

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. ⁷ G02B 6/16		(45) 공고일자	2005년12월08일
		(11) 등록번호	10-0534497
		(24) 등록일자	2005년12월01일
(21) 출원번호	10-2000-7003556	(65) 공개번호	10-2001-0030865
(22) 출원일자	2000년04월01일	(43) 공개일자	2001년04월16일
번역문 제출일자	2000년04월01일		
(86) 국제출원번호	PCT/US1998/013916	(87) 국제공개번호	WO 1999/18462
국제출원일자	1998년07월02일	국제공개일자	1999년04월15일
(81) 지정국			
국내특허 : 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바르바도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그루지야, 가나, 감비아, 기니 비사우, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 아이슬랜드, 일본, 케냐, 키르키즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터어키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨, AP ARIPO특허 : 가나, 감비아, 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 짐바브웨, EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르키즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘, EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고,			
(30) 우선권주장	08/942,590	1997년10월02일	미국(US)
(73) 특허권자	미네소타 마이닝 앤드 매뉴팩춰링 캄파니 미합중국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오. 박스 33427 3엠 센터		
(72) 발명자	브레난제임스에프.3세 미국55133-3427미네소타주세인트폴피.오.박스33427 래브레이크드웨인엘. 미국55133-3427미네소타주세인트폴피.오.박스33427 뷰체스네제라드에이. 미국55133-3427미네소타주세인트폴피.오.박스33427 페핀로날드피.		

미국55133-3427미네소타주세인트폴피.오.박스33427

(74) 대리인

장수길

김영

심사관 : 김병성

(54) 임의 길이의 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를제조하는 방법**요약**

본 발명은 광섬유 내에 아포디제이션된 브랙 회절 격자를 기록하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 방법은 감광성 광섬유와 기록 빔을 제공하는 단계를 포함한다. 주기(Λ)의 주기적인 강도 분포가 기록 빔으로부터 생성되고, 광섬유는 속도($v(t)$)로 강도 분포에 대해 이동된다. 기록 빔의 강도는 주파수($f(t)$)에서 시간의 함수로서 변조되고, 여기서 $v(t)/f(t) \approx \Lambda$ 이다. 기록 빔의 강도는 아포디제이션된 회절 격자를 기록하기 위해 굴절 인덱스 프로파일의 포락선을 더 제어하도록 변화된다.

대표도

도 2

색인어

회절 격자, 광섬유, 기록 빔, 간섭 패턴 발생기, 굴절 인덱스 프로파일

명세서**기술분야**

본 발명은 임의의 필요한 길이의 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를 만드는 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 시간의 함수로서 진폭 변조된 강도를 구비한 화학 방사선의 간섭그림에 대해 섬유를 이동시킴으로써 임의 길이의 완전하게 아포디제이션된(apodized) 처프(chirped) 섬유 브랙 회절 격자(fiber Bragg grating: FBG)를 만드는 방법에 관한 것이다.

배경기술

인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자는 도파관의 굴절 인덱스 내의 주기적인, 비주기적인 또는 준주기적인 변화이다. 회절 격자는 예를 들어 도파관 상에 물리적으로 변조를 가함으로써, 감광 현상을 이용해서 도파관을 따라 굴절 인덱스의 변화를 일으킴으로써, 또는 다른 공지된 방법에 의해 형성될 수 있다. 특히, 광섬유의 코어 내에 기록된 회절 격자는 광섬유 통신 및 센서 시스템의 많은 장치에 있어서 중요한 요소이다.

게르마늄과 같은 도펀트(dopant)가 도파관 재료를 감광성으로 만들기 위해 도파관 재료의 영역에 첨가되어, 이 영역의 굴절 인덱스가 화학 방사선에 노출될 때 증가하기 쉽게 만든다. 인라인 회절 격자를 "기록"하는데 있어서 현재 선호되는 방법은 도파관의 일부를 (보통은 자외선(UV)인) 화학 방사선의 두 개의 빔(beam)들 사이의 간섭부에 노출시키는 것이다. 두 개의 빔은 간섭그림, 즉 광학 간섭의 패턴을 생성하기 위해 횡방향으로 도파관의 안내 구조물 상에 입사된다. 두 개의 빔들 사이의 각도 (및 방사선의 파장)은 간섭그림의 무늬 간격을 한정한다. 보통, 화학 방사선의 두 개의 빔은 간섭계의 다리(leg)이거나 또는 위상 마스크를 통해 단일 빔을 조사함으로써 발생된다. 위상 마스크 방법은, 매우 반복적이며 광학 장치의 기계적 진동에 덜 영향을 받으며 훨씬 더 짧은 간섭 길이의 기록 빔에 의해 만들어질 수 있기 때문에, 인라인 회절 격자의 대량 생산에 통상 더 적합한 것으로 고려된다.

다른 경쟁적인 기술인 대한 광섬유 인라인 회절 격자의 장점은 완전-섬유 형상, 낮은 삽입 손실, 높은 반사 감쇠 및 소광, 및 잠재적인 저비용을 포함한다. 그러나, 섬유 회절 격자의 가장 대별되는 특징들 중 하나는 필요한 스펙트럼 특성을 달성

하기 위해 회절 격자들이 제공되는 유연성이다. 유도 인덱스 변화, 길이, 아포디제이션(apodization), 주기적인 처프(chirp), 회절 격자 피치 틸트, 그리고 회절 격자가 필요한 파장에서 병진 전파 (장주기 또는 투과 회절 격자) 내에 또는 대향 전파 (브랙 회절 격자) 결합 내에 결합되는 지를 포함하는 회절 격자의 다수의 물리적인 변수들이 변화될 수 있다. 이러한 변수들을 변화시킴으로써, 회절 격자는 특정한 적용예에 대해 맞추어질 수 있다.

인라인 회절 격자의 변화 가능성은 두 개의 인자, 즉 회절 격자 구조의 전체 길이와 회절 격자 구조 자체의 반사 (또는 투과) 프로파일에 대체로 의존한다. 복잡한 반사 프로파일은 도파관 길이(χ)를 따라 반사 인덱스 섭동을 신중하게 제어함으로써 달성될 수 있다. 인덱스 섭동($\partial n(\chi)$)은 위상 및 진폭 변조 주기 함수로서 특징지어질 수 있다.

수학식 1

$$\partial n(x) = \partial n_0(x) \cdot \left\{ A(x) + m(x) \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} \cdot x + \phi(x) \right] \right\}, \quad (1)$$

여기서, $\partial n(\chi)$ 는 회절 격자 주기에 걸쳐 공간적으로 평균화된 "dc" 인덱스 변화이고, $A(z)$ 는 오프셋(보통 $A = 1$)이고, $m(\chi)$ 는 인덱스 변화의 무늬의 선명도이고, Λ 는 공칭 주기이고, $\phi(\chi)$ 는 회절 격자 처프를 나타낸다. 제조 공정을 자동화하기 위해, 단일 공정 단계에서, 즉 도파관 위로의 레이저 빔의 단일 경로를 가지고 그리고 기록 장치를 물리적으로 변화시키지 않으면서 이러한 임의의 굴절 인덱스 프로파일을 도파관 내에 기록하는 것이 바람직하다. 회절 격자 제조의 완전한 유연성을 위해, $\partial n(\chi)$ 를 나타내는 변수들 각각을 독립적으로 제어하는 것이 필요하다.

특히, 회절 격자 스펙트럼의 아포디제이션은 회절 격자 길이를 따라 $\partial n_0(\chi)$ 및 $m(\chi)$ 를 제어함으로써 달성될 수 있다. 굴절 인덱스가 균일하게 변조된 한정된 길이의 인라인 회절 격자의 반사 스펙트럼 내의 중심 피크는 인접한 파장에서의 일련의 사이드로브를 동반한다. 사이드로브의 반사도를 낮추는 것 또는 회절 격자의 반사 스펙트럼의 "아포디제이션"은 비공진 광의 높은 반사가 요구되는 장치에서 바람직하다. 아포디제이션은 또한 처프 회절 격자의 분산 보상 특성을 개선시킨다. 대부분의 이러한 적용예에서, $m(\chi)$ 가 변화될 때 회절 격자 길이를 가로질러 $\partial n_0(\chi)$ 및 $A(\chi)$ 를 일정하게 유지함으로써 생성되는 아포디제이션이 필요하고, 이는 단일-단계 공정에서 레이저 빔만을 제어함으로써 (완전한 유연성을 가지고) 달성되지 않는 것으로 생각된다.

회절 격자의 길이를 따른 자외선 노출 변경에 의한 인덱스 변조의 변화는 굴절 인덱스 변조의 진폭과 평균 광유도식 굴절 인덱스 모두를 변화시킨다. 평균 인덱스 변화는 회절 격자의 공진 파장의 바람직하지 않은 효과의 처프로 이어지며 회절 격자 스펙트럼 응답을 넓힌다. 이러한 증상을 경감시키기 위해, 회절 격자의 "완전한 아포디제이션," 즉 불균일한 변조 자외선 무늬 패턴과, 자동적으로 평균 광유도식 굴절 인덱스를 섬유 길이로 따라 일정하게 하는 보상 노출 모두를 발생시키는 것이 바람직하다. 몇몇 연구자들은 도파관 길이를 따른 특정 위치에서 굴절 인덱스 무늬 선명도를 감소시키기 위해 간섭그림 내에서 도파관을 디서링(dithering)함으로써 필요한 아포디제이션 프로파일을 생성해냈지만, 이러한 기술은 진동하지만 정확히 위치될 수 있는 위상 마스크 및 도파관을 위한 복잡한 기계적 고정물을 필요로 한다.

도파관 내에 기록되는 특정한 인덱스 섭동 이외에도, 회절 격자 길이 또한 광섬유 통신 및 분산 센서 시스템의 적용예에서 중요하다. 예를 들어, 긴 길이의 처프 섬유 브랙 회절 격자가 분산 보상기의 제조를 위한 매력적인 장치로 제안되었다. 고속 장거리 데이터 송신, 특히 기존의 비분산 변환식 섬유 네트워크는 광섬유 내의 색분산에 의해 제한된다. 전송 대역폭이 보통 시스템의 필요에 의해 사전 결정되므로, 실제로 분산 보상기로 이용되기 위해서 처프 브랙 회절 격자는 통상의 반도체 레이저 파장 공차를 포함하기에 충분하게 큰 대역폭에 걸친 분산 보상을 나타내어야 한다. 일정한 분산 프로파일 및 넓은 대역폭을 구비한 1미터 길이 정도의 회절 격자가 1550nm의 파장에서 5nm에 걸쳐 100km의 비분산 변환식 섬유에 대해 보상하기에 충분한 $\sim 1700\text{ps/nm}$ 의 시간 지연을 달성하는데 요구된다는 것이 알려져 있다.

복잡한 회절 격자 구조를 갖는 긴 길이의 브랙 회절 격자를 제조하는 방법에 대한 필요성이 존재한다. 섬유에 대해 고정된 위치를 갖는 긴 위상 마스크에 걸쳐 UV빔이 주사되는 하나의 방법이 개시되었다. 복잡한 구조는 노출 시간을 변화시킴으로써 또는 회절 격자를 후처리함으로써 부가된다. 다른 방법은 마스크 내에 이미 인쇄되어 있는 복잡한 구조를 갖는 특별히 설계된 긴 위상 마스크에 대해 고정된 위치 내에 유지되는 섬유를 이용하는 것을 개시한다. 그러나, 이들 기술 모두는 보통 대략 $\sim 10\text{cm}$ 의 이용 가능한 위상 마스크의 길이로 제한된다.

회절 격자를 기록하기 위해 도파관이 마스크에 대해 이동하는 방법이 제안되었다. 그러나, 도파관이 위상 마스크에 대해 너무 많이 이동하면 도파관 내의 인덱스 변조의 무늬 선명도가 현저하게 감소하므로, 이러한 기술은 제한되며 위상 마스크보다 훨씬 더 큰 회절 격자는 만들어질 수 없다. 최근의 연구에서는 위상 마스크 위에 UV빔을 주사함으로써 그리고 섬유를 이동시키는 동안 매우 정밀한 압전 트랜스듀서를 이용해서 모든 조사(照射) 단계에서 섬유 상에 (다수의 회절 격자 요소

인) 소(小) 회절 격자를 기록함으로써 길고 복잡한 회절 격자를 제작하려는 시도가 있었다. 그 다음 회절 격자 구조의 크기를 증가시키기 위해, 다수의 소 회절 격자들이 서로에 대해 사슬 결합될 수 있다. 섬유는 고정밀 스테이징에 의해 UV광의 간섭그림에 대해 이동된다. 스테이지의 위치는 간섭 측정에 의해 추적되고, 레이저는 섬유가 다음의 조사를 위해 필요한 위치에 도달했을 때 조사된다. 이러한 소 회절 격자들간의 위상동조는 처프와 같은 몇몇의 복잡한 구조를 생성하도록 제어될 수 있다. 아포디제이션은 간섭그림/섬유 상대 위치에 대해 디서링함으로써 달성될 수 있다.

사슬 결합 공정은 극도로 정확한 위치 설정 스테이징을 필요로 하는 어려움이 있고, 이는 현재 엔코더로서 간섭계를 이용함으로써만 이용 가능하다. 간섭 측정 제어가 없이는, 사슬 결합 방법은 "스티칭(stitching)" 오류, 즉 회절 격자 요소들의 정합시의 오류로 인해 어려움이 있다. 현재는 선형 이동 스테이징만이 간섭 측정에 의해 제어되고, 회전 스테이징은 기계적으로 제어되는 엔코더를 이용해야 한다. 따라서, 사슬 결합 공정으로 만들어진 섬유 회절 격자의 길이는 정밀 스테이지 상에서 이용 가능한 선형 이동에 의해 제한되고, 이의 실시는 1미터보다 더 길다면 현재로서는 엄두도 못낼만큼 비싸진다. 섬유 둘레의 보호 하우징이 회절 격자 제조를 위해 제거되어야 하므로, 회절 격자를 포함하는 긴 길이의 나섬유가 정밀 스테이징으로부터 제거되어 포장을 위해 감겨지고, 이는 제조의 복잡성을 증가시키고 (증가된 처리량), 생산 자동화를 복잡하게 만들고, 섬유의 기계적 강도를 감소시키는 경향이 있다.

복잡한 반사 프로파일을 갖는 매우 긴 길이의 인라인 광학 도파관 회절 격자를 위한 효과적인 기록 기술에 대한 필요가 여전히 존재한다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 인덱스 섭동을 한정하는 각각의 변수들을 독립적으로 제어하면서 임의 길이의 회절 격자를 제조하는 새로운 방법을 개시한다. 본 발명에 따른 제조 방법에 있어서, 광섬유와 같은 감광성 도파관이 제공된다. UV 레이저 빔과 같은 화학 방사선 기록 빔은 섬유 상에 기록되도록 위치된다. 주기적인 강도 분포는 예를 들어 주기(Λ)의 간섭그림을 생성하도록 기록 빔과 도파관 사이에 위치한 위상 마스크와 같은 간섭그림 패턴 발생기를 이용해서 얻어진다.

그 다음 도파관은 정밀하게 제어되는 상대 속도($v(t)$)로 주기적인 강도 분포를 통해 기록 빔에 대해 이동된다. 또는, 섬유는 주기적인 강도 분포를 통해 속도($v(t)$)로 섬유를 당기도록 회전하는 스펀에 결합될 수도 있다. 마지막으로, 변조기는 빔 강도의 진폭을 $\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda$ 인 관계의 주파수($f(t)$)에서 시간의 함수로서 변화시킨다.

기록 빔은 섬유에서 피크 강도(I_0) 및 폭(D)을 갖는다. 섬유로 송출된 유속량($\Phi(x)$)은 다음의 방정식에 의해 결정된다.

수학식 2

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v(x)} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \cos \left[\frac{\omega(x)}{v(x)} \cdot x \right] \right\} \quad (2)$$

여기서, $\omega = 2\pi \cdot f$ 이다. v 또는 ω 는 기록 공정 중에 일정하게 유지된다. 변수는 회절 격자 길이($x = v \cdot t$)를 따라 굴절 인덱스 섭동을 처프하도록 이조(離調)될 수 있다.

방법은 또한 인덱스 변화의 선명도(m) 및 섬유를 조사하는 피크 강도(I_0)를 변화시키도록 기록 빔의 강도를 더 제어하는 단계를 포함할 수 있다. 진동 인덱스 섭동의 오프셋(A) 또한 제어될 수 있다. 섬유로 전달된 플럭스는 다음의 방정식에 의해 결정된다.

수학식 3

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \cdot \frac{D}{v(x)} \cdot \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cdot \cos \left[\frac{\omega(x)}{v(x)} \cdot x \right] \right\} \quad (3)$$

인덱스 변화 선명도(m)의 변조는 완전하게 아포디제이션된 회절 격자의 제조를 가능하게 한다. 이러한 부가적인 변수들, 즉 굴절 인덱스 진동의 진폭 및 오프셋을 변화시킴으로써, 섬유 길이를 따른 굴절 인덱스 포락선은 정밀하게 제어될 수 있다.

도면의 간단한 설명

도1은 가능한 굴절 인덱스 프로파일을 포함하는 섬유 브랙 회절 격자의 단순화된 개략도이다.

도2는 본 발명에 따른 섬유 회절 격자를 기록하는 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 기록 조립체의 단순화된 개략도이다.

도3은 본 발명에 따른 섬유 회절 격자를 기록하는 굴절 인덱스 포락선 변조 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 기록 장치의 단순화된 개략도이다.

도4는 섬유가 스폴에 의해 당겨지는 본 발명의 실시예의 단순화된 도면이다.

도5는 본 발명에 따라 제조된 도파관의 처프 굴절 인덱스 프로파일의 도면이다.

도6은 본 발명에 따라 제조된 도파관의 완전 아포디제이션 굴절 인덱스 프로파일의 도면이다.

도7은 본 발명에 따른 분산 보상기의 단순화된 개략도이다.

도8은 본 발명의 방법의 실시예의 흐름도이다.

실시예

길이(L)의 회절 격자(20)를 갖는 광섬유(10)가 도1에 도시되어 있다. 섬유(10)는 보통 실리카를 포함하지만, 기술 분야에 공지된 다른 실시예는 플라스틱 성분을 포함할 수 있다. 광섬유(10)는 코어(12) 및 하나 이상의 클래딩(14)을 포함한다. 회절 격자(20)는 섬유의 코어(12) 및/또는 하나 이상의 클래딩(14) 상의 일련의 주기적, 비주기적 또는 준주기적 변화이다. 도1의 대응된 도면에 도시되어 있는 것처럼, 회절 격자(20)는 섬유(10)의 굴절 인덱스 내의 변화로 구성되어 있다.

도2는 본 발명의 기록 방법을 이용하는 인덱스 기록 조립체(100)를 개략적으로 도시한다. 인덱스 기록 조립체(100)는 빔(132)을 발생시키는 광원(130)과, 간섭 패턴 발생기(140)와, 변조기(150)와, 섬유(110)를 유지하는데 이용되는 섬유 유지 조립체(160)를 포함한다. 하나 이상의 도파관이 인덱스 기록 조립체 내에 위치되어 동시에 이동될 수 있다. 게르마늄 또는 다른 감광성 도펀트가 섬유(110)의 영역의 실리카 유리에 첨가되어, 광섬유의 이러한 영역의 굴절 인덱스를 화학 방사선에 노출될 때 통상 증가하도록 변경시킨다. (미국 뉴욕주 코닝 소재의 코닝 인코포레이티드의) Corning® SMF-28™ CPC6과 같은 구매할 수 있는 감광성 섬유가 이용될 수 있다. 당업자가 알 수 있듯이, 본 발명의 방법은 또한 광섬유뿐 아니라 평면 도파관과 같은 다른 도파관의 굴절 인덱스를 변경하는데 이용될 수 있다.

광원(130)은 UV레이저광 또는 X-선과 같은 화학 방사선의 공급원이다. 광원은 필요한 회절 격자를 기록하기에 충분한 강도 및 충분히 좁은 직경을 갖는 빔을 송출하도록 선택된다. 기술 분야에 공지된 다른 광원이 이용되는 섬유 및 필요한 회절 격자 패턴에 따라 이용될 수 있다. 광원(130)은 피크 강도(I_0) 및 직경(D)을 갖는 빔(132)을 발생시킨다.

간섭 패턴 발생기(140)는 주기(Λ)의 강도 분포를 생성하고 섬유(110)와 광원(130) 사이에 위치된다. 강도 분포의 주기는 통상 필요한 회절 격자 피치와 정합된다. 강도 분포는 공간적으로 변화하는 반복적인 광 강도 패턴이고, 이는 예를 들어 간섭그림과 같이 주기적 또는 준주기적일 수 있다. 간섭 패턴 발생기(140)는 $0.539\mu\text{m}$ 주기의 간섭그림을 생성하는 (캐나다 퀘벡 세인트-로랑 소재의 라사이러스의) $1.078\mu\text{m}$ 주기의 Lasirus PM-248-1.078-25.4와 같은 주기(2Λ)의 위상 마스크이다. 간섭그림은 간섭계와 같은 다른 방법에 의해 발생될 수 있다. 또는, 당업자가 알 수 있듯이, 회절 격자를 제조하는데 이용되는 화학 방사선의 주기적인 (또는 준주기적인) 강도 분포는 반드시 간섭그림을 구성함으로써 얻어질 필요는 없다. 예를 들어, 진폭 마스크를 이용하는 영상 감소 시스템이 강도 분포를 생성하는데 이용될 수 있다.

도3은 변조기(150)의 전자 신호 제어부의 하나의 실시예를 개략적으로 도시한다. 변조기(150)의 전자 신호 제어부는 진폭 변조 함수부(152)와, 주파수 변조 함수부(154)와, d.c. 오프셋(156)을 포함한다. (예를 들어, 미국 일리노이주 벨우드 소재의 인트라액션의 IntraAction ASM-1251LA3인) 음향 광학 변조기와 같은 다양한 변조기가 이용될 수 있다. 변조기(150)는 주파수($f(t)$)에서 빔(132)을 진폭 변조한다. 또한, 도3에 도시된 것처럼, 변조기를 제어하는 전자 신호는 최종 회절 격자 내에서 처프 및 아포디제이션을 일으키도록 섬유 길이를 따라 인덱스 섭동 프로파일을 맞추기 위해 (미국 캘리포니아주 쉐니베일 소재의 스탠포드 리서치 시스템즈의) Stanford Research Systems DSM345와 같은 함수 발생기로서 형성될 수 있다.

섬유(110)는 강도 분포에 대해 속도($v(t)$)로 이동된다. 하나 이상의 도파관이 주기적인 강도 분포를 통해 동시에 이동될 수 있다. 시간의 함수 및 위상 마스크로서 진폭 변조되는 레이저 빔은 임의의 필요한 길이의 FBG를 생성하는데 이용된다. 본 실시예에서, 섬유(110)는 방사상 주파수(ω : $\omega=2\pi \cdot f$)에서 진폭 변조되는 레이저 빔(132)이 전파되는 고정형 위상 마스크

(140)를 지나서 정확한 속도($v(t)$)로 이동되고, 여기서, $\frac{f(t)}{v(t)} \approx \frac{1}{\Lambda}$ 이다. 기록 조립체 및 필요한 프로파일에 따라, $f(t)$ 및 $v(t)$ 모두는 변수일 수 있고, 또는 이중 하나 또는 이들 모두가 상수일 수 있다. 당연히, 상수항은 이하에서 설명되는 것처럼, 지터(jitter) 또는 오류에 의한 섬유 회절 격자 피치($\delta\Lambda$) 내의 편차에 대해 수용 가능한 변수들 내에서 정의된다.

강도 분포에 대한 섬유(110)의 이동은 이동 기구에 의해 정밀하게 제어된다. 섬유(110)는 회전 또는 선형 스테이지일 수 있는 매우 정밀한 속도 제어 이동 스테이지인 섬유 유지 조립체(160) 상에 장착된다. 도4에 도시된 다른 실시예에서, 연속 길이의 섬유는 스펴(170)에 감겨지고, 기록 빔의 위치는 스펴이 회전할 때 섬유 상에 유지되도록 이동된다. 스테이지 또는

스펙의 이동은 변조기와 일치하게 작동하도록 결합된다 ($\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda$). 또 다른 실시예에서, 이동 기구는 광원(130) 및 간섭 그림 발생기(140)의 이동을 제어할 수 있다. 레이저 빔(132)은 위상 마스크(140)에 대해 이동할 필요가 없다. 수학적으로 이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned}\Phi(x) &= \int_{-\frac{x+D}{v}}^{\frac{x+D}{v}} I_0 \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2} t \cdot \sin^2 \left[\frac{\pi}{\Lambda} \cdot (x - v \cdot t) \right] \cdot dt \\ &= \frac{I_0}{4} \int_{-\frac{x+D}{v}}^{\frac{x+D}{v}} (1 - \cos \omega t) \cdot \left(1 - \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} \cdot (x - v \cdot t) \right] \right) \cdot dt\end{aligned}\quad (4)$$

적분이 변형되어 다음의 결과를 낳는다.

수학식 5

$$\begin{aligned}\Phi(x) &= \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \text{sinc} \left[\frac{2\pi}{\Lambda} \cdot D \right] - \text{sinc} \left(\frac{\omega}{2 \cdot v} \cdot D \right) \cdot \cos \left[\frac{\omega}{v} \cdot x + \frac{\omega}{2 \cdot v} \cdot D \right] \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \text{sinc} \left[D \cdot \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \cdot \cos \left[\pm \frac{\omega}{v} \cdot x - D \cdot \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \right\}\end{aligned}\quad (5)$$

여기서, $\text{sinc}(x)=\sin(x)/x$ 이고, I_0 는 섬유를 조사하는 펄스 강도이고, D 는 빔의 직경이고, $\Phi(x)$ 는 섬유로 송출된 유속량이고, m 은 인덱스 변화이고, $A(x)$ 는 진동 인덱스 섭동의 오프셋이다. 세 번째 항은 마이크로 이하 직경의 레이저와 같은 작은 기록 빔을 이용하는 다른 실시예에서 또는 레이저 빔이 필요한 섬유 회절 격자 피치보다 작은 경우에 위상 마스크가 필요

하지 않다는 것을 나타낸다. 그 다음 필요한 회절 격자 피치는 Λ 로서 정의되고, 여기서, $\frac{f(t)}{v(t)} \approx \frac{1}{\Lambda}$ 이다. 빔의 직경이 위상 마스크의 주기보다 훨씬 더 크다면, 방정식(5)은 다음과 같이 변형된다.

수학식 6

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \text{sinc} \left[D \cdot \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \cdot \cos \left[\pm \frac{\omega}{v} \cdot x - D \cdot \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

(실제로 두 개의 항인) 수학식(6)의 두 번째 항은 동조(同調) 변수 $\left(\frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right)$ 를 포함하고, 여기서 $\frac{f(t)}{v(t)} \approx \frac{1}{\Lambda}$ 이면 다음과 같다.

수학식 7

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \cos \left[\frac{\omega}{v} \cdot x \right] \right\} \quad (7)$$

광 진폭 변조의 주파수를 이조시킴으로써 또는 예를 들어 (증가되거나 감소된) 처프 패턴 내의 섬유의 속도를 변경함으로써, 임의 길이의 처프 FBG가 제조될 수 있다. 도5는 본 발명에 따라 제조된 섬유의 예시적인 처프 굴절 인덱스 프로파일을 도시한다. 적절한 주기의 작은 위상 마스크(즉, 1" o.d.)는 매우 넓은 파장 범위에 걸쳐 처프된 매우 긴 회절 격자를 만드는데 이용될 수 있다. 본 발명의 실시예에서, 분산 보상 제품은 1528nm에서 1568nm까지의 완전한 에르븀-도핑 섬유 증폭기 범위를 포함한다. 40nm 처프는 방정식(6)의 sinc 함수 내의 독립변수를 π 보다 작게 유지함으로써 $\sim 10\mu\text{m}$ 보다 작은 레이저 빔 직경으로 단일 FBG 내에 기록된다. 4nm 처프 FBG는 $\sim 100\mu\text{m}$ 보다 작은 빔 직경으로 기록될 수 있다. 이러한 직경들은 수학적 상한치이다. 실제로, 회절 격자 내에 이용 가능한 무늬 선명도를 기록하는데 이러한 크기의 절반보다 작은 직경을 구비한 빔을 이용할 수 있다.

광 변조의 주파수 또는 섬유의 속도가 변화되므로, 방정식(6)의 sinc 함수 내의 동조 변수는 0으로부터 증가해서 cosine 함수 공간-변조의 진폭을 감소시킨다. 이러한 제어 변수들이 너무 많이 변화되면, 완전한 변조가 되지 않을 것이다. 진폭

감소는 레이저 빔의 직경에 비례하고, 이는 가능한 넓은 파장의 처프를 만드는데 초점이 맞추어질 수 있다. $\frac{f(t)}{v(t)} \approx \frac{1}{\Lambda}$ 관계의 한계는 충분한 굴절 인덱스 변조가 수용 가능한 회절 격자를 생성하도록 도파관 내에 기록되는 한계에서 정의된다. 기록되는 회절 격자의 유형 및 정확도에 따라, 상기 방정식의 양변간의 이러한 차이는 예를 들어 10%가 될 수 있다.

진보적인 본 방법과 다른 인라인 회절 격자 제조 기술간의 중요한 차이점은, 본 방법에서는 광섬유와 간섭그림 사이의 이동이 속도 제어되지만, 긴 길이의 회절 격자를 제조하기 위한 다른 기술은 정밀 위치 설정 장치(인덱싱)에 의존한다는 점이다.

장치 내의 지터에 의한 섬유 회절 격자 피치($\delta\Lambda$) 내의 편차는 스테이지 속도를 $v=v_0 \pm \delta v$ 로 그리고 변조기 주파수를 $f=f_0 \pm \delta f$ 로 모델링함으로써 결정될 수 있고, 여기서 δv 및 δf 는 각각의 지터 항이다. 섬유 회절 격자 피치는 다음과 같다.

수학식 8

$$\Lambda \pm \delta\Lambda \approx \frac{v_0 \pm \delta v}{f_0 \pm \delta f} \approx \frac{v_0}{f_0} \left(1 \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0} \right) \quad (8)$$

장치의 지터에 의한 FBG 공진 파장의 편차는 다음과 같이 나타난다.

수학식 9

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda_B} = \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0} \quad (9)$$

이동 스테이지의 속도와 변조기의 주파수는 에르븀-도핑 섬유 증폭기 파장 범위에서 0.15nm의 정확도를 달성하기 위해 0.10% 미만으로 변화한다. 주사 속도는 분산 보상 FBG를 제조할 때 보통 $\sim 1\text{mm/s}$ 이고, 따라서 $0.1\mu\text{m/s}$ 미만의 정확도를 갖는 이동 스테이지가 필요하다. 이러한 기록 속도로, 0.2Hz 미만의 플러터(flutter)를 갖는 $\sim 2\text{kHz}$ 변조가 에르븀-도핑 섬유 증폭기 대역 내에서 회절 격자를 제작하는데 필요하다. 현재 이용 가능한 음향 광학 변조기는 $1\mu\text{Hz}$ 미만의 플러터가 가능하고, 위상-고정-루프로 제어되는 구매 가능한 회전 스테이지는 1mm/s 의 림(rim) 속도에서 0.0001% 미만의 속도 플러터가 가능하다. 더 높은 감광성을 구비한 섬유는 증가된 FBG 기록 속도용으로 가능하고, 이는 이동 스테이지에 대한 요구 조건을 완화한다.

정밀 이동 스테이지의 이동 범위보다 더 긴 회절 격자를 제조하기 위해, 웹-구동 시스템 내에서 간섭그림을 통해 섬유를 이동시킬 수 있다. 섬유는 섬유와 간섭 패턴의 정확한 정렬을 유지하도록 도2에 도시된 섬유 유지 조립체(160)에 이용되는 것과 유사한 V홈 또는 정밀 V홈 폴리 내에 위치될 수 있다. 본 발명의 방법이 속도 제어를 필요로 하므로, 정밀 위치 설정과는 반대로, 섬유는 변조된 레이저 빔(174)으로부터 위상 마스크에 의해 생성된 간섭그림의 전방에서 연속 길이의 섬유(172)를 이동시키도록 회전하는 도4에 도시된 스톱(170) 상으로 감겨질 수 있다. 스톱(170)은 시스템을 감기 위한 스톱의 부품이다. 이러한 스톱의 회전 속도는 정확한 림 속도를 제공하는 간단한 위상-고정-루프 회로(176)에 의해 제어되는 스핀들 모터에 의해 달성된다. 도4에 도시된 것처럼, 빔(174)은 스톱(170)의 회전에 일치하게 수직으로 이동됨으로써 섬유(172) 상에 유지된다. 레이저 빔을 구비한 기록 빔(174)의 위치는 스톱이 회전할 때 섬유(172) 상에 유지되도록 이동될 수 있다.

본 발명의 다른 실시예에서, 코팅되지 않은 섬유가 스폴에 영구적으로 고정될 수 있고, 회절 격자를 구비한 스폴이 제공되어 섬유 처리량을 감소시킬 수 있다.

본 발명의 방법은 또한 도6에 도시된 굴절 인덱스 프로파일을 갖는 아포디제이션된 섬유 브랙 회절 격자를 제작하는 데 이용될 수 있다. 완전하게 아포디제이션된 회절 격자는 섬유가 간섭그림을 통해 이동될 때, 다른 함수 발생기 또는 적절한 전자 장치를 거쳐 사인과 신호의 진폭을 변조함으로써 본 발명의 방법으로 제조될 수 있다. 완전한 아포디제이션을 달성하기 위해, 사인과 함수 진폭은 오프셋이 인가되기 전에 제어된다. 수학적으로 이러한 기구는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \cdot \frac{D}{v(x)} \cdot \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cdot \cos \left[\frac{\omega(x)}{v(x)} \cdot x \right] \right\} \quad (10)$$

여기서, 진폭 변조(m)는 $A(x)=1$ 이면 0과 1 사이에서 변화한다. 당업자가 알 수 있듯이, 섬유의 피크 강도(I_0)와 이동 속도(v)와 진동 인덱스 섭동의 오프셋(A)은 회절 격자의 굴절 인덱스 프로파일에 맞춰지도록 제어될 수도 있다. 피크 강도, 속도 및 오프셋이 시간의 함수로서 일정하게 유지된다면, 섬유로 송출된 평균 플럭스는 진폭 변조의 수준에 관계없이

$$\overline{\Phi(x)} \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \text{로 일정하다.}$$

완전하게 아포디제이션된 처프 FBG는 특수한 위상 마스크, 광학 감쇠 또는 제어된 레이저 빔 감쇠가 없이 일단계 기록 공정으로 제조될 수 있다. 예를 들어, 160cm 길이의 4nm 폭의 선형 처프 FBG는 레이저 빔 변조의 주파수가 1859.98에서 1864.76 Hz까지 (4.784033Hz 대역에서) 선형으로 변화될 때 1.0739 μ m 주기의 위상 마스크를 가로질러 1mm/s의 속도로 섬유를 이동시킴으로써 제조될 수 있다. 회절 격자가 기록되는데 1600초가 걸리므로, 상승된 사인과 아포디제이션은 0.312 mHz의 사인파에 의해 함수 발생기 출력을 진폭 변조시킴으로써 달성될 수 있다. 다른 진폭 변조 프로파일이 특정한 적용예에 대해 FBG를 맞추는데 이용될 수 있다.

본 발명에 따라 제조된 긴 길이의 섬유 브랙 회절 격자는 다양한 적용예에서 이용될 수 있다. 도7은 분산 보상기(200) 내의 긴 길이의 섬유 브랙 회절 격자(210)의 이용을 도시한다. 신호(280)는 (보통 수백 킬로미터 정도인) 상당한 길이의 섬유 끝까지 전달된 후에 색분산으로 인한 어려움이 있다. 신호는 긴 길이의 처프 섬유 브랙 회절 격자(210)로 신호를 유도하는 써큘레이터(284)에 결합된다. 신호의 파장의 스펙트럼은 각각 섬유 브랙 회절 격자를 통해 상이한 거리를 이동한 후에 반사된다. 추가적인 이동 거리는 신호를 재압축하고, 분산 보상된 신호(282)를 써큘레이터(284)에 전달한다.

도8은 본 발명에 따른 사실상 임의의 길이의 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를 제조하는 방법의 흐름도이다. 화학 방사선 기록 빔이 제공된다. 빔이 필요한 회절 격자 피치보다 작으면 간섭 패턴 발생기가 필요없고, 그렇지 않으면 주기(Λ)의 주기적인 강도 분포가 기록 빔으로부터 생성된다. 감광성 도파관이 제공되어 기록 빔의 경로를 가로질러 위치된다. 그 다음, 도파관은 속도($v(t)$)로 기록 빔에 대해 이동된다. 시간의 함수로서의 기록 빔의 강도는 주파수($f(t)$)에서 변조되고,

여기서 $\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda$ 이다. 아포디제이션된 회절 격자가 필요하다면, 기록 빔의 강도는 굴절 인덱스 섭동의 포락선을 제어하도록 더 변화될 수 있다.

본 발명의 방법은 복잡한 굴절 인덱스 프로파일을 구비한 사실상 임의의 길이의 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를 기록하는 것을 가능하게 한다. 1미터보다 더 긴 회절 격자의 이용 가능성은 최초로 다양한 적용예에서 회절 격자를 효과적으로 이용할 수 있게 한다. 당업자가 알 수 있듯이, 본원에 개시된 진보적인 방법은 광섬유뿐 아니라 평면 도파관의 굴절 인덱스를 변경하는 데 이용될 수 있다.

본원에서 설명되고 도시된 방법 및 실시예는 단지 예시적인 것이고, 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 생각해서는 안된다. 당업자는 다른 변형과 변경이 본 발명의 취지 및 범위에 따라 가능하다는 것을 알아야 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

소정의 회절 격자 피치(Λ)를 갖는 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를 제조하는 방법이며,

감광성 도파관(110)을 제공하는 단계와,

화학 방사선 기록 빔(132)을 제공하는 단계와,

기록 빔으로부터 공간 주기(Λ_0)의 주기적 또는 준주기적 강도 분포를 생성하는 단계와,

속도($v(t)$)로 기록 빔에 대해 도파관을 이동시키는 단계를 포함하며,

도파관을 이동시키는 단계 이전에, 도파관을 스폴(170)에 결합시키며,

도파관을 이동시키는 단계는 $v(t)$ 로 도파관을 당기도록 스폴(170)을 회전시키는 단계와,

$\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda_0$, 인 관계에 의해 피치($\Lambda \approx \Lambda_0$)를 갖는 굴절 인덱스 회절 격자를 기록하도록 $v(t)$ 및 $f(t)$ 가 Λ_0 의 함수로 선택될 때, 기록 빔의 강도를 주파수($f(t)$)에서 시간의 함수로 변조하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2.

제1항에 있어서, 강도 분포를 생성하는 단계는 기록 빔과 도파관 사이에 간섭 패턴 발생기(140)를 위치시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3.

제2항에 있어서, 간섭 패턴 발생기(140)는 2Λ 의 주기를 갖는 위상 마스크인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4.

제1항에 있어서, 기록 빔을 제공하는 단계는 섬유를 조사하는 펄스 강도(I_0) 및 폭(D)을 갖는 기록 빔을 제공하는 단계를 포함하고,

도파관의 주어진 지점(x)으로 송출되는 유속량($\Phi(x)$)은 방정식

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \cdot \frac{D}{v(x)} \cdot \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cdot \cos \left[\frac{\omega(x)}{v(x)} \cdot x \right] \right\}$$

에 의해 주어지며 A 는 오프셋이고 m 은 무늬 선명도이고 ω 는 $2\pi f$ 인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5.

제4항에 있어서, 도파관 길이를 따라 기록된 굴절 인덱스 섬동의 포락선을 제어하기 위해 도파관에 송출된 유속량($\Phi(x)$)을 더 변화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6.

제5항에 있어서, 도파관에 송출된 유속량($\Phi(\chi)$)을 더 변화시키는 단계는 도파관 길이를 따라 굴절 인덱스 프로파일의 포락선을 제어하기 위해 I_0 를 변화시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7.

제5항 또는 제6항에 있어서, 도파관에 송출된 유속량($\Phi(\chi)$)을 더 변화시키는 단계는 도파관 길이를 따라 굴절 인덱스 프로파일의 포락선을 제어하기 위해 오프셋(A)을 변화시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8.

제5항 또는 제6항에 있어서, 도파관에 송출된 유속량($\Phi(\chi)$)을 더 변화시키는 단계는 도파관 길이를 따라 굴절 인덱스 프로파일의 포락선을 제어하기 위해 선명도(m)를 변화시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9.

제5항 또는 제6항에 있어서, 도파관에 송출된 유속량($\Phi(\chi)$)을 더 변화시키는 단계는 도파관 길이를 따라 굴절 인덱스 프로파일의 포락선을 제어하기 위해 속도(v)를 변화시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, $v(t)$ 가 상수인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, $f(t)$ 가 상수인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 기록 빔의 강도를 주파수($f(t)$)에서 시간의 함수로서 변조하는 단계는 회절 격자가 제조될 때 $f(t)$ 를 변화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13.

제12항에 있어서, $f(t)$ 는 처프 패턴 내에서 변화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 도파관을 이동시키는 단계는 회절 격자가 제조될 때 $v(t)$ 를 변화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 도파관을 이동시키는 단계는 위상-고정-루프 회로를 이용해서 도파관의 속도를 제어하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 빔은 자외선 레이저 빔을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, $v(t)$ 및 $f(t)$ 가 변수인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18.

제17항에 있어서, 변수들 중 하나가 통상 일정하게 유지되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19.

제17항에 있어서, 변수들($v(t)$ 및 $f(t)$) 중 적어도 하나가 복잡한 굴절 인덱스 회절 격자를 기록하기 위해 $v(t)/f(t) \approx \Lambda_0$ 관계를 이조하도록 변화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 도파관은 감광성 광섬유인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21.

소정의 피치(Λ)를 갖는 광학 도파관 굴절 인덱스 회절 격자를 제조하기 위한 인라인 광학 도파관 굴절 인덱스 기록 조립체(100)이며,

화학 방사선 기록 빔(132)의 공급원(130)과,

기록 빔의 강도를 주파수($f(t)$)에서 시간의 함수로서 변화시키도록 결합된 변조기(150)와,

기록 빔으로부터 공간 주기(Λ_0)의 주기적 또는 준주기적 강도 분포의 발생기(140)를 포함하며,

이동 기구(160)가 속도($v(t)$)로 주기적인 강도 분포를 통해 도파관을 이동시키도록 배열되며, 여기서 $\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda_0$ 인 관계에 의해 피치($\Lambda \approx \Lambda_0$)를 갖는 굴절 인덱스 회절 격자를 기록하도록 $v(t)$ 및 $f(t)$ 가 Λ_0 의 함수로 선택되며,

이동 기구(160)는, 속도($v(t)$)로 회전 스펙에 의해 당겨지며 도파관이 결합될 수 있는 회전 가능 스펙(170)을 포함하는 것을 특징으로 하는 조립체.

청구항 22.

제21항에 있어서, 주기적인 강도 분포 발생기는 $2\Lambda_0$ 의 주기를 갖는 위상 마스크인 것을 특징으로 하는 조립체.

청구항 23.

제21항 또는 제22항에 있어서, 도파관 길이를 따라 기록된 굴절 인덱스 회절 격자의 포락선을 제어하기 위해 기록 빔의 강도를 더 변화시키는 수단이 제공되는 것을 특징으로 하는 조립체.

청구항 24.

제21항 또는 제22항에 있어서, 변조기는 음향 광학 변조기인 것을 특징으로 하는 조립체.

청구항 25.

제21항 또는 제22항에 있어서, 이동 기구는 하나 이상의 도파관을 주기적인 강도 분포를 통해 동시에 이동시키도록 배열된 것을 특징으로 하는 조립체.

청구항 26.

제1항에 있어서, 적용 속도(v_0) 및 적용 주파수(f_0)는 장치 지터에 의한 약간의 편차(δv 및 δf)를 제공하고, 이에 의해 피치 편차는

$$\delta\Lambda \approx \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0} \quad \text{이고,}$$

브랙 회절 격자 공진 파장(λ_B)에 대해, 파장 편차는

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda_B} \approx \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0}.$$

인 것을 특징으로 하는 방법.

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.

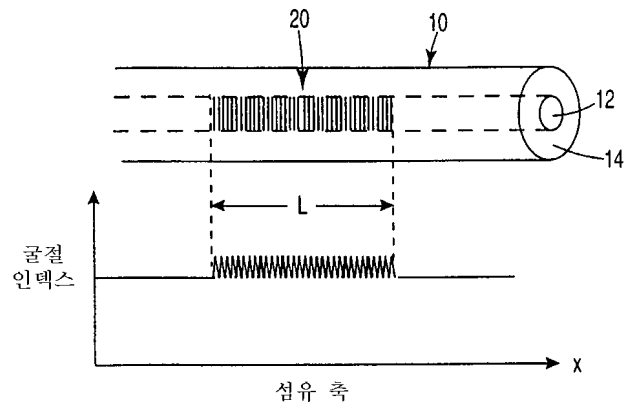
삭제

청구항 38.

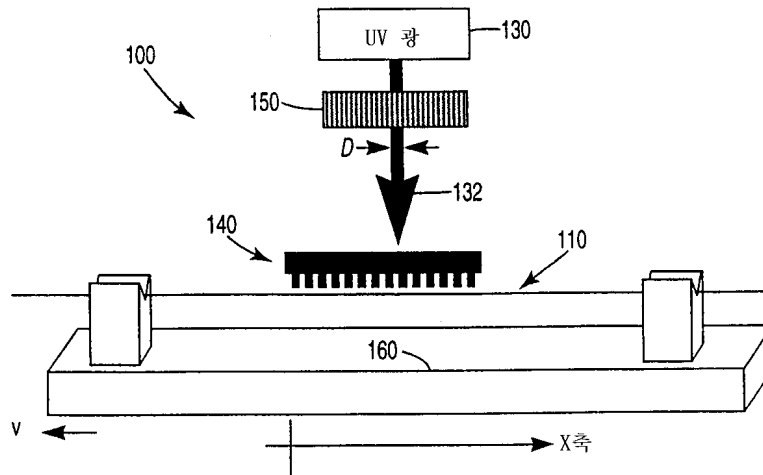
삭제

도면

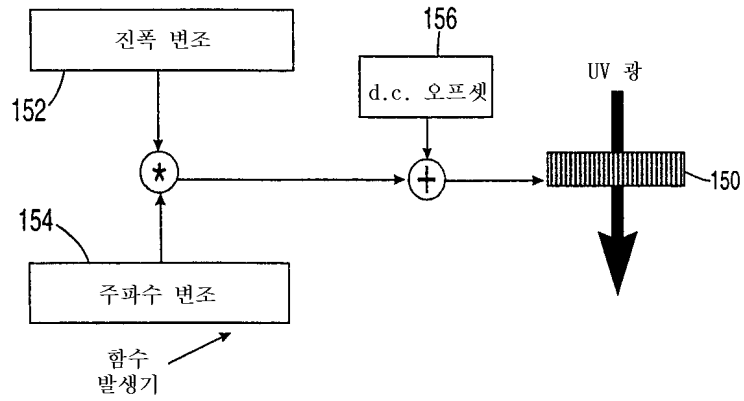
도면1



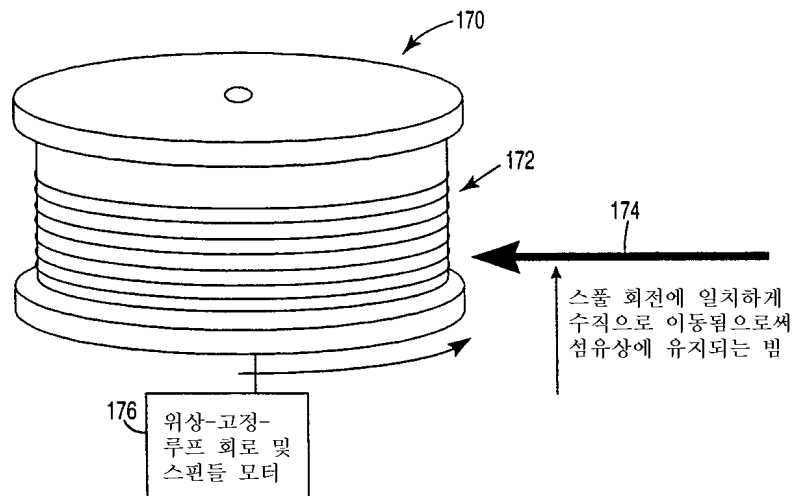
도면2



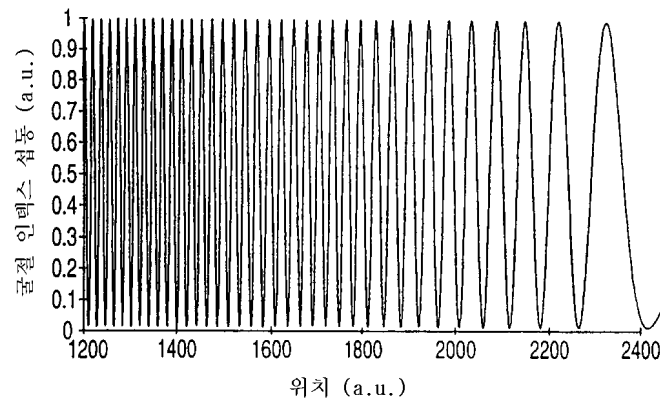
도면3



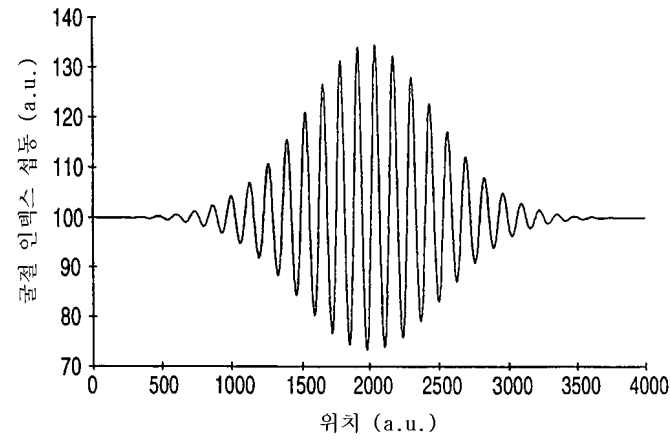
도면4



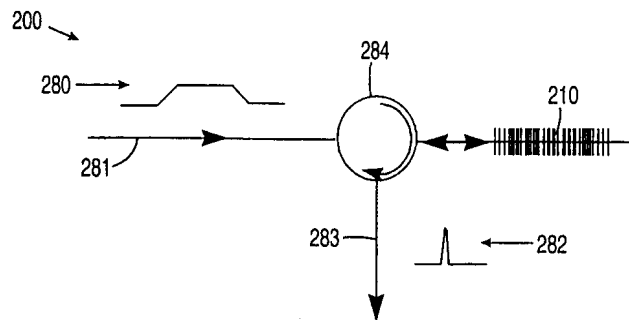
도면5



도면6



도면7



도면8

