

# Diffraction Grating을 이용한 화상 직접 전송기술

글: 최상삼, 이상배 박사/  
한국과학기술연구원

본 자료는 지난 1월 26~27일, KIST주최로 열린 '3차원 영상매체기술 국제워크샵에서 KIST, 최상삼박사와 이상배 박사가 발표한 'Diffraction Grating을 이용한 화상 직접 전송기술'의 내용이다. 관심있는 분들의 많은 참고 바란다. - 편집자 주 -

## 광섬유 격자의 제조

### (1) 광섬유 격자의 일반 특성

1978년 K. O. Hill과 동료들은 Germania가 첨가된 광섬유에서 광유도 격자가 형성됨을 최초로 발견했는데, 이는 488nm의 알곤 레이저에 의해 광섬유 코어내에 정상파를 형성시켜서 만들어진 것으로서 2광자 과정에 의한 것이었다. 그후에 강한 자외선레이저 광원으로 광섬유의 옆면에 간섭무늬를 형성시켜 광섬유 코어에 굴절률 변조 즉, 위상격자를 형성시키는 방법을 통해서 격자제조 기술에 큰 발전을 가져왔다.

이 방법은 단광자 과정에 의한 것이므로 종전의 2광자과정보다 격자가 100만배 민감하게 형성된다. 또한, 횡축으로 격자를 형성시키는 것은 원하는 간격, 즉 Bragg 공명파장을 갖는 격자의 제조가 가능하며, 원하

는 위치에 광섬유 격자를 형성시킬 수 있다. 광섬유 격자는 거의 흡수나 산란이 없는 영구적인 광유도 격자임이 밝혀졌다. 광섬유격자는 광섬유 코어 굴절률의 주기적인 변조이며 적당한 조합에 의해 파장선택형 반사거울이나 파장 제거 필터를 형성한다. 또한 다른 격자소자와 광섬유 소자가 결합하여 공명형 공진기, 파장 선택형 필터, 파장 분할 Tape 등을 만들 수도 있다.

최근에 광섬유 격자 소자 제조기술에 있어서 새로운 발전이 이루어졌는데, 이는 간섭형 광학소자인 위상마스크나 Point by Point를 이용한 기록기술, 코어-클래딩 굴절률 차 만큼의 굴절률 변화를 줄 수 있는 수소 첨가법, Germanium 대신 Cerium이 첨가된 광섬유를 이용하는 방법 등이다. 광섬유 격자를 이용한 새로운 많은 소자들이 있는데, 그것은 광섬유 레

이저, 외부 공진기형 반도체 레이저, 특정 파장 투과 필터, 광섬유 에탈론 필터, 모드 변환기 그리고 다양한 센서들이다.

광섬유 격자 소자 기술에 주목할 만한 관심과 활동이 있었지만, 굴절률 변화 과정에 대한 것은 아직 완전하게 이해되지 않았다. 격자소자 형성원리에는 많은 과정들이 연관되어 있는 것으로 사료된다. 기본적으로는 광섬유를 유도하는 레이저광이, Germania 첨가 유리에서의 무산소-결합과 같은 유리구조속의 원자간 결합을 파괴한다고 추정된다. 전자들은 속박에서 벗어나서 구조물 속의 다른 곳에 있는 색중심 Trap을 찾아 간다. 어닐링실험에 의하면 2가지 이상의 에너지를 갖는 Trap들이 있을 것으로 추정된다. 새로운 전자Trap들은 주로 스펙트럼의 자외선영역에서 실리카의 흡수 특성에 변화를 가져오며, 흡수 스펙트럼에서 양의 변화는

Kramers-Kronig 관계식을 통해 굴절률의 증가를 가져다 준다.(그림 1참조) 다른 효과로는 유도된 스트레스의 완화, 또는 광에 의해 파괴된 결합에 의해 광섬유 코어 물질의 구조변화가 유도 굴절률 형성에서 중요한 역할을 할 것이다.

최초의 측면조사에 의한 광섬유 격자는 광 분할 간섭계에 의해 만들어졌다.(그림 2 참조) 간섭무늬의 간격과 결과적으로 제조된 광섬유에서 형성된 격자의 주기는  $\Lambda = \lambda / (2 \sin(\theta))$ 로 주어진다. 여기서 우리는 각  $\theta$ 를 변화시킴으로써 단순하게 격자의 주기를 조절할 수 있거나 흡수영역의 한도내에서 레이저 파장  $\lambda$ 의 변화에 의해 격자의 주기를 변화시킬 수 있다. 원통형 렌즈를 간섭계 내에 위치시켜 간섭 광 초점을 모아 광섬유에 선형 이미지를 만든다. 자외선의 에너지밀도는 레이저 펄스당  $1 \text{ J/cm}^2$ 까지 사용되는데, 이것은 광섬유표면을 파괴하는 문턱 에너지이다. 좋은 간섭무늬를 형성하기 위한 레이저의 가간섭 길이는 10cm정도 되는 것이 좋다. 광섬유에 레이저광을 조사하는 시간에 진동이나 공기의 흐름으로부터 간섭계의 안정성을 유지하기 위해 조심해야 하는데 일반적으로 그 시간이 1~5분 정도이다. 실리카 프리즘 간섭계가 격자 소자를 형성시키기 위하여 여러 연구자들에

의해 사용되었다. 이러한 간섭계를 사용하면 비록 광의 크기와 격자 형성에 있어서 날(blaze)을 세우는 능력이 다소 희생 되더라도, 격자 소자를 형성하기 위한 간섭계의 크기와 안정도에 대한 요구사항이 크게 줄어들다. 그러나 최근에 0차 광투과를 거의 제거시킨 회절형 광학 위상 마스크(diffractive optical phase mask grating)를 사용하는 방법이 개발되었다.(그림 3) 위상 마스크

를 통해 자외선 광이 지나갈 때 근거리 간섭 무늬가 형성된다. 간섭 무늬의 간격은 마스크 간격의 반이며, 이 경우 조사되는 자외선 광은 좋은 공간적 가간섭성이 요구된다. 그러나 시간적 가간섭성은 요구되지 않는다. 안정성의 문제는 광섬유가 자외선 광의 회절무늬가 있는 마스크 바로 뒤에 위치하고 있으므로 크게 문제되지 않는다. Prohaska와 Snitzer는 간섭하는 곡선의 파면(wavefront)을

GERMANIA COLOR CENTERS

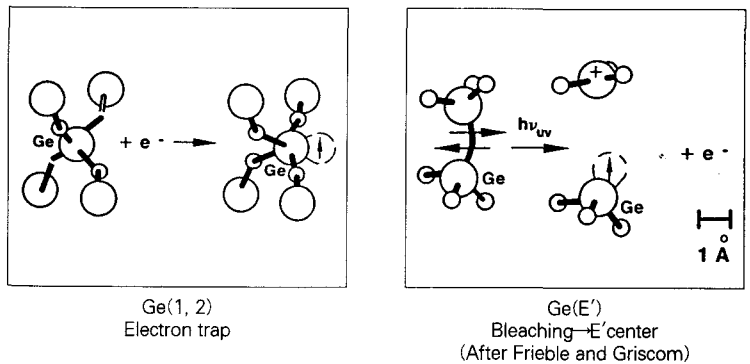


그림 1. Germania color center 개요도

WRITING A GRATING IN A FIBER

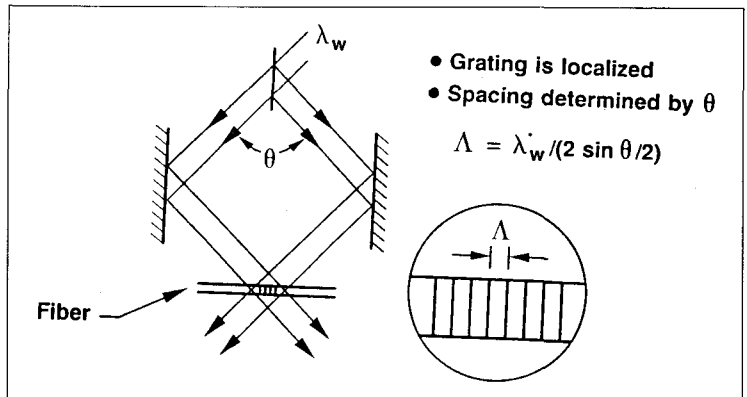


그림 2. 간섭 방식을 이용한 광섬유 격자 제조

형성시키는 집속광학계를 사용하여 마스크로 만들어진 격자의 주기를 2%정도 변화시켰다. 이러한 위상 마스크는 광섬유 격자 제작 시스템을 크게 간소화 하였으며, 자외선 광원의 시간적 가간섭성을 요구하지도 않는다. 위상 마스크는 간섭계에서 광분할기로도 사용된다. 이것은 격자소자 주기의 변화나 조사되는 광섬유로부터 격자의 분리를 쉽게 하도록 해주며, 위상 마스크로부터 원치않으나 존재하는 0차 광을 차단하여 준다. 이러한 간섭계는 회전 거울로써 유리 블럭을 이용하여 안정되도록 소형으로 만들 수 있다. Malo등이 설명한 모드 변환기나 진동필터(rocking filter)를 위한 긴 주기의 격자와 고차 Bragg 격자는 정밀 트랜스레이터를 사용하여 점과 점으로도 만들 수 있다. 최근에 광섬유 격자는 단 한번의 20ns의 엑시머 레이저 광으로 조사함으로써 만들 수 있으며, 이 경우 기계적 안정성은 요구되지 않으며, 한번 조사로 광섬유 격자를 만들 수 있으므로, 광섬유 인출 장치에서 직접 제작할 수 있다.

광섬유 코어 내의 주기적 굴절률 요동은 준 위상 맞춤 분산 반사기로써 사용할 수 있다. 반사율, 파장 대역, 파장 반응 모양들은 1차적으로 조사되는 광의 모양과 조사 조건의 조화에서 유리의 광 민감성에 의해 결

정된다. 60B의 깊이를 갖는 투과 notch는 germania첨가 농도를 8mole%로 한 광섬유에 50Hz prf레이저로 1분 가량 조사하여 얻은 결과이다.

특별한 파장 반응성에 대한 설계 지침은 위상 격자의 반사율을 계산한 결합 모드 방정식의 해로부터 구할 수 있다. 이러한 모델의 자세한 부분은 공간적 변화, 광섬유의 유효굴절

률에서 자외선에 의한 변화 그리고 격자 형성과정의 비선형 포화 역학 등에 의해 복잡해진다. 평균 굴절률의 변화는 조사되는 동안 Bragg과장을 이동시킨다. 굴절률의 평균값과 주기적인 성분은 포화효과 때문에 광섬유의 조사 길이를 따라 변화한다. 주기적 요동의 외각치는 자외선 유도 apodization에 의해 변화되며, 추가적인 공간

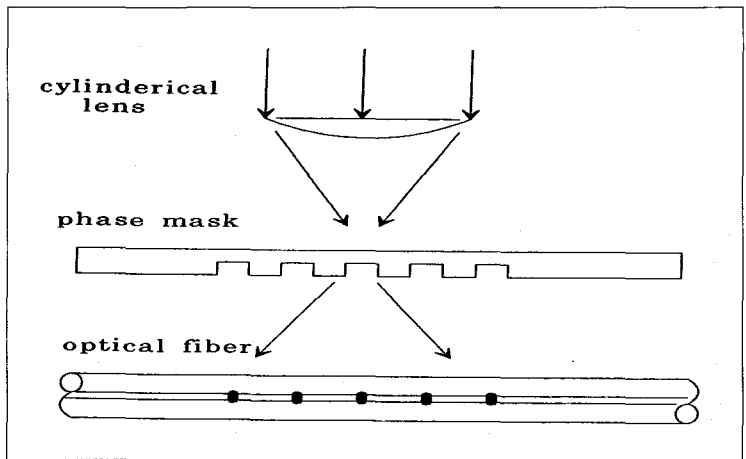


그림 3. 위상 마스크를 이용한 광섬유 격자 제조

FIBER BRAGG GRATING

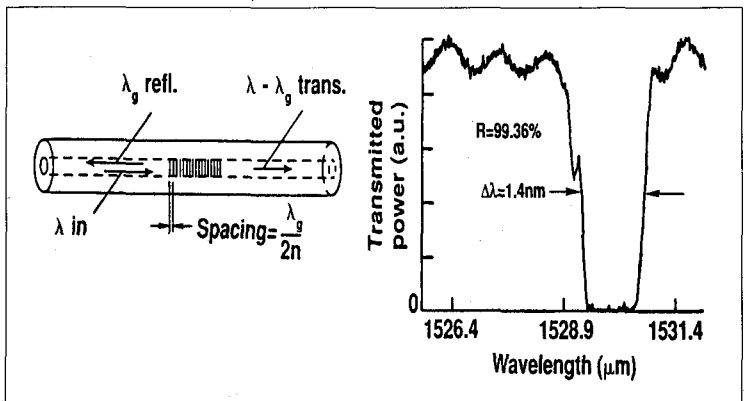


그림 4. 제작된 광섬유 격자소자의 광 투과 특성

조화파가 나타날 것이다. 격자를 따라 Bragg 파장이 변화하며 고차 Bragg 공명이 나타난다. 전자에 의해 격자 스펙트럼에 약한 Fabry-Perot선이 생기는데, 이것은 국소적으로 일치하는 Bragg 파장들의 쌍으로부터 반사가 일어나기 때문이다. 적절하게 민감한, Er과 Germania 첨가 광섬유에 길이 2mm 격자에 의해 그림 4와 같이 약 99.4% 정도의 고반사율을 나타내며, 2차 Bragg선은 기본 Bragg선 파장의 반되는 곳에 이 격자의 스펙트럼이 나타난다.

Germania 첨가 실리카에서의 광유도 굴절률은 강한 내구성으로 인해 주목할 만하다. 높은 반사율 격자는 온도 변화에 대해 무관하다. 자외선 유도 color center는 250°C 정도에서 anneal 되기 시작하며, 고온에서 반사율(혹은 굴절률 증가)은 감소된다. 그러나 완전한 annealing은 800°C 정도 될 때까지는 일어나지 않는다. 격자의 수명은 200°C 이하에서 수십년 정도 기대된다. Boron과 같은 다양한 첨가물에서 다소의 성공을 거두고 있으나, 가장 주목할만한 것은 광섬유나 그의 모재를 수소 분위기에 저장하는 것이다.

이와 같이 하여 특성이 개선되는 것은 완전하게 이해되진 않았으나, 자외선에 의해 생성

된 산소가 없는 결합이 추가적인 color center의 형성과 결합하여 위의 효과가 증가되거나 광유도 재결합을 감소시키기 때문으로 추정되고 있다.

## (2) 광섬유 격자의 응용분야

### ① 광섬유 레이저

격자 광섬유 레이저 연구의 대부분은 광통신 및 센서용의 1.55 $\mu$ m erbium-doped 레이저와 관련된 것들이다. 고밀도 wave division multiplexing 통신이나 센서시스템은 특정파장이나 특정간격을 가진 파장열의 저잡음 레이저 어레이들을 필요로 한다.

파장 선택 뿐만 아니라 편리한 파장가변성 또한 필요하다. 원하는 특성과 정확히 일치하는 기판이 없거나 제조상의 오차때문에 원하는 파장의 distributed feedback (DFB) 반도체 다이오드 레이저를 얻기가 어려운 반면에, 광섬유 Bragg 격자는, 희토류원소 도핑된 광섬유 레이저와 외부공진기 반도체 레이저 둘다에 대해서, 파장을 선택하거나 단일파장으로 발진을 제한시키는 데에 편리하게 사용될 수 있다.(그림 5)

공진기 feedback와 모드선택에 Intracore Bragg reflector를 사용하는 단일주파수 광섬유 레이저는 제조중의 파장선택성과 공학적인 단순성때문에 중요하

다. 현재까지, 외부변조 erbium-doped 광섬유 격자 레이저는 10<sup>9</sup>의 bit-error-rate로 654km에 걸쳐 2.5Gbit/sec의 속도로 전송하는데 성공하였다. low bit-error-rate 전송을 방해하는 잡음 burst가 있기는 했지만, 그 성능은 DFB 레이저와 유사하다.

광섬유 레이저 강도의 장시간 안정화와 완화진동에 따른 상대적 강도 잡음의 억압은, 능동 잡음 감소에 의해 실현할 수가 있다. 잡음 감소는 레이저 출력을 샘플링하여 반도체 레이저 펄프 다이오드를 위상이 반대가 되도록 변조해서 잡음이 상쇄되도록 해주면 구현할 수가 있다. 능동 잡음 제거에 의해, 100kHz 대역 주파수의 DC lasing 레벨에 대해 -111 dB/Hz 이하로, 그 이상의 주파수에 대해 -140 dB/Hz 이하로, 잡음을 줄일 수 있다. 그 이상의 주파수대역에 대해서는 DFB 반도체 레이저나 다른 고체 레이저의 잡음 수준에 육박한다. 이 잡음 수준은 단일 주파수 erbium-doped 광섬유 레이저가 더 효율적이고 고출력화됨에 따라 감소될 것이다.(그림 6)

고농도 도핑된 광섬유 레이저에서는 self-spiking이 관측되기 때문에, erbium-doped 광섬유 레이저 출력과 효율은 실제적인 erbium dopant 농도에 대해 제한을 받는다. 다이오드 펄

LASER DIODE PUMPED FIBER LASERS WITH EMBEDDED GRATING REFLECTORS

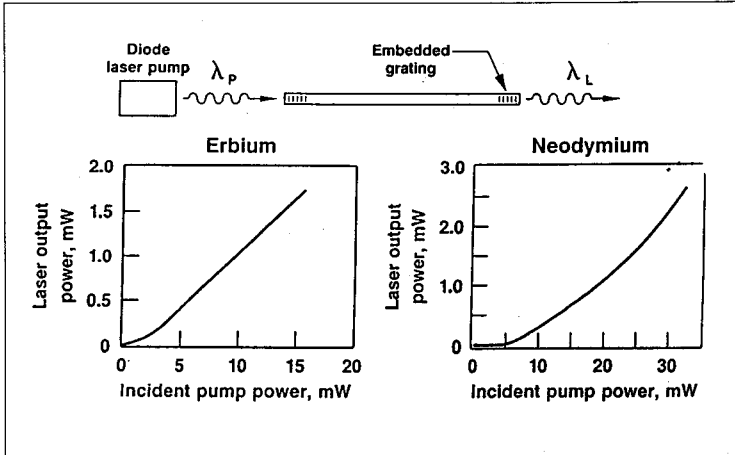


그림 5. 광섬유 격자 소자를 이용한 광섬유 레이저

NARROW LINE WIDTH SINGLE LONGITUDINAL MODE  $Er^{3+}$  FIBER LASER

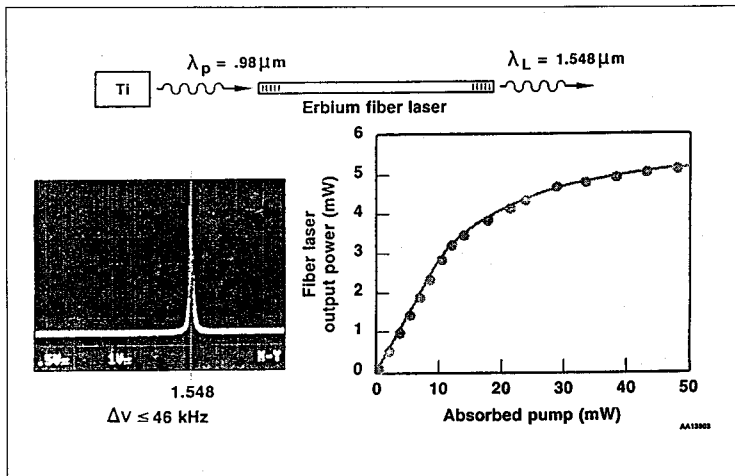


그림 6. 광섬유 격자소자를 이용한 단일 종모드 광섬유레이저

평된 단일주파수 광섬유 레이저의 출력은 100-300 $\mu$ W, 효율은 0.1%로 제한을 받는다. 단일 주파수 광섬유 레이저 출력은 공진기에서의 펌프 흡수에 의해 제한을 받고 펌프광은 레이저 공진기를 구성하는 Bragg 반사

경을 투과하기 때문에 master-oscillator power-amplifier (MOPA) 구성에서 잔류 투과 펌프를 이용하여 증가된 시스템 효율을 얻을 수 있다. 현재까지, 저잡음 단일주파수 MOPA시스템에서 60mW이상의 단일주파

수 출력이 실현되었다.

MOPA 구성 외에, 980nm에서 더 강한 흡수와 레이저 천이 erbium 상준위로의 효율적인 에너지 전달을 주는 Er:Yb 광섬유를 이용하여 광섬유 레이저의 효율 한계가 극복되었다. 선폭이 2.5kHz 이하인 7.6mW 단일주파수 레이저가 효율적인 Er:Yb광섬유에 대해 보고되었다.

공진기 feedback을 위해 Bragg 격자를 사용하는 광섬유 레이저의 장점은, 격자와 내장된 광섬유를 일정하게 늘리거나 가열하면 모드호핑없이 연속적인 주파수 튜닝이 가능하다는 것이다. 짧은 광섬유 레이저는 1% 스트레인에 대해 10nm의 파장튜닝을 준다.

② 외부공진기 다이오드 레이저

고체 광섬유 레이저에 덧붙여서, 반도체 레이저에서 외부공진기 반사경으로서, 주파수나 모드 조절을 위해 Bragg 격자를 이용할 수 있다. 광섬유 Bragg 격자를 이용하는 저가의 Fabri-Perot 레이저 다이오드의 주파수 조절이 1990년에 처음으로 실현되었다. 이후에, 50KHz 이하의 선폭을 갖고 500kHz이하의 chirp을 가지며, 1.2 Gbit/sec로 직접 변조되고 격자로 조정되는 다이오드 레이저 광원이 구현되었다. 그런 광원의 전송률이 외부공진기

에 레이저광의 왕복시간에 의해 수 Gbit/sec로 제한을 받지만, 이 광원은 간단하고 싸고 작으면서 주파수가 조정되는 전송기의 가능성을 제시한다. 레이저 다이오드의 한면을 무반사 코팅함으로써 8nm에 걸쳐 연속적인 튜닝이 가능해졌다. 마침내 외부공진기 광섬유 Bragg 반사경을 가진 레이저 다이오드에서 다이오드전류를 변조하므로써 모드록킹 시키는데에 성공하였다. 외부공진기 처핑된 광섬유 Bragg 반사경을 이용하여, 18.5psec의 변환한계인 펄스를 가진 안정된 솔리톤 광원이 이 방법으로 개발되었다.

### ③ 필터와 모드 변환기

광섬유 안에 있는 하나의 Bragg 격자는, Bragg 공명근처의 파장을 반사시키므로써 파장선택적 반사경이나 대역 반사 필터로 작용한다. 그러나, Michelson 간섭계에서 처럼, 3dB 결합기의 양쪽다리에 동일한 격자를 설치하면, 대역투과필터를 만들 수 있다. 이 필터는 Bragg 공명근처의 파장만을 투과시키고 나머지 파장에 대해서는 반사없이 버린다. Mach-Zehnder 간섭계에서 처럼, 격자를 가진 다리근처에 2번째 결합기를 더하면 dropadd 필터를 만들 수 있다. 이것은 평면 광도파로에서 Kashyap등에 의해 최근에 실현되었다.

두개의 동일한 Bragg 격자를 광섬유안에 직렬로 설치하면 Fabry-Perot etalon을 만들 수 있다. 이러한 종류의 몇개의 에탈론이 제작되어 시험되었다. 이중 하나는 99.5%의 반사률과 1.06GHz의 free spectral range 그리고 660의 finesse를 가졌다. 각각의 Bragg 반사경의 손실은 <0.27%이었다. 더욱 최근에는 finesse가 500인 에탈론제작에 성공하였다.

광섬유의 축에 대해 격자를 tilt 시키거나 blaze 시키면 광섬유를 빠져나온 광이 손실이 큰 cladding 모드나 radiation 모드로 광섬유를 빠져나간다. 이러한 파장선택적 tap은 격자이나 광도파로 설계에 의해 조정될 수 있는, 상당히 넓은 파장대에 대해 생긴다. 이 경우 반사가 되는 것이 아니기 때문에 흡수형 필터로 작용하게 된다. 격자 tap의 한가지 응용에는 erbium 광섬유 증폭기에서 이득 flattening 필터로 사용되는 것이다. 큰 blaze에 대해서는 출력 커플링이 광도파신호의 편광에 대해 민감하기 때문에, intra-core 편광기를 만들 수가 있다.

광섬유 축에 대해 아주 작은 tilt( $1^\circ$ )를 주면, 한 모드를 다른 모드로 변환시켜주는 반사형 공간모드 결합기를 만들 수가 있다. 반면에 장주기 격자를 만들면 광섬유를 섭동시켜 다른 모드로 결합시킬 수가 있다. 이런

효과를 이용한 파장필터가 Hill 등에 의해 실현되었다. 공간모드 변환 격자는 60cm에 걸쳐서 point-by-point writing에 의해 590 $\mu$ m 주기로 새겨졌다. (그림 7, 8 참조) 격자전후에 모드 striper를 이용하면 파장필터를 만들 수가 있다. 격자에 의한 작은 복굴절에 의해 두 편광모드가 결합되므로, 유사한 방법으로 편광유지 광섬유에 편광모드 변환기를 만들 수가 있다. 두 모드가 잘 겹치도록 적당한 격자 blaze를 이용하면 파장필터를 만들 수가 있다. point-by-point writing에 의해 역시 Hill등이 제작한 rocking 필터는 길이 87cm, 85 스텝 rocking 필터로서 7.6nm의 투과대역폭을 가지며 피크 투과율이 89%이었다.

### ④ 센서

광섬유 Bragg 격자는 매우 우수한 광섬유 센싱 변환기 소자이다. 그것은 광섬유의 광도코어에 집적되며, wavelength-encoded되어, 다른 많은 광섬유 센서에 악영향을 주는 진폭이나 강도 변화의 문제를 제거시켜준다. 협대역 반사특성에 의해, 광섬유에 쉽게 multiplex 된다. Bragg 격자는 복합물질에 심어져 smart structure 모니터링에 이용되거나 부하수준을 모니터링하기 위해 민간 구조물에서 시험받았다. 또한 음향 센서 어레이로서 성공적으로 시

POINT-BY-POINT GRATING WRITING APPARATUS

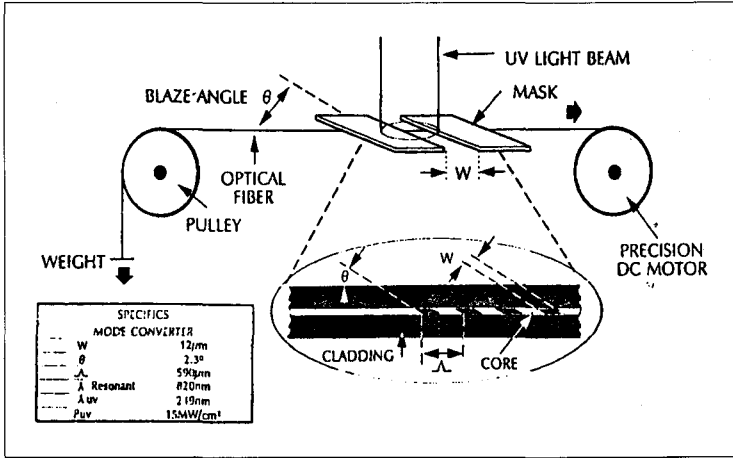


그림 7. 점과 점으로 광섬유 격자 제작하는 방법

LINEARLY CHIRPED IN-FIBER GRATINGS FOR DISPERSION COMPENSATION (MODE CONVERTERS)

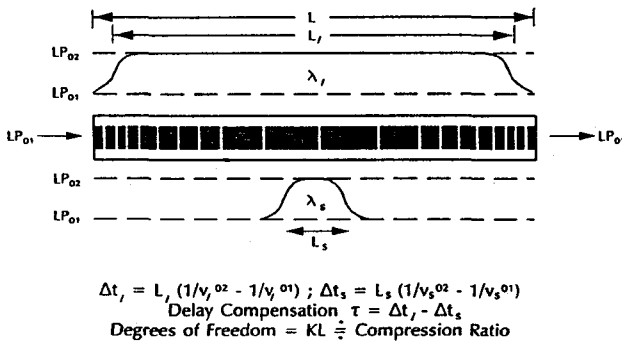


그림 8. 광펄스를 줄이기 위한 chirped 격자 소자

힘되었다. 광섬유 격자 센서의 응용은 가까운 미래에 유지, 공정 제어, 항공산업분야에서 많이 나타날 것이다.

격자의 온도 민감성은 주로 굴절률에 의한 효과에 기인하며 부차적으로 팽창률에 기인한다. Bragg 공명의 전형적인 파장변화율은 8ppm/°C이다. 이것은

1550nm에서 0.0012nm/°C에 해당한다. 온도 민감성은 다른 물질하고 적당히 붙이면 향상되거나 제거된다. 최대 동작온도는 아직 완전히 밝혀지지 않았지만, 굴절률이 큰 광섬유를 사용하여 pre-annealing을 시켜 주면 500°C에서 장시간 동작이 가능할 것이다.

스트레인은 격자의 인장이나 수축에 의해 직접적으로 Bragg 특성에 영향을 주며, 스트레인-광학효과에 의해서도 영향을 준다. 축방향 부하에 대해 전형적인 파장이동률은 스트레인의 76%인데, 이것은 1550nm에서 1% 스트레인에 대해 11.8nm 이동하는 것에 해당한다. 이것은 실제적으로 사용할 때, 광섬유 격자에 가해지는 최대 장력이 될 것이다. 압력, 유량, 진동, 음향, 가속도, 전기장, 자기장과 같은 많은 다른 물리량과 어떤 화학효과 역시 광섬유 격자에 가해지는 스트레인과 상호작용에 의해 측정될 수 있을 것이다. Bragg 공명 이동의 감지성은 상당히 민감할 수 있다. 파장변조기술을 이용하여 Bragg 반사로 부터의 회귀신호의 미분값이 0이 되는 점을 감지하여, Kersey등은 30Hz 대역폭에서 0.3μstrain의 적용으로부터 0.0003nm의 파장이동을 검출하였다.

wavelength division multiplexing 능력과 스트레인과 온도의 함수로서의 파장변화에 의해, Bragg 격자 광섬유 레이저는 광섬유 센서를 위한 튜닝가 능한 광원이나 광섬유 센서 그 자체로서 이용될 수 있다. 수동형 gg 격자 센서보다 광섬유 레이저 센서가 나은 주요 장점은 신호 대 잡음비가 높고, 분해능이 좋으며, 복조 대역폭이 넓다는 것이다.

광섬유 레이저의 파장을 모니터링할 필요를 없앤 새로운 기술이 polarimetric heterodyning Bragg 격자 광섬유 레이저 센서에서 발견되었다. 이 레이저 센서에서는, 복굴절 공진기 안에서 두 편광모드가 발진 되도록 하여, 전자적으로 비트톤이 모니터링 된다. 두 발진모드 사이의 비트주파수의 변화는 광섬유 레이저에 가해진 열적변화 혹은 스트레인 변화와 대응시킬 수 있다.

(3) 회절형 위상마스크의 설계 및 광섬유 격자제조 실험

① 회절형 위상 마스크의 설계

광섬유 격자 제조를 위한 회절형 위상 마스크를 결정하기 위해서는 위상 마스크 골의 크기 A와 골의 간격  $d_{mask}$ 과 다른 변수와의 관계를 알아야 한다. 우선 0차 회절광이 상쇄되어 없어지도록 하기 위해서는 골과 마루사이의 광이  $\pi$ 의 위상차를 가져야 한다. 즉,

$$2\pi \cdot (n\lambda^{-1})A/\lambda = \pi$$

여기서  $\lambda = 248\text{nm}$ ,  $n_{\lambda 248\text{nm}} = 1.51$ 을 대입하면, 위상 마스크의 골의 크기  $A = 244\text{nm}$ 이다.

만들어진 광섬유 격자의 Bragg 파장과 마스크 골 간격과의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$d_{mask} = 2 \cdot d_{grating} \text{ 이며,}$$

TRANSMISSION

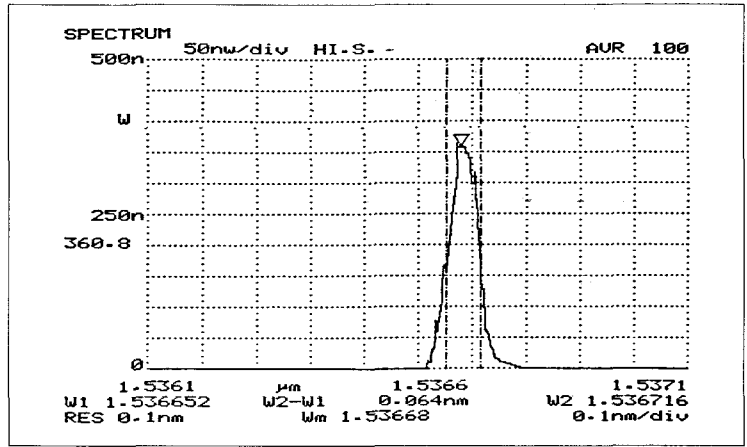


그림 9. KIST에서 제작된 광섬유 격자소자의 광 투과 특성

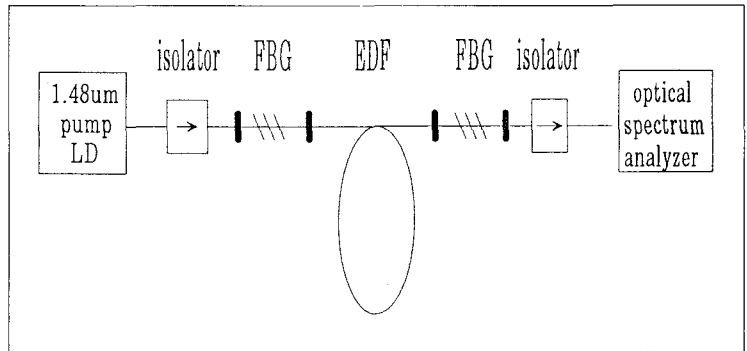


그림 10. 광섬유 격자소자를 이용한 광섬유 레이저 구성도

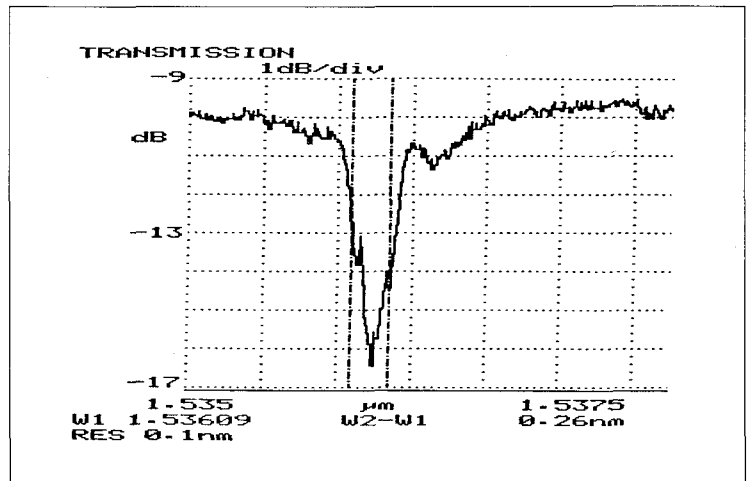


그림 11. 제작된 광섬유 레이저의 광 출력 스펙트럼, 발진 파장 중심이 1.5367μm이고, 선포이 0.064nm이하이다.



$\lambda_{\text{Bragg}} = 2 \cdot n_{\text{Bragg}} \cdot d_{\text{grating}}$ 이다.

따라서,

$d_{\text{mask}} = 1.06\mu\text{m}$ 이면,

$\lambda_{\text{Bragg}} = 2 \cdot 1.444 \cdot 0.53\mu\text{m}$

$= 1.531\mu\text{m}$ 이다.

본 실험에서는 위의 특성에 맞춰 미국의 Lasiris사에서 제조한 회절형 위상 마스크를 이용하여 실험을 하였다.

### ② 광섬유 격자 제조 실험

본 실험에서는 KrF엑시머레이저(펄스당 에너지 400mJ, 파장 248nm, 펄스폭 20ns)를 이용하여 광섬유 내에 광유도 격자를 제조하였다.(그림 3 참조) 렌즈를 사용하여 레이저 에너지 밀

도를 500-1000 mJ/cm<sup>2</sup>로 조절하여 위에서 설명한 위상 마스크에 조사시켜 발생된 회절무늬가 광섬유 코어속의 germanium에 작용하여 일정한 주기를 갖는 굴절을 변조에 의해 광유도 격자가 생성되도록 하였으며, 광유도 반응이 잘 일어나도록 실험에 사용한 광섬유는 일반 광통신용 광섬유보다 germanium이 많이 도핑된 19mole%, Boron이 22mol 정도 첨가된 광섬유를 제조하였다. 광섬유 격자소자를 제조하는 동안 1.5 $\mu\text{m}$  LED와 optical spectrum analyzer를 이용하여 광투과 특성을 계속 관측하였다. 제작된 광섬유 격자소

자의 반사율은 그림 9와 같이 1.5365 $\mu\text{m}$ 에서 약 80% 정도 되었다.

### ③ 광섬유 격자소자를 이용한 광섬유 레이저

그림 10과 같이 1.536 $\mu\text{m}$ 에서 약 70%의 반사율을 갖는 두개의 광섬유 격자소자와 두개의 광 isolator 그리고 Er 첨가 광섬유등을 이용하여 광섬유 레이저를 구성한 1.48 $\mu\text{m}$ 의 여기용 광원으로 광섬유 레이저를 발진시켰다. 발진된 광섬유 레이저의 발진파장은 1.5367 $\mu\text{m}$ 이고 그 선평은 0.064nm이하 이었다.(그림 11참조)

## 휴식공간

### 사진촬영시 배경과 인물모두를 선명하게 하려면...

모처럼 배경을 살리고 싶다면 배경도 선명하게 묘사해야 하는데, 그 방법은

- ① 배경에 인물을 가까이 배치한다.
- ② 조금 떨어진 곳에서 조리개를 조여서 찍는다.
- ③ 광각렌즈의 '피사계 심도'를 효과적으로 사용한다.

이상 세 가지 방법이 있지만 보통은

- ①+②의 테크닉을 흔히 사용한다.

※ 참조: 삼성항공발행 「카메라교실」(종합편)