테라비트 시대를 열어가는 실리콘 포토닉스 기술(요약)

<table>
<tr><td rowspan="2">성과Track</td><td colspan="2">기초·미래선도</td><td colspan="2">산업육성</td><td colspan="2">국가·사회문제해결</td></tr>
<tr><td colspan="2">O</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>협약(세부)과제명</td><td colspan="6">(과제1) 광 클라우드 네트워킹 핵심기술 개발
(과제2) 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 핵심 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">과제번호</td><td colspan="3">협약(세부) 과제번호</td><td colspan="3">NTIS 과제번호</td></tr>
<tr><td colspan="3">22HH6900, 22ZH1100</td><td colspan="3">1711153039, 1711173560</td></tr>
<tr><td>성과목표</td><td colspan="6">[3-2] 속도·에너지·집적도·보안 한계 극복을 위한 광통신 원천기술</td></tr>
<tr><td>총 연구기간</td><td colspan="6">2019년 1월 1일 ~ 2028년 12월 31일, 2019년 1월 1일 ~ 2023년 12월 31일</td></tr>
<tr><td>총 연구비</td><td colspan="3">총 51,328백만원</td><td colspan="3">정부: 50,968백만원, 민간: 360백만원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td>연구자 성명</td><td colspan="2">직할부서</td><td colspan="2">연구본부/연구실</td><td>직위/직급</td></tr>
<tr><td>이준기</td><td colspan="2">통신미디어연구소</td><td colspan="2">네트워크연구본부
광네트워크연구실</td><td>실장
책임연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">성과 정보</td></tr>
<tr><td>성과 내용</td><td colspan="6">- 데이터 트래픽 폭증, 에너지, 상면적, 구축 비용 등의 현안을 해결하고 테라비트급 시대를 선도적으로 개척하기 위한 광통신 원천기술 개발, 글로벌 연구선도
• [세계최고] 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩과 100/400Gbps 광모듈 개발, 대용량화, 소형화, 저가화 가능한 핵심기술 확보 (파장당 속도 4배 증가, 크기 1/5 감소, 비용 40% 절감)
• [세계최초] 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기 개발, 300GHz 신호를 생성 100Gbps 10m 무선 전송 성공, 산업화 가능성 제고 (보드 크기의 THz 생성기를 칩으로 집적화)
- 최첨단 광소자/모듈 핵심기술 자립 및 국내 중소기업 해외시장 진출에 기여
• 국내 벤처기업(레신저스) 기술이전 및 지원을 통해 '초소형 광인터커넥션 모듈' 해외 사업화 성공 (일본 'H'사 수출액 105백만원, '22년)
• 연구소기업(인옵틱스) 창업, 기술이전기업(라이팩) '400Gbps 광학엔진' 시제품 개발, 공동연구기업(오이솔루션) '100Gbps 광트랜시버' 국산화 개발 등</td></tr>
<tr><td rowspan="4">정량성과
누적(당해년도)</td><td rowspan="2">기본지표</td><td colspan="2">논문</td><td colspan="4">특허</td><td colspan="2">기술이전</td></tr>
<tr><td>SCI(건)</td><td>비SCI(건)</td><td colspan="2">해외(건)</td><td colspan="2">국내(건)</td><td>건수</td><td>금액
(백만원)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>출원</td><td>등록</td><td>출원</td><td>등록</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>17(8)</td><td>59(23)</td><td>37(15)</td><td>4(4)</td><td>63(24)</td><td>2(1)</td><td>3(2)</td><td>211(145)</td></tr>
<tr><td>심화지표</td><td colspan="2">표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건)</td><td colspan="2">특허활용률
(기술이전건수/특허등록보유건수)</td><td colspan="2">국제표준승인표준 기고서(건)</td><td colspan="2">3극 특허(건)</td><td colspan="2">연구비 대비 기술료 수입(%)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">11(5)</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0.9% (2.3%)</td></tr>
<tr><td>대표성과 1</td><td colspan="6">- [논문] 광통신 분야 최고 권위지 (Optics Express, IF 상위 20%) 5편 포함 <u>SCI 논문 8편 게재</u>
• (대표논문) 53GBd PAM4 fully-integrated silicon photonics transmitter with hybrid flip-chip bonded laser, Optics Express, Vol. 30, No. 23, IF 3.894, '22.11.
- [특허] 독창적 구조의 실리콘 포토닉스 광송수신기 구조 등 <u>국내외 특허 39건 출원/출원중, 5건 등록 완료</u>
• (대표특허) 격자 커플러 기반 실리콘 포토닉스 칩 광커플링 장치, 11409047, '22.8., 등록, 미국</td></tr>
<tr><td>대표성과 2</td><td colspan="6">- [기술이전] 100Gbps PAM4 변조방식 및 칩온보드 <u>기술이전 3건, 2.1억원</u>
• 100Gb/s PAM4 변조방식 송수신 기술 (2건): 79백만원, '22.9., 66백만원, '21.12.
• 실리콘 기반 100Gbps 광트랜시버 칩온보드 기술: 66백만원, '22년 10월
- [사업화] 200Gbps 초소형 광모듈 <u>일본 'H'사 수출 (105백만원</u>, '22년)</td></tr>
</table>

2022년도 ETRI 10대 대표성과 후보 추천서(상세)

1. 성과명

테라비트 시대를 열어가는 실리콘 포토닉스 기술

2. 성과내용

기술개발 목표달성도

□ 기술적 선점이 필요한 분야

○ 고품질 영상, 초실감 미디어 서비스 등으로 인해 폭증하는 데이터 트래픽을 수용하고, 테라비트 광통신 시대를 선도적으로 개척하기 위한 **광통신 원천기술**

- **광통신 모듈의 제품/시장 경쟁력의 원천인 소형화, 저전력화 및 저가화 기술한계를 돌파하기 위한 광집적회로 소자모듈 기술**
- 인도어 환경에서 테라급 무선 데이터 전송을 위한 THz 신호 생성·전송 기술

□ 기술개발 목표

○ 現 유무선 네트워크의 트래픽 폭증, 전력소모, 상면적, 구축 비용 등의 현안을 해결하기 위한 실리콘 포토닉스 기반 테라비트급 유무선 광연결 기술 개발

(목표 ①) 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩 및 광모듈 개발

(목표 ②) 실리콘 포토닉스 기반 100Gbps THz 신호 생성기 개발

<기술개발 개념도>

※ (광트랜시버) 광전송 시스템, 서버, 라우터, 스위치 등의 광통신 장치에서 전기신호를 광신호로, 또는 광신호를 전기신호로 바꿔주는 역할을 하는 모듈

※ (실리콘 포토닉스 기술) CMOS 반도체 공정을 이용하여 포토닉스 소자를 제작하는 기술로, 광통신 소자 대량 생산을 통한 저가화, 3차원 집적을 통한 소형화, 소자 반복 배치를 통한 대용량화를 가능하게 함

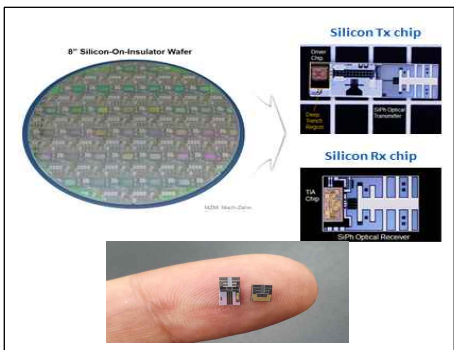
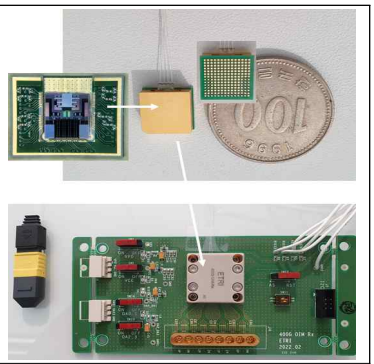
□ 기술개발 목표의 달성 성과 및 핵심기술 확보

[개발목표 ①] 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩 및 광모듈 개발

➡ **(달성성과) 세계최고 수준 성능의 실리콘 포토닉스 광송수신 소자·모듈 개발**

➡ **(핵심기술 확보)**

- **저전압 구동 조건에서 세계최고 수준의 대역폭을 갖는 실리콘 광변조기** 개발 및 IPR 확보 (~35GHz @ 3.2Vppd)
- 전계강도를 높인 **독창적 구조의 광검출기** (NP-PIN 구조) 개발 및 IPR 확보
- **전자 반도체 칩 패키지(LGA/BGA)를 적용한 4ch x 100Gbps 고밀도 광인터커넥션 칩, 모듈** 기술 *LGA/BGA: Land Grid Array, Ball Grid Array
- 초고속 광통신 모듈 신호 무결성(Signal Integrity) 회로/보드 설계 기술
- 광대역 자동 패키징 및 광정렬 기술

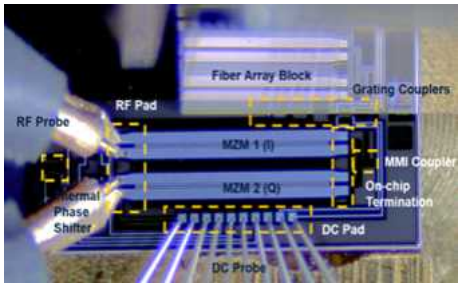
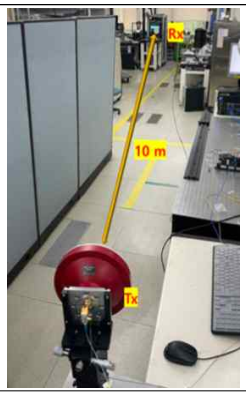
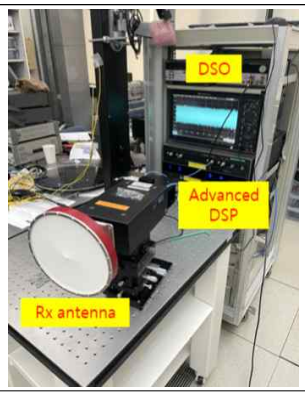
		
단일채널 실리콘 포토닉스 100Gbps 광송수신 칩	실리콘 포토닉스 기반 100Gbps 광트랜시버	4ch x 100Gbps 초소형 광인터커넥션 칩, 모듈

[개발목표 ②] 실리콘 포토닉스 기반 100Gbps THz 신호 생성기 개발

➡ **(달성성과) 세계최초 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기 개발, 300GHz 주파수 신호로 100Gbps 10m 무선 전송 성공**

➡ **(핵심기술 확보)**

- 변조효율, 대역폭, 광손실 Figure-of-Merit(FOM)을 활용한 **실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기 설계 기술**
- 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기를 이용한 100Gbps 광 IQ 변조 기술
- 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기를 이용한 10m THz 무선 전송 기술
- THz 신호 수신단 IQ 불균형 보상 신호처리 기술

		
실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기 칩	100Gbps 16QAM THz 신호 10m 전송 시험 성공	THz 신호 수신단 구성 및 신호처리 기술

3. 우수성 및 차별성

기술수준 향상 성과

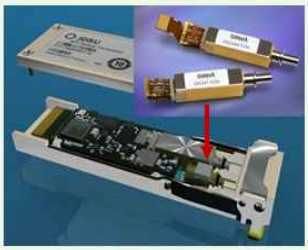
"데이터 트래픽 폭증, 에너지, 상면적, 구축 비용 등의 현안을 해결하고 테라비트 시대를 선도적으로 개척하기 위한 광통신 원천기술 개발, 글로벌 연구선도"

[개발목표 ①] 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩 및 광모듈 개발

○ 세계최고 수준의 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩 및 100/400Gbps 광모듈 개발, **테라비트급 광통신 시대를 위한 기반기술 확보**

- **기존 Gold box 타입의 개별 광소자 조립 방식의 경우** LD, PD, 광다중/역다중화기, 렌즈 등 개별 광소자를 광정렬/본딩 과정을 통해 제작하므로 **다채널/대용량화, 소형화, 저가화 측면에서 한계 존재**
- **실리콘 포토닉스 기술은** 여러 광소자를 CMOS 반도체 공정을 사용하여 하나의 칩으로 제작하는 기술로 **저비용 대량 생산이 가능**하며, Co-packaged Optics, 칩렛 등 **다채널/고집적화가 요구되는 테라비트급 광소자/모듈 진화에 대비**할 수 있음

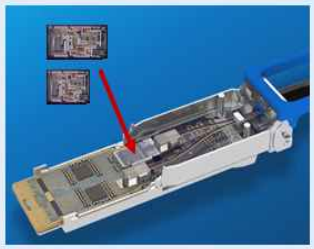
개별 광소자 조립 방식 광트랜시버



- 전통적인 'Gold Box' type TOSA, ROSA
- 개별 광소자 조립 (Discrete optical components)
- 노동 집약적 (Labor Intensive)

전송용량, 상면적, 생산성/저가화 측면에서 한계 존재

실리콘 포토닉스 방식 광트랜시버



- 실리콘 포토닉스 칩 실장
- 여러 광소자를 하나의 칩으로 집적화 (Optical components integrated on a silicon die)
- 장치 집약적 (Equipment Intensive)

전송용량, 상면적, 생산성/저가화 측면에서 유리

[개발목표 ②] 실리콘 포토닉스 기반 100Gbps THz 신호 생성기 개발

○ 세계최초, 최고수준의 단일채널 100Gbps 16QAM 변조 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기 개발, 산업화 가능성 제고

- **기존 Bulk optics 기반의 광부품을 사용**해 THz 신호 생성기를 구현할 경우, 면적이 약 **1.2m × 1m 로 구성이 복잡하고, 소모전력과 구현 비용이 과다**하게 소요되어 광기반 THz 전송 기술의 상용화에 걸림돌로 작용
- **실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기의 경우 크기가 5mm × 2.9mm**로 소형화/집적화/저가화/저전력화가 가능하여 향후 **광기반 THz 전송기술 산업화의 걸림돌을 제거**하는 획기적 전기를 마련

< 기존기술대비 기술수준 향상성과>

개발 방향	기존 기술 (As-Is)	개발 기술 (To-Be)	기술수준 향상성과
초고속	파장당 25Gbps	파장당 100Gbps	4배 증가
소형화/집적화	개별 광소자 조립 (5.6 x 16.9 mm^2)	단일 칩 집적화 (2.9 x 5.9 mm^2)	1/5 감소
	Bulk optics THz 생성기 (1.2 x 1 m^2)	실리콘 칩 THz 생성기 (2.9 x 5 mm^2)	1/100,000 감소
저가화	개별 광소자 조립 (4채널 x 25Gbps)	단일 칩 집적화 (1채널 x 100Gbps)	40% 절감

< 논문, 특허 성과 >

구분	논문 누적('22년도)			특허 누적('22년도)			
	SCI	IF 20% SCI	비SCI	해외		국내	
				출원	등록	출원	등록
개발목표 ①	7(5)	4(3)	24(9)	28(12)	3(3)	46(17)	2(1)
개발목표 ②	10(3)	7(2)	35(14)	9(3)	1(1)	17(7)	0(0)
합계	17(8)	11(5)	59(23)	37(15)	4(4)	63(24)	2(1)

세계 최고 수준 대비 연구개발 수준

[개발목표 ①] 실리콘 포토닉스 기반 단일채널 100Gbps 광송수신 칩 및 광모듈 개발

○ 전 세계적으로 실리콘 포토닉스 기술을 이용하여 **채널당 100Gbps 광송수신 칩과 모듈을 개발한 기관은 Intel, Cisco 등 소수 기업에 불과**하며, 저전압 (1.6V이하) 구동이 가능한 실리콘 광변조기와 독창적 구조의 광검출기 (NP-PIN 구조), 광부품에 LGA/BGA 전자 반도체 패키징 적용 기술의 경우 독보적인 성능을 확보 **(세계최고 수준 100%)**

[개발목표 ②] 실리콘 포토닉스 기반 100Gbps THz 신호 생성기 개발

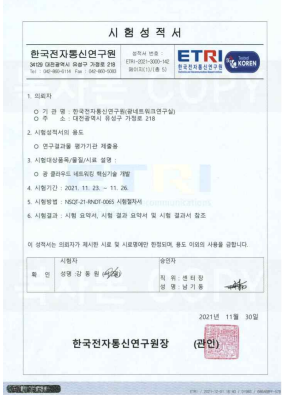
○ 실리콘 포토닉스 기반 THz 신호 생성기는 **2020년부터 ETRI가 세계최초로 개발을 시도**하였으며, **300GHz 주파수의 THz 신호를 생성하고 100Gbps 16QAM 무선신호를 10m 전송에 성공**한 성과를 달성 **(세계최초, 세계최고 수준 100%)**

- 독일의 KIT가 개발 중인 Plasmonics 기반 THz 발생기 기술의 경우 THz 신호 생성 가능성만을 검증한 수준으로 생성기 출력 레벨, 무선 전송 실험 등의 결과는 아직 보고되지 않고 있음 *QAM: Quadrature amplitude modulation

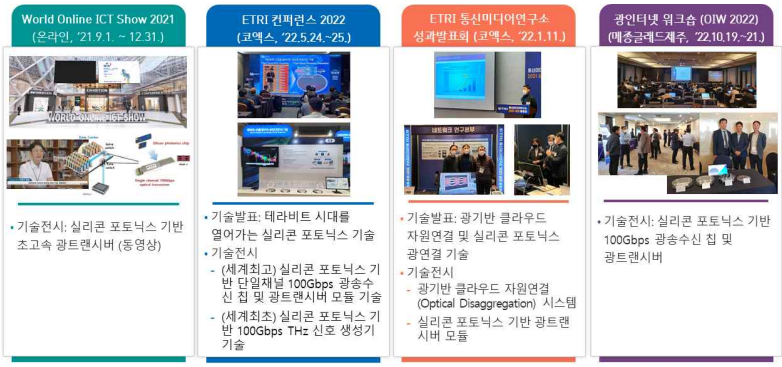
기술수준 공인 성과

○ **(국제공인시험기관 인정서 획득)** 국제시험기관인정 한국인정기구(KOLAS)로부터 연구개발 결과물에 대한 기능 및 성능 인증 획득

- 광 클라우드 네트워킹 핵심기술 개발 (2021.11.30.)
- 광 클라우드 네트워킹 핵심기술 개발 (2022.11.25. 예정)

	
국제공인시험기관(KOLSA) 시험성적서	시험 결과 요약서

○ **(글로벌 전시/홍보)** 광통신 최대 국제 학회/전시회인 ECOC 2022 (스위스, 2022.9.19.~21.)에서 실리콘 포토닉스 기술 전시/홍보(40여개 기업 방문)를 통해 국내/ETRI 광통신 기술 위상을 높였으며, World Online ICT Show 2021 등에서 기술을 전시/홍보

	
광통신 유럽 최대 학회/전시회 ECOC 2022 (2022.9.19.~21.)	World Online ICT Show 2021, ETRI 컨퍼런스 2022, ETRI 통신미디어연구소 성과발표회, 광인터넷 워크숍 전시/홍보

4. 성과의 활용도 및 파급효과

경제 활성화 효과

“최첨단 광소자/모듈 핵심기술 자립을 통한 광통신 국가·산업 경쟁력 향상, 국내 중소기업 해외시장 진출에 실질적 기여”

기업 경쟁력 향상

○ 기술이전, 기술지원, 측정/시험지원, 마케팅 지원을 통한 국내 중소기업의 해외 시장 진출 및 기술 경쟁력 향상에 기여

- **(기술이전)** 최첨단 광트랜시버 기술 상용화를 위한 기술이전 **3건, 2.1억원**
  - 100Gb/s PAM4 변조방식 송수신 기술 (레신저스, 66백만원)
  - 100Gb/s PAM4 변조방식 송수신 기술 (라이팩, 79백만원)
  - 실리콘 기반 100Gbps 광트랜시버 칩온보드 기술 (오이솔루션, 66백만원)

○ **(해외시장 진출 견인)** 공동/협력 연구, 기술이전 및 마케팅 지원으로 광통신 모듈/부품 기업의 세계 시장 진출 견인

- 국내 벤처기업 (레신저스) 기술이전 및 지원을 통해 **‘200Gbps 초소형 광인터커넥션 모듈’ 해외 사업화 성공** (일본 ‘H’ 사 수출액 105백만원, ‘22년)
- 기술이전 기업 (라이팩) ‘400Gbps 광학엔진’ 시제품 개발
- 공동연구/기술이전 기업 (오이솔루션) ‘100Gbps 광트랜시버 모듈’ 국산화 개발
- 광인터커넥션 기술을 기반으로 **연구소기업 창업** (인옵틱스, ‘22년 9월)

‘200Gbps 초소형 광인터커넥션 모듈’ 해외 사업화

실리콘 포토닉스 기술교류회 개최

국내 중소기업 협력 연구, 기술지원

○ **(강소형 중소기업 육성)** 고차 변복조 (PAM, QAM) 기술과 광집적화 기술이전, 측정/시험 지원, 기술교류, 사업화 전략 수립 지원으로 오이솔루션, 우리로, 코셋 등 강소형 중소기업으로 성장 지원

- ETRI E-패밀리 기업 (오이솔루션, 네온포토닉스, 우리로) 광송수신기, 광트랜시버 기술 자문, 시험 23회 지원

- 코셋, PPI, HFR 등 광통신 부품/시스템 5개 기업에 측정 및 시험 39회 지원
- 실리콘 포토닉스 기술 교류회 개최 (6회), 광인터넷 워크숍 개최(10월), 국내 대기업(D사) 광트랜시버 신규 사업 기획 지원 등

산업 경쟁력 향상

○ **(광소자/모듈 기술 자립을 통한 산업·기술 경쟁력 향상)** 기술의 중요성/파급력에도 불구하고 국내 실리콘 포토닉스 산업 및 기술 기반은 전무한 상태로, 국내 기업의 기술 종속 위기에 대비하고 원천기술 자립 기반 마련. 국내 산업/기술 경쟁력 제고 및 생태계 활성화에 기여. 선진 기관과의 기술 격차 극복

- 실리콘 포토닉스 기술을 활용하여 유무선 광통신 시스템의 구현 비용 및 소비전력을 낮추고, 광집적회로 기반으로 대량 생산을 가능케 함으로써, 향후 시장 경쟁력 제고 및 상용화를 위한 기반 구축

○ **(첨단 신산업 및 융합 산업 개척)** 15년 이상 축적한 광모듈 집적화 기술을 기반으로 데이터센터와 같은 직접 시장 외, 고속·대용량 광연결 기술을 필요로 하는 Optical HDMI, CPU-Memory 인터페이스, 항공/선박 광통신망, 스마트 시티 등의 간접(응용) 시장 확대 가능

경제적 파급효과

○ **(파급효과 전망)**

- 광트랜시버의 고용량, 저전력, 소형화 등의 니즈로 인한 실리콘 포토닉스 기반 광트랜시버 제품 수요 증가로 **전체 광트랜시버 시장에서 실리콘 포토닉스 제품이 차지하는 비율은 2020년 약 25%에서 2026년 50% 이상으로 급격히 증가**해 $7.5B에 이를 것으로 전망

< 실리콘 포토닉스 기반 광트랜시버 시장 비중, Lightcounting 2021 >

- 서브-테라헤르츠 대역의 통신 관련 시장규모는 2020년 5백만 달러 (72억원)에서 2027년 2억15백만 (3,117억원)달러 규모로 성장 전망 (Mordor Intelligence-Global Terahertz Technologies Market, 2021.12.)

- 상기 시장을 선점할 수 있는 핵심기술을 확보함으로써 국내 광통신 부품·모듈 기업의 매출/수출 증대와 산업 활성화에 기여

국가·사회적 파급효과

○ 해결해야 할 국가·사회문제

- 산업/사회의 디지털 전환으로 정보 유통을 담당하는 네트워크는 디지털 혁신의 중요한 핵심 인프라이자 중요한 기반시설
- 글로벌 패권을 잡기 위해 미국, 중국을 비롯한 주요 국가는 5G-Adv./6G 등 차세대 네트워크 경쟁 돌입하고 있으며, 기술동맹 움직임도 가시화
- 공유할 첨단기술 등을 가지지 못한 국가는 철저히 소외될 수 있는 상황으로, 기술적 우위가 국가 경쟁력을 좌우하는 시대
- 또한, 하나의 칩이 여러 기능을 제공하는 시스템 반도체로 구성된 통신 칩의 경우 글로벌 대기업에서 독점공급 등 공급망 이슈가 발생
- **광통신 소자/모듈 기술의 경우 국가 필수전략기술로서 소재·부품·장비 자립, 공급망 이슈 대응, 기후변화 위기 대응을 위한 통신망 탄소배출 저감 등의 정책 추진에 기여**

○ 성과에서 개발된 기술적 솔루션

- **채널당 100Gbps 및 모듈당 400Gbps급 광트랜시버 기술은 향후 다가올 테라비트급 광통신 시대를 위한 기반기술이 될 것**으로 기대하며, 25Gbps급에 머물러 있는 국내 기술 수준을 100~400Gbps급으로 한 단계 발전하는 데 기여
- 광전송 용량(채널 수)이 증가할수록 광송수신기 구조와 소요 부품의 복잡도가 증가하기 때문에 모듈을 작게 집적화하고 양산 수율을 확보하는데 어려움이 가중됨. 본 과제에서 개발한 **광집적회로 기술, 자동 조립 장치 및 공정 기술의 경우 광통신 모듈의 소형화/집적화와 더불어 생산 비용을 감소**시킬 수 있을 것으로 기대
- 데이터센터 영역은 광통신 활용 영역 중 가장 시장 규모와 성장률이 큰 분야로 액세스망 위주의 국내 기업이 글로벌 시장으로 진출하기 위한 기반 확보에 기여
- 6G 시대에는 더욱더 촘촘한 유·무선 통신망의 연결이 필요하며, Sub-THz 대역과 같이 초고주파 대역의 주파수 활용이 필수적임. 이러한 기술적 요구사항을 경제적으로 수용할 수 있는 실리콘 포토닉스 및 광전송 기술 활용 기대

○ 국가·사회적 파급효과

- 데이터 트래픽을 초고속으로 연결하고 자원/에너지 효율적으로 처리하여 메타버스 등 미래 인공지능/클라우드/비대면 서비스 제공에 기여
- 고품질 영상, 초실감 미디어, AI/클라우드 서비스 등 초광대역·초실감 서비스 인프라를 제공하여 일반 국민의 풍요로운 라이프 스타일 제공

[별첨] 정량적 성과

1. SCI 논문

- **17건 (2019~2022년), 8건 (2022년)**
- **우수 SCI 논문 11건 (2019~2022년), 5건 (2022년)**

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	상위 20% 여부	게재일	등록번호 (ISSN)
1	Verification of hybrid-integrated 400-Gb/s (4x100 Gb/s) CWDM4 ROSA using a bandwidth-improved multilayer board	Optics Express	강세경	Vol. 28, No. 22	미국	Optica Publishing Group	O	2020.10.26.	1094-4087
2	Demonstration of Photonics-aided Terahertz Wireless Transmission System with using Silicon Photonics Circuit	Optics Express	문상록	Vol.28, No.16	미국	Optica Publishing Group	O	2020.08.03.	1094-4087
3	Coverage Extension of Indoor 5G Network Using RoF-Based Distributed Antenna System	IEEE Access	김언상	Vol.8	미국	IEEE	O	2020.10.26.	2169-3536
4	Critically coupled Fabry-Perot cavity with high signal contrast for refractive index sensing	Scientific Reports	박경철	Vol. 11, No. 19575	미국	Springer Nature		2021.10.01.	2045-2322
5	Cost-Effective Photonics-Based THz Wireless Transmission Using PAM-N Signals in the 0.3 THz Band	Journal of lightwave technology	문상록	Vol.39, No.2	미국	IEEE/Optica Publishing Group	O	2021.01.15.	4374-4389
6	Cost-effective photonics-based THz wireless delivery system using a directly modulated DFB-LD	Optics communications	김언상	Vol.492	네덜란드	Elsevier		2021.03.26.	0030-4018
7	Experimental Investigations on Upstream Transmission Performances in Future-proof THz-band Indoor Network Based on Photonics	Optical fiber technology	문상록	Vol.65,	네덜란드	Elsevier		2021.09.01.	1068-5200
8	Design Considerations of Photonic THz Communications for 6G Networks	IEEE Wireless communications	성민규	Vol.28, No.5	미국	IEEE	O	2021.10.01.	1536-1284
9	6G Indoor Network Enabled by Photonics- and Electronics-Based sub-THz Technology	Journal of lightwave technology	문상록	Vol.40, No.2	미국	IEEE/Optica Publishing Group	O	2021.09.20.	4374-4389
10	100-Gbps PAM-4 bidirectional optical sub-assembly module with in-line arrangement of optical and electrical interfaces	Optics Express	허준영	Vol. 30, No. 2	미국	Optica Publishing Group	O	2022.01.17.	1094-4087

11	Active Fano resonance switch using dual-layer graphene in an embedded dielectric metasurface	Optics Express	서동준	Vol. 30, No. 12	미국	Optica Publishing Group	O	2022.06.06.	1094-4087
12	Distributed Memory Access Architecture and Control for Fully Disaggregated Datacenter Network	ETRI Journal	한경은	Vol. 44, No. 6	한국	ETRI		2022.12.30.	2233-7326
13	53GBd PAM-4 fully-integrated silicon photonics transmitter with hybrid flip-chip bonded laser	Optics Express	유상화	Vol. 30, No. 23	미국	Optica Publishing Group	O	2022.11.07.	1094-4087
14	Experimental Demonstration of Nonlinear Equalizer with Bandwidth Limited PAM-4 System	Optical Fiber Technology	이승우	-	네덜란드	Elsevier		Minor 리비전 중	1068-5200
15	Coherent Terahertz Wireless Communication Using Dual-Parallel MZM-Based Silicon Photonic Integrated Circuits	Optics Express	이원경	Vol. 30, No. 2	미국	Optica Publishing Group	O	2022.01.17.	1094-4087
16	RoF-based Indoor Distributed Antenna System that Can Simultaneously Support 5G mmWave and 6G Terahertz Services	Optics Express	문상록	Vol.30, no.2	미국	Optica Publishing Group	O	2022.01.17.	1094-4087
17	Experimental demonstration of uncompressed 4K video transmission over directly modulated distributed feedback laser-based terahertz wireless link	ETRI Journal	김언상	Vol. 44, No. 6	한국	ETRI		2022.10.25.	2233-7326

2. 비 SCI 논문

- **59건 (2019~2022년), 23건 (2022년)**
- **우수 학회 논문 2건 (2022년)**

번호	논문명	학술대회/학술지명	주저자명	국명	게재/발표일
1	데이터센터 디스애그리게이션 기술 동향	주간기술동향	윤지욱	한국	2019.12.25.
2	Disaggregation 기반 데이터센터를 위한 광스위칭 기술	제21회 전자정보통신 학술대회	송종태	한국	2019.12.06.
3	PIC technology trends for 800G and beyond	PC 2019	강세경	한국	2019.12.04.
4	실리콘 렌즈가 사용된 광기반 THz 신호 발생기를 이용한 50 Gb/s QPSK 신호 전송	ISMTS 2019	문상록	한국	2019.10.01.
5	포토닉스기반 THz 근거리 전송 기술	전자통신동향분석	조승현	한국	2019.12.20.
6	저지연 특성을 갖는 광학적으로 분리된 메모리 기술	한국광학회 하계학술발표회	윤지욱	한국	2020.07.14.
7	미래 자원중심 클라우드 네트워크를 위한 광기반 클라우드 자원 연결 기술	COOC 2020	송종태	한국	2020.09.05.

8	Two-stage Pipelined Parallel Matching Scheduler for VOQ-based Input-buffered Switches	OECC 2020	한경은	한국	2020.10.07.
9	Experimental Demonstration of Optically Disaggregated Memory for Edge Data Centers	OECC 2020	윤지욱	한국	2020.10.07.
10	데이터센터 응용을 위한 100기가급 실리콘 포토닉스 기반 마하젠더 광변조기	PC 2020	유상화	한국	2020.11.25.
11	112Gbps PAM-4 전송을 위한 디지털 신호처리	PC 2020	이승우	한국	2020.11.25.
12	직접 변조 레이저 다이오드를 사용한 THz 대역 무선 전송 시스템에서 25 Gb/s NRZ 신호 전송	COOC 2020	김언상	한국	2020.09.02.
13	광 기반 THz 근거리 전송 시스템	COOC 2020	성민규	한국	2020.09.02.
14	차세대 무선통신을 위한 포토닉스 기술의 활용	COOC 2020	성민규	한국	2020.09.03.
15	THz 대역 통신시스템에서 90Gb/s PAM-8 신호 전송	COOC 2020	문상록	한국	2020.09.04.
16	THz 대역 실내 무선 통신을 위한 포토닉스 기반 THz 대역 신호 송수신 기술	PC 2020	문상록	한국	2020.11.25.
17	테라헤르츠 신호 전송에서 광 링크 장애에 의한 IQ 변조 특성 변화	PC 2020	이원경	한국	2020.11.25.
18	포토닉스 기반 THz 전송링크를 이용한 무압축 4K UHD영상 전송 시험	CEIC 2020	김승환	한국	2020.12.04.
19	Experimental Demonstration of Service-Aware Scheduler for Disaggregated Data Centers	ICEIC 2021	윤지욱	한국	2021.02.03.
20	광네트워크에서의 고정밀 시간 동기 전달을 위한 비대칭 지연 보상 방법	JCCI 2021	고제수	한국	2021.04.30.
21	100 Gbps 실리콘 포토닉스 광송신기 구조 연구	COOC 2021	유상화	한국	2021.06.03.
22	실리콘 플랫폼에 집적된 이종 접합 III-V족 레이저 및 그래핀 포토디텍터	COOC 2021	박경철	한국	2021.06.04.
23	Performance Evaluation on Optically Disaggregated Memory Architecture	ICTC 2021	송종태	한국	2021.10.20.
24	프린지 전계 강화를 위한 광검출기 도핑 구조 설계	PC 2021	서동준	한국	2021.12.01.
25	실리콘 포토닉스 칩을 위한 하이브리드 레이저 테라스 설계	PC 2021	박혁	한국	2021.12.01.
26	고밀도 3D 집적 패키지 광모듈을 위한 인터포져 비아 연구	PC 2021	이정찬	한국	2021.12.02.
27	비선형 특성을 보상하기 위한 전치코더 등화기	PC 2021	이승우	한국	2021.12.02.
28	광 스위치 기반 데이터센터 네트워킹 기술 동향	주간기술동향	윤지욱	한국	2021.06.09.
29	Applications of Photonics Technology for Wireless Communication Systems	ISAP 2020	조승현	일본	2021.01.20.
30	Experimental demonstrations of THz communications based on photonics for future 6G indoor network	URSI-GAAS 2021	조승현	이탈리아	2021.08.30.
31	직접 변조 레이저 다이오드를 사용한 sub-THz 대역 무선 전송 시스템에서 무압축 4K 영상 전송	PC 2021	김언상	한국	2021.12.03.
32	실리콘 포토닉스 집적회로를 이용한 코히어런트 테라헤르츠 무선 전송 실험	PC 2021	이원경	한국	2021.12.03.
33	테라헤르츠 주파수 밴드를 사용하는 6G 무선 액세스 네트워크를 위한 Photonic-wireless network 시연	PC 2021	성민규	한국	2021.12.03
34	차세대 통신망을 위한 sub-THz 인도어 네트워크	PC 2021	문상록	한국	2021.12.03
35	275 GHz 대역 Incoherent Detection 광링크의 송신용 증폭기 패키징 연구	CEIC2021	김수연	한국	2021.12.03.
36	테라 헤르츠 주파수대역에서 동작 가능한 Radial Probe 트랜지션 칩 설계	CEIC2021	김승환	한국	2021.12.03.

37	광집적화 기술 한계 극복: 실리콘 포토닉스 기반 광트랜시버 기술 동향	전자통신동향분석	이정찬	한국	2022.06.02.
38	고밀도 광학엔진 구현에 대한 연구	한국광학회 2022 동계학술발표회	이정찬	한국	2022.02.18.
39	메모리 중심 컴퓨팅 시스템을 위한 자원 관리 기능 설계 및 검증	COOC2022	한경은	한국	2022.05.25.
40	100 Gbps 실리콘 포토닉스 광송신 기술	COOC2022	유상화	한국	2022.05.25.
41	광스위치 기반 메모리 중심 컴퓨팅 시스템 구현 및 검증	COOC2022	윤지욱	한국	2022.05.25.
42	처리장치와 메모리의 광네트워크 직접 연결 기술	COOC2022	김대업	한국	2022.05.25.
43	테라헤르츠 무선 전송을 위한 실리콘 포토닉스 기반 IQ 변조기 및 신호 처리 기술 연구	COOC2022	이원경	한국	2022.05.25.
44	광집적화 기술 한계 극복: 실리콘 포토닉스 기반 광트랜시버 기술 동향	전자통신동향분석	이정찬	한국	2022.06.02.
45	Chip-On-Board Implementation of 106Gb/s PAM4 Silicon Photonics Transmit - Receive and its Real-Time Operation	OPC 2022	이정찬	한국	2022.07.04.
46	Experimental Demonstration of an Optically Connected CPU-Memory System with Service-Aware Scheduler	ICTC 2022	윤지욱	한국	2022.10.20.
47	FDM 신호 전송을 위한 광기반 sub-THz 무선 전송 시스템의 실험적 검증	COOC 2022	김언상	한국	2022.05.25.
48	THz 밴드6G 모바일 네트워크를 위한 RoF 기반 Fiber-Wireless 시스템	COOC 2022	성민규	한국	2022.05.25.
49	테라헤르츠 무선 전송을 위한 실리콘 포토닉스 기반 IQ 변조기 및 신호 처리 기술 연구	COOC 2022	이원경	한국	2022.05.25.
50	테라헤르츠 대역을 사용하는 6G 무선 엑세스 네트워크망 지원을 위한 광무선 네트워크	CLEO-PR 2022	성민규	일본	2022.08.01.
51	실시간 초고화질 비디오 스트리밍 서비스를 위한 비용 효율적인 직접 변조 레이저 기반 THz 무선 전송 시연	CLEO-PR 2022	김언상	일본	2022.08.01.
52	포토닉스 기술을 활용한 테라헤르츠 멀티 밴드 무선 신호 동시 전송 연구	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	김언상	한국	2022.08.18.
53	테라 헤르츠 주파수 대역에서 동작하는 Radial Probe 트랜지션 칩 설계 시 Backside via 배치에 따른 성능변화	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	김승환	한국	2022.08.18.
54	Sub-THz 대역 증폭기와 가변구조형 반사체를 이용한 THz 실내 망에서의 NLOS 링크 개념 시연	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	문상록	한국	2022.08.18
55	테라헤르츠 밴드 6G 이동통신서비스를 위한 Radio-over-Fiber 기반 Fiber-Wireless 시스템	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	성민규	한국	2022.08.18.
56	테라헤르츠 통신 및 센싱 통합 시스템을 위한 디지털 변조 특성 분석을 통한 비침습 포도당 검출	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	이원경	한국	2022.08.18
57	270 GHz 대역에서 동작하는 광대역 증폭기 모듈 개발	한국전자파학회 하계 종합 학술 대회, 2022	김수연	한국	2022.08.18.
58	THz-Band 6G 실내 네트워크를 위한 RoF 기반 광섬유 무선 시스템 설계	ECOC 2022	성민규	스위스	2022.09.20.
59	실내망을 위한 테라헤르츠 릴레이를 이용한 커버리지 확장 및 물리적 막힘 완화 시연	ECOC 2022	문상록	스위스	2022.09.21.

3. 특허

- **국내 등록 2건, 출원 63건 (2019~2022년), 등록 1건, 출원 24건 (2022년)**
- **해외 등록 4건, 출원 37건 (2019~2022년), 등록 4건, 출원 15건 (2022년)**

구분	출원/등록	번호	지식재산권 등 명칭	출원일/등록일	출원번호/등록번호
한국	등록	1	광모듈	2021.11.12.	2328066
		2	비균일 트래픽을 고려한 중앙집중형 스케줄링 장치 및 방법	2022.04.05.	2384685
	출원	1	타임슬롯 기반의 광전송 시스템 및 이의 파장 스위칭 방법	2019.02.20.	2019-0020150
		2	광송수신기	2019.07.04.	2019-0080620
		3	격자 커플러 기반 실리콘 포토닉스 칩 광커플링 장치	2019.11.13.	2019-0145114
		4	비균일트래픽을고려한중앙집중형스케줄링장치및 방법	2019.11.20.	2019-0149423
		5	광 네트워킹 방법 및 이를 수행하는 장치	2019.12.10.	2019-0163818
		6	무선 신호 송신 장치 및 무선 신호 수신 장치	2019.11.14.	2019-0145611
		7	보안 통신 방법 및 이를 수행하는 장치	2019.12.20.	2019-0172380
		8	양방향 광송수신 모듈	2020.03.19.	2020-0033848
		9	분리 메모리 디바이스 및 분리 메모리 디바이스의 동작 방법	2020.04.09.	2020-0044754
		10	광 회선을 통해 상호 연결된 컴퓨팅 자원 분할 협업 시스템, 자원 분할 협업 방법	2020.04.27.	2020-0050595
		11	광모듈	2020.06.02.	2020-0066373
		12	병렬처리 시스템에서의 메모리 액세스 제어 장치 및 메모리 액세스 제어 방법	2020.07.24.	2020-0092219
		13	고집적 광모듈 구조	2020.02.05.	2020-0013905
		14	실리콘 포토닉스 기반 광전집적회로 기술	2020.09.18.	2020-0120599
		15	웨이퍼레벨 테스트를 위한 모니터링 포트를 가지는 광집적회로	2020.10.19.	2020-0135180
		16	테라헤르츠 파 생성 방법 및 이를 수행하는 장치들	2020.02.28.	2020-0025453
		17	반송파 위상 예측 장치 및 방법	2020.02.28.	2020-0025454
		18	테라헤르츠 신호 송신 장치 및 이를 이용한 테라헤르츠 신호 송신 방법	2020.10.08.	2020-0130057
		19	PAM-4 광 신호 생성 방법 및 장치	2021.01.05.	2021-0000789
		20	광 스위칭 방법 및 장치	2021.01.19.	2021-0007363
		21	평판형 광 도파로 기반 광 트랜시버	2021.02.04.	2021-0016056
		22	분리된 데이터 센터 자원 관리 방법 및 장치	2021.02.19.	2021-0022578
		23	비선형 왜곡을 완화하기 위한 전치 코딩 방법	2021.03.17.	2021-0034676
		24	실리콘 포토닉스 기반 광검출기 구조	2021.03.24.	2021-0037772
		25	다채널 광송신 장치	2021.03.24.	2021-0037781
		26	실리콘 포토닉스 기반 광송신기	2021.03.24.	2021-0038009
		27	컴퓨팅 자원 분할 운용 방법 및 장치	2021.04.26.	2021-0053585
		28	광송신 장치 및 방법	2021.05.18.	2021-0064171
		29	광섬유 광결합기	2021.07.12.	2021-0091094
		30	광인터커넥션 모듈의 제작 방법 및 응용	2021.07.12.	2021-0091086
		31	실리콘 포토닉스 기반 광변조기	2021.08.25.	2021-0112543
		32	광 시분할 다중화 기반 광송신기	2021.09.27.	2021-0126955
		33	메모리 액세스 방법 및 이를 수행하는 서버	2021.11.09.	2021-0153138
		34	자원중심 네트워크의 메모리 주소 할당 방법 및 장치	2021.11.15.	2021-0156673
		35	사이클릭 슬립에 강인한 위상 오차 보상 방법 및 장치	2021.02.04.	2021-0016217
		36	직접 변조 레이저를 이용한 테라헤르츠 신호 생성 장치 및 방법	2021.03.17.	2021-0034668
		37	테라헤르츠 신호 전송 시스템 및 이를 이용한 테라헤르츠 신호 전송 방법	2021.03.17.	2021-0034636
		38	Kramers-Kronig 수신 기반 테라헤르츠 신호 수신 장치 및 이를 이용한 주파수 오프셋 보상 방법	2021.03.24.	2021-0037784
		39	다중 배열 회로를 포함하는 신호 결합 및 분배 네트워크 장치	2021.10.12.	2021-0135155
		40	우선순위 기반 메모리 분산 할당 기법	2022.01.10.	2022-0003391
		41	분할운용 컴퓨팅 시스템 및 방법	2022.01.17.	2022-0006805

		42	실리콘 포토닉스 칩의 광원 집적 구조	2022.01.17.	2022-0006623
		43	초박막 1D 격자 구조를 이용한 높은 Q-factor를 갖는 광 공진 구조 및 제작	2022.01.28.	2022-0012959
		44	광트랜시버	2022.02.11.	2022-0018212
		45	실리콘 광소자 패키지 및 이의 구현 방법	2022.03.03.	2022-0027238
		46	대역폭 제한 환경에서 등화기의 성능 최적화 방법	2022.03.28.	2022-0037818
		47	IQ 불균형 보상 방법 및 장치	2022.03.29.	2022-0038633
		48	2개 메탈층을 갖는 실리콘 포토닉스 기반 광변조 장치	2022.05.04.	2022-0055279
		49	광원의 파장 간격 유지 장치 및 방법	2022.02.18.	2022-0021713
		50	크래머스-크로닉 수신기 기반 테라헤르츠 전송 장치 및 방법	2022.03.03.	2022-0027240
		51	WDM 기반 테라헤르츠 신호 전송 시스템 및 이를 이용한 테라헤르츠 신호 전송 방법	2022.03.18.	2022-0035265
		52	도파관 모듈 및 도파관 모듈의 제작 방법	2022.03.22.	2022-0035260
		53	IQ 불균형 보상 방법 및 장치	2022.03.29.	2022-0038633
		54	삽입 손실과 반사 손실을 개선할 수 있는 도파관 모듈	2022.04.08.	2022-0044096
		55	생체 분자 검출 방법 및 상기 방법을 수행하는 컴퓨팅 장치 및 이를 위한 생체 분자 검출 시스템	2022.06.30.	2022-0080579
		56	광 네트워크 적용 가능한 유연 플릿을 사용하는 컴퓨트 익스프레스 링크 기능과 장치	출원중	
		57	광트랜시버 제어 흐름 및 성능 최적화 방법	출원중	
		58	메모리 분리 네트워크에서의 우선순위 기반 흐름 제어 기술	출원중	
		59	광 연결 기반 서버 기능 확장 방법 및 장치	출원중	
		60	광스위치 기반 메모리 자원 확장 방법	출원중	
		61	크레딧 관리기능의 네트워크 확장 방법 및 장치	출원중	
		62	메모리 분리 네트워크를 위한 자원 할당 방법 및 장치	출원중	
		63	하드웨어 복잡도를 개선한 신호처리 알고리즘	출원중	
미국	등록	1	비균일 트래픽을 위한 스케줄링 장치 및 방법	2022.07.12.	11388110
		2	격자 커플러 기반 실리콘 포토닉스 칩 광커플링 장치	2022.08.09.	11409047
		3	양방향 광송수신 모듈 구조	2022.08.09.	11411651
		4	Method of generating terahertz wave and apparatuses performing the same	2022.08.09.	11408822
	출원	1	비균일 트래픽을 위한 스케줄링 장치 및 방법	2020.05.27.	16/885008
		2	고집적 광모듈 구조	2020.06.03.	16/891259
		3	격자 커플러 기반 실리콘 포토닉스 칩 광커플링 장치	2020.11.10.	17/094465
		4	Optical-based terahertz wireless signal transmitter and wireless signal receiver	2020.11.13.	17/097212
		5	Method of generating terahertz wave and apparatuses performing the same	2020.12.22.	17/131063
		6	Secure communication method and device performing the same	2020.12.16.	17/123588
		7	양방향 광송수신 모듈 구조	2021.03.17.	17/204341
		8	광 회선을 통해 상호 연결된 컴퓨팅 자원 분할 협업 시스템, 자원 분할 협업 방법	2021.04.02.	17/221086
		9	분리된 메모리 접근을 위한 읽기/쓰기 기반 병렬처리 스케줄러	2021.06.09.	17/342816
		10	실리콘 포토닉스 기반 광송신기	2021.07.02.	17/377658
		11	실리콘 포토닉스 기반 광전집적회로 기술	2021.07.09.	17/371520
		12	평판형 광회로 도파로 회절 격자 기반 고밀도 양방향 광송수신 모듈	2021.10.21.	17/507741
		13	disaggregated 데이터 센터 자원 관리 기법 및 장치	2021.11.01.	17/515648
		14	4 레벨 광세기 변조에서의 내부-외부 아이 다이어그램 균형 최적화를 통한 성능 향상 방법	2021.11.01.	17/515871
		15	비선형 왜곡을 완화하기 위한 전치 코딩 방법	2021.11.04.	17/519445
		16	컴퓨팅 자원 분할 운용 방법 및 장치	2021.11.26.	17/535761

		17	실리콘 포토닉스 기반 광검출기 구조	2021.12.02.	17/540439
		18	광 시분할 다중화 기반 광송신기	2021.12.08.	17/545075
		19	실리콘 포토닉스 기반 광변조기 기술	2021.12.08.	17/545063
		20	Terahertz signal generation apparatus and terahertz signal generation method using the same	2021.10.07.	17/496684
		21	Method and apparatus for phase error compensation having tolerance to cyclic slip	2021.10.29.	17/514849
		22	Signal combining and distribution network apparatus including multi-array circuits	2021.12.10.	17/547843
		23	고집적 광인터커넥션 모듈 구조 및 응용	2022.01.14.	17/575981
		24	구부러진 PLC-광섬유 광결합기의 구조 및 응용	2022.01.28.	17/587194
		25	광스위치를 사용한 인터리브 방식의 광대역 메모리 액세스 기술	2022.07.06.	17/858187
		26	광트랜시버	2022.07.25.	17/872044
		27	분할운용 컴퓨팅 시스템 및 방법	2022.09.08.	17/940502
		28	초박막 1D 격자 구조를 이용한 높은 Q-factor를 갖는 광 공진 구조 및 제작	2022.08.18.	17/890332
		29	컴퓨팅 장치와 물리적으로 분리된 메모리 시스템에서의 메모리 주소 할당 방법 및 처리 장치	2022.09.26.	17/952537
		30	Apparatus and method of generating terahertz signal using directly-modulated laser	2022.03.15.	17/695346
		31	Apparatus and method of generating terahertz signal using directly-modulated laser	2022.03.15.	17/695346
		32	Kramers-Kronig reception-based THz signal reception apparatus and frequency offset compensation method using the same	2022.03.18.	17/698600
		33	실리콘 광소자 패키지 및 이의 구현 방법	출원중	
		34	광 연결 기반 서버 기능 확장 방법 및 장치	출원중	
		35	메모리 분리 네트워크에서의 우선순위 기반 흐름 제어 기술	출원중	
		36	광스위치 기반 메모리 자원 확장 방법 및 처리 장치	출원중	
		37	광 네트워크 적용 가능한 유연 플릿을 사용하는 컴퓨트 익스프레스 링크 기능과 장치	출원중	

3. 기술이전

- **3건 (2019~2022년), 2건 (2022년)**

번호	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (부가세 포함)
1	100Gb/s PAM-4 변조방식 송수신 기술	㈜레신저스	2021.12.13.	66백만원
2	100Gb/s PAM-4 변조방식 송수신 기술	㈜라이팩	2022.09.29.	79백만원
3	실리콘 기반 100Gbps 광트랜시버 칩온보드 기술	㈜오이솔루션	2022.10.21.	66백만원