

본고에서는 2005년 10월 12일에서 14일까지 진행된 MWP-2005 (2005 international topical meeting on microwave photonics)에서 발표되었던 내용 중 마이크로파-광 소자에 대한 기술동향을 정리하였다. MWP-2005의 microwave photonics devices 세션에서 발표된 논문은 전계흡수 변조기의 성능 개선에 대한 부분과 밀리미터파 신호 발생에 대한 부분 등 크게 두 부분으로 나눌 수 있다.

전계흡수 변조기의 성능 개선에 관련하여서는, 변조기의 광포화 전력과 기울기 효율을 동시에 높일 수 있는 소자 구조가 제안되었으며⁽¹⁾, 광검출기와 변조기를 하나의 소자로 집적시키면서 삽입손실을 줄일 수 있는 구조가 제안되었다⁽²⁾.

밀리미터파 신호 발생에 관련하여서는, 광섬유 링 레이

1. 기울기 효율과 선형성이 우수한 전계흡수 변조기⁽¹⁾

ROF (radio-over-fiber) 시스템용으로 사용되는 아날로그 전계흡수 변조기의 SFDR (spurious free dynamic range) 성능을 향상시키기 위한 방안으로 PCW (peripheral coupled waveguide) 구조와 IQW (intra-step-barrier QW) 구조를 적용시킨 결과를 발표한 논문이다.

1.1 배경

투명한 아날로그 광섬유 링크는 안테나 리모팅 또는 CATV 같은 응용을 위해 사용되는 ROF 시스템에 있어서

특집 ┃ Microwave Photonics

마이크로파 및 밀리미터파 통신용 광소자의 기술 동향 (Microwave Photonics Devices)

최영완, 윤영설

저를 사용하여 밀리미터파 신호를 발생시키면서 광 반송파를 복원하는 방법⁽³⁾, LiNbO₃ 변조기를 이용하여 성능이 우수한 양측대파 반송파 억압 변조기의 구현⁽⁴⁾, 모드 잠금 레이저를 이용한 125GHz 밀리미터파 광전송⁽⁵⁾, 전기광학 마이크로칩을 이용한 기본 모드 잠금 방식⁽⁶⁾에 관한 내용이 발표되었다. 본 보고서에서는 각 항목에 대한 연구 배경을 설명하고, 그 다음 연구 내용에 대해 기술한다.

매우 중요한 요소이다. 현재 이러한 링크들은, 반도체 광검출기를 사용하여 간단하게 광세기의 검출이 가능하기 때문에, 광섬유 세기 변조 방식을 채택하고 있다. 이를 이용하는 아날로그 시스템은 높은 기울기 효율, 넓은 대역폭, 우수한 선형성 및 저잡음 등의 특성을 요구한다.

광섬유 링크는 일반적으로 변조기를 사용하는 입력부, 광섬유를 사용하는 전달부와 광검출기를 사용하는 출력부로 구성되어 있다. 아날로그-광섬유 링크에서 가장 중요하게 다루어지는 특성 중의 한 가지는 RF 링크 이득이다. 변조기를 사용하는 시스템에서 RF 링크 이득은 출력

되는 광파의 크기에 비례하며, 이는 광신호의 삽입 효율 및 변조기의 기울기 효율에 밀접하게 관련되어 있다. LiNbO₃ 마아젠더 변조기를 사용하여 150MHz에서 30dB 이상의 높은 링크 이득을 보이는 논문이 발표된 적이 있기도 하다.

다양한 외부 변조기들 중에서 고속 동작이 가능하면서 높은 광포화 전력을 가지는 전계흡수 변조기는 마아젠더 변조기의 대체용으로 상당히 높은 잠재력을 가지고 있다. 이는 전계흡수 변조기가 마아젠더 변조기에 비해 상당히 작은 크기를 가지고 있기 때문이다. 기존의 다중양자우물 (MQW, multiple-quantum-well) 형태의 전계흡수 변조기는 상대적으로 낮은 광포화 전력 특성을 가지고 있다. 따라서 이 논문에서는 전계흡수 변조기의 광포화 전력과 기울기 효율을 동시에 높일 수 있는 구조를 제안하고 실험적으로 증명하였다.

1.2 연구 내용

1) Intra-step-barrier QW (IQW) 구조

이 논문에서 사용된 전계흡수 변조기는 이전의 구조와 마찬가지로 MQW 구조를 가지고 있으며, 우물(well)로 사용된 물질은 InGaAsP, 벽(barrier)으로 사용된 물질은 InGaAs이다. 우물로 사용된 물질의 경우 두 가지 bandgap을 사용하였다. 하나는 0.77eV이고, 나머지는 0.89eV이다. 이 구조는 IQW 적용을 위해 설계되었다. 이 구조의 에너지 레벨과 전도대역 및 heavy hole 부 밴드와 관련된 포락선 파동함수를 그림으로 도시하였다.

낮은 전계가 걸린 경우, 전자보다 무거운 정공이 우물에 더욱 강하게 집약된다. 전계가 증가함에 따라, 전자는

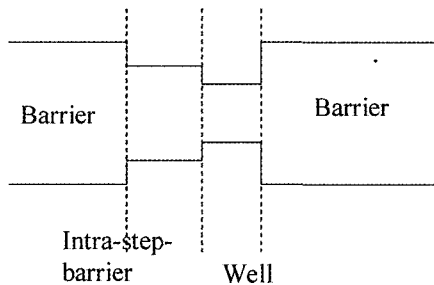


그림 1. IQW 구조의 에너지 밴드 다이어그램

Stark 천이의 일반적인 특성과 같이 에너지 레벨이 감소하지만, 정공은 intra-step-barrier를 극복하기 위해 에너지 레벨을 증가시킨다. 이는 천이 에너지에서의 red-shift를 효과적으로 억압하게 된다. 더 높은 전계가 걸린 경우, 정공은 intra-step-barrier에 더 많이 집약되고, 전체적인 천이 에너지를 감소시킨다. 결과적으로, intra-step-barrier를 통해 최대 기울기 효율을 가지는 전원전압이, 전통적인 양자우물 구조를 가지는 전계흡수 변조기에 비해, 증가하게 된다. 또한 변조기의 기울기 효율 또한 향상될 수 있다.

2) Peripheral Coupled Waveguide (PCW) 구조

이 구조에 대한 상세한 내용은 참고논문^[1]을 참조하라. 이 구조의 장점은 마이크로파가 도파되는 영역과 광파가 도파되는 영역을 분리해서 설계할 수 있다는 것이다. 마이크로파 용 도파로는 특성 임피던스, 위상 속도 및 마이크로파 손실 특성을 충족시킬 수 있도록 설계될 수 있다. 광 도파로는 단일 모드 광섬유에 정합되도록 설계될 수 있으며, 광 구속 인자는 2~5% 정도로 낮은 값을 갖는다. 결과적으로 PCW 구조의 전계흡수 변조기는 전파 손실을 줄이고 광섬유로부터의 삽입량을 증가시킴으로써 인해 전체적인 삽입 손실을 감소시킬 뿐 만 아니라, 낮은 광 구속 인자 성질로 인해 차폐 효과를 경험시킬 수 있다. 실험 결과는 1.3dB/mm 정도로 아주 낮은 값을 가졌다.

IQW 구조와 PCW 구조를 결합함으로써, 기울기 효율을 증가시킴과 동시에 삽입 손실을 감소시킬 있었다. 이를 통해 전계흡수 변조기는 광대역 특성을 가질 수 있으며, 변조기의 효율적인 이용이 가능해졌다.

3) 소자 성능 및 링크 성능

500MHz의 RF 주파수와 -10dBm의 RF 입력 전력에 대해, 입력 광전력을 변화시키면서 링크 이득을 측정하였다. 입력 광전력을 20dBm까지 증가시켰음에도 불구하고 링크 이득은 선형적으로 증가하는 결과를 보였다. 즉 IQW-PCW 구조를 이용할 경우, 광포화 전력을 20dBm 이상으로 올릴 수 있음을 알 수 있었다. 또한 20dBm의 광입력이 주어졌을 경우 RF 링크 이득이 1dB까지 증가하는 특성을 보였다.

마이크로파 및 밀리미터파 통신용 광소자의 기술 동향

변조기와 검출기의 전달 곡선 측정을 통해, 최대 기율기 효율을 가지는 전원전압이 증가하였음을 알 수 있었다. 이는 IQW-PCW 구조에 대한 모의실험 결과를 통해 예측한 결과와 일치하는 특성이다.

제작된 IQW-PCW 구조를 가지는 전계흡수 변조기를 이용하여 RF 링크 실험을 수행하였다. 이를 통해 RF 2-tone 입력 (490MHz와 510MHz)에 대한 SFDR을 측정하였다. 단일 옥타브 SFDR은 132dB/Hz 이상의 값을 보였다.

2 이중 도파로 구조에 기반한 전계흡수 듀플렉서^[2]

Spot 크기 변환기(SSC, spot size converter)를 가지는 이중 도파로 구조(DWS, dual waveguide structure)에 기반한 전계흡수 듀플렉서를 구현하였다. 이 소자의 삽입 손실은 -10dB였다. PD의 응답도는 0.71A/W였고 변조기의 소광비는 20dB였으며, 3-dB 대역폭은 각각 8GHz 및 25GHz였다.

2.1 배경

ROF 링크에서 고속 동작이 가능하면서, 크기가 작고 가격이 저렴한 전광 및 광전 변환소자는 필수적이다. 전계흡수 변조기는 전기광학 변조기와는 달리 다른 전자소자와의 집적 가능성이 매우 크고, LD 직접변조에서 문제가 되는 chirp에 의한 비선형 왜곡 특성을 줄일 수 있는 특성 때문에 ROF 링크에서 큰 장점을 가진다. 전광 소자 및 광전 소자를 하나로 집적시킨 소자는, 많은 기지국 장

치에서 요구하듯이, 시스템의 가격을 낮출 수 있다는 장점을 가지지만, 아직까지 이에 대한 연구결과는 발표되지 않았다.

2.2 연구 내용

이 소자는 이중 도파로 구조 위에 광검출 부분과 광변조 부분을 구현하였다. 이중 도파로 구조(DWS)는 주 도파로와 첫 번째 SSC를 가지는 부 도파로로 구성되어 있다. 활성 코어영역은 DWS와 결합되어 있으며, 이 영역에 광검출기 또는 변조기가 두 번째 SSC와 함께 구현되었다. 주 도파로는 광섬유와의 결합 효율을 높이기 위해 설계되었다.

전계흡수 듀플렉서는 InP를 기반으로 제작되었다. 활성 영역은 다중양자우물 구조를 가지며, 0.1 μ m 두께의 InGaAsP 양자우물이 9층으로 포개져 있다. 주 도파로의 길이는 1.38mm이며 이는 전계흡수 듀플렉서의 전체 길이와 같다. 광검출기와 변조기의 길이는 각각 50 μ m와 100 μ m이다. 각각의 전극 구조는 진행파형 전극 구조를 가진다.

DC 특성 측정 결과에서, 광검출기와 변조기의 소광비는 -4V 전원전압에서 각각 10dB와 20dB였고, 응답도는 각각 0.72A/W와 0.76A/W였다. 삽입손실은 -10dB였으며, -7dB까지 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 저신호 응답 특성 측정 결과에서, 광검출기와 변조기의 3-dB 대역폭은 각각 8GHz와 25GHz였다. 입력 광전력에 따른 광검출기와 광변조기의 특성 변화를 관찰하였으며, 그 결과 높은 광입력 전력에서 높은 기율기 효율을 보임을 확인하였으며, 6dBm 광입력에서 약 10.8W/A의 추정 기율기 효율 값을 얻을 수 있었다.

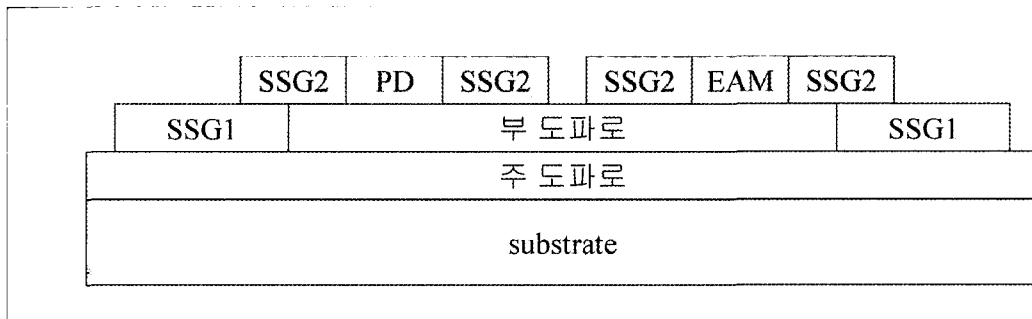


그림 2. 제작된 전계흡수 양방향기의 구조

3. 레이저를 이용한 밀리미터파 신호 발생 및 광신호 복원^[3]

레이저의 공진 영역에 세기 변조기가 부착된 단일 길이 방향 모드 (SLM, single-longitudinal-mode) 광섬유 링 레이저를 이용하여 밀리미터파 신호를 발생시키고 광신호의 복원하는 기술이 새롭게 제시되었다.

3.1 배경

마이크로파 또는 밀리미터파 신호를 광섬유를 이용하여 분배하는 시스템이 많은 관심을 끌고 있다. ROF 시스템에서 가장 중요한 기술 중의 하나가 마이크로파 또는 밀리미터파 신호를 전적으로 광파를 이용하여 발생시키고 분배시키는 것이다. 일례로 기지국 입장에서 이렇게 발생된 전기신호는 다운링크 전송에 대해서는 무선 반송파로써 이용되고 업링크 전송에 대해서는 오실레이터 신호로써 이용된다. 이러한 신호에 있어서 중요하게 다루어지는 성질로써 진폭의 요동, 장시간 동안의 주파수 안정성 및 짧은 시간동안의 주파수 안정성 등이 있다. 이들 중에서 진폭의 요동은 상대적으로 제어하기 쉽다. 예를 들어 완충 증폭기의 포화 성질을 이용하면 진폭의 요동을 감소시킬 수 있다. 반면에, 주파수 안정성을 향상시키는 것은 어려운 일이며, 광자기술에 기반하여 안정된 밀리미터파 신호를 발생시키기 위한 노력이 수년간에 걸쳐 이루어져 왔다.

안정된 밀리미터파 신호를 발생시킬 수 있도록 제안된 몇가지 기술로는 자동 주파수 제어 회로, optical injection

locking, optical phase-locked loop (OPLL) 그리고 외부 변조 기술 등이 있다. 위와 같은 신호 발생 방법들 중에서, 외부 변조 기술을 이용하는 방법은 순결도가 높은 전기 신호를 발생시킬 수 있다는 측면에서 상당한 잠재력을 가지고 있다. 이 방법을 사용하여 발생된 신호는 입력되는 전기 구동 신호의 4배가 되는 주파수까지 그 범위를 확장할 수 있다. 따라서 저속 저비용의 세기 변조기도 높은 주파수 대역의 신호 발생을 위해 사용될 수 있다. 이 방식을 이용하는 기존에 발표된 결과에서는 발생하는 주파수가 고정적이었다. 이는 광대역 전자도청 레이더, 분포 안테나 리모팅 네트워크, 대역확산 또는 SDR (software defined radio) 등과 같은 다양한 응용에서의 적용을 어렵게 한다. 따라서 주파수의 연속적인 재구성이 가능한 시스템의 개발이 절실한 실정이며, 이를 위해 광 여파기 또한 재구성이 가능해야 한다. 재구성 가능한 광여파기를 사용한다는 것은 비용 증가를 야기시키게 되고 시스템이 복잡해지는 단점이 된다. 따라서 기지국에서 생성된 광신호를 재사용하는 방법이 비용 절감 측면에서 상당히 효과적인 대안으로 제시되었다.

3.2 연구 내용

이 장치에서 사용되는 구성요소들은 다음과 같다: 마이크로파 신호 발생기, RF 증폭기, 마아젠더 변조기, EDFA 2개, 광 서클레이터 2개, 광 여파기 (FBG, fiber Bragg grating) 3개 등을 사용한다. 여기서는 광 서클레이터와 광 여파기는 기지국 (BS, base station)에서 사용되고, 2개의 EDFA와 광 서클레이터 및 마아젠더 변조기는 중앙국 (CS, central station)에서 사용되는 구조를 가진다. 이 장치에서는 가변 가능한 밀리미터파 신호를 발생시키기 위해 레이저 공진부 내에서의 세기 변조를 활용하는 SLM (single longitudinal mode) 광섬유 링 레이저를 이용하였다. 이러한 구조의 레이저를 사용할 경우, 기지국에서는 광 반송파 발생을 위한 추가적인 장치를 필요로 하지 않기 때문에 구조의 단순화를 이룰 수 있다.

광 공진기에 의해 발생된 광 반송파는 많은 수의 모드들을 가지게 된다. 이러한 모드들 중에서 원하는 하나의 모드만 살려내기 위해 EPS (equivalent phase shift) FBG를 사용하였다. 따라서 하나의 longitudinal 모드만이 출

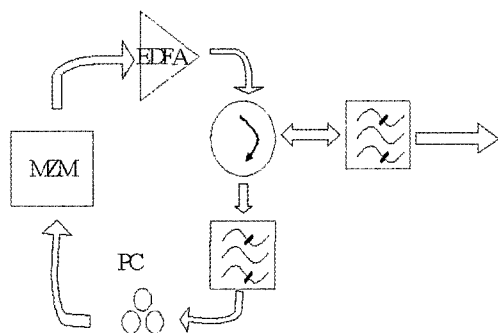


그림 3. 링공진기 구조

력으로 구현되게 된다.

반송파를 포함한 각 모드들의 크기를 일정하게 만드는 것은 중요하게 다뤄지는 특성이다. 일반적으로 반송파의 크기는 주변의 사이드 모드들보다 크기가 크므로, 각각의 크기를 일정하게 하기 위해 기존에는 세기 변조기의 출력단에 광 여파기를 부착하는 방식을 이용하였으나, 이는 시스템이 복잡도를 증가시킨다는 단점이 있었다. 그러나 이 장치에서는 세기 변조기의 출력단에 레이저 링 공진기를 부착함으로써 반송파와 사이드 모드들의 크기에 있어서 균형을 가지게 되었다. 이렇게 균형잡힌 광출력을 다시 증폭시킴으로써 수신단에서 밀리미터파 신호를 발생시킬 수 있다.

중앙국에서 보낸 광 정보 신호를 검출하기 위해, 기지국에서는 광 반송파를 제거한 신호를 받아들이게 된다. 이를 통해 중앙국에서 마이크로파 대역으로 보내진 신호는 기지국에서 밀리미터파 대역의 신호로 올려지게 된다. 또한 제거된 반송파는 없어지는 것이 아니라, 기지국에서 중앙국으로 보내는 정보를 실기 위한 반송파로써 역할을 수행하게 된다.

이 장치를 이용한 실험 결과로, 32에서 50GHz까지 가변 가능한 밀리미터파 신호가 발생되었으며 -5dBm의 광 반송파를 기지국에서 얻을 수 있었다.

4. LiNbO₃ 변조기를 이용한 반송파 억압 양측대파 변조^[4]

마아젠더형 광 변조기를 이용하여 높은 반송파 억압도를 가지는 양측대파 변조 방식을 실험적으로 구현하였다. 이 구조에서는 마아젠더 변조기의 두개의 팔에 한 쌍의 조정자(trimmer)를 구성하였다. 10.5GHz 신호를 DSB-SC (double sideband suppressed carrier)로 변조하여 50dB의 반송파 억압도를 얻었다.

4.1 배경

DSB-SC 변조 방식은 장거리 전송 시에 발생하는 분산 효과를 최소화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 수신단에서의 신호 주파수가 송신단에서 보낸 신호 주파수의 두 배가 될 수 있다는 장점 때문에 마이크로파 및 밀리미터파 광

섬유 링크에서는 매우 유용한 기술로 인식된다. DSB-SC 변조를 위해 LiNbO₃ 마아젠더 변조기가 주로 사용되어 왔으나, 반송파의 억압 정도가 변조기의 소광비에 전적으로 의존하는 특성을 가지고 있다. 변조기의 소광비는 일반적으로 35dB 미만의 값을 가진다. 기본 도파 모드와 고차 방사 모드사이의 간섭 또한 소광비를 열화시키는 것으로 알려져 있다. Photonic LO 분배 시스템 같은 진보된 광섬유 링크에서는 기존의 기술에서보다 훨씬 큰 억압도를 요구하게 되었다.

4.2 연구내용

마아젠더형 변조기의 특성을 개선시키기 이전에, 기존의 변조기의 특성을 분석하였다. 일반적인 마아젠더형 변조기는 두 개의 팔과 전극을 가지고 있다. 각 팔에서의 신호의 위상은 전압에 의해서 제어된다. 결과적으로 'ON' 상태에서는 두 팔에서의 광신호는 같은 위상을 갖게 되어 출력단에서는 도파 모드가 된다. 반면 'OFF' 상태에서는 두 팔에서의 광신호는 각기 반대 위상을 갖게 되어 고차 방사 모드로 신호가 사라지게 된다.

이론적인 분석에서 'OFF' 상태에서 신호의 출력은 없어야 한다. 그러나 이 상태에서도 실질적인 신호가 어느 정도 존재하게 된다. 이러한 현상은 각 팔에서의 크기 불균형 또는 고차 모드와 도파 모드 사이의 간섭 때문에 일어난다.

이러한 현상을 줄이기 위해 설계된 구조는 주 마아젠더 변조기의 두 팔에 각각 부 마아젠더 변조기를 부착하는

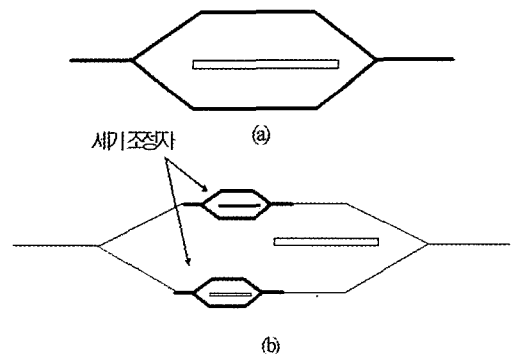


그림 4. 기본적인 마아젠더 변조기 (a) 및 소광비를 개선시킨 변조기

것이다. 부 마아젠더 변조기는 주 마아젠더 변조기의 양 팔에서 발생할 수 있는 변조 신호의 불균형을 보완해서 'OFF' 전기 입력 신호에 대해 출력 신호의 감쇄를 증가시키는 효과를 가진다. 두 개의 부 마아젠더 변조기의 설치로 인해 이 장치의 전기 입력은 3개가 된다. 실험 결과를 통해 부 마아젠더 변조기에 의한 보상이 없는 경우 출력 신호의 소광비는 37.5dB였으나, 보상 회로를 동작시켰을 경우 최대 50.3dB의 소광비를 보임을 알 수 있었다.

이러한 조정 기술을 이용하여 10.5GHz의 변조 신호를 주 마아젠더 변조기에 입력하였다. 마이크로파 신호의 크기는 19dBm이었다. 부 마아젠더 변조기에 의한 보상이 이루어지지 않은 상태에서 1차 신호에 대한 반송파 신호의 크기는 -22.9dB를 가졌다. 그러나 보상회로를 적용하였을 경우, 1차 신호에 대한 반송파 신호의 상대적인 크기는 -37.5dB로 줄어들음을 확인하였다. 이 실험을 통해 이 장치를 이용하여 DSB-SC가 매우 효율적으로 구현될 수 있음을 확인하였다.

DSB-SC 변조된 신호를 광 검출기를 이용하여 검출하여 21GHz에서 높은 순결도를 가지는 RF 신호의 생성을 확인할 수 있었다. 또한 20GHz의 두 배 주파수인 40GHz에서의 실험도 성공적으로 확인하였다.

5. 모드 잠금 레이저를 이용한 밀리미터파 신호의 발생⁵⁾

전계흡수 변조기에 모드 잠금 레이저 (MLLD, mode-locked laser diode)를 집적시킨 밀리미터파 광 송신기가 제작되었다. 125GHz 밀리미터파 광신호의 주파수 영역 측정을 통해 10Hz 미만의 선폭과 0.1ps의 지터를 가지는 신호를 얻을 수 있었으며, 디지털 신호 분석을 통해 10Gbps 전송실험에서 오류가 거의 없음을 확인하였다.

5.1 배경

수 Gbps 데이터의 무선 전송은 HDTV와 같은 고속 다 채널 서비스에 매우 효율적으로 이용될 수 있다. 이러한 고속 데이터 전송을 위해서는 밀리미터파 신호를 반송파로 사용할 필요성이 대두된다. 광신호의 낮은 감소율과

광섬유의 높은 대역폭 및 광증폭기의 유효성 증대에 기인하여, 밀리미터파 신호를 다루는 데 있어서 광 기술은 매우 효율적인 방식을 제공한다. 밀리미터파 신호가 광 반송파에 실리게 되면, 이 신호는 쉽게 고속 디지털 정보를 변조시킬 수 있다는 장점을 가진다.

밀리미터파 광신호를 발생시키는 다양한 연구가 진행되어 왔다. 125GHz 광신호를 발생시키는 논문이 발표되긴 하였으나, 이러한 신호를 발생시키기 위한 발생기의 구조가 복잡할 뿐만 아니라, 크기 및 주파수 안정성을 얻기 위해서는 더욱 복잡해진다는 단점을 가지고 있다. 이를 해결할 수 있는 대안으로써 MLLD의 이용이 제시되었고, 연구 결과가 발표되었다.

수 Gbps 이상의 고속 데이터를 변조하기 위해서는 고속 동작이 가능한 외부 변조기를 사용해야 한다. 외부 변조기 중에서 전계흡수 변조기는 레이저와의 집적이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

5.2 연구내용

이 장치는 MLLD와 전계흡수 변조기를 집적시킨 구조를 가진다. MLLD는 레이저의 이득 영역, chirped DBR (distributed Bragg reflector) 영역과 모드 잠금을 위한 전계흡수 변조기 영역으로 구성되어 있다. 이득 영역은 InP에 묻힌 InGaAsP 벌크 활성층으로 이루어져 있다. Chirped DBR 영역은 전자 빔 리소그래피와 화학적 식각 공정을 이용해 벌크 활성층에 구현되며, 이득 영역의 오른쪽에 위치한다. 격자의 주기는 다위상 천이 패턴을 이용하여 동등하게 변화된다. 이득 영역의 왼쪽에는 전계흡수 변조기가 형성되며, 변조기는 다중양자우물 구조의 InGaAsP로 이루어져 있다. 이 소자의 길이는 40μm이다.

위와 같은 구조의 소자를 제작하여 기생 커패시턴스를 효과적으로 줄일 수 있었으며, 전계흡수 변조기를 이용한 62.5GHz의 직접변조가 가능하였다. 전계흡수 변조기의



그림 5. 모드 잠금 레이저의 구조

마이크로파 및 밀리미터파 통신용 광소자의 기술 동향

왼쪽 끝에는 고반사 거울을 부착하였다. 레이저 공진기의 길이는 DBR과 조각면에 의해 결정된다. 여기서 결정된 공진기의 길이는 $340\mu\text{m}$ 이며, DBR에서의 유효 반사 지점을 고려하였다.

MLLD 공진기의 오른쪽에는 또 하나의 전계흡수 변조기를 형성시켰다. 이 변조기는 데이터 신호를 MLLD의 출력으로 변조시키기 위해 사용되며, 모드 잠금을 위한 영역을 제외하고는 MLLD와 유사한 구조를 가진다. 그 길이는 $200\mu\text{m}$ 이다.

MLLD의 실험을 위해 62.5GHz 의 밀리미터파 입력과 전원류인이 이용되었다. 실험 결과로써 125GHz 밀리미터파 광신호를 확인할 수 있었으며, 이 신호의 선폭은 10Hz 였고, 타이밍 지터는 0.1ps 였다. 고속 데이터 전송 실험을 위해 전계흡수 변조기의 대역폭이 측정되었으며, 약 16GHz 정도의 값을 가졌다. 이러한 대역폭은 변조기가 폴리마이드에 묻힌 high-mesa 구조를 가졌음에 기인하는 것으로 알려졌다. 제작된 장치를 이용하여 전송실험을 수행하였으며, 10Gbps 신호를 전송하여 매우 낮은 전송 오차를 가짐을 확인하였다. 오차율의 비교를 위해 18GHz 대역폭을 가지는 LiNbO_3 마아젠더 변조기의 전송 결과를 활용하였다.

6. 혼성 공진 구조를 가지는 전기광학 마이크로칩 레이저^[6]

크기가 작은 고체 레이저는 광 ADC (analog-to-digital conversion) 또는 디지털 통신에서 매우 각광받는 소자이다. 이러한 소자는 기본 모드 잠금을 가능하게 하여 고차 공진 모드의 발생을 억제할 수 있다는 장점이 있다. $\text{Nd:YVO}_4/\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 마이크로칩 레이저는 20GHz 의 기본 주파수에서 모드 잠금이 이루어졌다. 이 신호의 위상 잡음은 신호 발생기의 위상 잡음인 $-70\text{dBc}/\text{Hz}$ 정도로 낮은 값을 가졌으며, 광전 발진기를 사용할 경우 $-95\text{dBc}/\text{Hz}$ 의 낮은 위상 잡음을 가질 수 있었다.

6.1 배경

아날로그와 디지털이 혼합된 신호를 사용하는 고속 시스템에서, 전자 부품을 광부품으로 대체하는 것이 바람직

한 것으로 알려져 있다. 최근의 디지털 마이크로파 광기술을 이용하는 부시스템 (광 ADC 같은)은 채집기나 클럭을 위해 안정적이며 고속의 광 펄스를 요구하게 되었다. 이러한 경우 모드 잠금은 매우 유용한 대안이다.

모드 잠금을 위한 EDFA 링 레이저가 반도체 레이저의 대안으로써 우수한 성능을 가지는 것으로 발표된 적이 있다. 그러나 이를 구현하기 위해서는 사용되는 부품의 수가 많아지고 가격이 올라간다는 단점을 가지므로, 대부분의 응용에서는 부적절하다. 또한 이 구조에서 사용되는 광섬유의 길이가 길기 때문에 수 MHz 정도의 공진 주파수를 가지는 것이 일반적이다. 고속 펄스를 발생시키기 위해, 고차 모드를 이용해야 하고 이는 잡음을 증가시키게 된다.

고차 모드 잠금 방식과는 대조적으로, 고체 레이저를 이용하는 기본 모드 잠금에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이다. 이는 적절한 레이저를 구현하는 데에 따른 어려움에 기인한다. 잡음을 줄이면서 고속 동작을 하기 위해서는 1차 모드 잠금은 필수적이다.

6.2 연구 내용

작은 form factor를 유지하면서 1060nm 파장에서 높은 광 스펙트럼 성질을 얻기 위해 $\text{Nd:YVO}_4/\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 전기광학 마이크로칩 레이저가 선택되었다. 일반적으로 링 구조에서는 마이크로파 대역에서 기본 모드 잠금은 비실용적이기 때문에, FP (Fabry-Perot) 구조가 채용되었다. 이산적인 이득과 변조기 크리스탈을 사용함으로써 동작 파장의 가변이 가능하다.

공진 영역으로써 LN (lithium niobate) 위상 변조기를 사용하였으며, 길이는 약 1.75mm 이고, 바나듐산염 이득 영역은 0.5mm 의 길이를 가졌다. 이 변조기 내에서 반사면 사이의 거리는 20GHz 기본 모드 공진을 위해 조정되었다. 또한 공진기 레이저 내에서의 모드 간의 경쟁 효과를 이용하여 기본 모드 공진이 일어날 수 있는 구조를 제시하였다.

이 소자를 이용하여 공진주파수를 측정하였다. 신호발생기와 동조되었을 때 검출된 20GHz beat 주파수에서의 위상잡음은 $-72\text{dBc}/\text{Hz}$ 였고, 결합 광전발진기 (COEO, coupled optoelectronic oscillator)에서 재생 모드 잠금이 이루어졌을 때 $-95\text{dBc}/\text{Hz}$ 의 값을 가졌다.

7. 요약

지난 2005년 10월 서울 올림픽파크텔에서 개최된 MWP2005에서 발표된 내용 중 효율적인 ROF 시스템 구현을 위해 필요한 MWP 소자 기술에 대한 내용을 소개 하였다. MWP 2005에서는 특히 수 Gbps 이상의 정보를 밀리미터파 대역에서 보내기 위한 기술에 대해 다양하게 다뤄졌으며, 125GHz의 밀리미터파 신호 전송 실험 결과가 제시되었다. 또한 광섬유 링크를 통해 아날로그 신호 전송을 효율적으로 수행하기 위해, 높은 광 포화전력을 가지면서 기율기 효율이 우수한 전계흡수 변조기가 소개 되었으며, 삽입손실이 크지 않으면서 전계흡수 변조기와 광검출기를 집적시킨 구조의 실험결과도 소개되었다.

또한 MWP 2005에서는 새로운 기술에 대한 소개 뿐 아니라 향후 4세대 이동통신 등에서 핵심 부품 기술로 자리잡을 수 있는 ROF 기술이 현실적으로 적용될 수 있는 경제적 방안에 대한 관심도 크게 증대되기도 하였다.

참고문헌

- (1) P.K.L. Yu, I. Shunbin, X.B. Xie, Y. Zhuang, A.J.X. Chen, and W.S.C. Chang, "Transparent ROF link using EA modulators," MWP-2005, pp. 21-24, Oct. 2005
- (2) Y.S. Kang, K.S. Choi, Y.D. Chung, S.B. Kim, and J.H. Kim, "Electroabsorption Demultiplexer Based on Dual Waveguide Structure with Spot Size Converter for Analog Application," MWP-2005, pp. 41-44, Oct. 2005
- (3) G. Qi, X. Chen, and J. Yao, "A single longitudinal mode fiber ring laser incorporating an intensity modulator for mm-wave signal generation and optical carrier recovery," MWP-2005, pp. 25-28, Oct. 2005
- (4) T. Kawanishi, T. Sakamoto, M. Tsuchiya, and M. Izutsu, "High Carrier Suppression Double Sideband Modulation Using an Integrated LiNbO₃ Optical Modulator," MWP-2005, pp. 29-32, Oct. 2005
- (5) F. Nakajima, T. Ohno, K. Yoshino, T. Furuta, T. Sato, Y. Kondo, and H. Ito, "Generation of 10-Gbit/s Optical Millimeter-Wave Signal Using a 125-GHz Mode-Locked Laser Diode Integrated with an Electro-Absorption Modulator," MWP-2005, pp. 33-36, Oct. 2005
- (6) D. Yoo, A. Madjar, S. Goldwasser, and P. Herczfeld, "Fundamental Mode-Locking of a Composite-Cavity Electro-optic Microchip Laser for Microwave Photonics," MWP-2005, pp. 37-40, Oct. 2005