

미래기술육성센터 25년 하반기 테마별 과제 제안 요청서(RFP)

1. 반도체 AI
2. 차세대 반도체 소자
3. 반도체 공정 기술
4. 반도체 패키지
5. 차세대 반도체/컴퓨팅 아키텍처
6. 차세대 디스플레이
7. 차세대 통신
8. Advanced AI
9. 차세대 배터리
10. 미래 에너지/환경 솔루션
11. 차세대 로봇
12. 디지털 헬스
13. 차세대 유전자 치료제
14. 차세대 단백질 치료제
15. 바이오 공정 기술
16. 차세대 정밀 의료 진단 및 바이오 융합 기술
17. 포스트휴먼 시대의 융복합 솔루션

1. 반도체 AI

1) 반도체 미세화에 따른 원자 수준 Simulation 고도화

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 반도체 미세화에 따른 대규모 원자 수준 Simulation 필요성이 증가하고 있고 이를 통해 다양한 반도체 소재에 대한 기계적·열역학적·전기적 물성 및 반응 해석에 활용 - 새로운 원자 수준 Simulation 으 차세대 반도체 실제 공정 및 구조를 반영할 수 있는 소재 발굴에 활용
세부사례	<p>① 대규모 병렬화 및 Simulation 고속화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원자 수준 Molecular Dynamics 시뮬레이션으로 Full Device 및 실제 공정 묘사가 가능한 방법론 가속화 및 다양한 Rare-event Sampling / Accelerated Dynamics 의 접목 - 신규 아키텍처(GPU/CPU hybrid 등)에 최적화된 병렬 분산 계산 알고리즘 개발 및 Accelerated Dynamics/Rare Event Sampling 등의 가속화 알고리즘 접목을 통한 기존 MD 시뮬레이션의 한계 극복 <p>② 다양한 소재間 상호 작용에 관한 방법론</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 공정(ALD, CVD, PVD 등)과 소재의 거동을 표현할 수 있는 모델 Coverage 확장 (산화물/질화물 등의 전통적인 반도체 소재 外 금속, 합금 재료 등의 물성 해석에 필요한 상호 작용) - AI 등의 다양한 접근방법을 활용한 신규 물질 상호 작용에 대한 신속한 확장 방법론 개발

③ AI 기반 Meshless 3D Simulation

- Mesh 기반으로 수행되는 다양한 물리 Simulation의 TAT-Coverage-정합성 Tradeoff 를 AI 로 극복
- 정형/비정형 Mesh 의 Graph Network 변환 및 Simulation 상황에 따라 적응적으로 Network 의 Resolution 조절하는 알고리즘 필요

④ AI 기반 물리 방정식 고속 Solver

- Simulator 내부의 물리 방정식 (PDE: Partial Differential Equation)의 해를 수치해석기법이 아닌 미분 가능한 Deep Learning(DL) 을 사용하여 직접 구하는 방법 제시

2) SW 무결성 검증 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 검증 TAT 혁신과 완성도 확보 방법론이 필요 - SW Component 를 부품으로 관리하고, 단위 부품의 검증을 진행한 뒤, 부품의 조합을 통해 빠른 제품 개발이 가능한 체계를 위해, 기술과 방법론이 필요 - Flash Solution 등의 Embedded Software 설계/검증 분야
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Software Product Line 을 위한 Software Engineering <ul style="list-style-type: none"> - 부품 검증 방법, 부품 간 호환성 검증, Side-Effect 검증, 부품 조합 방법, 이슈 검출 방법 - 부품의 과거 검증/불량 이력을 효과적으로 저장하고 재사용할 수 있는 방법 ② 제품 수준에서 효율적인 검증을 위한 Regression Test 방법론 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변경 요소 식별, 검증 자동화, 테스트 Scheduling 기법 ③ Software 검증 수준을 측정 방법론 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Embedded Software 의 Code Coverage 를 코드 수정없이 측정할 수 있는 방법론 ④ ML 기반 최단 시간내 검증 수준을 높이는 테스트 방법론 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Clustering, Deduplication 등의 기술을 통해 중복된 Test Case 를 찾고 최적화 하는 기술 - Test Case Auto Labeling 기술 ⑤ Embedded Software 향 Fuzzing 기반 테스트 방법론 개발

3) AI/ML-based design 최적화

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Design 별 PPA 최적화 recipe 생성 - Design PPA 조기 예측 모델 생성
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① AI/ML을 위한 Design representation 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Design을 vector로 표현할 수 있는 방법 개발 - Design PPA를 좌우할 주요 특성들로 표현 ② Design representation과 PPA recipe 최적화 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 사업부내 data를 활용하여 training하고 모델 개발 - 선단 공정은 transfer learning으로 모델 update ③ 과제별, design별 PPA 최적화 recipe 조기 확보 <ul style="list-style-type: none"> - Design-customize된 recipe 개발에 더 많은 시간 확보 ④ Design PPA 조기 예측 통해 TAT-감소 <ul style="list-style-type: none"> - 더 잠재력 있는 시도에 더 많은 시간 쓸 수 있음

4) ML 및 AI 를 활용한 Simulation Platform (V-NAND 향 회로)

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 설계 난이도 증가에 따른 TAT 혁신 및 완성도 확보 필요 - Machine Learning 과 Artificial Intelligence 를 이용한 반도체 회로 설계 및 최적화 - VNAND 가 고층화 되면서, WL Loading 을 구동하기 위한 Pump 회로의 전력 소모와 면적이 커지고 있음 - 이를 극복하기 위한 최고 효율의 VNAND 향 최적 고전압 생성 Pump 회로
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Analog Layout 자동화 <ul style="list-style-type: none"> - 모든 동작 조건에서 Mismatch 를 최소화할 배치 최적화 알고리즘 - Clock Power 및 Decoupling Cap 배치, Clock Driver 배치, Clock Routing Pitch 연결 ② DRAM Core IP(BLSA/SWD) Library 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Area 최적화를 위한 단위 IP 구성 방법 및 구성별 Place & Route 방법을 찾고 Library 화 하여 PPA(Power, Performance & Area) 최적화 설계를 위한 Template 개발 ③ Analog Input/ Output 회로 설계 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - Memory Tx/Rx I/O Path 의 성능을 결정하는 Analog 회로 (CML Divider, Phase Splitter, Sense Amp 등) 설계에 있어 사양에 맞는 구조 결정, 소자 Sizing(PPA)에 AI/ML 기반의 진보된 방법론을 적용하여 최적 I/O 성능 구현

④ 차세대 VNAND 향 초고효율 Pump

- 외부 전압 2.5V 로부터 30V, 12V, 4V 등의 다양한 고전압 생성 Pump 회로에 대해 이론적 한계에 근접하거나 이를 뛰어넘은 초고효율의 Pump 회로 설계기법

⑤ 초저전력 Pump

- 최소한의 Power 를 소모하며 미래 VNAND 의 High Cap. Loading 을 구동
- 초고효율 Pump 혹은 저전력 Pump 회로 설계

⑥ 최소 면적의 Pump

- 고효율, 저전력을 달성하면서 회로 면적을 최소화할 수 있는 미래 VNAND 향 Pump 회로 설계

⑦ 상기의 ④, ⑤, ⑥을 모두 만족하면서 차세대 초고층 VNAND 구동에 최적화된 고전압 Pump 회로 설계

⑧ 반도체 성능 최적화를 위한 SW 기술

- AI·자율주행·XR 용 고성능/저전력 SW/Tool 등

5) AI 기반의 검증 자동화

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - SoC의 규모 및 function의 복잡도는 갈수록 증가하고 있으며 이에 따른 simulation 시간 증가 및 검증에 필요한 시나리오 개수도 증가 하는 추세 - 하지만 SoC 설계 검증에 주어지는 시간은 동일/감소하여, 이를 극복하기 위한 새로운 검증 방법론이 절실 - AP/Automotive/wearable 등의 SoC 설계 검증 분야
세부사례	<ol style="list-style-type: none"> ① ML(Machine Learning) 기반의 검증 디버깅 자동화 <ul style="list-style-type: none"> - Debug Assistant: ML 기반으로 검증자에게 Debug Point 를 가이드하는 역할을 수행하는 기술 - Debug History Finder: 이전 Debug History 를 학습하여, 현재 발생한 버그와 관련된 이력을 검증자에게 제공하여 불필요한 디버깅을 줄여주는 기술 ② ML 기반의 검증 수행 자동화 <ul style="list-style-type: none"> - 변경점을 분석하여 자동으로 관련 Regression 우선 수행 - ML 기반 Simulation 수행 시간을 예측하여 Regression 시 수행 종료 조건 생성 및 검증자가 불필요하게 기다리는 시간 단축 ③ ML 기반 Coverage Closure <ul style="list-style-type: none"> - Scenario 에 대한 Clustering 와 ML 을 통한 시나리오 수 최소화. 최소 시나리오 수행으로 Coverage 목표 달성에 대한 TAT 단축 목표. Bug 조기 발견 등으로 설계 검증 TAT 단축 ④ 위의 ML 기반 방법론들을 지원하는 통합 AI 검증 System

6) 반도체 소재 성능 예측 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 반도체 CVD / ALD 공정에 사용되는 유기 금속화합물들은 공정 조건의 고도화로 상황에 따라 특정 물성이 요구되고 있음. 이에 따라 소재 개발 가속화를 위해서는 요구되는 물성을 Simulation 으로 사전에 예측하는 기술이 중요함
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① AI 기반 유기 금속 화합물의 반응성 <ul style="list-style-type: none"> - 신규 멀티덴테이트 리간드와 중심 금속의 반응시 착체 형성 메커니즘/착체 구조/안정성 예측 - 합성된 소재의 열안정성 예측 ② ML 기반 유기 금속 화합물의 증기압 예측 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 유기 금속 화합물의 점도 예측 기술 - 유기 금속 화합물의 증기압 예측 기술 ③ CVD / ALD 공정시 표면 반응성 예측 Mechanism 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 증착공정에서 유기 금속 화합물의 표면 반응성 및 박막 형성 메커니즘 규명 - 기판, 공정 온도, 공정 압력, (+ 촉매 조건)에서의 Surface Diffusion / Layer 증착두께 Kinetics 예측 기술 ④ ML 기반 유기 금속 화합물의 Reorganization Energy 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 유기 금속 화합물의 바닥/들뜬 상태 구조 차이에 의한 변화 에너지 예측 기술 - 유기 금속 화합물의 Electron Transfer 에 의한 구조 차이에 의한 변화 에너지 예측 기술

- | | |
|--|--|
| | <p>⑤ ALD/Cleaning/CMP 공정의 유기 Inhibitor 작동 원리 규명</p> <ul style="list-style-type: none">- ALD/Cleaning/CMP 공정에서 사용되는 유기 Inhibitor 의 표면 분포 구조 및 Inhibition 원리 규명 <p>⑥ Wet Etching 공정에서 유기 화합물의 표면 반응성 및 반응 메커니즘 규명</p> <ul style="list-style-type: none">- Wet Etching 공정에서 금속 화합물의 표면 반응성 및 식각 메커니즘 규명 |
|--|--|

7) 반도체 제조/개발을 위한 Foundation AI Model

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - DS 반도체 제조 및 R&D 업무의 생산성 및 품질 혁신 목표 - 반도체 공정/지식 데이터의 통합 AI 학습 및 반도체 전문가 Copilot 제공 - Fab In 부터 Fab Out 까지 Orchestration 및 Autonomous Fab 적용
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 반도체 지식을 학습하는 Large Language Model 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 반도체 Text 를 학습하고 질문에 대해 전문가 수준으로 신뢰성 높은 답변 ② Text뿐만 아니라 Image, Chart, Graph, Table, 문서를 학습하는 Multimodal Foundation Model 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 반도체 업무과정에서 축적되고 생성되는 다양한 종류의 데이터를 학습하고 전문가 수준으로 답변 (Copilot) ③ 전문가가 별도의 학습 데이터 생성 없이 데이터를 스스로 학습 하는 기술 개발 (Self-supervised Learning) <ul style="list-style-type: none"> - Instruction Data 없이 PPT, Word, PDF 에 있는 지식을 추출하여 스스로 학습하고 이를 활용해 답변 ④ 정보를 바탕으로 스스로 판단하고 계획하고 실행하는 Agent 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Sub-task 단위의 요청을 수행하여 Insight 와 Suggestion 을 제공 받는 Copilot 수준을 넘어 Task 에 대한 Role 과 Objective 를 설정해주면 AI 가 Planning 부터 Execution 까지 Autonomous 하게 수행

⑤ 적은 비용을 요구하는 새로운 모델 아키텍처 또는 학습/인퍼런스 알고리즘

- 모듈화 아키텍처(MoE 등)

- Transformer 를 대체하는 새로운 모델 아키텍처 (State-space Model 등)

8) AI 기반 신소재 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 연구원의 직관과 시뮬레이션, 핸즈온 실험 기반의 기존 소재 개발 방법론과 다른, 데이터, AI, 로봇 기술을 활용하여 신소재를 탐색하고 최적화를 가속하는 새로운 연구 방법론 발전 중. - 이를 활용하여 그 동안 개발이 용이하지 않았던 새로운 기능성 소재의 혁신을 모색할 수 있을 것으로 기대. 예) 고유전율 소재, 차세대 반도체, 초전도체 등
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① AI 를 활용한 구조 및 특성 예측 기반 신소재 설계 <ul style="list-style-type: none"> - AI 를 통한 물성 예측 정밀도 향상 - AI 를 활용한 소재의 열화 특성, 내구성 등을 예측하여 소재 수명 연장 전략 수립 - AI 예측 결과의 원인/인과관계 분석을 통한 물성 발현 매커니즘 규명 - 역설계 기반 신소재 설계 (inverse design) <ul style="list-style-type: none"> · 실험 및 데이터를 체계적으로 축적하여 데이터 기반의 소재 설계 · 실험 데이터가 부족한 경우 데이터를 보완하는 기술 · 계산 목표 물성 기반 최적의 조성 및 구조 도출 ② 신소재 구현 가속화 <ul style="list-style-type: none"> - 자동화를 통한 실험 정밀도/신뢰도 향상

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - 최적의 합성 경로 탐색을 통한 실험 효율화 - 생성형 AI, 로봇 기술, 데이터 기법 활용 신소재 합성 가속화 <p>③ 신소재 사업 적용</p> <ul style="list-style-type: none"> - Self driving lab 등을 통한 소재 공정 최적화

2. 차세대 반도체 소자

1) 차세대 로직 소자, 비휘발성 메모리 및 포토닉스 소자

구분	주요 내용
활용분야	- Logic 및 Memory
세부사례	<p>① Scaling Down 의 한계 극복을 위한 신규 소자</p> <ul style="list-style-type: none"> - High Thermal Stability 가능한 산화물 반도체 채널 소자 - DRAM 미세화 한계 극복 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 3D Cell 적층 구조 · Beyond Zr, Hf oxide high k 물질 · 저온에서 이동도가 높은 채널 新소재 사용 - Beyond Moore's Law 를 위한 非실리콘 소재 사용 <ul style="list-style-type: none"> · CNT, 2D 채널, III-V, SiGe 등 - 저저항 신규 배선 소재 사용 <ul style="list-style-type: none"> · Topological semi-metal 등 - 다기능 신규 저유전체 적용 소자 <ul style="list-style-type: none"> · 非실리콘 계열의 신규 저유전체 기술 <p>② Emerging Nonvolatile Memory</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vertical memory 개발을 위한 Selector Only Memory <ul style="list-style-type: none"> · Vertical SOM 소자 TCAD 모델링 · Atomic Layer Deposition(ALD)向 신물질 및 Stack, 공정/Precursor · 칼코게나이드 기반 Self-selecting Memory

- High Endurance 를 갖는 FeFET
- 저전력 고속 동작 특성을 가지는 MRAM
- ③ 실리콘 포토닉스 소자
 - 디바이스/Chip 간 차세대 광통신 기술 구현
 - 다파장 고효율 광원 구현 및 집적 기술 개발
 - 초고속 광연결 아키텍처 및 구동 IC 개발
 - 고효율 고집적 스위칭 소자 개발
 - Reconfigurable Photonic Integrated Circuit(PIC) 기술 개발
- ④ 유기 광 Modulator 소재 및 소자
 - 차세대 초고속 광 Modulator 향 소재 및 소자 기술
 - 소재 혁신 통한 광통신의 Lane Speed 한계 극복
 - 광통신의 초고속, 저전력, 극소형 대응 유기 소재

2) 차세대 DRAM 소자

구분	주요 내용
활용분야	- 1T1C 기반 DRAM Cell 을 대체할 수 있는 신규 High Speed 메모리 소자
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 산화물반도체 등 Deposition 가능 채널 기반 1T1C 소자 ② Si/Poly-Si/신물질 채널 기반 3D 적층형 DRAM 소자 ③ Ferroelectric Cap 기반 1T1F 또는 1TnF 3D 적층형 소자 ④ Capless DRAM기반 적층형 소자 및 Integration scheme ⑤ 2TOC DRAM 기반 적층형 소자 및 Integration scheme ⑥ Bonding 기술 기반 DRAM 소자 및 Integration Scheme ⑦ 물질 개발: High-k Gox, Low Leakage Gox, 저저항 WL, Low-k 유전막, 고선택비 Etch Mask 물질, Silicidationless Ohmic Contact 물질 ⑧ 공정개발: 국소 Silicide, High A/R Oxidation, High A/R Contact 형성 및 Doping, 신물질 채널 증착 기술 ⑨ 산화물 반도체 소자의 열 안정성, 수소 안정성 및 컨택 저항 개선 기술

3) DRAM 향 강유전체 소자

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 DRAM 제품, Neuromorphic Synapse 소자, IoT 저전력 반도체 소자 - 차세대 DRAM 제품 <ul style="list-style-type: none"> · Vertical stack 가능한 Cap-less DRAM 향 Ferroelectric 소자 · 3D stacked FeFET
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① High Performance 구현 가능한 강유전체 물질 및 증착 공정 <ul style="list-style-type: none"> - Speed 특성 확보 - Endurance 특성 확보 ② 강유전체 산포 및 양산성 확보 <ul style="list-style-type: none"> - Domain Size 및 Uniformity 제어 ③ Endurance 개선을 위한 Gate stack <ul style="list-style-type: none"> - (MFIS FeFET 향) Ferroelectric 박막 - Ferroelectric 박막의 물리적 구조와 특성 발현 Mechanism 규명 ④ 강유전체 게이트 소자 모델링 <ul style="list-style-type: none"> - 물질/소자 모델링

4) CTF 대체 소자

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - CTF 기반 3D VNAND Cell 을 대체할 수 있는 신규 비휘발성(NVM) 메모리 소자 · VNAND 의 지속적인 적층 단수 증가에 따른 공정 난이도, Cost 증가 등 한계 극복
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 신 물질, 신 구조, 신 개념의 비휘발성 메모리 소자 (ex. MO-ECRAM 기반) ② 3D VNAND 구조에 기반한 신규 비휘발성 메모리 소자 ③ 비휘발성 소자의 동작 전압 <ul style="list-style-type: none"> - Memory Window - Endurance - Retention

5) VNAND 향 강유전체 소자

구분	주요 내용
활용분야	- 차세대 VNAND 를 위해 기존 CTF 대체 가능한 FeFET 소자
세부사례	<p>① VNAND 동작 가능한 FeFET 향 Cell Stack 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory Window - Endurance 및 Read/Pass Disturb, Retention 특성 확보 필요 <p>② Domain Size 제어 및 Uniformity 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> - Domain Size 및 Phase 분석 방법 개발 - Phase 균질도 개선을 위한 Ferro 물질 연구 <p>③ Ferroelectric 박막 Mechanism 이해</p> <ul style="list-style-type: none"> - 결정화 메커니즘 분석 및 제어 인자 이해 <p>④ Ferro 와 Channel 계면 제어 및 Ferro 특성 극대화를 위한 신개념 Channel 물질 개발</p>

6) 차세대 로직 Transistor

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 고성능 Logic Transistor (고성능, 저전력), Logic 소자 Area Scaling · 1nm 이후를 위한 2D MOSFET
세부사례	<p>① 2D MOSFET 특성 향상을 위한 低저항 Contact</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2D MOSFET 향 낮은 컨택 저항을 가지는 contact Metal 발굴 - 2D/Metal Interface 최적화를 통한 컨택 저항 감소 기술 개발 - 2D 물질을 doping 할 수 있는 공정 기술 및 적층 구조 개발 <p>② 2D MOSFET 향 Gate Stack</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gate Dielectric, Work Function Metal 물질 개발 - 2D MOSFET 향 gate Dielectric, Vth 조절 물질 개발 - EOT scaling 을 위한 2D 상부 고품질 dielectric 증착 기술, interlayer 형성 기술 개발 - 2D/dielectric interface trap density 감소를 위한 전처리/후처리 공정 개발 <p>③ Alternative channel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wafer-scale, High quality (crystallite), Low temp. 공정기반 Channel growth - Surface Treatment (Dit 감소, Gox 형성) - Si 동등이상의 Band Gap 물질

④ 2D Channel MOSFET

- Gate Length Scalability 검증

⑤ GAA 구조 MOSFET

- Multi-channel Stacking 구조
- GAA 구조 형성을 위한 Integration

7) 스핀 활용 반도체 (MRAM 및 Spintronics 소자)

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 eNVM 및 Working Memory 향 STT-MRAM 제품 <ul style="list-style-type: none"> · Automotive, AIoT 향 차세대 STT-MRAM 의 Speed, Density, Endurance, 신뢰성 향상 - 차세대 Spintronics 소자 <ul style="list-style-type: none"> · MRAM 의 속도/집적도 한계를 넘는 Spintronics 소자
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 고성능, 고신뢰성 구현 가능한 MTJ 물질 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Speed, Endurance 특성 확보 - 고온 열내성 강화 수직 자화 물질 ② Emerging Spintronics 기술 <ul style="list-style-type: none"> - SOT-MRAM, Racetrack, VCMA, P-bit - 3D-MRAM, Selector 물질 - 스핀트로닉스 물질/소자/회로 모델링

8) 저조도 개선을 위한 Image 센서

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 이미지 센서는 Mobile, 가전, Automotive, AR/VR 등 다양한 분야에서 중요성이 높아지고 있는 상황 - 극저조도 Imaging Pixel Scheme, 공정/소자 개발을 통한 Photon counting 이미지 센서 및 ToF 등 사업 영역 확장 가능 - 모바일 & XR 향 센서로 어두운 환경에서도 선명한 촬영, 실시간 AR/VR 인터페이스 강화 <ul style="list-style-type: none"> · 야간 촬영, 실내 저조도 환경에서도 색상 왜곡을 최소화하여 자연스러운 영상 구현 · 초박형 스마트폰 및 XR 카메라 적용을 위한 고감도 센서 기술 개발 - 자율주행&로봇향 센서로 극저조도에서도 정확한 사물 감지, 실시간 거리 측정 및 AI 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 적응형 감도 센서로 주행 중 빠른 노출 조정 및 고감도 영상 확보 및 정확한 사물 인식 가능
세부사례	<p>① 저조도 이미지 특성 개선 (Low Noise)</p> <ul style="list-style-type: none"> - RTS, Flicker Noise 등 저주파 Noise 저감을 위한 새로운 소자 (SF Transistor) 구조 - Pixel Scheme 및 Multi-sampling, PGA 등 회로 기법을 이용한 Noise 저감 - In-pixel ADC 구현을 위한 Low Noise & Compact Sub-threshold Operation Amplifier <p>② HDR (High Dynamic Range)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 방식의 미세화 및 Image Quality 저하 한계 극복을 위한 새로운 HDR 구현 Pixel Scheme 발굴 - Digital Pixel Sensor 구조 활용한 HDR 구현

- Low-power & Low-noise ADC 회로, 픽셀 소형화를 위한 CIS 향 In-pixel Memory, Chip Size 최적화 위한 3D Architecture(ex. Data Flow, Thermal Distribution 등), On-chip AI Image processing

③ 극저조도 SPAD (Single Photon Avalanche Detection) 픽셀 개발

- 미세 픽셀 Dark Count Ratio 저감을 위한 (Low Noise) 새로운 SPAD 소자 구조
- 저잡음 (Low Crosstalk) 특성 구현을 위한 Metal-filled DTI 등 신규 픽셀 Isolation 공정 기술
- 감도 (Photon Detection Efficiency) 증가를 위한 미세화 확장성 신규 Pixel Scheme 및 공정 발굴
- Low Power, Low Deadtime 개선 목적 SPAD 향 공정/소자/회로 기술 (Parasitic Cap. 감소, Readout 방식, 알고리즘 등)
- SPAD 향 신규 소재 개발 (Jitter-free, Low-voltage 등)

④ 초 고감도 칼라 센서 (Visible Low-light Sensor)

- 메타광학 기반 필터리스 이미지 센서로 저조도 성능 극대화
- 적응형 칼라 라우팅 기술로 저조도 환경에서 색 왜곡 최소화

⑤ AI 기반 저조도 최적화 센서(AI-Adaptive Low-Light Vision)

- 픽셀 단위 AI 기반 노이즈 제거 및 신호 증폭으로 극 저조도에서 선명한 영상 구현
- AI 연산 내장으로 스마트폰, XR 기기에서 실시간 저조도 보정

⑥ 인간 눈을 모방한 적응형 감도 센서 (Biomimetic Adaptive Sensitivity Sensor)

- | | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">- 망막의 적응 기능을 모방한 자동 감도 조절 픽셀 구조 개발- 스마트폰 카메라, AR 글래스, 로봇 비전에서 실시간 감도 조절로 HDR 성능 극대화 |
|--|--|

9) Image/Object/Gesture 인식을 위한 H/W

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Mobile, Wearable, IoT, Robot 등 적용을 위한 Always on 초전력 인식 필요
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Ultra Low-power Image Capture <ul style="list-style-type: none"> - Image/Object/Gesture 인식에 특화된 Ultra Low-power Sensor - Capture & Neural Processing 을 동시에 Optimize 할 수 있는 Device ② Analog + Digital Neural Network HW <ul style="list-style-type: none"> - Ultra Low-power Image/Object/Gesture 인식을 위해, High Energy Efficiency 필요 Layer 는 Analog 에서 처리하고, High Precision 필요 Layer 는 Digital 에서 처리하는 등의 Mixed Neural Network System ③ Multi-stage <ul style="list-style-type: none"> - Cascading 기법으로 Detection/Recognition 을 진행하면 전체적인 System Energy 를 Optimize 할 수 있을 것으로 보고, 이에 필요한 Architecture + Algorithm Co-optimization 하는 기법

10) Automotive 向 SWIR 광검출 기술 및 Readout 회로 기술 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Automotive: 장거리 표적 식별, In-cabin - Automotive 첨단운전자보조시스템(ADAS)과 자율주행 적용 차량에 탑재되는 센서 솔루션으로 LIDAR, Laser Gated Imager 등의 센서 부각(장거리 인지, 해상도, 정확도 우수) - LIDAR, Laser Gated Imager 는 광원(Active Light Source)과 광검출(Detector)부로 구성, 광원이 방출되는 경로에서의 보행자 Eye Safety 를 필수적으로 고려해야함. 다양한 크기 (Order of Magnitude)의 강력한 레이저 파워를 출력하기 위한 SWIR 파장 대역(1310nm, 1550nm)의 센서 사용 필요함
세부사례	<p>① 2.5D/3D 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si 공정 기반 저가 소자 제작 공정 구현 <ul style="list-style-type: none"> · Cost(Si Wafer 기준): 2 x Si - InGaAs SWIR detector 동등 수준 성능 확보(성능 목표) <ul style="list-style-type: none"> · SNR(> 60dB @1310nm) and Responsivity(> 0.9 A/W) · Sensitivity(< 1 lux, 10^{-6} W/cm²) · QE (> 50%) and Dark Current (< 10^3) · Pixel Size (< 5um) <p>② Readout 회로 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si 공정 기반 소자용 ROIC 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 저잡음 Readout 구조 및 회로 설계

11) 차세대 컴퓨팅 플랫폼

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Automotive: 장거리 표적 식별, In-cabin - HPC, AI 응용 증가에 따라 연산 양이 급증하면서, 저전력 초고속 컴퓨팅 플랫폼이 필요 - 신규 반도체 소재 발굴 시뮬레이션 등 연산은, 경우의 수가 무수히 많아 기존 컴퓨팅 기술로는 수십년 이상이 필요, 초고속 컴퓨팅 플랫폼이 기업의 경쟁력을 좌우 - 데이터 이동 및 연산량을 획기적으로 줄이면서 정확한 AI 연산을 할 수 있는 기반물질/단위소자/아키텍처/알고리즘/시스템/회로 개발 필요 - 센서와 결합한 미래 AI 기기(자율주행, 로봇, AR/VR 기기 등) 전력 효율 개선 - Mobile/Wearable/IoT 등의 Application에서 Always On 동작하는 Voice/Audio 기능의 필요성 증가
세부사례	<p>① Photonic Computing</p> <ul style="list-style-type: none"> - Photonic IC, 비선형 광소자 설계 및 제작 - 다중 파장 활용, 광 신호 변복조, 나노 광학 적용 - 광원과 광회로 집적을 위한 Integrated Photonics 기술 - Photonic Computing 과 광통신을 직접 연결하여, 광-전기 변환으로 인한 Latency 및 전력 손실 최소화 - Silicon Photonic Reconfigurable Optical Processor <p>② Quantum Computing</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초전도 큐비트 칩 <ul style="list-style-type: none"> · 큐비트 집적도 향상을 위한 초전도 3D integration 기술 · 새로운 초전도 물질 적용한 큐비트 공정 기술 · 오류 보정을 위한 Architecture 회로 설계 기술 - 저전력 극저온 컨트롤 칩 <ul style="list-style-type: none"> · 큐비트 수 증가에 따른 scale-up 이슈에 대응

- Cryogenic CMOS 회로설계 기술을 적용
(아날로그 회로 설계 (PLL, Frequency synthesizer)
및 Cryogenic PDK 확보)
- Integrated quantum processor
 - ①,② 통합한 Integrated Quantum Processor 구현
- ③ Efficient AI Computing
 - Efficient AI 모델 설계
 - 메모리 사용량을 최소화한 AI 모델 구조 및 학습 방법
 - 추론 속도를 향상 시키는 AI 모델 구조 및 학습 방법
 - AI Model 최적화 기술
 - 연산량을 줄일 수 있는 AI Model Approximation 방법
(e.g. Depth wise separable Convolution)
 - 병렬 처리를 극대화 할 수 있는 Neural Networks 구조
 - Mixed Precision, Knowledge Distillation 모델 학습
 - In-Memory Computing 기술
 - 저전력, 고밀도를 달성하면서 정확도를 유지할 수
있는 MAC 연산 방법 및 회로 구조
 - 다양한 AI 모델 아키텍처를 처리할 수 있는
Reconfigurable 회로 설계
 - Low-power ADC 개발 (MAC 혹은 전처리 연산이
가능한 ADC 설계)
 - Efficient AI 모델 용 가속 Device
 - Efficient AI 모델을 효율적으로 구동하기 위한 AI
가속 Device 설계
 - Efficient AI 모델을 효율적으로 구동하기 위한
Mapping 및 Dataflow 기술
- ④ NAND architecture 기반 in-memory 소자
 - 단위 소자
 - In-memory computing 에 최적화된 gate stack
(CTF, 강유전체 등)과 채널 물질 발굴

	<ul style="list-style-type: none"> · 비휘발성, 정보 제어 · 보존 성능 및 내구성 평가 강화 - 수직 적층 소자 <ul style="list-style-type: none"> · Short channel 효과 검증 · 연산 속도, 정확도, 에너지 효율 평가 · NAND 공정 호환성 확보 - 회로/아키텍처 및 알고리즘 <ul style="list-style-type: none"> · NAND 아키텍처 활용한 연산 가속 알고리즘 개발 · 뉴로모픽 · 시냅틱 연산 등에 적용 위한 셀간 상호 연결 재설계/최적화 · 기존 NAND 아키텍처 개선 및 시스템 통합 검증 전략 수립
--	--

12) 양자 컴퓨팅(Quantum Computing)

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 양자컴퓨터는 양자현상(중첩/얽힘)을 활용한 차세대 병렬 정보처리장치로서 고전 디지털 컴퓨터 比 월등한 연산 성능 ($N \rightarrow 2n$)을 보유하여 다양한 산업에서 고전컴으로 도전조차 시도할 수 없었던 문제들을 해결하는 핵심 인프라가 될 것으로 기대 - 現, 오류가 존재하는 양자컴퓨터로도 응용을 시도하는 영역들에 대한 고찰 필요, 나아가 오류를 정정한 로지컬 큐비트 기반 양자컴퓨터 등장을 고려한 응용처 발굴 시도도 살펴볼 필요 <ul style="list-style-type: none"> · 新소재 · 물질/신약 개발 등 다양한 어플리케이션 발굴
세부사례	<p>① 양자 컴퓨팅 연구 방향</p> <ul style="list-style-type: none"> - 양자컴퓨터 구현의 난제 해결 <ul style="list-style-type: none"> · 큐비트소자 수 스케일업 (現 QPU 당 1,000 개, QPU 간 연계 방식 要) · 오류율 저감 (로지컬 큐비트 회로설계, 알고리즘 要) - '양자컴-AI' 간 시너지 방안 개발/고도화 <ul style="list-style-type: none"> · 양자컴 개발 전 프로세스에 AI 활용 中, AI 가속기로 QPU 모색 - 고전(슈퍼컴)-양자컴 하이브리드 플랫폼 구현/활용 모색 要 - Practical 양자컴퓨팅 구현 위해 HW/SW 의 다양한 기술 stack 必 <ul style="list-style-type: none"> · 아직 압도적인 우세의 표준이 정립되지 않은 다양한 큐비트 소자 구현 방식(초전도 外 중성원자, 광자 등)에 대한 모니터링 병행 必

· 양자 오류 정정, 모듈화, 양자컨트롤유닛의 제어칩 (Soc)化, Fab 공정, 응용 알고리즘 등의 기술 개발 要

② 주요 기술 설명 및 개념

- 양자현상이 나타나는 물질을 사용하여 큐비트소자를 만드는 기술
- 큐비트소자에 중첩/얽힘 현상이 나타나도록 회로 설계
- 큐비트 소자 고집적 위한 멀티칩 설계
- 오류 정정하여 오류율 낮추는 로지컬 큐비트 구현 위한 회로 및 알고리즘
- 양자 상태를 제어 및 연산 결과 측정 위한 신호 전환/송수신 기술 等

13) 실리콘 포토닉스

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 생성형 AI 기술 발전으로 데이터 센터에서는 고성능 데이터 처리와 연산 수행 필요성이 증가함. 이를 위한 Superchip, 클러스터링 기술, 대용량 HBM 메모리 확장 기술은 저전력, 초고속 interconnect 기술이 매우 중요함 - 기존의 전기 신호 기반 기술은 성능 개선에 제약이 따르고 있어(64Gbps/채널, ~cm 전송길이), 광신호를 이용한 실리콘 포토닉스 기술이 미래 인터페이스의 핵심 기술임 (nVidia, Intel, TSMC 등에서 차세대 인터페이스 기술로 채택) - 실리콘 포토닉스는 전기 신호와 광신호를 상호 변환해주는 Electrical IC 설계 기술 및 포토닉스 공정기술이 핵심요소임
세부사례	<p>① Optical Interconnect 설계 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 센터 향 Rack-to-Rack Optical Interconnect 를 위한 64Tbps, 1pJ/bit 급의 초고속 저전력 Optical Transceiver 설계 기술 - NRZ 및 PAM-4 기반의 Optical Modulator 및 이를 구동하는 전기 구동 회로 개발과 비선형성, Equalizing 기술 - 고대역폭 Optical Interconnect 를 위한 광 검출기 (Photo diode) 및 전기 신호로 변환하는 Trans-Impedance Amplifier 를 포함한 아날로그 프론트엔드 회로 설계 기술 - Chiplet 간(Chip-to-Chip), CPU/GPU 와 고대역폭 메모리(HBM) 간의 수 cm 수준의 인터페이스에 적용 가능한 고효율 아키텍처 설계 기술

- | | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">② CMOS 반도체 공정을 이용한 Photonics 소자 제작 기술<ul style="list-style-type: none">- 광통신 소자 대량 생산을 통한 저가화, 3차원 집적을 통한 소형화, 소자 반복 배치를 통한 대용량화 가능③ Optoelectronic multi-chip module package 기술<ul style="list-style-type: none">- CPU/GPU, FPGAs, memory 등의 기존 module 과 PIC (Photonics IC)의 2.5D CPO(Co-Packaged Optics) packaging 기술 |
|--|--|

14) 차세대 HPC/AI 향 Device Platform

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Data Center 내 Rack to Rack 및 Chip to Chip 에서 GPU 간 Interconnection 및 GPU 전력 공급 IVR 로 활용
세부기술	<p>① 400Gbps/Fiber 이상의 Data Bandwidth 를 가지는 Co-Packaged Optics (EIC/PIC/FAU 내장)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Photonic IC (PIC) <ul style="list-style-type: none"> · 100Gbps/lane 속도의 수신 Ge Photodetector 구현 기술 · 100Gbps/lane 속도의 송신 Si Modulator 구현 기술 · SOI wafer 기준 TSV 기술 (<50um depth) - Package 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 2.5D 구조를 통한 FAU/EIC/PIC/Interposer 적층 기술 - Photonic Device 및 Photonic IC Test 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 광을 통한 TEG Wafer Test, Wafer Sorting Test, Optical Engine Test, CPO Final Test 기술 구현 <p>② 저전력을 위한 IVR(Integrated Voltage Regulator) 향 Magnetic Inductor 구현 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magnetic Material/절연막의 Multi-layer 구조로 고주파에서 Eddy Current Effect 최소화하는 물질 및 구조 - 기생 저항이 작은 고효율 Inductor 구조 - 단위면적당 Inductance 를 크게 구현하는 물질 및 구조 - 단위면적당 전류를 최대한 흘릴 수 있는 물질 및 구조

15) 소자 기타

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 앞 쪽 제시된 14 개 세부 기술 외 차세대 반도체 소자 관련
세부사례	<p>① 다이아몬드 전력반도체</p> <ul style="list-style-type: none"> - High Stability 구현이 가능한 산화물 반도체 채널 소자 - 압력, 열, 방사선 등에 극강의 내구성을 갖춘 반도체 소재로서 다이아몬드 활용 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 다이아몬드 기관 대형화 기술(사파이어와 혼종 등) · 전자 고이동성 · 장수명을 위한 소자 구조 개발 등 <p>② 양자 센서</p> <ul style="list-style-type: none"> - 양자 상태의 원자 등을 이용해 나노 스케일의 미세한 물리량 변화를 계측하는 센서 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 센서로 사용 가능한 새로운 양자 시스템 개발하고 최적의 활용 방안을 제시 · 원자 증기, 다이아몬드 결함 등 기존 양자시스템의 획기적 개선 및 국산화 기술 개발 등 <p>③ 열 제어 소자</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermal diode, Thermal transistor 등의 열 제어 소자

3. 반도체 공정 기술

1) VNAND Channel, Charge Trap Layer 구현 공정

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 VNAND 공정 <ul style="list-style-type: none"> · Channel mobility 향상 · Cell current 향상을 위한 단결정 및 Large Grain · Silicon 형성 - VNAND 향 차세대 OSC (Oxide Semiconductor Channel) 물질 <ul style="list-style-type: none"> · On-cell Current 열화 극복을 위한 신개념 Channel 물질 - 차세대 VNAND 제품 <ul style="list-style-type: none"> · 제품 신뢰성 개선 · PGM/ERS window 확보 · PGM/ERS bias 에 내성이 강한 막질 개발
세부사례	<p>[차세대 VNAND 공정]</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Channel Silicon Grain Size 증가 <ul style="list-style-type: none"> - 단결정 channel silicon 형성 공정 - 막 내 Hydrogen 저감 증착 공정 ② 균일한 channel 형성 막질 <ul style="list-style-type: none"> - High mobility 및 High Step coverage

[VNAND 향 차세대 OSC 물질]

① VNAND 동작 가능한 OSC 물질

- Dual Channel, P-type OSC 등
- On Cell Current 우수한 OSC 물질
- Memory Window 확보 가능한 OSC 물질

② VNAND Integration 가능한 OSC 물질

- 고 Hydrogen 내성 및 열내성 OSC 물질
- OSC 와 Metal Contact 시 저항 감소 Metal

③ OSC 물질에 대한 근원적 이해

- Electron, Hole Generation 메커니즘 및 제어 인자

[VNAND Charge Trap Layer]

① SiN 막질 활용

- 불순물을 이용한 Band Gap 조정, Shallow Trap 감소, 화학 결합 및 구조 안정성 증가

② High-k Trap Layer

- SiN 수준의 Trap Density 를 갖는 High-k 물질
- Doping 을 통한 Shallow Trap 감소

③ Thermal ALD 공정 가능한 막질

- SiN ALD 와 같이 Thermal ALD 가 가능한 막질

④ Selective ALD SiN

- 기존 High Temp. ALD SiN 수준의 Trap 특성 및 S/C 를 만족할 수 있는 Selective ALD SiN 기술

2) Selective ALD/ALE (Metal Oxide/Metal), Selective Deposition

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - DRAM Capacitor 의 유전막/전극 <ul style="list-style-type: none"> · Capacitor 박막을 선택적으로 증착하고 제거하는 기술 - Logic 의 High-k /Metal Gate, BEOL/MOL 배선 - 3D 구조 형성을 위하여 Self-Aligned 공정이 필요한 모든 제품: VNAND, 3D DRAM, Logic 등 - 차세대 DRAM 제품 <ul style="list-style-type: none"> · High Work Function 을 가지는 전극막 · High Step Coverage 를 구현할 수 있는 ALD 공정 - RC delay 최소화를 위한 dielectric 공정/소재 개발
세부사례	<p>[ALD/ALE]</p> <p>① Selective ALD (ASD)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 패턴된 구조에서 선택적으로 박막 증착 예: MoM (Metal on Metal) 증착 - Selectivity 극대화 예: Inhibitor 적용 <p>② ALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Metal Oxide/SiO₂ 을 선택적으로 건식 제거 예: ZrO₂ 만 제거하고 SiO₂ 는 유지 - Metal/SiO₂ 를 선택적으로 건식 제거 예: TiN 만 제거하고 SiO₂ 는 유지

[Selective Deposition]

- ① 선택적 Metal Silicide on Si, not on oxide
- ② Spatial 선택적 Metal(Ru, Co, Mo, bottom up metal contact fill)
- ③ 선택적 Hardmask (HfO, ZrO) on EUV PR, not SiO₂
- ④ Non-metal, metal doped ALD 증착
 - In-situ Doping 을 이용한 Conformal Doping
 - ALD 용 Doping Precursor 개발
 - S/C(Step Coverage) 개선 기술

[Capacitor Electrode]

- ① High Work Function 구현
 - ALD Precursor 및 공정
- ② 저저항 박막
 - 막 내 불순물 제어 기술
- ③ 구조 균일성을 가지는 막질
 - High Step Coverage 구현 가능한 공정

[Dielectric]

- ① non-Si 저유전체 박막의 ALD 증착
 - 박막 증착을 위한 신규 precursor 발굴
 - 물성 제어를 위한 증착법 고도화
 - 공정성(step coverage, thickness) 제어를 위한 기술 개발

3) 반도체 공정/설비 개발向 플라즈마 Simulation 고도화

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신 물질, 신 구조 반도체 개발이 가능한 플라즈마 공정 및 설비 개발에 활용 - 플라즈마 Simulation 을 활용한 실시간 플라즈마 이상 분석 및 설비 최적화 기술 개발
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① HARC 공정 및 설비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 플라즈마 Simulation 기반 플라즈마 공정 개발 ② 반도체 향 Plasma 설비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - New Source 개발 (Microwave, ECR, Helicon Plasma 등) - CCP, ICP 설비 플라즈마 제어 기술 개발 ③ ML 기반 Plasma 공정/설비 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 플라즈마 공정 성능 최대화를 위한 설비 사양 도출

4) 반도체 소자 공정 (Polarity switching, 3D Integration, 설비/부품 등)

구분	주요 내용
활용분야	<p>[EUV 노광에 의한 Polarity switching 메커니즘]</p> <ul style="list-style-type: none"> - EUV 광반응성 고흡수 PTD (Positive Tone Development) PR (photoresist) 소재 - DRAM & Logic 향 SET (Single Exposure Tech.) 공정 <p>[ALD 공정향 설비/부품]</p> <ul style="list-style-type: none"> - High Aspect Ratio Device 제조시 Void-Free 및 우수한 Step-coverage 를 제공할 수 있는 ALD 공정향 설비/부품 성능 향상
세부사례	<p>[EUV 노광에 의한 Polarity Switching 메커니즘]</p> <p>① SET 공정을 통해 미세패턴 형성 가능한 New Platform 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 Crosslinking 이 아닌 Non-crosslinking 메커니즘 개발 - 금속과 결합되어있는 리간드가 EUV 노광에 의해 Polarity Switching 을 야기시키는 시뮬레이션 및 실험 - High Absorption 향 Metal, EUV-sensitive Ligand 조합, 광감응성, 공정 안정성 Simulation 요구 및 실험

[ALD 공정向 설비/부품]

① 차세대 Precursor 向 Gas Delivery

- Solid Precursor 向 Canister
- Solid Precursor 제어 및 모니터링
- 고온/고속/대유량 Gas Delivery

② 반도체 설비向 차세대 가공

- Metal 3D 소재 및 부품 제작
- 후처리/표면처리/세정
- 고효율 Heat Transfer/Flow 최적화

③ 반도체 설비向 내부식성 코팅

- Metal 소재의 고온 내부식성 향상 (소재/코팅)
- High Aspect Ratio Micro Hole 코팅
- 세라믹 부품向 ALD 코팅

5) 미세 반도체 구현 공정
 (고해상도 EUV 패터닝, Etch, 차세대 CMP, Spinner 등)

구분	주요 내용
활용분야	- Gate All Around 와 같은 새로운 구조 및 미세 반도체 구조 구현을 위한 공정, 설비 및 소재에 활용
세부사례	① 고해상력 및 Low Dose 가능한 EUV Patterning - Etch 내성 상향이 가능한 신소재/신 Develop 공정 - 생산성을 위한 Dose 하향 ② 차세대 Etch 공정 구현을 위한 내식각성 소재 - Part 소모 및 defect 최소화를 위한 Plasma 내성이 강한 소재 ③ N/P MOS Gate 종류 별 Metal 박막 Depo - Sub Layer 에 Immunity 있는 Film 제어 ④ 차세대 CMP Planarization 을 위한 기능성 소재 - High Density 에서도 Erosion 이 최소화될 수 있는 CMP Slurry - Recess 를 제어할 수 있는 Slurry ⑤ High Aspect Ratio 에서 Gap-fill 향상 및 이온 주입 산포 개선 ⑥ 고청정 약액 (PR, Thinner, DIW 등) 공급 및 토출 장치 ⑦ 소재 절감 기술 - PR 유량 저감 기술 - Dose 저감을 위한 온도 가변형 Develop

6) 미세 반도체 구조 및 품질 검사/계측 기술

구분	주요 내용
활용분야	<p>[미세 반도체 구조 검사]</p> <ul style="list-style-type: none"> - DRAM/VNAND/LOGIC 반도체 미세화 및 3D 구조 위한 신개념 검사/계측/분석 HW 및 SW 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 광학적 막질 투과 검사 및 3D 구조 및 Mis-alignment 계측 · 차세대 반도체 신구조/신물질 특성 모니터링 · AI 기반 반도체 검사/계측/분석 고도화 - 비파괴 구조 측정 기술 - 미세(<10nm) 또는 하부 불량 비파괴 검사 <p>[반도체 구조 계측 기술]</p> <ul style="list-style-type: none"> - DRAM, VNAND, Logic, CIS 제품 구조 계측 - Wafer Bonding 공정에서 발생하는 Metal Void 검사/계측 - Metal 공정 중/후 발생하는 불량 분석 및 검사(Void 등) <p>[반도체 품질 검사 기술]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저항성/Leakage 성 품질불량 모니터링 기술 - 메모리/로직 제품 In-Fab 전기적 불량 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> · 대표적 품질 불량인 Contact 계면 저항성/Leakage 불량의 전기적 검출 방식 필요 · 검출된 불량률의 전기적 특성 측정하여 불량 정량화 필요

세부사례	<p>[미세 반도체 구조 검사]</p> <p>① 3D Stack 미세 불량 정밀 검사/계측 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3D Stack 하부 불량 검사 기술(Long Wave-Length, Wide DOF/Dual Focus 광학, 초음파 등) - Multi-layer 두께/물성 개별 측정 기술 - 3D Stack 내 Crystal 불량 검사 기술 <p>② 반도체 소자 물성 비파괴 측정 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - X-ray 기반 고해상, 고민감도 물성 Imaging 기술 - Si 결정화/미량 원소 계측 기술(Raman Spectroscopy, SERS 등) - 박막/소자 열물성 비파괴 측정 기술 <p>③ 전자주사현미경(SEM) 기반 반도체 검사/계측 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.5nm 이하 고분해능 SEM 기술 - SEM 기반 소자 전기 특성 불량 검사/계측 기술 <p>④ AI 를 활용한 이미지/스펙트럼 기반 검사/계측 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소수 Data 로 높은 성능을 확보하기 위한 AI 학습 기술 - 저품질 Data 를 판단/제거하여 성능을 높이기 위한 기술 <p>⑤ 비파괴 비반복 고해상도 3D MI 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible, IR, EUV, X-ray 기반 Computational Imaging 기술 <p>⑥ Advanced packaging 비파괴 검사/계측 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초음파를 이용한 검사/계측 기술
------	--

- ⑦ 3D 구조 Lateral recess/profile 구조 계측
 - X-ray/EUV 고해상 3D 이미징 설비 기술
 - ⑧ 3D DRAM Lateral 미세 구조 불량(Recess) 및 Void 검사 기술
 - ⑨ 10um 이상 깊이의 불량 검출 기술
 - ⑩ 하부 미세 Residue 비파괴 검사 기술
 - ⑪ 10nm 이하 불량 검사 기술
 - ⑫ 비침투식 Radical Beam 선속 밀도 산포 및 에너지 감지/진단 센서 개발
 - Laser 등 광학 기반 기술
(단, Optical Emission Spectrometer 기반 기술 제외)
 - Radical Beam 선속 밀도, 산포, 에너지 측정
 - Radical 種별 밀도 절대량 측정
 - Radical 種별 산포 측정
- [반도체 구조 계측 기술]
- ① Soft X-ray 기반 구조 계측기
 - DRAM 및 LOGIC 미세 구조 계측을 위한 구조 계측 교호작용 개선 및 CD/Pitch 직접 계측 가능
 - ② X-ray CT with Nanometer-scale Resolution
 - Metal Void 분석 및 계측 기술
 - Metal 배선 불량의 3D 구조 분석 기술
 - Metal Fill 포함 공정에서 Buried Defect 계측 및 분석

③ Plasma In-situ 계측 (PLIF: Planer Laser-Induced Fluorescence Method for Plasma Scatterometry)

- 플라즈마 도핑(PLAD) PM(Process Module) Chamber 장치에 도킹하여 산란 계측을 위한 레이저 유도 형광법
 - Etching 이나 Depo 장치용에도 가능
 - 고수율 제조 솔루션

[반도체 품질 검사 기술]

① 전자현미경 기반 기술

- Voltage Contrast Electron Beam 검사 기술
- Capacitive Contrast Electron Beam 검사 기술
- Electron Beam -전기 융합기술 (EBIC, EBIRCH)
- 전기-광학 융합기술 (THEMOS, PHEMOS)

② 전기적 특성의 측정기술

- 저항/Capacitance 직접 측정 기술 (C-AFM, Nano-Probing)

7) 저저항 Metal Interconnect 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 Logic 제품 배선 공정 - 차세대 DRAM 제품 배선 공정
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 저저항 배선 물질 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Cu, Mo, Ru 이후의 미세 배선향 소재/공정 ② 저저항 배선 patterning 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저저항 신물질 향 Hard Mask 및 Etch 선택비 ③ 저저항 배선 형성위한 증착기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 3D 구조 구현을 위한 ALD 설비/ Precursor - 미세선폭 damascene 공정 ALD/CVD 설비 - 고품질 박막 PVD 설비/ 증착기술

8) 국소 촉매 에칭(LCE: Localized Catalyst Etching)프로세스 기술

구분	주요 내용
활용분야	- 원자 테라스 구조 레벨의 초정밀 평탄화 영역
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 세계 최초의 기술로 특허 출원 준비 중 ② 촉매 에칭은 슬러리 free 로, 촉매 패드와 물을 이용하여 CMP 와 유사 가공하는 프로세스 ③ 촉매 패드는 강체이며 웨이퍼 표면의 미세한凸凹면에만 접촉해 원자 레벨로 식각 가공 가능하며 CMP 와 같은 케미컬 작용에 의해 디성이 일어날 수 없기 때문에 초정밀 동일면 평탄화가 가능 ④ Si/SiO₂ 의 혼재 패턴으로 기초 검증한 결과, Si 의 원자 테라스의 한계 이론 높이(0.3nm)까지 평탄화를 실현 (세계 최초) ⑤ LCE(Localized Catalyst Etching)는 기존 CMP 의 대체기술이 아닌 이중 혼재 구성에서라면 PD(Photo Diode) 표면 평탄화에 관련된 화소들의 색 불균일 불량이나 HB(Hybrid Bonding)등의 접합 신뢰성 과제를 개선하는 유일무이한 Advanced 평탄화 공법 ⑥ 현재 에치레이트 시간 단축에 관해서 개선 검토 중 (웨이퍼상의 혼재 패턴 20nm 초기 단차에 대해, sub-nm 로의 평탄화에 약 6H 필요)

4. 반도체 패키지

1) Logic Integration, Thermal management

구분	주요 내용
활용분야	<p>[Logic 向 3D Integration]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monolithic/sequential Logic on Logic 소자 - Heterogeneous Device on Device 소자 <ul style="list-style-type: none"> · Area scaling 및 개발 지속성을 갖는 3D Integration - Thermal management in 3D integration
세부사례	<p>[Logic 向 3D Integration]</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 3D Monolithic Integration <ul style="list-style-type: none"> - CFET(Complementary FET) - 수직 적층 형태의 Source/Drain 과 Metal Gate - 低저항 Interconnection 물질 - Non-Si 신규 저유전체 - Thermally Conductive 유전체 ② 3D Sequential Integration <ul style="list-style-type: none"> - Aligned Wafer Bonding - 고성능 Transistor 특성 확보 가능한 저온 Integration ③ Backside 활용 Interconnection <ul style="list-style-type: none"> - Backside 에서 Patterning 및 Metallization 적용 ④ 3D Integration 向 Scheme 및 Layout <ul style="list-style-type: none"> - PPA 최적화 가능 Scheme 및 Layout 구현

구분	주요 내용
	⑤ Thermal management in 3D integration <ul style="list-style-type: none"> - 원자수준의 열물성 계산 - Multi-scale 소자 열시뮬레이션 - 열적 특성과 전기적 특성을 동시에 고려한 소자 최적화

2) Wafer Level Package

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 Bonding VNAND <ul style="list-style-type: none"> · 성능 개선 / 용량 증가 - 차세대 DRAM 제품 / HBM 제품 <ul style="list-style-type: none"> · 성능 개선 / 용량 증가 / AI 어플리케이션 - 차세대 Logic 제품 <ul style="list-style-type: none"> · 성능 개선(BSPDN), Multi Function - 차세대 CIS 제품 <ul style="list-style-type: none"> · 성능 개선, 신규 제품군
세부사례	<p>[차세대 Bonding VNAND]</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Peri Wafer Multi bonding 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Post bonding overlay/Bonding overlay 동시 만족 - nano TSV - Saddle Warpage Wafer Bonding 기술 <ul style="list-style-type: none"> : X, Y Warpage Skew가 있는 Wafer 의 Bonding ② Edge Control 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Edge 단차 제어, 수율 개선 위한 Wafer Edge Trim 기술 고도화 <p>[차세대 Bonding DRAM]</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Fine Pitch Cu Hybrid Bonding 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Metal Fill, Cu Pad 평탄화, 열처리 ② Multi Wafer bonding 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Edge 단차 제어, Trim 기술 고도화

- Carrier 관련 기술

③ Bonding Overlay/Post Bonding Overlay 동시 만족

[차세대 Logic]

① Low Distortion Fusion Bonding 기술

② Si Layer Transfer 기술

③ Wafer Thinning 기술

3) Wafer & Chip Stress/Warpage simulation, Zero Stress Dielectric/Metal Deposition

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 Memory 제품 <ul style="list-style-type: none"> · 제품 구조 및 막질 특성을 포함하는 Wafer & Chip Stress/Warpage 예측 기술 필요 · 제품 고도화에 따른 Stress 이슈 해결을 위한 Zero Stress의 특성을 갖는 막질 필요
세부사례	<p>① Wafer & Chip Stress/Warpage Simulation</p> <ul style="list-style-type: none"> - 복잡한 제품 구조 (ex.VNAND)에서의 Wafer/Chip Warpage Simulation - 다양한 특성(Thickness, Stress, Modulus 등)을 가지는 다층박막 구조에서의 Wafer/Chip Warpage Simulation - 고온 거동 시 물성 변동 예측을 위한 Wafer/Chip Warpage Simulation ex) RVE, EDA Modeling <p>② Zero Stress Dielectric/Metal Deposition</p> <ul style="list-style-type: none"> - 절연 특성 및 Wet 내성을 갖는 Zero Stress Dielectric 물질 및 공정 - Small Grain 을 갖는 저저항 Zero Stress Metal 물질 및 공정 - Gap-Fill 이 가능한 Zero Stress 막질 및 신규 증착 기술

4) 융복합 Packaging

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - HPC 向, Server 向의 고성능 (High Speed, Wide IO, Low Latency) 제품 활용 가능 * 구조: Memory(HBM) + Logic(Chiplets) + Interposer(2.5D + 3D) - Data Center 向 고대역/고용량 광송수신 모듈 (Co-Packaged Optics, CPO)
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Hybrid Copper Bonding(HCB) <ul style="list-style-type: none"> - Bumpless, Gapless Bonding 으로 Thermal 경쟁력 확보 - 기존 보유 중인 CoW(Chip On Wafer) infra 활용으로 원가 경쟁력 확보 ② 3D IC 적용 FoPKG (Fan out Package) <ul style="list-style-type: none"> - HCB 기반 Fine Pitch 구현 - 고성능으로 인한 발열 한계 극복 위한 미래 소재 ③ 3.5D 융복합 PKG <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 2.5D + 3D 구현 위한 Interconnect - 대면적 Bonding 고신뢰성 공정, 소재 ④ EIC-PIC 3D Stack 기술 (Optic Engine, OE) 및 융복합 Packaging 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Optical Interface 광투과도 향상을 위한 소재 (TCB) - Thermal/Optic 특성 향상을 위한 구조 (HCB) - OE Co-Packaging 구현 (Interposer, Substrate 관련 소재/공정 등) ⑤ III-V 기반 Optic Block 구현 및 공정 Integration 기술 <ul style="list-style-type: none"> - III-V Epi 공정, 설비 기술

5) Laser Via hole 가공 기술/ Simulation Modeling

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 PKG 용 극소구경 Laser Via 가공 - PKG 미세화에 따른 신호 연결 Via hole 극소구경 필요성이 증가하고 있고, 가공 실험을 통한 조건 최적화로 미래기술 준비에 시간적인 소요가 많이 되고 있음. PKG 소재에 대한 기계적/열역학적 반응 해석(Simulation Modeling)을 통한 차세대 Laser 가공 기술을 발굴/활용하고자 함 - 차세대 PKG 제품 공통 (2.5D/2.3D/2.1D 패키지용 기판)
세부사례	<p>① 극소구경 Laser Via 가공</p> <ul style="list-style-type: none"> - UV laser (355nm), Deep UV laser (266nm), Excimer 등 <ul style="list-style-type: none"> · Laser 파장/펄스에 따른 가공 원리, 열해석 · Laser 파장, Pulse Width (ns/ps/fs)에 따른 Via hole 가공 형상과 가공물의 HAZ(Heat Affect Zone) 영향성 파악 · 실제 가공 결과와 시뮬레이션을 통한 매칭과 Laser Via hole 가공 모델링 <p>② 차세대 Laser 가공 방식 제안</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laser Via hole 가공 모델링 구축 후 차세대 극소구경 Laser 가공 방식 제안 <ul style="list-style-type: none"> · UV, Deep UV, Excimer 등

6) 차세대 Glass 패키지 기판 이종 재료 (Glass/절연재) 가공 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - AI 등 고성능 반도체 성능 향상을 위해 패키지 기판의 뼈대 역할을 하는 코어를 플라스틱에서 Glass 로 바꾸는 니즈가 증가하고 있음 - Glass 는 플라스틱 대비 치수 안정성 및 휨 특성이 우수하나, 취성이 높아 취급 및 가공 시 Chipping 및 Crack 발생 위험이 있으며, Glass 위 다층의 절연재를 사용하므로 이종 재료에 대한 안정적인 가공(Cutting) 기술이 필요함 - 차세대 Glass 패키지 기판 (Glass Core 및 Interposer)
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 이종재료 (Glass & 절연재) 가공 (Cutting) 방식 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 가공 방식 별 가공 품질 영향성 파악 <ul style="list-style-type: none"> · Laser, Blade, Waterjet, Hybrid 등 · Chipping 및 Crack 방지 최적 방식 도출 - 신규 가공 방식 발굴 ② Defect 에 따른 불량 영향성 및 개선 방향 모델링 <ul style="list-style-type: none"> - Glass Chipping 크기에 따른 Crack 발생 가능성 및 Risk 등 Simulation - 가공 후 Glass Crack 발생 억제 방안 모델링

7) 초 미세화/고용량/고방열 목적 Package 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - HPC 向, Server 向의 고성능(High Speed, Wide IO, Low Latency) 제품 활용 가능 * 구조: Memory(DRAM) - Mobile AI 向 고성능(High Speed, Thermal)제품 활용 가능 * 구조: Memory(DRAM) + Logic(AP)
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 초 미세화 목적 Interconnection PKG 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Pattern 미세화 한계를 극복한 Interconnection 기술로 고속 & 저전력 메모리 구현 기술 - Fine Pitch Substrate 기판 기술로 미세화 한계 돌파 ② 초 고용량 목적 융복합 Stack 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 메모리 대응한 용량 한계 극복 기술 - 기존 보유 중인 양산 Infra 활용으로 원가 경쟁력 확보 ③ 초 고방열 목적 소재(EMC 등) <ul style="list-style-type: none"> - 고성능으로 인한 발열 한계 극복 위한 미래 소재 ④ AP 와 Memory 의 복합 실장 융복합 Package 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 CPU/GPU 등 성능 향상에 대응 가능한 열 특성 극대화 Package Platform - System PKG 제공 가능 구조

5. 차세대 반도체/컴퓨팅 아키텍처

1) 차세대 Memory System Solution

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Large Language Model 과 같은 Transformer 계열 AI 응용 확산과 Scientific Simulation 및 Graph Analysis 같은 HPC 응용이 고도화되면서 Memory Coupled Computing 구조 필요 - 향후 LLM 사용량 증가와 함께 Vector DB 의 양도 폭발적으로 증가할 것으로 예상됨 - 특히, 대규모 Vector DB 의 경우 SSD 에 저장될 가능성이 높기 때문에 Vector DB 가 변화하는 모습을 예상하고 이에 부합하는 SSD 특성 및 기술을 개발할 필요가 있음
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 연산 가능한 Memory <ul style="list-style-type: none"> - CXL Memory 기반 시스템 기능 가속 기법 및 구조 (zswap, Gabage Collector 등) - Memory 중심 AI 응용 가속을 위한 CXL 기반 PNM (Processing Near Memory) 구조 (Transformer, GNN 등) - Memory 중심 AI 응용 가속을 위한 PIM (Processing In Memory) 구조 (번역, 음성인식, ChatGPT 등) ② Composable Memory System <ul style="list-style-type: none"> - CXL Switch 기반 Node 재구성 기법 (Hot-Plug/Remove) - 차세대 CXL Switch 향 차별화 Feature 발굴 ③ Memory Pooling/Sharing Solution <ul style="list-style-type: none"> - Kubernetes 기반 Container 환경에서 메모리 자원 관리

	<ul style="list-style-type: none">- Partitioned Global Address Space(PGAS) 기반 메모리 공유 기법 <p>④ Vector DB 성능 고도화를 위한 SSD 특성/기술 연구</p> <ul style="list-style-type: none">- Vector DB 검색 특화 File System 연구- 대용량 Vector Index 검색 효율화를 위한 SSD 활용 기술- PIM(Processing In Memory) 기술을 이용하여 Vector DB 검색을 SSD 내에서 수행하는 기술
--	--

2) CMM-H System S/W 기술 및 응용 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 초거대 AI 모델 및 고성능 In-Memory DB 응용 등의 확산으로 대용량 메모리에 대한 요구 사항 증가 - CMM-H Prototype 을 활용한 고객 PoC 및 차세대 CMM-H 개발에 연구결과 활용
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Device 성능 향상을 위한 응용 및 SW 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Device 가 응용 및 Workload 에 최적화된 Caching 및 Prefetching 을 수행할 수 있도록 Device 와 Host 가 서로 Interaction 할 수 있는 Host SW 지원 방법 ② Computing 기능 Off-loading <ul style="list-style-type: none"> - Bandwidth 향상 및 Latency 감소 Computing 기능 발굴 - CXL I/F 를 활용한 효율적인 가속 기능 Off-loading 지원을 위한 S/W 기술 및 응용 ③ Disaggregated System 지원 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 다수의 CMM-H 연결 시 Scale Out Solution 및 Non-Deterministic 응답 특성을 고려한 CMM-H 자원 관리 방안 - 다수의 CMM-H 로 구성된 Disaggregated Storage System 을 지원하는 Distributed File System/Container 기술 설계 ④ File System 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - CMM-H 를 효율적으로 활용할 수 있는 Journaling 기법을 탑재한 파일 시스템 개발 - CMM-H 를 지원하는 Hot Pluggable 파일 시스템 개발

⑤ 보안 응용

- NAND 를 메모리로 활용 시 Nonvolatile 특성으로 발생하는 보안 문제를 해결하기 위한 SW 기술
- CXL 환경에서 비밀 컴퓨팅을 위한 분산 스토리지 SW 개발

3) On-Device Gen. AI 향 Storage/Algorithm 연구 및 IP 설계 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Mobile/Laptop/PC 등에서 On-device AI 의 활용 증가 - 단말의 음성, 문서 처리, 영상 처리 등 차별화 필요 - On-device AI 에 최적화된 Storage 및 NPU 연구를 통한 Client SSD/Mobile UFS 의 기능 강화 - On-device AI 시 사용자의 통화 및 문서 정보의 실시간 검색을 통한(RAG) Inference 능력 향상 - AI 최적화 및 경량화를 위한 On-device AI IP 설계 기술은 기기 자체에서 인공지능 연산을 수행하도록 하드웨어와 모델을 최적화해, 지연과 전력 소모를 낮추고 보안을 강화 - 스마트폰, IoT, 자율주행, 의료, 산업 자동화 등 다양한 분야에서 적용되어 클라우드 의존도를 줄이면서도 실시간 분석과 처리 능력을 향상
세부사례	<ol style="list-style-type: none"> ① Mobile/Laptop/PC 등에서 On-device AI 의 활용 시 Model 의 즉각적인 Loading 및 제약된 DRAM 에서 반복적인 Model Loading 능력 보강 ② On-device AI 의 NPU 기능 중 일부의 Storage 의 Off-loading 을 통한 기능 강화 연구 ③ Mobile storage 및 Client SSD 에서 사용자 민감 정보(통화 녹취, 문서, 사진 정보)의 실시간 검색(RAG)를 통한 Inference 정확도 향상 기능 연구

[응용사례]

① AI 시스템에서 최적화 효과

- 25년 상반기 Deepseek 는 AI 최적화를 통하여, ChatGPT 대비 10 배 이상 효율성을 향상

② 산업 자동화 및 로봇틱스

- 공장용 로봇이나 드론, 무인 이동 기기 등에 탑재되어 작업 환경을 실시간으로 인지하고 판단

③ 사물인터넷(IoT) 디바이스

- 클라우드 통신량 및 지연 시간을 줄이고, 중요 정보가 외부로 유출되지 않아 보안성 제고

④ 자율주행 및 자동차 전장 분야

- 차량 내부 센서(카메라, 라이다, 레이더 등)에서 얻은 정보를 자체 AI 프로세서로 실시간 분석

4) 차세대 SoC 향 설계 플랫폼

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - HPC, AI 및 기타 고사양 제품에 적용되는 차세대 SoC 는 Big Die 와 Heterogeneous Multi Die 를 사용한 고성능/고효율 Design 이 필요 - 메모리 BW(Bandwidth) 증가에 따라 HBM 탑재 수량이 증가하는 추세로 2.5D/3D 설계 기반 기술에 대한 니즈 증대
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 2.5D/3D 설계 <ul style="list-style-type: none"> - Die-to-Die Interconnection 을 위한 High-bandwidth Interface 설계 - 3DIC 전용 Testability (Die 간 연동성 기반 DFT) ② Big Die 설계 <ul style="list-style-type: none"> - High Power SoC(>1000W)향 설계 방법론 - 차세대 서버 SoC 향 Virtualization Solution 에 대한 Feature 발굴 및 관련 Solution ③ Machine Learning 기반 Advanced Design 방법론 <ul style="list-style-type: none"> - ML 기반 PPA Optimization - 설계 TAT 단축

5) 생성형 AI 向 가속기 구조, RISC-V 기반 SoC 설계 및 최적화

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Custom SoC for Algorithm to Hardware Holistic Optimization <ul style="list-style-type: none"> · Edge/Device 에서 생성형 AI 를 지원하는 전용 AI 가속기 구조 · RISC-V 기반 CPU/DSP Core 설계 및 Toolchain 지원 연구 - RISC-V CPU 컴파일러 <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 Custom Instruction 지원 및 성능 최적화 - AI 가속기 컴파일러 <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 가속기 구조 통합 지원 및 성능 최적화 - RISC-V 향 Platform 성능 및 효율 극대화로 RISC-V 기반 SoC 적용 제품 확대 (TV, 가전, 로봇, 네트워크 장비 등) - Linux 기반 최신 컴파일러 및 런타임 최적화 기술 확보
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① On-Device Deep Learning Model Optimization 기술 <ul style="list-style-type: none"> - DNN Quantization 등 Model Compression 기술 - Knowledge Distillation 등 On-device 向 Model Training 기술 - NAS 등 Automatic HW-Optimized Model Development 기술 - On-Device 向 Unsupervised Few-Shot Learning 기술 ② AI System Software 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Privacy 및 Personalization 위한 On-Device Training 기술 - Multi-Device 환경에서 Distributed AI Processing 기술 - IoT 기기를 위한 초경량 AI Runtime 기술

	<ul style="list-style-type: none"> - CPU / GPU / NPU 등 다양한 Backend 지원 AI Runtime 기술 - NPU Compiler Optimization 기술 <p>③ Custom HW Accelerator 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transformer-Based Model 최적화 AI Accelerator 기술 - Ultra Low Power Machine Vision Accelerator 기술 - Power Efficient Image & Video Processing Accelerator 기술 - Language & Voice Processing Accelerator 기술 <p>④ Custom SoC Architecture 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - Commercial Application End-to-End Workload Analysis 연구 - Mobile & Embedded Device 向 SoC System Architecture 연구 <p>⑤ 컴파일러 IR level 최적화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vector, Matrix 연산 등 자동 병렬화 - Instruction scheduling, register allocation 최적화 <p>⑥ 새로운 HW Accelerator 특성 반영 최적화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - Custom ISA 지원 속도 향상 및 리소스 감소 - 새로운 아키텍처의 특징 분석을 통한 맞춤 최적화 <p>⑦ 동적 Binary 최적화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실제 실행 환경의 데이터 흐름을 LLM 을 통해 실시간으로 분석해 JIT 컴파일 수행 과정에서 최적화 전략 변경 가능
--	--

- ⑧ GNU & LLVM Compiler RISC-V 향 최적화
 - Auto vectorization 최적 옵션 및 compiler 최적 기술 확보
 - PGO/LTO 최신 기술 확보 및 적용
 - LLVM 최적화 기술 GNU backporting
- ⑨ ARM Neon to RVV vectorization 전환 Tool 개발
 - Vectorization Code 자동 전환 Tool 확보로 Code 최적화 개발 시간 단축
- ⑩ .NET Runtime 최적화 및 분석 Tool 개발
 - .NET 8 기반 runtime 최적화 개발 (ARM 최적화 수준 성능 확보) 및 GC collection 최적화 기술 개발(공통)
 - Coredebug, Runtime diagnostic, Memory Profiler 개발
- ⑪ 64bit Architecture Memory Usage 최적화
 - ILP 32 지원 기술 개발로 64bit Long type data structure 구조로 인한 Memory overhead 개선(약 30% 절감 예상)

6) 차량용 SoC 설계

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 자동차의 Smart Device 화 및 자율 주행 차량 시장 확대 - 이를 위한 차량용 Infotainment SoC 와 ADAS SoC 필요
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① System Modeling 및 Performance Simulation <ul style="list-style-type: none"> - 제품 개발 전 필요한 Spec 을 만족하기 위한 System 을 미리 Modeling 하고, Application Level 의 성능 평가를 위한 Simulation ② SoC Safety 환경 구축 <ul style="list-style-type: none"> - Fault-campaign Platform 구축 - ASIL-D Grade 확보 - 주행 환경을 고려한 DVFS 및 Thermal Management - 동작 중 SoC Health 를 진단 ③ Multi-chip 연결 <ul style="list-style-type: none"> - 4 개 이상의 Chip 을 CCIX 나 CXL 을 통해 하나의 Coherent System 으로 연결 - 주행 환경에서 Chip 간 고속 Interface 의 안정성을 확보 ④ 설계 목표에 따른 구현 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 동일 설계물(RTL)로부터 High-end 제품은 Power, Area 를 소모하여 성능 극대화하고, Volume 제품은 성능은 낮추고 Area 최소화하는 등 여러 Segment 용 SoC 제품을 만들어 낼 수 있는 Backend - AI 기반의 Backend 최적화

7) AI 向 In-Network Processing 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 대규모 AI 응용의 훈련 및 추론을 위한 분산 컴퓨팅 환경에서, 일부 연산 기능을 네트워크 내부에서 수행하여 가속화하는 기술 - 데이터센터 안의 다양한 네트워크 장치의 가속 기능을 활용하여 클라우드 서비스의 효율성과 안정성을 향상시키는 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 집합 통신 (Collective Communication) 가속 <ul style="list-style-type: none"> - LLM 을 포함하는 다양한 AI 모델 훈련 과정에서 빈번하게 사용되는 AllReduce 등의 집합 통신을 네트워크 카드 및 스위치에서 수행하여 전체 성능을 향상시키는 기술 ② 네트워크 보안 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 암호화/복호화, 인증, 무결성 검사, 보안 모니터링 등의 기능을 DPU (Data Processing Unit) 내에서 수행하여 CPU 등의 연산 자원을 효율적으로 활용 ③ 가상화 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터센터 환경에서 여러 사용자의 네트워크 트래픽 처리를 위한 가상화를 네트워크 카드에서 지원하여 다른 자원의 효율성 향상

8) 저전력, 고성능, 고용량 Fine Grained HBM 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 AI GPU+HBM 구조에서 향후 ChatGPT, MoE 등 초고용량 AI model 를 활용하는 고용량 초성능 AI 메모리 응용 분야 - 고용량 SRAM 를 활용하는 Compute centric AI 응용에서 고용량 SRAM 를 대체할 수 있는 Staked DRAM 을 이용한 AI 응용
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① DRAM cell 에 인접한 TSV 로 이용하여 DRAM 내부의 data line 을 최소화한 Fine Grained DRAM Architecture 기술 ② HBM 의 TSV 의 개수 대비 10 배 이상의 TSV 를 분산 배치하여 전력 집중 문제를 해결하는 distributed many TSV 기술 ③ HBM 과 같은 Stacked 메모리의 Base die 에 Tiered memory 를 제어하여 고용량 메모리를 지원하는 Processing-Near Memory ④ 고용량 SRAM 을 이용하는 Compute Centric 응용을 위해 SRAM 과 유사한 에너지효율과 지연시간을 제공하는 Ultra Wide IO Staked 메모리 기술 ⑤ Rack 내의 제한된 전력 수준에서 고속 IO 를 지원하지 못하는 AI compute 구조에서, 주파수를 증가시키지 않으면서 data 분산 flow 와 coupling 을 해소할 수 있는 Wide IO management 기술

9) AI SoC 향 초고속 인터페이스 설계 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터센터 및 AI 가속기: GPU, TPU, NPU 간 초고속 데이터 전송으로 AI 연산 성능 극대화 - 자율주행 및 엣지 AI: 저지연 AI SoC 인터페이스로 실시간 센서 데이터 처리 및 AI 성능 향상 - 5G/6G 네트워크: 초고속 SerDes, 800G Ethernet, PCIe, CXL 로 AI 기반 네트워크 최적화 및 초저지연 데이터 처리 지원
세부사례	<p>① Beyond 224G Ethernet 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI, 머신러닝(ML)등의 급속한 발전으로 인해 네트워크 트래픽이 기하급수적으로 증가 - 현재 112Gbps/lane 기반의 400G 및 800G Ethernet 이 데이터 전송 속도의 한계에 도달 - PAM6/8 또는 Coherent Optics 방식으로 224G 가 2027 년 실사용 전망 - 224G Ethernet 이상의 초고속 인터페이스 기술 개발 필요 <p>② PCIe(PCI Express) 8.0 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현재 PCIe 7.0 이 2027 년 실사용 전망 (128GT/s/lane, 16 lane 기준 512Gb/s) - PCIe 기반 CXL(Compute Express Link)확산을 메모리 공유 및 확장 인터커넥트 표준으로 자리잡고 있으며 현재 Apple M3, Qualcomm Snapdragon 8 Gen.3 의 AI 및 AI 머신러닝 학습을 위한 GPU/TPU 인터페이스로 PCIe 의 사용이 증가하고 있음 - 2027 년 이후 대비를 위해 8.0 개발 필요 (256GT/s 예상)

구분	주요 내용
	<p>③ Analog Input/ Output 회로 설계 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory Tx/Rx I/O Path의 성능을 결정하는 Analog 회로 (CML Divider, Phase Splitter, Sense Amp 등) 설계에 있어 사양에 맞는 구조 결정, 소자 Sizing(PPA)에 AI/ML 기반의 진보된 방법론을 적용하여 최적 I/O 성능 구현 <p>④ 초고속 Link 기술에 필요한 IP Building Block 설계 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - PLL, DLL, Frequency Synthesizer, SerDes, ADC/DAC 기술 등 - DSP 디자인에 필요한 디지털 회로 설계 기술

10) 대용량 QLC SSD 응용 발굴 및 필요한 SW Stack 기술 연구

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Low Cost 대용량 QLC SSD 요소 기술 연구 - QLC SSD 시장 확대를 위한 응용 분야 발굴 - QLC SSD 를 사용하기 위한 Host Stack 기술 연구
세부사례	<p>① Low Cost 대용량 QLC SSD 요소 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - DRAM 사용량 감축을 위한 Map-Cache, Large Sector Size 관련 기술 - Meta Data Size 감축을 위한 FTL Mapping 기술 - Block Reclaim 이 정기적으로 발생했을 때의 최적 운용 기법 : 동작 시점, 속도 등에 대한 판단 기술 <p>② QLC SSD 시장 확대를 위한 응용 분야 발굴</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 Cold/Warm Storage 를 포함하여 가능한 시장을 발굴, 해당 시장의 Workload 로부터 QLC SSD 의 추가 최적화 방향 도출 <p>③ QLC SSD 를 사용하기 위한 Host Stack 기술 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - QLC SSD 의 낮은 Write Performance 를 보완하기 위해서는 Host Workload 정보를 활용한 최적화가 필요 - 기존의 Host Stack 에서 QLC SSD 친화적인 모습으로 전환하는 기술 개발

11) Storage 向 Embedded CPU 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Storage 제품의 CPU 의 경우, Load/Store operation 이 다수를 이루고 있으나 이 동작들의 TAT 가 길어 CPU 의 동작 효율 (CPI)이 떨어짐. 성능 향상을 위한 구조 연구 필요 - Storage 向 Embedded CPU(RISC-V)에 적합한 custom ISA 정의 및 이를 위한 HW 구조 연구 필요
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Storage 동작 최적화 Custom ISA 정의 및 Toolchain 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Storage 향 Embedded CPU 동작 분석 - Custom ISA 지원 가능한 Toolchain 개발 ② Custom ISA 을 고려한 CPU 구조 설계 <ul style="list-style-type: none"> - Custom Vector Extension 지원을 위한 Core 구조 및 Pipeline 구조 설계 - Storage Workload 에 맞는 Branch Prediction 구조 설계 - 설계된 CPU 에 최적화된 Backbone 설계 ③ Model 기반 설계 및 평가 환경 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Modeling 기반 설계 및 검증 방법론 연구 - Model 기반 최적화된 HW 생성 Compiler 개발

12) Energy-proportional Cloud Computing

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Energy-proportional Cloud 는 실제 Workload 요구에 따라 클라우드 서비스를 구성하는 인프라의 에너지 소비가 일치하는 클라우드 컴퓨팅 인프라로, 본 테마는 유휴 또는 낮은 작업량일 때 최소한(near zero)의 에너지를 사용하고 워크로드 증가에 따라 에너지 사용량이 필요한 만큼만 비례적으로 증가(energy proportionality) 하는 소프트웨어 기반의 클라우드 인프라 자원 관리 기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 초고에너지효율로 지속 가능한 클라우드 인프라 구현 · Massive scale AI 用 GPU Cluster 의 에너지 효율적 서비스 구현
세부사례	<p>① Intelligent Software-driven Power Management for Cloud GPU Clusters</p> <ul style="list-style-type: none"> - GPU 클러스터는 AI 모델 학습 및 추론에 필수적인 클라우드 인프라도, 클라우드 데이터센터 뿐만 아니라 전세계의 주요 전력 소비원으로 이에 대한 효율화가 매우 중요 - 지능적인 전력 관리를 통해 클라우드 운영 비용을 절감하고, 환경 친화적인 AI 인프라를 구축할 수 있으며, 대규모 GPU Workload (예: AI 학습, 추론)를 위한 소프트웨어 기반 전력 관리 기법을 연구하며, workload 특성 및 시스템 활용도에 따라 동적으로 전력 소비를 최적화하는 기술을 개발 - AI/ML 기반 예측 알고리즘 등을 활용하여 GPU 자원을 능동적으로 컨트롤하여 에너지 효율성을 극대화를 기대

구분	주요 내용
	<p>② Cloud-native Disaggregated Storage with Near-Data Computing for Energy-efficient Computing</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 클라우드 스토리지의 비효율성을 해결하기 위해 소프트웨어 정의 분산 스토리에 Near-Data Processing 을 통합 - 스토리지 Endpoint 에서 Near-Data Processing 을 활용하여 데이터 이동을 최소화하고, 스토리지 중심 워크로드의 에너지 소비를 획기적으로 감소시켜 에너지 효율 증대를 기대 - 데이터 중심 워크로드의 전력 소비를 20~30% 절감과 삼성 SDS 같은 CSP 의 스토리지 성능 향상 및 네트워크 부하 감소를 통해 지속 가능한 대규모 클라우드 인프라 구축과 운영을 공헌 <p>③ Energy-proportional memory subsystems for Cloud Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - 클라우드 인프라를 구성하는 서버의 메모리 서브시스템 energy proportionality 를 향상시키기 메모리 관리 기술의 연구 - 메모리 용량 할당, 페이지 배치, 계층형 메모리 관리 (DRAM, Persistence 메모리, NVMe 기반 스토리지 포함), 미사용 메모리 모듈의 전력 등을 제어하여 메모리 워크로드의 에너지 소비를 최적화 - 서버의 메모리는 전체 전력 소비의 20~30%를 차지하며, 특히 DRAM 은 energy proportionality 이 낮아 idle 이나 workload 가 낮은 상태에서도 상당한 전력을 소비하므로

구분	주요 내용
	<p>소프트웨어 기반 동적 메모리 제어를 통해 불필요한 전력 소비를 최소화 필요</p> <p>④ Energy-efficient Software-defined Datacenter Network</p> <ul style="list-style-type: none"> - 클라우드 데이터센터 네트워크의 에너지 효율성을 향상시키기 위한 SDN 아키텍처에 대한 연구 - 실시간 트래픽 수요, 워크로드 패턴, 에너지 메트릭을 기반으로 라우팅 경로, 대역폭 할당, 트래픽 스케줄링을 동적으로 조정함으로써 네트워크를 구성하는 요소들의 에너지 소비를 최적화하고 불필요한 에너지 낭비를 최소화 - 클라우드 네트워크 인프라는 전체 데이터센터 전력 소비의 상당 부분을 차지하며, 비효율적인 트래픽 관리로 인해 많은 에너지가 낭비되고 있다고 알려져서 본 연구를 통해 네트워크 전력 소비를 줄여 삼성 SDS 같은 CSP의 환경 지속 경영 가능성을 개선

13) Python 코드분석을 위한 중간언어(IR) 연구

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Python 코드의 수학적 분석 및 변환 기술의 원천기술 마련 - 수학적으로 정확한 Python IR은 학계/산업계에 의미가 큼 - Python 프로그램(AI 에이전트 등)의 안전성 및 신뢰도 향상
세부사례	<p>① 성능 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - Python 코드를 의미론적으로 동일한 실행파일로 변환하여 성능을 향상시키는 컴파일러 개발을 용이하게 함 - Python 코드의 정확한 의미를 반영하는 분석이 가능하여, 연산 최적화, 상수 폴딩 및 루프 최적화 등 가능 <p>② 품질 분석 및 향상</p> <ul style="list-style-type: none"> - 프로그램 의미를 명확히 표현하여, 버그, 취약점, 성능을 분석하는 정적 분석기 개발을 용이하게 함 - 수학적인 Python 코드 해석 및 합성이 가능하여, 코드의 성능을 자동으로 개선하는 Optimizer 개발을 용이하게 함 <p>③ 이식성 및 상호운용성 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - Python 코드의 의미를 수학적으로 정확히 표현 가능하게 되어, 타 언어 변환(크로스 컴파일)이 용이하게 됨. <p>④ 개발 생산성 향상</p> <ul style="list-style-type: none"> - 프로그램의 실행 흐름을 명확하게 하여 복잡한 버그를 찾고 수정하는데 활용 <p>⑤ 머신러닝 및 딥러닝 프레임워크 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - IR을 기반으로 다양한 머신러닝 프레임워크 간의 변환 및 최적화 지원 가능

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - Python 으로 작성된 머신러닝 및 딥러닝 프레임워크를 기계어로 변환하여 성능 개선 가능 - GPU 나 TPU 와 같은 특수 하드웨어에 최적화된 머신 코드를 IR 을 기반으로 생성하여 학습 및 추론 속도를 향상

6. 차세대 디스플레이

1) AR glass 향 uLED Display 구동 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - '27년 주요 스마트폰 업체에서 uLED display 채택한 AR glass 출시 예정 - 차세대 uLED display 향 backplane 및 구동 기술 개발 필요
세부기술	<ul style="list-style-type: none"> ① Pixel 설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> - High density Pixel 구동 기술 - RGB 전류 보정 기술 - 고장 Pixel 검출 기술 - Pixel 정밀 구동 기술 ② PKG 기술 <ul style="list-style-type: none"> - LED W/F 와 Silicon driver W/F 접합 기술 ③ Image 처리 기술 <ul style="list-style-type: none"> - AR 용 image 用 저전력기술 - 패널 휘도 균일도 향상 및 색편차 감소 기술 - Lens 광학 특성 보상 기반 색수차 감소 기술 ④ Interface 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Low power, Low size Image data serial I/F 기술 ⑤ 공정 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Small size 를 위한 공정 최적화

2) OLED IT 向 pDDI+TCON Total 저전력 솔루션 고해상도 고속 구동 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 세트 업체에서 18 인치 급 11bit 높은 해상도와 240Hz 이상의 고 주사율이 적용된 Foldable/Gaming 용 제품 출시에 따라 세트 스펙 대응에 활용함
세부기술	<ul style="list-style-type: none"> - IT 차세대 디스플레이로서 OLED 를 적극 채택하는 추세로 전환함에 따라, 고해상도, 고주사율, 고전압 OLED 를 구동할 수 있는 저전력 pDDI/TCON 기술의 확보가 필수적임 <p>[pDDI]</p> <p>① 설계 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 11bit 이상 고해상도 구동 기술 - 240Hz 이상 고주사율 구동 기술 - 18 인치 이상 대형 패널 구동 기술 - 다채널(2400 채널), 고전압(9V), 초 고속 구동 기술 - Multi-IC(6~8ea), 저 옴셋 출력 편차 기술 <p>② PKG 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다채널(2400 채널), 고전압(9V), 방열을 위한 film 기술 - 다채널(2400 채널) test 를 위한 film 기술 <p>③ Interface 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고속(4Gbps), 저전력 I/F 기술

[TCON]

① Interface 설계 기술

- 고속 (Rx 13.5Gbps / Tx 4Gbps), 저전력 소비
- Low latency / Visually Lossless 압축 기술

② 설계 기술

- 고해상도, 고주사율 구동을 위한 기술
- Foldable / 240Hz 통합 구동 기술
- Foldable touch 동작을 위한 설계 기술
- 다수의 고품질 IP Integration 위한 저전력 설계 기술
- 패널 특성 보상 기술
- Security 강화를 위한 secure-boot 기술

③ 공정 기술

- 선단 공정 (8 nm, 4 nm) 적용한 저전력 layout 기술

3) 차세대 디스플레이 차별화 요소 기술

구분	주요 내용
활용분야	- 디스플레이 고품위, 고성능 소재/부품/공정
세부기술	<p>① 저반사/고내구/Self-healing 표면처리 고품위 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초저반사 표면처리로 외광 반사 시인성 개선 - 고강도 표면처리로 Glass like 한 경도 구현 - Self-healing 기능을 통한 Ultra Sleek 표면 유지 <p>② 고성능 新 부품/소재/공정 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 윈도우 Glass/UTG 대체 가능한 Resin 등 신소재 - 구조 단순화 복합 Layer 및 超 Slim 부품 - 열/압력없이 가능한 新 본딩 소재/공법 기술

4) 차세대 디스플레이 신규 폼팩터 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 디스플레이 기존 폼팩터 성능한계 극복 新소자/소재/공정 - 다양한 모바일 form factor 변화에 대응하기 위한 기능성 신소재 <ul style="list-style-type: none"> · 얇고 가벼운 제품을 구현하기 위한 고강성 저비중 금속 소재 · 외부충격에도 쉽게 깨지지 않는 고강성 폴리머 소재 · Display 면을 보호할 수 있는 내충격 필름 및 코팅 소재
세부기술	<ul style="list-style-type: none"> ① 고휘질/초전력 반사형 디스플레이 소자 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 자연광 內에서 시인성 우수 및 초저전력 가능한 기술 - 사용 환경에 따른 자발광(OLED 등)/반사형 스위칭 기술 ② 입체형 디스플레이 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 패널 內 광경로/광분포 Control 광학 소자 - Broadband 영역 대응 광소자 설계/제작 기술 ③ Stretchable 화소/구동 및 소재기술 <ul style="list-style-type: none"> - 고해상도 Strectchable 화소 회로/구동 기술 - 저저항, 超고연신 배선 재료 - 고연신, 고복원 윈도우, PSA 等 모듈 부품 ④ 고강성 폴리머 소재 <ul style="list-style-type: none"> - 외부 충격에 강한 Unbreakable 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 낙하, 뒤틀림, 찍힘 등에 잘 깨지지 않는 Rigid 한 소재 · Glass 에 근접한 내 Scratch 성능 기술 - 원하는 디자인을 쉽게 구현할 수 있는 성형 가공 기술

⑤ 내충격 필름 및 코팅 소재

- 폴더블 Flexible Display 면 보호를 위한 필름 소재 및 코팅
 - 내충격, 내마모, 투명성
 - 접힘 반복을 견딜 수 있는 유연성 확보 (Crack 내구성)
- 박막 두께 구현
 - 폴딩부 접힘 자국 개선을 위한 최소 필름 두께 확보 기술
 - 박막 코팅막을 고르게 도포할 수 있는 기술

5) 투명 디스플레이 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차량, 퍼블릭 공간, 가정 등 주변의 유리창을 엔터테인먼트, 정보, 광고 등의 콘텐츠를 제공하는 매개체로 만들어 줌으로써 새로운 미디어 경험을 제공
세부기술	<p>① 투명 디스플레이/스크린 소재 및 공정 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고투과율 투명 디스플레이 구현을 위한 광학/소재 기술 - 고명암비를 위한 광학 구조 설계 - 대면적화를 위한 공정 기술 - 프로젝션 방식 투명 디스플레이를 위한 스크린 기술 <p>② 투명 디스플레이를 위한 interaction 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고투과율 투명 디스플레이의 touch 및 원거리(공중) interaction을 위한 센서 설계 기술 - 투명 디스플레이 내장 센서를 위한 소재 및 공정 기술 - 저해상도 센서를 이용한 Gesture, Object 인식을 위한 영상 처리 기술

6) Immersive 영상 디스플레이 광학 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 초소형/고효율 광학 기술을 통한 HUD, 로봇, AR 기기 등 적용이 가능한 새로운 Form-Factor 의 디스플레이 개발
세부기술	<p>* Immersive 영상 디스플레이: Hologram, Light-Field, Floating 등을 포함하며, 화면이나 매체가 없이도 공중에 영상을 띄워 보여주는 기술</p> <p>① 회절 광학 소자 설계/제작 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 광학계의 크기를 줄이기 위한 회절 광학계 설계 기술 - 회절 격자 패턴의 초정밀 및 대면적화 공정 기술 - Active 패턴 제어가 가능한 회절 광학 소자 기술 <p>② Holographic Display 용 표시 소자 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수백 nm 수준의 미세 픽셀을 가진 위상 변조 표시 소자 기술 - 초고해상도 표시 소자의 Driving 기술 <p>③ 광원 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 프로젝션 방식 디스플레이를 위한 초소형/低 Speckle/고효율 레이저 광원 기술

7) 현실/가상 구분이 어려운 차세대 실감 인터랙션

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 몰입 가능한 고실감/임장감 디바이스 및 서비스에서 기존의 보고 듣는 시청 경험을 넘어서, 직접 느끼고 상호작용 할 수 있는 Interactive 미디어 경험을 제공을 위한 차세대 실감 인터랙션 기술
세부기술	<p>① 촉각 인터랙션 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사용자가 느끼는 촉각 자극 인식/표현 및 원격지 사용자들 간 촉각 경험의 공유를 제공하는 기술 - 인간 감각과 동등한 수준의 촉각 인식/표현이 가능한 센서/액츄에이터 및 알고리즘 - 착용 거부감 없이 편리하게 사용 가능하고 공간 상에서 실감 미디어 경험을 제공하는 글로브, 슈트 등 착용형 기술 - 스마트폰, TV, 대화면 스크린 등 디스플레이 상에서 실감 미디어 경험을 제공하는 비접촉식 촉감 디스플레이 기술 <p>② 내추럴 의도 인식 및 피드백 결정 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 명시적/비명시적 사용자 인터랙션 의도를 자연스럽게 정확하게 인식하기 위한 인터랙션용 센서 및 AI 기술 - 파악한 사용자 의도 및 상황(사용자, 주변 환경 등)을 고려한 최적의 피드백을 제공하는 인터랙션용 액츄에이터 및 AI 기술

7. 차세대 통신

1) 5G-Adv. 및 6G 통신 기술

구분	주요 내용
활용분야	- 차세대 통신 기지국 및 단말
세부사례	<p>① 에너지 절감 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기지국 전력 증폭기 효율 향상을 위한 저전력 초광대역 Envelope Tracking 기술 - 높은 PAPR 대응 가능한 고효율 초광대역 기지국 파워앰프 설계 기술 <p>② 커버리지 확장 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경로 손실이 높은 중고주파 대역(7~15GHz, mmW 대역 등)에서 통신 커버리지를 개선하는 RF, Antenna, Baseband 기술 <p>③ FDD 주파수 효율 향상 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상대적으로 낮은 경로 손실로 셀간 간섭이 높은 FDD 주파수 대역(800MHz, 1.7/1.8/1.9GHz 등)의 통신 성능 개선 기술 <p>④ AI-RAN 통신 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI 를 활용하여 기지국의 송/수신 성능과 복잡도를 개선하는 RF/모뎀/스케줄러 알고리즘 - Network 정책(Policy), 서비스 별 요구사항 등을 고려해 망 관리를 자동화/최적화하는 기술

2) 6G 핵심 기술개발 및 AI/ML 기반 모뎀 기술 확보

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 이동통신 시장에서의 주도권 확보를 위해 한발 앞선 기술개발 및 표준 선점이 필요하며, 이를 위한 6G 핵심/원천 기술 개발이 요구됨. - 차세대 이동통신 단말 및 기지국
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 초대역 무선통신 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - THz 대역 RF 핵심 부품 기술 개발 - Tbps 급 무선통신 기술 개발 - THz 대역 인체 안정성 평가 기술 개발 ② 광대역 고이득 안테나 설계 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - mmWave 통신용 안테나의 기본 구조인 Patch 안테나를 대체할 수 있는 안테나 구조 기술 연구 ③ 재구성 안테나 설계 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 주파수/Beam 패턴 등을 재구성할 수 있는 안테나 설계 기술 - 단일 안테나를 통한 안테나의 공간 절약 및 mmWave 통신 성능 개선 기대

8. Advanced AI

1) Transformer 대체 미래 신경망 구조 연구

구분	주요 내용
활용분야	- 모바일/차량/가전/로봇 등 On-device AI 응용
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① Transformer의 한계를 극복할 수 있는 새로운 신경망 구조 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 예. Mamba, Jamba 등 ② 고효율 신경망 및 추론 기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 추론 구조 (Mixture of Experts, Speculative Decoding 등) - 추론 데이터 길이 제한 극복 (Long Context LLMs 등) ③ 미래 신경망 구조에 최적화된 신경망 가속기 (NPU) 및 AI S/W 개발

2) 생성형 AI의 성능/효율성 향상 및 안전성 보장 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 생성형 AI 서비스의 효율 개선, 모달리티 확장 및 미래 인터랙션 응용 개발과 서비스 안정성 보장을 위한 기술
세부기술	<ul style="list-style-type: none"> ① On-device 활용에서의 거대 언어 모델 효율성 개선 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 거대 언어모델 학습 기술 (Pretrain/Fine-tune/RL) - 대규모 학습 데이터 정제, 생성, 개선 기술 개발 - On-device 구동을 위한 LLM 구조/ 크기/ 성능 최적화 ② 이종 모달리티 모델 결합을 통한 모달리티 확장 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Image, Video, Speech 입출력이 가능한 Foundation 모델 기술 - 멀티모달 입력을 위한 Long context 지원 기술(1M 토큰 이상) - 텍스트 입력을 통한 Image/Video 생성 기술 ③ 생성형 AI 기반 미래 인터랙션 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - On-device LLM 기반의 기기 제어 및 명령을 수행하는 에이전트 기술 - LLM 과 Symbolic Reasoning (Knowledge Graph, Symbolic Solver, 추론 강화 학습 등)을 유기적으로 결합해 논리 추론 능력을 개선하는 기술 ④ 생성형 AI 의 Safety 확보를 위한 기술 <ul style="list-style-type: none"> - Hallucination 제어, Fact Verification 기술 - HAP (Hate, Abuse, Profanity), Bias, 민감 내용 생성 제어

- | | |
|--|---|
| | <p>⑤ 생성형 AI 를 활용한 모바일, 가전, 디스플레이 등
제품군별 시나리오 발굴</p> <ul style="list-style-type: none">- 사용자 공간과 일상에 가치를 더하는 사용 경험 발굴- 신규 제품 제안 및 가정 내/외 적용 시나리오 발굴 |
|--|---|

3) On-Device AI 보안

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - AI 모델 저작권 보호 - AI 모델에서의 개인정보 보호 - AI 모델에 대한 악의적인 외부 행위자의 위/변조 방지
세부기술	<ul style="list-style-type: none"> ① AI 모델 보호 기술 <ul style="list-style-type: none"> - AI 모델 암호화 및 난독화 <ul style="list-style-type: none"> · 실행 시 AI 모델 복호화, 신경망 구조 난독화 - 보안 영역에서 AI 모델 실행 및 성능 확보 - AI 모델 워터마킹 기술 ② 데이터 및 개인정보 보호 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 프라이버시를 보장하는 데이터 수집 및 분석 기술 - 민감 데이터 학습 시, 프라이버시 및 성능 보장 - AI 모델에서의 개인정보 추출 방지 기술 ③ 적대적 공격 방어 기술 <ul style="list-style-type: none"> - AI 모델에 대한 적대적 공격 인식 기술 - Explainable AI 기반 이상 동작 탐지 기술

4) 미래형 정보 압축

4-1) End-to-End(E2E) AI 영상 압축

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 영상 미디어 제품 및 부품 (스마트폰, TV, SoC, 카메라 等) - 영상 미디어 서비스 (방송, OTT, 화상통화, 클라우드 等)
세부사례	<p>① E2E AI 기반 영상 코덱</p> <ul style="list-style-type: none"> - 40년간 유지된 기존 신호처리 기반 코덱의 구조적 변화 - E2E AI 학습을 통한 기존 MPEG 표준 코덱 대비 압축 성능의 도약 - 高연산 문제를 극복한 低복잡도 E2E AI 영상 코덱 구조 <p>② Pre-and-Post (PNP) AI 기반 영상 코덱</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 신호처리 기반 코덱에 전/후처리를 담당하는 AI 모델을 추가하여 압축 성능의 비약적 향상 - 기존 코덱 표준과 연동이 가능한 호환성 높은 AI 기반 영상 압축 코덱 구조 <p>③ AI 기반 영상 화질 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인간의 주관적 평가 능력을 모사하는 AI 기반 영상 화질 평가 모델

4-2) End-to-End AI 오디오 압축

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 오디오/음성 제품 및 부품 (스마트폰, TV, SoC, EarBuds 等) - 오디오 미디어 서비스 (방송, 음원 스트리밍, 음성통화 等)
세부사례	<p>① E2E AI 기반 무손실 오디오 코덱</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현존 무손실 오디오 코덱의 압축 성능 한계에 도전 - 96KHz 24bit 지원을 통한 마스터링 (MQS) 음질 제공 - 高연산 문제를 극복한 低복잡도 E2E AI 무손실 오디오 코덱 구조 <p>② E2E AI 기반 초저비트율 음성 코덱</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1kbps 급 초저대역폭에서도 음성을 전송할 수 있는 E2E AI 기반 초저비트율 음성 코덱 - 위성, P2P 等 대역폭 제한적이며 위급한 통신 상황에서도 자연스러운 음성 통화를 가능케 하는 기술 <p>③ AI 기반 오디오 및 음성 품질 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인간의 주관적 평가 능력을 모사하는 AI 기반 오디오 및 음성 품질 평가 모델

4-3) Foundation AI 모델의 무손실 압축

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - AI 모델 활용 제품 및 부품 (스마트폰, TV, SoC 等) - Foundation Model 기반 AI 서비스 (채팅, 추론, 비전 等)
세부사례	<p>① 저용량 메모리 기반 거대 Foundation Model (FM) 동작을 위한 AI 모델 무손실 압축</p> <ul style="list-style-type: none"> - GB 급 용량의 언어모델 및 비전모델의 무손실 압축으로 거대 FM 기반 On-Device AI 의 현실화 - 모델 양자화에 의존하지 않는 AI 모델 압축 알고리즘 - 현존 주요 대용량 FM 모델에 효율적인 무손실 압축 기술 <p>② 부분 AI 연산을 가능하게 하는 뉴럴 네트워크 모델 포맷</p> <ul style="list-style-type: none"> - 메모리 사용량 감소를 위한 AI 모델의 부분 로딩 기술 - AI 모델 파라미터의 고속 Random Access 알고리즘

4-4) 유전체 기반 데이터 압축

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - DNA Synthesis 및 Sequencing 제품 및 유전체 저장 장치 - 차세대 초거대용량 데이터 센터 및 클라우드 - 의료기관내 저전력 및 지속 가능한 Long-term 저장 장치
세부사례	<p>① DNA 분자 구조를 이용한 정보 압축 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - DNA 의 A/C/G/T 심볼 기반 무손실 정보 압축 - 외부 환경으로 인한 분자 구조 변화에 강인한 압축 및 복원 알고리즘 - 부분 정보 복원을 위한 Random Access 가능한 포맷 구조 <p>② DNA 기반 정보 저장 시스템</p> <ul style="list-style-type: none"> - DNA 분자 구조 기반 정보 압축 기술과 Synthesis 및 Sequencing 기기의 효율적 연동 - 지속 가능한 저전력/저탄소/고집적 DNA 저장소 기술 <p>③ 정보의 영구 보존 가능한 초거대용량 데이터 센터</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대용량 전력 없이도 1000 년이상 중요 정보 보관 가능한 데이터 서비스 및 초거대 AI 학습 데이터 저장용 서버 - 의료기관내 생애 보관이 필요한 개인 의료 정보 저장소

5) Long Context와 Long-term Memory를 지원하는 LLM Inference 가속 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 메모리 활용 LLM 추론 가속 <ul style="list-style-type: none"> · LLM 추론에 최적화된 DRAM 및 Storage 활용 - LLM 추론 서비스 최적화 <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 서버 지원 및 성능 최적화
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① KV Cache 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - Dynamic KV 캐시를 통한 메모리 사용량 최적화 - KV 캐시의 압축/해제를 통한 연산 최적화 ② CXL Memory 를 활용한 캐싱 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - Long Context 의 큰 KV 캐싱을 위해 CXL 메모리 활용 - CXL 메모리 맞춤 캐싱 및 연산 최적화 ③ 다양한 GPU 및 서버 지원 서비스 <ul style="list-style-type: none"> - LLM 추론을 Prefill 서비스/ Decode 서비스 분할 - 서버 스펙에 맞는 맞춤형 서비스 지원

9. 차세대 배터리

1) 초고에너지밀도, 초저가 차세대 전지

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - UAM, 드론, 전기 추진 무인항공기 등 경량 요구되는 Air craft - 초저가, 극저온, 고출력 등 차별화 Application 적용
세부사례	<p>① 超경량 리튬황 전고체 배터리 (초고에너지밀도 > 500Wh/kg)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이온 전도도가 향상된 조성을 기반으로 중량당 에너지밀도 극대화한 양극 개발 필요 (전극용량: 6 mAh/cm² ↑, 황 무게당 용량 1,200mAh/g ↑) - 수명(1,000 회 ↑) 및 고출력 특성 극복 필요 - 양극 복합체 및 전고체 전해질 소재 간 계면 저항 개선 필요 - 고체전해질층과 음극의 계면 안정성 필요 <p>② 無가압 리튬메탈 배터리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 별도 가압 장치없이 균일한 Li plating/stripping 을 유도할 수 있는 高에너지밀도(> 1,000Wh/L) 리튬메탈 전지 개발 - 리튬메탈 표면과 전해질 간 부반응 억제 및 Dendrite 형성을 억제할 수 있는 전해질, 계면 및 보호막 기술 개발 필요 <p>③ 超저가 나트륨메탈 배터리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 나트륨 이온 구조의 한계를 넘는 에너지밀도 500Wh/L 이상의 나트륨메탈 음극 개발 필요 - 나트륨메탈 Dendrite 를 억제할 수 있는 음극 및 전해질 요소기술 개발로 셀 안전성 확보 필요

2) 전지 안전성 향상, 진단, 개선 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - xEV 용 배터리 셀 및 팩 BMS, ESS 배터리 시스템 BMS
세부사례	<p>① Cloud 향 BMS 를 위한 AI 기반 안전성 이상 조기 예측 모델</p> <ul style="list-style-type: none"> - Battery Pack 의 발연/발화 등 안전성 이상 검출력 향상 & 과검을 감소 - xEV 배터리 사용 중 안전성 Event 사전 감지하여 사고 방지 <ul style="list-style-type: none"> · 사용 중 데이터 확보가 어려운 전기차 배터리 조기 진단 · 전기차 내장 BMS 의 H/W 한계를 고려한 진단 기술 - 대규모 ESS Site 의 화재 방지를 위한 배터리 이상 조기 진단 <ul style="list-style-type: none"> · 수 천개 배터리가 설치되는 ESS Site 의 이상 조기 진단 · 모듈이나 셀 단위로 이상을 진단하여 BMS 에서 대응 - 배터리 이상 100% 검출 & 과검을 20% 이하 충족 필요 <ul style="list-style-type: none"> · 안전성 이상의 경우, 100% 사고 발생 전 사전 검출 필요 · 100% 검출을 하면서 과검을을 최소화할 수 있는 기술 - 이상 진단 뿐 아니라, 진단 결과를 설명할 수 있는 AI 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 이상 여부 판단을 넘어서 어떤 원인인지 진단 가능한 기술 · 진단 결과를 바탕으로 자동 조치 혹은 당사로 알람 가능 - Cloud 향 BMS 혹은 On-board BMS 에 적용 가능한 AI 모델 <ul style="list-style-type: none"> · H/W, S/W 한계를 극복하기 위한 Cloud BMS 이상 진단 기술 <p>② 고안전성 리튬 배터리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 리튬이온전지와 동등 이상의 성능(에너지밀도, 수명, 충방전 속도, 출력 특성 등)을 구현하며 열폭주 차단/지연, 비발화 구현 등 안전성이 향상된 전지

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - 고안전성 전극 및 전해질 소재, 계면 안정화, 전극 및 셀 설계, 팩 설계, 구조 개선 기술 등 - 전지 발화 및 안전성에 대한 새로운 이해를 제공할 수 있는 분석 및 해석 기술

3) AI 기반 전지 소재向 소재개발 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 유/무기 소재(활물질, 전해질 등) 및 공정 개발 - AI 기반 Material Discovery Platform 구축
세부사례	<p>① 고속 계산: 제일원리기반 소재 DB 구축 및 AI 모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제일원리계산 기반 전지 소재 물성, 상호작용, 반응 계산 및 상평형 해석 기술 - 제일원리계산 전과정 (계산 인풋 생성, 계산, 인자 추출) 자동화 및 고속화를 통한 데이터베이스 구축 기술 - 데이터베이스 딥러닝을 통한 물성 예측 모델 개발 - MLIP(Machine Learning Interatomic Potential) 개발 및 최적화 기술 <p>② High Throughput Screening: 빠른 소재 검증 및 DB 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - SDL(Self Driving Lab) 구축 기술 - 전지 유/무기 소재 합성 자동화 - 전지 소재 특화 High-Throughput 기반 합성 기술 및 XRD 등 소재 평가 기술 - High-Throughput 기반 셀 제작 기술 및 셀 평가 기술 - High-Throughput 기반 소재 및 셀 데이터 실시간 모니터링 기술 및 추출 자동화를 통한 데이터베이스 구축 기술 - 로봇과 소통할 수 있는 LLM(Large Language Model) 개발

구분	주요 내용
	<p>③ 생성형 AI</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소재/물성 딥러닝을 통한 물성→소재 생성형 AI 모델 개발 - 소재/물성/성능 딥러닝을 통한 성능→소재 생성 모델 개발 - 합성 가능성 및 합성 루트 포함 - 기술문서(특허, 논문, etc)로부터 LLM을 통해 DB 구축기술

10. 미래 에너지/환경 솔루션

1) 탄소 포집/전환 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 탄소 중립 실현을 위한 탄소 포집 기술 - 탄소 중립 실현을 위한 탄소 및 온실가스 전환 기술
세부사례	<p>[탄소 포집 기술]</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 저에너지 CO₂ 포집을 위한 신규 흡수/흡착 소재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소재 시뮬레이션 설계-합성-평가-최적화 통합 연구 - 저에너지 재생 가능한 비아민계, 저수계 등 신규 포집소재 개발 ② 대기중 극저농도 CO₂ 제거를 위한 신규 흡착 소재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 선택성 증가를 위한 수분 제거 흡착용 소재 또는 수분 경쟁흡착 제어 소재 설계 연구 - 화학/물리 흡착 외 Redox-active electrosorbents 발굴 ③ 포집 효율 향상을 위한 생체모방 기능성 소재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 생체분자 모사(Bio-mimetics, 효소 모사) 기반 고성능 고내구성 촉매 및 이를 이용한 CO₂ 포집/전환 기술 개발 ④ 고분자계 CO₂ 포집 소재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고선택도, 고투과도를 가지는 기체분리막 개발 - Wetting 이슈 극복 저저항성 기액접촉막 (멤브레인 컨택터) 개발 - 무기/고분자, 바이오/고분자 등 신규 복합소재 설계

⑤ 신규 CO2 포집 기술 개발

- 기존 흡착/흡수 기술의 융복합 또는 ESA (전기스윙) 등 신규 개념의 포집 기술 연구
- 소형화 가능한 고효율 포집 시스템 개발

[탄소 전환 기술]

① 저에너지/고효율 CO2 전환 기술(Carbon Upgrading)

- CO2 를 전환하여 연료 또는 고부가치 물질로 전환하는 저에너지/고효율 CO2 전환 촉매 개발
- 다양한 에너지원과 반응 단계를 활용하여 에너지 효율을 최대화 시킬 수 있는 CO2 전환 시스템 개발 (예: 전기화학, 열화학, 광화학 등 여러 반응을 통한 고부가 가치 화합물 생산 기술)

② CO2 포집-전환 통합기술 (Integrated CO2 Capture and Conversion)

- CO2 포집 후 재생-분리-응축 단계를 생략하고, CO2 흡수 형태로 바로 다른 물질로 전환시키는 CO2 전환 기술 (예: reactive capture and conversion, carbonate electrolysis 등)
- CO2 포집-전환 통합 기술에 사용되는 소재 (촉매, 분리막, 전극 등) 및 시스템 개발
- 전기화학, 열화학 등 제한 없음

③ 재생에너지-CO2 전환 시스템 복합화 기술

- 부하변동성이 큰 재생 에너지(태양광 발전 등)를 효율적으로 사용할 수 있는 전기화학 전환 시스템 개발

2) 그린수소 생산 기술

구분	주요 내용
활용분야	- 그린수소 생산을 위한 수전해 기술
세부사례	<p>① 차세대 고체산화물 공전해 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - SOEC 는 고온에서 CO₂ 와 H₂O 를 동시에 전해하는 공전해 (co-electrolysis) 반응을 통해 e-fuel 합성에 필요한 합성가스(CO + H₂) 생산이 가능하나, 기초연구 단계임. - CO₂ 전해/공전해의 주요 열화원인인 불완전 환원에 의한 탄소 침착(카본코킹) 억제 및 CO₂ 가 CO 로 전환되는 RWGS 반응 제어를 통해 고내구성 구현을 위한 신규 전극촉매 소재 설계 및 셀 구조 최적화 연구 필요 → 탄소중립 및 무탄소 청정연료(e-fuel) 제조 기술로의 확장이 가능한 차세대 SOEC 기술 개발 <p>② PCEC(프로톤 전도성 세라믹 수전해) 소재/셀 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 산소이온전도성 세라믹 대신 수소이온전도성 세라믹 전해질막을 사용한 차세대 고체 전해질 수전해 기술 - 고온 소성이 필요하고, 내구성이 낮다는 문제 있음 - PCEC 의 낮은 소결성을 극복할 신규 전해질 소재 및 소결공정 개발 필요 - 고안정성 프로톤전도성세라믹 소재 및 셀 개발 필요 → 높은 이온전도도와 내구성이 가지는 수소이온전도성 세라믹 소재/셀/공정 기술 개발

③ reversible SOC(rSOC, 가역 고체산화물 셀) 기술 개발

- FC/EC 양방향 전환 운전에 의한 열화 최소화 전극 기술 및 수요지 맞춤형 성능비(SOFC:SOEC) 조정 셀 기술 개발 필요
- rSOC 셀의 내구성평가 및 수명예측 기술 개발
- rSOC 구동 시 발생하는 발/흡열에 강건한 스택설계 기술 (반복적인 열팽창/수축에 의한 집전손실 최소화 설계)
 - rSOC의 경제성 확보를 위한 재생에너지의 간헐성 대응 및 FC/EC 전환운전에 따른 열화에 강한 고내구성 rSOC 전극(소재, 구조)/셀 기술 개발

3) 고효율 에너지 및 고성능 구동 구현을 위한 Thermal Management

구분	주요 내용
활용분야	- 고효율 에너지 및 고성능 구동 구현을 위한 Thermal Management
세부사례	<p>① 차세대 가열/냉각 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고성능/고효율 열전 및 차세대 고체 냉매 냉각 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 고효율 열전 모듈 구현 기술 · 非희토류 고성능 열량 소재 · 고효율 능동 자기 재생기 구조 설계 기술 · 열량 효과 재생 효율 개선 기술 · 열전/자기/탄성 냉각 외 無냉매 親환경 냉각 기술 - 열 교환 성능 극대화 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 열 교환 면적 증대를 위한 마이크로 채널 기술 · 실내 습도 제어용 표면 코팅 기술 · 열교환 효율 극대화 및 경량화 관련 적층 구조 기술 · 열전도도 내구성 향상을 위한 표면 개질 기술 <p>② 차세대 단열/절연 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고효율/고강성 신규 단열 성능 확보 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 단열 성능 (열전도도): $5\text{mW/m}\cdot\text{K}$ 이하 <ul style="list-style-type: none"> ※ 진공 처리 없이 달성 必 (現냉장고 적용 PU : $20\text{mW/m}\cdot\text{K}$, Monolith Aerogel: $15\text{mW/m}\cdot\text{K}$) · 강성 (Flexural modulus): 200MPa 이상 <ul style="list-style-type: none"> ※ 별도 외피재 및 진공 처리 없이 달성 必 (現 냉장고 적용 폴리우레탄 : $10\sim 40\text{MPa}$, Monolith Aerogel: 10MPa, 진공 단열 패널: $120\sim 180\text{MPa}$) - 고성능 단열 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 상압 조건에서 열전도도 7mW/mK(Air 3mW/mK, Core 재 4mW/mK) 확보 · 초미세 다공성 물질 개발 (기공 사이즈 $40\text{nm}\downarrow$, Cell 벽 두께 $3\sim 10\text{nm}$)

4) 우주 태양광(Space-based Solar Power) 효율/정확성 제고 관련 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 우주에서 태양광을 수집해 Microwave, 레이저, 반사광 등 방식으로 지상에 전달함으로써 원격지/재난 지역에 안정적인 無탄소 전력을 공급
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> - 태양/지상間 대기권 손실 최소화, 에너지 효율 최대화 및 빔 제어 정확도 최대화를 위한 전송 방식 고안 - 효과적인 궤도 배치를 고려한 초경량, 모듈형, 전개형 등 위성 구조 - 低궤도 우주 환경을 고려한 태양전지패널, 반사타일 등 에너지집중 구조재료 및 방향 정밀제어/궤도 변경 추진 기술 - 태양에너지 전송 효율 최대화 위한 궤도 배치 및 방향 최적화

5) 4 세대 SMR (초소형모듈원자로)

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Micro SMR (Micro Small Modular Reactor) <ul style="list-style-type: none"> · 전기 출력이 1~10MW 이하 수준의 소형 원자로로, 통상적인 SMR(출력 300MW 이하)보다 훨씬 작고 모듈화·이동성·빠른 구축이 특징인 초소형 원자로를 의미함 · 이동 및 설치가 용이, 재래식 전력망이 부족한 지역에서 독립적 운영 가능 · 고체 냉매(예: 헬륨, 흑연 등)를 사용하는 비경수로형 고온가스로가 대표적이며, 냉각수 없이 고열 생성 가능 - Data Center와의 융합 적합성 <ul style="list-style-type: none"> · 고온에서 안정적으로 작동해 폐열 활용이 용이 · 전력 + 열 동시 공급(Cogeneration) 가능 · 외부 전력망 의존도를 줄여 에너지 자립형 Data Center 구축에 유리
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 글로벌 실증 및 상용화 움직임 가속 <ul style="list-style-type: none"> - Oklo Inc. (美): 고체 냉매 방식 Aurora Powerhouse 개발, 美 에너지부와 협력 중 - X-Energy (美): 고온가스로 기반 Xe-100 개발, DoE 및 NASA와 프로젝트 수행 ② Big Tech와의 협업 확대 <ul style="list-style-type: none"> - Microsoft, Google 등은 Data Center 용 탄소중립 전력원으로 Micro SMR 도입 고려

11. 차세대 로봇

1) 제조로봇向 조작 AI 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 제조라인內 고난이도 작업 자동화를 위한 로봇기술 - 비정형 작업에 實 적용 가능한 제조로봇 조작 AI 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 환경 센싱 기반 온라인 동작생성 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 제조 Cell 내부 환경을 스스로 인식하여 작업 계획 및 최적 C/T 만족/충돌회피 동작 자동생성 기술 - 다품종 소량생산時 타깃 제품 변경에 대응 가능한 센서기반 No-Code 제조로봇 프로그래밍 기술 ② 제조 특화 End-to-End 조작 AI 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 제조로봇向 Robot Foundation Model (조립, 포장 等 특화) - 케이블/하네스 꼬임을 인지하여 작업순서 계획 및 조작 - 작업자 데이터(영상 等)기반 로봇 Retargeting 기술 ③ 초정밀/고속 조립 작업 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 휴대폰內 소형 커넥터를 인식/조작 가능한 AI 기술 확보 - 센서를 활용한 초고속 힘제어 조립기술

2) Foundation 모델 및 End-to-end AI 기반의 로봇 조작/주행 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Foundation 모델 기반 범용 작업 능력을 가진 로봇 AI 확보 - E2E AI 를 통해 다양한 물체/환경에서 높은 조작 성공률 확보 - 주행과 Semantic understanding 을 결합한 Cognitive Navigation
세부기술	<p>① Robotic Foundation Model</p> <ul style="list-style-type: none"> - 물리적인 변화를 이해하고 예측하는 AI 모델 <ul style="list-style-type: none"> : 멀티 카메라 환경에서의 비디오 입력 기반 : 영상 이외의 Modality 활용 가능 : 상황과 물리 법칙을 이해하여, 변화를 예측 가능 - Physical Contact 및 Proprioception 등의 Modality 대응 - RFM 학습을 위한 대규모 학습 데이터/구성 방법 및 학습 기법 - 특정 Task 적용을 위한 Finetune Dataset 및 Finetune 기법 <p>② E2E Robot Manipulation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Long-horizon task 를 위해 compounding error 극복 가능한 robust imitation learning 기술 - 다지 핸드를 이용해 contact-rich task 를 수행하기 위한 sample efficient reinforcement learning 기술 - Data efficient 한 모델 Action 모델 학습 기법 - 로봇 Action 모델의 Sim2Real 문제를 위한 Simulation 환경 구성, Domain Randomization 등의 기술 - 효과적인 로봇 동작 데이터 수집 방법 또는 수집 시스템 <p>③ Semantic voxel map 기반 주행 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이미지 기반 dense semantic labeling 기술 - Locally consistent labeled voxel map 생성 기술 - Image/speech/text 및 semantic map 를 입력으로 하는 목적지 (goal pose) 생성 기술

3) 고성능 로봇용 고속 제어 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 고속으로 작동하는 AI/제어 시스템을 통한 빠르고 안전한 로봇 위치/힘 제어 - 제조 현장에 쓰일 수 있는 내구성과 성능을 가진 로봇 Hand
세부기술	<p>① 고성능 로봇 Hand/Finger/Palm 用 접촉 센서</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 指 핸드의 손가락과 손바닥에서 1kHz 이상 데이터 획득이 가능한 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · Normal/Shear Force 센싱, Proximity 센싱 · 높은 전송 속도를 유지하며 측각 해상도를 높이는 최적화 기술 · 산업 제조 현장에 쓰일 정도의 내구성(60 만회 강한 파지) 가진 소재 개발 <p>② 고속 제어가 가능한 로봇 Hand AI 모델</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고자유도(15+ DoF) 로봇 손의 고속 제어에 적합한 AI 모델 아키텍처 설계 - 인간형 로봇 Hand 의 물체 파지 및 in-hand reorientation 을 위한 고성능 AI 모델 개발 - Conventional 시스템 (Nvidia Orin/Thor)에서 1kHz 이상으로 동작 가능한 AI 모델 최적화

4) Fab 자동화를 위한 AI 기반 Robotics

구분	주요 내용
활용 분야	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 안전 Risk 제거를 위해 Robotics 자동화 기반의 Fab 설비 유지/보수/관리 작업 자동화에 활용 - 기존의 단순 물류 자동화 단계를 넘는 자율 무인 Fab 구축 활용 - 연구개발 단계의 실험 자동화를 통해 인구 감소에 대응하고, 개발 가속화에 기여
세부사례	<ol style="list-style-type: none"> ① 실험 Planning 을 위한 AI 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 소재 합성 Planning, 실험 Recipe 최적화 알고리즘 - 모델의 장단점을 스스로 진단하며 진화하는 AI - AI 예측 결과의 원인(Causality) 분석 기술 - Human 과 AI 의 상호 학습 모델 (Human-in-the-loop) ② 자율 구동 robotics 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 스스로 주변과 물체를 인식하고, 주어진 Task 를 수행하기 위한 자동 Robot Motion Planning - 다양한 Lab-ware 를 Handling 할 수 있는 Dexterous Manipulation 및 제어 기술 ③ 실험 자동화 시스템의 운영 S/W 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 Scheduler - Scheduling Simulator - 실험 자동화 시스템의 Operating S/W ④ 사람처럼 좁은 공간內에 이동 가능한 高精度 자율주행 <ul style="list-style-type: none"> - 카메라, IMU, LiDAR 등을 바탕으로 Fab에서 로봇의 위치 추정 및 주행을 정밀하게 하는 SLAM

⑤ Continuum Robot Platform

- 실험 자동화 시스템
예) 합성, Formulation, 평가, 분석, 박막 공정
- 설비 內 협소 공간 움직임을 위한 고강성/소형/구동
메커니즘 및 장애물 회피를 위한, Path Planning 및
Configuration 교시

5) Physical AI

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Physical AI 는 로봇, 드론, AGV(Automatic Guided Vehicle) 등 물리적 에이전트와 결합하여 실제 환경의 데이터를 실시간 학습하고 변화에 적응하는 인공지능 기술 - 실제 환경과의 직접 상호작용을 통해 상황 변화에 즉각 대응하며, 효율성과 안전성을 극대화하는 솔루션을 구현 - Nvidia Cosmos, Google Aloha 등 빅테크 기업들이 주도하며 미래 AI 응용 핵심 기술로 부상
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 제조 현장 자동화 <ul style="list-style-type: none"> - AGV 와 로봇 팔에 Physical AI 기술을 접목하여 부품 운반, 조립, 예측 유지보수 등 생산 공정을 자동화 센서와 실시간 분석을 통해 생산 라인의 효율성을 극대화하고 불량률을 감소시킴 ② 물류 창고 자동화 <ul style="list-style-type: none"> - 자율 로봇과 드론을 활용한 재고 파악, 분류, 포장 및 배송 등의 실시간 운영 자동화를 작업 시간을 최적화 인력 의존도를 낮추고, 빠르고 정확한 물류 처리를 통해 운영 비용 절감 및 생산성 향상 시킴 ③ 자율주행, 의료로봇, 농업용 로봇 등

12. 디지털 헬스

1) 디지털 바이오마커 기반 헬스케어 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 디지털 바이오마커 발굴 연구 - 건강 상태 실시간 모니터링 솔루션 연구 - 디지털 바이오마커 기반 적시 적응형 중재 (Just in time adaptive intervention) 연구 - 생리활성 근거 기반 디지털치료제 연구
세부사례	<ol style="list-style-type: none"> ① 천식 및 호흡기 감염 진단 및 악화 예측을 위한 Vocal Biomarker 기반의 분석 시스템 ② Keystroke Dynamic 을 활용한 신경 정신 질환의 조기 진단 또는 관련 증상 모니터링 솔루션 ③ 웨어러블 디바이스 기반의 적시 적응형 기술로 외상 후 스트레스 장애(PTSD)로 인한 악몽의 개선 ④ 신체 움직임 정보를 토대로 보행 안정성 (Walking Steadiness) 지표 개발 및 신체 기능 수 (estimated 6-Minute Walk Distance; e6MWD) 추정 ⑤ ADHD 치료를 위한 다중 생체신호 통합 기반 적응형 디지털치료제

2) 홈 헬스케어 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 스마트홈 데이터 기반 건강 증진 연구 - Home 기반 Virtual First Care System
세부사례	<ol style="list-style-type: none"> ① Personal/Home Digital Twin 기반 삶의 질 증진 기술 ② 넘어짐과 움직임을 모니터링하기 위한 새로운 가정 안전 메커니즘과 서비스 기능 ③ Smart Home 기기 및 웨어러블 디바이스 기반의 약 복용 알림, 건강 상태 추적, 운동 및 식이 행동 관리 서비스 ④ 수면의 질 및 활력 징후를 모니터링하는 스마트 베드 시스템 ⑤ 환자의 자가 관리 역량 강화를 위한 코칭 솔루션 ⑥ 집안 환경에서 vigorous intermittent lifestyle physical activity(VIPLA)를 유도하고 정량화 할 수 있는 중재 시스템

13. 차세대 유전자 치료제

1) 바이러스벡터 기반 차세대 유전자 치료 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - AAV 유전자치료제 생산 platform 고도화(생산성/품질)를 통한 생산비용 절감 - AI/ML 기반 타겟 장기 특이적 AAV capsid engineering 향상 - Accessory protein variants 개발을 통한 AAV 생산성 향상
세부사례	<p>① AAV 바이러스 생산 벡터</p> <ul style="list-style-type: none"> - 高 생산성, 高 품질 (%Full ratio) 向 벡터 최적화 기술 - 벡터 디자인, 조합, 유도형 on/off 유전자 발현 조절 기술 - AAV 내 삽입 유전자 (GOI) 크기 제한을 대폭 높이는 (>> 4.5kb) 벡터 엔지니어링 기술 <p>② AAV 바이러스 생산 세포주</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생산 스케일에서 (200 - 5000 L) 안정성과 高 생산성, 高 품질 확보가 가능한 부유형 생산 세포주 개발 및 특성 분석 기술 - ①의 高 생산성/高 품질 벡터와 조합이 최적화된 세포주 - 제품 특이적 생산 세포주 (single clone) 제작을 위한 기술로, 효과적인 on/off 기능 (생산 전 rep/helper 유전자 발현 off) 보유 생산 세포주 시스템 - 위치 특이적 삽입 및 single clone 선별 기술 (자동화 clone 선별 기술 포함)

구분	주요 내용
	<p>③ AI/ML 기반 타겟 장기 특이적 AAV capsid library</p> <ul style="list-style-type: none"> - 타겟 장기 특이적 AAV capsid library screening 시스템 개발 기술 - AAV capsid variants 의 packaging 적합성 및 효율성 평가 기술 - ML 기반의 검증 수행 자동화 기술 <p>④ AI/ML 기반 신규 유전자 발현 조절 요소 (miRNA 등) 개발</p> <p>⑤ Accessory protein variants 구축 및 AAV 생산성 향상 시스템 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 accessory protein variants 와 AAV titer 간의 상관 관계 Ex) Membrane-associated accessory protein (MAP) - 새로운 Mutagenesis 기술 및 NGS 기술로 accessory protein variants 개발 및 AAV titer 생산성 향상

2) 기존 바이러스 유전자 치료제의 한계를 극복할 수 있는
차세대 유전자 치료 기술

구분	주요 내용
활용분야	- 기존 유전자 치료제들이 갖고 있는 안전성, 생산성, 효능, 공정 기술의 한계를 극복할 수 있는 차세대 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 숙주 세포 염색체에 삽입되지 않으면서 치료 유전자를 장기간 (가능하면 영구적으로) 발현할 수 있는 기술 ② 現 transfection process 의 한계를 극복할 수 있는 AAV 用 producer cell line 제조 및 안정적 유지 기술 (생산성 및 quality) ③ 현재의 낮은 intact AAV 발현율을 증가시킬 수 있는 신규 공정 기술 (배양 직후 %Full capsid 비율 95% 이상) ④ 타겟 장기 특이적이며, 낮은 dose 에서 장기적 효과를 기대할 수 있는 차세대 유전자 치료제 기술

3) mRNA 백신 및 치료제 관련 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - RNA 백신/치료제 생산 공정 고도화 (수율/품질)를 통한 리드타임 감소 및 생산비용 절감 - 보호면역기간 개선, 다가백신 개발 등에 필요한 요소기술을 개발하여 mRNA 기술의 시장확대와 감염병에 대응 - 감염병 및 항암백신 제품군의 승인품목 확대와 더불어 희귀유전병, 유전자 교정과 같은 mRNA 의 치료제 시장에서의 기술 활용 가능성 높임
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① saRNA (자가증폭 RNA) 개량분야 <ul style="list-style-type: none"> - 세포질 내에서 지나친 면역반응(reactogenicity 부작용)을 유도하지 않으면서 자가증폭 비율을 현저히 높힐 수 있는 saRNA 벡터 서열 개발 ② circRNA 정제분야 <ul style="list-style-type: none"> - 유사한 분자량을 가지는 선형의 RNA 로부터 원형화 된 RNA 만을 선택적으로 정제하는 친환경 기술 개발 ③ 보호면역기간 개선을 위한 면역원성 증대분야 <ul style="list-style-type: none"> - 2차 접종이 불필요하도록 긴 기간의 백신효과 유지를 위해 단회 투여 만으로 항체 생성 기간을 길게 유지할 수 있는 mRNA 백신 기술의 개발 ④ 다품종 소량생산 가능한 유전자 치료제 합성 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - DNA 부터 LNP 까지 하나의 시스템 안에서 빠르게 소량 생산 및 분석할 수 있는 기술 개발 ⑤ 신생항원 발굴 분야 <ul style="list-style-type: none"> - AI 활용한 individual neo-antigen 발굴기술 개발

4) 유전자 치료제 약물 전달체

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 지질 나노입자가 가지고 있는 한계점인 비특이적 생체 내 전달 개선 및 생산 공정 효율화를 통한 高 수율, 高 순도 低비용 전달체 생산 기술 - mRNA 백신의 중-저개발 국가에서의 유통 및 비용 감소를 위한 상온 또는 냉장 장기 보관법 개발 - mRNA, saRNA, circRNA, CRISPR/gRNA 등의 다양한 유전자 치료제를 특정 조직 및 세포 내부로 효과적으로 전달할 수 있는 non-viral delivery 기술 - mRNA 백신 LNP 전달체의 높은 면역원성 (immunogenicity) 은 유지하면서 부작용 (reactogenicity) 는 획기적으로 감소시킬 수 있는 새로운 유전자 치료제 전달체 기술
세부사례	<p>① 다양한 페이로드 탑재 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - circRNA, saRNA, CRISPR/sgRNA 등의 다양한 유전자 페이로드를 원하는 비율로 탑재 가능한 기술 - Multi-payload 를 원하는 비율로 탑재 가능한 기술 <p>② 다양한 장기와 세포 표적 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원하는 장기나 세포로의 선택적 약물전달 가능한 기술 - 생산 공정이 복잡하지 않고, 수율 및 순도가 높아 원가를 획기적으로 절감할 수 있는 기술 - 전달체에 표적 장기 특이성을 부여하는 링커 접합 기술 - 기존 특허 등을 침해하지 않는 새로운 방식의 접합/incorporation 을 통한 LNP 표면 개질 기술 - 장기/조직 특이적 발현을 위한 조직 특이적 분해/서방형 방출 기술

구분	주요 내용
	<p>③ 현격한 독성 감소 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반복투여에 적합한 전달체 기술 개발 <p>④ 유통이 용이한 상온/냉장 고안정성 전달체 기술</p> <p>⑤ 용도 특화 신규 이온화 지질 라이브러리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 백신용 / 치료제용 / 항염증성 / 면역증강용 등 용도에 맞는 신규 이온화 지질 라이브러리 구축 기술 <p>⑥ 단입자 분석법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - LNP 약물의 고 수준 품질관리를 위하여 높은 resolution의 분석 기술 - 전입자 특징이 아닌 단입자 수준에서의 분석 (페이로드 탑재율, 항체/펩타이드 표면 도입율, 입자구조 등) 기술

5) Oligonucleotide 치료제 관련 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - Oligonucleotide 의 체내 장기 특이적 전달 및 전달 효율 증대 - 환경 친화적인 oligonucleotide 생산 기법을 개발하여 올리고 제약 산업의 지속가능화에 기여
세부사례	<p>① Conjugate library 합성 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 세포내에서 분해 저항성을 지니며, 면역원성이 낮고, 세포 내 흡수 및 세포질 이동 효율이 높은, 조직 특이적 ligand 의 다양한 조합을 생성하여 스크리닝하는 기술 <p>② 올리고 효소 합성 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 화학적 방법이 아닌 효소를 활용한 환경 친화적인 올리고 합성기술의 개발 <p>③ 거대 분자 conjugation 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peptide (POC), siRNA (ARC) 및 ASO (AOC) 를 항체 등 거대분자의 특정 위치에 결합하며 의도된 생분해성을 가지는 기술의 개발

6) 차세대 세포 치료제

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 암, 퇴행성 질환, 자가면역질환 치료 등에 사용 가능하며, 맞춤형 치료 및 대량생산 가능함
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① CAR-NK 치료제 <ul style="list-style-type: none"> - 환자에서 NK 세포를 분리/배양하여 암세포를 공격하도록 유도하는 기술로 환자 맞춤형이 필요하지 않아, 공정 기술이 단순하고 대량생산이 가능함 ② iPSC 유래 세포치료 <ul style="list-style-type: none"> - iPSC 를 만들고, 이를 면역세포로 분화시켜 치료에 활용하는 기술로 CAR-T 보다 제작시간을 단축할 수 있으며 대량 생산 및 비용 절감이 가능함 ③ Lentivirus 또는 mRNA 기반 in vivo CAR-T <ul style="list-style-type: none"> - T cell 특이적 delivery 및 발현 조절을 가능케 하여 CAR-T cell 을 제조하지 않고 환자의 몸속에서 CAR-T cell 이 생성되게 하여, 저렴한 가격으로 치료 가능함

14. 차세대 단백질 치료제

1) 차세대 ADC 플랫폼 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 접합 및 정제 용이한 접합 방법의 산업계 적용 - 기존 독성이 강한 ADC 독소의 한계를 극복하기 위한 기술로, 특정 환경에서만 ADC가 활성화 되도록 하는 차세대 링커-독소 기술 - 기존 항체-약물 접합체 (ADC, Antibody-Drug Conjugate)에 사용중인 payload와 차별화된 작용기전을 보유한 payload 개발 - 기존 payload는 비 특이적인 세포사멸 기반의 작용기전으로 off-target 독성 개선 및 치료 기전의 다양화向 신규 payload 개발 - 치료 및 진단용 방사성 의약품 개발 및 생산에 필요한 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 위치 특이적이며 비용/시간 절감 가능, 高 생산성 가지는 접합기술 ② 표적하는 세포 내/외 에서만 ADC가 활성을 가질 수 있도록 하는 링커/독소/링커-독소 기술 ③ 상업화 된 링커/독소 比 생산 비용이 높지 않을 것 ④ Targeted protein degrader (TPD) <ul style="list-style-type: none"> - 특정 질병 단백질을 특이적으로 분해하는 작용기전으로 약물 부작용 개선 및 치료용 타겟 다양성 제고 ⑤ Immunogenic cell death (ICD) payload <ul style="list-style-type: none"> - 세포사멸 시, 항암 면역원성을 증대 시키는 작용기전으로 면역항암제와 병용투여를 통한 항암 효능 제고

구분	주요 내용
	<p>⑥ Immune stimulator</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종양 미세환경 内の 면역세포의 활성을 높임으로써 항암 효능을 제고하는 작용기전의 payload <p>⑦ Non-oncology payload</p> <ul style="list-style-type: none"> - 항암 外 질병 치료를 위한 약물로서 ADC 에 적용가능한 신규 payload <p>⑧ 저분자, 펩타이드, 항체 등 표적벡터를 이용한 방사성 의약품</p> <ul style="list-style-type: none"> - 신규 방사성 의약품 및 생산 기술 - off-the-shelf 가능한 방사성 의약품 기술

2) 이중항체 개발 플랫폼 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 암세포 특이적 환경에 의해 기능을 갖는 약물로써, 효력 향상과 독성 감소 약물 개발에 활용 - 임상 적용 시, 치료용량 범위 확장 - 현재 개발된 이중항체는 종양 미세환경의 영향으로 효능이 제한적이므로 이를 극복하기 위해 cytokine 및 recombinant protein을 활용한 연구 수행 중 - 이중 항체에 cytokine을 fusion하거나 recombinant protein에 Fc를 fusion하여 선택적 전달 및 효능 극대화 가능
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 특정환경에서만 활성 가지는 이중 항체 개발 ② Cytokine 탑재 이중항체 <ul style="list-style-type: none"> - 고형암 타겟을 갖는 이중항체에 독성 문제를 극복한 engineered IL-2와 같은 cytokine 탑재 기술 ③ Fc-fusion protein <ul style="list-style-type: none"> - Recombinant protein에 Fc를 fusion하여 half-life 증대 기술

3) 항체 디스커버리 기술 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 항체 후보물질 스크리닝 및 최적화 작업은 노동집약적이고 많은 시간이 소요되는 분야로서 AI/ML 기술을 적용하여 신속하고 효율적으로 우수한 후보물질을 확보하는 기술 - 효력 우수, 독성 감소, 교차 반응성 항체 약물 발굴 - 우수 약물 항체 발굴 기간 및 비용 감축
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① De-novo 항체 설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 항체 개발 방법으로 획득이 어려운 타겟 대상으로 (Low immunogenicity, Toxic antigen 등) AI/ML 기술 기반으로 신규 항체 서열 도출 ② 항체 최적화 개량 기술 <ul style="list-style-type: none"> - AI/ML 기반 마우스 항체 인간화, 항체 활성 조절 및 항체 물성/안정성 개선 기술 등 - 항체 결합 기전에 pH 의존성 부여하거나 세포내 전달 (internalization) 효율 향상 등 항체 특성을 개선하는 AI/ML 기반 기술 ③ 재조합 단백질 디자인 기술을 통한 우수 항체 발굴 ④ High throughput 선별 기능을 통한 항체 발굴

4) 기존 물리기반 고복잡성 물질 구조 예측 프로그램 한계 극복 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 단백질 의약품 중 고복잡성 물질 구조 예측을 통해, 물질의 안정성, 효능 및 잠재 위험 등을 공정 개발 전 파악할 수 있는 차세대 기술
세부사례	<p>① 고복잡성 단백질 물질에 대한 고정 가능성 평가 시 구조 기반 물질 안정성 등 예측</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI 기반 프로그램을 이용한 정확한 물질 구조 및 물질 특성 파악 기술 - 잠재 위험성 사전 파악을 통해, 공정 개발 시 과제의 실패율 감소 효과 성취 가능

5) 신약 개발 Digital Twin 모델 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신약 개발 단계별로 적합한 Digital Twin (DT) 모델을 구축하여 적용함으로써 신약 개발 시간/비용 단축 - 특히 방대한 바이오메디컬 데이터와 AI/ML 기술 적용으로 DT 모델 예측력 제고
세부사례	<p>① Drug discovery 및 전임상 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI 기반 DT 모델 활용하여 Omics 데이터와 임상 데이터를 통합 분석하여 새로운 타겟 발굴 - 세포 수준 ~ 동물 모델 수준 별 DT 모델 구축하여 후보 약물의 반응성 및 독성 평가 <p>② 정밀의학 및 임상시험 설계 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환자의 생리적 기능, 특정 장기, 혹은 전체적인 건강 상태를 바탕으로 가상 모델인 Digital Patient Twin (DPT) 구축 - DPT 모델과 Multi-Omics 데이터 기반으로 최적 치료 전략 도출 - DPT 모델 기반 in silico clinical trial 을 통해 환자의 약물 반응 시뮬레이션 결과로 실제 임상시험 설계 최적화

15. 바이오 공정 기술

1) 바이오 의약품의 차세대 공정 플랫폼 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 신규 modality 를 갖는 바이오 의약품 제조 공정의 기술 한계를 규명하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 방법과 기술 - 최종 의약품의 품질 및 생산성이 획기적으로 향상된 차세대 공정 개발
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 다양한 신규 modality 를 갖는 바이오 의약품 생산의 한계를 극복하거나 생산성을 향상시킬 수 있는 세포주/배양/정제 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Bi-specific 항체 포함 multi-specific 항체 및 multi-targeted fusion protein 발현 및 생산 공정 기술 개발 - 신규 linker-payload 기술 개발 및 ADC 항체 생산 공정 기술 개발 ② 기계학습 및 인공지능 <ul style="list-style-type: none"> - 기계학습 또는 인공지능을 활용한 바이오 의약품 제조 공정 기술 개발 - 기계학습이나 인공지능을 활용한 항체 및 의약 단백질의 당화 품질 조절, variant 생성 방지 기술 개발 ③ 연속 생산 공정 상용화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - MCC (multi-column chromatography) 기술 적용한 연속 정제 공정 개발 - 여러 단위 공정 연결 기술 개발

2) 세포주 개발 플랫폼

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 단백질 의약품 생산성 및 안정성 향상을 위한 세포주 개발 플랫폼 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 高생산성 및 低비용 치료용 단백질 발현 플랫폼 <ul style="list-style-type: none"> - 단일항체, 이중항체, Fc-fusion 단백질 등의 치료용 단백질 발현을 획기적으로 증가시킬 수 있는 기술 - 세포주 개발 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술 ② 항체 생산성 및 안정성 예측 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 세포주 개발 초기(유전자 도입 후 1개월 이내)에 안정적 고발현 클론을 선별할 수 있는 기술 ③ 미래 항체 생산 플랫폼 기술 <ul style="list-style-type: none"> - CHO 세포 대비 높은 효율성, 경제성을 보유한 다른 세포를 활용한 생산 시스템 구축 기술

3) 치료용 단백질 배양/정제 연속생산 플랫폼

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 연속 생산 공정 실시간 모니터링 및 모니터링 결과에 따른 공정 예측 및 관리 - 연속 공정시 오염가능성 원천 차단을 위한 투입물의 실시간 오염 관리 - 소규모 자동화 연속 공정을 통하여 다품종 개인맞춤형 치료제 생산
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 배양 공정 중 세포 내/외 Multi-Omics 실시간 측정 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 연속 공정에서 PAT 기술과 Multi-Omics data 를 통하여 실시간 data 모니터링, 분석 및 공정 예측 모델을 확립하고, 통합적으로 관리할 수 있는 자동화 시스템 구축 ② 공정 투입 물질 (e.g. Feed media, antifoam, buffer)에 대한 실시간 Bioburden/endotoxin 모니터링 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 연속 공정의 오염가능물질 투입을 원천 차단 가능 ③ 개인맞춤형 치료제 생산을 위한 소규모 (1 - 5 L) GMP 생산 유닛 구축 <ul style="list-style-type: none"> - AI/Robotics 기술을 접목하여, 세포주 투입시 single use platform 을 통해 세포 배양부터 완제품 병입까지 closed system 으로 생산 하여 바로 환자에 투여

4) 제형 개발 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 AI 활용 제형 및 DDS 최적 개발 - 부작용 줄이는 제형 개발로 기존 의약품의 한계점 극복하고 약효를 극대화 및 환자 편의성 개선
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① AI & ML 기반 제형 비율 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 새로운 항체 modality(complex sequence), 펩타이드/단백질 약물에 최적화된 공정 프로세스 수립 기술 ② 종양 특이적 독성 발현 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 항암제의 탑재가 가능하며 종양 특이적 수용체 표적으로 endocytosis 를 유도하는 나노입자 기반 전달체 플랫폼 기술 ③ 바이오시밀러 제형 변경 최적화 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 서방형 제제, 고농도 제형, oral, SC 제형 최적화 기술

5) 펩타이드 합성 공정 효율화 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - GLP-1 등 30 개 이상의 amino acid 로 구성된 길이가 긴 peptide 를 대규모로 효율적으로 생산할 수 있는 기술 - 기존 solid phase peptide synthesis 기술 한계 극복 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 길이가 긴 peptide 에 적용 가능하며, production yield, scalability 및 purity 등이 개선된 peptide 생산 기법 ② Non-natural amino acid 혹은 modified amino acid 의 효율적인 incorporation 이 가능한 기술

6) 생산 최적화 Digital Twin 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 노동집약적 생산 공정 대비 Digital 최신 기술(AI, Machine Learning 등)을 활용한 인건비 및 제조 비용 절감과 생산성 증대 - 최종 의약품의 품질 및 생산성이 향상된 차세대 공정 개발
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① AI & ML 기반 제품 생산 효율 제고 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 과거 실적 데이터에 기반한 제품 공정 단계별 품질 수준 예측 AI 및 ML 기술 - AI/ML 에 기반한 설비 이상 감지 및 사전 예방 기술 ② AI & ML 기반 공정 기술 및 항체 품질 향상 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 기계학습 또는 인공지능을 활용한 바이오 의약품 제조 공정 향상 기술 - 기계학습이나 인공지능을 활용한 항체 및 의약품 단백질의 당화 품질 조절, variant 생성 방지 기술

7) 합성생물학 기반 공정 및 배양육 생산 기술 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 생물학적 시스템과 생명체를 재설계해 기존의 방식보다 제조 효율성이 높은 생산 공정 구축 - 지속가능한 식량 공급 및 환경보호가 가능한, 기술 기반의 산업 전환 및 식량안보 구축을 위한 주축돌 기술 - 바이오 파운드리 관련 차세대 요소 기술
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 유전자 설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 특정 단백질이나 대사 산물을 높은 효율로 생산하기 위해 필요한 신규 유전자 설계 ② 유전자 회로 설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 세포 내에서 유전자의 발현을 최적 제어하기 위한 유전자 회로(프로모터 등) 설계 ③ 대사 경로 설계 및 구현 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 특정 의약품 또는 화합물을 생산하기 위해 생산 세포내 대사 경로를 수정하거나 재설계 - 경로 설계에 맞게 실제 대사 경로가 작동하는지 확인 ④ 생산 세포주 또는 세포 밖 생산 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 최적화된 대사 경로를 갖춘 생산 세포주 개발 후, 양산성 높은 세포 선별 - 필요 시 대사 경로를 세포 밖에서 구현할 수 있음 ⑤ 합성 생물학 기반의 생산 공정 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 신규 생산 방식에 최적화된 전체 공정 설계 및 운영 관련 기술

구분	주요 내용
	<p>⑥ 배양, Scaffold(지지대), 배지 및 조직(Tissue) 대량 생산 등 배양육 요소 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 줄기세포 추출 및 근육세포 분화를 위한 요소 인자 발굴 및 타겟 분석 기술 - 고품질 근육세포 대량 생산 기술 - 3차원 조직으로 쌓기 위한 식용 가능한 지지대 개발 및 3D 조직체 완성 기술 - FBS(Fetal Bovine Serum), Growth Factor 대체 첨가물 및 저가 배양 배지 발굴/개발 <p>⑦ 바이오 파운드리 관련 차세대 요소 기술 등</p>

16. 차세대 정밀 의료 진단 및 바이오 융합 기술

1) 유전자 분석 기반 진단 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 유전체 분석 기술을 활용하여 유전적 변화를 탐지, 질병 조기 진단 및 예측에 활용 - 생체 이미징 데이터를 기반으로 다양한 면역 세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 유전자 발현과의 상관관계 분석 통해 개인 맞춤형 정밀 진단/의료에 응용
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 유전체 분석 통한 액체생검 <ul style="list-style-type: none"> - 혈중 유전자 서열을 분석해 다양한 질병(암, 유전성 질환 등)을 조기 진단하고 신약 개발 타겟 발굴 ② AI 기반의 전사체 데이터 분석 및 질병 진단 <ul style="list-style-type: none"> - 멀티오믹스 데이터 및 의료 빅데이터 기반의 정밀 의료 진단 기술 개발 - 멀티 오믹스 데이터 기반 고속 스크리닝 기술 ③ 생체 이미징 기술과 유전체 분석 결합 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 유전체 분석과 생체 이미징 기술의 결합으로 획득 가능한 실시간 면역 반응 통합 분석 - 초고속 분자 진단 이미징 기술

2) 실험동물의 사용을 대체할 수 있는 독성평가 방법의 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신약개발에 필요한 기간과 소요비용을 줄이고 설치류와 영장류를 포함한 윤리적인 실험동물 사용을 위한 차세대 독성평가 시스템 구축
세부사례	<p>① Organoid 또는 mini-organ 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인간의 장기특성을 모사할 수 있는 조직 배양조건에서 약물의 독성을 정성적, 정량적 측정이 가능한 시스템을 구축. 특히, 유전자 치료제의 염기서열 차이로 인해 독성 메커니즘 상 중간 특이성으로, 인간 종에서만 유효 독성이 예상 되는 약물에 대한 독성 예측모델 개발 <p>② Organ on a chip 분야개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 장기가 순환계로 연결된 구조에서 약리/약동학적인 검사가 가능한 Animal-free ADME 시스템 ADME 시스템 구축 <p>③ 기타 in vitro culture system 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 신약의 약리 작용과 독성 메커니즘에 기반한 다양한 독성 예측이 가능한 키트 또는 시험 방법의 개발

3) 비임상/임상학적 약리효과를 측정할 수 있는 비침습적 바이오마커
또는 모니터링 디바이스의 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 신약개발을 위한 비임상 시험 시, 약물의 용량반응성과 치료효과를 보다 객관적이고 고빈도로 모니터링하여 PK/PD modeling에 활용하고 조직생검을 위한 부검이 필요한 실험의 경우 실험동물의 수요감소 - 신약개발을 위한 임상시험에서 약물의 객관적이고 정량적인 효능을 측정함으로써 약효에 대한 평가를 신속하게 하고 OLE (Open Label Extension) 스터디에 더 많은 환자군 모집
세부사례	<ul style="list-style-type: none"> ① 생화학적 액체생검분야 <ul style="list-style-type: none"> - 혈액 또는 뇌척수액 (CSF or cerebrospinal fluid)에서 높은 민감도로 약효를 예측 할 수 있는 높은 민감도의 생화학적 측정방법 개발 - 예) 고민감도의 NfL (Neurofilament Light Chain protein) 단백질의 측정방법의 개선으로 퇴행성 뇌질환의 치료효과 조기 판별 ② 영상 분석 분야 <ul style="list-style-type: none"> - 특정 tracer 물질을 이용한 fMRI, PET 등의 영상검사로 각종 장기의 형태적, 기능적 변화를 모니터링 - 예) 타우 PET을 이용한 알츠하이머성 치매의 진행 측정 ③ Mobile 헬스케어 디바이스 분야 <ul style="list-style-type: none"> - 뇌질환 또는 말초신경질환의 경우 실시간으로 발작, 경련, 운동능력 등의 신경학적 변화를 측정할 수 있는 웨어러블 디바이스의 개발 - 혈당, 간 또는 신장수치 등 혈류 내 metabolite를 실시간 모니터링 할 수 있는 웨어러블 디바이스 개발

4)차세대 바이오 컴퓨팅 (Brain-Inspired Computing)

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 자율주행 등 기계 학습의 발달과 데이터 양의 증가로 인해, 저전력 초고속 연산이 가능한 칩과 시스템 필요 - 저전력으로 사람의 뇌처럼 연산하는 Neuromorphic Chip 은, HPC, AI 및 기타 고사양 제품에 적용되는 차세대 SoC 로 활용 - 로봇 기술, 스마트홈 등 미래 기술에 활용하기 위해, 사람처럼 감각하는 소자 필요 - 학습 가능한 뉴로모픽 칩 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 온 디바이스 학습 구현을 위한 특정 소자 특성 필요 · 시냅스 뿐만 아니라 뉴론 향 소자도 함께 필요 - 로직 임베디드 SRAM 을 대체할 수 있는 신규 비휘발성(NVM) 메모리 소자 <ul style="list-style-type: none"> · 메모리 병목 개선 · 뉴로모픽 소자로 확장 <p>[CMOS-Bio Interface]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반도체와 신경계를 직접 연결, 스마트폰 이후 새로운 디지털 플랫폼 창출 - Electrochemical 다채널 센서
세부사례	<p>① Neuromorphic Computing & Neuroscience</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사람의 신경망과 같이 연산할 수 있는 Neuromorphic Computing 시스템과 Neuromorphic Chip - 사람의 신경망과 Neuroscience 에 대한 이해 및 관련 연구 - 생물 신경망의 구조와 원리를 반영한 인공지능 알고리즘 및 응용 <ul style="list-style-type: none"> · 커넥텀 구조 모사 신경망: 뇌의 기능적 회로 모방

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - Memory Wall 극복을 위한 차세대 컴퓨팅 구조 <ul style="list-style-type: none"> · 뉴로모픽, In-Memory Computing 등 非폰-노이만 구조 ② Bio-Inspired Semiconductor Device <ul style="list-style-type: none"> - 생체 혹은 자연계에 존재하는 구조, 시스템, 감각 기관 등을 모사하고 응용하여 만든 소자 및 시스템 - 사람과 마찬가지로 다양한 감각을 받아들일 수 있거나, 혹은 그 이상을 감지할 수 있는 소자 및 시스템 - 초기 뇌신경망 구조를 모사하여 overfitting 없이 학습 가능한 신경망 시스템 - 신경망 정보 저장방식 모사 메모리: 하이브리드 (stable + flexible) 메모리 특성 구현 시스템 ③ 뉴로모픽 학습향 Analog MAC 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 가중치 업데이트를 위한 쓰기 특성 중요 - Conductance 변화가 펄스 개수에 선형적으로 비례 - Conductance 증가 감소가 대칭 - SRAM 수준 Endurance 필요 ④ 뉴로모픽 SNN 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 뉴론 향 전하 충전 가능한 소자 - 뉴론 향 임계 전압 이상에서 방전되는 소자 - 시냅스와 동일 공정으로 구현 가능한 소자 (선택 사항) - 생물학적 뉴런의 동작을 활용한 알고리즘(SNN 등 포함)의 성능 및 에너지 효율성 향상 연구

구분	주요 내용
	<p>⑤ NPU 향 Scratch Pad 메모리 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> - NPU-DRAM 병목 개선을 위한 SRAM 용량 증대 필요 - 전력 소모 및 면적 증가는 억제 <p>⑥ 뉴로모픽 추론향 Analog MAC 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> - 행렬 벡터 곱셈을 위한 시냅스 소자 필요 <p>⑦ 뉴로모픽 CAM (Content Addressable Memory) 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 매칭을 위한 효율적 비트 셀 필요 <p>[CMOS-Bio Interface]</p> <p>① High Density Storage Device</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생체 내 기억 메커니즘을 활용한 고밀도 저장 장치 - 생체 분자를 활용한 고밀도 저장 장치 <p>② Brain-Computer Interface (BCI)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implanted BCI 를 이용한 PC 조작 및 인터넷 접속, 컴퓨터로 하는 일을 사람의 생각으로 수행 - 사람과 AI 의 결합, 새로운 디지털 플랫폼 창출 <p>③ 전자코</p> <ul style="list-style-type: none"> - 특정 냄새나 가스를 감지하고 식별하는 장치 - 생물학적 또는 화학적 센서 사용하여 공기 중 복합물 감지/분석 <p>④ 신경세포 모방 소자</p> <ul style="list-style-type: none"> - Brain 모방 컴퓨팅을 위한 새로운 신경세포 모방 소자 - 연산 기능 수행이 가능한 인공 뉴런 소자 - 다양한 종류의 뉴런을 모사하는 인공 뉴런 소자

5) 차세대 초음파 진단 기술

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 멀티모달 데이터(초음파, CT, 유전자 정보 등)를 통합 분석하여 질병 진단 정확도를 향상 - 초음파 신호 분석과 종단적 연구를 결합한 환자 이상징후 조기 감지 - 영상 분석결과를 바탕으로 병변 크기/형태 변화를 추적하고 정량적 리포트 자동 생성. 조직 물성 정량화 알고리즘을 적용하여 환자 상태에 대한 객관적 수치를 제시 - 저해상도 영상을 고해상도 3D 모델로 변환하여 진단 및 치료 계획을 지원 - 초고속 영상 처리기반 미세 혈관 구조를 실시간 가시화 하여 조기 질병 진단에 기여 - 다중 바이오마커(유전자 마커, 대사 지표 등)을 융합 분석하여 질병 진행 단계를 예측하고 조기 치료에 기여 - 초 고해상도 기술 구현 및 고급 노이즈 제거 알고리즘 연구

구분	주요 내용
세부 사례	<p>① AI 기반 진단 정확도 향상 및 진단 보조 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 멀티모달 초음파 영상 데이터와 데이터 퓨전(Data Fusion)기술을 활용한 진단 정확도 향상 기술 - 병변의 존재 여부, 악성 가능성, 질환의 진행 단계 등을 자동으로 판별하는 AI 진단 보조 기술 - 다종의 바이오마커를 동시에 획득하고 활용하는 기술 - 종단적 연구((Longitudinal Study) 기반 환자별 건강 상태모니터링 및 이상 징후 조기 감지 기술 - 의료진단기기 RF 신호 분석을 통한 병변 특성 추출 및 정상/비정상 판별 기술 <p>② 진단 결과 해석 및 리포트 자동화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 병변 변화 추적 및 의료진을 위한 진단 결과의 근거 제시 - 형태/기능적 특성 및 장기조직 물성에 대한 정량 지표 도출 - AI 기반 정량적 지표 제공 및 자동화된 보고서 생성 기술 <p>③ 고급 영상 처리 및 재구성 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저해상도 환경에서의 영상 품질 향상을 위한 데이터 보강 및 노이즈 억제 기술 - Reverberation, 허상(Artifacts), Clutter 제거 등을 통한 고해상도/고대조도 초음파 영상 획득 기술 - 초고속 영상 획득 및 재구성을 통한 미세혈관 영상 복원 - 영상 스티칭 알고리즘을 통한 광역 영상 구현 및 3D 영상 제공 기술 - 실시간 정량적 영상화 기술 및 조직 특성화를 통한 기능성 장기 별 영상 구분 기술

6) 의료기기용 차세대 초음파 소재 개발

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 의료기기에 적합한 우수한 생체 적합성, 내구성 및 성능을 제공하는 새로운 소재 - 의료기기의 기계적, 열적 및 화학적 특성을 향상시켜 기능성과 환자 편의성 개선 - 성인 복부, 태아 진단 등 인체 내 깊은 영역의 진단 화질 (선명도, 침투도)을 향상
세부사례	<p>① 차세대 압전 세라믹 소재 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 압전 단결정(Single Crystal) <ul style="list-style-type: none"> · 무기 소재와 첨가제 간 조성 조절을 통해 압전 특성, 내구성을 향상하는 기술 · 고온/고압의 성장로에서 용융된 액상의 세라믹을 냉각, 단결정을 성장시키는 기술 - Templated Grain Growth 방식의 압전 다결정(Poly Crystal) <ul style="list-style-type: none"> · 다결정 세라믹의 多 방향성 결정립 방위를 조절하는 세라믹 공정 기술 · 이차원의 template 과 matrix 분말, 용매 및 유기 첨가제 (분산제, 가소제 등)의 혼합을 통한 슬러리 제조 기술 · 세라믹 성형체 제작, 열 처리, 소결 처리의 공정 제어를 통한 배향 성장 기술 <p>② 친환경 무연(Pb-free) 압전 세라믹 소재 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 양산성 및 제품화 가능한 성능 수준의 무연 압전 세라믹 - 무연 압전 세라믹의 미세 조직(밀도, 입자 크기) 및 결정 배향도 제어를 위한 소결 기술 개발

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - 유전/압전 특성을 높이기 위한 무연계 화학적 조성 설계 (① Dopant, ② Domain) 및 저온 열처리 기술 ③ 생체적합성 스마트 하이드로겔 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 하이드로겔의 물리적, 화학적 특성을 조절하여 약물 전달, 조직 재생 등의 의료 용도에 맞게 최적화 설계하는 기술

7) Autonomous 초음파 진단/치료 기기

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 의료 영상 기반 로봇 위치 제어로 자동화된 영상 획득 및 실시간 초음파 데이터 분석으로 의료진 업무 경감 - AI 기반 의료 영상 분석으로 인체 장기별 데이터 분석 및 정량화, 효율적인 스캔경로 생성으로 진단 정확도 향상. - 다양한 의료 처치에 적용 가능한 유연한 로봇 아키텍처 및 안전한 정밀 제어 기술 - 불규칙적인 곡면의 표면 매핑 기술을 이용한 임의 곡면 Flexible 트랜스듀서 설계 및 빔포밍 기술로 진단 시간 단축 - 병원 의료정보시스템 연계 및 진단/치료/리포트 자동화로 데이터 관리 및 조기 진단/치료에 기여
세부사례	<p>① AI 기반 장기 인식 및 영상 분석 시스템</p> <ul style="list-style-type: none"> - 딥 러닝(Deep Learning) 기반 다중 장기 동시 인식 알고리즘 - 비전 기술을 활용한 실시간 영상 분석 및 최적 포커싱 - Machine Learning 기반 실시간 신체 구조 및 진단 부위 분석 기술 - 형상 인식 알고리즘을 통한 임의의 곡면 부위 영상 획득 <p>② 지능형 스캔 경로 생성 및 제어 알고리즘</p> <ul style="list-style-type: none"> - 장기별 특성을 고려한 맞춤형 스캔 경로 생성 알고리즘 - 경로 계획 알고리즘을 통한 검사 경로 자동 최적화 - 표준영상 획득을 위한 위치, 각도, 힘 가이드 기능 - 적응형 제어 시스템을 통한 환자 상태에 따른 스캔 조정

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 센서 피드백 기반 압력 정밀 자동 제어 및 환자 움직임에 대한 반응 알고리즘 - 환자 안전을 위한 경량/소형화된 Safety 장치로 긴급 상황 및 非의도 상황을 판단하여 동력을 자동 차단하는 기술 - 자동 진단을 위한 병원 의료정보 시스템 연계 기술 - 환자의 전자의무기록과 연계하여 자동 검사를 지원하고 저장된 검사 결과를 PACS(Picture Archiving and Communication System) 등 병원 內 의료정보시스템에 등록, 전송하는 기술

17. 포스트휴먼 시대의 융복합 솔루션

제안서 작성 시 유의 사항

- 제안하는 포스트휴먼向 융복합 과학 기술을 통해 인간의 삶의 질
* 신체, 인지, 사회적으로 건강한 삶

향상이 실현되는 미래를 구체적 시나리오로 제시 필수

* WHO: 누구를 대상으로, WHAT: 어떤 문제를 해결할 것인지, 하기 별첨내 예시 참고

- 시나리오/솔루션 제안을 위해 이공계/인문학/사회과학 등 학제간 융합 시 우대
- 이후 심사 중, 해당 시나리오에 대한 구체적 형상화를 추가 요청할 수 있음.

※ 이해 도모를 위해 직접 제작한 영상이나 삽화 제출 가능

- 문제 해결을 위한 방안으로는 하나의 기술이 아닌 **융복합 솔루션**

* 융복합 솔루션: 상이한 분야들의 요소들을 결합, 새로운 방법으로 중요한 문제를 해결하는 연구

제안 요망

- 신규 개발하려는 기술이 기존 기술들과 융복합하여
하나의 compact 한 시스템에 구현되는 솔루션 제안 우대

※ 아래 세부사례內 [세부 활용 기술 예시] 참고 및 연구자 고유 기술 활용

- 현재 기술 수준 대비 단순한 성능 향상 기술 제안은 지양

※ 별첨: 시나리오 상 WHAT(어떤 문제를 해결할 것인지)의 예시

1) 신체 능력 증강 솔루션

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 미래 사회 및 환경의 변화와 위기에 대한 적응 및 건강한 생활을 위해 인간의 타고난 신체/생물학적 한계를 극복 → 노화로 인한 신체/인지 능력의 감소를 보완, 대체 및 환경의 변화에 적응하기 위한 신체 강화 능력
세부사례	<p>[신체 역량 강화 솔루션]</p> <p>① 인체 삽입형 (implantable) 신체 능력 강화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 예) 인공 눈, 인공 근육, 인공 장기, 모발 이식, 나노봇 (Nanobots) 및 분자 나노기계 (Molecular nanomachines) 등 인체 내에서 stealth 기능 포함 <p>② 인체 부착형 (attachable) 오감 및 신체 활동 보조/강화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 예) 인공렌즈, 초박막 스마트 피부 (Smart skin), 근력 증강 의복 (Muscle-enhancing Garments), 시각 보조 장치 (Visual Augmentation), 청각 증폭 시스템 (Auditory Enhancement) 등; 의료 규제를 받지 않으며, 위생 (Hygiene) 확보 필수. 자가 충전 또는 자가 수리 (self-repairment)에 대한 기술도 고려. <p>③ 인간의 신체 능력과 대등/수월한 수준의 인체 착용가능한 (wearable) 로봇/인프라 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 예) 외골격 (Exoskeleton) 시스템, 가상 키보드 (virtual keyboard) 등; 인간을 로봇 같은 인간으로, 로봇을 인간 같은 로봇으로 만드는 기술; 단순 기능성 wearable 제품 기술 제외

구분	주요 내용
	<p>④ 인간의 신체 역량 강화를 위한 바이오 (인프라) 기술 - 예) 오가노이드 (Organoids), 광유전학 (Optogenetics), 바이오닉 보철 (Bionic Prosthetics), 유전자 편집 (Gene editing), 텔로미어 조작(Telomere Manipulation) 등</p> <p>⑤ 진화론적으로 인간의 뇌에 기록된 “체화된 기억” 을 활용한, 즉 인간의 본능과 심리에 기반한 인간의 신체 강화 기술</p>

2) 인지 능력 증강 솔루션

구분	주요 내용
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> - 인간 스스로에 대한 이해 및 주변(인간 및 사물)과의 상호 작용 향상을 위해 인간이 타고난 인지/사회적 한계 극복 → 사람 및 사물을 포함한 만물(everything)과의 소통을 구현하여 심리적 안정감을 줄 수 있는 인지/사회 역량 강화
세부사례	<p>[인지/사회 역량 강화 솔루션]</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 주변 환경을 스스로 이해하고 (주변 생물/무생물의 행동을 스스로 학습), 변화하는 환경에 적응하는 super AI 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 예) 사람이 성장하면서 지능이 발달해 가는 과정을 닮은 AI 기술 ② (S/W 기술) 인간 지능을 뛰어넘는 인공지능 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 예) 스마트 기기 간의 협업을 유도하는 S/W 기술; 얼굴 표정, 목소리 톤, 제스처를 포함한 비언어적 소통을 해석하고 설명가능한 알고리즘, 과거 대화와 인간-인공지능 간의 상호 작용을 기억하고 적절한 순간에 인간에게 그 내용을 상기해주는 customized AI 기술, 사물-인간 간 직관적인 상호 작용을 가능하게 하는 인터페이스 S/W 기술, 사용자의 의도를 예측하고 선제적으로 대응하는 알고리즘, 인간의 지식을 확장하고 필요한 정보를 즉시 제공하는 AI 기반 두뇌 확장 S/W 기술 등), “제반 보안 또는 안정성 확보 기술 추가” <p>※ 기술 요구사항: 현존하는 컴퓨팅 기술 수준의 약 1,000 배 높은 H/W가 2050 년내 제공된다 가정하고 S/W 기술 제안</p> ③ (H/W 기술) 초인공지능 구현을 위한 인지 증폭을 가능하게

구분	주요 내용
	<p>하는 반도체/에너지원 기술</p> <p>- 예) 초지능 AI Agent 구현을 위한 H/W 기술; 뇌파를 직접 읽고 해석하여 기계/사물에 명령을 전달하는 반도체 등 H/W 기술, 인간의 오감을 증폭하여 더 넓은 범위의 시각, 청각, 촉각 감지 기능을 제공하는 H/W 기술, 20W 수준으로 동작가능한 바이오 호환 뉴로모픽 칩 기술, 분자 수준의 센서 어레이 (화학적 신호와 생체 신호를 감지) 기술, 공간 디스플레이를 통해 실시간으로 데이터 생성/처리 가능한 특수 영상 처리 전용 칩 기술, 멀티모달 입출력 특화 칩 기술, 자율 학습형 반도체 시스템, 인체 삽입형 전원 생성 모듈 기술 (체온, 움직임에서 에너지 생성하여, 인체 삽입된 장치에 전원 공급원으로 역할 수행), 자가 수리 기능 (자가 복원, self-healing 기능)이 탑재된 반도체 소재 및 칩 기술 등</p> <p>※ 기술 요구사항: 현존하는 컴퓨팅 기술 수준의 약 1,000 배 높은 H/W가 2050년까지 제공되는 기술 제안을 우대 → (전력소모량 1/10 배 이상 절감, 컴퓨팅 성능 10 배 이상 달성, 제조비용 등 1/10 이하 수준 달성 등; 소재, 소자, 칩, 시스템의 full-stack 관점에서 총 1,000 배 이상 기술 수준 향상 필요)</p>

[별첨] 시나리오 상 WHAT(어떤 문제를 해결할 것인지)의 예시

※ 하기 시나리오 상 WHO의 예시: 2050년도 90세 남성/여성(1960년생)

또는 110세 남성/여성(1940년생)

구분	내용
1) 여가/사회 활동	골프장으로의 원거리 이동에 대한 신체적/인지적 어려움. 골프를 즐기는 과정에서의 퇴화된 팔, 다리 근육에 대한 신체적 어려움(walking, running, breathing, 시각/청각/후각/촉각/미각 등)과 심리적 좌절감 등
2) 신체 사고	배우자 없이 혼자 생활 시작함. 생활 공간 내 미끄러짐 또는 낙상 사고 대처에 대한 위기감과 불안감 등
3) 건강 관리	정기 건강 검진을 위해 가까운 대형 병원으로 방문하는 과정에서의 대중 교통 이용에 대한 불편함 (지하철, 버스 탑승, 하차 등에 대한 어려움). 대형 병원 내에서 진료를 받기 위해 스스로 이동, 판단해야 하는 어려움 등
4) 자기 관리	노년의 사회적 자아(social self)를 위한 미용 목적 피부 재생 및 감각 기관 재생에 대한 어려움 등
5) 의식주	인터넷몰을 통한 식료품 주문에 대한 어려움, 기술적으로 고도화된 기기 사용에 대한 어려움(technology literacy), 시각적 정보 지각 및 인지적 해석 역량, 판단 능력 저하로 인한 불편함, 퇴화된 일부 신체 기능(치아, 감각 기관, 모빌리티를 위한 근육/뼈)에 대한 어려움. 기억력 감퇴로 가족 및 지인과의 소통 단절 및 부재
6) 환경 적응	심각한 지구 온난화 현상(4월부터 여름이 시작, 10월까지 지속되며, 평균 45도 높은 고온이 유지됨. 11월부터 겨울이 시작, 3월까지 지속되며, 영하 평균 10도 이하의 낮은 온도가 지속됨)으로 외출이 어렵고 실내 생활에 의존하게 하는 생활의 지속으로 사회와의 단절, 우울증이 심화됨.

※ 그 외 연구자가 제안하는 미래 시나리오 내 연령대, 성별, 상황에 따라 문제에 대한 정의 및 솔루션이 다를 수 있음