

2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

나노기술연구협회의 나노매뉴팩처링분회

진화하는 AI를 뒷받침하는
세 가지 기술:
로봇 지능, 반도체 패키징,
그리고 열 흐름의 과학



2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

진화하는 AI를 뒷받침하는 세 가지 기술: 로봇 지능, 반도체 패키징, 그리고 열 흐름의 과학

〈나노 리서치 트렌드 리포트〉는 나노기술 핵심 이슈와 최신 연구 트렌드를 전문가 시사점 중심으로 정리한 리포트로, 나노기술연구협의회 산하 6대 나노기술 분야별 전문가 네트워크인 '기술분회' 소속 전문가를 통해 작성되었습니다. 본 리포트는 기술분야별 국내외 주요 학회에 기술분회 소속 전문가들이 직접 참여하여, 학회에서 발표된 연구 성과와 논의 내용을 조사·분석하고, 이를 바탕으로 전문가의 시사점을 반영한 최신 연구 트렌드를 제시하고자 기획되었습니다. 이를 통해 연구자들의 창의적인 선행연구와 향후 핵심 이슈로 부상할 가능성이 높은 주제를 선제적으로 발굴함으로써, 연구현장의 흐름을 파악하는 선행지표로 활용하고자 합니다. 〈나노 리서치 트렌드 리포트〉에 많은 관심 부탁드립니다. 나노기술연구협의회는 앞으로도 미래 나노기술 이슈를 지속적으로 발굴하고 공유함으로써, 국가 나노기술 연구 및 산업 발전에 기여할 수 있도록 노력하겠습니다.

발간번호 | 2026-03

I S S N | 3140-2151

집필자 | 나노매뉴팩처링분회 옥종걸 (서울과학기술대학교 교수)

발행연월 | 2026년 6월

발행처 | 나노기술연구협의회


발행인 | 김주선 회장

주소 | 서울특별시 서초구 남부순환로 354길 14, 3층

전화 | 02-2057-8506

홈페이지 | <https://www.kontrs.or.kr>

담당자 |곽정원 팀장, 손소미 대리

본 콘텐츠는  과학기술정보통신부 「나노과학기술 연구진흥 및 협력 네트워크 확산 연구」 사업을 통해 제작되었습니다.

본 리포트의 무단 전재 및 재배포를 금합니다.

Nano Research Trend Report

대한기계학회 마이크로/나노공학부문 2026년 춘계학술대회

나노기술연구협회의 나노매뉴팩처링분회 - 옥종걸 (서울과학기술대학교 / 교수)

요약문

학회명

대한기계학회 마이크로/나노공학부문 2026년 춘계학술대회

개최 기간

2026. 5. 6.(수)~9.(토)

개최 장소

국 가 | 대한민국

도 시 | 여주시

장 소 | 디오션리조트

주관 기관

대한기계학회

학회 소개

- 본 학회는 마이크로-나노 기술 분야의 대표적 전문 학술행사로, 올해 창립 18주년을 맞아 산·학·연 연구자들이 최신 성과를 공유하고 다학제적 기술 교류를 수행함
- 나노소재 합성, 미세가공, 프린팅, 바이오센서, 에너지 소자 등 마이크로-나노스케일의 제조-소자-시스템 전반을 포괄하는 총 183편의 폭넓은 연구가 발표됨
- 최근 핵심 트렌드인 '피지컬 AI' 및 'AI 메모리 패키징'을 집중조망하고, 세메스·LG 등과의 산학협력 프로그램을 통해 산업계 수요에 맞춘 실용화 연구 논의를 활발히 진행함

해당 기술분야 및 발표규모

- 해당 기술분야: 마이크로/나노스케일의 기계적·전기적·광학적 현상을 다루며, 나노소재 응용 (탄소나노튜브 시트, 2차원 소재 등), 미세 공정 및 측정, 프린팅/패터닝, 바이오센서, 에너지 소자, 시스템 해석 및 메카트로닉스 기술을 포함함. 특히 이번 학회에서는 물리 기반 지능 시스템인 '피지컬 AI (Physical AI)'와 차세대 반도체를 위한 'AI 메모리 패키징 기술'이 핵심 기술 트렌드로 다루어짐
- 본 학회의 해당 분야 발표규모: 구두발표 38편, 초청강연 12건, 신진연구자 (YSF) 세션 10편, 포스터 발표 123편을 포함하여 총 183편의 연구 성과가 발표됨

주요 발표내용

- **최혁렬** (교수/대표이사, 성균관대학교/주에이딘로보틱스, 대한민국)
 - 발표제목 Force-aware robotics empowering physical intelligence
 - 발표내용 물리 기반 지능 시스템 (Physical Intelligence)의 발전 방향과 기계공학 분야에서의 응용 가능성을 논의. 특히 힘 감지 기술 (Force-aware)을 기반으로 한 로봇 공학의 물리적 지능 구현과 로봇 기능성 표면 및 초감각 연구에 대한 기술을 다룸
- **손호영** (부사장, SK하이닉스주, 대한민국)
 - 발표제목 Packaging Technology for AI Memory Applications
 - 발표내용 고성능 AI 애플리케이션용 메모리 반도체 (예: HBM 등)의 한계를 극복하기 위한 최신 패키징 기술 (Packaging Technology) 트렌드를 조망함. 반도체 후공정 분야에서 기계공학적 접근 (열-응력 제어, 미세 공정 등)이 가지는 중요성과 미래 고집적 AI 메모리 구현을 위한 핵심 패키징 솔루션을 다룸
- **백승현** (교수, 성균관대학교, 대한민국)
 - 발표제목 Thermal Rectification Mechanisms: Asymmetric Radiation, Conduction, and Elastic Modulus
 - 발표내용 비대칭 복사 (Asymmetric Radiation), 전도 (Conduction), 탄성계수 (Elastic Modulus)를 이용한 열정류 (Thermal Rectification) 메커니즘에 관한 연구. 열이 한쪽 방향으로만 더 잘 흐르도록 제어하는 나노스케일 열 물질 수송 및 제어 기술

핵심 키워드

- 피지컬 AI
- AI 메모리 애플리케이션
- 고집적/차세대 반도체 공정
- 나노 열전달 제어

시사점 요약

- 피지컬 AI의 확산에 따라 센서-연산-열관리 기술이 통합된 지능형 하드웨어 플랫폼 개발의 중요성이 증대되고 있음
- HBM 등 고집적 3차원 반도체의 발열 및 구조 변형 (Warping) 문제가 차세대 AI 하드웨어 성능과 신뢰성을 제한하는 핵심 기술적 병목으로 부상하고 있음
- 따라서 '피지컬 AI 구동을 위한 고집적 3차원 반도체의 기계공학적 극한 열-구조 신뢰성 설계 기술 확보'가 차세대 지능형 하드웨어 구현을 위한 핵심 연구개발 이슈로 판단됨



진화하는 AI를 뒷받침하는 세 가지 기술: 로봇 지능, 반도체 패키징, 그리고 열 흐름의 과학

1 | 연구 트렌드 소개

소프트웨어 중심 AI의 물리 세계 확장 및 피지컬 AI (Physical AI) 생태계 구축

가상 환경에 국한되었던 인공지능을 실제 물리 시스템에 투사하기 위해 정밀 힘 인지 (Force-aware) 로봇공학 기술이 핵심 솔루션으로 부상함. 로봇의 기능성 표면과 초감각 시스템을 통해 인간의 섬세한 촉각 메커니즘을 모사함으로써, 외부 환경과 능동적·안전하게 상호작용할 수 있는 기계적 지능 제어의 토대가 마련됨

초고집적 AI 메모리 수요 대응을 위한 기계공학적 패키징 (Packaging) 최적화

고성능 AI 애플리케이션의 데이터 처리 능력을 극대화하기 위해 3차원 반도체 적층 구조 (HBM 등)가 필수화됨에 따라, 초고밀도 공간 내에서의 열·구조적 신뢰성 확보가 반도체 후공정의 핵심 과제로 대두됨. 칩의 집적화로 인해 발생하는 극심한 열부하와 구조적 변형 (Warping) 스트레스를 억제하기 위해, 열전달 경로 설계 및 박막 응력 제어와 같은 기계공학적 구조 최적화 기술이 차세대 반도체의 성능을 결정짓는 핵심 경쟁력으로 작용함

나노스케일 이중 구조 설계를 통한 고효율 방향성 열정류 (Thermal Rectification) 메커니즘 규명

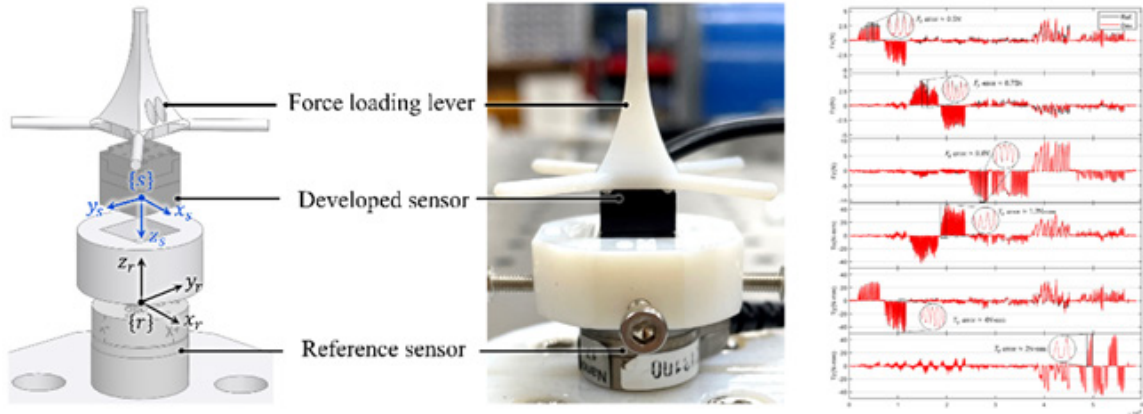
반도체 및 로봇 시스템의 고집적화로 인한 발열 문제를 근본적으로 해결하기 위해, 비대칭적 복사·전도 특성 및 탄성계수 변화를 결합하여 열의 흐름을 단방향으로 통제하는 ‘열 다이오드’ 기술이 제안됨. 물질의 미세 구조적 비대칭성을 활용해 순방향 열전달은 극대화하고 역방향 흐름은 차단함으로써, 외부 전력 공급 없이도 첨단 전자기기 내부의 고밀도 열을 특정 방향으로 유도·배출할 수 있는 차세대 무에너지 열관리 소자의 가능성을 입증함

지능형 하드웨어 구현을 위한 시스템 통합적 시사점

궁극적으로 모니터 밖의 물리적 환경을 정밀하게 인지하는 로봇 시스템 (피지컬 AI)과 이를 구동하는 두뇌인 초고속 반도체 (AI 메모리 패키징), 그리고 시스템의 열적 파손을 방지하는 나노스케일 흐름 제어 (열정류 메커니즘) 기술은 상호 유기적으로 결합되어 있음. 인공지능의 하드웨어적 한계를 극복하기 위해서는 하드웨어 설계, 고집적 패키징, 나노 스케일의 열 제어가 일체화된 기계공학적 융합 패러다임으로의 전환이 필수적임

2 | 연구의 특징 및 핵심 기술

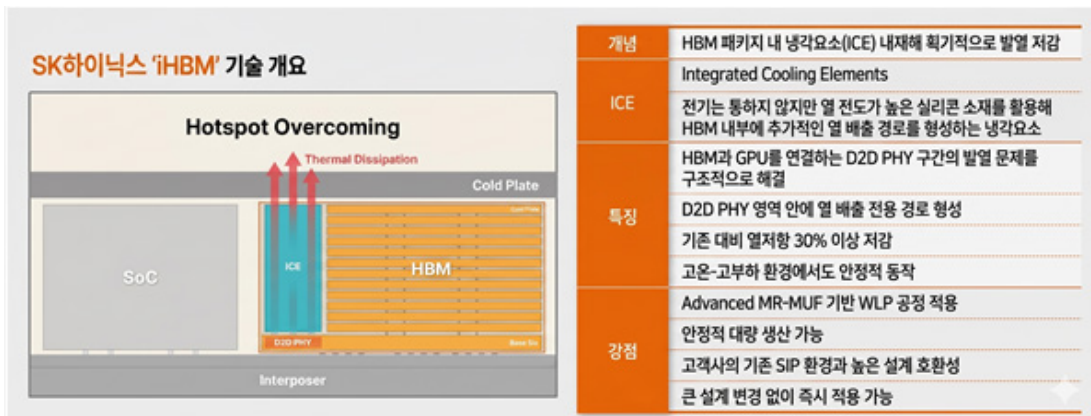
가상 환경을 넘어 물리 세계로 확장되는 피지컬 AI (Physical AI)와 힘 인지 기술



[그림 1] 힘 감지 기술 (Force-aware) 기반 로봇 공학의 물리적 지능 구현 사례
(출처: Sensors 2025, 25(3), 940)

최근 마이크로나노 기술 분야는 단순히 모니터 속 가상의 데이터를 처리하는 지능을 넘어, 실제 하드웨어 시스템에 물리적 지능을 부여하는 방향으로 진화하고 있음. 이러한 트렌드를 대변하듯 이번 학회에서는 최혁렬 대표 (성균관대학교/(주)에이딘로보틱스)가 ‘Force-aware robotics empowering physical intelligence’라는 주제로 기조강연을 진행함. 해당 연구는 로봇이 외부 환경과 안전하고 능동적으로 상호작용할 수 있도록 정밀한 힘 인지 (Force-aware) 시스템을 구축하는 하드웨어 기반 지능 기술을 다룸. 이는 고도화된 나노 센서 및 기능성 표면 기술을 기계 시스템과 통합하여 인간의 초감각 메커니즘을 기계적으로 모사하고, 소프트웨어 중심 AI의 한계를 물리적 세계로 확장했다는 점에서 독창적인 기술적 특징을 가짐

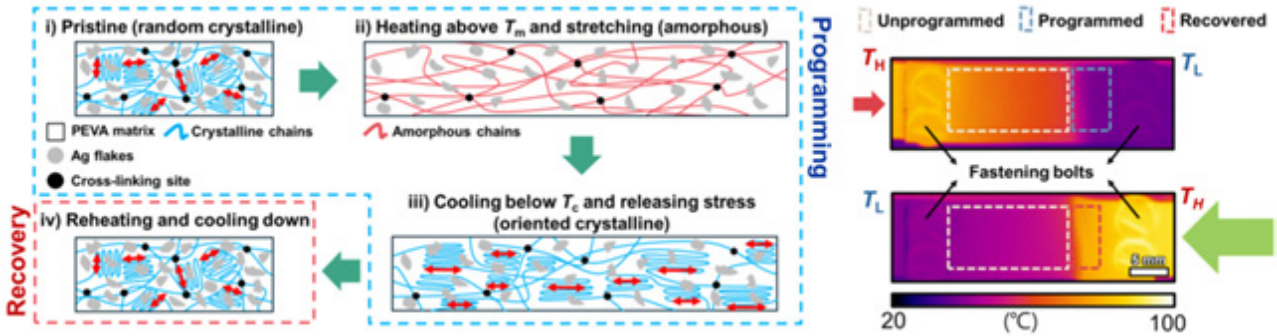
초고집적 반도체의 열·구조적 신뢰성 한계를 극복하는 첨단 패키징 (Packaging) 공정



[그림 2] iHBM 솔루션 개념도 및 개요 (출처: SK하이닉스㈜)

시 연산량이 급증함에 따라 나노소자 분야에서는 칩을 3차원으로 적층하여 데이터 전송 속도를 극대화하는 HBM 등 고집적화가 핵심 이슈로 자리 잡음. 손호영 부사장 (SK하이닉스(주))은 기조강연인 ‘Packaging Technology for AI Memory Applications’를 통해 초고속 AI 메모리 구현을 위한 최신 반도체 후공정 트렌드를 조망함. 나노 스케일의 소자가 밀집될수록 내부 열 부하와 열팽창 계수 차이에 의한 구조적 비틀림 (Warping) 스트레스가 기기 파손의 치명적인 원인이 됨. 이를 해결하기 위해 미세 공간 내 열전달 경로를 최적화하고 박막의 잔류 응력을 제어하는 기계공학적 접근법이 제시되었으며, 하드웨어의 물리적 한계를 정밀 구조 설계를 통해 돌파하는 핵심 융합 기술로서 주목받음

극한의 발열 제어를 위한 나노스케일 방향성 열정류 (Thermal Rectification) 메커니즘



[그림 3] 나노스케일 방향성 열정류 메커니즘(좌) 및 나노 재료 기반 열정류 소자 제작 개요(우)
(출처: Materials Horizons, 13, 3993-4002, 2026)

소자의 구조가 미세화·집적화될수록 발생하는 고밀도 열을 효과적으로 방출하는 것은 시스템의 생존과 직결된 첨단 나노 기술의 당면 과제임. 백승현 교수 (성균관대학교)는 구두발표 세션에서 ‘Thermal Rectification Mechanisms: Asymmetric Radiation, Conduction, and Elastic Modulus’라는 논문을 통해 전류를 한 방향으로만 흐르게 하는 다이오드처럼 열의 흐름을 인위적으로 통제하는 기술을 소개함. 물질 내부의 나노 구조적 비대칭성을 활용해 비대칭 복사, 전도 특성 및 탄성계수 변화를 결합함으로써, 순방향 열전달은 극대화하고 역방향 흐름은 원천 차단하는 메커니즘을 규명함. 이는 외부의 전력 공급 없이도 전자기기 내부의 국소 발열을 원하는 방향으로만 유도해 배출할 수 있는 차세대 무에너지 극한 열관리 솔루션으로 평가됨

지능형 하드웨어 구현을 위한 나노-기계 통합형 시스템 패러다임

이번 학회에서 다뤄진 주요 기술들은 개별적인 소자 개발에 머무르지 않고, 하나의 유기적인 지능형 플랫폼을 완성하는 공통된 특징을 보여줌. 외부 자극을 정밀하게 인지하는 센서 시스템 ((주)에이디노보틱스 최혁렬 대표), 이를 연산하는 두뇌의 고집적화를 위한 구조 패키징 (SK하이닉스(주) 손호영 부사장), 그리고 초고속 구동 시 발생하는 열적 파손을 원천 방지하는 나노스케일 열 흐름 통제 기술 (성균관대학교 백승현 교수)은 인공지능 하드웨어 생태계를 구성하는 필수 불가결한 핵심 기술 앙상블임. 결과적으로 최근의 나노기술 트렌드는 미세 공정의 한계를 극복하기 위해 물리적 구조 설계, 고집적 패키징, 첨단 열관리가 기계공학적 관점에서 일체화 되는 시스템 통합형 융합 패러다임으로 급격히 전환되고 있음을 시사함

3 | 기존과 비교 시 연구 (기술)의 우수성과 가능성

기존의 지능형 하드웨어 및 나노소자 연구의 경우, 가상 환경 중심의 소프트웨어 인공지능 연산에 종속되어 있었으며, 고집적 하드웨어 구동 시 발생하는 심각한 국소 열부하와 구조적 변형 스트레스를 개별 소자 단위의 방열재 변경이나 물리적 표면적 확대 등 단순 냉각 방식에 의존하여 해결하려는 한계를 보였다. 이러한 물리적 접근법은 소자가 마이크로/나노 스케일로 극단적으로 미세화·집적화될수록 계면에서의 열 저항 급증과 기계적 변형 (Warping)에 의한 크랙 발생을 원천적으로 차단하지 못해 시스템의 구조적 불안정성을 야기하는 주된 원인으로 지적되어 왔음

반면 본 학회에서 제시된 인지 (센서)-연산 (반도체 패키징)-제어 (열관리) 일체화 기반의 시스템 통합형 융합 기술은 나노스케일의 기계공학 설계를 하드웨어 하이브리드 플랫폼에 직접 이식함으로써 (1) 외부 환경과의 기계적 상호작용 속도와 (2) 고집적 칩의 연산 효율을 동시에 향상시켰으며, 나노 구조적 비대칭 계면 설계를 통해 (3) 소자의 열적 비틀림을 억제하고 (4) 시스템의 구조적 신뢰성을 극대화하였음. 개별 부품의 성능 개선을 넘어 시스템 계면의 물리적·열역학적 거동 특성을 나노 수준에서 근본적으로 제어하고 개선한 통합 연구임

성능 및 기능적 측면에서도 기존 단순 압력 센서 대비 수직력·전단력·표면 질감을 동시에 주파수 신호화하는 다축 힘 인지 능력을 확보하였고, 상용 구조 대비 반도체 적층 수 증가에 따른 열 저항 및 구조 변형 스트레스를 획기적으로 낮추는 전천후 신뢰성을 나타냄

이는 최혁렬 대표팀의 힘 인지 (Force-aware) 메커니즘이 가상 세계에 갇혀 있던 AI에게 인간의 기계적 촉각 수용체를 모사한 ‘초감각’을 부여하고, 손호영 부사장팀의 첨단 반도체 패키징 구조 설계를 통해 초고속 연산 시의 물리적 한계를 돌파하도록 지원함과 동시에, 백승현 교수팀의 방향성 열정류 (Thermal Rectification) 메커니즘이 포논 (Phonon) 수송 거동의 비대칭성을 활용해 순방향 열전달은 극대화하고 역방향 흐름은 차단하여 속도 지배적 열부하 단계를 완화시킨 결과임

기존 기술이 “소자의 미세 가공 및 표면적을 늘리는 단편적인 물리적 접근”에 머물렀다면, 본 연구는 “인지·연산·제어 계면의 메커니즘을 나노 스케일에서 유기적으로 설계하는 시스템 통합형 기계공학 접근”으로 발전시켰다고 볼 수 있음. 즉, 센서와 반도체, 열 제어 소자 간의 물리적·열적 상호작용을 통합 조절하여 하드웨어 생태계의 구동 경로 자체를 바꾸는 새로운 기술적 전략임. 계면 나노-기계공학 융합은 기존의 단일 물질 합성이나 개별 부품 중심 연구에서 한 단계 더 나아가 패러다임으로, 지능형 하드웨어의 수명·효율·안정성을 동시에 향상시킬 수 있는 차세대 플랫폼 설계 방향성을 제시할 수 있음

따라서 이 연구는, (1) 기존 결정질 및 대칭 구조 기반 소자가 가진 내구성·방열 활성의 한계를 극복하고, (2) 외부 에너지 공급 없이도 국소 발열을 제어하는 무에너지 극한 열관리 측면에서 상용 능동 냉각 시스템을 대체할 가능성을 제시하였으며, 나아가 (3) 인지-연산-제어 일체화 설계 기술을 다른 첨단 하드웨어 시스템 (예: 자율운용 무인 드론, 웨어러블 의료 기기, 스마트 모니터링 플랫폼 등)으로 확장할 수 있는 범용적 연구 기반을 마련했다는 점에서 학문적·산업적 의의가 크다고 사료됨

또한, 최근 나노 스케일의 물리적 구조 제어나 이종 계면 전자·열 제어를 활용한 시스템 통합형 설계 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 이러한 일련의 접근은 기존 공정 중심 하드웨어의 한계를 극복하고 차세대 피지컬 AI 및 반도체 구동 환경의 에너지·물질 전달 경로를 정밀하게 설계할 수 있는 새로운 연구 패러다임으로 발전하고 있다고 보임

표1 피지컬 AI 및 하드웨어 시스템 분야 연구 트렌드 변화

NO	항목	기존 연구 트렌드	최신 연구 트렌드
1	연구 지향점	<ul style="list-style-type: none"> • 소프트웨어 중심 연산 지능 - 가상 환경 및 데이터 처리에 치중된 AI 구동 - 물리 세계와의 상호작용 제한 	<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어 통합형 피지컬 AI (Physical AI) - 센서 표면 및 기계 시스템 일체화 - 실시간 외부 환경 능동 인지 및 제어
2	핵심 센서 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 단순 압력/변위 센서 기반 - 단일축 수직 압력 중심의 1차원적 계측 - 질감 및 전단력 감지의 한계 	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 촉각 수용체 모사 초감각 기술 - 다축 힘/토크 및 표면 질감 실시간 신호화 - 나노소재 (CNT 등) 기반 유연 복합체 적용
3	반도체 구조 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 2차원 수평 배열 공정 - 전공정 미세화 (화학적 합성 중심) 의존 - 집적도 한계 및 데이터 전송 지연 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 고집적 패키징 (Packaging) - HBM 등 실리콘 관통전극 (TSV) 수직 적층 - 열·구조적 변형 (Warpage) 및 잔류 응력 제어
4	발열 제어 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 단편적 물리적 냉각 기법 - 표면적 확대를 통한 발열재 변경 - 능동형 냉각팬 등 외부 전력 소모 필수 	<ul style="list-style-type: none"> • 나노스케일 방향성 열정류 메커니즘 - 비대칭 구조를 활용한 무에너지 '열 다이오드' - 포논 (Phonon) 수송 거동 제어로 순방향 유도 배출
5	접근 패러다임	<ul style="list-style-type: none"> • 단일 부품/소자 단위 최적화 - 개별 부품의 성능 개선 연구에 국한 - 소자 간 열역학적·물리적 상호작용 간과 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합형 (System Integration) 융합 - 인지 (센서)-연산 (반도체)-제어 (열관리) 일체화 - 범용적 지능형 하드웨어 하이브리드 플랫폼 구축

4 | 향후 전망 및 기대

피지컬 AI 기반 스마트 하드웨어 생태계 활성화 및 촉각 감각 계통 모사

가상 환경 및 소프트웨어 중심의 연산 지능이 기계 시스템과 유기적으로 결합된 촉각 인지형 피지컬 AI (Physical AI) 플랫폼으로 대전환할 전망이다. 인간 피부의 기계적 수용체 메커니즘을 마이크로/나노 가공 기술로 모사하는 유연 압전·인장 센서 표면 기술이 안정화 될 것임. 탄소나노튜브 (CNT) 시트 기반 엘라스토머 복합체 등을 통해 수직 압력, 전단력, 표면 질감을 실시간 주파수로 신호화하는 기술이 정착될 것임. 고수준의 '손맛'과 힘 인지 (Force-aware) 능력을 갖춘 차세대 휴머노이드, 지능형 의수/의족, 스마트 그리퍼 등의 실용화가 제조 및 의료 현장에서 가속화될 것으로 기대됨

3차원 반도체 후공정 (패키징)의 열·구조적 신뢰성 설계 및 글로벌 주도권 선점

AI 대용량 데이터 병렬 처리를 위한 고대역폭 메모리 (HBM) 등 3차원 적층 구조의 집적도가 극대화됨에 따라, 미세 공정의 한계를 구조 설계로 돌파하는 후공정 (패키징) 최적화 기술이 핵심 경쟁력이 될 것임. 실리콘 관통전극 (TSV) 및 매스 리플로우 몰디드 언더필 (MR-MUF) 등 첨단 공정의 열팽창 불일치 문제를 해결하는 기계공학해석의 중요성이 대두될 것으로 판단됨. 2μm 및 160 nm 급 초 정밀 3D 리소그래피 (2PP, PμSL) 장비를 동원하여 적층 칩 사이에 열전달 효율이 극대화된 마이크로 유로나 방열 구조체를 직접 프린팅 하고 패터닝 하는 구조 최적화 기술의 상용화가 기대됨. 이를 통해 초고속 구동 환경에서 칩이 휘어지거나 단자 접합부가 파손되는 열구조적 스트레스 (Warpage)를 제어하고 하드웨어적 신뢰성을 완벽히 보장할 것으로 전망됨

무에너지 극한 발열 제어를 위한 나노스케일 방향성 열정류 소자 정착

비대칭 나노 구조 계면 및 재료의 탄성계수 제어를 통한 방향성 열정류 (Thermal Rectification) 메커니즘은 고집적 시스템의 당면 과제인 극한 발열 문제를 근본적으로 해결하는 이정표가 될 것임. 온도가 순방향으로 가해질 때는 포논 복사 및 전도 효과를 통해 열을 고속도로처럼 통과시키고, 역방향일 때는 계면 불일치를 통해 흐름을 원천 차단하는 '열 다이오드' 거동 제어가 정밀해질 것임.

레이저 가공 표면 미세구조 및 광열 효과 유효액 주입층 등 고도화된 고체 트라이블로지/표면 제어 기술과의 연계 연구가 확대될 것임. 외부 전력 공급 없이 소자의 구조적 특성만으로 유해 열을 원하는 안전 지대로 유도·배출하는 기술이 정착됨에 따라, 시스템 냉각 에너지를 획기적으로 절감하는 고효율 무에너지 열관리 생태계 조성이 기대됨

인지-연산-제어 일체화 기반의 시스템 통합형 융합 패러다임 선도

최근 마이크로/나노 기술의 발전 방향은 단일 부품의 효율 개선 연구에서 벗어나, 하드웨어 생태계 전체를 관통하는 완성형 플랫폼 기술을 지향하고 있음. 외부 자극을 정밀 수집하는 촉각 센서, 연산을 담당하는 고집적 반도체 패키징, 열적 파손을 방지하는 나노스케일 흐름 제어 기술이 단일 하드웨어 내에서 밀접하게 통합될 것임. 더 나아가 무인 시스템 맞춤형 다중 복합 나노 센서 모듈, 고정형 IoT 센서 및 대기확산 모델링 등 자율운용 모니터링 플랫폼과의 시스템 통합적 접근이 이루어질 것임. 이와 같은 시스템 통합 융합 패러다임은 로봇, 반도체, 바이오, 에너지 등 첨단 산업 전반의 하드웨어 신뢰성을 극대화하고 미래 지능형 하드웨어 생태계의 고도화를 견인하는 강력한 융합 성장 동력이 될 것으로 판단됨

5 | 연구개발 이슈 제시

“피지컬 AI 구동을 위한 고집적 3차원 반도체의 기계공학적 극한 열·구조 신뢰성 설계 기술 확보”

현재 마이크로/나노 기술의 패러다임은 단일 소자 개발을 넘어 인지 (센서)-연산 (반도체)-제어 (열관리)가 하나로 묶인 지능형 하드웨어 플랫폼을 지향하고 있음. 모니터 밖의 실제 환경을 인지하고 움직이는 피지컬 AI가 완벽히 구동되려면 고대역폭 메모리 (HBM)와 같은 초고집적 3차원 적층 반도체의 연산 지원이 필수적임

그러나 고밀도 공간 내에 소자가 수직으로 쌓일수록 내부 발열과 재료 간의 열팽창 불일치로 인한 칩 휘어짐 (Warping), 단자 박리 등 기계적 파손 위험이 기하급수적으로 증가하여 전체 시스템의 생존을 위협함. 핵심 해결 방안 및 기술적 요체미세 공정의 물리적 한계를 극복하기 위해, 반도체 패키징 단계에서부터 기계공학적 구조 최적화와 나노스케일 극한 열관리 기술이 일체화되어야 함

이를 위해 적층 칩 사이에 열전달 경로를 최적화하는 후공정 설계 (Advanced MR-MUF 등)와 함께, 물질의 비대칭 구조를 활용하여 외부 전력 없이 유해 열을 단방향으로 유도·배출하는 방향성 열정류 메커니즘을 물리적 하드웨어 구조 내에 이식해야 함

이 융합 이슈가 성공적으로 해결될 경우, 초고속 구동 환경에서도 타버리지 않는 '식지 않는 두뇌'를 확보하게 됨으로써, 차세대 휴머노이드 로봇 및 자율 무인 시스템의 하드웨어적 안정성과 신뢰성을 원천적으로 보장하고 미래 지능형 하드웨어 시장의 기술 패권을 선점할 수 있을 것으로 기대됨

표2 주요 기술용어 설명

NO	용어명	내용
1	피지컬 AI (Physical AI)	• 소프트웨어 중심의 AI 지능을 실제 기계 시스템에 통합하여, 로봇이 현실 세계와 직접 안전하게 상호작용하도록 신체적 지능을 부여하는 기술
2	힘 인지 기술 (Force-aware Technology)	• 로봇이 물체를 만질 때 발생하는 수직 압력과 수평 전단력을 미세하게 측정·제어하여, 물체를 부수거나 미끄러뜨리지 않고 정밀하게 조작하는 센서 기술
3	기계적 수용체 (Mechanoreceptor)	• 외부의 압력, 진동, 인장 (늘어남) 등의 자극을 인지하는 인간 피부의 감각 기관. 나노 기술을 통해 이를 기계적으로 똑같이 구현하는 연구 진행 중

NO	용어명	내용
4	반도체 후공정 패키징 (Packaging)	• 제조된 반도체 칩들을 쌓고 전기적으로 연결하여 보호막을 씌우는 공정. 최근에는 고성능 반도체의 열 방출 경로를 설계하고 미세구조를 안정화하는 기계 설계 기술로 대두됨
5	실리콘 관통전극 (TSV)	• 반도체 칩을 아파트처럼 수직으로 높게 쌓을 때, 칩 내부에 미세한 구멍을 뚫어 상하단 칩을 최단 거리의 금속선으로 직접 연결하는 전극 기술
6	열구조적 변형 스트레스 (Warping)	• 반도체 공정 중 서로 다른 재료 간의 열팽창 차이로 인해 칩이나 기판이 휘어지거나 비틀어지는 기계적 변형 현상임. 내부 균열을 일으키는 원인이 됨
7	방향성 열정류 (Thermal Rectification)	• 열이 한쪽 방향으로만 흐르고 반대 방향으로는 흐르지 못하게 통제하는 현상. 외부 전력 공급 없이 물질 구조만으로 열을 제어하는 차세대 냉각 기술
8	포논 수송 거동 (Phonon Transport)	• 고체 내부에서 열을 전달하는 격자 진동 (포논)의 움직임을 뜻함. 이 진동의 흐름을 나노 구조로 제어하면 열이 흐르는 방향과 속도를 인위적으로 조절할 수 있음
9	고체 트라이볼로지 (Solid Tribology)	• 물체가 서로 맞닿아 움직일 때 발생하는 마찰, 마모, 윤활 현상을 다루는 기계공학 학문. 나노 코팅을 통해 소자의 마찰을 줄이고 내구성을 극대화하는 연구가 핵심



2026

**나노 리서치 트렌드
리포트**



나노기술연구협의회
Korea Nanotechnology Research Society