

아세틸렌가스($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$)분자의 흡수선을 이용한 기준 광신호 및 광섬유 파브리-페로 필터에 의한 등간격 다중채널의 안정화*

이현재 · 류갑열 · 이동호 · 박창수
한국전자통신연구소, 광대역전송연구부

(1996년 9월 17일 받음)

$^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 분자의 빛살 흡수선 중 분산천이 광섬유의 영분산 파장에 가까운 1549.49 nm 파장의 흡수선에 DFB-LD (distributed feedback laser diode)의 주파수를 안정화 시켰다. 이 주파수 안정화된 DFB-LD와 광섬유 파브리-페로 필터의 투과 및 반사특성을 이용하여 광섬유 파브리-페로 필터의 중심주파수를 안정화시켰다. 자유분광너비(free spectral range)가 100 GHz인 안정화된 광섬유 파브리-페로 필터의 공진 조건에 파장이 다른 3개의 DFB-LD 빛살을 투과시켜 DFB-LD들을 안정화시킴으로써 주파수분할 다중을 하였다. 또한 레이저를 디더링(dithering) 방법으로 안정화시켰을 때 디더링 전류에 따른 레이저의 선폭변화는 600 MHz/mA였다.

I. 서 론

전송매체인 광섬유를 통해 광주파수 분할 다중 방법에 의한 전송속도의 향상은 정보의 우회(routing), 스위칭 및 서비스 분리와 같은 망과 시스템을 전제로한 기능을 실현하는데 있어 테라비트(tera bit) 이상의 대역폭을 사용하게 해 준다. 반면에 시분할 다중 방식에 의한 전송속도의 향상은 소자가 갖고 있는 대역폭 한계로 인해 테라비트급의 시스템을 구현하는데 어려움이 있다.

광주파수 분할 다중 시스템에서 조밀한 광주파수 간격으로 배열된 신호들을 다중/역다중하는 기술은 광섬유를 통한 다채널 전송에서 매우 중요한 의미를 가지며, 특히 역다중 방법으로 헤테로다인 검파나 광필터링 방식에 의해 구현하려면 인접한 광신호들 간의 주파수 변동이 없어야 한다. 그러나 실제 상황에서는 주파수 변동으로 인해 채널간의 결합(crosstalk)을 유발시켜 수신감도를 저하시키는 요인이 된다. 때문에 주파수 간격의 안정화 기술은 광주파수 분할 다중 시스템을 구성하는데 기본적인 기술로 인식되고 있으며, 광섬유가 갖고 있는 대역폭을 적절히 활용하기 위해 채널 수를 최대로 늘리고, 주파수 간격을 최소화하는 광주파수 분할 다중/역다중 설계 기술이 필요하다.

파장 분할 다중 시스템이나 광주파수 분할 다중 시스템에서는 파장의 표준화가 필요하며, 기준광주파수는 파장 분할 다중 시스템이나 광주파수 분할 다중 시스템 뿐만 아니라 국가간의 광통신시스템 사이의 연결에도 필요하다. 또한 기준 광주파수는 시험, 측정, 교정의 응용을 위해서도 필요하며 이를 위해 국내에서도 연구가 진행중이다.^[1,2,3]

이 논문에서는 기준 광주파수를 발생시키는 여러방법^[4,5,6,7] 중 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 분자의 빛살에 대한 흡수선을 이용한 방법과 기준

공진기의 안정화에 대해 기술하였다. $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 분자의 빛살 흡수선은 상당히 많으며, 그 중 분산천이 광섬유의 영분산 파장에 가까운 1549.49 nm 파장의 흡수선에 DFB-LD의 주파수를 안정화 시켰다. 이 주파수 안정화된 DFB-LD와 광섬유 파브리-페로(Fabry-Perot, FP) 필터의 투과 및 반사 특성을 이용하여 광섬유 파브리-페로 필터를 안정화시켰다. 또한 기준 공진기인 광섬유 파브리-페로 필터의 특성을 조사하였으며, 자유분광너비(free spectral range, FSR)가 100 GHz인 안정화된 광섬유 파브리-페로 필터의 공진조건에 파장이 다른 3개의 DFB-LD 빛살을 투과시켜 DFB-LD들을 광섬유 파브리-페로 필터의 공진조건에 맞추어 안정화시킴으로써 주파수 간격이 일정한 주파수 분할 다중을 하였다. 또한 레이저를 디더링(dithering) 방법을 이용하여 안정화시켰을 때 디더링 전류에 의한 레이저의 선폭변화를 조사하므로써 실제 시스템 구성시 요구되는 선폭을 결정할 수 있는 방법을 조사하였다.

II. 본 론

2.1. 광주파수 안정화 방법과 조건

광주파수 분할 다중 시스템에서 요구되는 광주파수 안정화는 크게 각채널 주파수의 안정화와 채널 주파수 간격의 안정화로 나눌 수 있다.^[8] 각 채널의 주파수 안정화는 DFB-LD의 온도를 일정하게 유지시켜 주고 동시에 레이저에 인가되는 전류를 일정하게 하여 안정화 시키는 방법이다. 주파수 간격을 안정화 시키는 방법으로는 기준펄스 방법,^[9,11] frequency shift keying (FSK) 변조방법,^[12] 디더링(dithering) 방법^[13] 등 여러가지 방법이 있다. 여기서는 외부에서 레이저에 낮은 주파수로 신호를 인가하여 변조하는 방식으로 시스템을 구성하기에 적합한 디더링 방식만을 논의한다. 이 방식은 그림 1과 같이 각각의 DFB-LD에 인가되는 바이어스 전류를 서로 다른 주파수로 직접 변조시키는 방법이다. 변조주파수는 대개 수 kHz정도이고 주파수 차이는 200 Hz 정도이며 변조로 인

*이 논문은 HAN-BISDN 과제의 일환으로 수행된 것입니다. 연구수행을 위해 지원과 도움을 주신 이만섭부장께 감사드립니다.

한 DFB-LD의 주파수 선폰은 최대 200 MHz이하이면 충분하다. 각 레이저 빔살의 주파수 변화는 기준공진기의 공진 피크에 의해 진폭변화로 나타난다. 레이저 빔살의 주파수가 기준공진기의 주파수와 일치하지 않을 때는 외부에서 레이저에 인가하여 디더링 주파수 (w)와 같은 성분의 신호가 광검출기로 검출된다. 기준공진기의 공진주파수에 비해 레이저 빔살의 주파수가 높은 경우에는 낮은 경우에 비해 주파수 성분의 위상이 180° 차이가 난다. 레이저 빔살의 주파수가 기준공진기의 공진주파수 근처에서는 디더링 주파수의 두배 ($2w$)인 신호가 광검출기로 검출된다. 레이저 빔살의 주파수 변동은 광검출기의 출력을 w 주파수를 갖는 기준신호와 동기적으로 결합시켜 검출할 수 있다. 검출된 에러신호는 proportion-integration-differentiation (PID) 회로를 거친 후 레이저의 바이어스 전류에 반영되어 레이저 빔살의 공진주파수를 기준공진기의 공진주파수 피크에 잡아 (locking)주는데 사용한다.

2.2. 기준 광주파수 발생

광통신의 사용 파장대역에서 기준 광주파수를 발생시켜 레이저 주파수를 안정하게 잡아주는 방법으로는 원자 또는 분자의 흡수선이나 기준공진기의 공진주파수를 사용한다. 원자 또는 분자로 구성된 빔살의 흡수셀이나 기준공진기는 빔살의 진동수 변화를 세기변화로 바꾸어 주는 주파수 판별기 (discriminator) 역할을 한다. 따라서 빔살의 세기변화를 조사

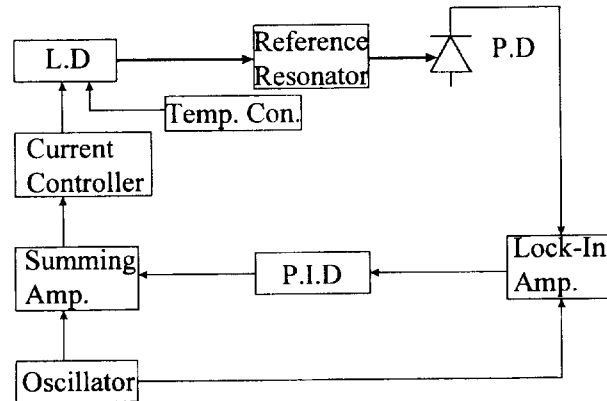


그림 1. 디더링 방식에 의한 광주파수 안정화

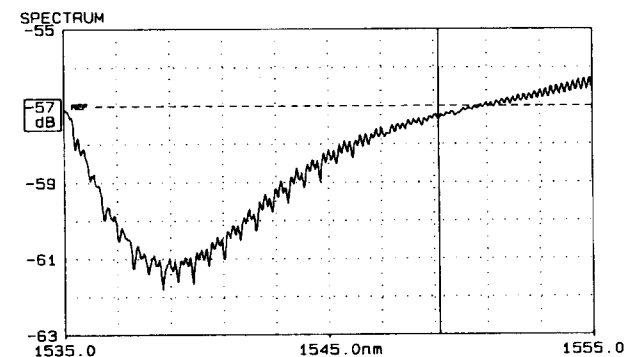


그림 2. 에르븀첨가 광섬유를 여기시켜 얻은 ASE를 이용한 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 분자의 흡수선(1549.49 nm)

함으로써 레이저의 발진 주파수가 기준주파수로부터 벗어난 정도를 알 수 있고 되돌림(feedback) 회로를 이용하여 레이저에 가해지는 유입전류를 조절함으로써 발진주파수를 기준주파수에 안정화시킬 수 있다. 기준공진기를 이용하여 주파수 표준을 삼을 경우, 장시간의 온도변화가 공진기 길이를 변화시키기 때문에 공진기의 보정이 불가피하다. 때문에 광통신의 사용파장인 1550 nm부근에서 레이저 주파수를 안정화시키기 위해 원자 또는 분자의 흡수선을 이용하여 안정화시키는 연구가 진행되어 왔다. 광통신 대역에서 광원의 주파수를 안정화시키기 위해 사용된 원자 및 분자는 Ar, Kr, Rb, NH_3 , $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$, $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$, HI, HCN^[14-23] 등이다.

$^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 기체는 1520-1550 nm의 파장영역에서 흡수선을 가지며 현재 사용되고 있는 광전송시스템의 전송파장대역을 고려할 때 분산천이 광섬유의 색분산이 영인 영역인 1550 nm 근처의 파장을 기준 광주파수로 잡아줌으로 분산을 최소화 할 수 있을 것이다. 이에 적절한 파장이 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 의 흡수선 중 하나인 1549.49 nm의 파장이다. 그림 2는 에르븀첨가 광섬유를 여기시켜 얻은 amplified spontaneous emission (ASE)을 이용하여 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 셀에서의 빔살의 흡수선을 광스펙트럼분석기(optical spectrum analyzer)를 사용하여 조사한 것이다.^[4] 이 그림에서 알 수 있듯이 빔살의 흡수선이 하나가 아니고 여러개가 있기 때문에 흡수선을 1549.49 nm에 맞추려면 광스펙트럼분석기를 보고 시험을 할 때마다 레이저에 가해지는 온도와 전류를 조절하여 맞추어야 하는 단점이 있다.

DFB-LD의 발진주파수는 온도와 유입전류에 따라 변하기 때문에 레이저의 발진주파수를 안정화시키기 위해서는 온도와 전류를 동시에 안정화시켜야 한다. 때문에 수 MHz이내의 주파수 안정도를 갖는 기준 광주파수를 발생시키기 위해서는 서미스터(thermister)에 의한 온도조절 뿐 만 아니라 흡수셀에 의한 광세기 변화를 에러신호로 이용한 되돌림 회로를 이용하여 유입전류를 조절해야 한다.

2.3. 기준공진기인 광섬유 파브리-페로 필터의 특성

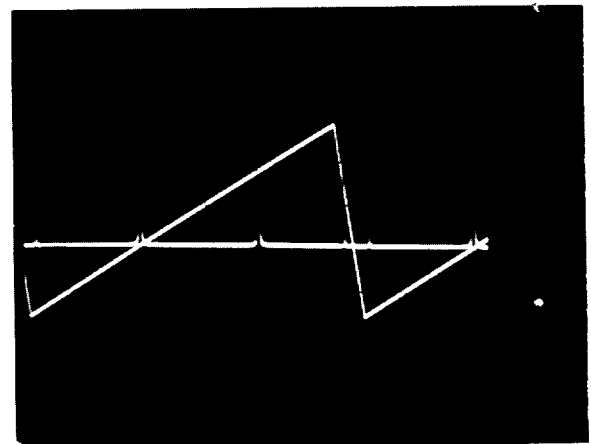


그림 3. 압전 (piezo) 전압에 따른 광섬유 파브리-페로 필터의 공진 특성, 피크사이 (FSR : 100 GHz)의 전압 : 8.8 V

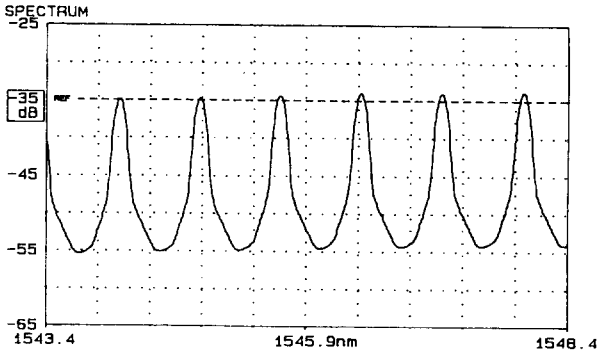


그림 4. 에르븀첨가 광섬유를 여기시켜 얻은 ASE를 이용한 광섬유 파브리-페로 필터의 투과특성 (FSR : 100 GHz)

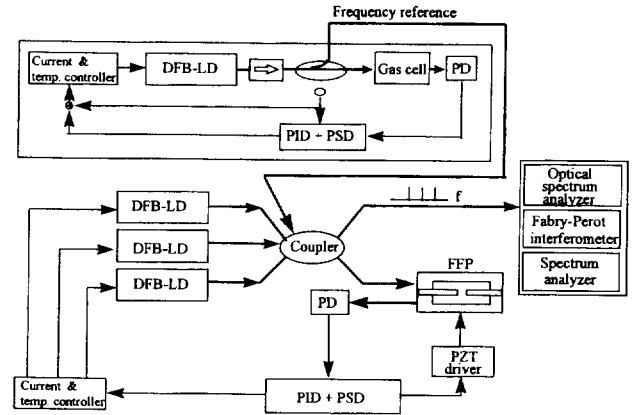


그림 5. 기준광주파수를 이용한 기준공진기 안정화 및 주파수분할 등간격 다중채널 안정화 실험장치

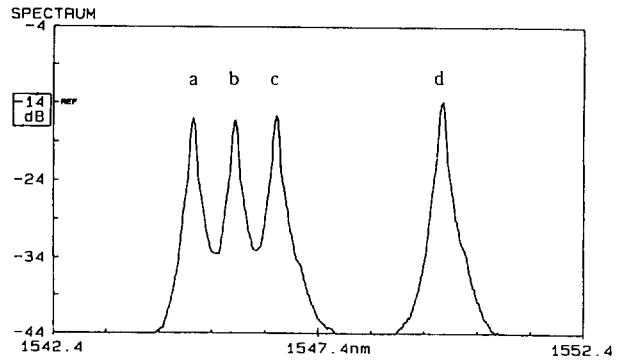


그림 6. 기준광주파수 및 기준공진기를 이용한 채널간격 스펙트럼 a) 1544.8 nm b) 1545.6 nm c) 1546.4 nm d) 1549.5 nm

주파수간격 설정용 광섬유 파브리-페로 필터의 특성은 FSR이 0.8 nm(1550 nm 파장에서 ~100 GHz)이고, 피네스(finesse)는 150이고, 삽입손실은 7 dB이하이다. 압전(Piezo) 전압에 따른 광섬유 파브리-페로 필터의 투과특성은 그림 3과 같다. 이 그림으로부터 FSR 간격사이의 전압차는 8.8 V 정도 로써 전압에 따른 FSR의 변화는 ~11.5 GHz/V이다. 그림 4는 에르븀첨가광섬유를 여기시켜 얻은 ASE를 이용하여 광섬유 파브리-페로 필터의 투과특성을 조사한 것이다. 이 그림으로부터 광섬유 파브리-페로 필터의 FSR은 ~0.80 nm인 것을 확인할 수 있었다. 그러나 파브리-페로 필터 즉 결정판(crystal plate), 표면가공 SiO₂, LiNbO₃ 등을 사용하여 제작된 제품은 시스템이 요구하는 재현성 등에 많은 문제점을 내포하고 있다. 파브리-페로 필터가 갖고 있는 문제점을 해결하는 하나의 방법으로 최근에는 재현성이 가능한 광섬유 격자(fiber grating)를 이용한 필터를 사용하여 광주파수분할다중 신호를 안정화 시키는 방법이 발표되었다.^[24]

III. 실험장치 및 방법

기준 광신호 및 광섬유 파브리-페로 필터에 의한 등간격 다중채널의 안정화 방법으로 그림 5와 같이 가스의 빛살 흡수선을 이용하여 기준광주파수를 발생시켜 기준공진기인 광섬유 파브리-페로 필터를 안정화하여 등간격 주파수분할 다중채널안정화 실험장치를 구성하였다. 절대기준 주파수의 레이저 빛살을 커플러에 입사시키기 위해 그린라드렌즈(Grin Lod Lens)가 달린 광섬유를 이용하였다. 다중채널의 안정화에 앞서 장시간에 걸친 기준공진기의 표류를 안정화시키기 위해 ¹³C₂H₂ 분자의 흡수선 중 하나인 1549.49 nm에 DFB-LD 빛살을 잡아주어(locking) 얻은 기준광주파수를 이용하여 기준공진기의 장시간에 걸친 공진주파수 섭동을 안정화 시켰다.

등간격 주파수 분할 다중채널을 위한 주파수간격을 설정하기 위해 100 GHz의 FSR을 갖는 광섬유 파브리-페로 필터를 기준공진기로 사용하였다. 1549.49 nm의 기준 주파수의 빛살을 광섬유 파브리-페로 필터에 입사시키면 일반적으로 필터의 공진조건이 맞지 않아 투과되는 빛살이 없을 것이다. 이때 광섬유 파브리-페로 필터에 가해주는 전압을 서서히 변화시

켜 필터의 공진조건이 맞을 경우에는 투과하는 빛살이 최고가 될 것이다. 이 조건에서 DC바이어스를 이용하여 파브리-페로 필터를 안정화 시켰다.

각 채널의 중심주파수를 기준공진기의 공진주파수 간격인 FSR에 잡아주기 위해 먼저 전류 및 온도제어기를 사용하여 각 DFB-LD의 중심 주파수를 수 kHz (1 kHz부터 100 Hz 간격)의 서로 다른 저주파 신호로 흔들어주는 방식을 택하였다. 각 DFB-LD의 주파수가 정해진 채널 주파수간격으로부터 어긋남에 의해 초래되는 오차 신호의 검출을 위해 각각의 DFB-LD에 대해 lock-in amp.를 이용한 위상검출 방법을 사용하였으며, 각각의 PID driver를 거쳐 오차신호를 상쇄하기 위해 필요한 제어 전류가 DFB-LD의 바이어스 전류에 가해지게 하였다. 또한 안정화된 레이저 빛살의 출력을 파브리-페로 초공진기(super-cavity)에 넣어주고 레이저로 유입되는 디더링 전류를 조정함에 따라 레이저 선폭의 변화를 오실로스코프를 사용하여 조사하였다.

IV. 실험결과 및 논의

사용된 DFB-LD의 선폭은 20 MHz이고, 전류 및 온도변화에 따른 주파수변화는 -600 MHz/mA와 -14 GHz/K 정도였으

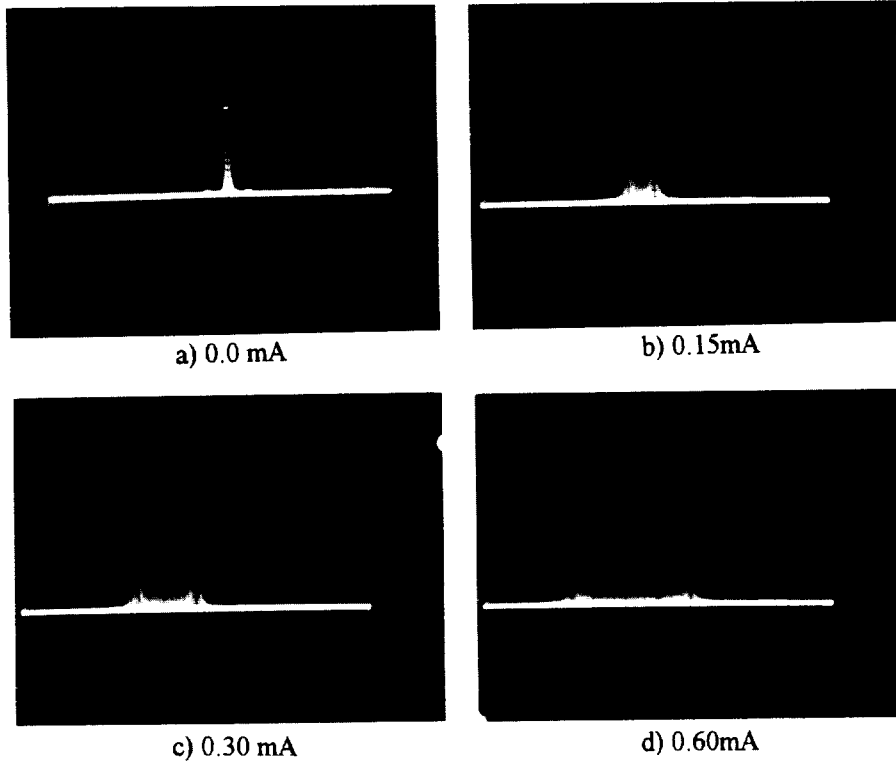


그림 7. 디더링 전류변화에 따른 초공진기 (super-cavity)에서의 광주파수 선평조사

표 1. 디더링 전류 변화에 따른 DFB-LD의 주파수 변화

디더링 전류변화(mA)	0.0	0.15	0.30	0.60
주파수변화(MHz)	-	90	180	360

며, 기준공진기를 안정화시키기 위해 사용된 기준 광주파수의 주파수 변동폭은 약 5 MHz 이내였다. 그림 6은 파브리-페로 기준공진기의 주파수간격에 DFB-LD들을 각각의 공진주파수에 잡아주어 다중한 결과를 나타낸 것으로 채널 d는 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 셀의 흡수선 중 하나로 분산천이 광섬유에서 색분산이 거의 0인 기준광주파수 (파장 : 1549.49 nm)가 기준공진기를 통과해 나온 것이고 채널a, 채널b, 채널c의 중심파장은 각각 1544.8 nm, 1545.6 nm, 1546.4 nm이다. 측정에 사용된 광스펙트럼분석기의 분해능은 0.1 nm 이다.

기준공진기 내의 PZT에 가해지는 전압을 변화시켜 공진주파수를 임의로 이동시키는 방법에 의해 DFB-LD의 잠김범위 (locking-in range)를 조사한 결과 기준공진기를 이용한 3채널에 대한 잠김범위는 12 GHz 이내로 나타났다. 그림 7은 안정화된 레이저 빛살의 출력을 파브리-페로 초공진기에 넣어주고 레이저로 유입되는 디더링 전류를 조정함에 따라 레이저 선평의 변화를 오실로스코프의 XY모드로 조사한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 디더링 전압의 크기에 비례해서 레이저의 선평변화가 비례하는 것을 알 수 있다. 이것을 디더링 전류변화에 따른 DFB-LD의 주파수 변화로 나타내면 표 1과 같이 주어진다. 표 1로부터 디더링 전류에 따른 주파수 변화는 약 600 MHz/mA 임을 알 수 있다.

V. 결 론

광주파수분할다중 방법을 이용하여 100 GHz의 등간격으로 3채널을 다중시켰다. 채널의 주파수를 안정시키는 방법으로 각 DFB-LD의 중심주파수를 수 kHz의 저주파신호로 흔들어주는 방법을 택하였으며, 채널주파수 간격에 대한 주파수 잠김(locking) 범위는 약 12 GHz 였다. 사용된 기준공진기의 안정화는 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 셀의 흡수선인 파장 1549.49 nm를 이용하여 기준공진기의 공진주파수에 일치시키는 방법으로 실현하였으며, 다중을 위한 DFB-LD를 이와같이 안정화된 공진주파수들에 잡아줌으로서 각 채널의 주파수 안정도를 약 15 MHz 이하로 유지시킬 수 있었다.¹³⁾

에러신호를 발생시켜 DFB-LD를 안정화시키기 위해 인가해주는 디더링 전류를 변화시킴에 따라 레이저 선평이 선형적으로 변화되는 것을 초공진기와 오실로스코프를 사용하여 조사하였다. 우리가 사용한 DFB-LD(NEL : NDL7710PA)의 주파수 변화를 조사한 결과 약 600 MHz/mA가 변화되는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김중복, 공홍진, 이상수, "단일종모드로 연속발전하는 색소레이저의 주파수안정화와 연속적 주파수 주사," 새물리, vol.26, 448, 1986
- [2] 문한섭, 김승일, 김현아, 김중복, " ^{87}Rb D₂ 전이선에 대한 원편광 분광연구 및 레이저 주파수 안정화," 한국광학회지, vol.6, 317, 1995

- [3] 문한섭, 김현아, 김중복, 이호성, 양성훈, "회절격자와 고대비 분광에 의한 다이오드 레이저의 선폭축소 및 주파수 안정화," *새물리*, vol.36, 322, 1996
- [4] S. Sudo et al., Frequency stabilization of 1.55 μm DFB laser diode using vibration-rotation absorption of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ molecules, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 1, p. 392, 1989.
- [5] U. Kruger et al., Optical frequency stabilization scheme for an OFDM network based optical crossconnects, *Proc. 21st Eur. Conf. on Opt. Comm., We.L.3.4*, p. 697, 1995.
- [6] R. Boucher et al., Calibrated Fabry-Perot etalon as an absolute frequency reference for OFDM communication, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, p. 801, 1992.
- [7] Y. Sakai et al., Frequency stabilization of laser diode using a frequency-locked ring resonator to acetylene gas absorption line, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, p. 868, 1991.
- [8] N. Shimosaka et al., Frequency separation locking and synchronization for FDM optical sources using widely frequency tunable laser diodes, *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 8, p. 1079, 1990.
- [9] NEC, High-density optical frequency stabilization technology for semiconductor lasers, *Technol. Japan.*, vol. 21, Feb., 1988.
- [10] N. Shimosaka et al., Frequency separation locking and synchronization for FDM optical sources using widely frequency tunable diodes, *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 8, p. 1078, 1990.
- [11] S. Yamazaki et al., A coherent optical FDM CATV distribution system, *J. Lightwave Technol.*, vol. 8, p. 396, 1990.
- [12] B. Glance et al., Densely spaced FDM coherence star network with optical signal confined to equally spaced frequencies, *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, p. 11, 1988.
- [13] G. Y. Lyu and C. S. Park, 4-channel frequency locking using back reflection dips of a fiber Fabry-Perot filter, *Electron. Lett.*, vol. 31, p. 121, 1995.
- [14] Y. C. Chung, Frequency-stabilized 1.3 and 1.5- μm semiconductor lasers for lightwave systems applications, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, p. 869, 1990.
- [15] A. J. Lucero et al., Survey of atomic transitions for absolute frequency locking of lasers for lightwave systems, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, p. 484, 1991.
- [16] A. J. Lucero et al., Saturation measurements of excited-state transitions in noble gases using the optogalvanic effect, *Opt. Lett.*, vol. 16, p. 849, 1991.
- [17] Y. C. Chung et al., A 1.5- μm laser package frequency-locked with a novel miniature discharge lamp, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, p. 841, 1991.
- [18] H. Sasada, Wavenumber measurements of sub-Doppler spectral lines of Rb at 1.3- μm and 1.5- μm , *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, p. 1307, 1992.
- [19] T. Yanagawa et al., Frequency stabilization of 1.5- μm InGaAsP distributed feedback laser to NH_3 absorption lines, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 45, p. 1036, 1984.
- [20] D. J. E. Knight et al., A review of user requirements for and practical possibilities for frequency standards for the optical fibre communication bands, *Frequency-stabilized lasers and their applications*, SPIE vol. 3, p. 1837, 1992.
- [21] S. Sudo et al., Frequency-stabilized DFB laser module using 1.53159 μm absorption line of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 1, p. 281, 1989.
- [22] H. Sasada and K. Yamada, Calibration lines of HCN in the 1.5 μm region, *Appl. Opt.*, vol. 29, p. 3535, 1990.
- [23] F. Bertinetto et al., Stabilization of the emission frequency of 1.54 μm DFB laser diodes to hydrogen iodide, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, p. 472, 1993
- [24] T. Mizuochi, K. Shimomuri, and K. Kitayama, Frequency stabilization of optical FDM signal by using a fiber-Bragg-grating Fabry-Perot interferometer, *OFC 95 Technical Digest*, w12, 1995

Equi-spaced Multichannel Stabilization with a Reference Frequency from $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ Molecules and Optical Fiber Fabry-Perot Filter

Hyunjae Lee, G.Y. Lyu, D.H. Lee and C.S. Park
*Electronics and Telecommunications Research Institute,
 Lightwave Communications Section, Taejon 305-600, Korea*

(Received: September 17, 1996)

Using one of the absorption lines of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ molecules near the zero dispersion wavelength (1549.49nm) of dispersion shifted fiber, we stabilized center frequency of an optical fiber Fabry-Perot filter. The free spectral range of the filter is 100 GHz for 100 GHz channel allocation. For equi-spaced three channel multiplexing, channel locking of three DFB-LDs to transmission peaks of the fiber Fabry-Perot filter was tried. To investigate the effect of dithering current applied to each DFB-LD, the change of DFB-LD linewidth was measured.