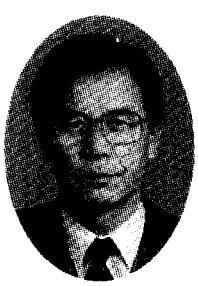
광섬유 격자 소자 기술

이상배
한국과학기술연구원
광기술연구센터



최상삼
한국과학기술연구원
광기술연구센터

1. 서 론

광섬유의 주성분은 순수규소로 이루어져 있으며, 그 구조는 굴절률이 약간 높도록 게르마늄을 첨가한 광섬유 중심(core)부분과 중심을 보호하는 덧겹층(cladding) 부분으로 구성되어 있다. 광섬유 내에서 빛의 전파 원리는 굴절률이 높은 물질에서 낮은 물질로 빛이 진행될 때, 그 경계면에서 일정한 각도 내의 빛이 모두 반사되는 전반사의 원리에 있으며, 광섬유 코아로 입사된 빛은 굴절률이 높은 코아층과 굴절률이 낮은 클래딩층의 경계면에서 반사되어 광섬유 코아부분을 따라 전파되게 된다.

광섬유 격자소자는 게르마늄이 첨가된 광섬유 코아 부분이 자외선 영역의 빛에 노출되면, 굴절률이 약간 증가하게 되는 현상을 이용하여 광통신이나 광섬유 센서로 뛰어난 성능을 나타내는 새로운 소자로 개발되었으며, 실제 97년 2월에 미국의 Dallas에서 개최된 세계 최대의 광통신 학회인 Optical Fiber Communication Conference의 총 발표 논문 가운데 약 18%가 광섬유 격자소자와 이를 응용 실험한 논문이었고, 일부 개발품은 이미 상품화되어 판매되고 있을 정도로 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 논문에서는 먼저 광섬유 격자의 역사, 형성 원리 및 종류 등에 관해 알아보고, 이의 중요한 응용 연구인 광통신, 광섬유 레이저 및 센서에의 응용에 관해 소개하고자 한다.

2. 광섬유 격자소자의 역사, 형성 원리 및 종류

1978년 K. O. Hill[1] 과 그의 동료들은 게르마늄이 첨가된 일반 통신용 광섬유에서 광유도 격자가 형성됨을 최초로 발견하였다. 이는 488 nm의 알곤 레이저를 광섬유 코어내에 입사시키면, 광섬유 양끝 단면에서의 광반사에 의해 정상파가 형성되고, 이 정상파를 이룬 강한 알곤 레이저 빛의 세기에 의해 2광자 과정으로 발생된 UV에 의해 광섬유의 길이 방향으로 공간 모드 격자가 형성됨을 알았다. 이에 관련된 원리가 다소 알려진 이 후, Meltz는 강한 자외선 레이저 광원으로 광섬유의 옆면에 간섭 무늬를 형성시켜 광섬유 코어에 굴절률 변조를 일으켜 위상 격자를 형성시키는 방법을 개발하였고, 이로 인해 격자 제조 기술에 큰 발전을 이루어졌다.[2]

강한 자외선 레이저 광원을 이용하는 방법은 단광자 과정에 의한 것이므로 알곤 레이저 빛을 사용하는 2광자 과정보다 100만배 이상 빠르게 광섬유 격자가 형성된다. 또한, 광섬유 길이 방향에 수직한 횡축 방향으로 일정한 간격을 갖는 격자를 형성시키는 것은 원하는 간격, 즉 Bragg 공명 파장을 갖는 격자의 제조가 가능하며, 광섬유의 원하는 위치에 광섬유 격자를 형성시킬 수 있으므로 다양한 용도의 광섬유 소자의 제작이 가능해졌다. 최근에 광섬유 격자 소자 제조 기술에 있어서 새로운 발전이 있었는데, 이는 간섭형

광학 소자인 위상 마스크를 이용하거나[3,4], 코어-클래딩 굴절률 차 보다 큰 굴절률 변화를 줄 수 있는 광섬유 수소 처리법등이 다.[5,6] 또한 광섬유에 형성된 광섬유 격자는 빛의 흡수나 산란이 거의없는 영구적인 광유도 격자임이 밝혀져 광통신 및 광센서에 다양하게 응용이 가능해졌으며, 대표적으로 파장 제거 필터, 특정 파장 투과 필터, 광섬유 에탈론 필터, 모드 변환기, 광섬유 레이저, 외부 공진기형 반도체 레이저, 그리고 다양한 광섬유 격자 센서들에 응용되고 있다.

광섬유 격자 소자 제작 및 응용 기술에 주목할 만한 발전이 있었지만, 현재까지 광섬유 격자가 어떻게 형성되는지에 대해 정확하게 설명이 되지 않아 많은 논란을 불러 일으키고 있다. 그러나 실리카 유리가 자외선에 노출된 후에 자외선 영역에서의 광흡수율이 감소하며, 이로 인해 유리의 굴절률이 증가한다고 한다. 그러나 이러한 설명으로는 자외선에 의한 유리의 굴절률 변화를 정량적으로 모두 설명하지 못하며, 이외에도 광섬유 격자 형성 원리에는 많은 과정들이 연관되어 있는 것으로 추정하고 있고 현재까지는 다음과 같이 설명한다.

광섬유에서 빛을 전송하는 코아 영역은 클래딩보다 굴절율이 높은데 이를 위해 일반적으로 Ge를 3mol% 첨가한다. Ge가 첨가된 실리카 유리는 250㎚(~5.5eV) 근방에서 (그림 1)처럼 강한 흡수가 존재하며, 이러한 성질을 갖는 광섬유에 이 흡수 영역과 일치하는 강한 자외선 빛을 조사시키면 250㎚ 근방의 강한 흡수 밴드가 소멸되고[7], 광흡수율의 변화는 Kramers-Kroning 관계식에 의해 굴절률의 변화가 일어난다.[8] 광흡수율이 변화하는 것으로부터 계산된 굴절률 변화는 적어도 측정된 것보다 크기가 아직 매우 작으나 이러한 접근 방법은 옳은 방향이다. 또 다른 원인으로는 실리카 유리에서 GeO_2로 완전하게 결합하지 못하고 GeO로 형성되어 있는 Ge 결함 구조로 인해, 이러한 유리가 자외선에 노출될 경우 250nm 근방의 광흡수 스펙트럼이 보다 단파장의 영역으로 천이하며, 이로 인해 250nm 영역에서 강한 굴절율의 변화가 발생된다고 보고되었다.[9]

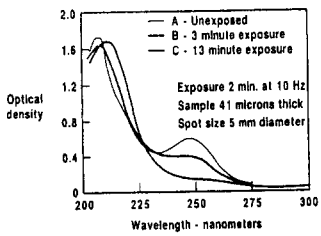


그림 1. Ge 첨가 광섬유 모재의 250㎚ 근방의 광흡수 및 bleaching 스펙트럼.

실리카 유리 광섬유에서 광민감성을 갖는 것은 Ge 뿐만아니라 Cerium, Europium 그리고 Er과 Ge가 같이 있는 경우에도 광민감성을 가지며, Ge와 B가 같이 첨가되어 있는 경우에 가장 큰 광민감성을 보인다고 보고되었다. 또한 Niay등은 Cerium, Erbium이 첨가된 fluorozirconate 광섬유에서 246nm의 파장을 이용하여 광섬유 격자를 형성시켰으며[10], P가 첨가된 광섬유는 190㎚근방의 파장에 노출될 경우 굴절율의 변화가 유도된다고 보고되었다.[11]

Ge가 첨가된 단일모드 광섬유에서 수소는 좋은 GeO 결함 형성 물질이므로 광민감성을 증대시킬 수 있다. 수소처리법은 일반적으로 고온처리법,저온처리법, 불꽃처리법등이 있는데, 고온처리법은 100℃, 120기압의 수소에 광섬유를 48시간 정도 광섬유를 처리하는 방법이며[12], 저온처리법은 상온에서 800기압 이상의 고압으로 광섬유를 수소 처리하는 방법이고[13], 불꽃처리법은 산소 수소 불꽃으로 시료를 10분정도 처리하여 광민감성을 증진 시키는 방법이다. 이렇게 처리된 광섬유는 항구적인 광민감성을 광섬유에 부여할 수 있으며, 변화된 광섬유 굴절율의 변화도 계속 유지된다고 보고되었다.[14]

한편 30Mw/cm^2 이상의 고에너지 밀도에서는 자외선 광펄스로 광섬유 격자소자가 형성되는데 이것을 type II 광섬유 격자 혹은 "손상 격자"라고한다. 이러한 형태의 광섬유 격자는 고에너지 밀도로 인해 강한 열이 발생하며, 이로인해 광섬유 코아 물질에 물리적 손상이 발생되기 때문에 발생된다고 이해되고 있다.[15] 이런 격자는 강하며 1000℃ 정도의 고온에서도 광섬유 격자 성질이 유지되므로 고온에서 광섬유 센서로 활용될 수 있다.

3. 광섬유 격자 소자의 특성

가. 단주기 광섬유 격자 소자

일반적으로 광섬유 격자라고 부르는 것은 단주기 광섬유 격자로써 격자의 주기가 약 0.5 ㎛ 내외이며, 광섬유 격자의 길이가 수㎜에서 10㎜ 정도되는 광섬유 격자를 지칭한다. 이러한 광섬유 격자를 이용하여 파장대역 반사 필터, 파장 투과 필터, 광섬유 레이저 및 반도체레이저의 외부 반사거울, 광섬유 격자 페브리 페롯 에탈론, 광섬유 격자 센서망등에 가장 많이 응용되고 있다.

이러한 광섬유 격자의 제작 방법은 크게 두가지로 분류할 수 있는데, 먼저 자외선광원을 서로 간

섭시켜 회절 무늬를 형성시켜 사용하는 방법과 위상마스크라고하는 간섭형 회절 격자를 사용하여 제작하는 방법등이다. 일반적으로 많이 사용하는 방법은 후자인데 그것은 상대적으로 가격이 저렴한 자외선 광원을 사용할 수 있으며, 격자 제작을 위한 실험 장치가 간단하기 때문이다.

광섬유 격자를 제작하는데에는 사용되는 자외선 레이저로는 KrF 엑시머레이저(248㎚), XeCl 엑시머레이저로 여기된 dye 레이저의 2차 hamonic 레이저(244㎚), Ar 레이저의 2차 hamonic 레이저(244㎚), 그리고 Nd-YAG 레이저의 4차 hamonic 레이저(265㎚)등이 사용되고 있다.

위상 마스크를 사용하여 광섬유 격자를 제작하는 경우 먼저 0차회절(직진하는 빛의 성분)되는 빛의 세기가 5% 이하이며, ± 1차회절되는 빛의 세기가 30% 이상이 되어 ±1차의 두회절 빛이 광섬유에 간섭 무늬를 형성하여 광섬유 격자가 새겨지도록 특수하게 설계된 위상 마스크를 사용해야한다. 광섬유 격자를 제작시 사용하는 광섬유는 Ge가 많이 첨가된 광섬유나 Ge와 B가 첨가된 광섬유를 사용하며, 일반 통신용 광섬유를 사용할 때에는 반드시 수소처리를 하여 사용해야 한다.

본 연구실에서는 (그림 2)와 같은 실험 장치로 광섬유 격자를 제작 사용하였는데, 이때 KrF 엑시머 레이저(펄스당 에너지 400 mJ, 파장 248 nm, 펄스폭 20 ns)는 펄스 반복률을 5Hz로 사용하였고, KIST에서 제작된 K41104(1.5㎛용, Ge 18.7 mol%, Boron 22 mol%) 광섬유와 주기가 1.06㎛인 위상마스크를 사용하여 제작한 광섬유 격자의 광투과 특성은 (그림 3)과 같다. 광섬유 격자소자를 제조하는 동안 1.5μm LED 와 optical spectrum analyzer (Anritsu MS9001B)를 이용하여 광투과 특성을 계속 측정함으로써 광섬유 격자소자의 성장을 관찰하였다. 제작된 광섬유 격자는 1535.4㎚에서 광투과율이 약 -22.4 dB 이었고, 선폭은 약 0.3㎚이었다.

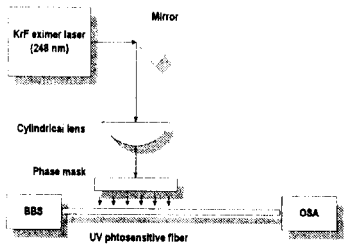


그림 2. 광섬유 격자 제작 장치도.

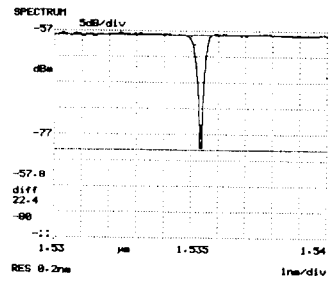


그림 3. 단주기 광섬유 격자의 광투과 스펙트럼.

나. 장주기 광섬유 격자 소자

일반 광섬유 격자의 한 주기가 0.5㎛ 인데 비해 장주기 광섬유 격자는 한주기가 약 300-800㎛로써 선폭은 수십 ㎚에 이른다. 장주기 광섬유 격자는 일반 광섬유 격자와는 달리 제거되는 파장의 빛이 광섬유의 클래딩 역역으로 빠져나가 코아 영역에 영향을 미치지 않으므로 광섬유 광증폭기(EDFA)의 대역 평탄화에 이용된다. 광섬유 광증폭기는 파장에 따라 이득이 다르므로 파장분할 다중 통신(Wavelength Division Mutiflexer) 광통신을 할 경우 파장에 따른 이득이 달라지게 되므로, 광섬유 광증폭기에 장주기 광섬유 격자소자를 부착하여 WDM용으로 제작하면 일정대역 파장들에 대해 고른 출력을 얻을 수 있다.[16] 본 실험실에서는 삼성전자와 공동으로다음과 같은 방법을 이용하여 장주기 광섬유 격자를 제작하였다. 먼저 빔사이즈 24 x 6 mm, 발진 파장 248nm인 KrF 엑시머 레이저의 광원을 원통형 렌즈를 이용하여 단위면적당 광세기 분포가 높도록 집광한 후 실험하였고, 주기가 480㎛인 진폭마스크를 제작 사용하였으며, 수소처리된 Ge첨가 실리카 광섬유에 길이 2.5cm의 장 주기 광섬유 격자를 성장시켰다. 제작시 광섬유 격자의 광투과 투과스펙트럼은 분광분석기(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 실시간 측정하였다. 실험결과 펄스 조사시간에 따라 커플링 피크는 장파장 쪽으로 이동하였으며, 에너지가 클수록 펄스반복율이 높을수록 이동속도가 빨라짐을 관찰하였다. 초기의 rejection 피크 파장의 이동은 시간에 대해 선형적이나 시간이 지남에 따라 점차로 둔화되는데 이는 UV 광원에 반응하게 되는 defect center가 포화되기 때문이다. FWHM(full-width at half maximum)의 경우 일반 통신용 광섬유는 35nm정도로 EDFA의 이득평탄화에는 적합하지 않은 것을 알 수 있었고, 분산천이 광섬유의 경우는 14nm정도로 일반 광섬유에 비해 아주 작은 값을 가짐을 관찰하였다. 분산천이 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자 소자를 EDF에 연결하여 ASE 대역 제거 및 이득평탄화를 관찰한 결과 (그림 4)에서와 같이 24nm 대역에서 0.6 dB 의 이득평탄화를 얻을 수 있었다.

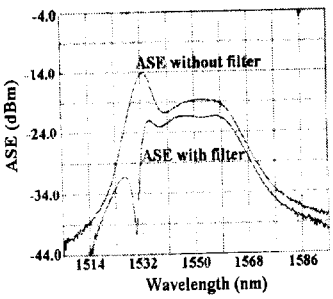


그림 4. 장주기 광섬유 격자를 사용할 때와 사용하지 않았을 때 EDFA의 ASE spectrum

다. Chirped 광섬유 격자 소자

Chirped 광섬유 격자는 단주기 광섬유 격자의 주기가 점차적으로 변화하는 광섬유 격자 소자이다. 이러한 광섬유 격자는 입사되는 광원의 파장에 따라 시간차가 생기게되므로, 통신용 광섬유 선로를 따라 진행되는 광원이 광선로의 분산특성에 의해 분산되었을 때 광분산을 보상할 수 있어 초고속 광통신이 가능하다. 현재는 WDM 광통신이 가능한 chirped 광섬유 격자의 개발이 경쟁적으로 이루어 지고 있다.[17]

4. 광섬유 격자 소자의 응용

가. 광섬유 격자 소자 센서

광섬유 센서는 전자기 간섭에 영향을 받지 않고 감도가 높으며, 소형, 경량이므로 보통의 센서가 사용될 수 없는 위험한 장소나 고감도를 요하는 특수목적에 효과적으로 사용될 수 있다. 이러한 광섬유 센서는 광섬유를 통과하는 빛의 진폭, 위상, 혹은 편광등을 이용하여 측정하고자하는 물리량의 변화 즉, 전자기장의 세기, 회전율, 온도, 압력, 수위, 음향, 가스농도 등을 측정할 수 있으므로 이에 대한 기초 및 응용 연구가 1970년대 후반부터 이루어져왔다. 그러나 고전적인 광섬유 센서의 문제는 대체적으로 신호대 잡음지수가 낮으며, 특정 지점을 측정하기 위해서는 광섬유를 절단하여 코팅한다든지 기타 특수 처리된 광섬유 센서를 사용해야하는 문제가 있었다. 그러나 광섬유 격자는 광섬유 측면에 조사하여 광섬유의 특정 부위에 원하는 파장에 대해서 반사 특성을 보이는 브래그 격자를 새길 수 있음을 보인 이후 광섬유 센서의 연구가 괄목할만한 발전을 이루었다. 보고된 바에 의하면[18] 광섬유의 강도를 저하시키지 않고 1% strain에 의해 12 nm 영역에 걸친 Bragg 파장의 가변이 이루어질 수 있으며, 압축력에 의해 약 32 nm 의 파장 가변이 이루어졌으며[19], 또한 100℃ 정도의 주위 온도 변화로 1.1 nm의 파장 가변이 이루어졌다[4].

예를 들면 약 0.01 nm Bragg 파장을 정확히 이동시키기 위해서는 strain과 온도의 분해능은 각각 대략 8 μstrain 과 0.9 ℃이며, 다른 실험 장치를 통해 더 큰 분해능은 갖도록 하여 더 작은 Bragg 파장의 이동을 측정할 수 있다. 이러한 파장의 이동은 다른 광섬유 격자 소자와 광섬유 Fabry-Perot 공진기 같은 형태의 광학 필터 또는 비대칭 Mach-Zehnder 간섭계로 관찰할 수 있었고, 또한 간단한 장치로 온도변화에 무관한 스트레인 측정창치를 구성할 수도 있다.[20] 또한 다중점(multi-point) 센서로의 확장이 용의하며 이를 이용하면 교량 및 건축물의 사전 감시 시스템을 구성할 수 있고, 또한 복합 구조물에 대한 진단이나 음향센서 어레이로서 성공적으로 시험되었다. 광섬유 격자 센서의 응용은 캐나다 Calgary에서 고가차도용 콘크리트 구조물에(길이 65ft) 4개의 광섬유 격자소자 센서를 넣어 총 5개의 구조물을 광섬유 격자 센서 어레이로 감시 시스템을 구성하였으며[21], 유럽의 EUROPEAN BRITE-EURAM(no.BE5553 of CEC) STABILOS project는 광섬유 격자소자 센서 기술을 바탕으로 탄광이나 터널굴착 및 폭발 작업환경에 대한 안정성을 증진시키는 정밀 안정 control system 구축에 그 목적이 있다. 현재 이 과제는 진행중이며 중간결과로써 평가할 때 광섬유 격자소자를 이용한 센싱과 demultiplexing 시스템은 단순하고도 효율적이며, 적정화된 광섬유 cable과 센서로 구성될 때 시설물뿐만 아니라 탄광, 터널의 굴착시 안정성을 확보하는 확실한 방법으로 인식되고 있다.[22]

나. 광섬유 격자 소자를 이용한 레이저

광섬유 레이저는 그 구성 방법에 따라 몇가지로 분류 할 수 있는데, 파브리 페롯형과 광섬유 광결합기를 이용한 공진 고리형 그리고 광섬유 loop reflector형 등이다.

광섬유 격자소자는 일반적으로 0.1-0.3㎚의 파장 대역을 가지며 광반사율이 99%이상 되는 특성을 가지므로 레이저 거울로 사용하기에 매우 적합한 소자이며, 특히 광섬유로 레이저 공진기를 구성할 경우 그 연결 효율이 극대화되어 소형이며 특성이 뛰어난 레이저를 구성할 수 있다. 그러므로 광섬유 격자소자가 최초로 개발된직 후 광섬유 레이저에 응용되었으며, 현재에도 광섬유 레이저에 대한 응용연구가 매우 활발하다. 이러한 연구의 대부분은 파브리 페롯형 1.55 μm Er 첨가 광섬유 레이저이며, 연구의 주요목표는 광통신용 광원 및 센서용의 광섬유 레

이저 개발과 관련된 것들이다. 파장다중 WDM 통신이나 센서 시스템은 특정 파장 간격을 갖는 파장열의 저잡음 레이저 어레이들을 필요로 한다. 그리고 경우에 따라 파장 선택성뿐만 아니라 파장가변성이 필요하다.

한편 현재의 광통신용 광원으로써 DFB 반도체 레이저를 사용하는데, 이 소자는 레이저 공진기 내에 굴절율 격자가 있어 15㎒ 정도의 선폭으로 발진된다. 그러나 제조상의 오차 때문에 굴절율 격자의 제조시 원하는 특성과 정확히 일치하는 기판을 얻기 어려워 원하는 파장의 DFB 반도체 레이저를 얻기가 어려운 반면에, 광섬유 Bragg 격자 레이저는 광섬유 격자 제작의 편의성 때문에 원하는 파장의 광섬유 레이저를 쉽게 만들 수 있고, 또한 광섬유 격자를 외부공진기로 사용하여 반도체 레이저를 발진시킴으로써 원하는 파장에서 단일파장으로 발진시키거나 발진파장을 가변시키기 쉽다. 또한 광섬유 광증폭기의 여기광원으로 주로 쓰이는 980㎚ 발진 반도체 레이저는 레이징이 일어나는 층에 strain을 가해 강제로 파장을 변화시킴으로써 발진 파장을 맞추고 있다. 이 대역의 어븀첨가 광섬유는 광흡수 대역이 ±2㎚ 정도이므로 여기용 광원의 파장안정성이 매우 중요하나, 반도체 레이저에 인가되는 전류의 양에 따라 발진파장이 변화하거나 불안정하여 광섬유 광증폭기의 안정성에 영향을 미친다. 그러므로 현재 980㎚ 발진 여기용 광원의 출력단에 낮은 광반사율의 광섬유 격자소자를 연결하여 제품화하는 것이 일반화된 방법이다.

현재까지 보고된 광섬유 격자소자를 이용한 파브리 페롯형 광섬유 레이저의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저 고출력 광섬유 레이저의 경우 Yb 첨가 실리카 광섬유를 869㎚ 파장에서 550㎽의 Ti-sapphire 레이저로 여기하여 발진파장 1019㎚에서 약 200㎽의 광출력을 얻었으며,[23] thulium 첨가 실리카 광섬유에 808㎚ 파장에서 900㎽의 Ti-sapphire 레이저로 여기하여 발진파장 2102㎚에서 약 200㎽의 광출력을 얻은 보고가 있다.[24] 한편 어븀첨가 실리카 광섬유의 경우 한 개의 레이저 거울과 한 개의 광섬유 격자를 사용하여 레이저 공진기를 구성한 후, 980㎚ 파장 150㎽ 출력의 여기광원을 사용하여 1530.2㎚ 파장에서 선폭이 1.3㎓ 이고 peak power가 100 W이며, 펄스폭이 20㎱이고 펄스반복비가 200㎐인 Q-switching된 광섬유 레이저를 발진시켰다.[25]

광통신용 광원으로써의 응용에 대해 알아보면, 발진 파장 1560㎚의 Er 첨가 광섬유 격자 레이저를 dual drived Mach-Zhender $LiNbO_3$ 광변조기를 이용하여 2.48832Gbps의 주파수로 외부 변조하여 10^{-9}의 bit-error-rate로 654 km 단일모드 광섬유와 9개의 광섬유 광증폭기를 통해 전송실험하는데 성공하였으며[26], 한편 발진 파장 1539㎚에서 발진되는 광섬유 레이저를 $LiNbO_3$로 5 Gbps로 변조시켜 86㎞의 광섬유를 전송한 뒤bit-error-rate를 측정한 결과 10^{-15}정도의 에러가 발생하였고 (3일에 하나의 에러가 발생한 정도), 이로써 광통신용 광원으로 광섬유 레이저가 사용이 가능함을 보여 주었다. 이 실험에서는 광섬유 레이저에서의 완화진동(relaxation oscillation)의 원인을 밝혀 간단한 전자회로로써 능동적으로 잡음을 억제함으로써 레이저 광원의 장시간 안정화를 구현할 수 있었다.[27]

다. 기타 광통신에의 응용

주파수나 모드 조정을 위해 반도체 레이저에서 외부공진기 반사경으로 Bragg 격자를 이용할 수 있다. 1990년에 광섬유 Bragg 격자를 이용하여 저가의 Fabri-Perot 레이저 다이오드의 주파수 조정이 처음으로 실현되었다.[28] 이후에, 50 KHz 이하의 선폭을 갖고 500 kHz이하의 chirp 을 가지며, 1.2 Gbit/sec 로 직접 변조되고 격자로 조정되는 다이오드 레이저 광원이 구현되었다.[29]

또한 중요한 응용 분야의 하나는 WDM광통신을 위한 전광분기결합기(Add/Drop Multiplexer)인데, 이것은 Michelson 간섭계나 편광분리기를 이용하여 Bragg 공명근처의 파장만을 투과시키고 나머지 파장에 대해서는 투과시키는 특성의 특수한 필터를 구성할 수 있다.[30,31] 이것은 WDM광통신에 필수적인 소자로써 광섬유 격자를 이용한 응용분야중 가장 경쟁이 치열한 분야중의 하나이다. 이외에도 실리카 광도파로에 제작된 광섬유 격자소자를 이용하는 방법등 여러 가지 응용분야가 확대되고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 광섬유 격자의 역사, 형성 원리 및 종류 등에 관해 알아보고, 단주기, 장주기 그리고 Chirped 광섬유 격자의 특성에 대해 기술하였으며, 또한 광섬유 격자소자의 중요한 응용 분야인 광섬유 센서, 광섬유 레이저, 그리고 광통신에의 응용에 관해 소개하였다. 본 연구실에서는 광섬유 격자 연구에 대해 도움이 되도록

web site를 오픈하였으며, 접속절차는 다음과 같다. KIST site를 (http://www.kist.re.kr)로 접속한 뒤, research를 클릭하면 각 연구센터 및 연구부가 나오며, photonics research center를 클릭하면 본 연구센터에서 진행중인 연구 주제에 대한 목록이 표시된다. 이 때 Fiber Bragg Grating을 클릭하면 초기 화면이 열리며, 광섬유 격자에 대한 다양한 자료 및 연결 site가 제공되고 있다. 혹시 광섬유 격자에 대해 궁금한 사항이 있으시면, web상의 전자 우편을 이용하여 문의해 주시기 바랍니다.

참 고 문 헌

1. K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki " Photosensitivity in optical fiber waveguide: Application to reflection filter fabrication" Appl. Phys. Lett. 32(10), 647-649, (1978)
2. G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method," Opt. Lett., 14, 823-825, (1989).
3. D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. Erdogan, and A. E. White, "Phase mask method for volume manufacturing of fiber phase gratings," OFC '93, PD16, 68, (1993).
4. K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, "Bragg gratings fabrication in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask', Appl. Phys. Lett., 62, 1035-1037, 1993.
5. P. J. Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi, and W. A. Reed, "High pressure H_2 loading as a technique for achieving ultrahigh UV phosensitivity and thermal sensitivity in GeO_2 doped optical fibers., Electron. Lett., 29(13), 1191-1193, (1993).
6. R. M. Atkins, P. J. Lemaire, T. Erdogan and V. Mizrahi, "Mechanisms of enhanced UV photosensitivity via hydrogen loading in gemano-silicate glasses," Eletron. Lett. 29(14), 1234-1235,(1993).
7. D. L. Williams, S. T. Davey, R. Kashyap, J. R. Armitage, and B. J. Ainsile, "Direct observation of UV induced bleaching of 240 nm absorption band in photosensitive germanosilicate glass fibres," Electron. Lett., 28(4), 369, (1992)
8. D. P. Hand, and P. St. J. Russell," Photoinduced refractive index changes in germanosilicate fibers," Opt. Lett., 15, 102-104, (1990)
9. R. M. Atkins and V. Mizrahi, "Observation of changes in UV absorption bands of singlemode germanosilicate core optical fibres on writing and thermally erasing refractive index gratings," Electron. Lett., 28(18), 1743 (1992)
10. P. Niay, P. Bernage, T. Taunay, W. X. Xie, S. Boj, E. Delevaque, H. Poignant, and M. Monerie, CLEO'94, postdeadline paper CPD9, 21, (1994).
11. T. Kitagawa, K. O. Hill, D. C. Johnson, B. Malo, J. Albert, S. Theriault, and F. Bilodeau, OFC'94, Technical Digest, PD17, 79, (1994).
12. F. Ouellette, K. O. Hill, and D. C. Johnson, "Enhancment of second-harmonic generation in optical fibres by hydrogen heat treatment," Appl. Phys. Lett., 54, 1086 (1989)
13. P.J.Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi, and W. A. Reed, "High pressure H_2 loading as a technique for achieving ultrahigh UV phosensitivity and thermal sensitivity in GeO2 doped optical fiber", Electron. Lett., 29(13), 1191-1193, (1993)
14. K. O. Hill, F. Bilodeau, B. Malo, J. Albert, D. C. Johnson, Y. Hibino, M. Abe, and M. Kawachi, "Photosensitivity of optical fibre and silica on silica/silicon waveguides," Opt. Lett., 18 (12), 953 (1993)
15. L. Dong, J. L. Archambault, L. Reekie, P. St. J. Russel, and D. N. Payne, "Single pulse Bragg gratings written during fiber drawing," Electron. Lett., 29(17), 1577 (1993)
16. A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe, J. of Lightwave Technol., 14, 58. (1996)
17. R. I. Laming, M. Ibsen, M. Durkin, M.J.Cole,M.N.Zervas, K.E.Ennser, and V. Gus-

meroli, "Dispersion compensation gratings", Proc. of Bragg gratings, Photosensitivity,and Poling in glass fiber and waveguides, Williamsburg,USA,BTuA7-1, 271-273 (1997)

18. Q. Zhang, D. A. Brown, L. Reinhart, T. F. Morse, J. Q. Wang, and G. Xiao, Tuning Bragg wavelength by writing gratings on prestrianed fiber, IEEE Photon. Technol. Lett. 6, 839-841 (1994).
19. G. A. Ball and W. W. Morey, Compression-tuned sing-frequency Bragg-grating fiber laser, Opt. Lett. 19, 1979-1981 (1994).
20. S. B. Lee, Y. Liu, and S. S. Choi, Dual-wavelength fiber Bragg grating laser and its strained tuning characteristics, Proc. of the First Optoelectron. and Commun. Conference, Chiba, Japan, 352-353 (1996).
21 R.M. Measures et al, 'Bragg Grating Laser Sensing systems for smart structure', LEOS '93, San Jose, p137, (1993)
22. P. Ferdinand et al, 'Mine Operating Accurate STABILity Control with Optical Fiber Sensing and Bragg Grating Technology: The European BRITE/EURAM STABILOS Project', J. of Lightwave Technol. vol.13, no.7, p.1303, July (1995).
23. J.Y.Allain, J.F. Bayon, M. Monerie, P. Bernage and P. Niay, "Ytterbium-doped silical fiber laser with intracore Bragg gratings operating at 1.02 mm," Electron. Lett., 29, 309 (1993)
24. S. Boj, E. Delevaque, J. Y. Allain, J.F. Bayon, P. Niay, and P. Bernage, "High efficiency diode pumped thulium-doped silica fiber lasers with intracore Bragg gratings in the 1.9-2.1 ㎛ band," Electron. Lett., 30, 1019 (1994)
25. G.P. Lees, M.J. Cole, and T.P. Newson, "Narrow linewidth Q-switched erbium-doped fiber laser," Electron. Lett., 32, 1299 (1996)
26. J. L. Zyskind, J. W. Suhoff, P.D. Magill, K.C. Reichann, V. Mizrahi, and D.J. Digiovanni, "Transmission at 2.5 Gbit/s over 654km using an erbium-doped fiber grating laser source," Electron. Lett., 29, 1105 (1993)
27. V. Mizrahi, D.J. Digiovanni, R.M. Atkins, S.G. Grubb, Y.K. Park, and J.M.P. Delavaux, "Stable single mode erbium-fiber grating laser for digital communication," J. Lightwave Technol., 11, 2021 (1993)
28. W. W. Morey et al., "Tunable narrow band external-cavity diode lase with an embedded fiber grating reflector," LEOS conf. on New Semiconductor Laser Devices and Applications, Monterey, SCW5, (1990).
29. D. M. Bird et al., "Narrow line semiconductor laser using fiber grating," Electron. Lett., 27, 1115, (1991).
30. F.Bilodean, K.O.Hill, B.Malo, D.C.Johnson, and J. Albert," High return loss narrowband all optical bandpass Bragg- transmission filter", IEEE Photon. Technol. Lett., 6, 80 (1994)
31. S. Y. Kim, S. B. Lee, S. S. Choi, J. Chung, S. Y. Kim, I. J. Park, and J. Jeong, "Highly Stable optical add/drop multiplexr using polarization beam splitters and fiber Bragg grating," IEEE Photon. technol. Lett., 9, 1119 (1997).

<정 영철 위원>