

링 변조기 기반 WDM 송신기의 온도 안정화 제어 기법

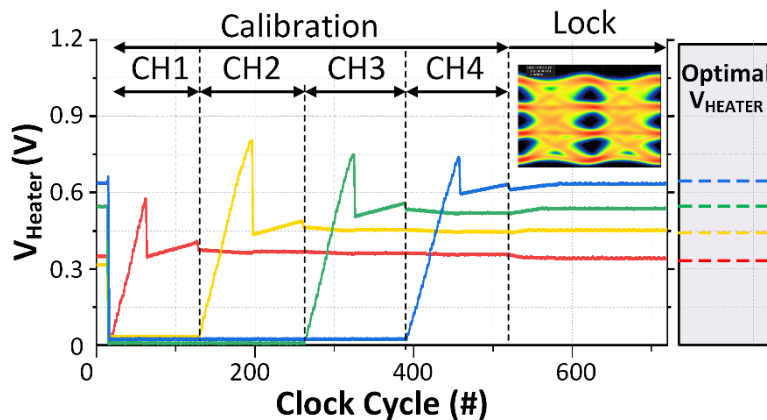
노대원¹, 박재구¹, 지용진¹, 최우영^{1,*}

¹ 연세대학교 전기전자공학과

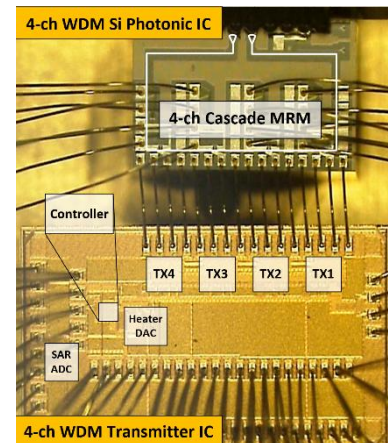
* wchoi@yonsei.ac.kr

| **Abstract:** 본 연구는 코드 기반 데이터 패턴을 활용하여 마이크로링 변조기의 최적 히터 전력을 자동으로 탐색하고 설정하는 기법을 제안한다. 설정된 조건은 dithering 제어를 통해 외부 온도 변화에도 안정적으로 유지되어, 파장 잠금 및 변조 성능을 보장한다.

고속 광 통신 시스템에서는 집적도와 에너지 효율을 동시에 만족하는 광 변조기가 요구된다. 실리콘 마이크로링 변조기(MRM)는 이러한 조건을 만족할 수 있는 유력한 후보로, 특히 대규모 파장 분할 다중화(WDM) 시스템에 적합하다. 하지만 MRM은 공진 특성으로 인해 온도나 공정 변화에 민감하게 반응하며, 이를 보상하지 않으면 안정적인 동작이 어렵다. 따라서 각 MRM의 공진 파장을 정밀하게 제어하는 기술이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 MRM이 특정 데이터 패턴(예: 1110, 0001)을 전송할 때 발생하는 평균 출력 전압 차이를 측정하고, 그 차이가 최대가 되는 히터 전력을 탐색하는 방식으로 최적 조건을 설정한다. 이후 1100 패턴의 기준 출력을 기억하고, 이를 기준값으로 하여 잠금 동작 시 dithering을 통해 온도 변화에 따라 히터 전력을 미세 조절함으로써 안정적인 변조 상태를 유지한다. 해당 방식은 다중 MRM 기반의 실리콘 포토닉 송신기 시스템에 적용되어 안정적인 동작을 확인하였다.



[그림1] 채널별 보정 및 잠금 과정에서의 히터 전압 변화 측정결과



[그림2] 칩 사진 및 주요 회로 구성

그림 1은 코드 기반 보정 및 잠금 기술의 동작 과정을 4채널 MRM에 적용한 결과를 보여준다. 각 채널(1-4)에 대해 순차적으로 최적 히터 전압이 탐색되며, 이후 해당 값을 기준으로 잠금 모드가 동작한다. 이때 결정된 히터 전압은 변조 효율이 최대가 되는 조건을 반영하며, 이후 외부 온도 변화가 있어도 해당 조건이 유지되도록 자동 보상된다. 그림 1에는 보정 후 안정된 아이 다이어그램이 제시되어 있다.

그림 2는 구현된 송신기 칩의 실물 사진으로, 상단의 Si 포토닉 집적회로(PIC)에는 4개의 마이크로링 변조기가 직렬로 구성되어 있고, 하단의 전자 회로(EIC)에는 각각의 채널 구동기와 히터 제어 회로가 집적되어 있다. 제안된 열 제어 방식은 이 두 칩 간의 유기적인 연동을 통해 구현된다.

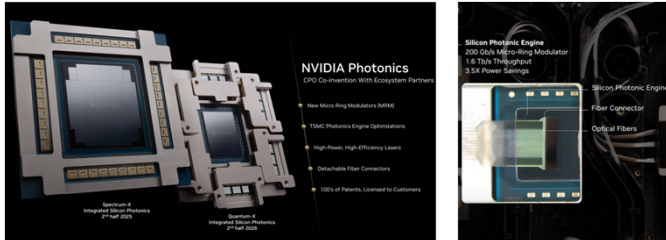
참고문헌

[1] J. Sharma, et al., "Silicon Photonic Microring-Based 4×112 Gb/s WDM Transmitter with Photocurrent-Based Thermal Control in 28-nm

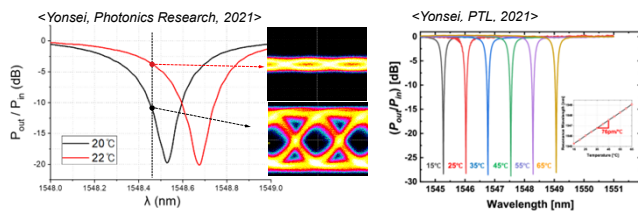
Abstract

- ❖ We propose a digital pattern-based calibration and locking technique for silicon microring modulators (MRMs).
- ❖ By sending test patterns such as '1110' and '0001', we measure the output voltage difference and determine the optimal heater power.
- ❖ After calibration, the system locks the resonant wavelength via dithering feedback, compensating for temperature fluctuations.

Introduction



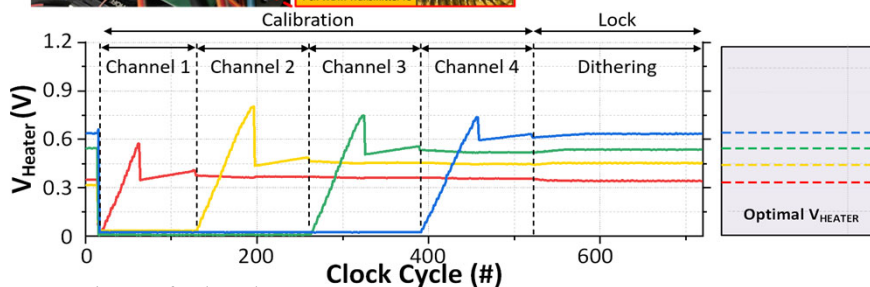
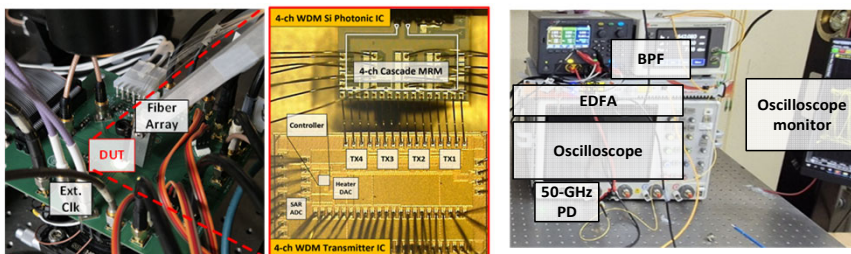
- ❖ At GTC 2025, NVIDIA announced a Co-Packaged Optics (CPO) solution for data center applications based on microring modulators (MRMs).
- ❖ Compared to conventional Mach-Zehnder Modulator(MZM) based pluggable optics, the proposed CPO architecture offers significantly higher energy efficiency



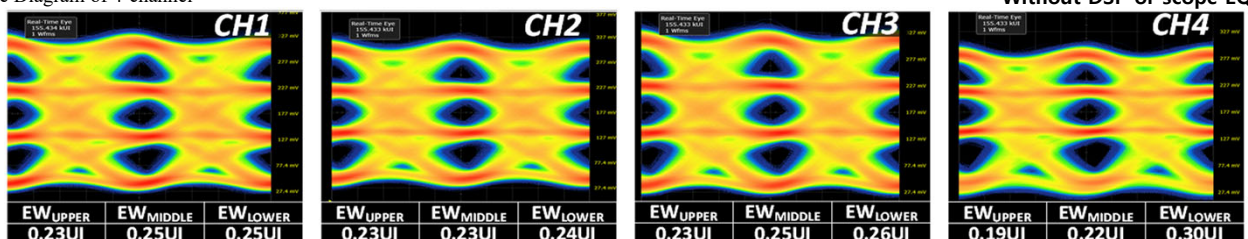
- ❖ MRMs are ideal for CPO thanks to their compact size, but require fine thermal tuning due to their temperature sensitivity.

Results and discussion

- ### ◆ Measurement Setup & Temperature Calibration Results

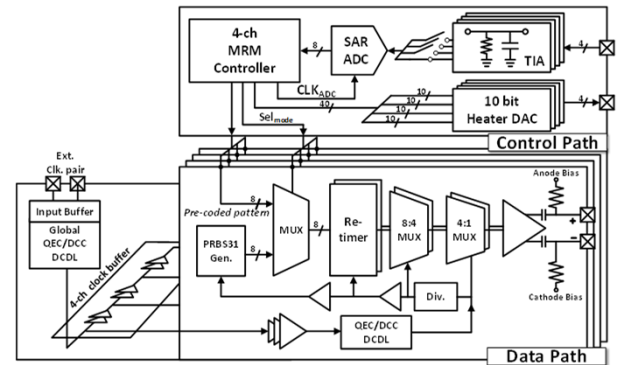


- ◆ Eye Diagram of 4-channel

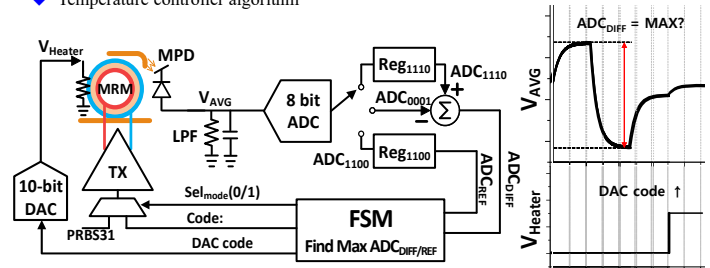


Research concept

- ◆ Top Block Diagram

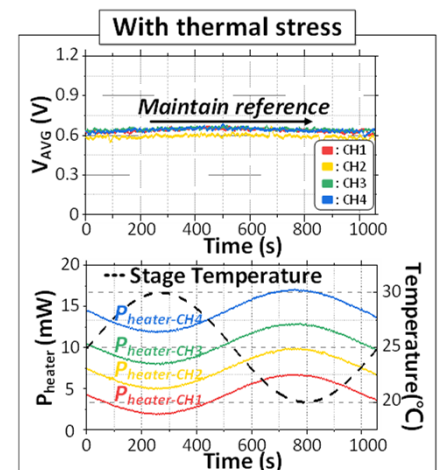


- ◆ Temperature controller algorithm



- ❖ Apply '1110' and '0001' patterns → Measure analog voltage after TIA + LPF → Compare the output difference.
- ❖ The heater code is incremented bit by bit to find the point where the voltage difference is maximized.

- ◆ Locking Test with temperature aggressor



Summary

- ❖ MRMs require precise thermal tuning due to their high temperature sensitivity.
- ❖ Proposed method enables automatic heater control based on measured signal difference from test patterns.
- ❖ Verified robust locking against external temperature changes across all 4 channels.
- ❖ Demonstrated in a compact, monolithic Si photonic transmitter, suitable for CPO-based high-density WDM systems.