

파장가변 광필터-단일광자센서 융합형 초고감도 양자분광기 개발

김세움 부교수(서울과기대 전기정보공학과) / 이인호 선임연구원 (KIST 양자기술연구단)

1. 연구의 필요성

1.1 연구의 필요성

- 광집적회로 기반 양자정보처리장치(QPU)의 확장성 확보를 위해 광자의 생성·조작·검출뿐 아니라 칩 내부 양자분광 기능이 필요함.
- 서로 다른 양자광원에서 생성된 광자쌍의 구분불가능성 검증 및 Wavelength multiplexing 채널의 구분 및 성능 평가가 필요함.
- 기존 온칩 분광기는 광센서 어레이 기반 공간분해형 구조와 단일 센서 기반 재구성형 구조로 구분됨.
- 광센서 어레이 방식은 다채널 동시 검출이 가능하나 센서와 배선 수가 증가하며 이에 따라 소자 면적 확대 및 시스템 복잡성이 증가함.
- 이를 해결하기 위해 광변조기를 사용하는 방식이 제안되었으며, 이 방식을 이용하면 단일 광변조기, 단일 광센서로 시스템을 구성할 수 있어 소자 면적과 시스템 복잡성을 다소 줄일 수 있음.
- 그러나 기존 열광학 방식의 광변조기의 경우 열광학 효과의 작은 굴절률 변화로 인해 변조 범위가 제한되며, 이에 따라 소자 면적을 줄이는데 한계가 있음.
- 또한, 열광학 방식의 경우 일반적으로 높은 소모전력을 나타냄.

1.2 제안 기술의 필요성

- 단일 변조기와 단일 광센서만으로 스펙트럼 정보를 시간적으로 부호화·복원함으로써 소자 수, 배선 수 및 광분기 손실을 최소화할 필요가 있음.
- 액정의 큰 전기광학적 복굴절을 이용하면 열광학 변조기에 비해 낮은 소비전력을 기대할 수 있으며, 하나의 Mach-Zehnder interferometer(MZI) 도파로에서 큰 위상 가변범위를 확보할 수 있음.
- 도파로 상부에 반도체 박막을 wafer bonding으로 전사하여 광센서를 집적하면, 외부 검출기 결합에 따른 광결합 손실과 정렬 복잡성을 줄일 수 있음.
- 최종적으로 단일광자 검출 기능까지 확장하면 광자쌍의 스펙트럼 정합, 파장 다중화 채널 검증 및 양자상태 분석을 수행할 수 있는 초소형 온칩 양자분광 플랫폼을 구현할 수 있음.

2. 연구목표

- 액정 기반 단일 가변 변조기와 wafer-bonding 기반 온칩 광센서를 집적하여 단일 변조기-단일 센서 구조의 초고감도 온칩 분광기 구현
- 액정-MZI의 전압 가변 전달함수를 이용하여 입력광의 스펙트럼 정보를 시간적으로 부호화하고, 단일 광센서 출력으로부터 스펙트럼을 복원하는 기술 개발
- 광도파로 상부에 반도체 활성박막을 정렬 전사하여 저손실 온칩 광검출 구조 구현
- 온칩 광센서를 단일광자 검출 수준으로 고도화하고, 광자쌍의 구분불가능성 및 wavelength multiplexing 특성을 분석할 수 있는 온칩 양자분광 기술 시연
- 액정 변조기, 이중재료 집적, 단일광자센서 및 스펙트럼 복원 알고리즘을 결합한 초소형·저전력 양자분광 플랫폼 확립