

Caltech, 광섬유 초저손실 성능을 포토닉 칩으로 확장

(2026.03.03., 양자정보연구지원센터)

□ Caltech 연구진, 광섬유의 초저손실 성능을 포토닉 칩으로 확장

- Caltech 연구진, 가시광선 영역에서 광섬유에 근접하는 초저손실(ultralow-loss) 성능을 실리콘 웨이퍼 기반 포토닉 칩에서 구현하는 기술 개발
 - 이는 차세대 초고코히런스·고효율 포토닉 집적회로(PIC, Photonic Integrated Circuits) 개발의 기반을 마련한 성과로, 정밀 계측(광시계·자이로스코프), AI 데이터센터 통신, 양자컴퓨팅 등 다양한 온칩(on-chip) 응용 분야에 파급효과가 기대됨(*Nature*에 게재)
- 연구 배경 및 필요성
 - 광섬유는 초고순도 유리와 초정밀 표면 가공을 통해 빛의 흡수·산란 최소화, 장거리에서도 신호 손실이 극히 낮은 특성 보유함
 - 반면 기존 포토닉 칩은 재료적·공정적 한계로 인해 특히 가시광 영역에서 손실이 커, 광섬유 수준의 성능 구현이 어려웠음
 - 회로 내 광손실은 레이저 코히런스, 공진기 성능, 신호 증폭 효율 등 핵심 지표에 직접적인 영향을 미치므로, 손실 저감은 고성능 광소자 구현의 필수 조건임
- 핵심 기술 및 차별성
 - 연구진은 광섬유와 동일한 재료인 germano-silicate 유리를 활용하여, 기존 반도체 칩과 동일한 8·12인치 실리콘 웨이퍼 위에 광회로를 직접 구현하는 리소그래피 기반 공정을 개발함
 - 나노미터 규모의 도파로(waveguide)를 나선형(spiral) 구조로 설계하여, 칩 면적은 수 센티미터에 불과하지만 광경로 길이는 수 미터 이상으로 확장 가능하도록 함
 - 재료의 낮은 용융 온도 활용 'reflow' 공정을 적용, 도파로 표면을 원자 단위 수준으로 평탄화함으로써 가시광 영역에서 산란 손실 대폭 억제함

- 그 결과, 가시광 영역에서 기존 저손실 소재인 실리콘 나이트라이드(silicon nitride) 대비 최대 20배 이상 낮은 손실을 달성함
- 근적외선 영역에서도 기존 최고 성능 소자와 동등 이상의 성능 확보함
- 성능 향상 및 기술적 의의
 - 새 플랫폼 기반 레이저는 기존 대비 100배 이상 향상된 코히런스(빛의 위상 일관성 유지 시간)를 구현함
 - 링 공진기(ring resonator)와 같은 기본 광소자의 경우, 손실이 10배 감소할 때마다 코히런스는 100배 향상되는 특성이 있음
 - 칩 크기는 약 2cm에 불과하지만, 공진기 내에서 빛이 장시간 순환할수록 실질적인 광경로 길이가 수 미터~수 킬로미터에 해당하게 되어 초저손실 특성이 결정적 역할을 수행함
- 응용 가능 분야
 - 가시광~근적외선에 걸친 광대역 초저손실 구현은 다양한 원자 기반 정밀 시스템의 소형·집적화를 가능하게 함
 - 칩 스케일 원자 센서, 광시계(optical clock), 이온트랩 시스템, 비선형 공진기 기반 주파수 생성 소자, AI 데이터센터용 저에너지 광통신 인프라, 양자정보 처리 시스템
 - 연구진은 해당 플랫폼을 ‘스위스 아미 나이프’에 비유하며, 광범위한 환경에서 범용적으로 활용 가능한 기술적 기반임을 강조
- 섬유 제조 개념을 반도체 웨이퍼 공정에 성공적으로 이식함으로써, 포토닉 칩의 손실 한계를 획기적으로 낮춘 성과임
 - 특히 가시광 영역에서 손실 문제를 근본적으로 개선, 고정밀 계측·양자 기술·고속 통신 등 미래 핵심 산업 분야의 기술적 도약 촉진 전망됨
 - 향후 추가적인 손실 저감 및 대량 생산 공정 최적화를 통해 상용화 가능성 또한 크게 확대될 것으로 기대됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/02/04/caltech-researchers-extend-optical-fibers-ultralow-loss-performance-to-photonic-chips/>