(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월25일
(11) 등록번호 10-1597613
(24) 등록일자 2016년02월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 6/028 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7006874
(22) 출원일자(국제) 2010년08월17일
심사청구일자 2015년08월06일
(85) 번역문제출일자 2012년03월16일
(65) 공개번호 10-2012-0061891
(43) 공개일자 2012년06월13일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/045790
(87) 국제공개번호 WO 2011/022422
국제공개일자 2011년02월24일
(30) 우선권주장
61/234,530 2009년08월17일 미국(US)
61/235,506 2009년08월20일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US6790529 B2
US20050008312 A1
WO1997033390 A1

(73) 특허권자
팬듀트 코포레이션
미국 일리노이주 60487 틴리 파크 팬듀트 드라이브 18900
(72) 발명자
핌피넬라 리차드 제이.
미국 일리노이 60423 프랭크포트 코퀼레 드라이브 11864
투듀리 개스톤 이.
미국 일리노이 60441 로크포트 길버트 드라이브 17573
(74) 대리인
송봉식, 정삼영

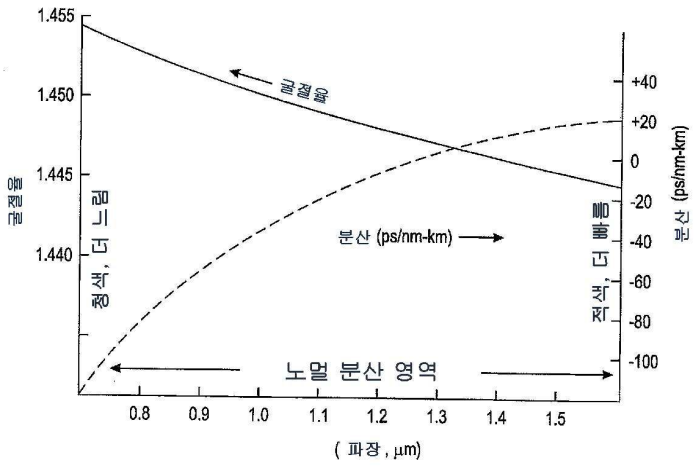
전체 청구항 수 : 총 7 항 심사관 : 송병준

(54) 발명의 명칭 **자가보상형 멀티모드 섬유**

(57) 요 약

향상된 멀티모드 광섬유 케이블은 고속 통신 시스템에 사용되는 레이저 소스의 파장 분포 및 방출 패턴을 보상하도록 설계된다. 향상된 멀티모드 광섬유 케이블은 모드 분산을 줄이기 위해 파장 의존적인 VCSEL 극성 방출 패턴을 보상한다. 향상된 비트 에러율(BER) 시스템 성능 및/또는 높은 대역폭 광 채널 링크에서 더 큰 리치를 달성하는 것이 가능한 향상된 멀티모드 광섬유 케이블 내의 모드 분산을 감소시는 기술이 개시된다. 레이저 내의 파장 의존적인 극성 방출 패턴의 효과를 무시하고, 모드 분산을 최소화하도록 향상된 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하고 생산하는데 상당한 노력을 기울여 왔다. 재료 분산 효과는 모드 분산에 상당한 영향을 미치고, 재료 분산 효과를 보상하기 위해 표준 포물선형 반사율 프로파일을 수정함으로써, 전체적인 모드 분산이 감소될 수 있다.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 제조하는 방법으로서,

기준 멀티모드 광섬유 케이블에 레이저를 연결하는 단계;

각각의 광 방사선 펄스가 상이한 방사사 오프셋으로 런칭되도록, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 상기 레이저에 의한 복수의 광 방사선 펄스를 발생시키고 런칭시키는 단계;

각각의 방사상 오프셋에서 각각의 광 펄스에 대한 펄스 지연과 함께 DMD 파형 프로파일을 판정하는 단계;

상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라, 펄스 지연 차가 좌측 또는 우측 DMD 시간 파형 시프트를 형성하는지 판정하는 단계;

각각의 DMD 파형 프로파일에 존재하는 임의의 펄스 지연 차를 보상하고, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부를 보상하는 굴절율 프로파일을 가진 상기 자가 보상형 멀티모드 광섬유를 설계하는 단계; 및

상기 자가 보상형 멀티모드 광섬유를 상기 설계에 따라 제조하는 단계를 포함하고,

상기 굴절율 프로파일은 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블이 상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라 좌측 DMD 시간 파형 시프트를 나타낸다면, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블의 코어의 바깥 영역에서 표준 포물선형 굴절율보다 낮은 굴절율을 포함하고; 또는

상기 굴절율 프로파일은 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블이 상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라 우측 DMD 시간 파형 시프트를 나타낸다면, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블의 코어의 바깥 영역에서 표준 포물선형 굴절율보다 높은 굴절율을 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 제조하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 상기 재료 분산의 적어도 일부를 보상하는 상기 굴절율 프로파일은 모드 분산 효과를 위해 상기 멀티모드 광섬유 케이블 내의 임의의 보상을 증가시키거나 감소시킴으로써 설계되는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 제조하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 복수의 광 방사선 펄스 중 각각의 펄스를 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 런칭시키기 위해 단일모드 섬유를 사용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 제조하는 방법.

청구항 4

재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법으로서,

각각의 광 방사선 펄스가 상이한 방사상 오프셋으로 런칭되도록, 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 복수의 광 방사선 펄스를 발생시키고 런칭하는 단계;

각각의 방사상 오프셋에서 각각의 광 펄스에 대한 펄스 지연과 함께 DMD 파형 프로파일을 판정하는 단계;

상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라, 펄스 지연 차가 좌측 또는 우측 DMD 시간 파형 시프트를 형성하는지 판정하는 단계;

각각의 DMD 파형 프로파일 내에 존재하는 임의의 펄스 지연 차를 보정함으로써 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부를 보상하는 상기 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블에 대한 굴절

율 프로파일을 설계하는 단계; 및

상기 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 상기 설계에 따라 제조하는 단계를 포함하고,

상기 굴절율 프로파일은 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블이 상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라 좌측 DMD 시간 파형 시프트를 나타낸다면, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블의 코어의 바깥 영역에서 표준 포물선형 굴절율보다 낮은 굴절율을 포함하고; 또는

상기 굴절율 프로파일은 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블이 상기 방사상 오프셋이 증가됨에 따라 우측 DMD 시간 파형 시프트를 나타낸다면, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블의 코어의 바깥 영역에서 표준 포물선형 굴절율보다 높은 굴절율을 포함하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 상기 재료 분산의 적어도 일부를 보상하는 상기 굴절율 프로파일은 모드 분산 효과를 위해 상기 멀티모드 광섬유 케이블 내의 임의의 보상을 증가시키거나 감소시킴으로써 설계되는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서, 상기 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 상기 복수의 광 방사선 펄스 각각을 런칭시키기 위해 단일모드 섬유를 사용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법.

청구항 7

제 4 항에 있어서, 기준 멀티모드 광섬유 케이블을 레이저에 연결하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 자가 보상형 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법.

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

발명의 설명

배 경 기 술

[0001] 광섬유를 통해 전파되는 광 펄스의 손상은 감쇠 및 분산의 결과이다. 분산은 매체를 통과할 때 불연속 데이터 비트가 퍼지는(broadening) 것이다. 펄스-퍼짐은 순차적인 데이터 비트 간의 오버랩을 야기하고, 이는 비트가 논리 0 또는 1중 어떤 것으로 해석되어야 하는지 불확실성을 증가시킨다. 이러한 논리 상태의 불확실성은 비트 에러율(BER)에 관하여 정량화된다. 여기서, BER은 주어진 시간 기간에서 전송된 전체 비트수로 에러 비트수를 나눈 값으로 정의된다. 고속 이더넷에 대하여, BER은 전송되는 1조개의 비트당 1개의 에러비트를 초과하지 않아야 한다($BER<10^{-12}$). 멀티모드 광섬유에서 전체 분산에 대한 2개의 요인(색분산(chromatic dispersion) 또는 재료 분산(material dispersion) 및 모드 분산(modal dispersion))이 존재한다.

[0002] 색 또는 재료 분산은 재료의 굴절율이 광의 파장에 따라 변하기 때문에 발생한다. 이는 재료가 광에 응답하는 특성 공진 주파수에 기인한다(광은 진행하는 전자기장이다). 더 짧은 파장이 더 높은 굴절율(즉, 더 큰 광 밀도)을 만나면, 더 긴 파장보다 더 느리게 진행한다. 광 펄스는 전형적으로 수개의 파장을 포함하기 때문에, 광 신호의 스펙트럼 성분들은 그들이 전파함에 따라 시간에서 퍼지거나, 분산되어, 펄스 폭이 넓어지게 한다.

[0003] 광 필터는 거의 순수한 실리카(SiO_2)여서, 광섬유의 색 또는 재료 분산은 순수한 퓨징된 실리카와 본질적으로 동일하다. 도 1에서, 파장의 함수로서 굴절율 및 퓨징된 실리카의 재료 분산을 도시한다. 재료의 굴절율이 파장에 의존하기 때문에, $n(\lambda)$, 재료 내의 광의 속도는 또한 아래와 같이 파장에 의존한다.

[0004] $$v(\lambda)=\frac{c}{n(\lambda)} \quad (1)$$

[0005] 여기서, c는 진공에서의 광의 속도(299,792,458 미터/초)이다.

[0006] 식 1을 참조하면, ("청색" 광이라 하는) 짧은 파장에 대한 굴절율은 ("적색" 광이라 하는) 더 긴 파장의 굴절율보다 더 크고, 더 긴 파장(적색)의 광은 더 짧은 파장(청색)보다 더 빠르게 진행한다.

[0007] 광이 이러한 특성을 가지고 매체를 통해 진행하는 동안, 이러한 효과는 "노멀" 분산이라 한다. 더 짧은 파장에 대한 굴절율이 더 긴 파장에 대한 굴절율보다 작다면, 청색 광이 적색 광보다 더 빠르게 진행할 것이므로, 이러한 분산은 비정상(anomalous)이라 한다.

[0008] 재료 분산과 더불어, 멀티모드 광섬유 케이블(MMF)과 같은 광 도파관을 진행하는 광 신호는 또한 일반적으로 MMF에서 훨씬 큰 영향인 모드 분산을 겪는다. 광의 파형 특성, 및 광섬유의 도파관 특성으로 인해, 광 신호는 모드라 불리는 불연속적인 광 경로를 따라 광섬유를 가로지른다. 펄스의 광 파워는 불연속 모드의 합에 의해 전달된다. 도 2a 및 2b를 참조하면, MMF는 모든 모드가 동시에 광섬유의 출력에 도달하도록 최적화된다. 이는

광섬유 코어의 굴절율 프로파일을 조절하거나 "그레이딩(grading)" 함으로써 달성된다. 더 큰 각도로 진행하는(그리고, 결과적으로 더 먼 거리를 진행하는) 모드는 더 빨리 진행해야 한다. 이러한 모드를 고차 모드라 한다. 작은 각으로 진행하는 모드(저차 모드)는 그레이딩된 굴절율 광섬유에서 더 느리게 진행한다. 가장 빠른 모드와 가장 느린 모드 사이의 전파 지연 차는 인터-모드 분산, 또는 단순히 모드 분산을 결정하기 위해 사용된다.

[0009] 모드 분산을 최소화하기 위해, 표준 그레이디드형 섬유(GI-MMF)는 코어를 가로지르는 반사율이 포물선 분포를 따르도록 설계된다(본 명세서에서 표준 포물선형 굴절율 프로파일이라 한다). 최소 모드 분산에 대한 굴절율의 방사상 분포를 설명하는 식은 아래와 같이 주어진다.

[0010]
$$n(r) = n_1\left[1 - 2\left(\frac{r}{R}\right)^{\alpha}\Delta\right]^{1/2} \quad (2)$$

[0011] 여기서, α는 2와 가까운 숫자이다(그리고, 각각의 섬유 제조자들에게 특정된다). R은 섬유 코어의 반지름이고, Δ는 아래와 같이 주어진다.

[0012]
$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (3)$$

[0013] MMF 내의 모드 분산을 특징짓기 위해 사용되는 미터법은 통신산업협회(Telecommunications Industry Association) 문서번호 TIA-455-220-A에 명시되어 있고, 미터당 피코초 단위(ps/m)로 표현되어, 전체 지연이 섬유 길이에 의해 노멀라이징되는 DMD(Differential Mode Delay)이다. DMD에 의해 측정된 저 모드 분산은 일반적으로 더 높은 대역폭의 MMF를 야기한다. 제조 공정에서 더 우수한 컨트롤은 모드 분산을 최소화하는 표준 포물선형 굴절율 프로파일에 더 근접한 프로파일을 생산한다. 현재 능력을 능가하여, 모드 분산을 감소시키기 위한 광원의 방출 패턴 및 파장 분포에 대하여 보상하도록, 표준 포물선형 굴절율 프로파일을 변형하는 것이 바람직할 것이다. 또한 이러한 변형은 DMD 및 섬유 대역폭을 정밀하게 특징짓기 위해 현재의 MMF 테스트 방법에 포함되는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0014] 하나의 형태로서, 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 향상된 멀티모드 광섬유 케이블을 제조하는 방법이 제공된다. 본 방법은 기준 멀티모드 광섬유 케이블과 레이저를 연결하는 단계, 및 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 레이저에 의한 복수의 펄스의 광 방사선을 발생시키고 런칭하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 각각의 광 방사선 펄스는 상이한 방사상 오프셋으로 런칭된다. 본 방법은 또한, 각각의 방사상 오프셋에서 각각의 광 펄스에 대한 펄스 지연과 함께 DMD 파형 프로파일을 판정하는 단계, 및 각각의 DMD 파형 프로파일에 대한 펄스 지연에 차이가 존재하는지 판정하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 본 방법은 또한 각각의 DMD 파형 프로파일 내에 존재하는 임의의 펄스 지연 차를 보상하고, 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부분을 보상하는 향상된 굴절율 프로파일을 가진 향상된 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다.

[0015] 하나의 형태로서, 재료 분산 및 모드 분산을 모두 보상하는 향상된 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법이 제공된다. 본 방법은 레이저를 사용하여 멀티모드 광섬유 케이블로 런칭된 광 방사선 펄스에 기인하는 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내의 재료 및 모드 분산의 크기를 판정하는 단계, 및 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부분을 보상하는 향상된 멀티모드 광섬유 케이블에 대한 향상된 굴절율 프로파일을 설계하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다.

[0016] 하나의 형태로서, 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 향상된 멀티모드 광섬유 케이블을 설계하는 방법이 제공된다. 본 방법은 기준 멀티모드 광섬유 케이블로 복수의 광 방사선 펄스를 발생시키고 런칭하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 각각의 광 방사선 펄스는 상이한 방사상 오프셋으로 런칭된다. 본 방법은 또한 각각의 방사상 오프셋에서 각각의 광 펄스에 대한 펄스 지연과 함께 DMD 파형 프로파일을 판정하는 단계, 및 각각의 DMD 파형 프로파일 내에 존재하는 임의의 펄스 지연 차를 보정함으로써 기준 멀티모드 광섬유

케이블 내에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부를 보상하는 향상된 멀티모드 광섬유 케이블에 대한 향상된 굴절율 프로파일을 설계하는 단계를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다.

[0017] 본 발명의 범위는 첨부된 청구항에 의해서만 정의되며, 본 발명의 내용에 기재된 내용에 의해 영향을 받지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0018] 본 발명의 아래의 도면 및 설명을 참조하여 더 잘 이해될 수 있다. 도면의 컴포넌트들은 축척을 따르지 않았으며, 그 대신 본 발명의 원리를 설명하기 위해 강조된 부분이 존재한다.

도 1은 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 파장의 함수로서 순수한 실리카의 굴절율 및 재료 분산의 그래프를 도시한다.

도 2a는 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 상이한 모드 궤적을 가진 그레이디드형 인덱스 MMF의 제1 단면의 투시도를 도시한다.

도 2b는 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 섬유를 진행하는 다양한 모드의 속도를 일치시키는 표준 포물선형 굴절율 프로파일을 가진 그레이디드형 인덱스 MMF의 제2 단면의 투시도를 도시한다. 모든 모드는 이전 모델과 동일한 파장을 가지는 것으로 가정된다.

도 3은 본 발명의 하나의 실시예에 따른, GI-MMF 내의 모든 모드의 도달 시간 차를 측정하기 위한 DMD 파형의 그래프를 도시한다. 섬유의 길이에 의해 노멀라이징된, 도달 시간 차로부터, 섬유는 OM3 또는 OM4 타입 섬유에 부합하도록 등급화되고 분류된다. 상이한 색상은 단지 설명의 목적으로 사용되었다. 모든 모드는 동일한 파장을 가진다.

도 4a 및 4b는 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 유사한 DMD 및 EMB 값을 가진 2개의 섬유의 DMD 파형 프로파일의 그래프를 도시한다. 두 섬유는 모두 동일한 섬유 케이블로부터 만들어진다. 두 섬유는 모두 4540 MHz-km의 EMB를 가진다.

도 5a 및 5b는 본 발명의 하나의 실시예에 따른 청색 및 갈색 섬유에 대한 아이 다이어그램(eye diagram)을 도시한다. 청색 섬유에 대한 아이 다이어그램은 도 5a에 되시되어 있고, 더 넓은 아이 개구부를 나타내는데, 이는 더 큰 신호대잡음비를 나타내고, 그러므로 더 적은 에러로 정보를 전송함을 의미한다(더 우수한 BER 성능).

도 6은 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 수신된 파워의 함수인 청색 및 갈색 섬유의 BER 트레이스의 그래프를 도시한다. -9.9dBm의 수신된 광 파워(1 OGBASE-SR에 대한 최소 광 파워)에 대하여, BER 성능의 차이는 10^2 이상임을 주목한다.

도 7은 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 최소 모드 분산이 모든 모드가 (2개의 저차 모드에 대하여 설명된) 섬유의 출력단에 동시에 도달할 것을 요구하는 것을 설명하는 그래프를 도시한다. 이전의 구현에서, 모드는 동일한 파장을 가지는 것으로 가정되었다.

도 8은 본 발명의 하나의 실시예에 따른, 디바이스의 중심으로부터의 오프셋의 함수로서, BERT VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Lasers)의 파장 의존도의 그래프를 도시한다.

도 9는 본 발명의 하나의 실시예에 따라, 모드의 파장 변동을 고려할 때, 재료 분산 효과, D(λ)가 표준 포물선형 굴절율 프로파일에 대하여 펄스의 성분들이 균일하게 퍼질 것임을 보여주는 그래프를 도시한다. "청색" 모드는 "적색" 모드보다 늦은 시간에 섬유의 출력부에 도달할 것이다.

도 10은 본 발명의 하나의 실시예에 따라, 코어의 바깥쪽 영역에서 표준 포물선형 굴절율보다 더 낮은 굴절율을 가진 섬유(표준 굴절율은 점선으로 표시되어 있음)가 저차 모드("적색")에 영향을 주지 않으면서, 고차 모드("청색")를 가속시키며, 재료 분산 효과를 상쇄시키는 것을 보여주는 그래프를 도시한다.

도 11은 본 발명의 하나의 실시예에 따라, 코어의 바깥쪽 영역에서 표준 굴절율 보다 큰 굴절율을 가진 섬유가 저차 모드("적색")에 영향을 주지 않으면서, 고차 모드("청색")를 감속시켜, 재료 분산 효과를 악화시키는 것을 보여주는 그래프를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 굴절율 프로파일을 가진 멀티모드 광섬유 케이블이 상이한 방출 패턴으로 상이한 광 파장을 가지는

모드들을 방출하는 광원과 함께 사용될 때, 재료 분산을 물론 모드 분산을 보상하도록 설계될 수 있다는 발견을 이용한다. 제안된 멀티모드 광섬유 케이블은 전체적인 모드 분산을 줄이기 위해 섬유 모드로 연결된 때 레이저 런치 모드의 공간적인 스펙트럼 분포에 대하여 보상한다. 개시된 멀티모드 광섬유 케이블은 모드 분산을 감소시키기 위해 멀티모드 광섬유 케이블의 굴절율 프로파일 및 VCSEL의 파장 의존도를 밸런싱함으로써, 향상된 비트에러율(BER)을 나타낸다. 개시된 멀티모드 광섬유 케이블은 또한 신호가 수용가능한 에러율로 전송될 수 있는 최대 거리를 증가시킨다. 멀티모드 광섬유 케이블의 굴절율 프로파일은 광원 내에서 방출된 광 파장의 공간적 분포를 보상하기 위해 더 큰 방사상 오프셋에서, (DMD의 표준 그래픽 도면에 도시된 바와 같이 ps/m으로) 좌측으로 시프트하는 DMD(Differential Mode Delay) 파형을 나타낸다.

[0020] 본 명세서에서, 우리는 이러한 효과를 글래스 광 섬유에 관련짓는다. 그러나, 본 발명은 플라스틱 광섬유(POF) 및 다른 도파관 구조에도 동등하게 적용가능하다.

[0021] 재료 분산 및 모드 분산 효과를 모두 보상하는 멀티모드 섬유를 제조하는 방법이 제공된다. 본 방법은 먼저 레이저를 사용하여 멀티모드 섬유로 런칭되는 광 방사선의 펄스로부터 야기되는 기준 멀티모드 섬유 내의 재료 및 모드 분산의 크기를 판정하는 단계를 포함한다. 본 방법은 그 다음 기준 멀티모드 광섬유 케이블 내에 존재하는 재료 분산의 적어도 일부분을 보상하는 향상된 멀티모드 섬유에 대한 향상된 굴절율 프로파일을 설계하는 단계를 포함한다.

[0022] 도 3을 참조하면, 기준 멀티모드 섬유 내의 재료 및 모드 분산의 크기를 판정하는 것은 먼저 수정된 DMD 측정 테스트 방법을 구현할 것을 요구한다. 여기서, 광 방사선 중 시간상으로 짧고 스펙트럼상으로 순수한 광 펄스가 레이저에 의해 발생되고 전송되고, 테스트 중인 기준 MMF의 코어로 런칭된다. 광 방사선의 광 펄스는 먼저 섬유의 중앙축을 따라 런칭되고, 출력 펄스 파형은 포토-디텍터 및 샘플링 오실로스코프로 측정된다. 출력 펄스 파형은 후속한 분석을 위해 저장된다. 런칭된 광 방사선의 광 펄스는 기준 MMF의 중앙 코어로부터 소정의 방사상 거리만큼, 전형적으로 1 또는 2 마이크로미터 옮겨지고, 출력 파형은 다시 측정되고 기록된다. 이러한 과정은 MMF의 코어를 가로질러, 중앙에서 코어-크래이딩 인터페이스에 근접한 중앙으로부터 방사상 거리 X까지 반복된다. 예를 들어, X는 50마이크로미터의 코어 직경에 대하여 대략 23 마이크로미터(±5마이크로미터)이다. 주어진 방사상 런치 오프셋에 대한 모드만 여기됨을 보장하기 위해, 작은 직경의 단일모드 섬유가 MMF의 코어로 광 방사선의 광 펄스를 런칭하기 위해 사용되는 것이 바람직하다.

[0023] 도 4a 및 4b를 참조하면, 2개의 MMF(청색 MMF 및 갈색 MMF)에 대한 결과적인 출력 파형의 예가 도시되어 있다. 각각의 방사상 오프셋에 대한 파형은 수직 축을 따라 도시되어 있고, 각각의 파형의 펄스 지연은 수평축을 따라 도시되어 있다. 이상적으로, 모든 펄스는 표준 포물선형 굴절율 프로파일에 대하여 동시에 섬유의 출력단에 도달해야 한다. 그러나, 굴절율 프로파일의 균일성의 불완벽함은 출력 파형의 시간적인 시프트를 야기한다. MMF의 DMD 또는 모드 분산은 가장 빠른 펄스의 리딩 에지와 가장 느린 펄스의 폴링 에지 간의 도달 시간 차로부터 런치 펄스 시간 폭을 뺌으로써 계산된다.

[0024] TIA-455-220-A에 명시된 표준 DMD 테스트 방법을 사용하여, MMF 섬유는 레이저 최적화된 것으로 분류될 수 있고 (즉, OM3), (이론상) 300m까지의 10Gb/s 이더넷 통신을 지원할 수 있다. 섬유는 코어의 방사상 영역 내의 최대 모드 분산(즉, DMD)를 특정하는 6개의 마스크 탬플릿 중 하나를 충족해야 한다. 섬유가 (TIA에 의해 특정될) 더 엄격한 DMD 요구사항을 충족한다면, 그 섬유는 더 먼 거리를 지원할 수 있는 OM4로 분류된다. DMD에 의해 측정된 낮은 모드 분산은 더 높은 MMF 성능으로 해석될 것으로 생각된다.

[0025] MMF의 대역폭 성능을 특징짓는 다른 유용한 미터법은 메가헤르츠키로미터(MHzkm)단위로 표현되는 유효 모드 대역폭(EMF: Effective Modal bandwidth)이다. EMB는 DMD 측정에서 획득된 펄스 파형으로부터 유도된 계산된 미터법이다. 측정된 출력 파형의 세트는 결과적인 출력 신호 파형을 모델링하기 위해 합해진다. 주파수 도메인으로의 수학적 변환을 사용하여, 출력 및 입력 파형은 섬유의 대역폭을 계산하기 위해 수치적으로 분할된다. 10개의 대표적인 VCSEL의 방사상 광 파워 분포를 시뮬레이팅하기 위한 가중치 함수를 적용하여, 최소 계산된 EMB가 판정된다(min EMBc). min EMBc 미터법을 사용하여, 섬유의 EMB는 1.13의 증배율에 의해 계산된다(즉, EMB = 1.13 x min EMBc). 고속 이더넷 표준에 명시된 OM3 및 OM4로서 특징지어지기 위해, 이러한 섬유에 대한 EMB 값은 각각 적어도 2000MHz-km and 4700MHz-km이여야 한다.

[0026] 표준 DMD 및 EMB가 (TIA-455-220-A에 명시된) 단색성 소스를 사용하여 온타임 지연 측정을 기초로 하는 기술을 사용하기 때문에, 그들은 도 4a 및 4b에 도시된 두 섬유를 구별할 수 없다. 동일한 광 케이블 내에 포함된 청색 및 갈색 섬유는 DMD 및 EMB의 미터법에 의해 사실상 동일하다(표 1 참조). 그럼에도 불구하고, 그들은 도 5a 및 5b에 도시된 아이 다이어그램을 분석함으로써 벤치마킹되는 측정된 채널 성능 및 및 도 6에 도시된 비트

에러율 테스트(BERT) 성능에서 큰 차이를 나타낸다.

표 1

[0027]

섬유	내부 마스크 DMD (5 내지 18 마이크로미터)	외부 마스크 DMD (0 내지 23 마이크로미터)	EMB (EMB=1.13×EMBc)
청색	0.122 ps/m	0.145 ps/m	4540 MHz×km
갈색	0.124 ps/m	0.132 ps/m	4540 ×km

[0028] BER 시스템 성능과 DMD 파형 시프트 사이의 관계가 발견되었다. 근본 원인은 큰 방사상 오프셋에서 좌측 및 우측 DMD 시간 파형 시프트 및 VCSEL의 파장 방출 패턴과 관련된다. 이러한 차이는 도 4a 및 4b에서 관찰될 수 있다. VCSEL은 방출 영역 위로 약간씩 상이한 파장을 가진 광의 분포를 야기하는 복수의 가로방향 모드와 연결된 하나의 세로방향 모드를 방출한다. 각각의 VCSEL 모드는 정의된 극성 방출 패턴을 가진다. 이러한 물리적 효과는 본 명세서에서 반경 의존 파장을 가진 극성 패턴이라 한다. 각각의 DMD 파형 프로파일에 대한 펄스 지연 또는 또는 반경 의존 파장을 가진 극성 패턴 내에 차이가 존재한다면, 재료 분산 및 모드 분산 효과는 모두 보상될 수 있고, 이전 방법보다 모드 분산을 더 감소시킬 수 있다.

[0029] 섬유 모드의 전파시 이러한 방출 패턴의 영향은 아래에 설명된다. (식 2에 서술된 α값을 기초로 하는) 표준 포물선 굴절율 프로파일은 모든 모드가 실질적으로 동일한 파장(색상)을 가진다고 가정하면, 현재 그 섬유를 통해 진행하는 모든 모드의 퍼짐을 최소화하도록 설계되어 있다. 도 7을 참조하면, 레이저 소스 방출 패턴 및 파장 분포 효과는 완전히 무시되었다.

[0030] 그러나, 고속 광 송수신기에서 사용된 VCSEL은 디바이스의 애퍼어처를 가로질러 상이한 파장을 가진 광(모드)을 방출한다. 더 긴 파장은 면에 수직으로 더 작은 각도로 방출되고, 짧은 파장은 더 큰 각도로 방출된다(극성 방출 패턴). 도 8을 참조하면, 이러한 VCSEL 공간적 스펙트럼 분포는 섬유 모드로 연결될 때 보존된다. 오늘날 사용되는 표준 포물선형 DMD 파형 프로파일은 VCSEL의 애퍼어처를 가로질러 동일한 파장의 광에 대하여만 유효하며, 여기서 모든 연결된 섬유 모드는 동일한 중심 파장을 가질 것으로 생각된다. MMF로 런칭되는 광 파장의 공간적 분포는 모드들이 그들의 반경 의존 파장과 함께 재료 분산 효과에 의해 영향을 받기 때문에 새로운 바람직한 DMD 파형 프로파일을 요구한다. 모드 분산과 연관된 반경 의존 방출 패턴의 효과는 도 9에 도시되어 있다. 저차 모드는 더 긴 파장("적색")을 가지고, 그러므로 더 짧은 파장("청색")을 가진 고차 모드 보다 더 빠르게 진행한다.

[0031] 우리의 실험 데이터를 기초로, DMD 프로파일 내의 방사상 펄스 파형의 "좌측" 시프트(더 작은 값의 ps/m)를 나타내는 섬유는 MMF 코어의 바깥 영역에 더 낮은 표준 포물선형 굴절율에 대응한다. 이는 도 4a에서 청색 섬유에 대한 DMD 파형 프로파일에서 큰 방사상 오프셋에서 관찰된다. 더 낮은 차수의 모드는 굴절율의 바깥 영역을 통해 진행하지 않으므로, 이러한 시프트에 의해 영향을 받지 않는다. 더 높은 차수의 모드는 그들이 소위 표준 포물선형 굴절율 프로파일 보다 낮은 영역으로 진행하고, 그들이 사실상 "적색" 광을 따라잡기 때문에, 도 9에 도시된 바와 같이, 파장 의존 굴절율의 결과로서 감속된다(도 10 참조)

[0032] 큰 방사상 오프셋 파형에서 "우측" 시프트를 가진 섬유에 대하여, 굴절율은 코어의 바깥쪽 영역에서 표준 포물선형 굴절율 보다 더 높다. 이는 도 4b에 도시된 바와 같이 높은 방사상 오프셋에서 갈색 섬유의 DMD 파형에서 볼 수 있다. 더 낮은 차수의 모드는 그들이 그 영역을 통해 진행하지 않으므로 굴절율의 이러한 시프트에 의해 영향을 받지 않을 것이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 파장 의존 굴절율에 의해 감속되는 더 높은 차수의 모드는 표준 포물선형 굴절율 프로파일보다 더 높은 영역을 통해 진행할 것이므로 "청색" 광을 훨씬 더 감속시킬 것이다(도 11 참조).

[0033] 본 출원인은 VCSEL의 스펙트럼 분포 및 극성 방출 패턴이 무시될 수 없으므로, 현재 이상적인 DMD 파형 프로파일이 최소 모드 분산을 위해 최적이 아닌 것으로 판단하였다. 이러한 발견을 기초로, VCSEL 모드의 상이한 파장을 고려함으로써, 모드 분산은 감소될 수 있고 모드 파장이 보상된 멀티모드 광섬유 케이블을 야기한다.

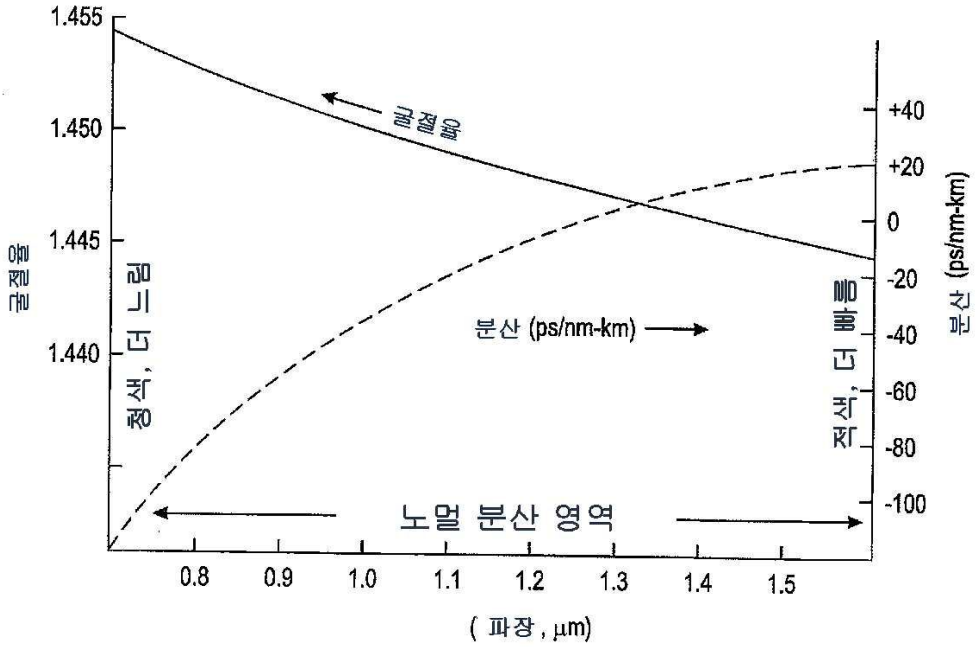
[0034] 모드 분산을 최소화하는 것은 주로 모드 파티션 잡음, 모드 잡음 등과 같은 VCSEL과 관련될 다른 패널티를 포함한) 감쇄에 의해 제한되는 섬유로 모드 파장이 보상된 MMF을 변환할 수 있다. IEEE 10GBASE-SR 링크 모델을 사용할 때, 이러한 향상은 잠재적으로 최대 채널 링크 거리를 125m에서 잠재적으로 200m 이상까지 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다. VCSEL로부터 런칭된 광의 공간적 및 스펙트럼 분포를 고려함으로써, 향상된 굴절율 프로

파일은 모드의 파장 의존도의 적어도 일부분을 보상하는 향상된 MMF에 대하여 설계될 수 있고, 이는 모드 분산이 종래의 보상 방법보다 더 감소될 수 있게 한다.

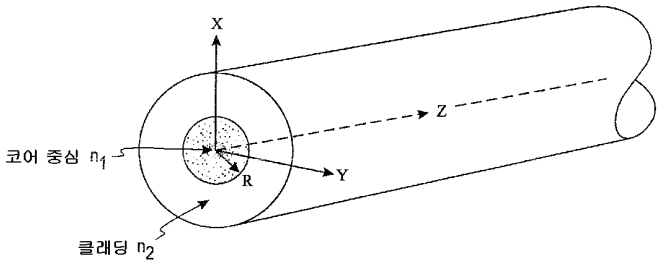
[0035] 본 발명의 특정한 형태가 본 명세서에 서술되고 도시되어 있으나, 본 명세서의 교시를 기초로, 본 명세서에서 서술된 내용 및 그것의 더 넓은 형태를 벗어나지 않고 수정 및 변형이 이루어질 수 있음은 당업자들에게 명백할 것이다. 그러므로, 첨부된 청구항은 본 명세서에 서술된 본 발명의 정신 및 범위 내에 있는 이러한 수정 및 변형을 모두 포함한다. 또한, 본 발명은 첨부된 청구항에 의해 정의됨이 이해될 것이다. 따라서, 본 발명은 첨부된 청구항 및 그 동등물을 외에 한정되지 않아야 한다.

도면

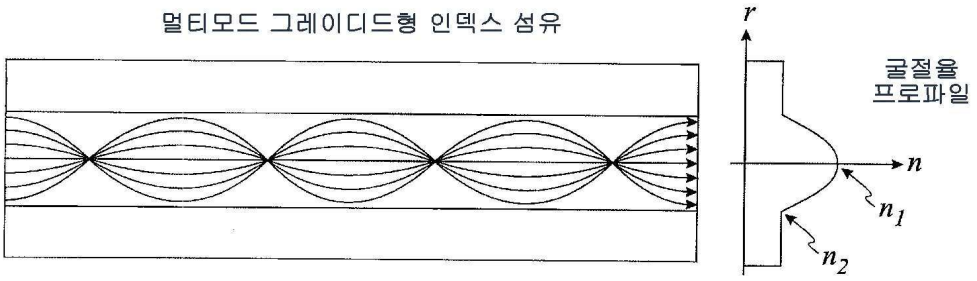
도면1



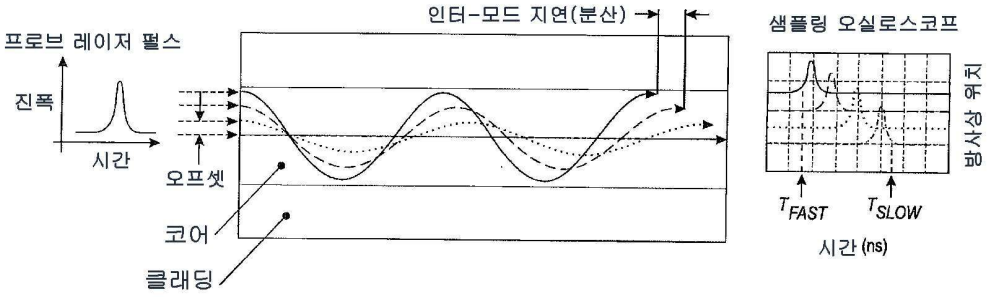
도면2a



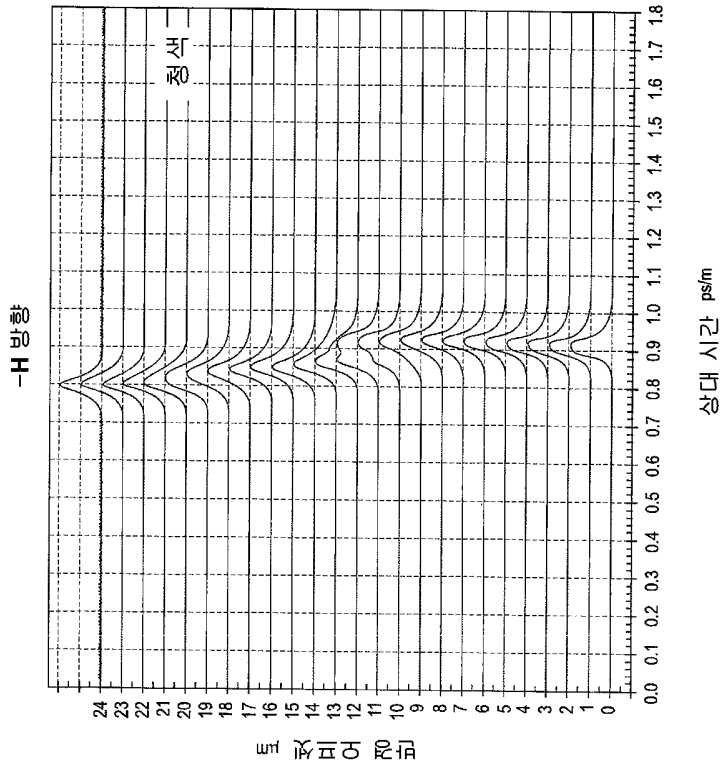
도면2b



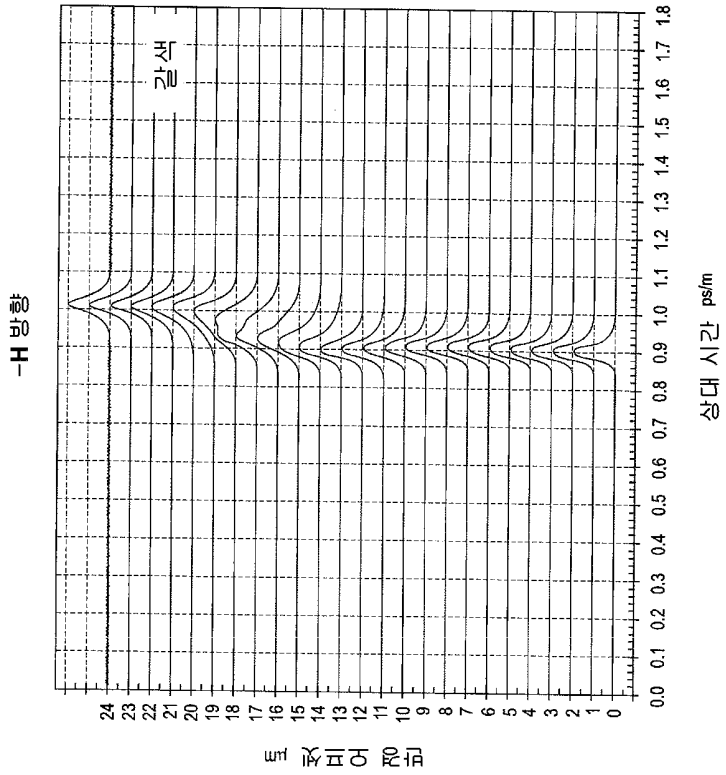
도면3



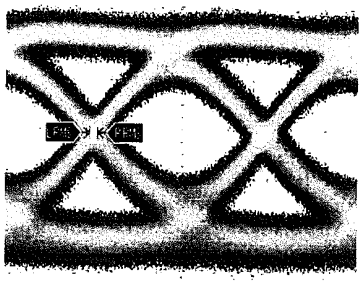
도면4a



도면4b



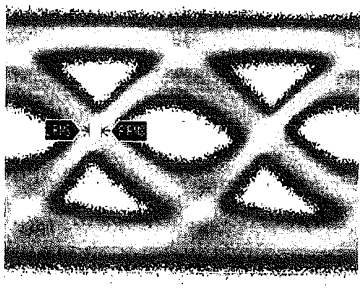
도면5a



▾ 측정 값 x

	현재	최소	최대	전체측정값
아이 폭 ()	67.38 ps	64.85 ps	67.40 ps	100
하강 시간 ()	97.33 ps	61.33 ps	97.78 ps	100
상승 시간 ()	83.11 ps	13.78 ps	83.11 ps	100
지터 **RMS** ()	4.770 ps	4.766 ps	5.117 ps	100

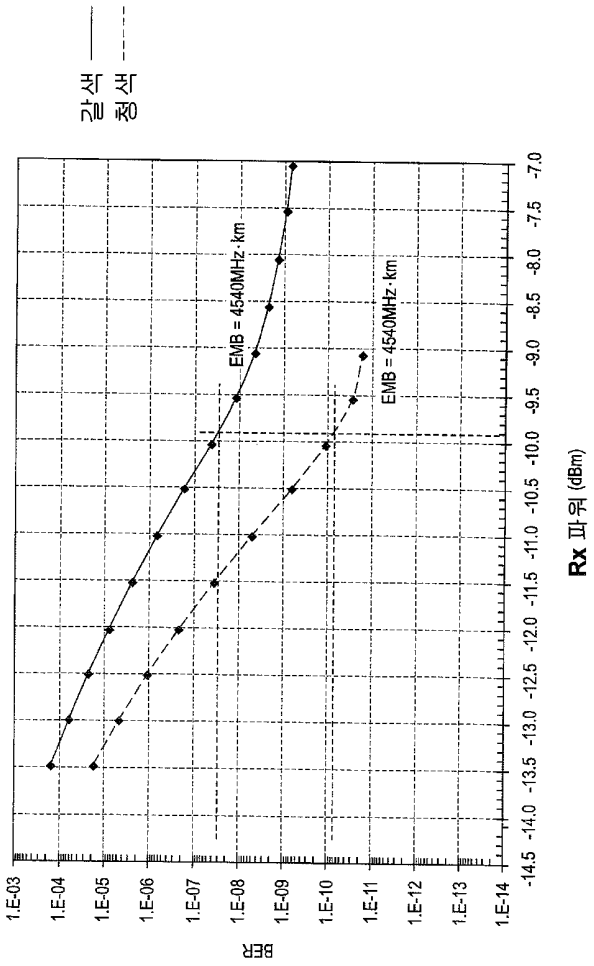
도면5b



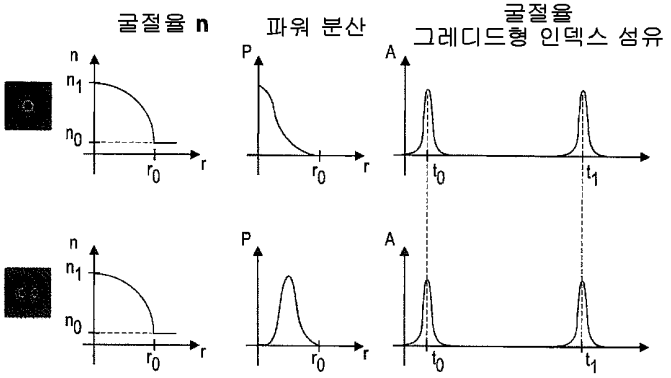
▾ 측정 값 x

	현재	최소	최대	전체측정값
아이 폭 ()	55.17 ps	54.01 ps	55.18 ps	100
하강 시간 ()	48.44 ps	20.44 ps	106.22 ps	101
상승 시간 ()	80.00 ps	4.89 ps	80.44 ps	101
지터 **RMS** ()	6.879 ps	6.803 ps	? 48.650 ps	101

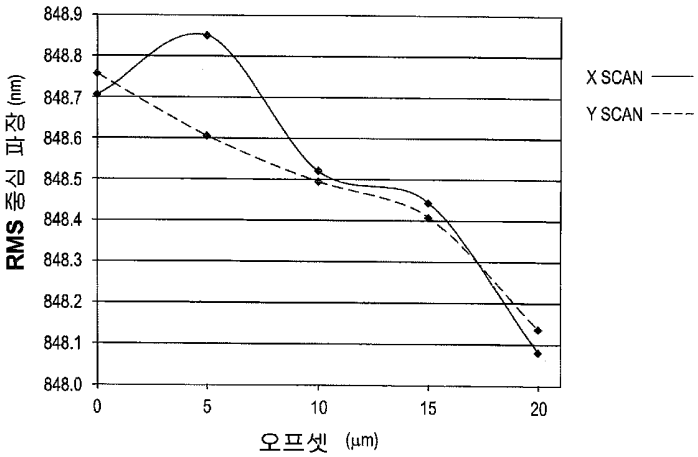
도면6



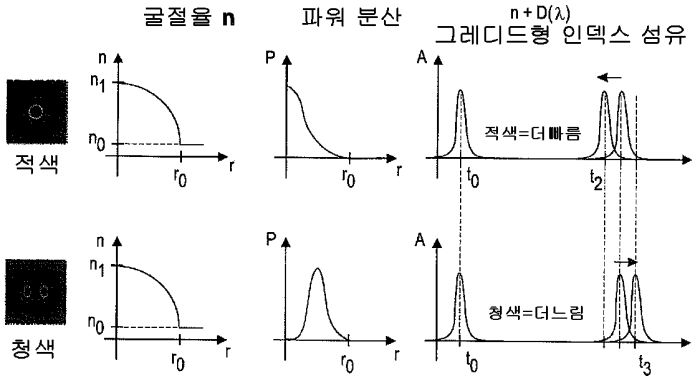
도면7


굴절율 n
파워 분산
굴절율
그레디드형 인덱스 섬유
n
n1
n0
r0
r
P
A
t0
t1

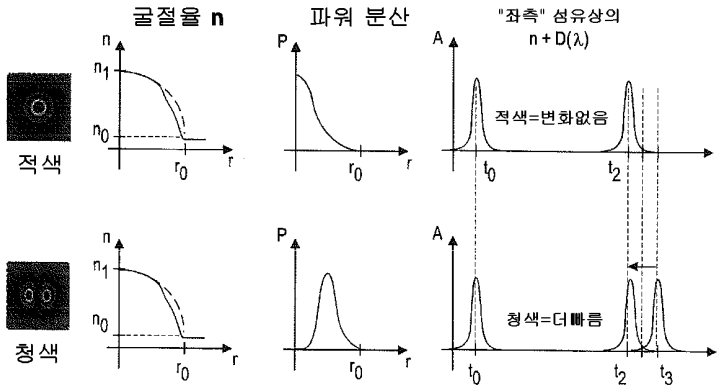
도면8


848.9
848.8
848.7
848.6
848.5
848.4
848.3
848.2
848.1
848.0
RMS 중심 파장 (nm)
0
5
10
15
20
오프셋 (μm)
X SCAN
Y SCAN

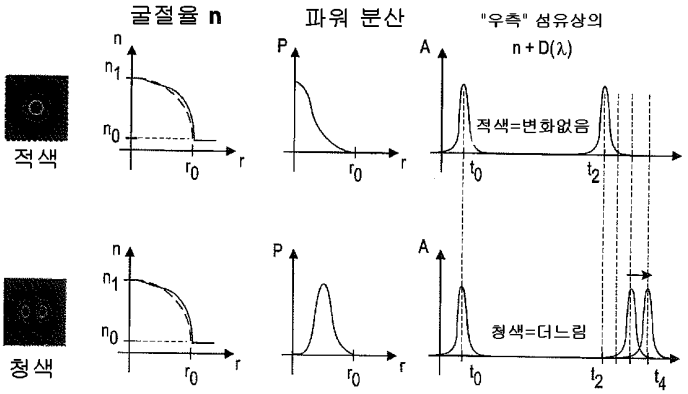
도면9


굴절율 n
파워 분산
n+D(λ)
그레디드형 인덱스 섬유
적색
청색
n
n1
n0
r0
r
P
A
t0
t2
t3
적색=더빠름
청색=더느림

도면10


굴절율 n
파워 분산
"좌측" 섬유상의
n + D(λ)
적색
청색
적색=변화없음
청색=더빠름

도면11


굴절율 n
파워 분산
"우측" 섬유상의
n + D(λ)
적색
청색
적색=변화없음
청색=더느림