으로 입사되는 광에 대해 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사한다. 제1 및 제2 패킷은, 조합하여, 수직으로 입사된 광에 대해 중간의 반사 및 투과(예를 들어, 평균적으로 5-95%의 내부 투과율)를 가지고, 경사진 광에 대해 유사한 중간의 반사/투과(예를 들어, 평균적으로 10-90%의 내부 투과율)를 가진다. 패킷들은 광이 패킷들을 순차적으로 통과할 수 있도록 라미네이팅되거나 달리 연결된다. 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역에서, 패킷들의 조합의 고 주파 스펙트럼 변동성은 제1 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동성보다 작고, 또한 제2 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동성보다도 작을 수 있다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

제1 주 평면내(in-plane) 축을 갖는 부분 반사 다층 광학 필름 바디로서,

제1 미세층 패킷; 및

적어도 일부 광이 제1 및 제2 미세층 패킷을 순차적으로 통과할 수 있도록 제1 미세층 패킷에 연결된 제2 미세층 패킷

을 포함하고,

제1 및 제2 미세층 패킷은 각각, 400nm 내지 700nm의 연장된 파장 범위에 걸쳐, 제1 주 평면내 축을 따라 선형적으로 편광된 수직으로 입사된 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성되고;

제1 및 제2 미세층 패킷은, 조합하여, 상기 연장된 파장 범위에 걸쳐 평균될 때 수직으로 입사된 광에 대해 0.05 (5%) 내지 0.95 (95%) 범위 내에 있는 제1 조합 내부 투과율을 갖고;

제1 및 제2 미세층 패킷은, 조합하여, (a) 제1 주 평면내 축을 포함하는 제1 주 평면에 60도로 입사되며 (b) 제1 주 평면에서 선형적으로 편광된, 경사진 광에 대해 제2 조합 내부 투과율을 갖고, 제2 조합 내부 투과율은 상기 연장된 파장 범위에 걸쳐 평균될 때 0.1 (10%) 내지 0.9 (90%) 범위 내에 있고,

다층 광학 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역에서, 제1 및 제2 미세층 패킷의 조합의 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_{comb})은 제1 미세층 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_1)보다 작고,

상기 제1 미세층 패킷의 반사 또는 투과 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들은 상기 제2 미세층 패킷의 반사 또는 투과 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들 각각과 오정렬되는, 부분 반사 다층 광학 필름 바디.

청구항 2

제1항에 있어서, 필름 바디는 반사형 편광기이고, 제1 주 평면내 축은 반사형 편광기의 통과축인, 부분 반사 다층 광학 필름 바디.

청구항 3

제1항에 있어서, 필름 바디는 제1 주 평면내 축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해, 제1 주 평면내 축에 직각인 제2 평면내 축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해서와 동일한 반사율을 갖는 부분 반사기인, 부분 반사 다층 광학 필름 바디.

청구항 4

제1항에 있어서, 다층 광학 필름 바디의 적어도 제2 테스트 영역에서, 제1 및 제2 미세층 패킷의 조합의 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_{comb2})이 제1 미세층 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_3) 및 제2 미세층 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_4) 중 적어도 하나보다 큰, 부분 반사 다층 광학 필름 바디.

청구항 5

부분 반사 다층 광학 필름 바디를 제조하는 방법으로서,

제1 및 제2 미세층 패킷을 제공하는 단계 - 각각의 패킷은 필름 바디의 제1 주 평면내 축을 따라 선형적으로 편광된 수직으로 입사된 광을 400nm 내지 700nm의 연장된 파장 범위에 걸쳐 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성됨 - ; 및

다층 광학 필름 바디를 형성하기 위해 제1 미세층 패킷을 제2 미세층 패킷에 연결하는 단계 - 적어도 일부 광이 제1 및 제2 미세층 패킷을 순차적으로 통과할 수 있음 -

를 포함하고;

연결하는 단계는,

제1 및 제2 미세층 패킷이, 조합하여, 상기 연장된 파장 범위에 걸쳐 평균될 때 수직으로 입사된 광에 대해 0.05 (5%) 내지 0.95 (95%)의 범위 내에 있는 제1 조합 내부 투과율을 갖고;

제1 및 제2 미세층 패킷이, 조합하여, (a) 제1 주 평면내 축을 포함하는 제1 주 평면에 60도로 입사되며 (b) 제1 주 평면에서 선형적으로 편광된, 경사진 광에 대해 제2 조합 내부 투과율을 갖고, 제2 조합 내부 투과율은 상기 연장된 파장 범위에 걸쳐 평균될 때 0.1 (10%) 내지 0.9 (90%) 범위 내에 있고,

다층 광학 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역에서, 제1 및 제2 미세층 패킷의 조합의 고 주파 스펙트럼 변동 (Δcomb)이 제1 미세층 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta 1$)보다 작도록 수행되고,

상기 제1 미세층 패킷의 반사 또는 투과 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들은 상기 제2 미세층 패킷의 반사 또는 투과 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들 각각과 오정렬되는, 부분 반사 다층 광학 필름 바디를 제조하는 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

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

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 광학 필름에 관한 것으로, 그것의 반사 및 투과 특성이 필름 내의 미세층(microlayer)들 사이의 계면(interface)들로부터 반사된 광의 보강 간섭 및 상쇄 간섭(constructive and destructive interference)에 의해 주로 결정되는 광학 필름에 관한 것이며, 특정 응용으로는 주어진 입사 조건에서 연장된 파장(extended wavelength) 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 반사하고 부분적으로 투과시키는 그러한 필름에 관한 것이다. 본 발명은 또한 관련 물품, 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다층 광학 필름이 알려져 있다. 그러한 필름은 통상적으로 상이한 광 투과성 재료로 된 다수의 매우 얇은 층들을 포함하며, 이 층들은 광학 필름의 반사 및 투과 특성이 층 계면들로부터 반사된 광의 보강 간섭 및 상쇄 간섭에 의해 주로 결정되도록 충분히 얇기 때문에 미세층이라 지칭된다. 개별 미세층들에 의해 보여지는 (복굴절이 있는 경우) 복굴절의 양, 및 인접 미세층들에 대한 상대적인 굴절률(refractive index) 차에 따라, 그리고 또한 다른 설계 특성들에 따라, 다층 광학 필름은 예를 들어, 몇몇 경우들에서는 반사형 편광기(relective polarizer)로서, 그리고 다른 경우들에서는 미러(mirror)로서 특징지어질 수 있는 반사 및 투과 특성을 갖도록 제조될 수 있다.

[0003] 주 방향에 직교하는 방향(통과 축으로 칭해짐)을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 낮은 반사율과 높은 투과율을 유지하면서 하나의 주 방향(principal direction)(차단 축으로 칭해짐)을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 높은 반사율을 보장하도록 충분한 개수의 층들을 가지고, 그 평면내(in-plane) 굴절률이 평면내

(in-plane) 차단축(block axis)을 따라 인접한 미세층들 사이에 실질적인 굴절을 부정합을 제공하고 평면내 통과축(pass axis)을 따라 인접한 미세층들 사이에 실질적인 굴절을 정합을 제공하도록 선택된 복수의 미세층들로 구성된 반사형 편광기가 한동안 알려져 왔다. 예를 들어, 미국 특허 제3,610,729호(로저스(Rogers)), 제 4,446,305호(로저스(Rogers) 등) 및 제5,486,949호(슈렌크(Schrenk) 등)를 참조한다.

[0004] 더욱 최근에, 쓰리엠 컴퍼니(3M Company)의 연구원은 필름에 수직인 방향, 즉, z-축을 따르는 그러한 필름의 층-대-층 굴절률 특성의 중요성을 지적하고, 어떻게 이 특성이 경사진 입사각에서의 필름의 반사율 및 투과율에 중요한 역할을 하는지를 보여주었다. 예를 들어, 미국 특허 제5,882,774호(존자(Jonza) 등)를 참조한다. 존자 등은 특히, 인접한 미세층들 사이의 굴절률의 z-축 부정합, 더 간단히 말해 z-굴절을 부정합 또는 Δn_z 가, 브루스터 각(Brewster angle)(계면에서 p-편광의 반사도가 0이 되는 각도)이 매우 크거나 존재하지 않는 다층 스택의 구성이 가능하도록 조정될 수 있는 방법을 교시한다. 이것은 또한 p-편광된 광에 대한 계면 반사율이 입사각이 증가함에 따라 천천히 감소하거나, 입사각과 독립적이거나, 입사각이 법선 방향으로부터 멀어짐에 따라 증가하는 다층 미러 및 편광기의 구성을 허용한다. 그 결과, 넓은 대역폭에 걸쳐 미러의 경우 임의의 입사 방향에 대해 그리고 편광기의 경우 선택된 방향에 대해 s-편광된 광과 p-편광된 광 둘 모두에 대해 높은 반사율을 갖는 다층 필름이 달성될 수 있다.

[0005] 몇몇 다층 광학 필름은 좁은 대역 동작, 즉 좁은 파장 범위에 걸친 동작을 위해 설계되는 반면, 다른 다층 광학 필름은 실질적으로 전체의 가시(visible) 또는 명소시(photopic) 스펙트럼과 같은 넓은 파장 범위, 또는 예를 들어, 근적외선 파장과 함께 가시 또는 명소시 파장 범위에 걸친 사용을 위해 설계된다. 수년에 걸쳐, 후자 타입의 필름, 즉, 광대역 다층 광학 필름의 설계자들 및 제조자들은 색상 문제를 처리해야만 했다. 색상 문제는 필름이 가시 디스플레이 시스템에서 사용되도록 의도된 때, 예를 들어, 필름이 광대역 반사형 편광기 또는 광대역 미러이고, 그리고 디스플레이 시스템이 액정 디스플레이, 조명기구, 또는 백라이트인 경우에 종종 발생한다. 그러한 시스템에서, 수직 입사에서든지 또는 경사진 입사광에 대해서든지 간에, 필름이 디스플레이에 상당한 착색된(백색이 아닌) 외관을 부여하는 것은 통상적으로 바람직하지 않다. 착색된 외관은 필름이 스펙트럼의 가시 부분에 걸쳐 균일하지 않은 투과 또는 반사 특성을 가질 때 발생한다. 공압출된 중합체 다층 광학 필름의 경우, 그러한 불균일은 통상적으로 타겟 프로파일에 대한 필름의 층 두께 프로파일의 불완전한 제어의 결과이다. 색상 문제를 방지하기 위하여, 중합체 다층 광학 필름은 종종 그 주축을 따라 (예를 들어, 반사형 편광기의 통과축에 대해) 극도로 낮은 반사율 및 높은 투과율을 제공하거나 또는 (예를 들어, 반사형 편광기의 차단축에 대해, 또는 반사형 미러 필름의 임의의 평면내 축에 대해) 극도로 높은 반사율 및 낮은 투과율을 제공하도록 설계된다. 반사율을 극도로 낮은 또는 극도로 높은 값으로 (그리고 투과율을 각각 극도로 높은 값 또는 극도로 낮은 값으로) 만드는 것은 결과적으로 저-색상(low-color) 광대역 필름이 되게 하는데, 그 이유는 명목 반사율이 0(0%) 또는 1(100%)에 가깝고 명목 투과율이 각각 1 또는 0에 가까울 때, 층 두께 프로파일에서의 주어진 변동에 대해 반사 또는 투과의 스펙트럼 불균일의 크기가 더 작기 때문이다.

[0006] 최근, 입사광의 일부 상당량이 반사되고, 그리고 입사광의 다른 상당량(통상적으로, 입사광의 나머지는 반사되지 않음)이 투과되도록 적어도 하나의 주 광학 축에 평행하게 편광된 광에 대해 중간 양의 반사율 및 투과율을 가지는 광대역 중합체 다층 광학 필름이 제안되었다. 그러한 필름은 본 명세서에서 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름, 또는 부분적으로 투과하는 다층 광학 필름으로 지칭된다. 그러한 필름에서 색상 문제를 해소하기 위한 한 가지 접근법은, 필름에 신중하게 조정된 층 두께 프로파일을 갖는 단일 미세층 패킷만을 제공하고 그리고 어떠한 층 다중화기(layer multiplier) 디바이스도 사용하지 않고 필름을 제조하여, 층 두께 프로파일에 대한 최대의 제어 및 가시 파장 범위에 걸쳐 투과 또는 반사에 있어서 대응하는 최소 스펙트럼 변동을 제공하는 것이다. 예를 들어, PCT 공보 WO 2009/0123928(더크(Derks) 등)의 "Low Layer Count Reflective Polarizer With Optimized Gain"를 참조한다.

발명의 내용

[0007] 따라서, 위에서 이미 언급한 바와 같이, (1) 주축을 따라 부분적으로 반사하도록 되어있으며 (2) 광대역인 것으로 의도된(즉, 넓은 파장 범위에 걸쳐 부분 반사율을 제공하도록 된) 중합체 다층 광학 필름의 설계자들 및 제조자들이 직면한 한가지 도전과제는, 불완전한 층 두께 제어로부터 기인된 의도치 않은 그리고 원치 않은 지각색(perceived color)이다. 그러한 원치 않은 색상은 통상적으로 광학 투과 및 반사 스펙트럼에서 비교적 고 주파의 변동으로서 나타나며, 이 고 주파 변동은 미세층들의 두께에 있어서 이들의 이상적인 값들 또는 타겟 값들으로부터의 편차(더 정확히 말하자면, 미세층들의 광학 반복 단위들의 광학 두께에서의 편차)와 직접적으로 관련된다. 부분적으로 반사하는 광대역 다층 광학 필름의 제조자들 및 설계자들이 직면하고 있는 이 도전과제는

본 명세서의 상세한 설명 부분에서, 도 1 내지 3 을 참조로 아래에서 더 설명된다.

[0008] 본 명세서에서 특히 관심 대상으로 하는 다층 광학 필름은, 수직으로 입사된 광 및 경사지게 입사된 광 둘 모두에 대해, 적어도 하나의 주 평면내 축을 따라, 관심 대상의 넓은 파장 범위에 걸쳐 부분적으로 반사성이고 부분적으로 투과성인 필름이다. 그러한 필름은 규정된 광 입사 조건에 대해 필름 또는 그 구성요소들 중 하나 이상의 "내부 투과(internal transmission)"에 의해 특징지어질 수 있다. 필름의 "내부 투과"는 필름/구성요소의 최전면 표면 및 최후면 표면(이 표면들은 공기와 접촉하거나 접촉하지 않을 수 있음)의 임의의 영향이 측정에 포함되지 않을 때 필름의 투과를 지칭한다. 따라서, 필름의 내부 투과는 필름/구성요소의 2개의 외측 표면들이 아닌, 필름/구성요소의 내부 부분들만으로부터 기인된 투과를 지칭한다. 내부 투과와 완전히 유사한 것이 "내부 반사"이다. 따라서, 필름의 내부 반사는 필름/구성요소의 2개의 최외측 표면들이 아닌, 필름/구성요소의 내부 부분들만으로부터 기인된 반사를 지칭한다. 다층 광학 필름 또는 다른 광학 바디(optical body)를 그 내부 투과 및/또는 내부 반사에 관하여 특징짓는 것은 많은 상황에서 이롭고 유익할 수 있다. 명료성을 위하여, "반사" 및 "투과"와 같은 용어(및 반사율(reflectivity) 및 투과율(transmissivity)과 같은 관련된 용어)가 본 명세서에서 다층 광학 필름 또는 그것의 다른 광학 바디 또는 부분과 관련하여 사용될 때, 이들이 내용에 따라, (브루스터 각에서 입사된 p-편광된 광을 제외하고) 대개 2개의 최외측 표면들의 영향을 포함하는 바디의 보통의 반사 및 투과, 또는 바디의 내부 반사 및 투과, 또는 이 둘 모두를 지칭할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 최외측 표면들의 영향이 특별히 배제되는 것으로 의도된 때에는, 본 명세서 전반에 걸쳐 수식어 "내부"가 사용된다.

[0009] 본 명세서에서는, 다른 무엇보다도, 관심 대상인 넓은 파장 범위에 걸쳐 그리고 필름 바디의 적어도 일부 영역들에서 그 각각의 고 주파 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 서로를 상쇄시키는 경향이 있는 2개의 분리된 다층 광학 필름 또는 미세층 패킷을, 예를 들어 라미네이션에 의해 조합하여, 결과적으로 색상이 감소된 부분적으로 투과하는 다층 광학 필름 바디를 개시한다. 실제로, 다층 광학 필름 및 미세층 패킷은 필름 또는 패킷 상의 일 영역 또는 장소로부터 다음 영역 또는 장소로 가면서 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 파장에 있어서 약간 이동하는 그러한 공간적 불균일을 보일 수 있다. 그러한 공간적 불균일이, 상이한 필름 또는 패킷의 각각의 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 서로를 상쇄시키는 경향이 없는 구조의 또 다른 영역을 생성할 때조차도, 그러한 비-최적(non-optimal) 영역들의 색상이 통상적으로 전체 구조가 평균적으로 여전히 감소된 색상을 가질 수 있도록 하는 적당량만큼만 증가한다는 것이 발견되었으며, 여기서 평균은 필름 구조의 유용한 영역에 걸친 공간적 평균을 포함할 수 있다.

[0010] 따라서, 예를 들어, 필름 바디의 적어도 일부 영역들 또는 부분들에서, 그리고/또는 필름 바디 상의 모든 지점들에 걸쳐 공간적 평균을 고려할 때, 관심 대상인 파장 범위에 걸쳐 이전의 설계들에 비해 더 평평하거나 더 매끄러운 투과 스펙트럼을 갖는 부분적으로 반사하는 공압출된 다층 광학 필름 바디가 제조될 수 있다. 필름 바디는 두께 또는 형상에 있어서 서로에 대해 약간 조정된 2개 이상의 다층 패킷 및 2개 이상의 대응하는 연속적인 층 프로파일로 제조될 수 있으며, 여기서 각각의 패킷에 대한 반사 대역은 관심 대상인 전체 파장 범위에 실질적으로 걸친다. 이는 그 반사 대역이 관심 대상 파장 범위에 걸치는 단 하나의 다층 패킷 및 단 하나의 대응하는 연속적인 층 프로파일을 사용하는 필름 바디와는 상이하다. 그러한 단일 패킷 필름 바디는 2개 이상의 다층 패킷으로 제조된 설명된 필름 바디보다 더 효과적인 것으로 고려될 수 있는데, 그 이유는 단일 패킷 필름 바디가 관심 대상 파장에 걸쳐 규정된 양의 반사율을 갖는 반사 대역을 생성하기 위해 더 적은 층 개수의 미세층들을 사용할 수 있기 때문이다. 예를 들어, PCT 공보 WO 2009/0123928호(더크(Dertks) 등)를 참조한다. 그러나 개시된 다중-패킷 설계들이 일반적으로 광학적인 관점에서 단일 패킷 설계들보다 덜 효율적임에도 불구하고, 필름 바디의 전체 사용가능한 영역을 고려할 때 이들이 파장 범위에 걸쳐 더 나은 전체 스펙트럼 균일성을 제공할 수 있음이 발견되었다.

[0011] 따라서, 본 명세서에서는 다른 무엇보다도, 제1 및 제2 미세층 패킷을 포함하는 다층 광학 필름 바디를 개시한다. 일부 경우에, 필름 바디는 제1 및 제2 패킷 외의 미세층 패킷을 포함하지 않을 수 있으며, 반면 다른 경우에는 필름 바디가 하나 이상의 다른 미세층 패킷을 포함할 수 있다. 제1 미세층 패킷은 필름 바디의 제1 주 축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 가시 영역(visible region)과 같은 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있고, 제2 미세층 패킷은 또한 동일한 수직으로 입사된 선형적으로 편광된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있다. 제1 및 제2 패킷은, 조합하여, 수직으로 입사된 광에 대해 상당량의 반사 및 투과(예를 들어, 연장된 파장 범위에 걸쳐 5 내지 95% 범위의 평균된 내부 투과율)를 가질 수 있으며, 경사진 광(예를 들어, 제1 주 축을 포함하는 평면 내에서 60도 각도로 대기로부터 입사된 p-편광된 광)에 대해 유사한 부분 반사 및 투과를 가

질 수 있다. 제1 및 제2 패킷은, 조합하여, 연장된 파장 범위에 걸쳐 평균될 때 60도 p-편광된 광에 대해 0.1 (10%) 내지 0.9 (90%), 또는 0.2 내지 0.8, 또는 0.3 내지 0.7 범위의 내부 투과율을 가질 수 있다. 일부 경우에, 예를 들어, 만약 미세층들이 입사각이 증가함에 따라 p-편광된 광을 더 강하게 반사한다면, 60도 경사진 p-편광된 광에 대한 내부 투과율은 수직으로 입사된 광에 대한 내부 투과율보다 작을 수 있다. 다른 경우에, 예를 들어, 만약 미세층들이 입사각이 증가함에 따라 p-편광된 광을 더 약하게 반사한다면, 60도 경사진 p-편광된 광에 대한 내부 투과율은 수직으로 입사된 광에 대한 내부 투과율보다 클 수 있다. 또 다른 경우에, 60도 경사진 p-편광된 광에 대한 내부 투과율이 수직으로 입사된 광에 대한 내부 투과율과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0012] 제1 및 제2 미세층 패킷은 적어도 일부 광이 제1 및 제2 미세층 패킷을 순차적으로 통과할 수 있도록 연결될 수 있다. 다층 광학 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역에서, 제1 및 제2 패킷의 조합의 고 주파 스펙트럼 변동 (Δcomb)은 제1 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta 1$)보다 작을 수 있고, 그리고 또한 제2 패킷 그 자체의 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta 2$)보다 작을 수 있다. 일부 경우에, 특히 필름 바디가 제1 및 제2 패킷 외의 미세층 패킷을 포함하지 않을 때, Δcomb 는 동일한 연장된 파장 범위에 걸쳐 다층 광학 필름 바디의 고 주파 스펙트럼 변동(ΔFB)과 동일할 수 있다.

[0013] 제1 미세층 패킷은 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제1 투과 스펙트럼은 제1 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta 1$)을 갖는다. 제2 미세층 패킷은 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제2 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제2 스펙트럼은 제2 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta 2$)을 갖는다. 제1 투과 스펙트럼과 제2 투과 스펙트럼 사이의 차는 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 차동 투과 스펙트럼을 생성할 수 있고, 제1 차동 투과 스펙트럼은 제1 차동 고 주파 스펙트럼 변동(Δdiff)을 갖는다. 제1 및 제2 투과 스펙트럼의 조합은 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 조합 투과 스펙트럼을 생성할 수 있고, 제1 조합 투과 스펙트럼은 고 주파 스펙트럼 변동(Δcomb)을 갖는다. 다층 광학 필름 바디는 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 필름 바디 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제1 필름 바디 투과 스펙트럼은 제1 필름 바디 고 주파 스펙트럼 변동(ΔFB)을 갖는다.(다층 광학 필름 바디가, 적어도 한개 이상의 광학적으로 두꺼운 광 투과성 층들을 갖고, 본질적으로 제1 및 제2 미세층 패킷으로 구성되는 경우, 제1 조합 투과 스펙트럼이 제1 필름 바디 투과 스펙트럼과 실질적으로 동일할 수 있고, 그리고 Δcomb 가 ΔFB 와 실질적으로 동일할 수 있다.) 필름 바디는 바람직하게는 Δdiff 가 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 중 적어도 하나보다 크게되는 그러한 방식으로 구성된다. 게다가, Δdiff 는 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 각각보다 클 수 있고, Δcomb 및/또는 ΔFB 가 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 중 적어도 하나보다 작을 수 있고; 그리고 Δcomb 및/또는 ΔFB 가 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 각각보다 작을 수 있다.

[0014] 제1 투과 스펙트럼, 제2 투과 스펙트럼, 제1 차동 투과 스펙트럼, 제1 조합 투과 스펙트럼, 및 제1 필름 바디 스펙트럼은 내부 투과 스펙트럼일 수 있거나, 또는 이들이 보통의 (외부) 투과 스펙트럼일 수 있다. 이들 투과 스펙트럼은 각각 5nm 미만의 측정 해상도를 가질 수 있으며, 이는 대부분의 분광 광도계(spectrophotometer)의 성능에 잘 맞는 것이다. 제1 테스트 영역은, 제1 테스트 영역의 임의의 두 부분들 사이에서, 필름 바디의 임의의 주어진 스펙트럼 피쳐(spectral feature)가 파장에 있어서 규정된 양, 예를 들어 약 5nm 미만으로 이동하도록 선택될 수 있다. 많은 다층 광학 필름 바디 및 대부분의 분광 광도계에 대해, 이 테스트 영역은 약 1 mm² 내지 1 cm² 범위이다. 관심 대상인 연장된 파장 범위는 400nm 내지 700nm의 적어도 다수, 예를 들어, 420 내지 680nm, 또는 420nm부터 680nm보다 큰 파장 범위까지, 예컨대, 420 내지 1000nm 범위를 포함할 수 있다.

[0015] 임의의 주어진 고 주파 스펙트럼 변동은 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 적절한 투과 스펙트럼과 투과 스펙트럼에 대한 최적합 곡선 사이의 차에 기초한 변동일 수 있고, 최적합 곡선은 예를 들어, $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이며, 여기서 λ 는 광학 파장이다. 고 주파 스펙트럼 변동은 투과 스펙트럼과 대응하는 최적합 곡선 사이의 차의 표준 편차일 수 있다. 따라서, $\Delta 1$ 은 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 제1 투과 스펙트럼과 제1 투과 스펙트럼에 대한 제1 최적합 곡선 사이의 차에 기초할 수 있고, 제1 최적합 곡선은 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이다. 파라미터($\Delta 2$)는 마찬가지로 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 제2 투과 스펙트럼과 제2 투과 스펙트럼에 대한 제2 최적합 곡선 사이의 차에 기초할 수 있고, 제2 최적합 곡선은 또한 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이다. 파라미터(Δdiff)는 또한 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 제1 차동 투과 스펙트럼과 제1 차동 투과 스펙트럼에 대한 제1 차동 최적합 곡선 사이의 차에 기초할 수 있고, 제1 차동 최적합 곡선은 또한 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이다. 제1 패킷과 제2 패킷은 조합하여 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐

제1 조합 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제1 조합 투과 스펙트럼은 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_{comb})을 가지며, 여기서 Δ_{comb} 는 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 제1 조합 투과 스펙트럼과 제1 조합 투과 스펙트럼에 대한 제1 조합 최적합 곡선 사이의 차에 기초할 수 있고, 제1 조합 최적합 곡선은 또한 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이다.

[0016] 제1 및 제2 패킷은 구성에 있어 서로 동일하거나 유사할 수 있고, 개별적으로 고려될 때 동일하거나 유사한 투과 및 반사 특성을 가질 수 있다. 예를 들어, 제1 투과 스펙트럼은 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 제1 평균 값을 가질 수 있고, 제2 투과 스펙트럼은 동일한 파장 범위에 걸쳐 제2 평균 값을 가질 수 있고, 그리고 제1 평균 값은 제2 평균 값과 예를 들어, 0.2 미만 또는 0.1 미만 만큼 차이날 수 있다. 제1 평균 값은 제2 평균 값과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0017] 제1 패킷은 제2 패킷과 실질적으로 동일한 수의 미세층들을 가질 수 있다. 제1 및 제2 미세층 패킷은 각각 광학 반복 단위들의 명목적으로 단조적인 층 두께 프로파일들로 특징지어질 수 있다.

[0018] 제1 테스트 영역과는 상이한 다층 광학 필름 바디의 제2 테스트 영역에서, 제1 패킷은 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제3 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제3 투과 스펙트럼은 제3 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_3)을 가지며, 제2 미세층 패킷은 주어진 입사 조건에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제4 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제4 투과 스펙트럼은 제4 고 주파 스펙트럼 변동(Δ_4)을 가진다. 제3 투과 스펙트럼과 제4 투과 스펙트럼 사이의 차는 연장된 파장 범위에 걸쳐 제2 차동 스펙트럼을 생성할 수 있고, 제2 차동 스펙트럼은 제2 차동 고 주파 변동 $\Delta_{\text{diff}2}$ 를 갖는다. 제2 테스트 영역에서, 제1 및 제2 패킷의 조합은 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제2 조합 투과 스펙트럼을 보일 수 있고, 제2 조합 투과 스펙트럼은 제2 조합 고 주파 스펙트럼 변동($\Delta_{\text{comb}2}$)을 가진다. $\Delta_{\text{diff}2}$ 는 일부 경우에 Δ_3 및 Δ_4 중 적어도 하나보다 작을 수 있다. 게다가, $\Delta_{\text{diff}2}$ 는 Δ_3 및 Δ_4 각각보다 작을 수 있고, 그리고 $\Delta_{\text{comb}2}$ 는 Δ_3 및 Δ_4 중 적어도 하나보다 클 수 있다.

[0019] 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 바디를 제조하는 방법이 또한 개시되며, 그러한 방법은, 제1 미세층 패킷을 제공하는 단계, 제2 미세층 패킷을 제공하는 단계, 및 적어도 일부 광이 제1 및 제2 패킷을 순차적으로 통과할 수 있도록 다층 광학 필름 바디를 형성하기 위하여 제1 및 제2 패킷을 연결하는 단계를 포함한다. 제1 패킷은 제1 주 평면내 축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있고, 제2 패킷 또한 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있다. 연결은, 적어도 제1 테스트 영역 내에서, 제1 패킷이 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 투과 스펙트럼 - 제1 투과 스펙트럼은 제1 고 주파 변동(Δ_1)을 가짐 - 을 보이고, 제2 패킷이 수직으로 입사된 광에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제2 투과 스펙트럼 - 제2 투과 스펙트럼은 제2 고 주파 변동(Δ_2)을 가짐 - 을 보이도록 행해질 수 있다. 제1 패킷과 제2 패킷의 조합은 주어진 입사 조건에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 제1 조합 투과 스펙트럼을 가질 수 있고, 제1 조합 투과 스펙트럼은 제1 조합 고 주파 변동(Δ_{comb})을 가지며, 여기서 Δ_{comb} 는 Δ_1 및 Δ_2 중 적어도 하나보다 작을 수 있고, 바람직하게는 Δ_1 및 Δ_2 각각보다 작다.

[0020] 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 바디를 제조하는 방법이 또한 개시되며, 그러한 방법은 제1 미세층 패킷을 제공하는 단계, 제2 미세층 패킷을 제공하는 단계, 그리고 다층 광학 필름 바디를 형성하기 위하여 제1 패킷을 제2 패킷에 연결하는 단계를 포함하고, 여기서 적어도 일부 광이 제1 및 제2 패킷을 순차적으로 통과할 수 있다. 제1 패킷은 주어진 입사 조건에서 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있고, 제2 패킷 또한 주어진 입사 조건에서 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있다. 연결하는 단계는 적어도 다층 광학 필름 바디의 제1 테스트 영역 내에서, 제1 및 제2 패킷의 조합 및/또는 필름 바디의 고 주파 스펙트럼 변동이 제1 미세층 패킷의 고 주파 스펙트럼 변동보다 작도록, 그리고 바람직하게는 또한 제2 미세층 패킷의 고 주파 스펙트럼 변동보다 작도록 수행될 수 있다.

[0021] 제1 및 제2 미세층 패킷을 포함하는 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 바디가 또한 개시된다. 제1 미세층 패킷은 주어진 입사 조건에서 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있고, 제2 미세층 패킷 또한 주어진 입사 조건에 대해 연장된 파장 범위에 걸쳐 광을 부분적으로 투과시키고 부분적으로 반사하도록 구성될 수 있으며, 제1 및 제2 패킷은 적어도 일부 광이 제1 및 제2 미세층 패킷을 순차적으로 통과할 수 있도록 연결된다. 다층 광학 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역 내에서, 제1 및 제2 패킷의 조합 및/또는 필름 바디의 고 주파 스펙트럼 변동이 제1 미세층 패킷의 고 주파 스펙트럼 변동보다 작

을 수 있고, 바람직하게는 제2 미세층 패킷의 고주파 스펙트럼 변동보다 작을 수 있다.

[0022]

관련 방법, 시스템 및 물품이 또한 논의된다.

[0023]

본 출원의 이들 태양 및 다른 태양이 이하의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다. 그러나, 어떠한 경우에도 상기의 개요는 청구된 기술적 요지를 한정하는 것으로 해석되어서는 아니되며, 그 기술적 요지는 절차를 수행하는 동안 보정될 수도 있는 첨부된 청구의 범위에 의해서만 한정된다.

도면의 간단한 설명

[0024]

도 1은 이상적인 단일 패킷의 부분적으로 반사하는 광대역 다층 광학 필름의 개략적인 측면도이다.

도 2는 도 1의 것과 유사한 다층 광학 필름의 개략적인 측면도이나, 여기서는 광학 반복 단위의 광학 두께에서의 원치 않은 변동이 필름에 대한 반사 및 투과 스펙트럼에서의 원치 않은 고 주파 변동을 생성한다.

도 3은 도 2의 것과 유사한 다층 광학 필름의 개략적인 측면도이나, 여기서는 필름 내의 미세층들이 2개의 구분되는 패킷들로 분할된다.

도 4는 다층 광학 필름의 예시적인 광학 반복 단위(ORU)의 개략적인 사시도이다.

도 5는 다층 광학 필름의 일부의 개략적인 사시도이고, 이 도면은 미세층들의 패킷 및 복수의 ORU들을 보여준다.

도 6은 실제 다층 광학 필름의 측정된 두께 프로파일의 일부의 그래프이다.

도 7a는 2개의 가상 미세층 패킷들에 대한 스펙트럼 반사율의 플롯이고, 이 도면은 또한 2개의 미세층 스펙트럼 반사율들 사이의 차 스펙트럼, 및 2개의 가상 패킷들이 가상 2-패킷 다층 광학 필름 바디에 통합될 때의 결과인 조합 스펙트럼을 보여준다.

도 7b 및 7c는 도 7a와 유사한 플롯이나, 여기서는 미세층 패킷들 중 하나의 스펙트럼 반사율이 파장에 있어서 이동된다.

도 8은 예시적인 테스트 영역들을 보여주는 다층 광학 필름 바디의 사시도이다.

도 9a는 2-패킷 다층 광학 필름 바디에 대한, 그리고 그 2개의 구성 미세층 패킷들이 서로 물리적으로 분리된 후 개별적으로 이 2개의 구성 미세층 패킷들에 대한 측정된 스펙트럼 투과율의 그래프이다.

도 9b는 도 9a의 2개의 구성 미세층 패킷들에 대한 측정된 스펙트럼 투과율에 기초하여 계산된 스펙트럼 투과율의 그래프와 함께, 도 9a의 2-패킷 필름 바디의 측정된 스펙트럼 투과율을 보여주는 그래프이다.

도 10은 또 다른 2-패킷 다층 광학 필름의 측정된 스펙트럼 투과율, 및 그 2개의 구성 미세층 패킷들이 물리적으로 서로 분리된 후 이 2개의 구성 미세층 패킷들에 대한 측정된 스펙트럼 투과율을 개별적으로 보여주는 그래프이다.

도 11은 2-패킷 다층 광학 필름 바디를 형성하기 위해 후속적으로 함께 라미네이팅된 2개의 단일-패킷 다층 광학 필름 바디의 측정된 스펙트럼 투과율을 보여주는 그래프이다.

도 12a 내지 도 12d는 2개의 단일-패킷 다층 광학 필름 바디의 측정된 스펙트럼 투과율에 기초한 추가적인 그래프이며, 여기서는 몇몇 서로 다른 2-패킷 다층 광학 필름 바디의 제조를 시뮬레이션하기 위하여 데이터에 대한 일부 조작이 수행되었다.

도면에 있어서, 동일한 도면 부호는 동일한 요소를 지시한다.

[발명의 상세한 설명]

위에서 언급한 바와 같이, (1) 수직 및 경사 각에서 주축을 따라 부분적으로 반사하도록 되어있으며 (2) 광대역인 것으로 의도된(즉, 넓은 파장 범위에 걸쳐 부분 반사율을 제공하도록 된) 중합체 다층 광학 필름의 설계자들 및 제조자들이 직면한 한가지 도전과제는 불완전한 층 두께 제어로부터 기인된 의도치않은 그리고 원치 않은 색상이다. 그러한 원치 않은 색상은 통상적으로 광학 투과 및 반사 스펙트럼에서 비교적 고 주파의 변동으로서 나타나며, 이 고 주파 변동은 미세층들의 두께에 있어서 이들의 이상적인 값들 또는 타겟 값들로부터의 편차(더 정확히 말하자면, 미세층들의 광학 반복 단위들의 광학 두께에서의 편차)와 직접적으로 관련된다. 부분적으로 반사하는 광대역 다층 광학 필름의 제조자들 및 설계자들이 직면한 이 도전과제가 이제 도 1 내지 도 3을 참조

로 설명될 것이다. 이들 도면의 목적상, 단순성을 위해, 다층 광학 필름 바디는 필름 바디의 평면 내에서 공간적 변동을 전혀 갖지 않는 것으로 가정된다. 따라서, 주어진 필름 바디의 스펙트럼의 반사 및 투과 특성은 이들이 측정되는 필름 상의 위치 또는 장소(예를 들어, (x,y) 좌표)와는 무관한 것으로 가정된다.

도 1에서, 다층 광학 필름 바디(110)가 특정 입사 조건을 갖는 광(112)에 의해 조명된다. 예를 들어, 광은 필름 바디의 평면에 대해 수직인(직각인) 방향을 따라 입사될 수 있고, 그리고 광은 편광되지 않을 수 있다. 대안적으로, 광이 상이한 방향을 따라 입사될 수 있고, 그리고 광은 상이한 편광 특성을 가질 수 있는 바, 예를 들어, 특정 방향을 따라 선형적으로 편광되거나, 원형으로 편광되거나, 또는 어떤 다른 방식으로 편광될 수 있다. 입사의 방향 및 편광 상태 둘 모두에 의해 특징지어질 수 있는 특정 입사 조건이 광학 필름 설계자 또는 제조자가 원하는 바대로 특정될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 필름 바디(110)는 직교 $x-y-z$ 좌표계(Cartesian $x-y-z$ coordinate system)로 보여지고, 평평하며 $x-y$ 평면에 평행하게 연장되는 것으로 도시된다. 일반적으로, 필름 바디가 평평할 필요는 없으며, 평평하지 않다면 필름 바디의 어떠한 충분히 작은 부분이 단독으로(in isolation) 평평한 것으로 고려될 수 있다. 바디(110)는 다층 광학 필름을 포함하는 바디이므로 "다층 광학 필름 바디"라 지칭된다. 일부 경우에, 다층 광학 필름이 필름 바디의 유일한 구성요소일 수 있다.(즉, 필름 바디와 다층 광학 필름이 똑같이 동일한 것일 수 있다.) 다른 경우에는, 필름 바디가 다른 구성요소들, 예를 들어, 다층 광학 필름이 라미네이팅되거나, 접착되거나 또는 달리 부착되는 하나 이상의 기판, 층, 코팅, 필름(하나 이상의 추가적인 다층 광학 필름을 포함함), 또는 이와 유사한 것을 포함할 수 있다.

도 1을 계속 참조하면, 필름 바디(110)는 광학 반복 단위(ORU)들로 배열된 단 하나의 연속적인 미세층 스택 또는 패킷을 가지며, 이는 하기에서 더 논의되고 도 1에서는 단지 개략적으로 보여진다. ORU들은 ORU 번호(패킷의 일 측면으로부터 다른 측면으로 가면서 카운팅됨) 대 광학 두께의 플롯(114)이 단조적으로 변화하는 두께 프로파일을 생성하도록 패킷의 일 단부에서 다른 단부로 가면서 변하는 광학 두께(z -방향을 따라 측정된 물리적 두께에 굴절률을 곱한 것)를 가지지만, 다른 요구되는 기능적 형상들이 또한 두께 프로파일을 위해 사용될 수 있다. 플롯(114)의 두께 프로파일은 ORU들의 광학 두께에 있어서 그 타겟 값들로부터의 편차가 없는 이상적인 것으로 간주된다. 게다가, 두께 프로파일, 및 패킷 내의 다양한 미세층들의 광학 특성들, 그리고 미세층들의 층 수(및 ORU들의 층 수)는 플롯(116, 118, 120)에 보여진 파워 스펙트럼으로부터 확인될 수 있는 바와 같이 λ_1 내지 λ_2 의 넓은 파장 범위에 걸쳐 중간 양의 반사율 및 중간 양의 투과율, 예를 들어, 약 0.50 (50%)의 반사율을 제공하도록 선택되는 것으로 가정된다. 플롯(116)은 입사광(112)에 대해 파장의 함수로서 단위 파장 당 파워를 보여주며, 입사광(112)이 이상화된 광대역 방출기로부터 온 것(예를 들어, 백색 광원으로부터의 광)임을 나타낸다. 플롯(118)은 필름 바디(110)에 의해 반사되는 입사광(112)의 부분에 대해 파장의 함수로서 단위 파장 당 파워를 보여준다. 플롯(120)은 필름 바디(110)에 의해 투과되는 입사광(112)의 부분에 대해 파장의 함수로서 단위 파장 당 파워를 보여준다.

필름 바디(110)의 스펙트럼 반사 및 투과 특성은 각각 플롯(118)의 함수를 플롯(116)의 함수로 나눔으로써, 그리고 플롯(120)의 함수를 플롯(116)의 함수로 나눔으로써 쉽게 확인될 수 있다. 도 1에 대한 검토는, 이러한 나눗셈 연산이, 각 파라미터에 대해, 약 0.5(즉, 50%)의 상수 값(및 평균 값)을 가지며 파장의 함수로서 이 값으로부터의 고 주파 편차 또는 변동을 갖지 않는, λ_1 과 λ_2 의 한계값 사이에서 실질적으로 일정한, 이상화된 필름 바디(110)에 대한 반사 및 투과 스펙트럼을 생성할 것이라는 것을 보여준다.

이제 도 2를 참조하여, 필름 바디(110)와 유사한 단일 패킷 다층 광학 필름 바디(210)를 볼 것이나, 여기에서는 필름 바디(210) 내의 ORU들의 광학 두께가 이들의 이상 값들 또는 타겟 값들로부터의 편차를 포함하는 것으로 보여진다. 미세층들 또는 ORU들의 그 타겟 값들로부터의 두께 편차는 신중한 설계 및 필름 제조 공정의 제어를 통해 감소 또는 최소화될 수 있으나, 실제 실시예들에서는, 일부 적지 않은(non-trivial) 두께 편차가 남겨질 것이다.(예를 들어, 하기에서 더 논의되는 것과 같은 도 6의 측정된 두께 경사도를 참조하기로 한다.) 광대역 광(112)은 다시 특정 입사 조건에서 필름 바디에 충돌하고, 그리고 일부 광이 필름 바디에 의해 반사되는 반면, 일부 광은 투과된다.

필름 바디(110)와 유사하게, 필름 바디(210)가 ORU들로 배열된 단일의 연속적인 미세층 스택 또는 패킷을 가지며, 이는 도 2에 단지 개략적으로 도시된다. ORU들은 ORU 번호 대비 광학 두께를 플롯한 플롯(214)에 도시된 것과 같이 패킷의 일 단부에서 다른 단부로 가면서 변하는 광학 두께를 가져, 일반적으로 단조적인 두께 프로파일을 생성한다. 플롯(214)의 두께 프로파일은 플롯(114)(도 1)의 것과 동일한 일반적인 형상을 가지나, 플롯(214)의 두께 프로파일은 비이상적(non-ideal)이고, ORU들의 광학 두께에 있어서 그 타겟 값들로부터 상당한 편차를 가진다. 이러한 편차는 다층 광학 필름의 제조 중에 다양한 인자들로부터 발생될 수 있다. 두께 프로파

일, 및 패킷의 다른 관련 특성들은, 플롯(116, 218, 220)에 표시된 파워 스펙트럼으로부터 확인될 수 있는 바와 같이, λ_1 부터 λ_2 까지의 넓은 파장 범위에 걸쳐 중간 양의 반사율 및 중간 양의 투과율, 예를 들어 약 0.50 (50%)의 반사율을 제공하도록 선택될 수 있는 것으로 가정된다. 유사한 참조 번호가 유사한 요소를 나타내므로, 도 2의 플롯(116)은 입사광(112)이 다시 이상화된 광대역 방출기, 예를 들어, 이상적인 백색 광원으로부터 온 것임을 나타낸다. 플롯(218)은 필름 바디(210)에 의해 반사되는 입사광(112)의 부분에 대해 파장의 함수로서 단위 파장 당 파워를 보여준다. 플롯(220)은 필름 바디(210)에 의해 투과되는 입사광(112)의 부분에 대해 파장의 함수로서 단위 파장 당 파워를 보여준다.

필름 바디(210)의 스펙트럼 반사 및 투과 특성은 플롯(218)의 함수를 플롯(116)의 함수로 나눔으로써, 그리고 플롯(220)의 함수를 플롯(116)의 함수로 나눔으로써 각각 확인될 수 있다. 이러한 나눗셈 연산은 한계값 λ_1 과 λ_2 사이에서, 각 파라미터에 대해, 약 0.5 (즉, 50%)의 평균 값을 가지되, 파장의 함수로서 이 값으로부터의 상당한 고 주파 편차를 갖는, 이상화되지 않은(non-idealized) 필름 바디(210)에 대한 반사 및 투과 스펙트럼을 생성할 것이다. 반사 및 투과 스펙트럼에 있어서의 변동 및 반사되고 투과된 광(218, 220)의 플롯에 있어서의 변동은 플롯(214)에 도시된 ORU들의 두께 프로파일에서의 변동의 직접적인 결과이다.

플롯(218, 220)에 표시된 것과 같은 반사 및 투과 스펙트럼에서의 변동은, 변동의 진폭, 사용되는 광원의 종류, 사용되는 검출기의 종류, 및 다른 광학 구성요소들(예컨대, 확산기 등)이 광학 시스템 내에 존재하는지 여부와 같은 다양한 인자들에 따라 시스템 설계자에게 용인되거나 용인되지 않을 수 있다. 적어도 일부 경우에, 스펙트럼 변동은 용인될 수 없는 양의 지각색을 시스템에 유발할 수 있다.

ORU들의 두께 프로파일에서의 주어진 변동에 대해, 반사 및 투과 스펙트럼에서 감소된 양의 고 주파 스펙트럼 변동을 갖는 다층 광학 필름 바디를 생산하기 위한 기법들이 개발되어 왔다. 이 기법들은 일반적으로 미세층들을 적어도 하나의 광학적으로 두꺼운 층에 의해 분리되는 개별적인 복수의 미세층 패킷들(예를 들어, 제1 및 제2 미세층 패킷)로 배열하는 단계 - 여기서 각각의 미세층 패킷은 의도된 반사기 설계의 전체 대역폭에 걸치는 반사 대역을 가짐 -, 및 스펙트럼 변동을 감소시키게 하는 방식으로 복수의 패킷들을 적절하게 조합하는 단계를 수반한다. 이 기법은 하기에서 더 자세히 설명된다. 그러나, 먼저, 이 기법을 일반화된 방식으로 설명하기 위하여 도 3의 개략도를 참조하기로 한다.

필름 바디(110, 210)와는 달리, 도 3의 필름 바디(310)는 ORU들로 배열된 2개의 구분되는 미세층 스택들 또는 패킷들로 조직화되는 미세층들을 갖는다. 패킷들은 도 3에 패킷들(310a, 310b)로 개략적으로 도시되며 광학적으로 두꺼운 층(310c)에 의해 분리된다. ORU들은 플롯(314)에 도시된 것과 같이 필름 바디의 일 단부로부터 다른 단부로 가면서 변하는 광학 두께를 가진다. 구분되는 미세층 패킷들(310a, 310b)에 대응하여, 2개의 구분되는 단조적인 두께 프로파일을 볼 수 있다. 도시된 바와 같이, ORU 두께 프로파일들 각각은 비-이상적이며, ORU들의 광학 두께에 있어서 그 타겟 값들로부터 상당한 편차를 갖는다. 또한, 상이한 ORU 두께 프로파일들이 그들의 광학 두께 분포에서 실질적으로 서로 중첩되고, 상이한 프로파일들의 최소 ORU 광학 두께가 동일하거나 유사하고, 그리고 상이한 프로파일들의 최대 ORU 광학 두께가 또한 동일하거나 유사하다. 이는 상이한 패킷들(310a, 310b)로 하여금 서로 실질적으로 중첩되는 개별적인 반사 대역을 갖게(예를 들어, 동일하거나 유사한 최소 파장 λ_1 , 및 동일하거나 유사한 최대 파장 λ_2 을 가짐)한다. 일 패킷의 반사 대역은, 예를 들어, 다른 패킷의 반사 대역의 적어도 70%, 80%, 또는 90% 또는 그 이상과 중첩될 수 있다. 2개의 개별 반사 대역들의 조합(그러나, 단순히 수치적 합은 아님)이 필름 바디(310)의 반사 대역을 생성한다.

두께 프로파일, 및 패킷의 다른 관련 특성들은 플롯들(116, 218, 220)에 표시된 파워 스펙트럼으로부터 확인될 수 있는 바와 같이, λ_1 내지 λ_2 의 넓은 파장 범위에 걸쳐, 중간 양의 반사율 및 중간 양의 투과율, 예를 들어 약 0.50(50%)의 반사율 및 투과율을 갖는 필름 바디(310)를 제공하도록 선택되는 것으로 가정된다. 유사한 참조 번호가 유사한 요소들을 표시하므로, 도 2의 플롯(116)은 다시 입사광(112)이 이상화된 광대역 방출기(예를 들어, 이상적인 백색 광원)로부터 온 것임을 나타낸다.

도 3은 패킷들(310a, 310b)이 조합될 수 있는 두 가지 상이한 방식들을 개략적으로 도시한다. 첫 번째 방식에서, 일 패킷의 반사 (또는 투과) 스펙트럼에서의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들은 이들 자신을 다른 패킷의 반사 (또는 투과) 스펙트럼의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들과 각각 정렬시킬 수 있다. 이것이 달성될 수 있는 한 가지 방식은 패킷들(310a, 310b)을, 그 고 주파 스펙트럼 변동 - 즉, 이들의 다양한 피크들 및 밸리들 - 이 파장에 있어서 서로 실질적으로 일치하는 실질적으로 동일한 반사 및 투과 스펙트럼을 갖도록 실질적으로 동일하게 제조하는 것에 의한 것이다. 패킷들(310a, 310b)을 조합하는 이

첫 번째 방식은 필름 바디(310)에 대해 반사되는 광 - 파장의 함수로서의 이 광의 단위 파장 당 파워가 플롯(318a)에 도시됨 - , 및 투과되는 광 - 파장의 함수로서의 이 광의 단위 파장 당 파워가 플롯(320a)에 도시됨 - 을 생성한다. 플롯들(318a, 320a)은 상당한 양의 고 주파 스펙트럼 변동을 갖는 것으로 도시되는데, 그 이유는 필름 바디(310)의 반사 및 투과 스펙트럼이 개별 패킷들(310a, 310b)과 관련된 피크들 및 밸리들의 실질적인 정렬의 결과로서 그러한 고 주파 변동을 포함할 것이기 때문이다.

패킷들(310a, 310b)을 조합하는 두 번째 방식에서, 일 패킷의 반사 (또는 투과) 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 반사 (또는 투과) 스펙트럼 내의 고 주파 스펙트럼 변동으로부터의 피크들 및 밸리들 각각과 실질적으로 오정렬될 수 있다. 이것이 달성될 수 있는 한가지 방식은, 초기에 패킷들(310a, 310b)을, 그 고 주파 스펙트럼 변동이 파장에 있어서 서로 실질적으로 일치하는 실질적으로 동일한 반사 및 투과 스펙트럼을 갖도록 실질적으로 동일하게 제조하되, 일 패킷의 고 주파 스펙트럼 피크들이 다른 패킷의 고 주파 스펙트럼 피크들과 실질적으로 오정렬되고 일 패킷의 고 주파 스펙트럼 밸리들이 다른 패킷의 고 주파 스펙트럼 밸리들과 실질적으로 오정렬되도록 패킷들 중 하나의 반사 및 투과 스펙트럼을 이동시키기 위하여 생산 중에 패킷들 중 하나를 다른 것에 비해 아주 약간 얇게 혹은 두껍게하는 추가적인 단계를 수행하는 것에 의해 달성될 수 있다. 패킷들(310a, 310b)을 조합하는 이 두 번째 방식은, 필름 바디(310)에 대해 반사되는 광 - 파장의 함수로서 그 단위 파장 당 파워가 실질적으로 플롯(318b)에 개략적으로 도시됨 - 및 투과되는 광 - 파장의 함수로서 그 단위 파장 당 파워가 플롯(320b)에 개략적으로 도시됨 - 을 생성한다. 플롯들(318b, 320b)은 실질적으로 감소된 양의 고 주파 스펙트럼 변동을 갖도록 도시되는 바, 그 이유는 필름 바디(310)의 반사 및 투과 스펙트럼이 개별 패킷들(310a, 310b)과 관련된 피크들 및 밸리들의 실질적인 오정렬의 결과로서 그러한 감소된 고 주파 변동을 포함할 것이기 때문이다.

본 발명의 양상들을 개괄적으로 논의하였고, 이들 및 다른 양상들을 더 자세히 논의하기 전에, 미세층, 광학 반복 단위(ORU), 미세층들의 스택, 및 다층 광학 필름 및 필름 바디에 대한 간단한 검토를 위해 도 4 및 5를 참조한다.

도 4는 다층 광학 필름(400)의 2개의 층만을 도시하는 바, 다층 광학 필름은 통상적으로 하나 이상의 연속적인 패킷들 또는 스택들로 배열된 수십 또는 수백개의 이러한 층들을 포함한다. 필름(400)은 개별 미세층들(402, 404)을 포함하며, 여기서 "미세층들"은, 그러한 층들 사이의 복수의 계면들에서 반사되는 광이 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 겪도록 충분히 얇아서 다층 광학 필름에 요구되는 반사 또는 투과 특성을 제공하는 층들을 지칭한다. 미세층들(402, 404)은 함께 다층 스택의 하나의 광학 반복 단위(ORU)를 나타낼 수 있고, ORU는 스택의 두 계면에 걸쳐 반복 패턴으로 반복되는 층들의 최소 세트이다. 교호하는 ORU 설계가 하기에서 더 논의된다. 미세층들은 일부 광이 인접한 미세층들 사이의 계면에서 반사되도록 상이한 굴절률 특성을 가진다. 자외선, 가시광선, 또는 근적외선 파장에서 광을 반사하도록 설계된 광학 필름들에 대해, 각각의 미세층은 전형적으로 약 1 μ m 미만의 광학 두께(즉, 물리적 두께에 굴절률을 곱한 것)를 가진다. 그러나, 필름의 외부 표면에 있는 스킨 층들, 또는 미세층들의 패킷들을 분리하는 필름 내에 배치된 보호 경계 층들과 같은 두꺼운 층들이 또한 포함될 수 있다.

주 x-축, y-축, 및 z-축을 따라 편광된 광에 대한 미세층들(예를 들어, 도 4의 층(402), 또는 아래에서 도 5의 "A"층들) 중 하나의 굴절률들을 각각 n_{1x} , n_{1y} , n_{1z} 로 지칭할 수 있다. 서로 직교하는 x-축, y-축, 및 z-축은, 예를 들어, 재료의 유전율 텐서(dielectric tensor)의 주 방향에 대응할 수 있다. 통상적으로, 그리고 논의 목적상, 상이한 재료의 주방향은 일치하나 일반적으로는 그럴 필요는 없다. 동일한 층들을 따라 인접한 미세층(예를 들어, 도 4의 층(404), 또는 도 5의 "B" 층들)의 굴절률들을 각각 n_{2x} , n_{2y} , n_{2z} 라 지칭한다. 이들 층들 간의 굴절률 차를 x-방향을 따라 $\Delta n_x (= n_{1x} - n_{2x})$, y-방향을 따라 $\Delta n_y (= n_{1y} - n_{2y})$, 및 z-방향을 따라 $\Delta n_z (= n_{1z} - n_{2z})$ 라 지칭한다. 이들 굴절률 차의 특성은 필름 내의(또는 필름의 주어진 스택 내의) 미세층의 수 및 그 두께 분포와 함께 필름의(또는 필름의 주어진 스택의) 반사 및 투과 특성을 제어한다. 예컨대, 인접 미세층들이 일 평면내 방향을 따라 큰 굴절률 부정합(큰 Δn_x)을, 그리고 직교하는 평면내 방향을 따라 작은 굴절률 부정합($\Delta n_y \approx 0$)을 가진다면, 이 필름 또는 패킷은 수직으로 입사된 광에 대해 반사형 편광기로서 거동할 수 있다. 반사형 편광기는, 파장이 패킷의 반사 대역 내에 있으면 "차단축"으로 지칭되는 일 평면내 축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광을 강하게 반사하고, 그리고 "통과축"으로 지칭되는 직교 평면내 축을 따라 편광된 그러한 광을 강하게 투과시키는 광학 바디인 것으로 고려될 수 있다.

필요하다면, z-축을 따라 편광된 광에 대한 인접 미세층들 사이의 굴절률 차(Δn_z)가 또한 경사지게 입사된 광의 p-편광 성분에 대해 요구되는 반사율 특성을 달성하기 위하여 조정될 수 있다. 경사진 입사각에서 p-편광된 광

의 근접 축상 반사율(near on-axis reflectivity)을 유지하기 위하여, 미세층들 사이의 z -굴절률 부정합(Δn_z)이 최대 평면내 굴절률 차(Δn_x)보다 실질적으로 작도록, $\Delta n_z \leq 0.5 * \Delta n_x$ 와 같이 조정될 수 있다. 대안적으로, $\Delta n_z \leq 0.25 * \Delta n_x$ 이다. 0 또는 0에 가까운 크기의 z -굴절률 부정합은 그 p -편광된 광의 반사율이 입사각의 함수로서 일정하거나 거의 일정한 미세층들 사이의 계면들을 생성한다. 게다가, z -굴절률 부정합(Δn_z)은 평면내 굴절률 차(Δn_x)와 비교할 때 반대의 극성 (즉, $\Delta n_z < 0$)을 갖도록 조정될 수 있다. 이러한 조건은 s -편광된 광의 경우에서와 같이, p -편광된 광에 대한 반사율이 입사각의 증가에 따라 증가하는 계면을 생성한다. $\Delta n_z > 0$ 이면, p -편광된 광의 반사율은 입사각에 따라 감소한다. 위의 관계는 또한 물론 Δn_z 와 Δn_y 를 수반하는 관계, 예를 들어, 2개의 주 평면내 축들을 따라 상당한 반사율 및 투과율이 요구되는 경우(예컨대, 벨런싱된 또는 대칭적인 부분적으로 반사하는 미러 필름, 또는 그 통과축이 수직 입사각에서 상당한 반사율을 갖는 부분 편광 필름 등)에도 적용된다.

도 5의 개략적인 측면도에는, 복수의 ORU들을 볼 수 있도록 다층 필름(510)의 더 많은 내부 층들이 도시된다. 이 필름은 로컬 x - y - z 직교 좌표계와 관련하여 보여지는데, 이 좌표계에서 필름은 x -축 및 y -축에 평행하게 연장하고, z -축은 필름과 및 그 구성층들에 수직하고 필름의 두께축과 평행하다.

도 5에서, 미세층들에는 도면부호 "A" 또는 "B"가 병기되며, "A" 층은 한 가지 재료로 구성되고, "B" 층은 상이한 재료로 구성되며, 이들 층들은 교호하는 배열로 적층되어 도시된 바와 같이 광학 반복 단위 또는 단위 셀 ORU 1, ORU 2, ... ORU 6을 형성한다. 통상적으로, 중합 재료로만 구성된 다층 광학 필름은 높은 반사율을 원한다면 6개 초과인 많은 광학 반복 단위를 포함할 것이다. 다층 광학 필름(510)은 상당히 더 두꺼운 층(512)을 갖는 것으로 도시되는 바, 이 층(512)은 외측 스킨층, 또는 도면에 도시된 미세층의 스택을 미세층의 다른 스택 또는 패킷(도시되지 않음)과 분리시키는 보호 경계층("PBL", 미국 특허 제6,783,349호(니빈(Neavin) 등) 참조)을 나타낼 수 있다. 원한다면, 2개 이상의 개별 다층 광학 필름이 예컨대 하나 이상의 두꺼운 접착제층을 이용하여 압력, 열 또는 다른 방법을 이용하여 함께 적층되어 라미네이트 또는 복합 필름을 형성할 수 있다.

어떤 경우에는, 미세층들은 $1/4$ -파 스택($1/4$ -wave stack)에 대응하는 두께 및 굴절률 값을 가질 수 있는데, 즉 동일한 광학 두께(f -비(f -ratio) = 50%, f -비는 구성층 "A"의 광학 두께 대 완전한 광학 반복 단위의 광학 두께의 비임)의 2개의 인접한 미세층을 각각 갖는 ORU로 배열될 수 있으며, 그러한 ORU는 그것의 파장(λ)이 광학 반복 단위의 전체 광학 두께의 2배인 보강 간섭 광에 의해 반사하는 데 효과적이고, 여기서 바디의 "광학 두께"는 그의 물리적 두께에 그의 굴절률을 곱한 것을 지칭한다. 다른 경우에는, 광학 반복 단위에서 미세층의 광학 두께가 서로 다를 수 있으며, 그로써 f -비는 50%보다 크거나 작다. 본 발명의 목적을 위해, 그것의 f -비가 임의의 적합한 값일 수 있는 다층 광학 필름을 고려하며, 그 f -비가 50%인 필름으로 제한하지 않기로 한다. 따라서, 도 5의 실시예에서, "A" 층은 일반화를 위해 "B" 층보다 더 얇은 것으로 도시된다. 각 도시된 광학 반복 단위(ORU 1, ORU 2, 등)는 그 구성 "A" 및 "B" 층의 광학 두께의 합과 같은 광학 두께(OT_1 , OT_2 , 등)를 가지며, 각 광학 반복 단위는 파장 λ 가 그 층 광학 두께의 2배인 광을 반사한다.

예시적인 실시예에서, ORU의 광학 두께는 필름의 z -축 또는 두께 방향에 따른 두께 경사에 따라서 다를 수 있으며, 그에 의해서, 광학 반복 단위의 광학 두께는 증감하거나, 스택의 일면(예컨대, 상면)으로부터 스택의 타면(예컨대, 하면)으로 진행함에 따라 어떤 다른 기능적 관계에 따른다. 그와 같은 필름의 두께 경사는 관심 대상의 연장된 파장 대역에 걸쳐 그리고 또한 관심 대상의 모든 각도에 걸쳐 실질적으로 스펙트럼적으로 평평한 광의 투과 및 반사를 제공하는 넓은 반사 대역을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 대안적으로, 개시된 미세층 패킷의 층 두께 경사가 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 상당히 변화하는 반사 및 투과 스펙트럼을 제공하도록 의도적으로 조정될 수 있다. 예를 들어, 다층 광학 필름 바디가 적색 광보다 청색 광을 더 많이 투과(또는 반사)시키거나 또는 그 반대로 동작하는 것, 또는 청색 광 및 적색 광보다 녹색 광을 더 많이 투과(또는 반사)시키는 것이 바람직할 수 있다. 그러한 요구되는 스펙트럼 불-균일성은 다층 광학 필름 바디로 하여금 착색된(불투명 또는 논-뉴트럴(non-neutral)) 외관을 보이게 할 수 있지만, 요구되는 색상은 스펙트럼 반사 또는 투과에서 상대적으로 느린 변화와 관련되는 반면 원치 않은 색상은 이들 파라미터들에서의 빠른 변화와 관련되는 것이라는 점에서, 이 요구되는 색상은 통상적으로 본 명세서의 다른 부분에서 논의되는 원치 않은 색상과 구분가능하다. 예를 들어, 요구되는 색상과 관련된 반사 또는 투과에서의 스펙트럼 불균일성은 파장의 함수로서 약 100 nm 이상의 특성 주기로 달라질 수 있는 반면, 원치 않은 색상과 관련된 반사 또는 투과에서의 스펙트럼 불균일은 파장의 함수로서 약 50nm 미만의 특성 주기로 달라질 수 있다.

적정한 수의 층들로 높은 반사율을 달성하기 위하여, 인접 미세층들이 x -축을 따라 편광된 광에 대해 예를

들어, 적어도 0.05의 굴절률 차(Δn_x)를 보일 수 있다. 2개의 직교 편광에 대해 높은 반사율이 요구되는 경우, 인접 미세층들이 또한 y-축을 따라 편광된 광에 대해 예를 들어, 적어도 0.05의 굴절률 차(Δn_y)를 보일 수 있다. 일부 경우에, 인접 미세층들은 크기가 비슷한 2개의 주 평면내 축들을 따라 굴절률 부정합(Δn_x 및 Δn_y)을 가질 수 있고, 이 경우 필름 또는 패킷이 축상 미러 또는 부분 미러로서 동작할 수 있다. 대안적으로, 통과 축 편광에 대해 부분적으로 반사하도록 설계된 반사형 편광기들에 대해, 인접 미세층들은 x-축을 따라 편광된 광에 대해 굴절률에 있어서 큰 차(Δn_x)를 보일 것이고 y-축을 따라 편광된 광에 대해 굴절률에 있어서 더 작은, 그러나 여전히 상당한 차(Δn_y)를 보일 것이다. 전술한 실시 양태의 변형으로서, 인접 미세층들은 z-축을 따른 굴절률 정합 또는 부정합($\Delta n_z \approx 0$ 또는 큰 Δn_z)을 보여줄 수 있으며, 이 부정합은 평면내 굴절률 부정합(들)과 동일한 또는 반대의 극성 또는 부호일 수 있다. 그와 같은 Δn_z 조정은 경사 입사광의 p-편광 성분의 반사율이 입사각 증가에 따라 증가되거나, 감소되거나, 또는 그대로 유지되는지에 있어서 주요한 역할을 한다.

본 명세서의 예들은 그 반사율이 입사각에 따라 증가하는 반사기를 기술하지만, 주어진 주 축을 따라 그 반사율이 입사각에 따라 감소하는, 감소된 색상을 갖는 부분 반사기가 본 명세서에 기술된 동일한 기법을 이용하여 제조될 수 있다. 이는 반사율이 수직 입사에서 크고 수직 입사를 포함하는 다양한 각도들에서 투과된 광에서 보여지는 필름들에 대해 특히 중요하다.

일부 실시예들에서, 모두가 등방성인 미세층들이 또한 사용될 수 있지만, 개시된 다층 광학 필름들의 적어도 일 패킷 내의 미세층들 중 적어도 일부는 필요하다면 복굴절성(예를 들어, 1축성 복굴절성 또는 2축성 복굴절성)일 수 있다. 일부 경우에, 각각의 ORU는 하나의 복굴절성 미세층, 및 등방성이거나 다른 미세층에 비해 작은 양의 복굴절성을 갖는 제2 미세층을 포함할 수 있다. 대안적인 경우, 각각의 ORU가 2개의 복굴절성 미세층들을 포함할 수 있다.

예시적인 다층 광학 필름은 중합체 재료로 구성될 수 있으며, 공압출, 주조 및 배향 공정을 이용하여 제조될 수 있다. 미국 특허 제5,882,774호(존자(Jonza) 등) "Optical Film", 미국 특허 제6,179,949호(머릴(Merrill) 등) "Optical Film and Process for Manufacture Thereof", 제6,783,349호(니빈(Neavin) 등) "Apparatus for Making Multilayer Optical Films", 및 2010년 5월 7일자로 출원된 미국특허출원 제61/332,401(대리인 관리번호 제64248US002호) "Feedblock for Manufacturing Multilayer Polymeric Films"를 참조한다. 다층 광학 필름은 임의의 전술한 참고 문헌에 설명된 바와 같이 중합체들의 공압출로 형성시킬 수 있다. 다양한 층들의 중합체가 유사한 유동 특성, 예를 들어, 용융 점도를 가져서 상당한 유동 방해 없이 공압출될 수 있도록 선택된다. 압출 조건은 연속적이고 안정한 방식으로 공급 스트림 또는 용융 스트림으로서 각자의 중합체를 적절히 공급하고, 용융하고, 혼합하고 펌핑하도록 선택된다. 용융 스트림 각각을 형성하고 유지하는데 이용되는 온도는 온도 범위의 하한에서 동결, 결정화 또는 과도한 고압 저하를 피하고, 온도 범위의 상한에서 재료 열화를 피하는 범위 내에 있도록 선택될 수 있다.

요약하면, 이 제조 방법은 (a) 적어도 최종 필름에 이용될 제1 및 제2 중합체에 대응하는 수지의 제1 및 제2 스트림을 제공하는 단계; (b) (i) 제1 및 제2 유동 채널을 포함하는 경사 플레이트(제1 유동 채널은 유동 채널을 따라 제1 위치로부터 제2 위치로 변하는 횡단면적을 갖고 있음), (ii) 제1 유동 채널과 유체 통신하는 제1의 복수의 도관 및 제2 유동 채널과 유체 통신하는 제2의 복수의 도관을 구비한 피더 튜브 플레이트(각 도관은 그 자신의 각각의 슬롯 다이를 공급하며 제1 단부와 제2 단부를 갖고 있고, 도관의 제1 단부는 유동 채널과 유체 통신하고, 도관의 제2 단부는 슬롯 다이와 유체 통신함), 및 (iii) 선택적으로, 상기 도관에 근접 위치한 축 로드 히터를 포함하는 것과 같은 적당한 피드블록을 이용하여 제1 및 제2 스트림을 복수의 층들로 분할하는 단계; (c) 각 층이 인접층들의 주면에 대체로 평행한 다층 웹(web)을 형성하기 위하여 복합 스트림을 압출 다이에 통과시키는 단계; 및 (d) 주조 다층 필름을 형성하기 위하여 다층 웹을 때로는 주조 휠 또는 주조 드럼이라 불리는 칠 롤(chill roll)로 주조하는 단계를 포함할 수 있다. 이 주조 필름은 최종 필름과 층수는 동일할 수 있으나, 주조 필름의 층은 최종 필름의 층보다 통상적으로 훨씬 더 두껍다. 더욱이, 주조 필름의 층들은 통상적으로 모두 등방성이다. 넓은 파장 범위에 걸친 반사율 및 투과율에 있어서 제어된 낮은 주파수 변동을 갖는 다층 광학 필름은 축 방향 로드 히터(미국 특허 제6,783,349호(니빈(Neavin) 등) 참조)의 온도 구역 제어에 의해 달성될 수 있다.

일부 경우에, 제조 장비는 완성된 필름 내의 층들의 수를 다중화하는 하나 이상의 층 다중화기를 사용할 수 있다. 다른 실시예들에서, 필름은 임의의 층 다중화기의 사용없이 제조될 수 있다. 층 다중화기가 많은 수의 광학층의 생성을 매우 간단하게 하지만, 층 다중화기는 각각의 생성된 층 패킷에 각각의 패킷에 대해 동일하지 않은 왜곡을 부여할 수 있다. 이러한 이유로, 피드블록에서 생성된 층들의 층 두께 프로파일의 어떠한 조정도 각

각의 패킷에 대해 동일하지 않은데, 즉, 모든 패킷이 스펙트럼 균열이 없는 균일하고 평탄한 스펙트럼을 생성하기 위해 동시에 최적화될 수 없다. 따라서, 저 투과 및 반사된 색상에 대한 최적의 프로파일은 다중화기를 사용하여 제조된 멀티패킷 필름으로 제조하기가 어려울 수 있다. 피드블록에서 직접 생성된 단일 패킷 내의 층들의 개수가 충분한 반사율을 제공하지 않는 경우, 반사율을 증가시키기 위해 2개 이상의 이러한 필름이 부착될 수 있다. 저 색상 필름에 대해 매끄러운 스펙트럼 반사율 및 투과율을 제공하기 위한 층 두께 제어에 대한 추가의 논의는 PCT 공보 WO 2008/144656 (웨버(Weber) 등)에 제공된다.

주어진 다층 필름 내의 모든 미세층들의 광학 두께가 동일하도록 설계되었다면, 필름은 단지 파장의 협대역에 걸쳐 고 반사율을 제공할 것이다. 대역이 가시 스펙트럼 내의 어딘가에 위치된다면 그러한 필름은 매우 착색된 것으로 나타날 것이고, 색상은 각도의 함수로서 변할 것이다. 디스플레이 및 조명 응용의 맥락에서, 일부 경우에는 시스템 내의 다른 곳의 색상 불균형을 정정하기 위해 적은 양의 색상을 발생시키는 것이 주어진 광학 필름에 대해 이로울 수 있으나, 현저한 색상을 보이는 필름은 일반적으로 회피된다. 예시적인 다층 광학 필름 바디에는, 미세층들 - 또는 더 정확히는, (전체는 아니나) 많은 실시예들에서 인접 미세층들의 쌍에 대응하는 광학 반복 단위(ORU)들-을 광학 두께 범위를 갖도록 조정함으로써, 예를 들어, 전체 가시 스펙트럼에 걸친 광대역 반사 및 투과가 제공된다. 통상적으로, 미세층들은 필름 또는 패킷의 일 측 상의 가장 얇은 ORU로부터 다른 측 상의 가장 두꺼운 ORU까지 필름의 z-축 또는 두께 방향을 따라 배열되고, 가장 얇은 ORU가 반사 대역에서 가장 짧은 파장을 반사하고 가장 두꺼운 ORU가 가장 긴 파장을 반사한다.

다층 웨브가 칠 롤(chill roll)에서 냉각된 후, 다층 웨브는 마무리된 또는 거의 마무리된 다층 광학 필름을 제조하기 위해 인발(draw) 또는 연신(stretch)될 수 있다. 이 인발 또는 연신은 2가지 목표, 즉, 층을 원하는 최종 두께로 박막화하는 것과 층들 중 적어도 일부가 복굴절성을 갖도록 층을 배향시키는 것을 달성한다. 배향 또는 연신은 (예컨대, 텐터(tenter)를 통한) 교차 웨브 방향을 따라, (예컨대, 력스 오리엔터(length orienter)를 통한) 다운 웨브 방향을 따라, 또는 이들의 조합에 따라서 (동시적이든 순차적이든 상관없이) 달성될 수 있다. 한 방향만을 따라 연신된다면, 이 연신은 "비구속적(unconstrained)"(필름이 연신 방향에 수직인 평면내 방향에서 치수 제약이 완화될 수 있는 것)이거나, "구속적"(필름이 구속되어 연신 방향에 수직인 평면내 방향에서 치수 제약이 완화될 수 없는 것)일 수 있다. 모든 평면내 방향을 따라 연신된다면, 연신은 대칭적이거나, 즉, 직교 평면내 방향을 따라 동일하거나, 비대칭적일 수 있다. 대안적으로, 필름은 일관 공정(batch process)으로 연신될 수 있다. 어쨌든, 후속되거나 동시에 실시되는 드로우 리덕션(draw reduction), 응력 또는 변형 평형(stress or strain equilibration), 열 고정(heat setting), 및 다른 처리 작업도 필름에 적용될 수 있다.

도 6은 전술한 공압출 및 연신 공정을 이용하여 275개 미세층들의 단일 패킷을 갖도록 제조된 다층 광학 필름의 측정된 두께 프로파일(610)의 일부의 그래프이다. 미세층들은 교호하는 A, B 중합체 재료로 1/4-파 스택으로 배열되었으며, 따라서 스택 내에 137개의 ORU들을 제공한다. 도면에서 보여지는 층 두께 값들에 대해, 프로파일(610) 내의 점이 각각의 미세층의 (광학적이 아닌) 물리적 두께에 대해 플롯되었고, 미세층들은 패킷의 한쪽 끝으로부터 다른 쪽 끝까지 1부터 250으로 번호화되었다. 결과적인 프로파일(610)은 수직으로 입사된 광에 대해 약 350 내지 750 nm의 넓은 반사 대역을 제공하도록 명목적으로 단조적이지만, 이상적인 매끄러운 곡선에 비해 두께 변동이 쉽게 관찰될 수 있다. 이 두께 변동은 공압출된 다층 광학 필름의 ORU들에서 관찰될 수 있는 타입의 두께 변동을 예시한다. 패킷의 ORU들에서의 이러한 제어되지 않은 통상적으로 랜덤하거나 쿼시-랜덤한 두께 변동은 필름의 투과 스펙트럼 및 반사 스펙트럼에서 원치 않은 고 주파 변동을 발생시킨다.

도 6에 도시된 것과 같은 층 프로파일 중단 또는 변동은 진보된 제조 기법에 의해 없애기 어려울 수 있고, 게다가 필름의 모든 위치들, 지점들, 또는 영역들에서 동일하지 않을 수 있다. 따라서, 적어도 일부 환경들에서, (예를 들어, 긴 연속적인 웨브의 형태로 제조될 수 있는) 필름의 단지 특정 부분들에 대한 두께 변동을 실질적으로 없애는 것은 가능할 수 있으나, 웨브의 다른 부분들은 ORU 두께 프로파일에서 상당한 변동을 보인다. 층 두께 프로파일에서의 중단은, 예를 들어, 가시 스펙트럼에 걸쳐 연장하는 광대역 반사기의 임의의 주어진 50 nm 부분 내에서의와 같이, (고 주파 스펙트럼 변동에 대응하는) 작은 파장 스케일에서 투과 및 반사 스펙트럼의 편평성 또는 균일성을 제한한다. 층 프로파일에서의 이러한 변동 또는 휨(kink)을 매끄럽게하기 위해 필요할 피드블록 금속의 국부화된 가열 또는 냉각을 제공하는 것은 어려울 수 있다. 이와 같은 변동 또는 휨은 공압출된 다층 광학 필름에서 런-투-런으로 재현가능하게(reproducibly)는 나타나지 않을 수 있고, 예지 근처에서보다 웨브의 중심에서 더 두드러질 수 있거나, 그 역일 수 있음이 관측되었다.

다층 광학 필름 및 필름 바디는 그 광학적, 기계적 및/또는 화학적 특성을 위해 선택된 추가적인 층 및 코팅도 포함할 수 있다. 예컨대, UV 광에 의해 생기는 필름의 장기적인 성능저하를 방지하기 위해 필름의 주 외측 표면 한쪽 또는 양쪽에 UV 흡수층이 추가될 수 있다. 추가적인 층 및 코팅은 또한 예를 들어, 긁힘 방지층, 인열

방지층 및 경화제(stiffening agent)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 미국 특허 제6,368,699호(길버트(Gilbert) 등)를 참조한다.

다층 광학 필름의 제조시 사용되는 재료는 통상적으로 적어도 가시광선 및 가시광선에 인접한 파장에 걸쳐 그리고 필름 내의 통상적인 광학 경로 거리에 대해 매우 낮은 흡수율을 갖는 중합체 재료이다. 따라서, 주어진 광에 대해 다층 필름의 반사 백분율(R) 및 투과 백분율(T)은 통상적으로 실질적으로 상보적인 바, 즉, 보통 약 0.01(1%)의 정확도 내에서 $R + T \approx 1$ (또는 100%)이다. 따라서, 달리 공지되지 않는 한, 특정 반사율(R)을 갖는 것으로 본 명세서에 개시된 다층 광학 필름은 상보적 투과율($T = 1 - R$)을 갖는 것으로 가정되며, 그 역 또한 성립하고, 그리고 반사율 또는 투과율의 보고된 값이 또한 관계식 $[R + T \approx 1]$ (또는 100%)를 통해, 각각, 투과율 또는 반사율에 대해 보고하는 것임이 가정될 수 있다.

반사 및 투과 특성은 컴퓨터 모델 광학 필름을 다루건 또는 실험실에서 그 특성이 측정되는 실제 필름을 다루건 간에 쉽게 결정될 수 있다. 반사 스펙트럼, 그리고 임의의 각도에서의 반사율 및 복굴절 다층 필름의 대역 경계와 같은 반사 스펙트럼의 특징들 전부는 문헌[Phys. Rev. Lett. 25, 577 (1970), Berremen and Scheffer]의 4×4 스택 코드를 사용하여 계산될 수 있다. 이 방법의 설명은 네덜란드 소재의 Elsevier Science에서 출판된 Azzam 및 Bashara의 저서 "Ellipsometry and Polarized Light"에 제공된다.

본 명세서에 개시된 다층 광학 필름은 바람직하게는 하나 이상의 특정 입사 조건에서 연장된 대역에 걸쳐 중간 양의 반사율, 즉, 부분 반사 및 부분 투과를 보인다. 연장된 대역(예를 들어, 많은 디스플레이 및 조명 응용의 경우 가시 파장 범위)에 걸쳐 미세층들에 의해 제공되는 부분 반사 및 부분 투과는, 반사 또는 투과 특성이 파장의 함수로서 충분히 균일하거나 매끄럽지 않는 경우에 필름으로 하여금 시스템에 원치 않는 색상을 발생시키기 쉽게 만든다. 다층 광학 필름이 그것의 일부인 시스템 설계에 따라, 임의의 원하는 입사 조건에 대해 중간 반사율/투과율이 발생하도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 한 가지 경우에, 입사 조건은 편광되지 않은 수직으로 입사된 광에 대한 것일 수 있다. 또 다른 경우에, 입사 조건은 필름의 차단축 또는 통과축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대한 것일 수 있다. 다른 경우에, 입사 조건은 임의의 선택된 입사 평면에 경사지게 입사된 광에 대한 것일 수 있으며, 이 광은 s-편광되거나, p-편광되거나, 또는 이들 조합으로 편광될 수 있다.

이제 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 또는 필름 바디에서의 반사 또는 투과에 있어서 고 주파 스펙트럼 변동과 관련된 지각 "색"의 문제, 및 본 출원의 목적을 위해 이러한 스펙트럼 변동을 어떻게 특징지을 수 있을지를 논의하기 위해 잠시 멈추기로 한다.

색상은 주어진 다층 광학 필름 바디에 대해, 또는 그것의 미세층 패킷에 대해 많은 상이한 방식으로 측정될 수 있다. 실제로, 색상은, 시스템에서 사용되는 특정 광원의 스펙트럼 특징들, 필름이 반사로 관측되는지 또는 투과로 관측되는지 여부, 광의 입사각, 및 필름 스택의 특정 캘리퍼를 비롯한 많은 인자들에 의존한다. 따라서, 모든 가능한 각도들 및 필름 캘리퍼들에서 모든 가능한 광원들에 대한 특정 색상 매트릭들을 계산 또는 측정하는 대신에, 본 출원의 목적을 위해, 광원 또는 검출기에 대해 독립적인 방식으로 다층 필름 내의 원치 않는 색상의 소스를 특징짓거나 기술하는 것이 낫다는 것을 발견하였다. 원치 않는 색상의 소스는 알려진 공정 또는 하드웨어 변경으로 제거될 수 없는, 필름의 투과 및/또는 반사 스펙트럼에서의 복수의 좁거나 가파른 피쳐들이다. 이들 스펙트럼 피쳐들은, 다른 경우라면 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 매끄러운 스펙트럼 내에서 통상적으로 10 nm, 50 nm, 또는 100 nm 폭의 피크들 및 밸리들로서 발생하는 투과 값들에서의 작은, 상대적으로 고 주파인 변동이다. 이 고 주파 변동은 많은 특정한 시스템 응용들에서 필름 내에 무지개빛(iridescent) 색상의 지각 가능한 색조를 발생시킬 수 있다.

광 대역의 부분적으로 반사하는 필름에서의 원치 않는 색상 생성 가능성을 기술하는 예시적인 방식은 규정된 또는 요구되는 입사 조건에 대해 필름의 투과 또는 반사 스펙트럼의 불균일, 또는 평탄도의 결여를 특징짓는 것이다. 스펙트럼의 불균일 또는 변동에 대한 간단하고 신뢰가능한 척도는 매끄러운 스펙트럼 타겟으로부터의 스펙트럼 편차이다. 이는, 예를 들어, 측정된(또는 모델링된) 스펙트럼과 평탄화된 버전의 스펙트럼 사이의 차를 취함으로써 행해질 수 있다. 평탄화된 버전의 스펙트럼은 바람직하게는 예를 들어, 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 평균화된 스펙트럼의 평균 값과 같은 단일의 수(single number)보다 더 복잡적이다. 평탄화된 버전의 스펙트럼에 대해, 필름 설계자가 필름이 보여주기를 원하고 그리고 필름 제조자가 (공압출된 다층 중합체 필름의 경우) 측 로드 히터 또는 이와 비슷한 것의 적절한 제어에 의해 필름 내에 포함시킬 수 있는 느리게 변하는 스펙트럼 피쳐들을 또한 포함시키거나 고려하는 것이 바람직하다. 가시 파장 범위 전체에 걸쳐 동작하도록 설계된 다층 광학 필름 바디 또는 그것의 미세층 패킷을 다룰 때, 또는 예를 들어, 관심 대상 파장 범위가 가시 파장 영역 및 800, 900, 또는 1000 nm에 이르는 근적외선 영역에 걸치는 경우, 평탄화된 버전의 스펙트럼이 바람직하

게는 실제 스펙트럼에 대한 곡선 맞춤(curve fit)이고, 여기서 이 곡선 맞춤은 파장에 있어서 최대 3차의 다항만을 포함한다는 것을 발견하였다. 따라서, 필름 바디 또는 그것의 패킷의 평탄화된 버전의 투과 또는 반사 스펙트럼은 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 실제 스펙트럼에 대한 최적합 곡선일 수 있고, 여기서 최적합 곡선은 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태이다. 다층 광학 필름 바디 또는 패킷에서의 원치 않은 색상의 소스인 고 주파 스펙트럼 변동 또는 불균일은, 이제 먼저 실제 스펙트럼과 평탄화된 버전(최적합 곡선) 사이의 차를 취하고, 그리고 나서 이 차 곡선의 표준 편차를 계산함으로써 산출될 수 있다. 그러한 차 곡선의 표준 편차, 또는 유사한 통계량은 쉽게 계산될 수 있고 이후 필름 또는 패킷의 원치 않은 색상 가능성과 관련된 투과 또는 반사 스펙트럼의 고 주파 변동의 척도로서 이용될 수 있다.

압출된 다층 필름 내의 색상을 제어하는 것은, 필름을 제조하는 압출 및 배향 공정을 제어하는 것을 수반한다. 원치 않은 고 주파 색상을 감소시키기 위한 본 명세서에 개시된 기법들은 2개 이상의 별개의 다층 필름 스택들을 제조하도록 공정을 제어하는 것과 이후 적어도 일부 광이 두 필름 스택들을 순차적으로 통과할 수 있도록 이들을 함께 라미네이팅하는 것을 수반할 수 있다. 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 균일하거나 매끄럽게 변하는 스펙트럼 투과 또는 반사를 갖는 필름 바디 및 그것의 개별 미세층 패킷들을 제공하는 것뿐만 아니라, 필름 바디 또는 패킷들의 활성 영역에 걸쳐 실질적으로 모든 가능한 테스트 지점들 또는 영역들에서 동일한 또는 유사한 스펙트럼 투과 및 반사가 유지되도록 필름 바디 및 그것의 패킷들에 양호한 공간적 균일성을 제공하는 것이 종종 요구된다. 다층 중합체 광학 필름의 활성 영역에 걸쳐 양호한 공간적 균일성을 달성하기 위한 공정은 미국 특허 제6,531,230호(웨버(Weber) 등) "Color Shifting Film"에서 논의된다. 본 출원의 관심 대상 다층 필름들이 통상적으로 바람직하게 더 낮은 지각색(예를 들어, 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 실질적으로 평평하거나, 가능하게는 관심 대상 파장 범위에 걸쳐 적절한 기울기 또는 곡률을 갖는 투과 스펙트럼)을 갖는 광대역 필름인 반면, '230 특허는 파장의 함수로서 반사 또는 투과에서 급격한 변화를 갖는, 입사각을 변경함에 따라 뚜렷한 "색상 변화(color shift)"를 볼 수 있도록 된 그러한 다층 필름에서의 공간적 균일성을 강조하지만, 공간적 균일성과 관련한 '230 특허의 교지는 여전히 본 명세서에서의 다층 필름에 대해 적절한 것이다. 다른 경우라면 매끄러운 스펙트럼 내에 피크들 및 밸리들로서 보여지는 투과 또는 반사에서의 작은 변동은 '230 특허에 기재된 예리한 대역 경계와 유사하게 동작한다. 스펙트럼 피치의 파장 위치는 필름의 두께 또는 캘리퍼와 밀접하게 상관되므로, 예리한 대역 경계에서와 마찬가지로, 필름 바디(또는 그것의 구성 미세층 패킷들)가 두께 캘리퍼에서 불균일하면 투과 또는 반사에서의 작은 변동이 더욱 뚜렷하다.

위에서 언급된 바와 같이, 적어도 2개의 미세층 패킷들 - 각각의 미세층 패킷은, 주어진 입사 조건에 대해 동일하거나 유사한 광대역 스펙트럼 범위를 커버하는 반사 스펙트럼을 가짐 - 을 이용하고, 그리고 이후 일 패킷의 고 주파 스펙트럼 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 고 주파 스펙트럼 피크들 및 밸리들을 상쇄시키도록 미세층 패킷들을 라미네이팅하거나 달리 조합하여, 생산된 부분적으로 투과하는 다층 광학 필름 바디에 대해 더 매끄러운 반사 및 투과 스펙트럼이 되게 함으로써, 부분적으로 투과성인 다층 광학 필름 바디의 원치 않은 색상을 감소시키는 것이 실현가능하다는 것을 발견하였다. 공간적으로 비교적 균일한 미세층 패킷들을 (예를 들어, 개별 필름들로서) 제조하고 그리고 일 미세층 패킷을 다른 미세층 패킷으로부터 원하는 캘리퍼 차를 갖게 제조함으로써 일 패킷의 스펙트럼 피크들이 다른 패킷의 스펙트럼 밸리들과 정렬 (및 스펙트럼 피크들과 오정렬)될 수 있다. 제1 패킷 또는 필름의 스펙트럼 피크들 및 밸리들 모두가 제2 패킷 또는 필름의 스펙트럼 피크들 및 밸리들과 일-대-일 방식으로 대응하지 않는다면, 최종 제품에서 색상을 감소시키기 위하여 일 패킷 내의 가장 문제되는 스펙트럼 피크 또는 밸리를 선택하고 그리고 그것을 제2 패킷 내의 적절한 오프셋 피쳐(offsetting feature)와 정렬시킬 수 있다.

개시된 스펙트럼 평탄화 기법은 조합된 또는 완성된 부분적으로 투과성인 광대역 제품에서 더 매끄러운 투과 및 반사 스펙트럼을 생성하기 위하여 일 광대역 미세층 패킷의 스펙트럼 피크들의 다른 광대역 미세층 패킷의 스펙트럼 밸리들과의 정렬에 부분적으로 의존한다. 일 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들을 상쇄시키지 않을 때, 또는 심지어 일 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들을 강화시키도록 패킷들이 조합된다 하더라도, 조합된 물품의 색상이 단일 패킷들 또는 필름들 단독의 어느 하나보다 많이 크지는 않다는 것은 예상치 못한 발견이었다. 따라서, 예를 들어, 2개의 미세층 패킷들 내의 공간적 불균일이, 일 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들이 조합된 물품의 활성 영역 상의 하나 이상의 선택된 지점들 또는 타겟 영역들에서만 다른 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들을 상쇄시키도록 제작될 수 있는 반면, 다른 지점들 또는 타겟 영역들에서는 일 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들을 상쇄시키지 않고 사실상 다른 패킷의 고 주파 피크들 및 밸리들에 의해 강화될 수 있도록 된 그러한 경우라도, 결과적인 조합된 물품은 그럼에도 불구하고 단일 미세층 패킷만으로 제조된 유사한 물품에

비해 전체적으로, 감소된 고 주파 색상을 보일 수 있다는 것을 발견하였다.

복수 패킷 다층 광학 필름 바디의 예상치 못한 컬러 특성은 부분적으로, 필름 바디의 구성 미세층 패킷들의 반사율이 선형적으로 또는 코히어런트로(coherently) 합산되지 않고, 2개의 반사기 R1 및 R2의 조합된 반사율을 위한 소위 "접시 쌓기(pile-of-plates)" 공식에 따라 인코히어런트로(incoherently) 조합된다는 것에 기인한다.

$$R = \frac{R1 + R2 * (1 - 2R1)}{1 - R1 * R2} \quad \text{식 (1)}$$

위의 식에서, R1 및 R2는 개별 미세층 패킷들의 반사율이고, R은 두 패킷 모두를 포함하는 전체 물품(필름 바디)의 반사율이다. R1 및 R2가 내부 반사율이라면, R은 필름 바디의 내부 반사율이다. 대안적으로, R1 및 R2는 2개의 공기/중합체 계면의 효과를 공동으로(collectively) 포함할 수 있고(예를 들어, R1이 하나의 공기/중합체 계면의 효과를 포함할 수 있고, 그리고 R2가 다른 그러한 계면의 효과를 포함할 수 있다), 따라서 R은 필름 바디의 외부 반사율을 나타낼 것이다. 패킷들은 광학적으로 두꺼운 매체(즉, 관심 대상 광의 파장에 비해 큰 매체)에 의해 분리될 것으로 가정된다. 식(1)은 파장 의존도를 갖지 않으나, 식이 임의의 주어진 관심 대상 파장에서 평가될 수 있음이 이해될 것이다. 즉, 파라미터 R, R1, 및 R2는, 필름 바디, 제1 미세층 패킷, 및 제2 미세층 패킷의 반사율을 각각 나타내며, 이들 모두는 특정한 관심 대상 파장에서 측정된 것이다.

바람직하게는, 미세층 패킷들의 반사율들(R1, R2)(또는 관심 대상 파장 범위에 걸친 이들의 평균 반사율)이 동일하거나 (예를 들어, 2배 내에서) 유사하거나, 또는 적어도 대략 동일한 자릿수(order of magnitude)이다. 예를 들어, 5% 반사하는 미세층 패킷을 80% 반사하는 미세층 패킷과 조합하는 것은 80%를 초과하는 필름 바디의 반사율을 증가시키는데 거의 영향이 없다. 게다가, 미세층 패킷들에 대한 각각의 반사 대역의 대역폭이 또한 바람직하게는 동일하거나 유사하다. 패킷들의 대역폭 및 대역 경계는 어느 정도 상이할 수 있으나, 패킷들의 반사 대역은 바람직하게 공통 광 대역, 예를 들어, 적어도 가시 스펙트럼 또는 그 주요 부분에 걸쳐 연장된다.

바람직하게는, 투과 및 반사 스펙트럼에서의 원치 않는 고 주파 진동을 최소로 유지하기 위하여 다층 광학 필름 바디 내에서 공기-중합체 계면들 (또는 공기 및 어떤 다른 광 투과성 광학 재료를 포함하는 계면들)의 간섭 효과가 실질적으로 회피된다. 예를 들어, 필름 바디의 전면 및 후면 주요 표면에 있는 공기-중합체 계면외에, 필름 바디는 다른 주요한 공기-중합체 계면을 포함하지 않을 수 있다. 보호 경계 층(PBL), 스킨 층, 및/또는 다른 광학적으로 두꺼운 층 또는 기판을 포함시킴으로써, 예시적인 실시예들의 필름 바디는 스펙트럼의 가시 부분 내에서 고 주파 진동을 실질적으로 감소시키기 위해 적어도 100 마이크로미터의, 그리고 스펙트럼의 근적외선 부분에서 고 주파 진동을 더 감소시키기 위해 적어도 200 마이크로미터의 전체적인 물리적 두께를 가질 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제1 및 제2 미세층 패킷은 패킷 사이에 공기 갭 없이, 미세층 패킷에서 사용된 재료와 동일하거나 유사한 굴절률을 가진 광-투과성 재료로 된 하나 이상의 광학적으로 두꺼운 층들에 의해 연결된다.

실제 설계의 다중 패킷의 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 바디와 관련하여 개시된 고 주파 색상 평탄화 원리를 설명하기 전에, 사인형으로 변하는 반사 및 투과 스펙트럼으로 특징지어지는 반사기(가상 미세층 패킷)를 사용하는 간단한 시뮬레이션을 이용하여 원리를 설명하기로 한다. 이들 간단한 시뮬레이션은 도 7a 내지 7c에 도시된다.

도 7a에는, 제1 가상 패킷의 스펙트럼 반사율(710) 및 제2 가상 패킷의 스펙트럼 반사율(712)이 플롯되어 있다. 이들 반사율 둘 모두는 0.30(30%)의 평균 반사율을 가지며, 임의의 단위로 된 0 내지 400 범위의 연장된 파장 범위에 걸쳐 이 평균 반사율로부터의 사인형 변동을 갖는 것으로 모델링되었다. 사인형 변동은 고 주파이고 원치 않는 것으로 가정된다. 이 경우, 반사 스펙트럼은 평평(즉, 파장의 함수로서 일정)한 것으로 의도된 것이고, 따라서 이 간단한 시뮬레이션에서 원치 않는 고 주파 스펙트럼 변동을 특징짓고 격리할 목적으로, 제1 및 제2 가상 패킷 각각에 대한 "평탄화된 스펙트럼"으로서 사용하기 위하여 위에서 논의된 3차 곡선 맞춤이 아니라 반사율 0.30의 평평한 선 (파장에 있어서 0 차)이 선택된다. 제1 및 제2 가상 패킷의 "실제" 반사율로부터 이 평평한 선을 제하는 것(subtracting)은 곡선(710, 712)의 사인 성분을 생성하며, 그러한 사인 성분은 패킷들 각각에 대한 원치 않는 스펙트럼 변동을 나타낸다. 2개의 사인 곡선들은 서로 정확히 위상이 다르고(out of phase)이고, 따라서 반사율(710)의 피크들이 반사율(712)의 밸리들과 스펙트럼적으로 정렬되고, 반사율(710)의 밸리들이 반사율(712)의 피크들과 스펙트럼적으로 정렬되며, 그리고 피크들 및 밸리들이 동일한 진폭 및 너비를 가짐에 주목하여야 한다. 이는 가상 필름 바디로부터 고 주파 스펙트럼 변동을 제거하기 위한 최적의 조건을 나타낸다. 피크들 및 밸리들의 동일한 그리고 반대의(opposite) 진폭의 경우에조차, 리플들이 완전히 0

으로 감소되지는 않음에 주목하여야 한다. 패킷들의 고 주파 스펙트럼 변동을 각각의 반사율 곡선의 사인 성분의 통계적 표준 편차로 특징지을 수 있다. 이 고 주파 변동 값을 제1 패킷에 대해 $\Delta 1$ 로, 제2 패킷에 대해 $\Delta 2$ 로 지칭한다. 이 경우, $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 는 둘 다 0.0354이고, 이는 또한 도 7a에 이들 각각의 반사율 곡선 옆에 병기되어 있다.

또한, 곡선(710, 712)의 사인 성분 사이의 수학적 차를 계산할 수 있고, 그 결과는 동일한 연장된 파장 범위에 걸쳐 연장하는 차동 스펙트럼(714)이다. 예를 들어, 스펙트럼(714)의 통계적 표준 편차를 취함으로써, 차동 고 주파 변동(Δdiff)으로 지칭되는 차동 스펙트럼(714)의 고 주파 변동을 계산할 수 있다. 이 경우, Δdiff 는 0.0708이고, 이는 도면에 그 각각의 곡선 옆에 병기되어 있다.

마지막으로, 또한, 곡선(710, 712) 및 식(1)을 이용하여, 제1 및 제2 가상 미세층 패킷과 이들 사이의 광학적으로 두꺼운 재료 층을 함께 라미네이팅한 결과인 다층 광학 필름 바디의 반사율(이 경우, 제1 패킷과 제2 패킷의 조합의 반사율과 동일함)을 계산할 수 있다. 그 결과는 조합 반사 스펙트럼(716)이다. 이 조합 스펙트럼은 평평(즉, 파장의 함수로서 일정)한 것으로 의도된 것이므로, 이 간단한 시뮬레이션에서 원치 않는 고 주파 스펙트럼 변동을 특징짓고 격리할 목적으로, 위에서 논의된 3차 곡선 맞춤이 아니라, 필름 바디 또는 조합의 반사율에 대해 "평탄화된 스펙트럼"으로서 사용하기 위한 평평한 선 (파장에 있어서 0 차)이 선택된다. "실제" 반사율 곡선(716)으로부터 곡선(716)의 평균 반사율과 동일한 값을 갖는 이 평평한 선을 제하는 것은, 곡선(716)의 고 주파 스펙트럼 변동 성분을 생성한다. 이 곡선 성분의 변동은 조합 고 주파 변동(Δcomb)으로 지칭되는 단일 수에 의해 특징지어질 수 있고, 여기서 이 수는 곡선(716)의 고 주파 성분의 통계적 표준 편차로서 계산될 수 있다. 이 경우, Δcomb 는 0.0015이고, 이는 도 7에 그것의 관련된 곡선(716) 옆에 병기되어 있다.

일 미세층 패킷의 반사율 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 다른 미세층 패킷의 반사율 스펙트럼의 피크들 및 밸리들과 정확히 오정렬된 도 7a의 가상 실시예에 대한 고 주파 변동 값을 요약하면, 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0354$$

$$\Delta 2 = 0.0354$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0708$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0015$$

이 예는, 필름 바디 또는 조합의 고 주파 색상(Δcomb)을 최소화하려 할 때, 차동 스펙트럼의 고 주파 변동(Δdiff)이 크도록 미세층 패킷들을 배열하는 것이 유익하다는 것을 보여준다.

이제, 일 패킷의 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 피크들 및 밸리들과 정확히 오정렬되어 있는 것이 아니라, 두 패킷의 피크들 및 밸리들이 정확히 정렬되도록 제2 미세층 패킷의 고 주파 변동을 이동시킴으로써 도 7a의 가상 실시예가 수정된다. 사인형 변동의 진폭이 제1 패킷과 제2 패킷 모두에 대해 약간 증가된 것을 제외하고는, 도 7a 실시예의 다른 관련 양상이 도 7b의 실시예에서 유지되는바, 예를 들어, 제1 및 제2 패킷의 평균 반사율이 여전히 둘 다 0.3 (30%)이다. 곡선(720)은 제1 미세층 패킷의 스펙트럼 반사율을 나타내고, 곡선(722)은 제2 미세층 패킷의 스펙트럼 반사율을 나타내고, 곡선(724)은 곡선(720, 722)의 사인 성분을 제함으로써 얻어지는 차동 스펙트럼을 나타내고, 그리고 곡선(726)은 곡선(720, 722) 및 식(1)로부터 계산된 패킷의 조합의 반사 스펙트럼이다. 고 주파 변동 값 $\Delta 1$, $\Delta 2$, Δdiff , 및 Δcomb 은 도 7a와 관련하여 기술된 것과 동일한 방식으로 계산될 수 있다. 일 미세층 패킷의 반사율 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 다른 미세층 패킷의 반사율 스펙트럼의 피크들 및 밸리들과 정확히 정렬되는 도 7b의 가상 실시예의 결과는 하기와 같다.

$$\Delta 1 = 0.0425$$

$$\Delta 2 = 0.0425$$

$$\Delta \text{diff} = 0$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0508$$

이 예는, 필름 바디 또는 패킷들의 조합에서 고 주파 색상(Δcomb)을 최소화하려 할 때, 차동 스펙트럼의 고 주파 변동(Δdiff)이 작도록 미세층 패킷들을 배열하는 것이 불리하다는 것을 보여준다. 그러나, 고 주파 색상 관점에서의 최악의 경우의 시나리오에 대응하여, 개별 패킷들의 피크들 및 밸리들이 정확히 정렬된다 하더라도, Δcomb 와 관련하여 측정된 필름 바디 또는 조합의 색상이 개별 미세층 패킷의 색상($\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 와 관련하여 측정됨)을 단지 적당량 만큼만 초과한다는 것에 주목하여야 한다.

이제 일 패킷의 피크들 및 밸리들이 다른 패킷의 피크들 및 밸리들과 정확히 정렬되는 것이 아니라, 두 패킷들의 피크들 및 밸리들이 위상에 있어서 90도 다르고, 그리고 따라서 정확히 정렬되지도 정확히 오정렬되지도 않도록 제2 미세층 패킷의 고 주파 변동을 이동시킴으로써 도 7b의 가상 실시예를 수정할 수 있다. 도 7b 실시예의 다른 관련 양상이 도 7c의 실시예에서 유지되는 바, 예를 들어, 제1 및 제2 패킷의 평균 반사율이 여전히 둘 다 0.30 (30%)이고, 사인형 변동의 진폭이 동일하다. 곡선(730)은 제1 미세층 패킷의 스펙트럼 반사율을 나타내고, 곡선(732)은 제2 미세층 패킷의 스펙트럼 반사율을 나타내고, 곡선(734)은 곡선(730, 732)의 사인 성분을 제한으로써 얻어진 차동 스펙트럼을 나타내고, 곡선(736)은 곡선(730, 732) 및 식(1)로부터 계산된 패킷의 조합의 반사 스펙트럼이다. 고 주파 변동 값 $\Delta 1$, $\Delta 2$, Δdiff , 및 Δcomb 은 도 7a 및 7b와 관련하여 기술된 것과 동일한 방식으로 계산될 수 있다. 일 미세층 패킷의 반사율 스펙트럼의 피크들 및 밸리들이 다른 미세층 패킷의 것들과 정확히 정렬되지도 또는 정확히 오정렬되지도 않는 도 7c의 가상 실시예에 대한 결과는 하기와 같다.

$$\Delta 1 = 0.0425$$

$$\Delta 2 = 0.0425$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0601$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0356$$

이 예는 다시, 필름 바디 또는 패킷들의 조합 내의 고 주파 색상(ΔFB1)을 최소화하려 할 때, 차동 스펙트럼의 고 주파 변동(Δdiff)이 크도록 미세층 패킷들을 배열하는 것이 유리하다는 것을 보여준다.

이제 이 동일한 원리가 더욱 현실적 또는 실제적인 다층 광학 필름을 수반하는 예들에서 사용될 수 있음을 보일 것이다. 일부 경우에, 주어진 미세층 패킷(예를 들어, 유사한 구조의 다른 다층 광학 필름과 라미네이팅되어 다중-패킷 다층 광학 필름 바디를 생성할 수 있는 단 하나의 미세층 패킷을 갖는 다층 광학 필름) 및/또는 주어진 다중-패킷 다층 광학 필름 바디에 대해 측정된 투과 및/또는 반사 스펙트럼을 이용한다. 그러한 스펙트럼 측정의 정확성 및 신뢰성을 보장하기 위하여, 특히 필름의 상이한 위치들, 지점들, 또는 영역들에서 상당히 상이한 스펙트럼 특성을 보일 수 있는 필름들을 다룰 때, 측정이, 공간 평균화의 결과로서, 조작자(operator)가 특징지어려 하는 고 주파수 변동을 부주의하게 누락시키지 않도록 충분히 작은 필름 부분에 대해 그러한 투과 및/또는 반사 측정을 취하는 것이 유리하다. 신뢰가능한 측정 목적의 충분히 작은 부분은 본 명세서에서 테스트 영역이라 지칭된다. 테스트 영역은 필름 바디의 임의의 주어진 스펙트럼 피처가 파장에 있어서, 테스트 영역의 임의의 두 부분 사이에서, 주어진 양, 예를 들어, 1nm, 또는 2nm, 또는 5nm 미만으로 이동하도록 선택될 수 있다. 필름 샘플의 공간적 균일의 정도에 따라, 테스트 영역은 필요하다면 일부 경우에 상대적으로 크게 만들어질 수 있으나, 다른 경우에는 실질적으로 더 작을 필요가 있을 수 있다.

몇개의 예시적인 테스트 영역이 도 8에 도시된다. 이 도면에서, 나중에 라미네이팅되거나 또는 달리 다른 다층 광학 필름에 연결될 단일 패킷 필름일 수 있는, 또는 다중-패킷 다층 광학 필름 바디일 수 있는 다층 광학 필름(810)이 사시도로 도시되어 있다. 필름(810)은 예를 들어, 롤 형태로 저장하기에 적합한 연성 중합체 웨브의 형태일 수 있다. 필름(810)은 필름의 적어도 일 주요 축(주축)을 따라 편광된 광에 대해 넓은 파장 범위에 걸쳐 부분적으로 반사성이고, 그리고 예를 들어, 분광 광도계를 사용하여 측정될 수 있는 적어도 하나의 특성 스펙트럼 피처(예를 들어, 반사 또는 투과 스펙트럼에서의 피크, 밸리, 또는 천이)를 가진다. 필름 캘리퍼 변동으로 인하여 또는 다른 이유로, 특성 스펙트럼 피처가 나타나는 파장은 필름의 표면 또는 사용가능한 영역 상의 위치의 함수이다. 선(812a-f)은 주어진 파장에서 스펙트럼 피처가 나타나는 필름 위의 장소를 표시한다. 선(812c)을 따라, 피처가 파장 λ_0 에서 나타나고; 선(812a)을 따라, 피처가 파장 $\lambda_0 + 10$ 에서 나타나도록 스펙트럼이 이동되고(예를 들어, 파장 λ_0 이 600 nm이면, 선(812a)을 따라 610 nm에서 피처가 나타남); 선(812f)을 따라, 피처가 파장 $\lambda_0 - 15$ (λ_0 이 600 nm이면 585 nm)에서 나타나도록 스펙트럼이 이동되고; 등등이다. 따라서 선(812a-f)은 등고선 지도 상의 선과 비슷하다. 5 nm 보다 나은 측정 해상도를 갖기를 바란다면, 영역(814, 816)이, 필름(810) 상의 표시된 장소들에서 스펙트럼 투과 또는 반사를 측정하는데 사용할 수 있는 예시적인 테스트 영역이다. 물론, 측정 해상도에 대한 더 엄격한 (또는 더 느슨한) 요건은 더 작은 (또는 더 큰) 테스트 영역을 수반할 것이다. 테스트 영역이 원형일 필요는 없으며, 필름의 공간 균일성이 일 평면내 방향(예를 들어, 다운-웨브 방향)에서 다른 평면내 방향(예를 들어, 교차-웨브 방향)에서보다 낫다면 테스트 영역이 신장될 수 있음에 주목하여야 한다.

이제, 도 9a로 가서, 2-패킷 반사 편광 필름 바디와 관련된 측정된 스펙트럼 특성을 관찰하기로 한다. 필름 바

디의 각각의 미세층 패킷은 275개의 미세층들을 가지며, 미세층들은 90/10 coPEN(90% 에틸렌 나프탈레이트 반복 단위 및 10% 에틸렌 테라프탈레이트 반복 단위를 포함하는 공중합체)의 고 굴절률 중합체 재료, 및 Eastman Chemical Company로부터 입수가 가능한 PETg의 저 굴절률 중합체 재료를 이용하여 교호하는 A, B 패턴으로 배열되어 있다. 이 재료들이 공압출되고, 다이를 통해 공급되고, 그리고 주조 휠로 주조되었다(예를 들어, 위에서 언급된 미국 특허 제6,783,349호(Neavin 등), 및 2010년 5월 7일자로 출원된 미국 특허 출원 제61/332,401호 참조). 주조 웹은 이후 렉스 오리엔터에서 약 2.5:1로, 텐터에서 약 6:1로 연신되었다. 광학적으로 두꺼운 중합체 층에 의해 분리된 2개의 미세층 패킷들은 각각 필름 바디의 통과축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 400 nm로부터 약 1100 nm로 연장하는 부분 반사 대역에 대응하는 명목적으로 단조적인 두께 경사를 갖는다. 편광 필름은, 경사지게 입사된 광에 대해서는 물론, 평면내 통과축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 가시 및 근적외선 파장에 걸쳐 상당한 양의 반사율을 가졌다.

통과축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 필름 상의 일 위치 또는 테스트 영역에서 2-패킷 필름 바디의 투과율이 측정되었고, 측정된 투과율은 곡선(910)으로 보여진다. 테스트 영역(지름 약 5 mm)이 나중의 참조를 위해 필름 바디의 양 측면들 상에 마킹되었다. 필름 바디의 2개의 미세층 패킷들은 이후 개별 미세층 패킷들을 온전하게 유지하면서 필름 바디를 박리시킴(peel apart)으로써 서로 분리되었다. 미세층 패킷들 중 하나(여기에서는 제1 미세층 패킷이라 지칭됨)가 광학적으로 투명한 접착제 층을 사용하여 투명 보호 라이너(clear release liner)에 부착되었다. 이는 적외선 파장에서의 스펙트럼 링잉(spectral ringing)을 감소시키기 위해 행해졌다. 이전에 측정된 필름 바디의 테스트 영역을 정의하는 마크들이 제1 미세층 패킷과 제2 미세층 패킷 상에 동일한 위치를 위치 설정하기 위해 사용되었고, 패킷들의 투과율이 오리지널 2-패킷 필름 바디와 동일한 방식으로 개별적으로 측정되었다. 곡선(912)은 제1 패킷에 대해 측정된 투과율을 보여주고, 곡선(914)은 제2 패킷에 대해 측정된 투과율을 보여준다.

곡선(910, 912, 914) 각각은 이후 400과 1000 nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 형태의 평탄화된 최적합 곡선에 의해 근사되었다. 이 천천히 변하는 최적합 곡선은 도 9a에 좁은 라인폭으로 도시되나, 도면부호가 병기되지는 않는다.(이와 유사한, 도면부호가 병기되지 않은 최적합 곡선이 또한 도 10, 11 및 12a-d에 도시된다.) 각각의 경우에, 측정된 스펙트럼의 고 주파 성분을 격리시키기 위하여 이후 최적합 곡선을 측정된 투과 스펙트럼으로부터 제하였다. 곡선(910, 912, 914) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 850 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta FB = \Delta comb = 0.0226$, $\Delta 1 = 0.0200$, 및 $\Delta 2 = 0.0362$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 또한 서로로부터 제하여, 곡선(916)으로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(916)의 표준 편차는 400과 850 nm의 한계값 사이에서 $\Delta diff = 0.0456$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0200$$

$$\Delta 2 = 0.0362$$

$$\Delta diff = 0.0456$$

$$\Delta comb = 0.0226$$

광학 필름 라미네이트의 스펙트럼을 예측하는 데에 식(1)이 신뢰가능하다는 것을 확인하기 위하여 몇몇 추가의 분석을 수행하였다. 특히, 제1 패킷 및 제2 패킷에 대해 측정된 투과 스펙트럼(즉, 도 9a의 곡선(912 및 914))을 사용하여 이들 두 패킷의 라미네이트를 시뮬레이션하였다. 이 방법론이 신뢰가능하다면, 시뮬레이션된 라미네이트에 대해 계산된 투과 스펙트럼이, 패킷들을 격리시키기 위해 이용된 박리 동작(peeling operation) 전에 존재했던 것과 같은 실제 라미네이트의 측정된 투과 스펙트럼(910)과 일치되어야 한다. 본 분석에서, 필름/공기 계면의 영향에 대한 특별한 고려가 이루어졌다. 본래의 필름 바디 또는 라미네이트가 2 개의 공기 계면을 가지는 반면, (분리된, 박리된 필름들 형태의) 2개의 개별 패킷들은 조합된 총 4개의 필름/공기 계면을 갖는다. 위의 "접시 쌓기(pile-of-plates)" 공식(식(1)) 전에 수학적으로 제거될 필요가 있는 이들 공기 계면들 중 2개는, $T=1-R$ 을 고려하여, 시뮬레이션된 라미네이트의 투과율을 계산하는데에 이용될 수 있다. 필요 이상의 공기 계면들(excess air interfaces)을 수학적으로 제거하기 위하여, 한 개의 공기/PETg 계면의 반사율(PETg의 굴절률은 1.564임)이, 확산 효과를 포함하여, 파장의 함수로서 계산되었다. 제1 패킷의 "내부 굴절률"이 이후 하기의 식에 의해 계산되었다.

$$A_{int} = \frac{1 - air - (1 + air) * A}{1 - air - 2 * air * A}, \quad \text{식 (2)}$$

여기서 A_{int} 는 제1 패킷의 "내부 반사율"을 지칭하고, "공기"는 공기/PETg 계면의 계산된 반사율을 지칭하고, "A"는 (2개의 공기/중합체 계면의 영향이 포함된) 제1 패킷을 포함하는 필링된 필름의 측정된 총 투과율을 지칭하고, 모든 계산에 대해 관계식 $R = 1 - T$ 가 가정되었다. 필름 또는 다른 바디의 "내부 반사율"이라는 용어는 바디의 전면 또는 후면(또는 최상부(top) 또는 바닥부(bottom) 등)에 필름과 상이한 굴절률의 공기 또는 임의의 다른 매질과 접촉함으로써 인한 임의의 계면이 없는 경우에 바디가 가질 반사율을 지칭한다. 용어 "내부 반사율"은 유사하게 전면 또는 후면 (또는 최상부 또는 바닥부 등)에 임의의 계면이 없는 경우에 바디가 가질 투과율을 지칭한다.

제1 패킷의 내부 반사율(A_{int})을 계산한 후, 각각의 파장 값에 대해 위의 식(1)을 이용하여 시뮬레이션된 라미네이트의 투과율을 계산하였고, 여기서 A_{int} 의 값이 식(1)의 "R1"에 이용되었고, (2개의 공기/중합체 계면의 영향이 포함된) 제2 패킷의 측정된 반사율이 식(1)의 "R2"에 이용되었고, 그리고 여기서 투과율은 $T = 1 - R$ 이다. 시뮬레이션된 라미네이트에 대한 결과적인 계산된 투과 스펙트럼이 도 9b에 곡선(910a)으로 도시되고, 곡선(910)의 본래의 측정된 투과율과 나란히 플롯된다. 알 수 있는 바와 같이, 라미네이트의 측정된 반사율과 계산된 반사율 사이에 우수한 일치가 달성되어, 도 9a의 실시예에서 개별 미세층 패킷들에 대해 얻어진 투과 스펙트럼(912, 914)이 신뢰가능하다는 것과 그리고 식(1)의 사용이 인코히어런트 반사형 패킷들의 반사율을 설명하는데 유효하다는 것이 확인된다.

도 10은 또 다른 2-패킷 반사형 편광 필름 바디와 관련된 측정된 스펙트럼 특성을 보여준다. 필름 바디의 각각의 미세층 패킷은 275개의 미세층들을 가졌고, 미세층들은 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)의 일 중합체 재료, 및 위에서 언급된 PETg 중합체의 다른 중합체 재료를 이용하여 교호하는 A, B 패턴으로 배열되었다. 이 재료들이 공압출되고, 다이를 통해 공급되고, 그리고 주조 휠로 주조되었다(예를 들어, 위에서 언급된 미국 특허 제 6,783,349호(니빈(Neavin) 등), 및 2010년 5월 7일자로 출원된 미국 특허 출원 제 61/332,401호 참조). 주조 웹은 이후 텐터에서 약 6:1로 연신되어 광대역 반사형 편광기 다층 광학 필름 바디를 생성하였다. 광학적으로 두꺼운 중합체 층에 의해 서로 연결된 2개의 미세층 패킷들은 각각 필름 바디의 차단축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해 400 nm로부터 약 850 nm로 연장하는 반사 대역에 대응하는 명목적으로 단조적인 두께 경사를 갖는다. 도 9a 및 도 9b의 반사형 편광기와 유사하게, 이 반사형 편광 필름 바디는 또한 통과축을 따라 편광된 수직으로 입사된 광에 대해, 그리고 또한 경사지게 입사된 광에 대해 가시 및 근적외선 파장에 걸쳐 상당한 반사율을 가졌다. 따라서, "통과 평면"(필름 바디의 통과 축 및 표면 법선(surface normal)을 포함하는 평면) 내에 입사되었으며 입사 평면 내에서 p-편광된, 수직으로 입사된 광 및 경사지게 입사된 광 둘 모두를 포함하는 통과축을 따라 선형적으로 편광된 광에 대해, 넓은 파장 범위에 걸쳐 부분 반사율이 관측되었다.

필름 바디의 투과 스펙트럼이 (공기 중에서, 표면 법선에 대해 측정된) 60도 각도에서 통과 평면에 경사지게 입사된 p-편광된 광에 대해 필름 바디의 테스트 영역에서 측정되었다. 필름 바디의 측정된 투과 스펙트럼은 도 10에 곡선(1010)으로 도시된다. 필름 바디는 이후 도 9a-b와 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로 두 미세층 패킷들을 서로로부터 격리시키도록 박리되었다. 두 패킷들의 투과율 스펙트럼은, 통과 평면에서 60도로 입사된 p-편광된 광의 동일한 입사 조건을 이용하여, 본래의 필름 바디와 동일한 테스트 영역에서 측정되었다. 이러한 방식으로 측정된 제1 및 제2 패킷의 투과가 곡선(1012, 1014)으로 각각 도시된다.

곡선(1010, 1012, 1014) 각각은 이후 400과 750 nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 형태의 평탄화된 최적합 곡선으로 근사되었다. 각각의 경우에, 측정된 스펙트럼의 고 주파 성분을 격리시키기 위하여 이후 최적합 곡선을 측정된 투과 스펙트럼으로부터 제하였다. 곡선(1010, 1012, 1014) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 700 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta FB = \Delta comb = 0.0107$, $\Delta 1 = 0.0155$, 및 $\Delta 2 = 0.0132$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 또한 서로로부터 제하여 곡선(1016)으로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(1016)의 표준 편차는 400과 700 nm의 한계값 사이에서 $\Delta diff = 0.0185$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0155$$

$$\Delta 2 = 0.0132$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0185$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0107$$

두 패킷들에 대해 개별적으로 측정된 투과 스펙트럼은 층 프로파일의 제어되지 않은 중단에 의해 야기된 고 주파 변동에 있어서만 상이했고, 사실상 동일했다. 필름 바디 또는 라미네이트의 고 주파 변동이 각 패킷 단독의 고 주파 변동보다 작음을 명확하게 볼 수 있다.

도 11은 다른 2-패킷 다층 광학 필름 바디와 관련된 측정된 스펙트럼 특성을 보여준다. 그러나, 이 경우에는, 미세층 패킷들이 개별 필름들로서 제조되고, 이후 함께 라미네이팅되어 필름 바디를 형성하였다. 따라서 275개의 미세층들의 일 미세층 패킷만을 갖는 베이스 다층 광학 필름이 구성되었고, 이 미세층들은 위에서 언급된 90/10 coPEN인 일 중합체 재료 및 55/45 비율로 90/10 coPEN과 PETg의 혼합물(blend)인 다른 중합체 재료를 이용하여 교호하는 A, B 패턴으로 배열되었다. 중합체 혼합물은 1.595의 굴절률을 보인다. 이 재료들이 공압출되고, 다이를 통해 공급되고, 그리고 주조 롤로 주조되었다(예를 들어, 미국 특허 제6,783,349호(니빈(Neavin) 등) 참조). 광대역 단일 패킷 다층 광학 필름을 생성하기 위하여, 주조 웹가 이후 섭씨 142도에서 폭 방향으로 약 6:1 텐터 연신 비율 및 4.0:1 길이 배향을 이용하여 비대칭적인 방식으로 2축으로 배향되었고, 섭씨 232도에서의 고온 열 고정(heat set)이 이에 후속되었다. 이 단일 패킷 기반 필름의 2개 조각들이 필름 롤 상의 상이한 교차-웹 위치들에서 웹으로부터 절단되었고, 이는 유사한 제1 및 제2 미세층 패킷을 각각 갖는 제1 및 제2 필름을 제공하였다. 이 필름 조각의 각각의 투과율은 필름의 동일한 주 평면내 축을 따라 선형적으로 편광된 수직으로 입사된 광을 이용하여 측정되었고, 그 결과는 도 11에 곡선(1112, 1114)으로 도시된다. 이들 스펙트럼들은 유사하나, 스펙트럼 피쳐들은 조각들이 절단되어 나온 본래의 베이스 필름에서의 작은 캘리퍼 차의 결과로서 파장에 있어서 오프셋되거나 이동된다. 수직 입사에서 상당한 반사율을 보이는 것에 외에도, 필름은 또한 주 평면내 축을 포함한 입사 평면에 60도로 입사된 p-편광된 광에 대해 상당한 반사율을 보였다.

2개의 필름 조각들은 이후 투명한 감압형 접착제(PSA)를 이용하여 (이들 각각의 주 축이 서로 평행하게) 함께 라미네이팅되어, 2-패킷, 광대역, 부분적으로 반사하는 다층 광학 필름 바디 또는 라미네이트를 생성하였다. 이 필름 바디의 투과율은 개별 조각들과 동일한 방식으로 측정되었고, 결과적인 측정치는 도 11에 곡선(1110)으로 주어진다.

곡선들(1110, 1112, 1114) 각각은 이후 400과 850nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 의 형태의 평탄화된 최적합 곡선으로 근사되었다. 각각의 경우에, 측정된 스펙트럼의 고 주파 성분을 격리시키기 위하여 이후 최적합 곡선을 측정된 투과 스펙트럼으로부터 제하였다. 곡선(1110, 1112, 1114) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 850 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta \text{FB} = \Delta \text{comb} = 0.0172$, $\Delta 1 = 0.0288$, 및 $\Delta 2 = 0.0312$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 또한 서로로부터 제하여, 곡선(1116)으로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(1116)의 표준 편차는 400과 850 nm의 한계값 사이에서 $\Delta \text{diff} = 0.0482$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0288$$

$$\Delta 2 = 0.0312$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0482$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0172$$

여기서, 패킷들 각각은, 필름 바디 또는 라미네이트에 대한 상당히 낮은 값에 비하여, 상대적으로 큰 높은 주파수 변동을 가진다.

2개 이상의 단일 패킷 부분 반사 광대역 다층 광학 필름이 제조되었고 이들의 스펙트럼 특성이 측정되었다. 이후 측정된 스펙트럼에 대해, 몇 개의 상이한 라미네이트된 구조들 또는 필름 바디들이 시뮬레이션되는 방식으로 (그러나 실제로 제조되지는 않았음) 컴퓨터 분석이 수행되었다. 컴퓨터 분석은 단일 패킷 필름 중 하나를 약간 더 두껍게 또는 더 얇게 만들 수 있게 해주어, 필름의 투과 스펙트럼이 더 긴 또는 더 짧은 파장으로 각각 이동되게 한다. 결과적인 (시뮬레이션된) 2-패킷 필름 바디의 고 주파 변동에 대한 이들 이동의 영향이 이후 모델링되고 분석될 수 있었다. 결과는 도 12a 내지 도 12d에 제공된다. 이 실험의 핵심은 공장에서 제조되고 있는 개별 다층 광학 필름이 그 구성 필름에 비해 감소된 고 주파 스펙트럼 변동을 가질 수 있는 다중-패킷 라미네이

트 또는 필름 바디를 생산하도록 온-라인(on-line)으로 또는 온-더-플라이(on-the-fly)로 조정될 수 있다는 것을 보이는 것이다.

또한 도 12a 내지 도 12d와 관련하여, 275개 미세층들의 일 미세층 패킷만을 갖는 베이스 다층 광학 필름이 구성되었고, 미세층들은 위에서 언급된 90/10 coPEN인 한 중합체 재료와 위에서 언급된 90/10 coPEN와 PETg의 55/45 혼합인 다른 중합체 재료를 이용하여 교호하는 A, B 패턴으로 배열되어 있다. 이 재료들이 공압출되고, 다이를 통해 공급되고, 그리고 주조 롤로 주조되었다(예를 들어, 미국 특허 제6,783,349호(니빈(Neavin) 등) 참조). 광대역 단일 패킷 다층 광학 필름을 생성하기 위하여, 주조 웨브가 이후 섭씨 142도에서 폭 방향으로 약 6:1 텐터 연신 비율 및 3.5:1 길이 배향을 이용하여 비대칭적인 방식으로 2축으로 배향되었다. 이 단일 패킷 베이스 필름의 2 조각이 거의 동일한 교차-웨브 위치에서 그러나 필름 롤 상의 상이한 다운-웨브 위치들에서 웨브로부터 절단었고, 이는 유사한 제1 및 제2 미세층 패킷을 각각 갖는 제1 및 제2 필름을 제공하였다. 각각의 필름은 그의 평면내 통과축(주 축)을 따라 상당한 반사율을 가졌다. 이 필름 조각들 각각의 투과율은 필름의 통과축을 따라 선형적으로 편광된 수직으로 입사된 광을 이용하여 측정되었고, 그 결과는 도 11에 곡선(1212a, 1214a)으로 도시된다. 알 수 있는 바와 같이, 이들 필름은 수직 입사시 400 nm 부터 약 1250 nm로 연장하는 넓은 반사 대역에서 통과축을 따라 부분 반사율을 보였다.

제1 시뮬레이션된 라미네이트 또는 필름 바디가 이후 도 9b와 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로 곡선(1212a, 1214a)을 이용하여 평가되었다. 곡선(1212a, 1214a) 각각에 대해 동일한 입사 조건이 사용되었음을 가정하여, 제1 필름 바디의 계산된 투과가 도 12a에 곡선(1210a)으로 도시된다. 이 곡선은 주어진 입사 조건 하에서 개별 필름 조각들을 함께 라미네이팅함으로써 제조된 필름 바디에 대해 측정될 투과율을 나타내는 것으로 여겨진다.

곡선(1210a, 1212a, 1214a) 각각은 이후 400과 1150 nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 형태의 평탄화된 최적합 곡선에 의해 근사되었다. 각각의 경우에, 측정된/계산된 스펙트럼의 고 주파 성분을 격리시키기 위하여 이후 최적합 곡선을 측정된 또는 계산된 투과 스펙트럼으로부터 제하였다. 곡선(1210a, 1212a, 1214a) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 950 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta FB = \Delta comb = 0.0261$, $\Delta 1 = 0.0269$, 및 $\Delta 2 = 0.0231$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 또한 서로로부터 제하여, 곡선(1216a)으로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(1216a)의 표준 편차는 400과 950 nm의 한계값 사이에서 $\Delta diff = 0.0277$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0269$$

$$\Delta 2 = 0.0231$$

$$\Delta diff = 0.0277$$

$$\Delta comb = 0.0261$$

제2 시뮬레이션된 라미네이트 또는 필름 바디가 이후 평가되었다. 이 제2 시뮬레이션된 라미네이트는 제1 단일 패킷 필름의 스펙트럼(도 12a의 곡선(1212a) 참조)이 제1 단일 패킷 필름의 두께에 있어서 3%의 증가를 나타내도록 파장이 이동된 것을 제외하고는, 제1 시뮬레이션된 라미네이트(도 12a)와 실질적으로 동일했다. 두꺼워진 제1 패킷의 계산된 투과 스펙트럼이 도 12b에 곡선(1212b)으로 도시된다. 도 12b의 곡선(1214b)은 도 12a의 곡선(1214a)과 동일하고, 곡선(1210b)은 식(1)을 이용한 곡선(1212b, 1214b)의 조합을 나타낸다.

이전과 같이, 곡선(1210b, 1212b, 1214b) 각각은 이후 400과 1150 nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^3$ 형태의 평탄화된 최적합 곡선에 의해 근사되었고, 각각의 측정 또는 계산된 투과 스펙트럼으로부터 이 최적합 곡선을 제하여 고 주파 성분을 격리시켰다. 각각의 곡선(1210b, 1212b, 1214b)에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 950 nm 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta FB = \Delta comb = 0.0203$, $\Delta 1 = 0.0279$, 및 $\Delta 2 = 0.0231$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 다시 서로로부터 제하여 곡선(1216b)으로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후 차동 스펙트럼(1216b)의 표준 편차는 400과 950nm의 한계값 사이에서 $\Delta diff = 0.0404$ 로 계산되었다. 요약하면, 이후, 이 예에 대해, 하기와 같은 값을 가진다.

$$\Delta 1 = 0.0279$$

$$\Delta 2 = 0.0231$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0404$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0203$$

제3 시뮬레이션된 라미네이트 또는 필름 바디가 이후 평가되었다. 이 제3 시뮬레이션된 라미네이트는 제1 단일 패킷 필름의 스펙트럼(도 12a의 곡선(1212a) 참조)이 제1 단일 패킷 필름의 두께에 있어서 2%의 감소를 나타내도록 파장이 이동된 것을 제외하고는, 제1 시뮬레이션된 라미네이트(도 12a)와 실질적으로 동일했다. 박막화된 제1 패킷의 계산된 투과 스펙트럼이 도 12c에 곡선(1212c)으로 도시된다. 도 12c의 곡선(1214c)은 도 12a의 곡선(1214a)과 동일하고, 곡선(1210c)은 식(1)을 이용한 곡선(1212c, 1214c)의 조합을 나타낸다.

이전과 같이, 곡선(1210c, 1212c, 1214c) 각각은 이후 400과 1150 nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1 \lambda + a_2 \lambda^2 + a_3$

λ^3 형태의 평탄화된 최적합 곡선에 의해 근사되었고, 각각의 측정 또는 계산된 투과 스펙트럼으로부터 최적합 곡선을 제하여 고 주파 성분을 격리시켰다. 곡선(1210c, 1212c, 1214c) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 950 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta \text{FB} = \Delta \text{comb} = 0.0286$, $\Delta 1 = 0.0260$, 및 $\Delta 2 = 0.0231$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 다시 서로로부터 제하여 곡선(1216c)로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(1216c)의 표준 편차는 400과 950 nm의 한계값 사이에서 $\Delta \text{diff} = 0.0160$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0260$$

$$\Delta 2 = 0.0231$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0160$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0286$$

거의 동일한 스펙트럼이 조합되지만, 라미네이트의 표준 편차는 각각의 개별적인 필름의 표준 편차보다 단지 조금 더 높다는 것에 주목하여야 한다.

도 12a의 제1 시뮬레이션된 필름 바디가 이후 상이한 입사 조건에서 재평가되었다. 이제, 필름의 통과축을 따라 선형적으로 편광된 수직으로 입사되는 광이 아니라, 광이 통과축에서 60도로 경사지게 입사되는 입사 조건이 이용되었고, 이 광은 입사 평면 내에서 편광(p-편광)되어 있다. 제1 및 제2 단일 패킷 필름의 투과율이 이 새로운 입사 조건에서 측정되었고, 결과는 도 12d에 곡선(1212d, 1214f)로 각각 플롯된다.

시뮬레이션된 필름 바디가 이후 도 12a와 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로 곡선(1212d, 1214d)을 이용하여 평가되었다. 곡선(1212d, 1214d) 각각에 대해 동일한(경사진) 입사 조건이 사용되었음을 가정하여, 시뮬레이션된 필름 바디의 계산된 투과가 도 12d에 곡선(1210d)으로 도시된다. 이 곡선은, 주어진(경사진) 입사 조건 하에서, 개별 필름 조각들을 함께 라미네이팅함으로써 제조된 필름 바디에 대해 측정될 수 있는 투과율을 나타내는 것으로 여겨진다. 이 계산에서 공기 계면들이 무시되었는데 그 이유는 p-편광된 광에 대해, 표면 반사율이 브루스터 각 근처에서 무시될 수 있기 때문이다.

곡선(1210d, 1212d, 1214d) 각각은 이후 400과 950nm의 한계값 사이에서 $a_0 + a_1 \lambda + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda^3$ 형태의 평탄화된 최적합 곡선에 의해 근사되었고, 각각의 측정 또는 계산된 투과 스펙트럼으로부터 이 최적합 곡선을 제하여 고 주파 성분을 격리시켰다. 곡선(1210d, 1212d, 1214d) 각각에 대한 고 주파 성분의 표준 편차가 400과 800 nm의 한계값 사이에서 계산되었고, 결과는 각각 $\Delta \text{FB} = \Delta \text{comb} = 0.0176$, $\Delta 1 = 0.0219$, 및 $\Delta 2 = 0.0220$ 이다. 제1 패킷과 제2 패킷의 투과 스펙트럼을 다시 서로로부터 제하여 곡선(1216d)로 플롯된 차동 스펙트럼을 계산하였다. 3차 최적합 곡선을 제한 후, 차동 스펙트럼(1216d)의 표준 편차는 400과 800 nm의 한계값 사이에서 $\Delta \text{diff} = 0.0141$ 인 것으로 계산되었다. 요약하면, 이제, 이 예에 대해 하기의 값들을 갖는다.

$$\Delta 1 = 0.0219$$

$$\Delta 2 = 0.0220$$

$$\Delta \text{diff} = 0.0141$$

$$\Delta \text{comb} = 0.0176$$

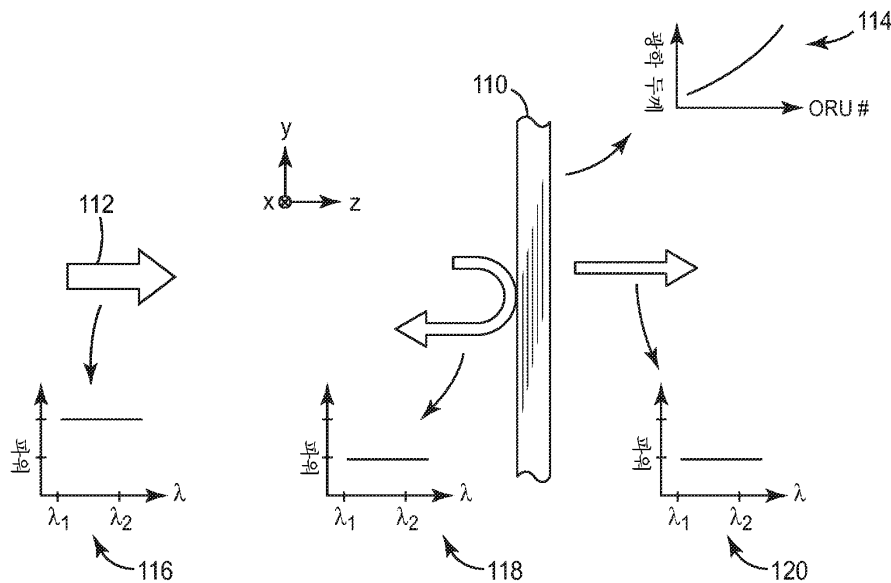
위의 예 및 교지로부터, 광대역의, 부분적으로 반사하는 미세층 패킷들이 다중-패킷 필름 바디 내로 통합되는 방식이, 필름 바디의 색상, 특히 반사 및/또는 투과 스펙트럼에서의 원치 않는 고 주파 변동과 관련된 색상의 관점에서 중요할 수 있다는 것을 알 수 있다. 바람직하게는, 필름 바디의 적어도 제1 테스트 영역에서 Δdiff 가 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 중 적어도 하나보다 크다.(도 12d의 실시예는, 차 변동 Δdiff 가 작지만, Δcomb 및 ΔFB 가 $\Delta 1$ 또는 $\Delta 2$ 보다 작기 때문에, 반례와 같은 것이다.) Δdiff 가 또한 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 각각보다 클 수 있다. 게다가, ΔFB (및/또는 Δcomb)가 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 중 적어도 하나보다 작거나, 제1 테스트 영역에서 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 각각보다 작을 수 있다. 필름 바디의 제2 테스트 영역에서는, 양 Δdiff , $\Delta 1$, $\Delta 2$, ΔFB , 및 Δcomb 가 $\Delta\text{diff}2$, $\Delta 3$, $\Delta 4$, $\Delta\text{FB}2$, 및 $\Delta\text{comb}2$ 로 각각 지칭될 수 있고, $\Delta\text{diff}2$ 가 $\Delta 3$ 및 $\Delta 4$ 중 적어도 하나보다 작거나, $\Delta 3$ 및 $\Delta 4$ 각각보다 작을 수 있다. 게다가, $\Delta\text{FB}2$ 및/또는 $\Delta\text{comb}2$ 가 $\Delta 3$ 및 $\Delta 4$ 중 적어도 하나보다 크거나, 이것 또는 이것들이 $\Delta 3$ 및 $\Delta 4$ 둘 모두보다 크거나 이것 또는 이것들이 $\Delta 3$ 및 $\Delta 4$ 중 하나 또는 이 둘 모두보다 작을 수 있고, 반면 ΔFB 및/또는 Δcomb 은 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 중 적어도 하나보다 작거나 $\Delta 1$ 및 $\Delta 2$ 각각보다 작을 수 있다.

달리 언급하지 않는 한, 본 명세서 및 특허청구범위에 사용되는 양, 특성의 측정치 등을 표현하는 모든 숫자는 "약"이라는 용어에 의해 수식되는 것으로 이해되어야 한다. 그에 따라, 달리 언급하지 않는 한, 명세서 및 특허청구범위에 기술되는 숫자 파라미터는 본 출원의 개시 내용을 이용하여 당업자가 달성하고자 하는 원하는 특성에 따라 다를 수 있는 근사치이다. 특허청구범위의 범주에 대한 등가물의 원칙의 적용을 제한하려고 시도함이 없이, 각각의 수치적 파라미터는 적어도 보고된 유효 숫자의 수의 관점에서 그리고 통상의 반올림 기법을 적용하여 해석되어야 한다. 본 발명의 넓은 범주를 기술하는 수치 범위 및 파라미터가 근사치임에도 불구하고, 임의의 수치 값이 본 명세서에 설명된 특정 예에 기술되는 한, 이들은 가능한 한 합리적으로 정확히 보고된다. 그러나, 임의의 수치 값은 시험 또는 측정 한계와 관련된 오차를 분명히 포함할 수 있다.

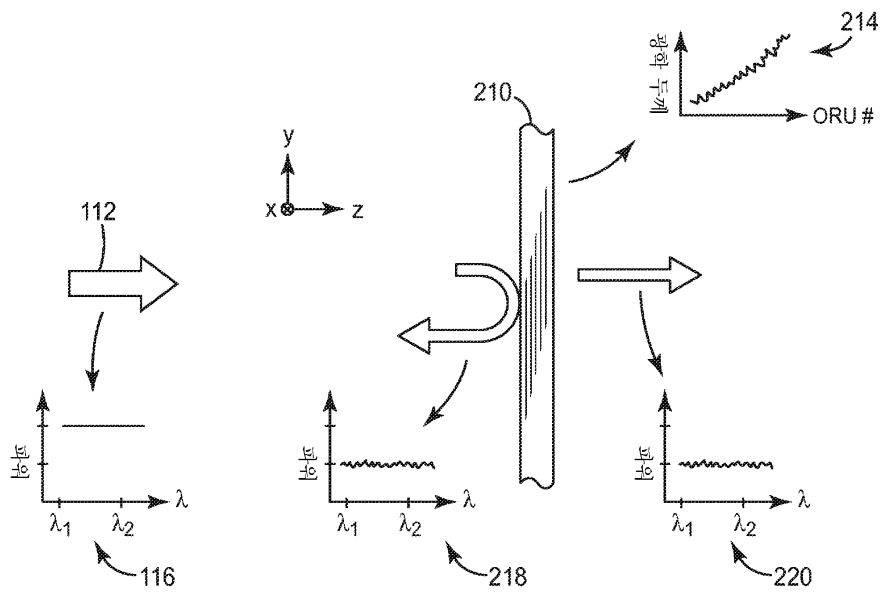
본 발명의 다양한 수정 및 변경이 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 기술 분야의 당업자에게는 명백할 것이며, 본 발명이 본 명세서에 기술된 예시적인 실시 형태로 제한되지 않는다는 것을 잘 알 것이다. 예를 들어, 읽는 사람은, 달리 언급하지 않는 한, 하나의 개시된 실시 형태의 특징이 또한 모든 다른 개시된 실시 형태에도 적용될 수 있는 것으로 가정해야 한다. 또한, 본 명세서에서 언급된 모든 미국 특허, 특허 출원 공개, 및 기타 특허와 비특허 문서가, 이상의 개시 내용과 모순되지 않는 한, 참조 문헌으로서 포함된다는 것을 잘 알 것이다.

도면

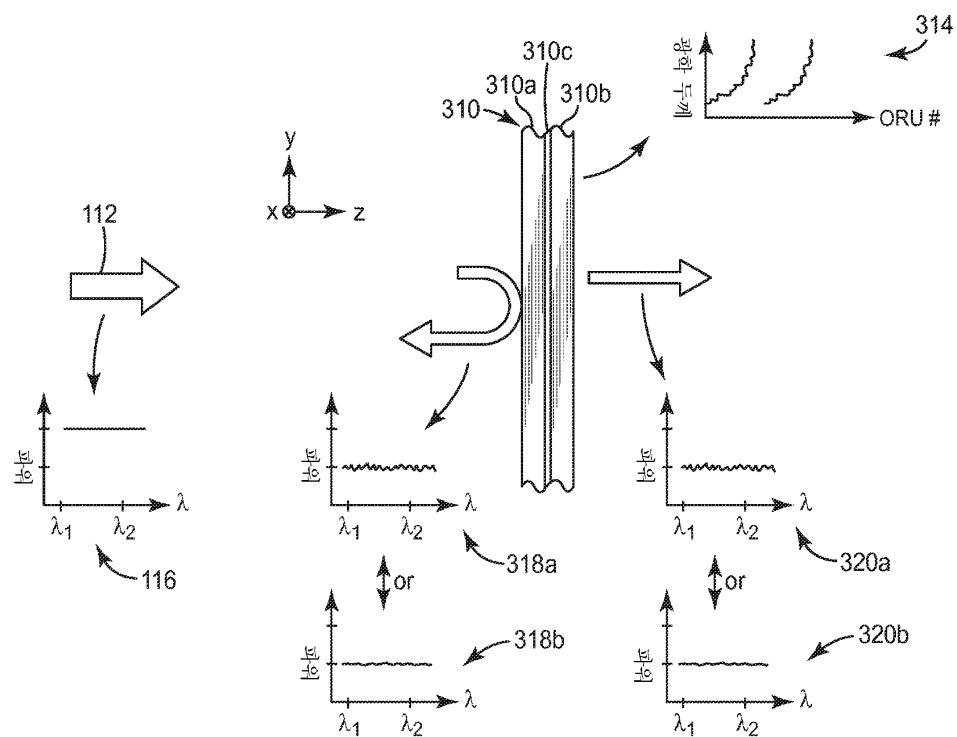
도면1



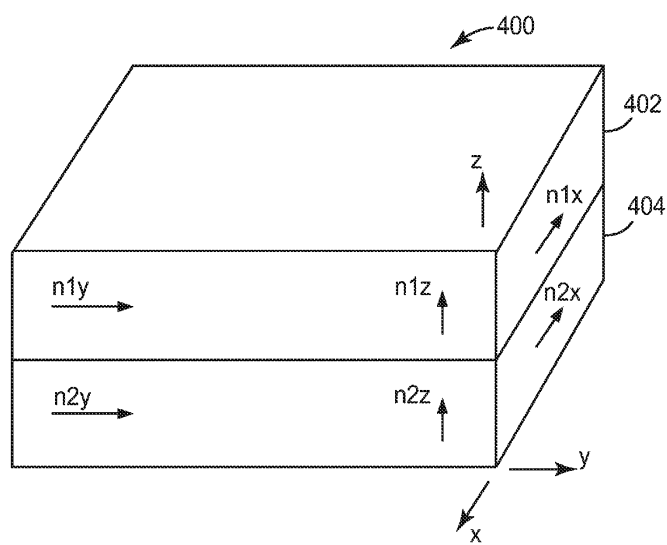
도면2



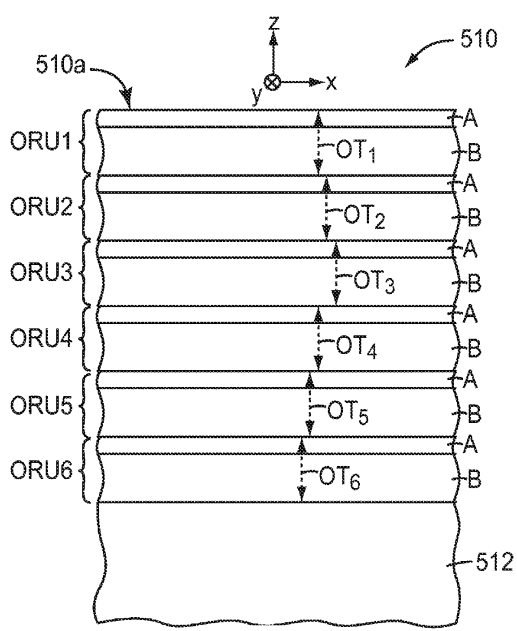
도면3



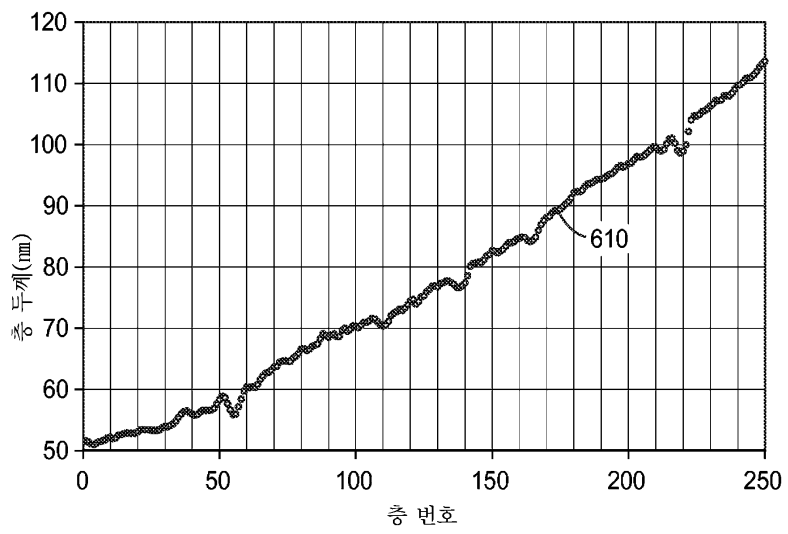
도면4



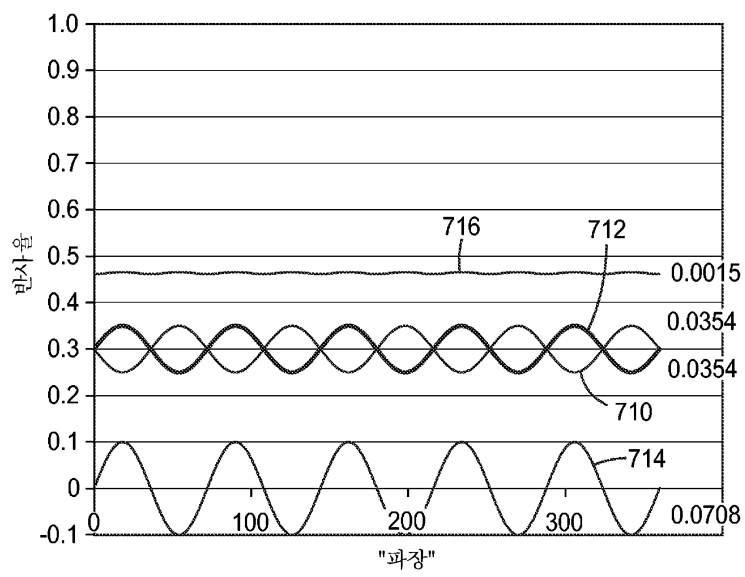
도면5



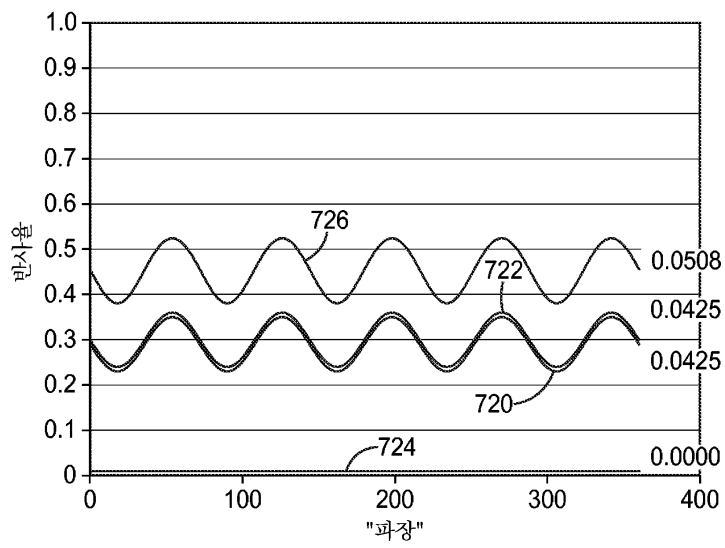
도면6



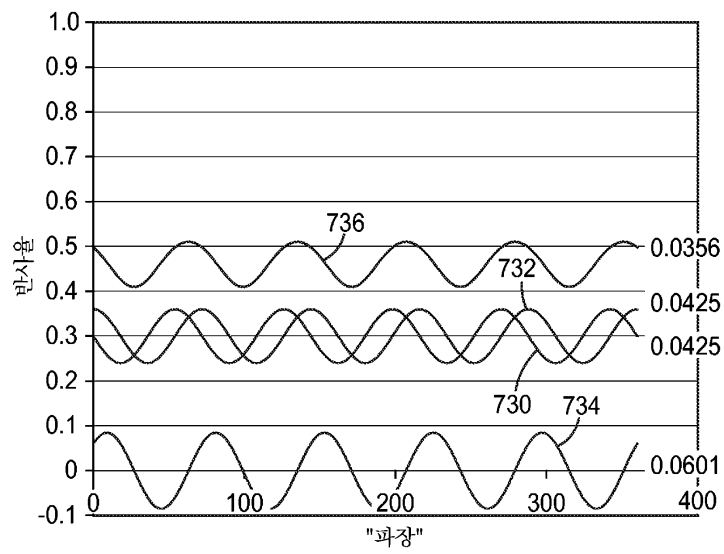
도면7a



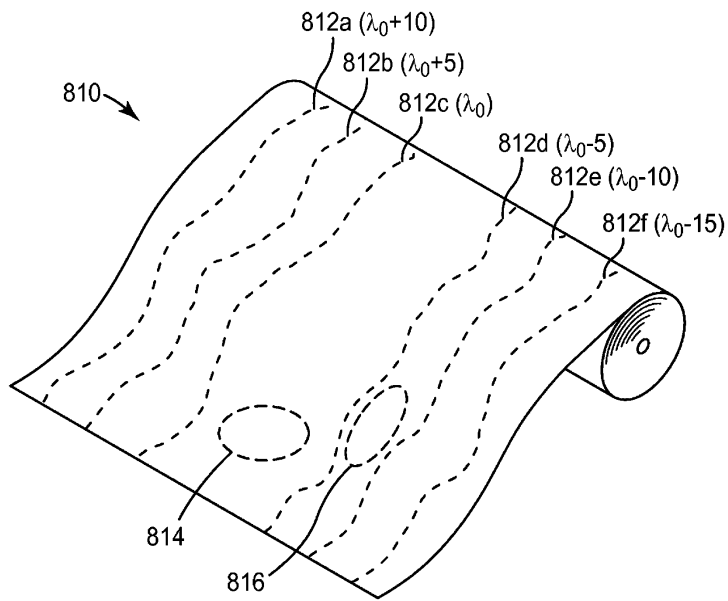
도면7b



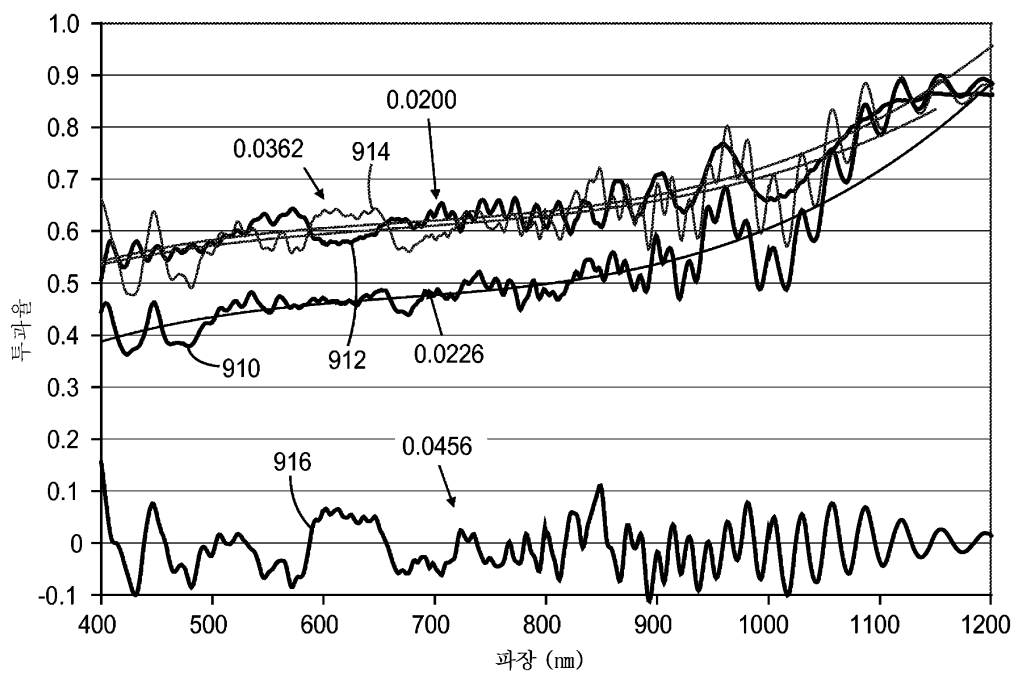
도면7c



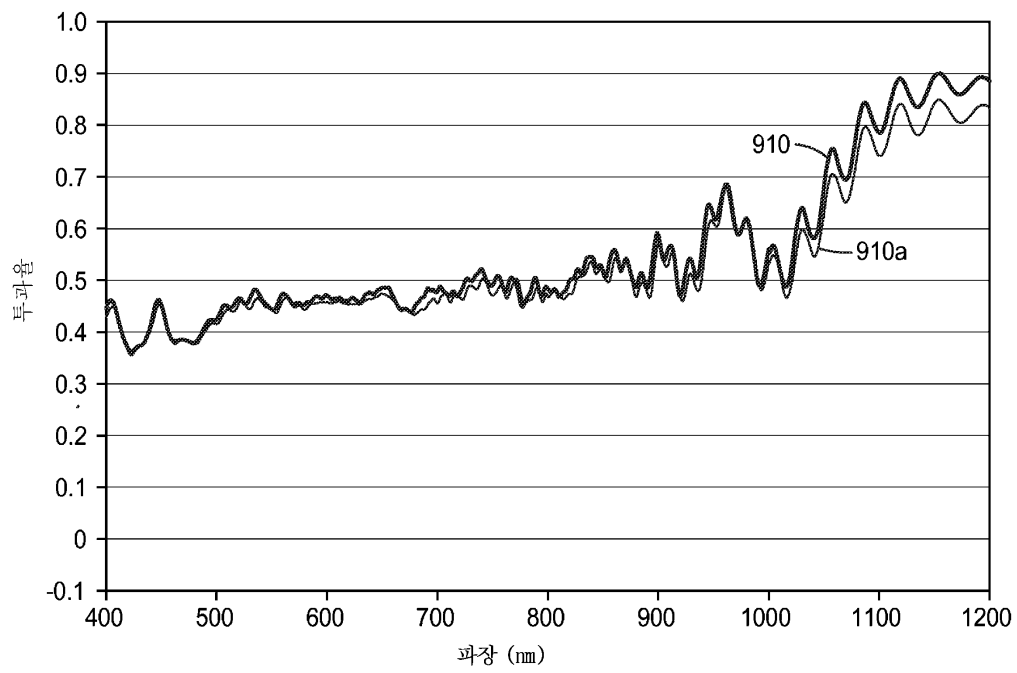
도면8



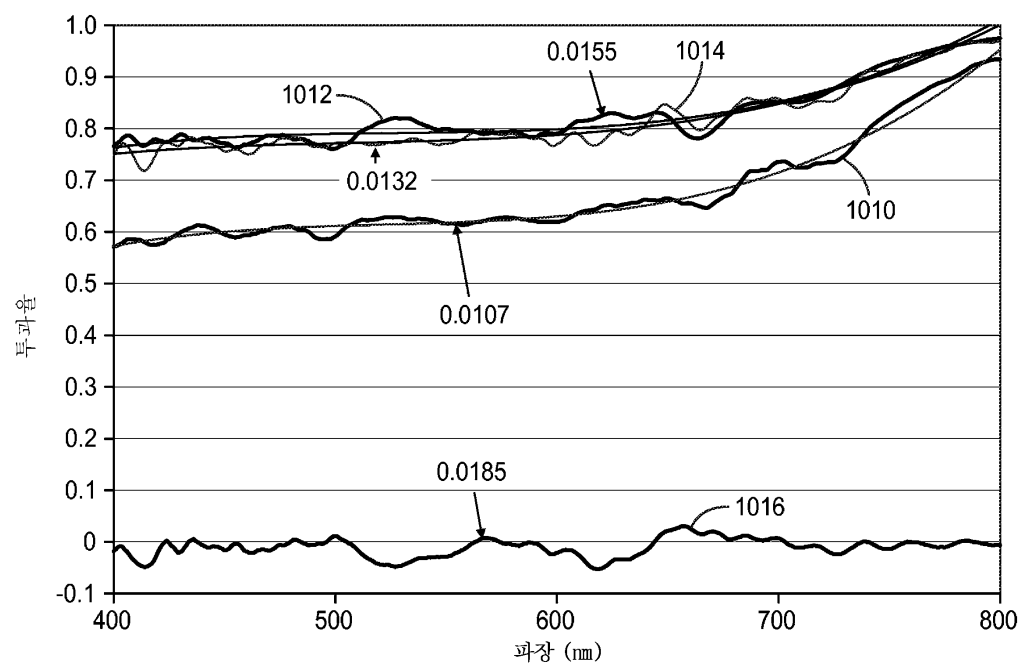
도면9a



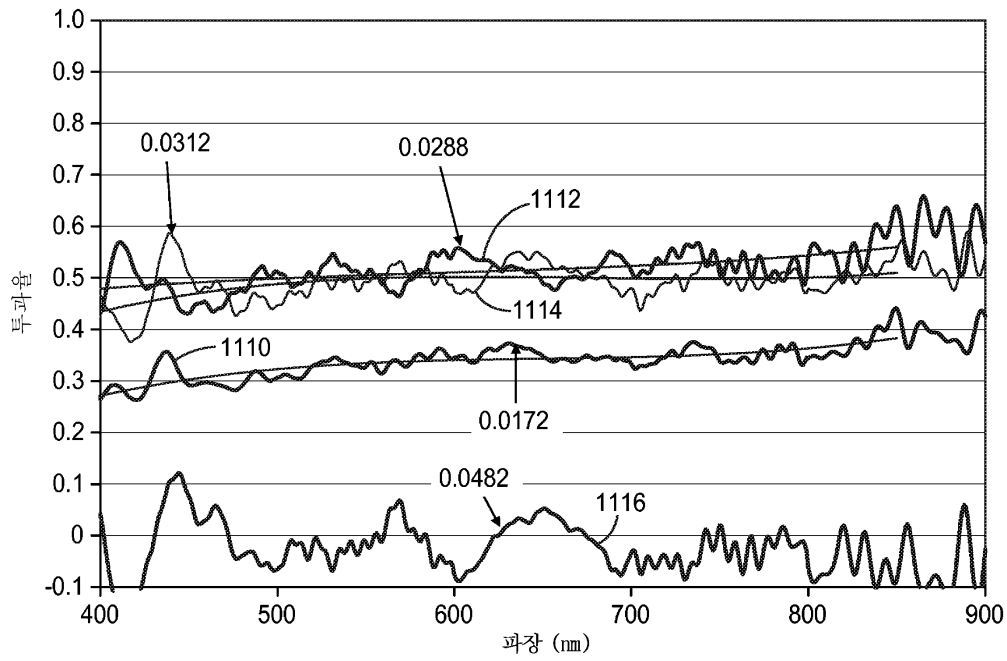
도면9b



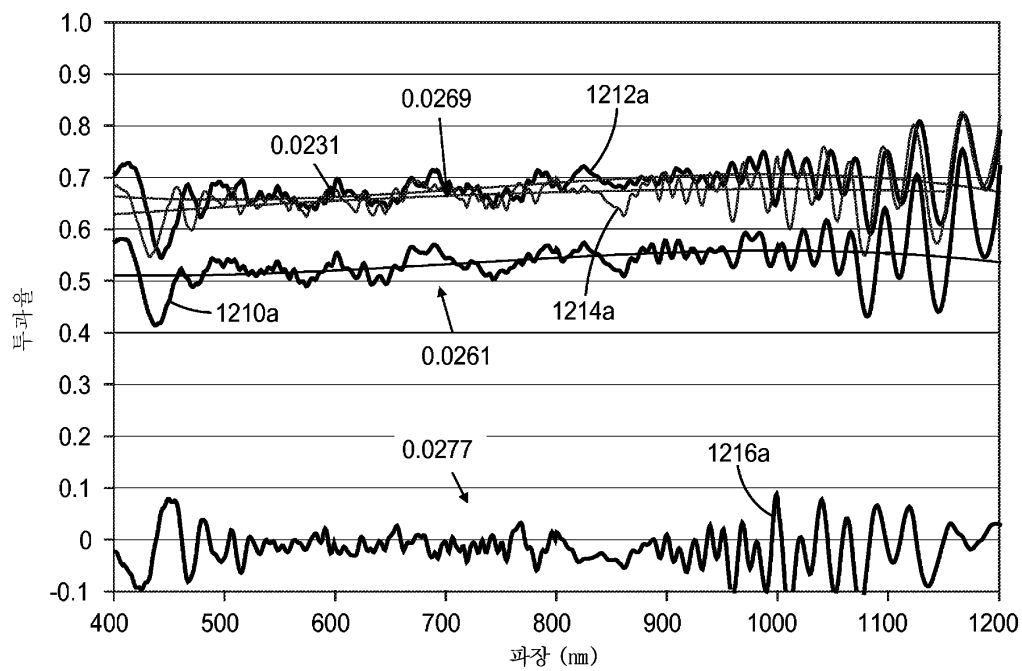
도면10



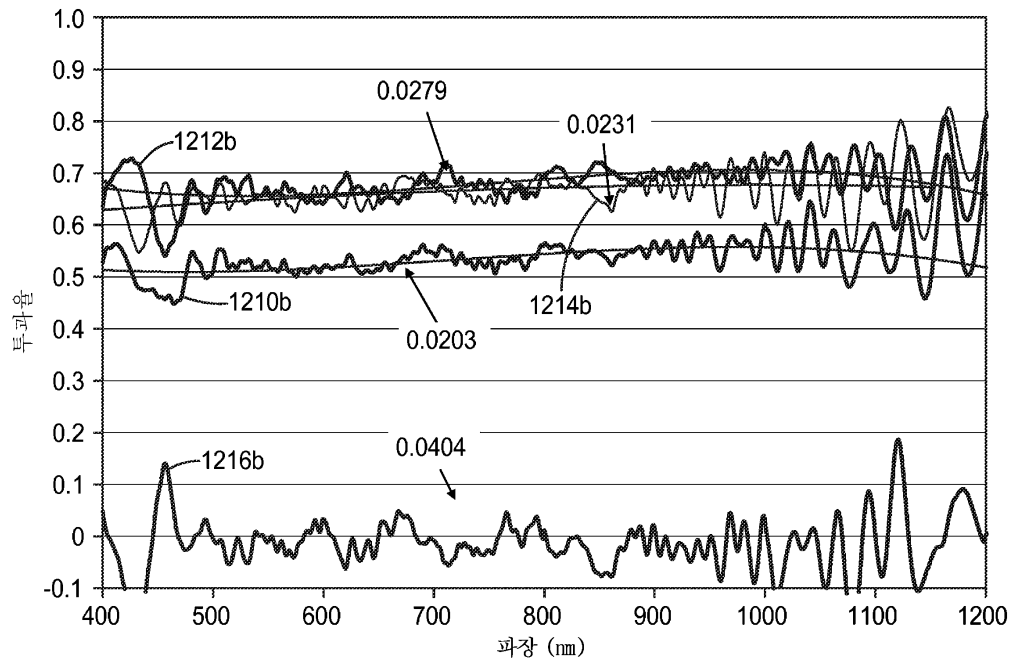
도면11



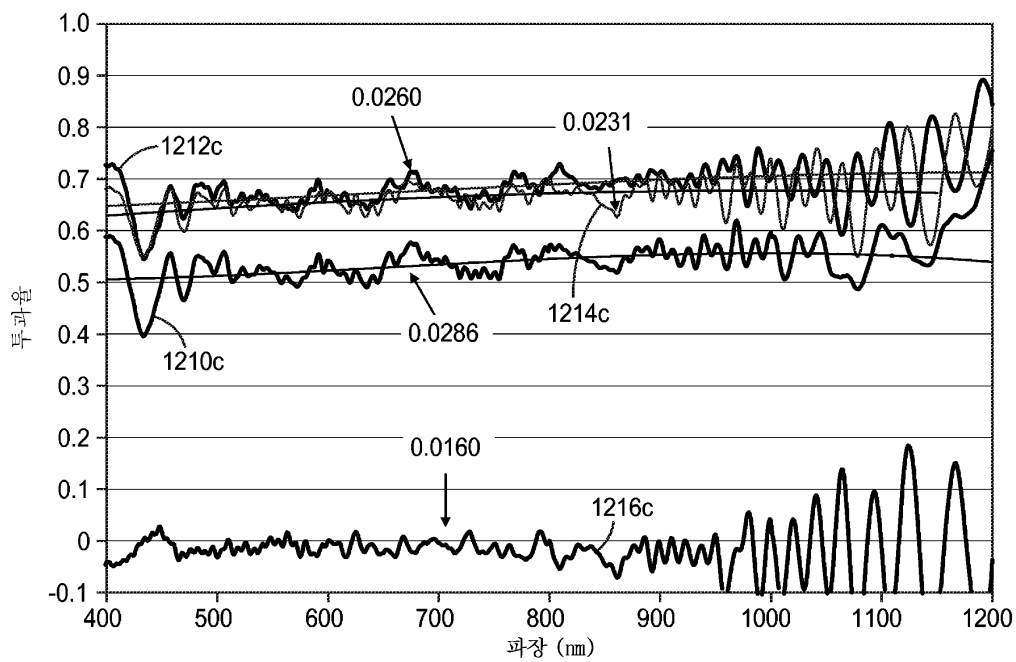
도면12a



도면12b



도면12c



도면12d

