

2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

나노기술연구협의회 나노매뉴팩처링분회

지속 가능 스마트 나노제조:
소재 성능을 높이는 공정 제어와
데이터화의 융합



나노기술연구협의회
Korea Nanotechnology Research Society



2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

지속 가능 스마트 나노제조: 소재 성능을 높이는 공정 제어와 데이터화의 융합

〈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 | 2026-06

I S S N | 3140-2151

집필자 | 나노매뉴팩처링분회 이대호 (가천대학교 기계공학부 교수)

발행연월 | 2026년 7월

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

E-MRS 2026 Spring Meeting & Exhibit

나노기술연구협의회 나노매뉴팩처링분회 - 이대호 (가천대학교 / 교수)

요약문

학회명

E-MRS 2026 Spring Meeting & Exhibit

개최 기간

2026. 5. 25.(월)~29.(금)

개최 장소

국 가 | 프랑스

도 시 | 스트라스부르

장 소 | Strasbourg Convention Centre (PMC)

주관 기관

European Materials Research Society (E-MRS)

학회 소개

- E-MRS 춘계학술대회는 소속 회원 4,000명 이상을 보유한 유럽재료학회 (European Materials Research Society, E-MRS)가 주최하는 유럽권 대표 재료과학 국제 학술대회로 기능성 소재, 박막, 산화물, 반도체·광전자 소재, 나노소재, 에너지·환경 소재, 고분자·복합소재, 바이오소재, 레이저 공정 등 재료과학의 주요 분야를 폭넓게 다룸
- 춘계학술대회는 E-MRS의 대표 행사이며, 평균 약 25개 심포지엄, 참가자 약 2,500명 규모로 유럽 최대급 재료과학 학술대회로 소개되고 있음

해당 기술분야 및 발표규모

- 해당 기술분야: 박막·코팅 제조, 산화물 박막 공정, 인공지능 (AI) 기반 공정 최적화, 자율형 합성·특성평가 플랫폼, 레이저 기반 제조, 스마트 센서 소자 제조
- 본 학회의 해당 분야 발표규모: 전체 발표 약 3,000여 건 중 박막·성장·공정·응용 분야 736건, 나노공학 코팅·박막 약 295건, 재료 레이저 공정 106건 등

주요 발표내용

- Diederik Depla** (Professor, Ghent University, Belgium)
 - 발표제목: 반응성 마그네트론 스퍼터링에서의 박막 성장 제어
 - 발표내용: 스퍼터링 공정에서 기판에 도달하는 입자의 거동이 박막의 조성·결정성·계면 특성을 결정함을 규명하고, 플라즈마·표면 상호작용 기반의 정밀 공정 제어 방향을 제시함
- Tetsuo Tsuchiya** (Principal Research Manager, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan)
 - 발표제목: 빛으로 구동하는 산화물 박막 기술과 순환형 전자소자
 - 발표내용: 빛을 이용한 photo-MOD 공정으로 기능성 산화물 박막을 저온에서 형성하고, 저비용·유연기판 호환 공정으로의 확장 가능성을 제시함
- François Courvoisier** (Research Director, FEMTO-ST Institute, CNRS, France)
 - 발표제목: 초고속 레이저 유도 나노기둥 압출
 - 발표내용: 초고속 레이저를 이용해 사파이어 표면에 나노기둥을 직접 형성하고, 레이저 기반 적층 나노제조 가능성을 제시함
- Zhong Lin Wang** (Regents' Professor (Emeritus), Georgia Institute of Technology, USA)
 - 발표제목: 마찰전기 나노발전기 (TENG) 기반 분산형 에너지 하베스팅과 자가발전형 센싱
 - 발표내용: 마찰전기 나노발전기 (TENG)의 원리와 다양한 응용 사례를 소개하며, 분산형 에너지 하베스팅과 자가발전형 센싱 기술의 발전 방향을 제시함

핵심 키워드

- 나노매뉴팩처링, 지속 가능 제조
- 인공지능 (AI) 기반 공정 최적화, 자율형 소재 공정
- 박막·코팅 제조, 산화물 박막, 마찰전기 나노발전기
- 레이저 공정, 스마트 센싱

시사점 요약

- E-MRS 2026에서는 나노매뉴팩처링을 소재 설계, 박막 성장, 표면·계면 제어, 공정 데이터화, 소자 집적을 아우르는 재료·공정 융합 분야로 다루었음. 주요 연구는 지속 가능 에너지·센싱 소재, 기능성 소재, 박막 성장 및 공정 기술을 중심으로 전개되었으며, 레이저 분야에서는 마스크리스 (maskless), 국소 선택적, 프로그래밍 가능한 제조 플랫폼 연구가 꾸준히 발표되었음. 국내 반도체 학회 및 미국 MRS와 비교하면, E-MRS는 반도체 제조 중심보다 박막·산화물·레이저·센서·에너지 소재를 연계한 재료 기반 나노매뉴팩처링과 전통적 재료·공정 기술의 심화에 중점을 두는 특징을 보임
- 학회 발표 기반 연구 트렌드를 종합하면, 향후 나노매뉴팩처링 분야의 핵심 연구개발 이슈는 개별 공정 성능 향상에 머무르기보다, 소재 성능을 높이기 위한 공정 제어, 공정 데이터화, 자동화, 지속 가능 소자 응용을 통합하는 나노제조 플랫폼 구축으로 설정할 필요가 있음. 이에 본 리포트에서는 핵심 연구개발 이슈로 “AI 기반 공정 데이터와 공정 제어 기술을 결합한 지속 가능 스마트 나노제조 플랫폼 개발”을 제시함



지속 가능 스마트 나노제조: 소재 성능을 높이는 공정 제어와 데이터화의 융합

1 | 연구 트렌드 소개

E-MRS 2026 Spring Meeting 학회는 24개 병렬 심포지엄으로 구성되었으며, 학회 전체 프로그램을 구두발표와 포스터발표 기준으로 집계하면 총 3,000여 건의 발표가 확인되며, 이 중 구두발표와 포스터발표의 비중이 비슷함. 아래 표와 같이 대분류별로는 지속 가능 에너지·센싱 소재 분야가 가장 큰 비중 (약 34%)을 차지하였고, 하이브리드·기능성·고분자 소재 분야 (약 30%), 박막·성장·공정·응용 분야 (약 25%), 포토닉스·전자소자 분야 (약 11%)가 뒤를 이었음. 이는 E-MRS가 반도체 제조공정 하나에 집중하기보다 재료과학 전반의 공정·소재·소자 융합 흐름을 반영하는 학회임을 보여줌

본 학회에서 확인된 나노매뉴팩처링 연구 동향은 “더 작은 구조를 만드는 기술”에 머무르지 않고, 소재의 조성·결합·계면·구조·공정 데이터·소자 기능을 함께 설계하는 방향으로 이동하고 있음. 즉, 나노 수준의 형상 제어와 재료 특성 제어가 하나의 제조 전략으로 결합되는 흐름임. 나노공학 응용 박막 코팅, 다기능 산화물 박막, 데이터·AI 기반 공정, 나노발전기·스마트 센싱, 레이저 공정이 특히 관련성이 높았음

한편, 국내 반도체 관련 학회 및 미국재료학회 (MRS) 2026 춘계학술대회와 비교하면 E-MRS의 성격은 다음과 같은 특색이 있음. 국내 반도체 관련 학회는 배선, 패키징, 리소그래피, 식각, 박막 공정, 화학기계연마, 세정, 계측·검사, 첨단 패키징 등 반도체 제조·패키징 기술이 큰 비중을 차지하며, 이는 국내 반도체 산업의 강점과 수요가 반영된 결과임. 미국에서 열렸던 MRS 2026 춘계학술대회는 총 69개 심포지엄, 5,000여 건 이상의 발표로 E-MRS보다 규모가 크고 주제가 더 세분화되어 있음. 특히 전자·광자·반도체·광전자 계열 발표가 가장 큰 비중을 차지하였고, 첨단 반도체 패키징, 반도체 공급망, 마이크로전자용 기능성 산화물 박막 등 반도체 제조·패키징과 직접 연결되는 심포지엄이 별도로 구성되었음. 페로브스카이트 태양전지의 제조·신뢰성도 독립 심포지엄으로 운영되어, 효율 향상이나 기초 물성을 넘어 제조공정·신뢰성 문제로 확장되고 있음을 보여줌

반면 E-MRS 2026에서는 반도체 제조공정이나 패키징이 국내 학회나 미국 MRS만큼 독립적인 중심축으로 부각되지는 않았음. E-MRS에서도 원자층 증착, 스퍼터링, 산화물 박막, 소자 집적, 태양전기·페로브스카이트 관련 발표는 다수 확인되나, 이들은 반도체 제조공정 자체보다 박막 성장, 표면·계면 제어, 기능성 산화물, 에너지소자, 포토닉스, 센서, 고분자·복합소재 등 넓은 재료과학적 맥락 속에서 다루어졌음. 따라서 E-MRS 2026의 차별성은 특정 산업 제조공정에 집중하기보다, 소재의 조성·결합·계면·구조·공정 데이터·소자 기능을 통합적으로 설계하는 재료 기반 나노매뉴팩처링 성격이 강하다는 점에 있음. 국내 학회가 반도체 제조·패키징 중심의 산업 밀착형이고, 미국 MRS가 반도체 패키징·공급망·페로브스카이트 제조 및 신뢰성·AI 소재 탐색을 대형 학회 구조 속에서 세분화한다면, E-MRS는 박막·코팅 제조, 산화물 박막 공정, 레이저 기반 국소 제조, 인공지능 공정 최적화, 지속 가능 소자제조를 폭 넓게 연결하는 유럽형 재료공정 융합 학회로 해석됨

종합하면, 이번 학회에서 확인된 나노기술 트렌드는 ‘더 작게 만드는 기술’에서 ‘소재의 기능을 공정으로 설계하고, 인공지능·자동화로 재현성을 높이며, 지속 가능한 소자 응용으로 연결하는 기술’로 나노매뉴팩처링의 범위가 확장되고 있다는 것으로 요약됨



[그림] E-MRS 2026 Spring Meeting & Exhibit 현장

2 | 연구의 특징 및 핵심 기술

• 박막·코팅 제조공정의 정밀화

Diederik Depla 교수 (벨기에 겐트대학교)의 “반응성 마그네트론 스퍼터링에서의 박막 성장 제어” 발표는 박막 공정의 핵심이 단순한 증착 속도 조절이 아니라 기판에 도달하는 입자의 에너지·각도·전하 상태를 이해하는 데 있음을 보여줌. 이러한 상태는 박막의 조성, 밀도, 결정성, 응력, 접착력, 계면 특성을 좌우하는 핵심 변수임. Andrea Crovetto 교수 (덴마크공과대학교)의 혼합 음이온 반도체용 조합식 박막 증착 플랫폼과 David Muñoz-Rojas 교수 (프랑스 CNRS/LMGP)의 대기압 공간 원자층 증착 (ALD) 발표는 한 번의 실험에서 넓은 조성·두께·공정 조건을 빠르게 탐색하려는 흐름을 보여줌. 박막 제조가 “잘 만드는 기술”을 넘어 “빠르게 찾고 예측하는 기술”로 확장되고 있음

• 산화물 박막과 지속 가능 전자소자

Tetsuo Tsuchiya 박사 (일본 AIST)는 빛을 이용한 금속유기물 분해 (photo-MOD)를 통해 산화물 박막을 제조하는 연구를 소개함. 이 발표는 고온·고진공 장비에 크게 의존하던 기존 산화물 박막 공정을 저온·저비용·유연기판 호환 공정으로 확장할 수 있음을 보여줌. 특히 빛 조사 조건을 조절하여 산화물 박막 내부의 산소 결함과 미세구조를 제어할 수 있다는 점에서, 투명전자소자, 센서, 산화물 반도체, 순환형 전자소자 제조에 활용 가능성이 큼

• AI 기반 자율형 소재 공정

Nora M. Dempsey 박사 (프랑스 CNRS)의 조성 구배 박막 연구와 Sven Fischer 박사 (독일 카를스루에 공과대학교)의 에너지 소재 가속 플랫폼 (Energy Materials Acceleration Platform, E-MAP)은 소재 합성, 특성평가, 데이터 분석, 다음 실험 조건 선택을 하나의 흐름으로 연결하려는 시도임. 특히 E-MAP은 자동화 장비, 영상 기반 상태 인식, 실시간 피드백을 결합하여 새로운 에너지 소재를 더

빠르게 탐색하려는 연구 플랫폼으로 이해할 수 있음. Shuntaro Tani 박사 (일본 RIKEN)의 “신경망 기반 디지털 트윈을 활용한 정밀 레이저 공정” 발표는 레이저 출력, 펄스폭, 반복률, 빔 모양, 주사 속도, 초점 위치 등 많은 변수가 동시에 작용하는 레이저 공정을 인공지능으로 예측하려는 접근임. 디지털 트윈 (Digital Twin)은 실제 공정을 컴퓨터 안에 모사한 예측 모델을 의미함. 공정 데이터가 충분히 축적될 경우, 기존의 경험적 조건 탐색을 줄이고 재현성 높은 공정 조건을 더 빠르게 찾을 수 있을 것으로 판단됨

• 레이저 공정의 독립적 제조 플랫폼화

François Courvoisier 박사 (프랑스 CNRS)의 “초고속 레이저 유도 나노기둥 압출” 발표는 레이저 공정이 표면을 깎거나 녹이는 수준을 넘어, 국소 용융과 압력 구배를 이용해 사파이어 표면에 양각 나노구조를 직접 형성할 수 있음을 제시함. 이는 레이저가 제거 공정 뿐 아니라 나노구조를 형성하는 제조공정으로 활용될 수 있음을 의미함. 레이저 공정의 장점은 마스크가 필요 없고, 원하는 위치에만 에너지를 넣을 수 있으며, 컴퓨터 제어로 패턴을 바꿀 수 있다는 점임. 따라서 유연전자소자, 투명전극, 센서, 에너지 소자, 표면 기능화 분야에서 박막·AI·실시간 진단 기술과 결합될 가능성이 큼

• 섬유 기반 마찰전기 나노발전기 (TENG)와 스마트 센싱

Ishara Dharmasena 교수 (영국 러퍼버러대학교)의 “직물과 나노발전기를 연결하는 방법: 헬스 모니터링용 textile TENG 최적화” 연구는 TENG를 실험실 수준의 개별 소자에 머물게 하지 않고, 실제 착용 가능한 섬유 센서로 확장한 사례임. 이 연구는 원사 코팅, 직물 코팅, 스크린 프린팅, 침지 코팅, 편직, 자수 등 확장 가능한 섬유 공정을 TENG 구조와 연결하여, 섬유형 TENG의 제조 가능성과 헬스 모니터링 응용 가능성을 함께 제시함. TENG 분야의 대표 연구자인 Zhong Lin Wang 교수 (미국 조지아공과대학교)는 사물인터넷, 웨어러블 센서, 환경·구조물 모니터링, 의료기기 등에 폭넓게 적용한 연구에 대해 전반적인 리뷰를 진행함. Textile TENG는 사람의 움직임처럼 낮고 불규칙한 기계적 에너지를 전기 신호로 바꿀 수 있음. 웨어러블 헬스케어에 적용하려면 출력뿐 아니라 통기성, 신축성, 착용감, 수분 확산, 세탁 및 장기 내구성을 함께 고려해야 함. 이 점에서 스마트 센서 제조는 나노소재, 섬유공정, 생체신호 측정, 착용성 평가가 결합된 응용형 나노매뉴팩처링 분야로 볼 수 있음

표1 주요 발표별 나노매뉴팩처링 분야 시사점

발표자	발표 주제	핵심 내용	보고서 관점의 시사점
Diederik Depla	반응성 스퍼터링	• 입자 에너지와 표면 상호작용이 박막 품질을 좌우함	• 박막 공정의 경험 의존성을 낮추고 예측 가능한 제조로 전환할 필요가 있음
Andrea Crovetto	조합식 박막 증착	• 하나의 기판에서 넓은 조성공간을 빠르게 탐색함	• 신소재 탐색과 공정 최적화를 동시에 수행하는 플랫폼화가 중요함
Tetsuo Tsuchiya	광구동 산화물 박막	• 빛을 이용해 저온에서 산화물 박막과 결함을 제어함	• 유연기판과 순환형 전자소자에 적합한 저온 제조공정으로 확장 가능함
François Courvoisier	초고속 레이저 나노기둥	• 레이저로 표면에 양각 나노구조를 직접 형성함	• 레이저 공정이 제거 가공에서 구조 형성 공정으로 확장되고 있음
Shuntaro Tani	디지털 트윈 레이저 공정	• 신경망으로 레이저 공정 결과를 예측하고 조건을 찾음	• 복잡한 공정변수 공간을 AI로 줄이는 정밀 제조 방향을 제시함
Ishara Dharmasena / Zhong Lin Wang	Textile TENG	• 섬유 공정과 자가발전형 센서를 연결함	• 착용성·내구성·신호 측정을 함께 설계하는 응용형 나노제조가 필요함

위 발표들을 종합하면, E-MRS에서의 나노매뉴팩처링은 개별 장비 기술이 아니라 “공정 이해-데이터 축적-실시간 예측-소자 적용”을 연결하는 방향으로 진행되고 있음. 이 흐름은 국내 연구에서도 단일 공정 성능 비교를 넘어, 공정 데이터와 소재 기능을 함께 축적하는 연구 설계가 필요함을 시사함

3 | 기존과 비교 시 연구 (기술)의 우수성과 가능성

앞서 소개한 발표들을 종합하면, E-MRS 2026에서 확인된 나노매뉴팩처링 연구는 기존의 “작게 만들기” 중심 접근에서 벗어나, “소재의 기능을 공정 단계에서 함께 설계하는 방향”으로 발전하고 있음. 기존 나노제조 연구가 박막의 두께, 패턴 크기, 표면 형상과 같은 외형적 정밀도에 집중하였다면, 최근 연구는 박막 내부의 결함, 결정성, 산소 빈자리, 계면 상태, 전하 이동 특성, 공정 중 실시간 변화까지 함께 제어하려는 방향으로 이동하고 있음

예를 들어 Diederik Depla의 반응성 마그네트론 스퍼터링 연구는 스퍼터링 공정을 단순히 박막을 증착하는 기술로 다루지 않았음. 기판에 도달하는 입자의 에너지와 방향, 이온과 중성 입자의 거동, 플라스마와 표면의 상호작용을 정량적으로 이해해야 박막의 조성, 밀도, 응력, 계면 특성을 예측할 수 있음을 보여주었음. 이는 기존의 경험적 레시피 기반 공정 조정에서 벗어나, 박막 성장 과정을 물리적으로 이해하고 설계하는 방향으로 발전하고 있음을 의미함

Tetsuo Tsuchiya의 빛 기반 산화물 박막 연구는 기존 산화물 박막 공정의 한계를 완화할 수 있는 가능성을 보여주었음. 기존 산화물 박막은 고온 또는 고진공 공정에 의존하는 경우가 많아 유연기판 적용, 저비용 제조, 대면적 공정 확장에 한계가 있었음. 반면 빛을 이용한 금속유기물 분해 공정은 낮은 온도에서도 산화물 박막을 형성할 수 있고, 빛 조사 조건을 통해 산소 결함과 미세구조를 조절할 수 있음. 이는 향후 유연전자소자, 투명전자소자, 저전력 센서 제조에 활용될 가능성이 있음

인공지능을 이용한 고속 탐색, 자율형 소재 공정 관련 발표들도 기존 공정 최적화 방식과 뚜렷한 차이를 보였음. 기존에는 연구자가 조건을 하나씩 바꾸며 반복 실험을 수행하고, 결과를 경험적으로 해석하는 방식이 많았음. 그러나 최근에는 공정 조건, 박막 구조, 물성 데이터를 함께 축적하고, 이를 바탕으로 다음 실험 조건을 자동으로 추천하거나 보정하는 방향으로 연구가 확장되고 있음. 디지털 트윈과 자동화 플랫폼이 결합될 경우, 공정 재현성 향상과 개발 기간 단축에 큰 도움이 될 것으로 판단됨

François Courvoisier의 초고속 레이저 유도 나노기둥 형성 연구는 레이저 공정의 가능성을 넓힌 사례임. 기존 레이저 공정은 표면을 깎거나 제거하는 어블레이션 가공으로 이해되는 경우가 많았음. 그러나 이 연구는 초고속 레이저를 이용해 사파이어 표면에 볼록한 나노기둥을 적층함으로써, 레이저 공정이 제거 가공뿐 아니라 국소적으로 구조를 만들어내는 제조공정으로도 활용될 수 있음을 보였음. 이는 향후 표면 기능화, 광학소자, 센서 표면, 에너지 소자 전극 구조 제어 등에 활용될 수 있음

Ishara Dharmasena의 섬유 기반 TENG 연구는 나노소자 제조가 실제 제품 형태와 더 가까워지고 있음을 보여줌. 기존 웨어러블 센서 연구는 높은 출력이나 민감도와 같은 전기적 성능에 집중하는 경우가 많았음. 그러나 실제 착용형 소자로 사용되기 위해서는 통기성, 신축성, 세탁 가능성, 착용감, 장기 내구성이 함께 고려되어야 함. 이 연구는 섬유 공정, 표면처리, 나노구조, 센서 기능을 함께 설계했다는 점에서 기존 단일 소자 중심 연구보다 실용화 가능성이 높다고 판단됨

따라서 이번 학회에서 확인된 연구들은 기존 기술 대비 여러 측면에서 다음과 같은 우수성과 가능성을 갖는 것으로 정리할 수 있음. 1) 공정은 단순히 조건을 조정하는 대상이 아니라 소재 기능을 설계하는 수단으로 다루어지고 있음. 2) 고온·고진공 중심의 공정은 저온·대기압·유연기판 호환 공정으로 확장되고 있으며, 반복 실험 중심의 조건 탐색은 데이터 기반 예측과 자동 보정 방식으로 이동하고 있음. 3) 레이저 공정은 제거 가공을 넘어 국소 구조 형성과 기능 제어가 가능한 제조 플랫폼으로 발전하고 있음. 4) 나노소자 연구는 실제 착용형·자가발전형·스마트 센서 응용으로 연결되며, 실용화 가능성을 높이고 있음

표2 나노매뉴팩처링 분야 연구 트렌드 변화

NO	항목	기존 연구 트렌드	최신 연구 트렌드
1	반응성 스퍼터링 기반 박막 제조	• 공정 압력, 가스 유량, 전력 등 장비 조건을 조정하여 최적 박막 특성을 확인하는 방식	• 기판에 도달하는 입자의 종류, 에너지, 입사 방향, 이온과 중성 입자의 거동을 분석하여 박막의 조성, 밀도, 응력, 계면 특성을 예측하고 제어하는 방향으로 발전
2	산화물 박막 공정	• 고온 열처리와 고진공 장비를 이용해 산화물 박막을 형성하는 방식이 중심이었으며, 유연기판 적용에는 한계	• 저온·대기압·광구동 공정, 유연기판 호환 및 결함·계면 정밀 제어
3	공정 최적화 방식	• 사람이 반복 실험으로 조건 최적화	• 인공지능·디지털 트윈·자율형 플랫폼 기반 자동 탐색과 실시간 보정
4	레이저 공정	• 레이저로 표면을 깎거나 제거하는 어블레이션 가공, 미세 패턴 형성 도구로 주로 활용	• 적층 제조공정 확장, 국소 상·구조·기능 제어, 표면 구조와 기능을 직접 만들어내는 제조 플랫폼으로 발전
5	섬유 기반 스마트 센서 제조	• 나노 발전기나 웨어러블 센서를 개별 소자 성능 중심으로 개발하는 경우가 많았으며, 실제 섬유 제품과의 연결성은 제한적	• 섬유 코팅, 스크린 프린팅, 딥 코팅, 자수·편직 구조를 마찰전기 나노 발전기와 결합하여 착용성, 신축성, 통기성, 센서 기능을 함께 설계하는 방향으로 발전
6	나노제조 목표	• 더 작은 구조를 더 정밀하게 만드는 것을 주요 목표로 인식	• 박막의 결함, 산화물의 산소 빈자리, 레이저에 의한 국소 구조 변화, 섬유형 센서의 착용성까지 함께 고려하여 소재 기능을 공정 단계에서 설계하는 방향으로 확장

이러한 변화는 나노매뉴팩처링의 경쟁력이 단순히 더 작은 구조를 더 정밀하게 만드는 데서만 결정되지 않음을 보여줌. 앞으로는 공정 중 소재가 어떻게 변하는지 이해하고, 그 변화를 데이터로 기록하며, 인공지능과 자동화 시스템을 이용해 원하는 기능을 안정적으로 구현하는 능력이 중요해질 것으로 판단됨. 따라서 박막·코팅, 산화물 박막, 레이저 공정, 스마트 센서 제조는 개별 연구 분야가 아니라 서로 연결된 나노제조 플랫폼으로 발전할 가능성이 큼

4 | 향후 전망 및 기대

E-MRS 2026에서 확인된 연구 동향을 바탕으로 향후 나노매뉴팩처링의 발전 방향 중 하나로 다음과 같은 사항들이 전망됨

- 박막·코팅 공정은 경험적 조건 설정에서 벗어나, 플라즈마·표면 상호작용, 원자층 증착 (ALD), 조성 구배 박막, 실시간 분석을 결합한 예측형 제조공정으로 발전할 것으로 예상됨
- AI 기반 자율형 제조 플랫폼은 신소재 탐색뿐 아니라 공정 최적화, 품질관리, 재현성 확보에 활용될 가능성이 큼. 특히 데이터 구조화와 공정 이력 관리가 핵심 병목이 될 것으로 보임
- 레이저 공정은 마스크리스 국소 제조 기술로서 유연전자소자, 센서, 투명전극, 에너지 소자, 마이크로·나노 표면 기능화에 지속적으로 활용될 전망이다
- 지속 가능 제조의 중요성이 커지면서 저온 산화물 공정, 대기압 ALD, photo-MOD, 유연기판 호환 공정, 순환형 전자소자 제조가 주요 연구축으로 확대될 것으로 판단됨
- Textile TENG와 같은 자가발전형 센서는 웨어러블 헬스케어, 구조물 모니터링, 환경 감지 분야에서 소재·공정·착용성·신호 처리의 동시 설계를 요구할 것으로 보임

이러한 흐름은 나노매뉴팩처링분야 연구자가 향후 박막·코팅 공정, 레이저 기반 국소 제조, 인공지능 공정 최적화, 유연·스마트 소자 제조를 주요 연구축으로 함께 고려할 필요가 있음을 보여줌

5 | 연구개발 이슈 제시

E-MRS 2026에서 확인된 나노매뉴팩처링의 핵심 흐름은 “더 작은 구조를 만드는 기술”을 넘어, “소재의 기능을 공정으로 설계하는 기술”로 확장되고 있다는 점임. 즉, 나노매뉴팩처링은 단순히 나노미터 크기의 미세한 구조를 형성하는 기술에 머무르지 않음. 박막의 조성, 표면과 계면의 상태, 산화물의 결합 구조, 레이저에 의한 국소적인 소재 변화, 공정 데이터, 소자 기능까지 함께 고려하는 재료공정 융합 기술로 발전하고 있음

특히 이번 학회에서는 박막·코팅 공정, 산화물 박막 제조, 레이저 기반 국소 제조, 인공지능 기반 공정 최적화, 자가발전형 스마트 센서 제조가 서로 분리된 주제가 아니라 하나의 흐름으로 연결되고 있음이 확인됨. 박막·코팅 공정에서는 소재의 두께와 형상뿐 아니라 결함, 결정성, 응력, 계면 특성을 정밀하게 제어하는 방향이 강조되었음. 산화물 박막 분야에서는 빛을 이용한 저온 공정과 유연기판 적용 가능성이 중요하게 다루어졌음. 레이저 공정 분야에서는 마스크 없이 원하는 위치에만 열과 빛을 전달하여 소재의 상(phase), 구조, 표면 기능을 바꾸는 국소 제조 플랫폼으로서의 가능성이 제시되었음. AI 기반 공정 연구에서는 반복 실험에 의존하던 기존 방식에서 벗어나, 공정 데이터를 축적하고 학습하여 제조 재현성과 최적 조건 탐색 속도를 높이는 방향이 부각되었음

따라서, 향후 나노매뉴팩처링 분야의 연구개발 이슈는 개별 공정 성능 향상에만 두기보다, “소재 기능 설계, 공정 데이터화, 자동화, 지속 가능 소자 응용을 통합하는 나노제조 플랫폼 구축”으로 설정할 필요가 있음. 이는 박막을 잘 만들거나, 레이저로 미세구조를 정밀하게 형성하거나, 센서를 제작하는 각각의 기술을 따로 발전시키는 수준을 넘어서는 접근임. 공정 중에 어떤 소재 변화가 일어나는지 측정하고, 그 데이터를 AI와 자동화 시스템에 연결하며, 최종적으로 유연 전자소자, 스마트 센서, 에너지 소자, 웨어러블 소자와 같은 실제 응용으로 이어지도록 설계하는 방향임. 이러한 관점에서 나노매뉴팩처링 분야의 연구자들은 향후 박막·코팅 공정, 레이저 기반 국소 제조, AI 공정 최적화, 유연·스마트 소자제조를 주요 연구축으로 함께 고려할 필요가 있음. 특히 국내 연구환경에서는 반도체 제조공정 중심의 정밀공정 기술과 소재 기반 나노제조 기술을 연결할 수 있는 장점이 있음. 이를 활용하면 E-MRS에서 확인된 유럽형 재료공정 융합 연구 흐름을 국내 제조기술 및 소자 응용 연구와 접목할 수 있음

이에, 나노매뉴팩처링 분야의 핵심 연구개발 이슈로 “AI 기반 공정 데이터와 레이저·박막 공정을 결합한 지속 가능 스마트 나노 제조 플랫폼 개발”을 제시함

한편, 작성자는 최근 몇 차례 E-MRS 춘계학술대회를 참관하며, E-MRS에는 산업적 응용 주도의 연구보다 물리학, 화학, 재료공학의 관점에서 기초이론 및 현상 문제를 다루는 연구가 많다는 인상을 받았음. 발표된 연구가 게재 또는 게재될 예정인 학술지를 보아도, 흔히 피인용지수가 높다고 알려진 다학제 종합 학술지보다는 피인용지수는 다소 낮더라도 오랜 전통을 유지하고 있는 분야별 전문 학술지의 연구가 상대적으로 눈에 띄었음. 일부 주제는 최신 산업 트렌드와 다소 거리가 있어 보이기도 하였으나, 발표자와 청중 모두 매우 진지하게 연구 내용을 논의하는 모습을 확인할 수 있었음

과거 물리, 화학, 재료, 기계, 전자 등 여러 분야에서 뛰어난 업적을 남긴 연구자 상당수가 유럽 출신임을 고려하면, 이러한 E-MRS의 분위기는 충분히 이해되는 면이 있음. 다만 한편으로는 한국, 미국, 중국 등 유럽 외 국가가 주도하는 학회와 비교할 때 다소 보수적이고 진부한 분위기가 느껴지는 부분도 있었음. 그럼에도, 이처럼 전통성을 유지하며 꾸준히 축적되는 연구 문화는 유럽이 공학과 과학의 기반 기술에서 여전히 높은 경쟁력을 유지하는 중요한 배경 중 하나라고 판단됨. 특히 네덜란드 ASML을 제외하면 삼성전자, SK하이닉스, TSMC, 인텔, 엔비디아와 같은 초대형 IT 기업이 상대적으로 많지 않은 유럽이 소재, 장비, 공정, 기초과학 분야에서 지속적인 영향력을 유지하는 이유도 이러한 연구 문화와 무관하지 않다고 생각됨. 연구 트렌드와 현안이 매우 빠르게 바뀌는 한국에서도, 유행 기술에 민감하게 대응하는 것과 동시에 장기적으로 축적되는 기초적·정통적 연구의 가치를 함께 고려할 필요가 있다고 사료됨

표3 주요 기술용어 설명

NO	용어명	내용
1	나노매뉴팩처링	•나노미터 수준의 구조, 박막, 표면, 계면을 제어하여 소재와 소자를 만드는 제조기술을 의미함. 단순 미세가공보다 소재 기능 제어까지 포함함
2	스퍼터링	•이온으로 표적 물질을 때려 나온 원자를 기판 위에 쌓는 박막 제조법임. 금속·산화물 박막 제조에 널리 쓰임
3	원자층 증착 (ALD)	•표면 반응을 반복하여 원자층에 가까운 두께 단위로 박막을 쌓는 방법임. 두께와 계면을 정밀하게 제어할 수 있음
4	조합식 박막 탐색	•하나의 기판 안에 조성이 조금씩 다른 박막을 만들고, 여러 조건을 한 번에 비교하는 고속 소재 탐색 방식임
5	디지털 트윈	•실제 공정을 컴퓨터 안에 가상 모델로 만들어 결과를 예측하고 조건을 조절하는 기술임. 레이저 공정처럼 변수가 많은 공정에 유용함
6	마스크리스 공정	•별도 금속 마스크나 포토마스크 없이 빔 또는 프린팅 경로를 직접 제어하여 원하는 패턴을 만드는 공정임
7	TENG (Triboelectric Nanogenerator)	•두 물체가 닿고 떨어질 때 생기는 마찰전기를 이용해 전기 신호를 만드는 소자임. 움직임 감지와 자가발전형 센서에 활용 가능함
8	자가발전형 센서	•배터리 전원 없이 주변의 움직임, 진동, 압력 등에서 얻은 에너지로 신호를 만드는 센서임. 웨어러블 기기에 적합함
9	빛을 이용한 금속 유기물 분해 (photo-MOD)	•빛을 이용해 금속 유기물을 분해하고 산화물 박막을 형성하는 공정임. 고온 공정 부담을 줄이고 유연 기판에도 적용할 가능성이 있음 ※ MOD: Metal-Organic Decomposition
10	자율형 소재 공정	•장비, 센서, 데이터 분석, 인공지능을 연결하여 다음 실험 조건을 자동으로 정하거나 보정하는 공정 방식임. 반복 실험 시간을 줄이고 재현성을 높이는 데 도움이 됨
11	순환형 전자소자	•사용 후 재사용, 재활용, 분해, 저에너지 제조 등을 고려하여 만든 전자소자를 의미함. 지속 가능 전자소자 제조와 관련됨
12	CNRS	•프랑스 국립과학연구센터 (Centre National de la Recherche Scientifique)의 약자로, 물리·화학·재료·공학 등 다양한 분야의 연구를 수행하는 프랑스의 대표적 국가 연구기관임
13	LMGP	•Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique의 약자로, 국문으로는 재료·물리공학연구소로 표기할 수 있음. 프랑스 그르노블에 위치한 재료·물리공학 분야 연구소로, CNRS와 Grenoble INP 등이 관련된 공동 연구기관임. 박막, 산화물, 표면·계면, 에너지 소재, 전자소자 관련 연구를 수행함
14	AIST	•일본 산업기술종합연구소 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)의 약자로, 산업기술·소재·에너지·전자소자·제조공정 등을 연구하는 일본의 대표적 국가 연구기관임

2026
나노 리서치 트렌드
리포트



나노기술연구협의회
Korea Nanotechnology Research Society