

| 관리번호               |                  | 2026-반도체·디스플레이-<br>1-지정공모-27                                                                        |               | RFP<br>유형코드 | 목적·내용            | 성과물 특성                          | 지원유형          |
|--------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------------|---------------------------------|---------------|
|                    |                  |                                                                                                     |               |             | I                | 1                               | 2             |
|                    |                  |                                                                                                     |               |             | 국제협력             | 시작품·시제품<br>제작 및 검증<br>(TRL 5~6) | 컨소시엄형<br>연구개발 |
| 국가전략연구<br>기획평가전문분야 |                  | PM분야                                                                                                | 반도체·<br>디스플레이 | RB분야        | 디스플레이<br>프론트 플레인 | RB<br>세부분야                      |               |
| 사업명                |                  | 국제공동연구 신속지원사업                                                                                       |               |             |                  |                                 |               |
| RFP명               |                  | AI 데이터센터용 광 인터커넥트 구현을 위한 고밀도 병렬 광원 핵심기술 개발                                                          |               |             |                  |                                 |               |
|                    |                  | (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 5단계)                                                                         |               |             |                  |                                 |               |
| 지원<br>정보           | 지원기간             | 2026.12~2028.03(16개월)                                                                               |               | 정부지원금       | 737.5백만원         |                                 |               |
|                    | 주관기관유형           | ■ 제한없음 □ 대학/출연(연)/국공립연/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인                                             |               |             |                  |                                 |               |
|                    | 주관기관 외<br>필수참여기관 | □ 제한없음 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) ■ 외국법인                                                                 |               |             |                  |                                 |               |
| 키워드                | 한글               | 광 인터커넥트, 병렬형 초소형 광원, μOLED, μLED, 다채널 광통신                                                           |               |             |                  |                                 |               |
|                    | 영문               | Optical Interconnect, Parallel Micro-Light Source, μOLED, μLED, Multi-channel Optical Communication |               |             |                  |                                 |               |

| 1. 추진배경                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>○ 세부 추진배경</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생성형 AI·초거대 AI 모델의 대규모 병렬연산 확산으로 GPU-AI Accelerator 간 데이터 이동량이 폭발적으로 증가하며, 데이터센터 성능 병목이 연산소자 자체보다 GPU-GPU, CPU-GPU, chiplet-chiplet 간 데이터 이동 및 I/O 구조로 이동하고 있음.</li> <li>- 전기배선 기반 인터커넥트는 대역폭 증가에 따라 소비전력, 발열, 배선밀도, 신호손실, 전송거리 제약이 급격히 심화되어 근본적 한계에 봉착함. 이에 GPU-스위치-서버 간 연결을 광 기반으로 대체하는 CPO 및 Optical I/O가 차세대 AI 인프라의 핵심기술로 부상 중이며, 다수 채널을 동시 구동하는 병렬 광원은 기존 레이저 광송신기 대비 높은 집적도와 확장성을 제공해 그 핵심 구성요소로 주목받고 있음.</li> <li>- <math>\mu</math>LED는 초소형, 고속응답, CMOS 공정 호환성이 우수해 차세대 병렬 광원에 적합함. 국내 <math>\mu</math>LED 기술은 현재까지 디스플레이 응용을 중심으로 개발되어 통신용 고속 광원 기술은 소수 대학 연구실에서 연구가 시작되는 초기 단계인 반면, 미국 Palomino Labs·Avicena, 프랑스 Aledia 등 해외 선진기관은 통신용 <math>\mu</math>LED 시제품 및 제품화 기술을 선도하고 있어 국내와의 높은 기술격차가 존재함.</li> <li>- <math>\mu</math>OLED는 고가 III-V 에피웨이퍼 없이 유기 발광분자와 소자 적층구조 설계만으로 발광파장 및 응답속도 조절이 가능해 다파장·저전력 발광 플랫폼으로 발전 가능성이 크기 때문에 국내 OLED 산업기반을 광통신 분야로 확장하고 저비용 병렬 광원 기술주도권을 확보할 잠재력을 보유함. 특히 통신용 <math>\mu</math>OLED는 이러한 높은 잠재력에도 불구하고 국내외를 막론하고 관련 연구가 거의 이루어지지 않은 미개척 분야로, 고속 직접변조용 소재·소자 및 어레이 원천기술을 선제적으로 확보할 필요가 있음.</li> <li>- 단일 광원의 속도 향상만으로는 급증하는 데이터 이동수요 충족에 한계가 있어, 다수 광원의 고밀도 집적 및 채널별 독립구동을 통한 총 변조 용량 확대가 요구됨. 다만 집적도 증가에 따른 인접 픽셀</li> </ul> |  |

광학산, 기판 광전파, 전기적 간섭이 발생할 수 있어, 단일 소자의 고속·고효율 특성과 다채널 어레이 수준의 crosstalk 억제 및 전송밀도 확보를 병행 개발해야 함.

- AI 데이터센터의 반도체 칩·패키지·보드 간 근거리 데이터 전송에서는 채널당 최고 전송속도뿐 아니라 단위 면적당 전송용량, I/O 에너지 효율 및 고밀도 집적성이 중요하므로, 직접변조형 초소형 광원을 다채널로 공간 병렬화하여 낮은 채널당 전송속도를 높은 총 전송용량으로 확장하는 새로운 Optical I/O 기술의 개발이 필요함.
- 통신용  $\mu$ LED와  $\mu$ OLED 모두 국내 핵심기술과 연구경험 축적이 미흡한 반면 해외는 고속 소자설계, 미세공정, 발광평가, 광학구조 기술을 선도 중임. 검증된 해외 기술을 신속 도입 및 내재화해 시행착오를 줄이고 국내 반도체·디스플레이 제조역량과 결합함으로써, 제한된 기간 내 설계·제작 기반을 확보하고 후속 연구에서 독자기술로 발전시킬 토대를 마련함

## ○ 기획의 주안점

- 직접변조가 가능한  $\mu$ LED,  $\mu$ OLED 단일 광원을 함께 개발하고, 이를 다채널 고밀도 광원 어레이로 확장 가능한 핵심 소재 및 소자 기술 확보에 주안점을 둠
- 본 과제에서 개발하는  $\mu$ LED- $\mu$ OLED 병렬광원은 레이저 기반 광원 대비 채널당 저전력 구동이 가능한 것이 특징이며, 근거리 구간에 다수 채널을 병렬 집적함으로써 전체 시스템 전송용량을 확보하는 저전력 광원 아키텍처를 지향함
- 발광소자의 변조속도와 발광효율은 상충(trade-off) 관계에 있어, 단순히 속도 극대화만을 추구하기보다 목표 응용에 부합하는 최적 균형점을 도출하는 소자·구조 설계전략이 필요함. 특히 변조속도 한계 돌파를 위해서는 고속 발광이 가능한 소재 설계, 기생저항·기생용량을 최소화하는 칩·전극구조 설계, 그리고 초고속 전기-광학 응답을 정밀하게 규명하는 특성평가기술이 유기적으로 결합되어야 함.
- 무기  $\mu$ LED 기반 공간 병렬 광원과 차별화하여, OLED의 다색 발광소재, 미세패터닝, 단일기판 집적 장점을 활용한 다파장·공간 복합 병렬광원을 함께 구현함. 특히  $\mu$ OLED는 통신용 고속 발광소재 자체가 미개척 영역에 가까우므로, 짧은 여기상태 수명과 높은 방사재결합률을 구현할 수 있는 발광분자 원천기술을 보유한 해외 연구자와의 공동연구를 통해 소재 단계부터 변조속도 한계를 돌파하는 전략이 필요함.
- 16개월의 단기 과제 특성을 고려하여,  $\mu$ OLED의 파장 간격 및 carrier lifetime 등 원천 소재·소자 개발 결과에 따라 달성 수준이 결정되는 일부 지표는 정량적 고정목표로 제한하지 않고 연구자가 응용 목적에 맞게 자율 제시하도록 함.
- 해외가 선도 중인 통신용  $\mu$ LED의 소자설계·미세공정·발광평가·광학구조 기술과, 통신용  $\mu$ OLED의 고속 발광소재·소자구조·초고속 발광평가 원천기술을 신속 도입 및 내재화함. 발광소재 개발, 소자/어레이 제작, 초고속 발광특성 분석, 광학구조 설계로 국내외 기관 간 역할을 명확히 부여하여  
① 첨단 분석장비·공정설비 공동 활용 ② 인적 교류 ③ 최신 연구 트렌드 실시간 반영이 이루어지는 실질적 공동연구를 수행함.

## 2. 과제목표

- **최종 목표** : 저전력 직접 변조가 가능한  $\mu$ LED 및  $\mu$ OLED 단일 광원 소자기술을 함께 확보하고, 다채널 고밀도 어레이로 확장하여 AI 데이터센터 반도체 칩 간 근거리 병렬 데이터 전송에 적용 가능한 병렬광원 핵심 원천기술 확보

## ○ 세부 목표

- 3dB 변조대역폭 기반의 고속 응답 특성을 갖는  $\mu$ LED 및  $\mu$ OLED 단일 소자 설계 및 구현. 속도와 발광효율 간 상충관계(trade-off)를 고려한 소자 구조 최적화

- 레이저 기반 광원 대비 채널당 저전력 구동이 가능한 소자 구조 및 구동방식 설계. 발광 응답속도와 전력효율의 균형점을 고려한 저전력·고속 소자 설계기술 확보
- $\mu$ OLED의 발광층 및 소자 적층구조 설계를 통한 다파장 동시 발광 구현 기술 확보 (단일기판 내 복수 파장 소자의 공정 집적기술 포함)
- 광추출 구조 설계를 통한 발광 방사 지향성 제어 기술 확보 (광결합효율 향상을 위한 저발산·고직진성 광학설계 및 총 광출력 확보)
- 어레이 집적 시 채널 간 피치(pitch) 최소화를 위한 소자 배치·구조 설계 및 인접 채널 광학산·전기적 간섭(crosstalk) 저감 설계기술 확보
- 데이터 센터 실사용 열환경을 고려한 고온 조건에서의 발광 출력·특성 유지 기술 확보
- 단일소자 특성을 유지한 채 32채널급 고밀도 어레이로 확장하고, 채널별 독립 구동이 가능한 어레이 아키텍처 구현
- 다채널 광원 어레이의 채널별 변조성능을 기반으로 단위 면적당 전송밀도를 확장하고, 채널/어레이 단위의 구동에너지와 연계하여 근거리 병렬 Optical I/O의 에너지 효율 향상 가능성을 검증

### 3. 연구개발내용 및 성과지표

#### ○ 연구개발내용

- 국내기관 주관 하에  $\mu$ LED와  $\mu$ OLED 병렬광원 소자 및 어레이 개발을 수행함.  $\mu$ OLED용 유기발광소재의 분자 설계·합성 및 발광 물성평가는 해당 분야 원천기술을 보유한 해외 선도 연구기관과의 국제공동연구를 필수로 수행하며, 그 외 소자·어레이·광학설계 및 성능검증은 연구내용과 수행역량에 따라 국내기관 단독 또는 국제공동연구로 수행 가능함.

#### 연구개발내용

##### ○ $\mu$ LED 단일광원 및 어레이 개발

- 450nm대 파장 기반  $\mu$ LED 단일소자 설계 및 제작: 3dB 변조대역폭 확보를 위한 소자구조(양자우물, 크기, 전극구조) 최적화
- 속도-효율 trade-off를 고려한 저전력 구동 특성 확보: 채널당 구동에너지(pJ/bit) 저감을 위한 소자 설계
- 파장 다중화 한계를 고려하여, 450nm대 단일 파장 기반의 공간 병렬 (32채널) 확장
- 고온조건에서의 광출력 유지 특성 확보를 위한 소자 방열·구조 설계

##### ○ $\mu$ OLED 단일광원 및 다파장 어레이 개발

- (국제공동연구 필수) 빠른 발광 응답특성(짧은 exciton decay)과 다파장 구현이 가능한 유기발광분자의 설계·합성 및 발광 물성평가(PLQY, 발광수명 등)를 해외 선도 연구기관과 공동 수행
- 해외기관이 제공한 발광재료를 활용한  $\mu$ OLED 소자화 및 단일 기판 내 3개 이상 발광파장의 집적 및 독립 구동이 가능한  $\mu$ OLED 소자·어레이 구조 개발(수직 적층, 수평 집적 등 구현방식 자율 제시)
- 파장 다중화 한계 극복을 위한 3개 이상의 발광파장 다중화와 소자 면적·구동조건에 따른 변조 대역폭 한계 규명 및 개선
- 고온 (70°C) 조건에서의 발광 출력 유지율 및 열화 특성평가, 열안정성 소재 설명 및 방열구조 설계

##### ○ 광학설계 및 채널 간 간섭 저감

- 방사 지향성을 고려한 광추출 구조 설계: 총 광출력 확보 및 저발산·고직진성 광학계 구현
- 광 인터컨넥트 구현에 최적화된 채널 간 피치(pitch) 구현, 고밀도 소자 배치 및 crosstalk 저감 구조 설계

## 연구개발내용

### ○ 고밀도 어레이 집적 및 검증

- 단일소자 특성(대역폭·출력·고온안정성)을 유지한 어레이 확장 및 채널별 독립구동 아키텍처 구현
- 채널당 구동에너지의 단일소자 및 다채널 어레이 단위로 평가하고, 데이터센터 열환경(~70°C)에서의 출력·대역폭 유지특성을 검증하여, AI 데이터센터 칩 간 병렬 전송 적용 가능성 확인
- 실제 데이터 패턴을 이용한 광전송을 수행하고, 채널당 데이터 전송속도, 비트오류율(BER) 및 총 전송용량(aggregate bandwidth)을 평가하여 고밀도 병렬 광원의 전송성능을 검증
- 광출력·변조대역폭·구동에너지 간 trade-off 분석을 통한 최소 에너지 동작조건 도출

### ○ 국제공동연구 네트워크 구축

- $\mu$ OLED 발광소재의 분자 설계·합성·물성평가는 해당 분야 원천기술을 보유한 해외 선도 연구기관과의 국제공동연구를 필수로 수행하고, 국내기관과 해외기관 간 소재·소자 데이터의 상호 피드백 체계를 구축
- 국내외 연구자·학생의 상호 파견 및 공동연구 수행, 정기 공동세미나·워크숍 개최 등을 통해 지속 가능한 국제공동연구 네트워크 구축

### ○ 성과지표

| 항목 |                                             | μLED  | μOLED | 성과수준                                    | 비고                                                                                                                                                                                |
|----|---------------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                             |       |       | 세계 최고수준<br>(μLED)                       |                                                                                                                                                                                   |
| 필수 | 채널 수 (개)                                    | ≥ 32  | ≥ 32  | 304<br>((美)Avicena)                     | 각 성과지표에 대해 공인된 표준 또는 기존 측정방법이 존재하는 경우에는 해당 방법의 적용을 우선하며, 신규 측정 항목에 대해서는 제안자가 측정원리, 측정절차 및 조건 등을 자율적으로 제안할 수 있음.<br>이 경우 제안된 측정 방법의 타당성, 반복성, 재현성, 측정불확도 및 기존 방법과의 상관성 등을 검증하여야 함. |
|    | 전송 속도<br>(GHz, -3dB 전기-광학 변조대역폭)            | > 1   | > 0.2 | > 2GHz<br>((美)Avicena)                  |                                                                                                                                                                                   |
|    | 송신부 구동 에너지<br>(pJ/bit)                      | ≤ 1   | ≤ 20  | 200fJ/bit<br>((美)Avicena)               |                                                                                                                                                                                   |
|    | 발광 파장 수<br>(EL Peak wavelength, 파장대역은 자율제시) | ≥ 1   | ≥ 3   | 450nm±5nm<br>((美)Avicena, Palomino Lab) |                                                                                                                                                                                   |
|    | 방사 지향성<br>(%, NA 0.3 이내 광출력 비율)             | ≥ 20  | ≥ 20  | -                                       |                                                                                                                                                                                   |
|    | 채널간 광학적 crosstalk (dB)                      | < -15 | < -12 | -                                       |                                                                                                                                                                                   |
| 자율 | 고온 동작 특성                                    | 자율제시  |       |                                         |                                                                                                                                                                                   |
|    | 채널간 Pitch (um)                              | 자율제시  |       |                                         |                                                                                                                                                                                   |
|    | JCR 상위 10% 이내, 기여율 50% 이상 SCI(E) 논문 게재 수    | 자율제시  |       |                                         |                                                                                                                                                                                   |
|    | 국내·외 특허(출원/등록)                              | 자율제시  |       |                                         |                                                                                                                                                                                   |

※ 광원의 광 인터커넥트 시스템 적용 시 성능 평가를 위한 방법은 자율 제시

※ 세계 최고수준 대비 국내 통신용  $\mu$ LED의 높은 기술격차와 16개월의 제한된 연구기간을 고려하여,

단기간 내 핵심기술의 실질적 확보 및 후속 고도화가 가능한 도전적이면서도 달성 가능한 수준으로 정량목표를 설정함.

※  $\mu$ OLED의 경우 통신용 다파장 병렬광원에 대한 직접적인 세계최고 비교사례가 제한적임.

※ 상기 제시된 정량목표 외의 기타 성능지표(예: 고온 동작 특성 > 출력유지율 70% @70°C, 채널 간 pitch < 50um 등)는 세부 연구내용 및 목표 응용을 고려하여 연구자가 자율적으로 제시 가능함.

※ 최종평가시 핵심 연구성과를 시연·검증할 수 있는 시작품 제출(예: 다채널  $\mu$ LED/ $\mu$ OLED 광원 어레이)

#### 4. 특기사항

|            |                |                                                                                                                                         |                                                                                      |                                       |
|------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 기본<br>특성분류 | 주요 항목별<br>해당여부 | 국가전략기술                                                                                                                                  | <input checked="" type="checkbox"/> Y (반도체·디스플레이 /차세대 OLED)                          | <input type="checkbox"/> N            |
|            |                | 혁신도전형 R&D                                                                                                                               | <input type="checkbox"/> Y                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            |                | 특허로 R&D(舊 IP-R&D)                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> Y                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            |                | 경쟁형 R&D                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> Y                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            |                | 보안/민감과제                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> Y( <input type="checkbox"/> 보안 <input type="checkbox"/> 민감) | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            |                | 기술료 징수                                                                                                                                  | <input checked="" type="checkbox"/> Y                                                | <input type="checkbox"/> N            |
|            |                | 3책5공 적용                                                                                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> Y                                                | <input type="checkbox"/> N            |
|            |                | 국제공동연구 의무                                                                                                                               | <input checked="" type="checkbox"/> Y                                                | <input type="checkbox"/> N            |
|            |                | 지자체 예산매칭 의무                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Y                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            |                | DMP 수립·이행 의무                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Y                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> N |
|            | ESG            | <input type="checkbox"/> E(환경) <input type="checkbox"/> S(사회) <input type="checkbox"/> G(지배구조) <input checked="" type="checkbox"/> 해당없음 |                                                                                      |                                       |

○ 일본 연구기관과의 국제공동연구 수행 필수

- 고속·저전력  $\mu$ OLED 광원 소자 구현을 위해 3세대 TADF 및 유기광원 관련 핵심 원천기술 확보 필요

- 핵심 원천기술 및 특허를 보유한 국가인 일본 연구기관과의 국제공동연구 수행 필수

○ 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 성능목표 수치 및 항목 구체적 검증방안\* 제시 필수(최종 평가시 제출)

\* 1) (제품 등 평가대상이 정해진 표준이나 기술규정이 있는 경우) 인증기관에서 발행한 인증서 확보

2) (제품 등 평가대상이 정해진 표준이나 기술규정이 없는 경우) 참여기관을 제외한 평가기관(시험, 검사, 교정 등)에서 발행한 공인시험성적서(또는 상응하는 문서) 확보

3) (위 1, 2가 불가능하여 자체평가서 제출을 제안할 경우) 구체적인 자체평가 실시 사유, 자체평가 항목/목표수치, 시험방법 등을 연구개발계획서에 제시하고, 자체평가 진행 시 위 1, 2의 인증기관 또는 평가기관 소속 외부인원 입회 및 확인서 확보 필수

○ 연구성과 실용화 실적 IRIS 입력 필수

- 연구성과의 활용·실용화 실적(기술이전, 사업화 등)을 IRIS(범부처통합연구지원시스템)에 등록 및 관리

#### 5. 연구개발기간 및 연구개발비

○ 연구개발기간 : '26.12.~'28.03.(총 16개월\_1년차)

○ 연구개발비 : 총 737.5백만원

○ 선정 과제 수 : 1개 연구개발과제