



한국 연구장비산업의 현실과 중요성 및 원자현미경 성공사례 소개

강사: 조상준

일시: 2021년 7월 13일

강사소개

성함/소속/주요 연구분야

- 성함: 조상준
- 소속: 파크시스템스 응용기술센터 센터장
- 분야: 나노계측, 나노바이오, 주사탐침현미경
- 활동: 국제표준 (ISO TC201 SC9 SPM) 국제의장
- 활동: 한국연구장비산업협회 운영위원장



최근 논문 또는 연구실적

- 2021년 과학기술 포장 수상
- 2020년 국가개발 우수성과 100선 최우수 선정
- 2020년 산업기술혁신사업 성과활용평가 우수과제 선정
- 2020~2021년 연구장비고도화 과제 과제책임자
- 2018~2020년 나노융합2020 과제 책임자

첨단 연구장비는 차세대 과학기술의 미래를 여는 핵심 열쇠



“연구장비는 세계수준 연구경쟁력 확보의 주요 원천으로 작용”

연구개발 생산성을 높이고 분석과학 분야 창조적인 과학적 성과의 발견/검증 보장

세계적인 연구데이터 및 독자적인 연구데이터는 첨단 분석기술장비를 통해 분석한 것으로 새로운 분석기술과 분석장비를 통해 최첨단 연구 및 미지의 연구가 가능해짐

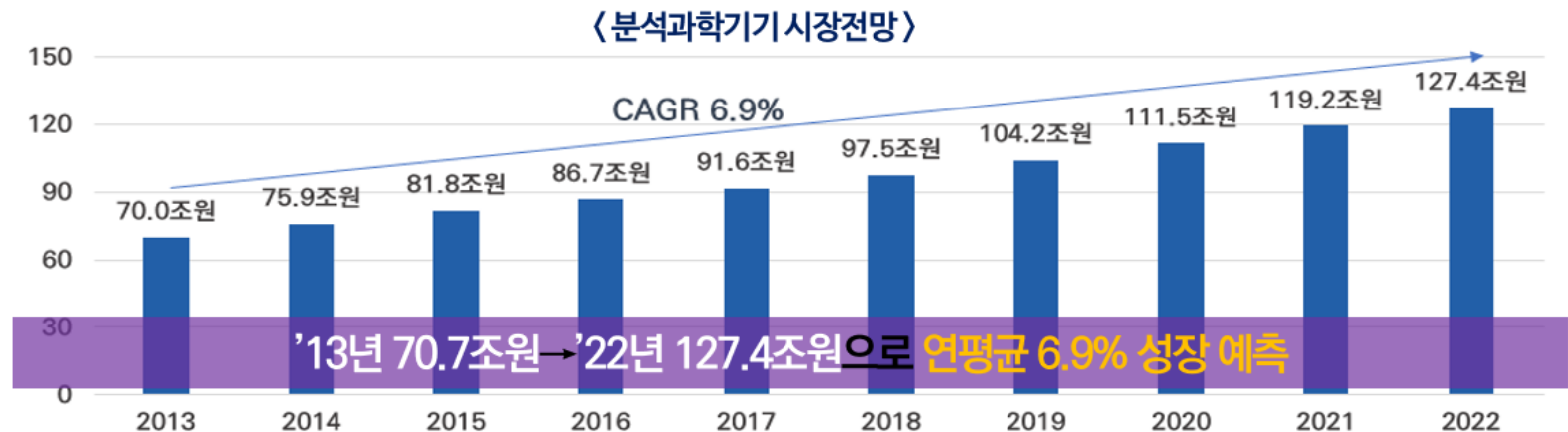
“연구장비는 하나의 산업으로서 가치 재인식 필요, 연관 파급효과 높은 산업”

“日 노벨과학상 수상의 85%는
분석장비 개발 및 기반 기술
고도화에 따른 결과”

85 %

자료 : KBSI 공식블로그, 분석과학과 노벨상 @ 일본편
https://blog.naver.com/open_kbsi/220570844642

(他 연관산업 + Aftermarket)



출처: BCC Research(2018)

현대 (첨단) 과학기술연구개발은 연구장비가 좌우

노벨상과 연구장비

년도	수상자(국가)	수상내용(관련 장비)	KBSI 보유장비
2005	John L. Hall (미국), Theodor W. Hänsch (독일)	레이저기 기반 정밀 분광학 (Precision Spectroscopy) 개발	
2003	Paul Lauterbur (미국), Sir Peter Mansfield (미국)	자기공명영상화 (Magnetic Resonance Imaging) (MRI)	
2002	Kurt Wüthrich (스위스)	600MHz 고해상도 핵자기 공명 분광기 NMR을 이용한 단백질 구조분석 (Solid NMR)	
	John B. Fenn (미국), Koichi Tanaka (日本, 일관)	전기장사법 (Electrospray) 개발로 단백질 분자량 측정, MALDI-TOF를 이용한 단백질 분자량 측정 (MALDI-TOF)	
1994	Bertalan N. Brockhouse (캐나다), Clifford Glassow Bragg (미국)	중성자 분광학 (Neutron Spectroscopy), 중성자 회절법 (Neutron Diffraction Technique)	
1991	Richard R. Ernst (스위스)	고강도-고분해능자기공명법의 개발과 응용 (300MHz 펄스기 공명분광기)	
1989	Hans Georg Othmars (독일), Wolfgang Paul (독일)	결정분석기인 이온트랩 (ion Trap) 기술 개발, 결정분석기 자동화 기술	
	Ernst Ruska (독일)	전자현미경에 관한 기초연구의 개발 (주사전자현미경, Scanning Electron Microscope)	
1986	Gerd Binnig (독일), Heinrich Rohrer (스위스)	주사형 터널 현미경의 개발 (원자힘현미경, Scanning Tunneling Microscope)	
	Allan M. Cormack (미국), Godfrey N. Hounsfield (미국)	컴퓨터를 이용한 X선 단층 촬영기술의 개발 (X선 CT 진단장치, Computer Assisted Tomography)	
1964	Dorothy Crowfoot Hodgkin (영국)	X선 결정학을 이용한 분자구조 결정 (X선 회절장치)	

년도	수상자(국가)	수상내용(관련 장비)	KBSI 보유장비
1989	Jensku Mysroneky (체코)	편광 (Polarographic Methode)을 이용한 분석방법 개발 (폴리로그래프)	
1953	Fritz (Frederik) Zernike (네덜란드)	위상차 현미경의 연구 상태로 현미경 (Phase Contrast Microscope)	
1952	Archer J. P. Martin (영국), Richard L. M. Synge (영국)	분체 크로마토그래피의 개발과 용질의 분리, 분석에의 응용 가스 크로마토그래피 (Partition Chromatography)	
1948	Azne Wilhelm Karlin Teolue (스웨덴)	전기영동에 의한 단백질 분리 방법 (전기영동장치)	
1937	Clinton Joseph Davison (미국), George Paget Thomson (영국)	결정계에 의한 전자회절현상 발견	
1926	Petrus (Peter) Josephus Wilhelmus Debye (네덜란드)	X선 회절법에 의한 분자구조 규명 (단결정용 X선 회절분석기)	
1920	Chandrasekhara Venkata Raman (인도)	라만 분광학의 발견 (Raman Spectroscopy)	
1924	Karl Manne Georg Siegbahn (스웨덴)	X선 분광학 연구에서 여러 새로운 장치와 방법을 개발하여 측정 정밀도를 향상시켜서 원자핵분할 발전의 원동력 제공 (X-ray Spectroscopy)	
1923	Fritz Pregl (오스트리아)	원소의 미량 원소분석을 위하여 미량의 유기물 분석방법 개발	
1921	Albert Einstein (독일)	정전자효과와 오제킨자 (X-ray Photoelectron Spectroscopy & Auger Electron Spectroscopy)	
1915	William Henry Bragg (영국), William Lawrence Bragg (영국)	X-선을 이용하여 결정 구조 분석 (XRD System)	
1914	Max von Laue (독일)	결정계에 의한 X선 회절현상 발견 (X-ray Diffraction)	

MRI의 기초가 되는 Magnetic Resonance

Nobel Prize list

- 1944 Rabi
Physics (Magnetic moment of nucleus)
- 1952 Felix Bloch and Edward Mills Purcell
Physics (Basic science of NMR phenomenon)
- 1991 Richard Ernst
Chemistry (High-resolution pulsed FT-NMR)
- 2002 Kurt Wüthrich
Chemistry (3D molecular structure by NMR)
- 2003 Paul Lauterbur & Peter Mansfield
Physiology or Medicine (MRI technology)

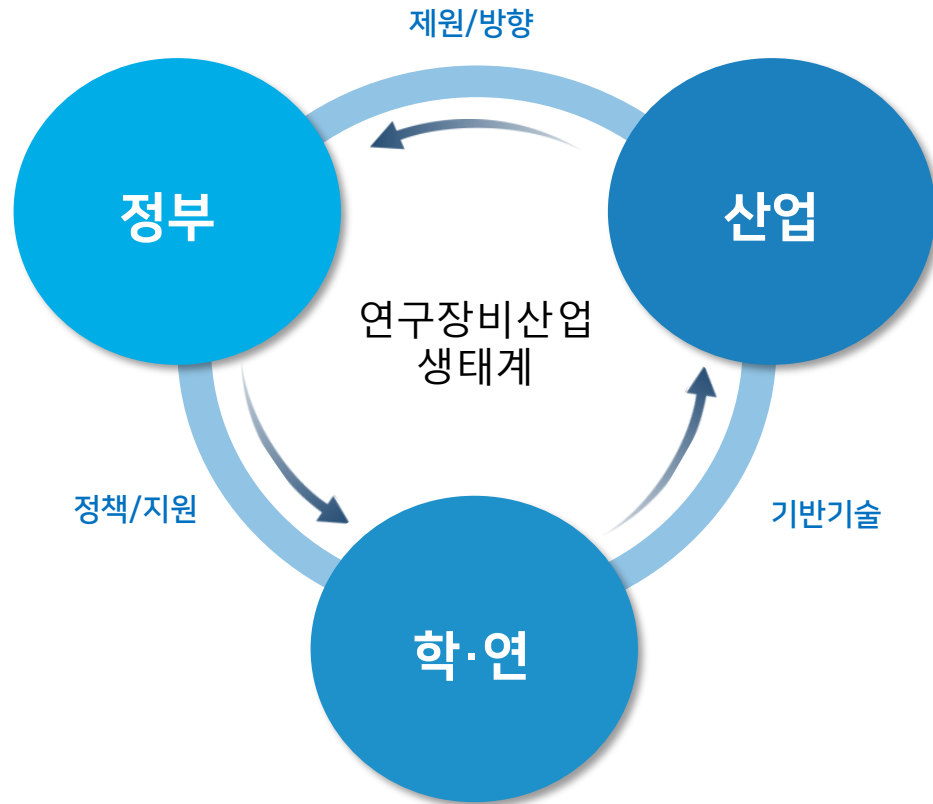
Nobel Prize in Physics 1981

laser spectroscopy & high-resolution electron spectroscopy

Nobel Prize in Physics 1986

전자현미경과 원자현미경

총 25 개 과학분야 노벨상이 새로운 연구분석장비 개발에 수여, 85%가 개발 및 기반기술 고도화에 따른 결과



연구분석장비산업

출처: 국가과학기술자문회의, 2005

- ✓ 기술집약적 산업
- ✓ 고부가가치 및 자원절약형 산업
- ✓ 소량 다품종 산업
- ✓ 성능 및 품질 최우선 산업
- ✓ 고학력, 중소벤처에 적합
- ✓ 산학연 협력이 중요한 산업
- ✓ 이공계 고급인력 고용효과가 높은 산업
- ✓ 타산업 기술발전 파급효과 지대한 산업



기술집약적 산업

고도의 기술 집약적 산업

- ✓ 기초과학, 전자공학, 기계학 등의 연계 필요
- ✓ 연관 학문 및 산업 분야로의 파급효과가 넓고 빠름



고부가가치 및 자원 절약형

높은 부가가치를 생산하는 산업

- ✓ 독자적 제품설계, 기술적 노하우의 독점성
- ✓ 원자재를 많이 필요로 하지 않는 자원 절약형 산업



다품종 소량 산업

고정밀성, 고정확도 중심의 소량 생산 위주 산업

- ✓ 현재 기기 종류는 약 1,700 여종, 분석용 기기는 약 500여종



품질 및 성능 최우선 산업

품질과 성능이 최우선 고려 사항인 산업

- ✓ 제품 구매의사 결정시 기기의 성능과 품질이 최우선 고려사항
- ✓ 기업 경쟁력의 우위 원천은 성능과 품질

고용창출 효과 높음

과학기술 연구성과
산업화에 유리

국가과학기술 역량
지표로 활용

Top instrument firms in 2017 & 2018 C&EN's ranking of scientific equipment makers

20위권의 과학장비회사 중 국가별로 미국 8개사, 일본 5개사, 독일 3개사, 스위스 3개사, 영국 1개사가 포함됨



2003년 일본의 저명한 교수 16명이 '일본 과학연구가 외국 분석 기구에 의존하는 것은 과학적인 위기'라는 내용의 논문을 보도





2005년, 일본은 분석 기술을 개발하기 위해 6년간 5억 달러를 투자하기로 결정했으며 그 중 하나의 과제로 세계최고의 전자현미경개발이 있었음


→ Hitachi社 '주사전자현미경' 매출 세계 1위 달성

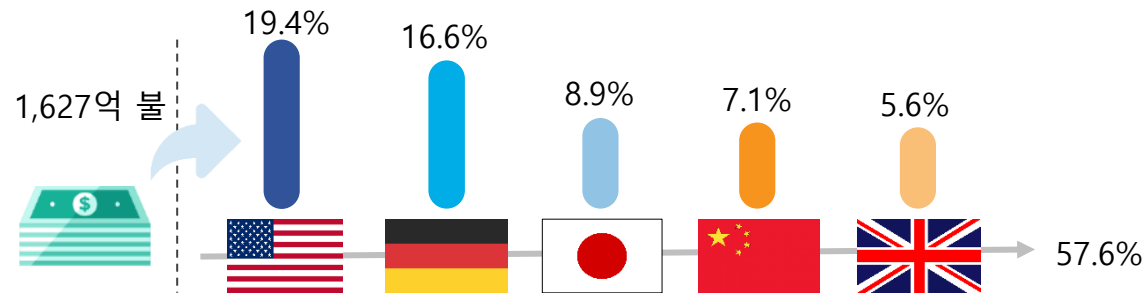
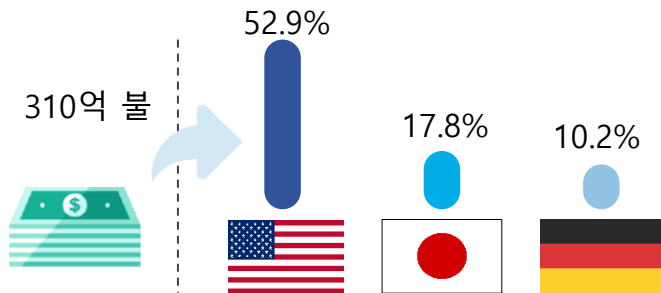
RANK		COMPANY	INSTRUMENT SALES 2018 (\$ MILLIONS)	% CHANGE FROM 2017	% OF TOTAL SALES	HEADQUARTERS
2018	2017					
1	1	Thermo Fisher Scientific	\$6,333	12.1%	26.0%	US
2	3	Shimadzu ^a	2,183	5.2	61.8	Japan
3	4	Roche Diagnostics ^b	2,064	5.2	15.6	Switzerland
4	5	Agilent Technologies ^c	2,015	3.8	41.0	US
5	2	Danaher	1,941	-15.0	9.8	US
6	6	Zeiss Group ^d	1,831	0.7	26.6	Germany
7	8	Bruker	1,516	14.4	80.0	US
8	7	Mettler-Toledo International	1,497	9.8	51.0	Switzerland
9	9	Waters Corp.	1,205	2.1	49.8	US
10	12	PerkinElmer	889	27.0	32.0	US
11	11	Bio-Rad Laboratories ^e	871	14.0	38.6	US
12	10	Eppendorf ^e	857	5.1	100.0	Germany
13	14	Spectris	723	16.4	33.7	England
14	13	JEOL ^a	648	-1.1	65.0	Japan
15	15	Hitachi High-Technologies ^a	613	1.3	9.0	Japan
16	17	Nikon ^a	571	10.5	8.8	Japan
17	16	Illumina	569	10.5	17.1	US
18	18	Sartorius	500	7.4	27.0	Germany
19	19	Olympus ^a	357	3.1	5.1	Japan
20	20	Tecan ^e	341	6.4	58.0	Switzerland

세계 연구장비 시장현황


 세계 연구장비 시장은 587억불 (2013)에서 1,057억불 (2022) 규모에 이를 것으로 추정되며, 미국(52.9%), 일본(17.8%), 독일(10.2%) 3개국이 시장을 주도
(2016년 25대 핵심 연구장비 기준)


 분석·과학·계측기기의 세계시장 규모는 1,627억불이며 미국 19.4%, 독일 16.6% 일본 8.9%, 중국 7.1%, 영국 5.6% 등 상위 5개국이 50% 이상 차지


 발전도상국(중국, 인도, 브라질 등) 경제권 수요 증가, 공학 및 생명공학 분야, 주요 기술 진보 등에 힘입어 관련 연구장비 시장 지속적 성장
 전망





계량, 측정, 분석 등의 과학기술연구에 사용하는 연구장비 및 실험기기는 연구결과의 신뢰성을 뒷받침하여 과학기술 발전의 견인차 역할을 함



우리나라 연구장비는 해외의존도가 높아 기초과학의 기반이 되는 연구장비 산업의 발전이 저조하여 선진국 진입의 장애요소로 작용함



계측 및 분석기술 개발에 대한 투자는 활발히 이루어졌지만 **제품화 기술이 부족한 부분** 과 더불어 **신뢰성 부족과 인식 때문에 상용화에 실패하거나 어려움**을 겪고 있음

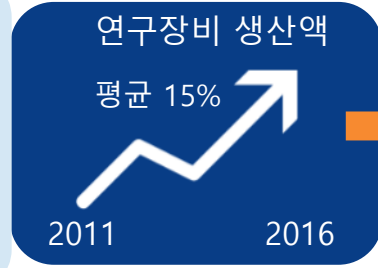


국산제품의 신뢰도 향상은 외산 선호 시장인식을 개선하는 가장 중요한 요소로 국내 연구장비 제조기업의 다수가 **연구장비 검인증제도**가 필요하다고 응답

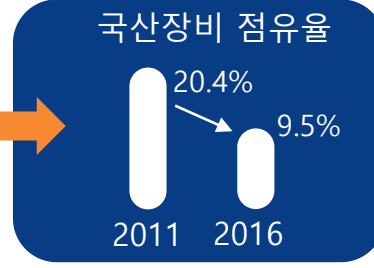


국산연구시설 장비 제작 국가별 구축현황을 보면, 외산 64.5%, 국산 35.5%를 차지하고 있으며 외산 연구시설. 장비의 제작 국가를 살펴보면 미국 31.6%, 일본 10.3%, 독일 8.9% 순으로 나타나고 있어 미국의 연구시설. 장비에 대한 의존도가 높은 것을 알 수 있음

국내 연구장비 시장은 적은 생산액 및 기업 수, 대부분 중소기업으로 구성되어 있으며



but



반면 국산장비 점유율은 11년 20.4%에서 16년 9.5%로 감소

연구장비 생산액은 16년 5조 7,090억원으로 11년~16년 기준 평균 15%로 성장하고 있는

추세

⊙ 국가 R&D 예산으로 구입한 연구장비는 외산 장비의 시장 점유율이 68%에 달하며, 장비의 용도별 구축은 생산용을 제외하고 외산의 비중이 높음

국가 R&D 예산규모 대비 연구장비 개발 투자는 저조한 실정

연구장비개발 투자전략의 부재와 전담사업의 미비로 효율적 투자 부재, 부처별 산재된 연구장비 개발 발생

- ▶ 투자규모 | 최근 5년간('14~'18년) 총 1,291억원(229개 과제)을 투자. 국가 R&D 총예산 대비 0.14%에 불과
- ▶ 연구장비 투자가 중요함에도 불구하고 투자액 매년 감소 추세, 단기간 산발적 투자 지속

연구장비산업에 대한 인식 및
오해

마케팅 능력부족



우수한 기술인력의
부족

브랜드 인지도

사회적 인프라

- ✔ 정밀가공
- ✔ 소프트웨어
- ✔ 디자인





파크시스템스 주식회사는 원자현미경(AFM)을 개발, 생산, 판매하는 나노계측기기 전문기업입니다. 본사는 경기도 수원시에 있고 미국, 독일, 일본, 중국, 대만, 싱가포르에 현지판매법인이 있으며, 기타 주요국에 판매망을 가지고 있습니다.

원자현미경은 시료의 형상과 물성을 나노미터 수준에서 측정하고 분석할 수 있는 장비로 나노 기술 시대를 열어가는 중요한 도구입니다.

생명과학



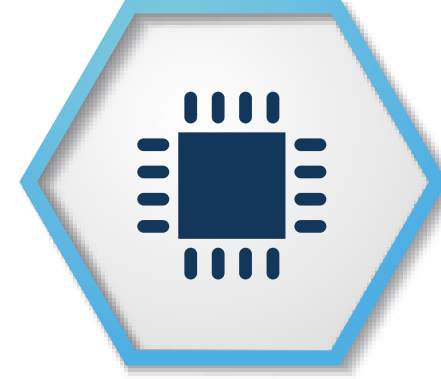
바이오산업



디지털 기기



반도체



1988: 세계최초의 원자현미경 상용화

- 원자 현미경(AFM)의 탄생과 더불어 사업화에 성공
 - AFM 제조로 한 우물, 세계에서 가장 긴 역사와 세계 최고 원자현미경 기업으로
 - AFM 제조업체로는 세계최초 상장사 (2015), 2기관 공통 최고 기술성 평가 (AA)
‘30년 이상 축적된 나노계측기술 보유’

1982년~1988년

The Birth Place of AFM



Prof. C.F. Quate & 박상일 대표이사



STANFORD
UNIVERSITY

1988년~1997년

The First AFM Company

Park Scientific Instruments



Sunnyvale, California

1997년~현재

The AFM Technology Innovator



수원 한국나노기술센터

한국 연구장비 산업의 성공 사례

연혁



해외법인 및 사무소 (11 direct offices & 28 distributors)

현지법인 대한민국(HQ), 미국(동부/서부), 일본, 싱가포르, 독일

연락사무소 대만, 중국, 멕시코, 프랑스, 영국

판매망 전 세계 28여 개



임직원 수

국내외 총 300 명 (2021.07)

주요 수상 및 인증

'원자현미경 제조기술'
국가핵심기술 선정

2015.9.7 산업통상자원부 고시 제2015-186호

코스닥 상장기업
최초 **기술평가**

'AA' 획득

NICE평가정보(주) NICE KIBO 기술보증기금

High-Growth Companies
Asia-Pacific 2018 선정

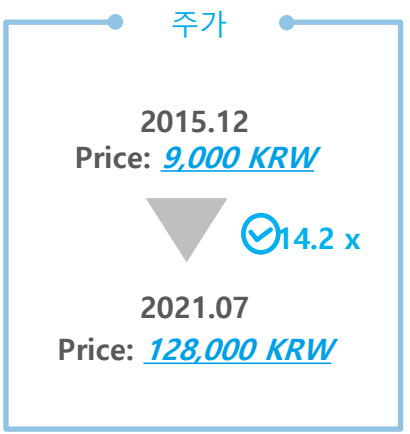
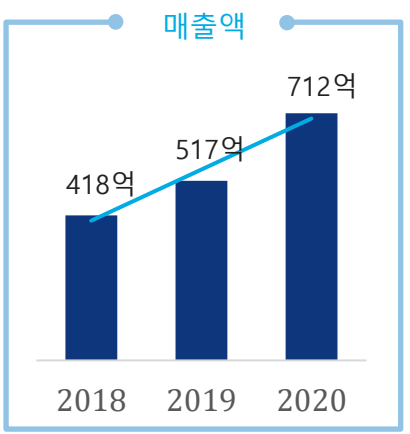
FINANCIAL TIMES

2018년 최고 유망 반도체
기술 솔루션

상위 20대업체에 선정

IT 매거진 CIO Review

경영 실적



연구용 (Research)



Park XE7



Park NX10



Park NX20



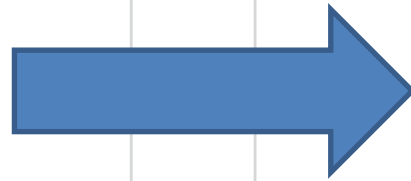
Park NX12



Park NX-Hivac



Park FX40
(2021.06 출시)



산업용 (Industrial)



Park NX-HDM



Park NX-PTR



Park NX-Wafer



Park NX-3DM

대기업의 하청업체가 아닌 자체 브랜드로 글로벌 대기업을 고객으로 상대

파크시스템스의 주요고객



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



☑ 반도체 산업과 같은 첨단기술 산업의 성패를 좌우

☑ 제조기술과 계측기술의 격차가 빠르게 줄어들어 계측기술의 발전이 산업에 직접적으로 영향을 미치기 시작

Industry Solutions Platforms Functions Newsletter Whitepapers Conferences News Contact us

>> SEMICONDUCTOR >>

CIO Viewpoint

CXO Insight

CASE Study

News

Vendors 2018

Most Promising Semiconductor Technology Solution Providers - 2018



For over several decades, the semiconductor industry had a fantastic history of innovation, productivity, wealth creation, and enablement of technologies. These devices have dramatically improved quality of life for humans. The semiconductor industry is a \$412 billion global industry that encompasses products such as microprocessors, sensors, and memory devices. As semiconductors are one of the basic building blocks of all IT technology, innovation and trends in these devices have a direct impact on all downstream technologies.

Organizations across the globe are embracing the adoption of AI and connected IoT technology in semiconductor industry across various verticals. Mobile handset makers such as Apple and Samsung have already brought AI functionality to smartphones. Moreover, as the drone market is growing...

Company Name	Company Description
KLA-Tencor	Develops and manufactures inspection, metrology and data analysis systems that rely on innovative optics, sensors and high performance computing technologies
Lattice Semiconductor	Provides smart connectivity solutions powered by low power FPGA, video ASSP and IP products to the consumer, communications, industrial, computing, and automotive markets worldwide
Marvell	Manufactures and offers integrated circuit solutions using communications mixed-signal processing and digital signal processing technologies
Nanotronics	Nanotronics manufactures the most advanced microscopes with robust, customizable software to serve the semiconductor, material sciences, rubber, pharmaceutical, and biotechnology industries
Nova	Nova is a leading innovator and a key provider of metrology solutions for advanced process control in the semiconductor manufacturing arena with unique software modeling
Park Systems	Provides the most accurate and yet very easy to use AFMs for wafer measurements in the semiconductor industry
pSemi	pSemi builds upon Percegrine Semiconductor's 30-year legacy of technology advancements and top-ranked intellectual property (IP) portfolio to enhance Murata's world-class capabilities with high-performance semiconductors
Siconnex	Providers of wet chemistry equipment for the semiconductor sector, and related industries
Tessolve	A semiconductor engineering services company

igaz

or n

Top Advanced Materials Companies



Park Systems

recognized by magazine as

TOP 10
ADVANCED MATERIALS
SOLUTION PROVIDERS - 2019

The annual listing of 10 companies that are at the forefront of providing Advanced Materials solutions and transforming businesses

FT SPECIAL REPORT

High-Growth Companies Asia-Pacific

Tuesday April 21 2020

www.ft.com/reports | @ftreports



Focus moves from scale to survival

Inside Australian insurtech ranks top, Page 2 • Indian fintechs face test, Page 4 • Market for microbiome research, Page 6

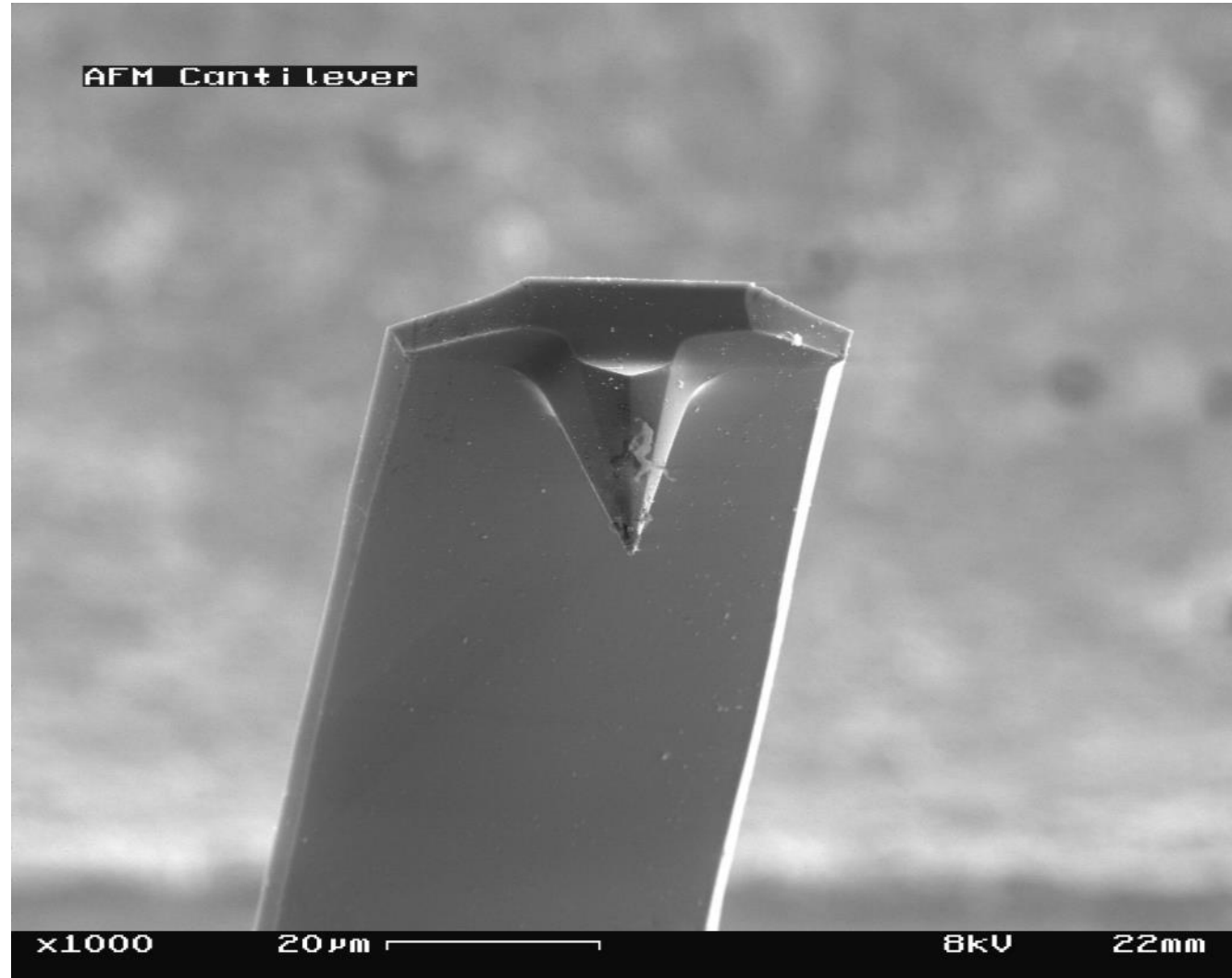
High-Growth Companies Asia-Pacific

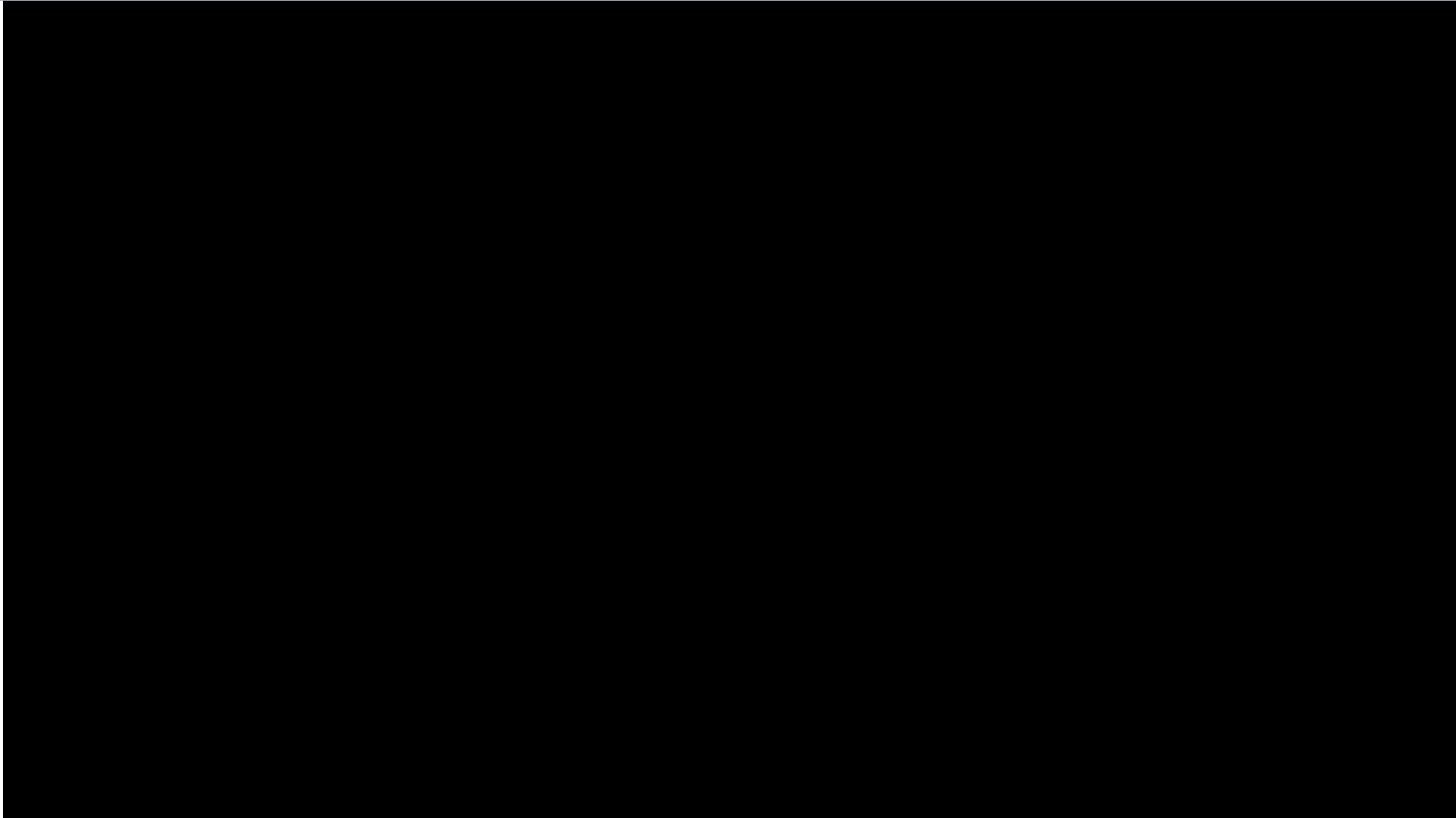
(in %)	CAGR 2015-18 (in %)	Revenue 2018 (in \$m)	Revenue 2015 (in \$m)	Number of employees 2018	Founded	Rank	Company	Location	Sector	Absolute Revenue Growth Rate 2015-18 (in %)	CAGR 2015-18 (in %)	Revenue 2018 (in \$m)	Revenue 2015 (in \$m)	Number of employees 2018	Founded
42.5	66.45	21.37	48	2004	320	G-AsiaPacific**	Malaysia	Technology	115.6	29.2	4.76	2.21	24	2008	
42.5	11.14	3.99	69	2006	321	NatureWise Biotech & Medicals	Taiwan	Pharmaceuticals	115.2	29.1	3.54	1.53	n/a	2000	
42.4	9.69	3.48	n/a	2008	322	izmo	India	Sales & Marketing	114.9	29.0	13.24	6.48	266	1995	
42.2	12.38	4.14	14	2010	323	Geolocation Technology	Japan	Technology	114.3	28.9	4.91	2.09	32	2000	
42.0	3.44	1.26	169	2011	324	Manjushree Technopack**	India	Industrial Goods	114.2	28.9	156.31	76.72	3498	1987	
42.0	257.80	85.32	310	2002	325	Inspiredge	India	Technology	113.5	28.8	2.66	1.31	260	2012	
41.8	10.42	3.69	42	2013	326	Agora Consulting	Australia	Management Consulting	113.4	28.7	1.80	0.87	10	2015	
41.1	28.55	9.26	190	2005	327	Proof & Company Spirits	Singapore	Food & Beverage	113.4	28.7	12.73	5.74	75	2012	
41.0	2.51	0.86	36	2012	328	Press Metal Group	Malaysia	Industrial Goods	112.2	28.5	2,218.68	1,003.87	5892	1986	
40.8	13.12	4.94	178	2013	329	TBI Motion Technology	Taiwan	Technology	111.0	28.3	111.63	49.20	n/a	1986	
40.7	5.76	2.14	22	2011	330	Forest Essentials	India	Fashion & Beauty	110.8	28.2	32.29	16.11	627	2003	
40.2	21.02	6.96	43	2003	331	Globus Infocom	India	Technology	110.1	28.1	12.68	6.35	174	2001	
40.2	1.87	0.71	25	2013	332	Integra	India	Technology	109.7	28.0	45.32	22.73	240	1982	
40.1	19.86	6.84	237	2002	333	Park Systems	South Korea	Industrial Goods	109.1	27.9	37.55	17.00	190	1997	
40.1	7.94	3.04	64	1996	334	Actspand	Singapore	Food & Beverage	107.8	27.6	1.32	0.61	19	2005	
40.0	9.22	3.13	n/a	2012	335	Himadri	India	Chemicals	106.4	27.3	341.36	173.86	932	1987	

- 일반적으로 우리가 현미경을 생각할 때, 우리는 광학 또는 전자현미경을 생각합니다.
- 하지만 광학이나 전자현미경은 3D 구조와 샘플의 물리적인 성질을 보여주지는 못합니다.



원자현미경은 시각이 아닌 촉각을 극대화 합니다.





일반원자현미경 모드

- Basic Contact AFM and DFM
- Force Distance (F-D) Spectroscopy
- Force Volume Imaging
- Lateral Force Microscopy (LFM)
- Phase Imaging
- True Non-Contact AFM

고급 모드

화학적 성질

- Electrochemical Microscopy (EC-STM and EC-AFM)
- Chemical Force Microscopy with Functionalized Tip

액상에서의 이미징

- Ion Conductance Microscopy (ICM)* (on XE-bio only)
- I-D Spectroscopy

전기/유전/압전 특성

- Electric Force Microscopy (EFM)
- Dynamic Contact EFM (DC-EFM)
- Piezoelectric Force Microscopy (PFM)

전기적 성질

- Conductive AFM (Ultra Low Current and Variable Current)
- I-V Spectroscopy
- Scanning Capacitance Microscopy (SCM)
- Scanning Spreading-Resistance Microscopy (SSRM)
- Scanning Tunneling Microscopy (STM)
- Scanning Tunneling Spectroscopy (STS)
- Scanning Kelvin Probe Microscopy (SKPM/KPM) also known as Surface Potential Microscopy
- SKPM with High Voltage

기계적 성질

- Force Modulation Microscopy (FMM)
- Nano-Indentation
- Piezoelectric Force Microscopy (PFM)
- Spring Constant Calibration by Thermal Method

자기적 성질

- Magnetic Force Microscopy (MFM)
- Tunable Magnetic Field MFM

근접 광학 성질

- Aperture NSOM* (only on XE-NSOM)
- Apertureless NSOM
- Raman Spectroscopy (Nano-Raman)
- Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS)
- Time-Resolved PhotoCurrent Mapping (Tr-PCM)

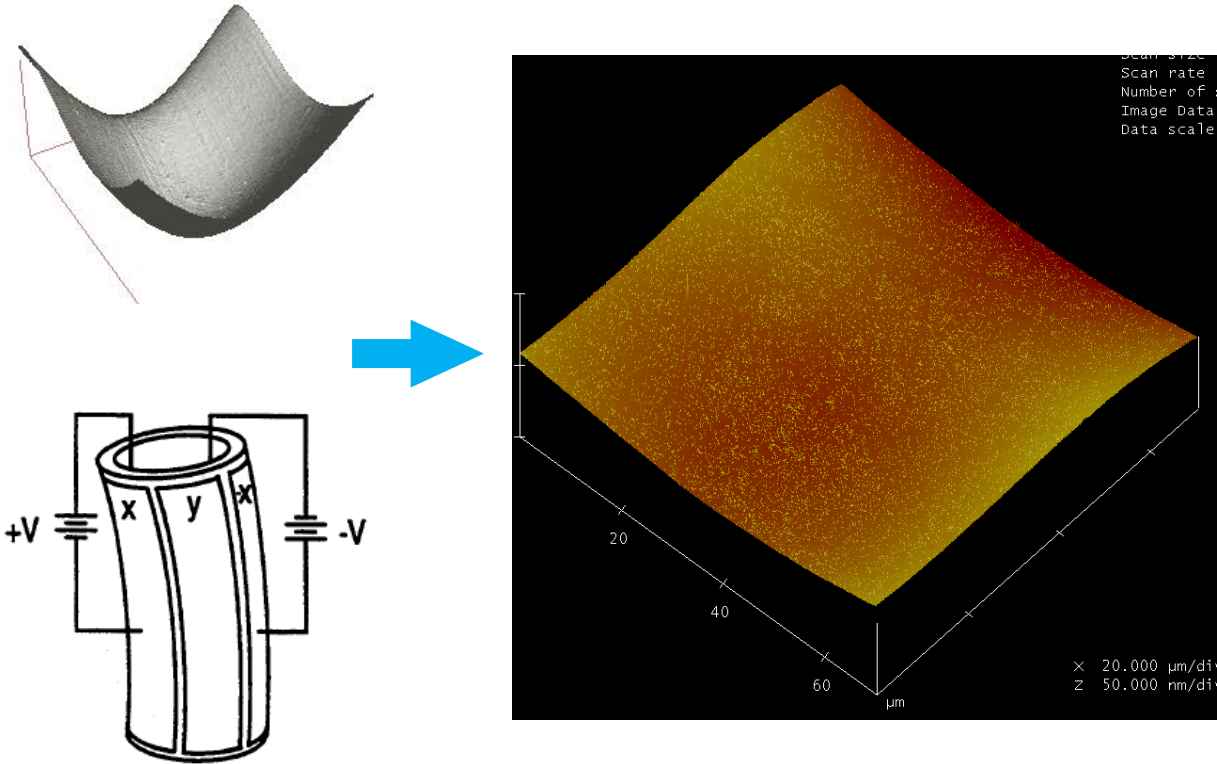
열전도 성질

- Scanning Thermal Microscopy (SThM)

나노 조작 및 제어

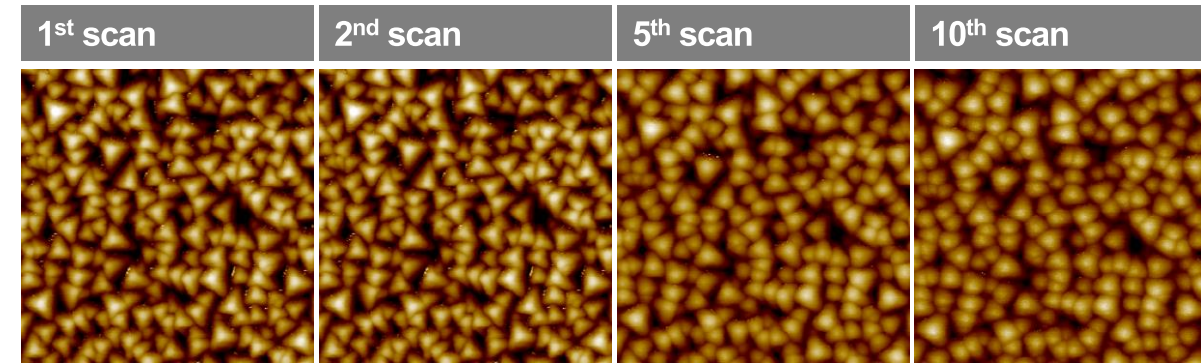
- Nano-Lithography
- Nano-Lithography with High Voltage mode
- Nano-Manipulation

이미지 왜곡

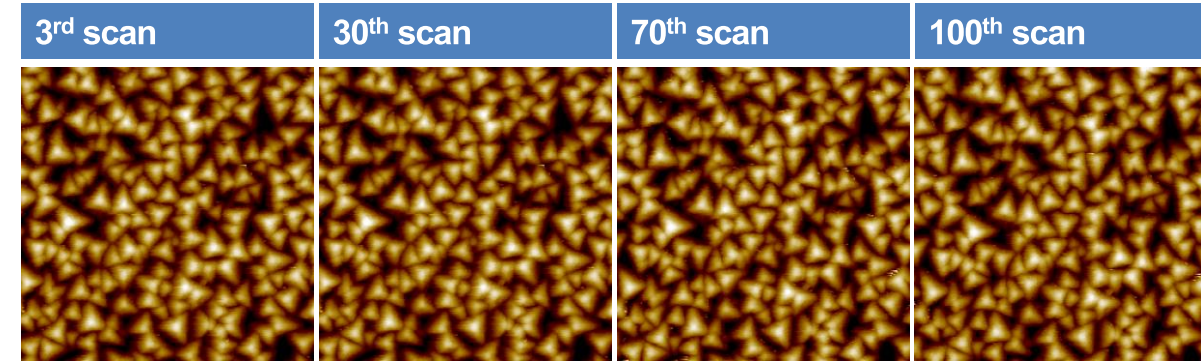


팁 손상에 의한 이미지 변형

Tapping mode



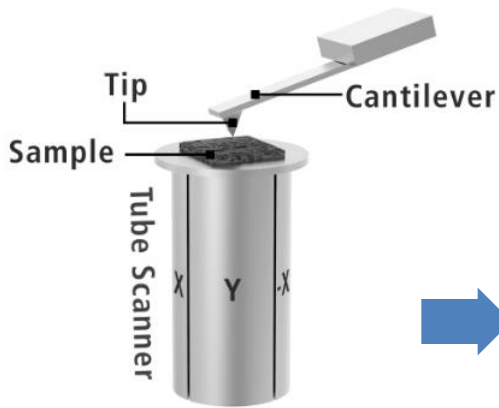
Non-Contact mode



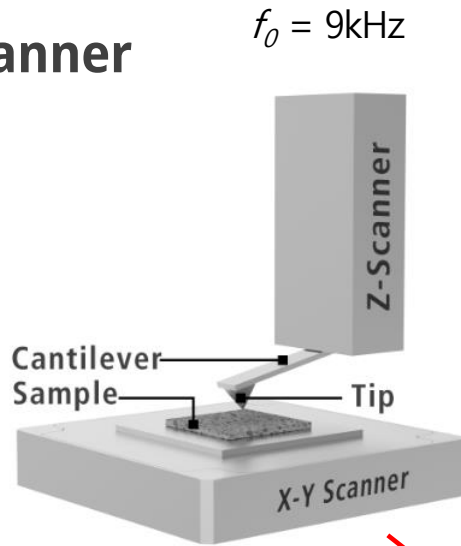
Sample: CrN Tip Check

왜곡이 최소화된 새로운 디자인의 원자현미경 개발

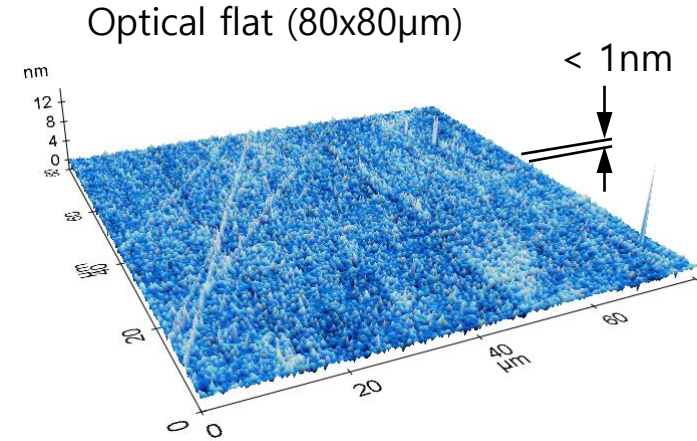
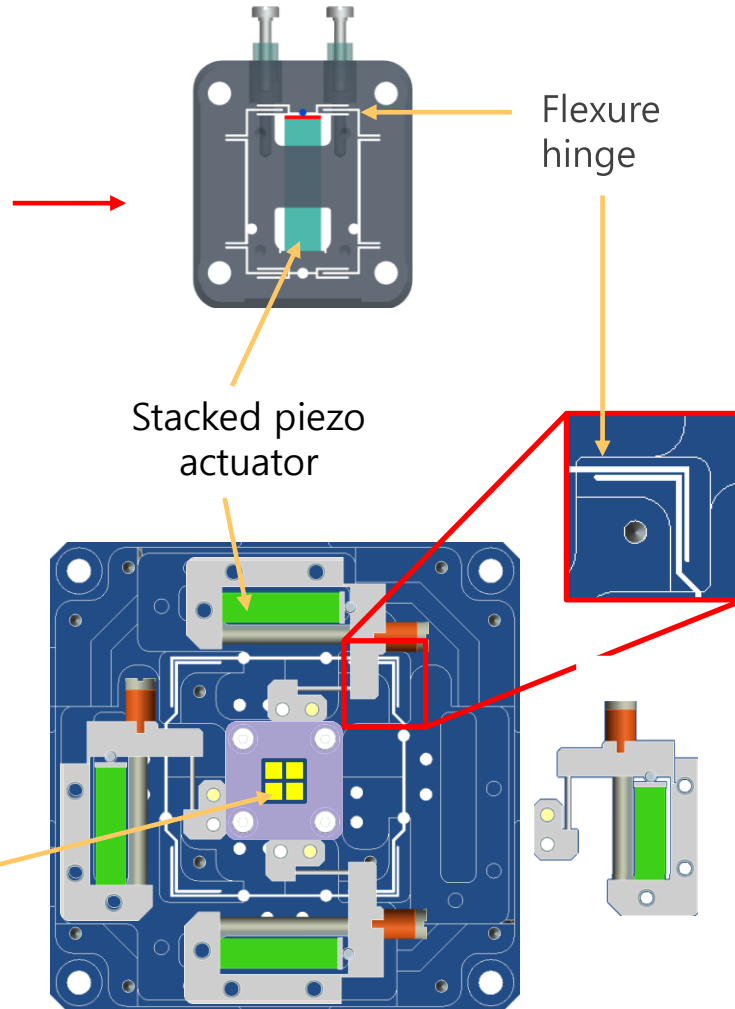
- Separated X-Y Scanner
- High frequency Z Scanner



$f_0 < 1\text{kHz}$

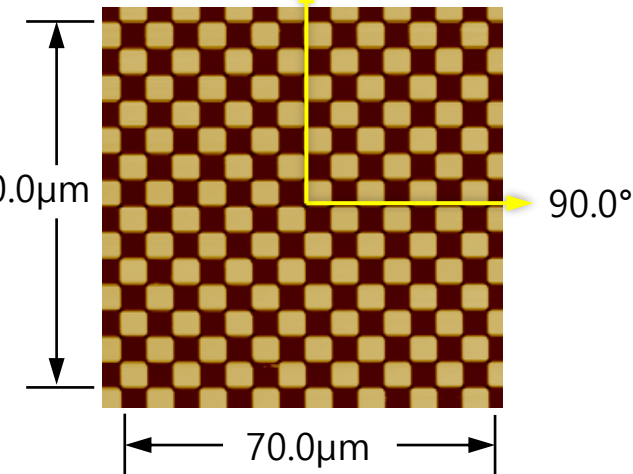


$f_0 = 9\text{kHz}$



Optical flat (80x80 μm)

< 1nm



10 μm pitch calibration grating

70.0 μm

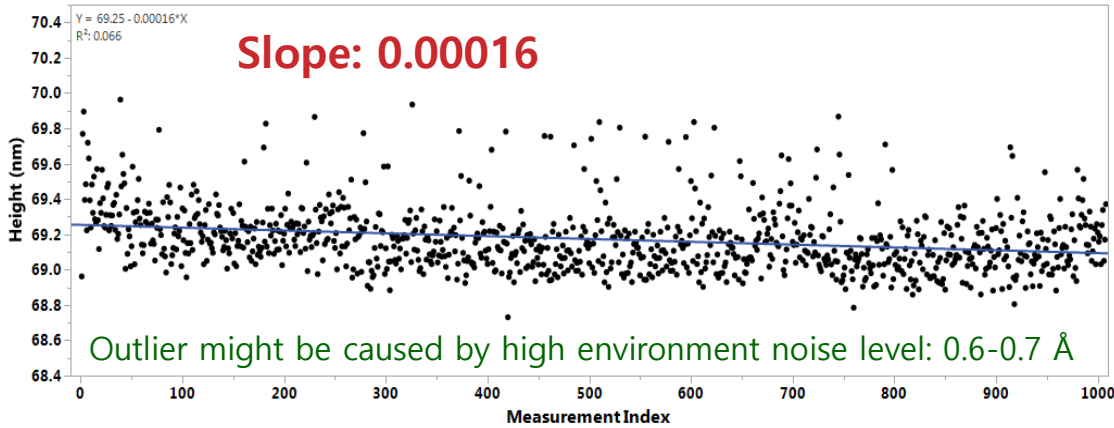
90.0°

70.0 μm

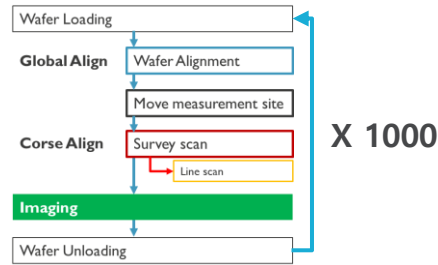
Benefits

- Flat X-Y Scanner → distortion free image
- Fast Z Scanner → non-contact mode

- Sample: Fins with 45 nm pitch and 70 nm height
- Operation: Performed several days

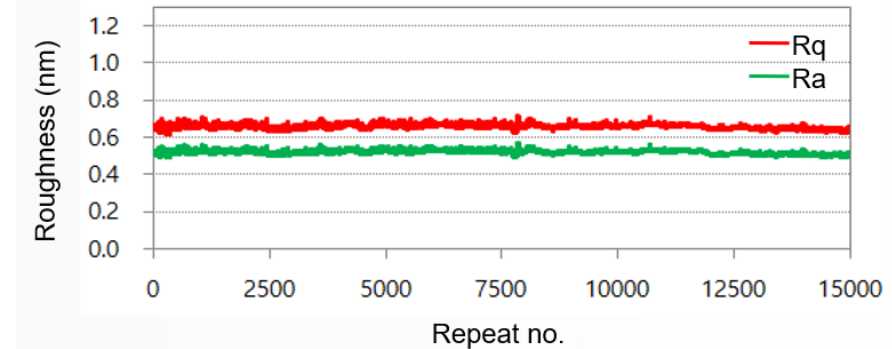


Operation sequence

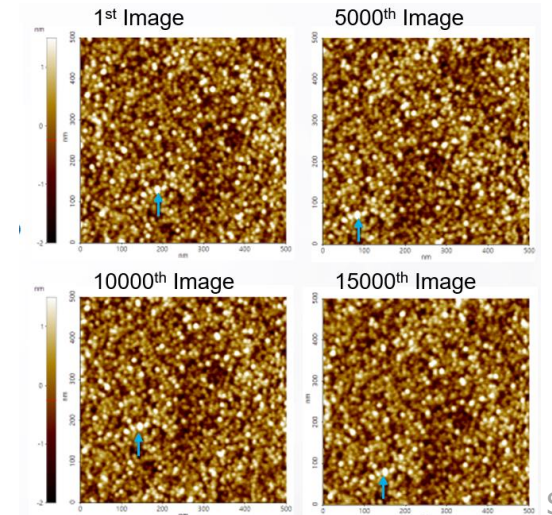


Summary Statistics	
Mean	69.173294
Std Dev	0.1813815
Std Err Mean	0.005713
Upper 95% Mean	69.184504
Lower 95% Mean	69.162083
N	1008

- 15,000 repeat measurements with one cantilever in 10Hz scan rate for 3 days.
- Small roughness variation ($1\sigma \sim 1.72\%$) and thermal drift (about 100nm for 3days)



- Good measurement reliability, value of non-contact measurement operation
- Long probe lifetime and good cost of ownership
- Great accuracy in pattern alignment and positioning



미래의 반도체 산업을 이끄는 원자현미경

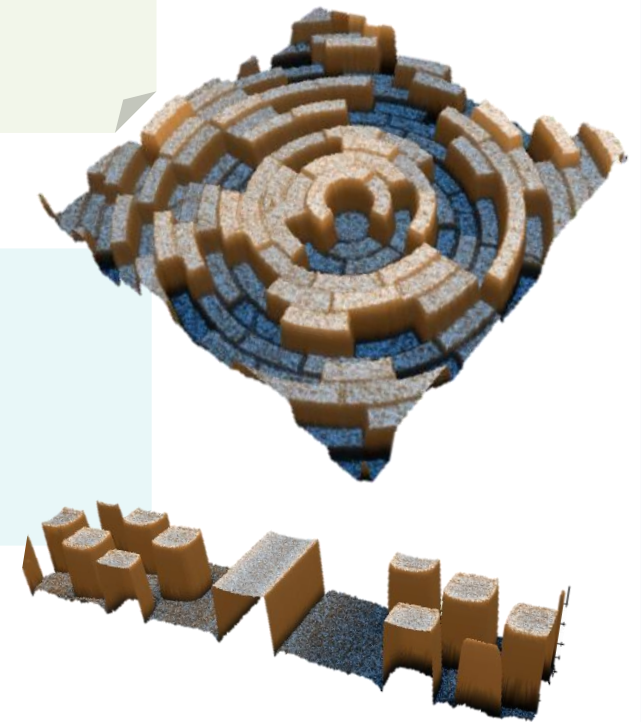
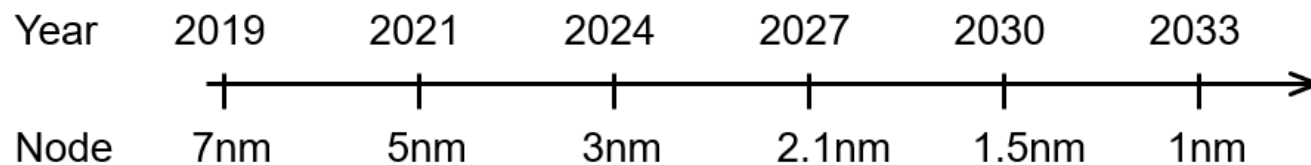
내용 → 새로운 애플리케이션을 가능하게 하는 장치 및 시스템

- 빅데이터 분석
- 시스템 시뮬레이션
- 인공지능

내용 → 작아지고 복잡해지는 3D 소자구조

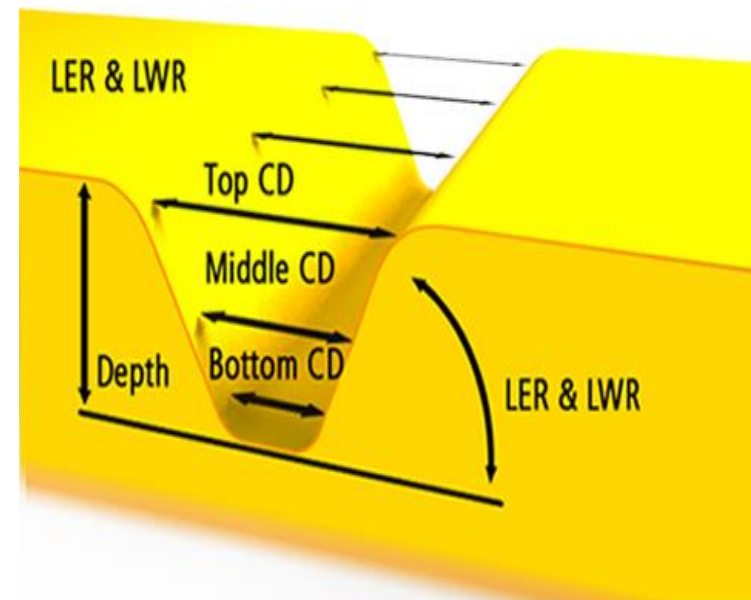
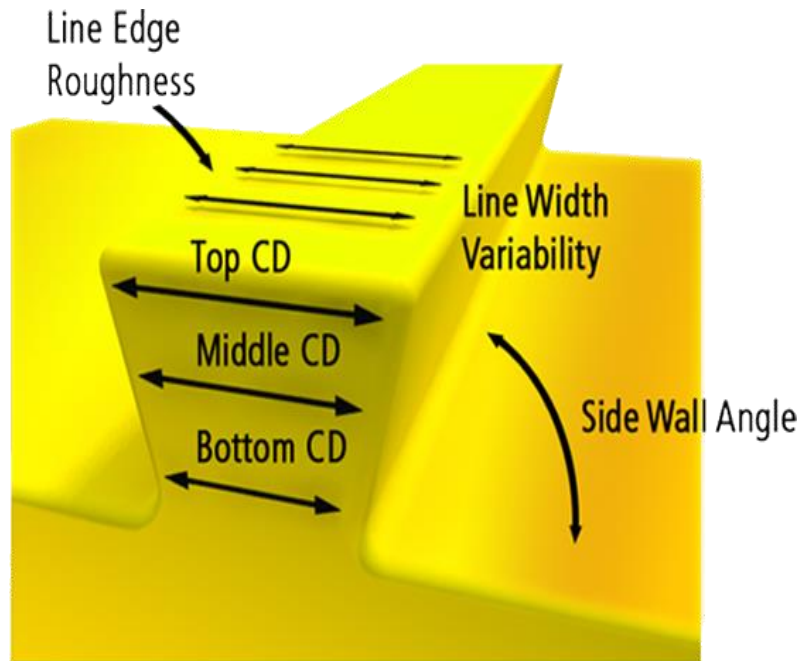
- Fin FET
- Lateral gate all around (LGAA)
- Vertical gate all around (VGAA)
- High aspect ratio (HAR) structures

■ Ever decreasing dimensions*



반도체 업계에서 원자현미경을 필요로 하는 가장 큰 측정 분야는 나노 CD (Critical Dimension) 측정입니다.

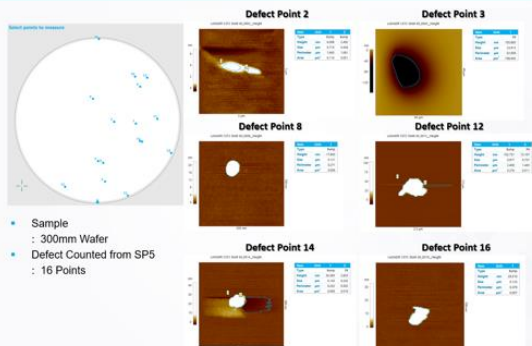
구조물의 바닥, 중간, 상단 폭 과 sidewall 각도 및 표면과 모서리의 거칠기를 주로 측정합니다.



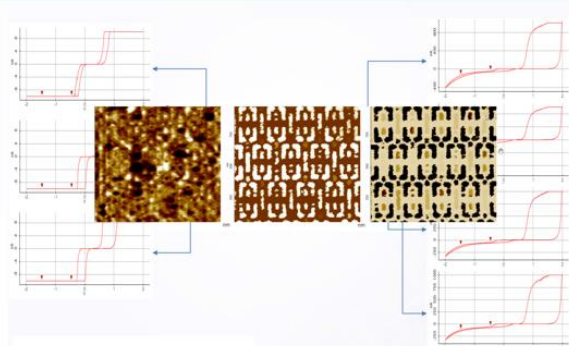
결점 분석에 활용

반도체 공정에서의 활용

Bare wafer defect



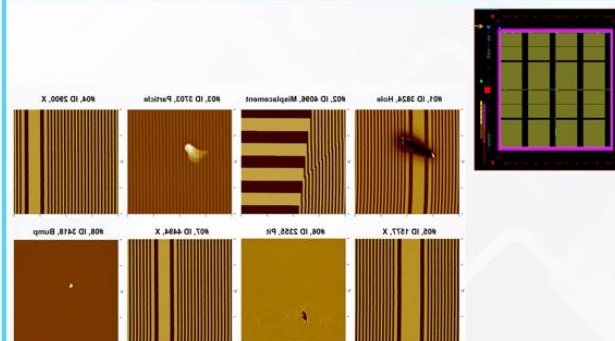
Device defect



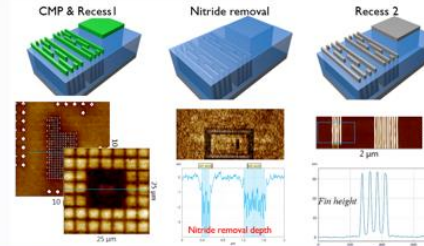
Patterned wafer defect

Type	Bump	Side Bump	Pit	Bridge	In Trench
2905 Image					
4x4μm AFM Image					
Zoomin					
난이도	Easy	Normal	Easy	Easy	Hard

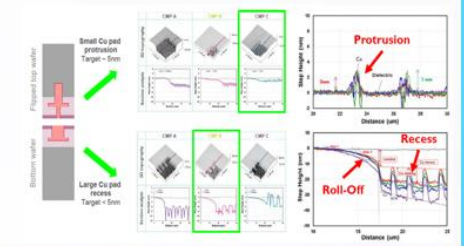
Mask defect



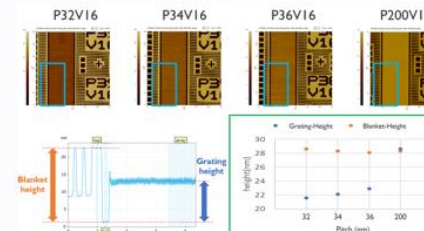
Fin/Gate process



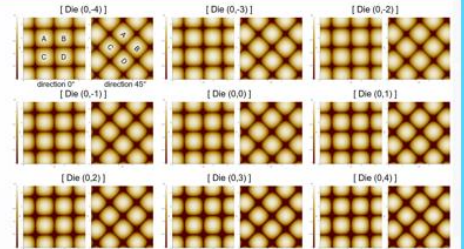
Wafer-to-wafer hybrid bonding



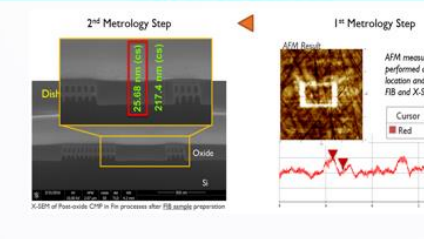
CD/LER/LWR for EUV



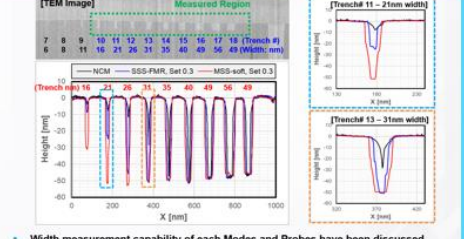
CMOS Image Sensor



CMP process

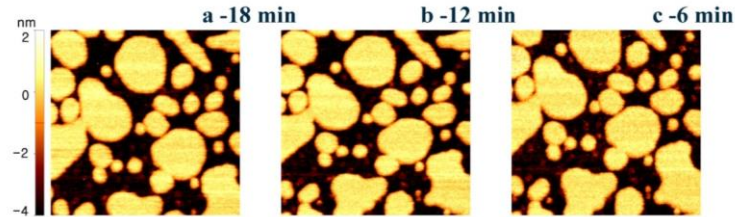


Narrow trench structure

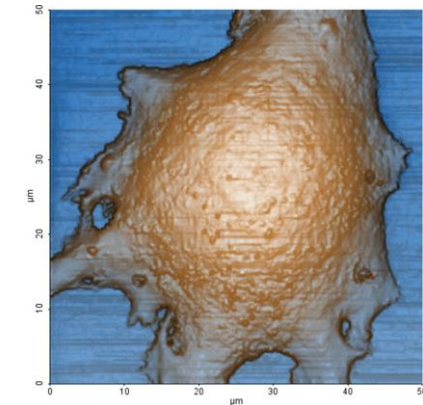
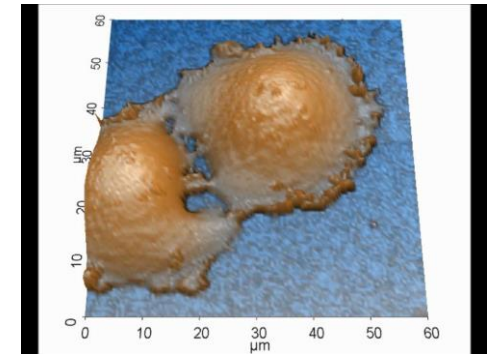
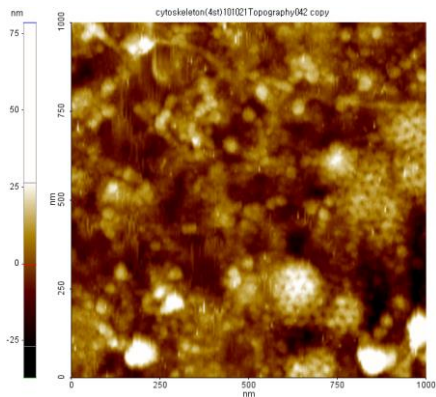
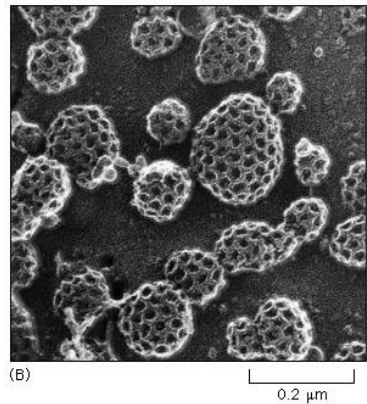
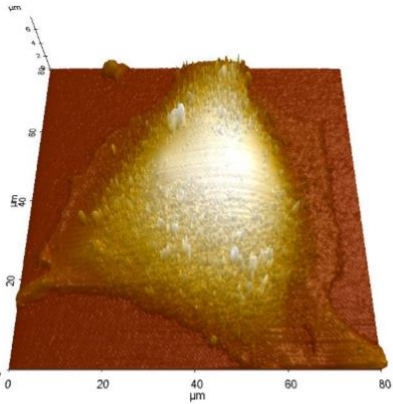
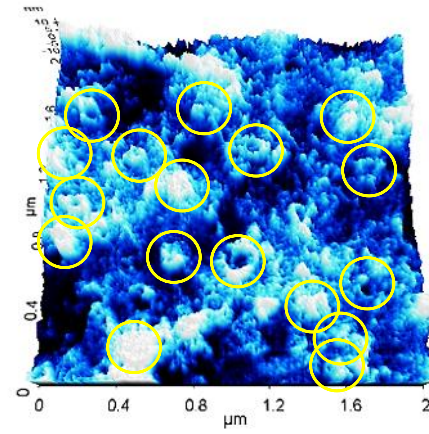
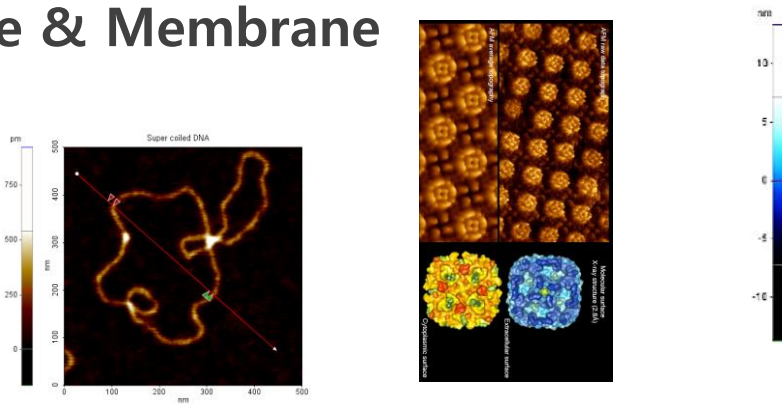
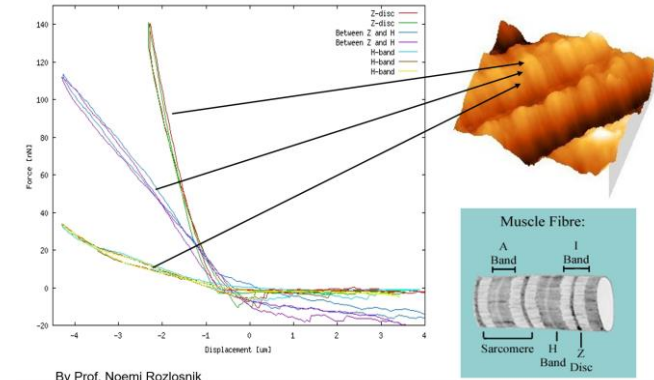


- **Biological Sample Imaging**

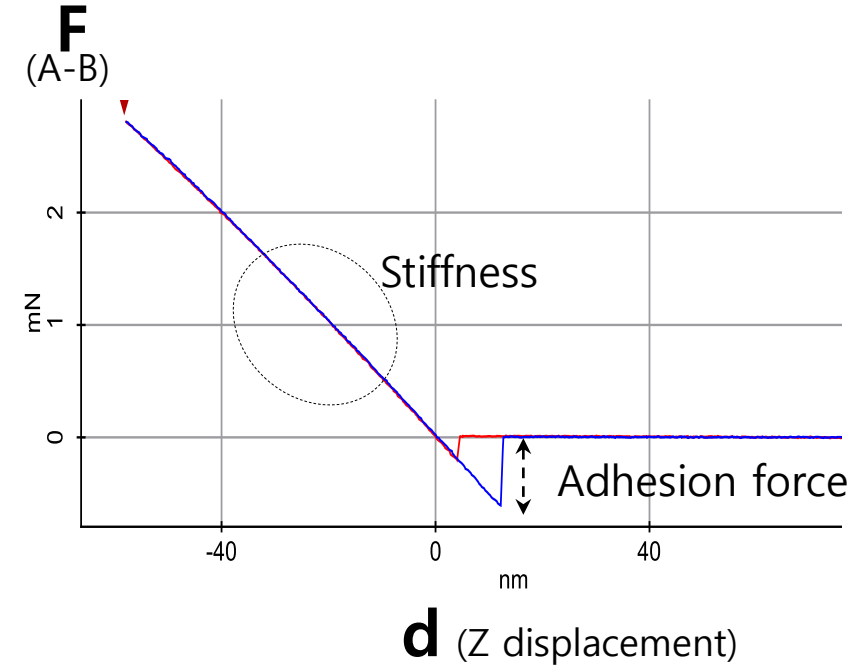
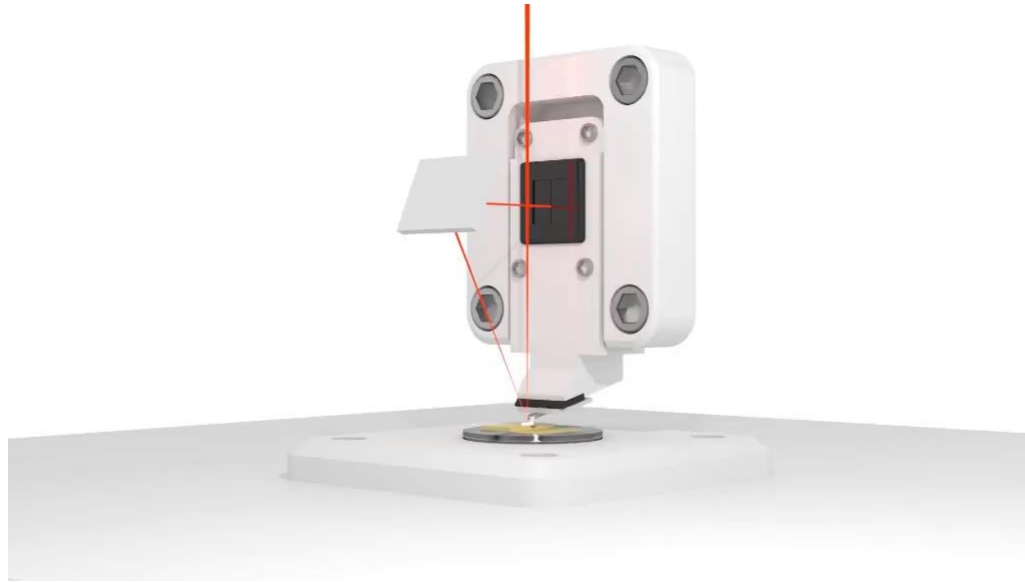
- Cell
- Membrane & Membrane Protein
- DNA



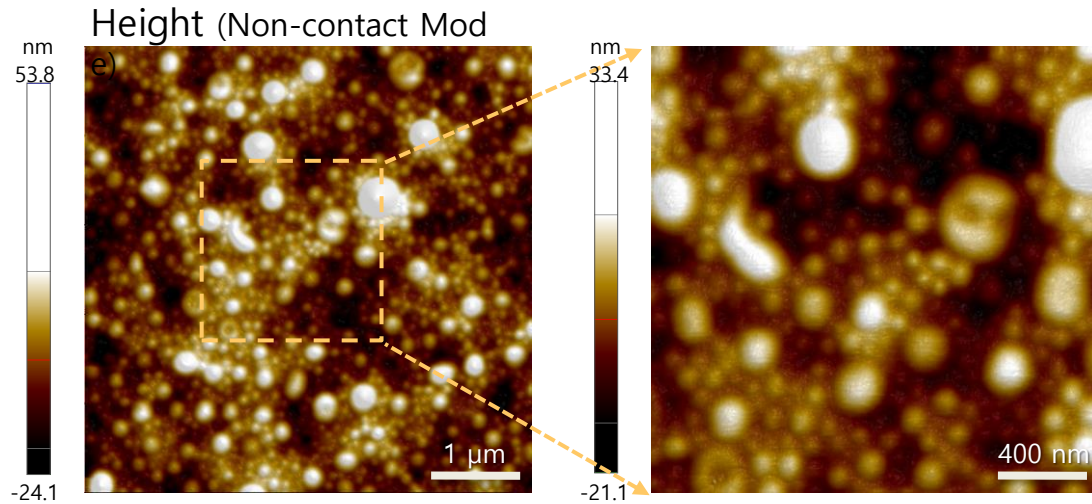
Stiffness Measurement on Muscle Fibers



©1998 GARLAND PUBLISHING

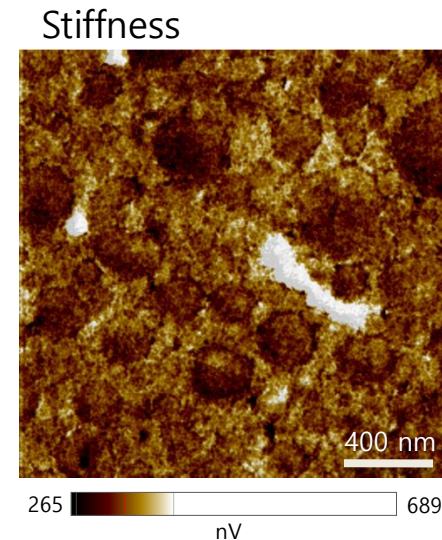
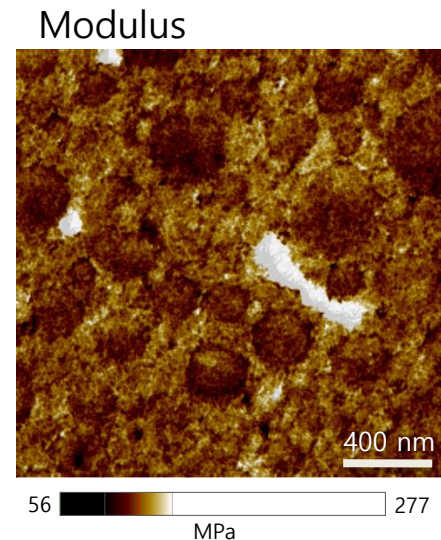
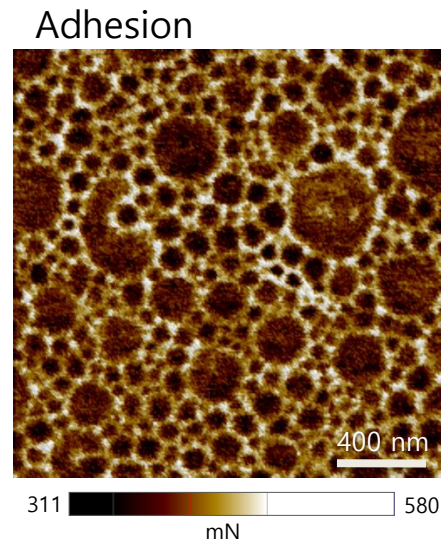
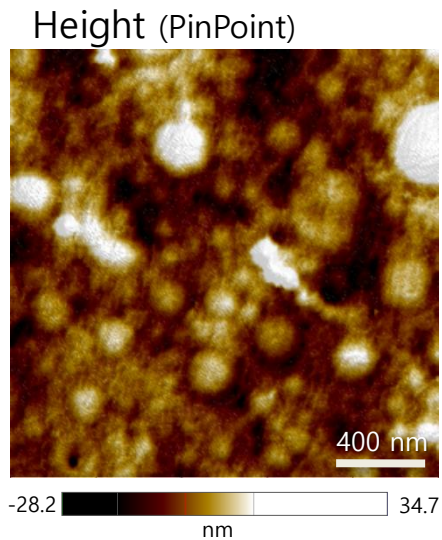


- 지형, 강성 및 접착력 맵은 각 픽셀의 고속 힘 거리 곡선에서 실시간으로 획득됩니다.
- 접촉힘, 접촉 지속시간, 접근/탈출 속도, 접근 거리 등을 모두 프로그래밍할 수 있다.

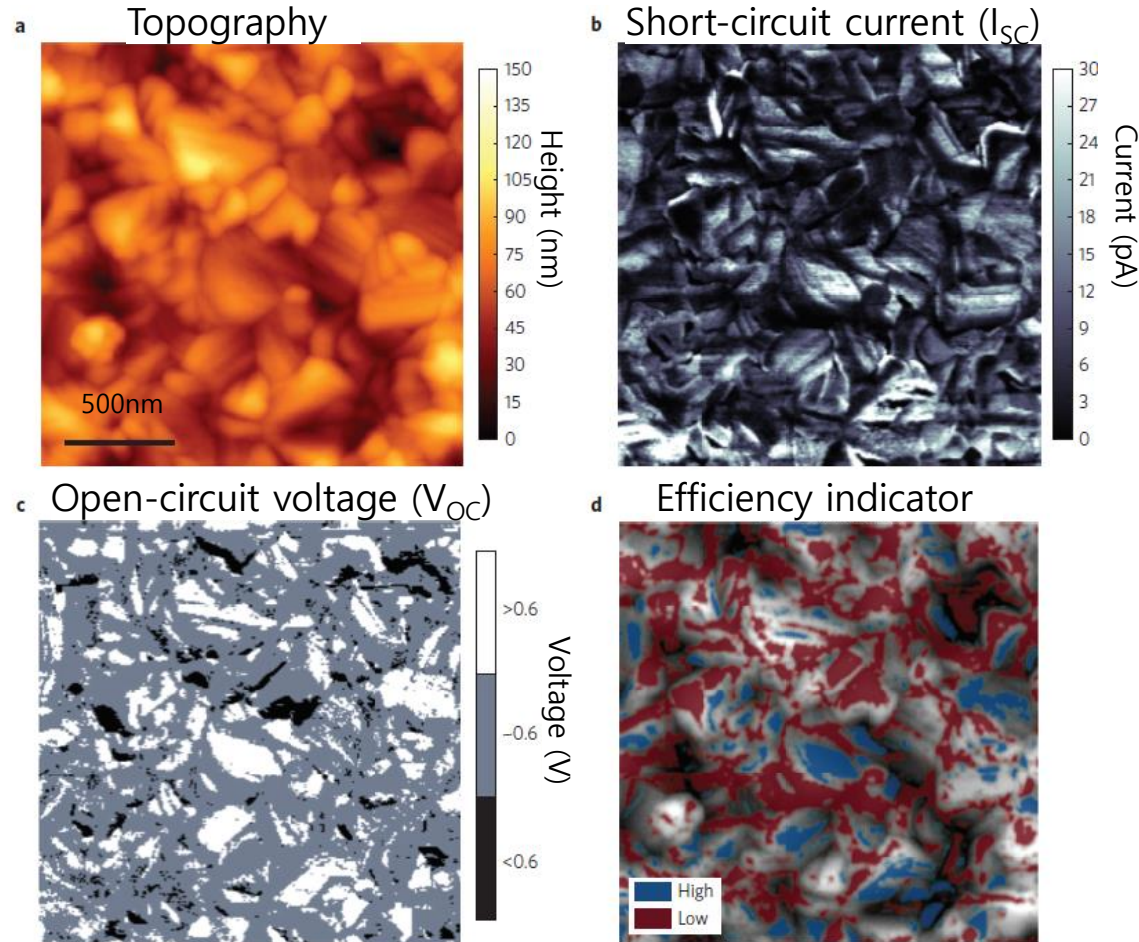


Scanning Conditions

- System: NX10
- Scan Mode: Non-contact, PinPoint mechanical mode
- Cantilever: NCSTR
- Scan Rate: 0.5Hz for Non-contact
- Approach/Retract speed: 2ms/2ms
- Pixel: 512 × 256 for Non-contact
256 × 256 for PinPoint
- Scan Size: 5 μ m×5 μ m for Non-contact
2 μ m×2 μ m for PinPoint



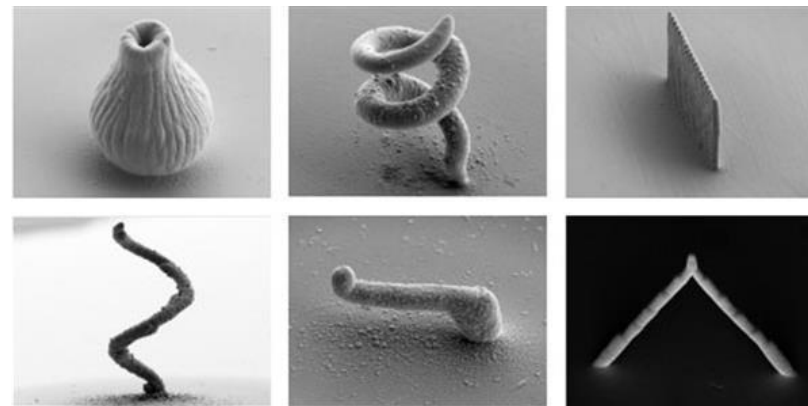
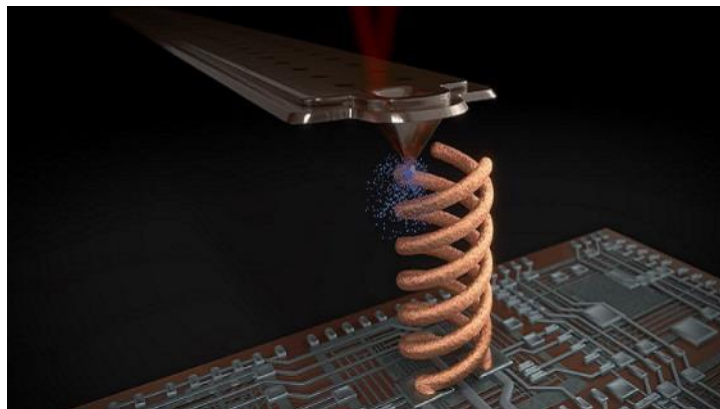
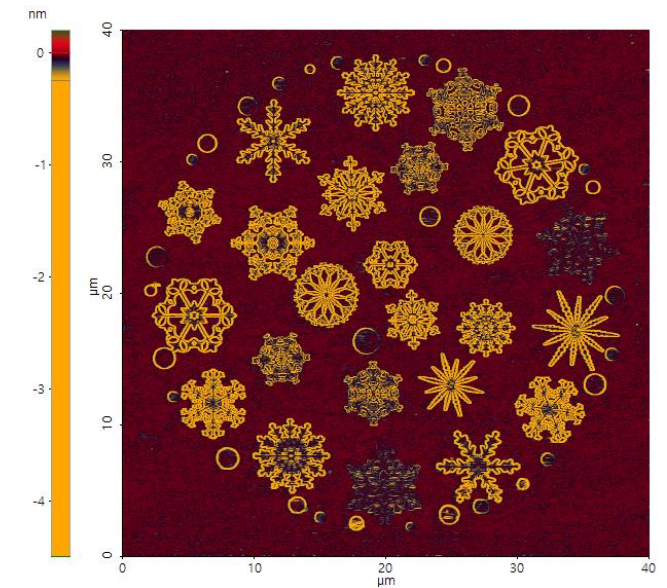
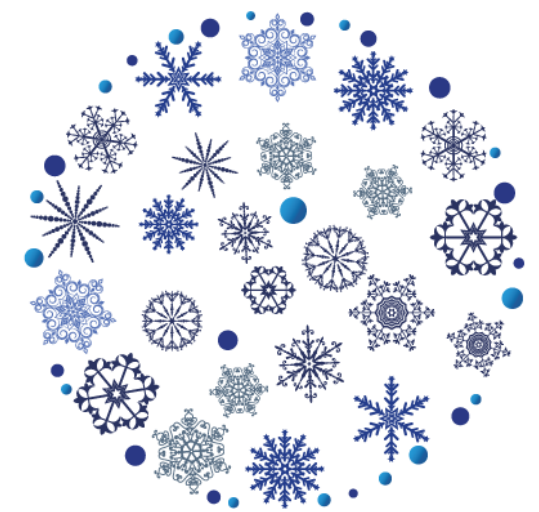
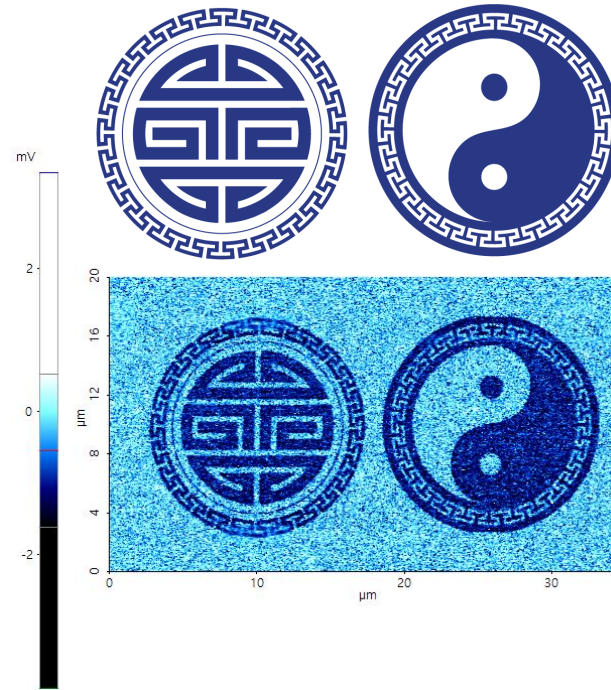
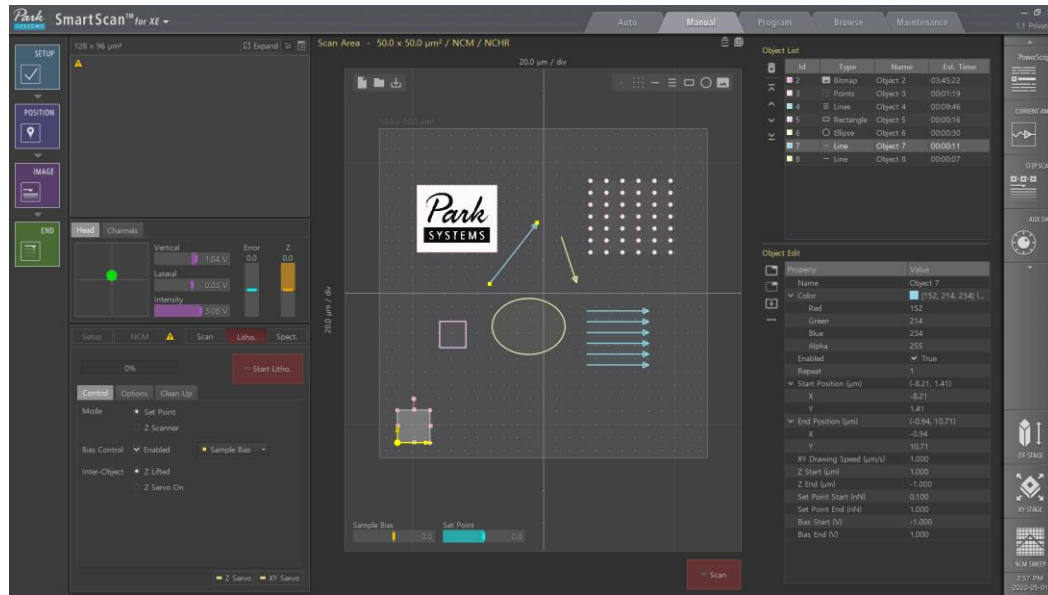
- Local I_{SC} , V_{OC} , I_D are measured at their native length scale (10-100nm) with PinPoint Photoconductive AFM.



Spatially correlated heterogeneity in I_{SC} and V_{OC} within individual grains were observed.

NX10 with glove box
(N_2 filled, <1% humidity)

Alex Weber at LBNL
Sibel Y. Leblebici *et al*, *Nature Energy*
DOI: 10.1038/NENERGY.2016.93

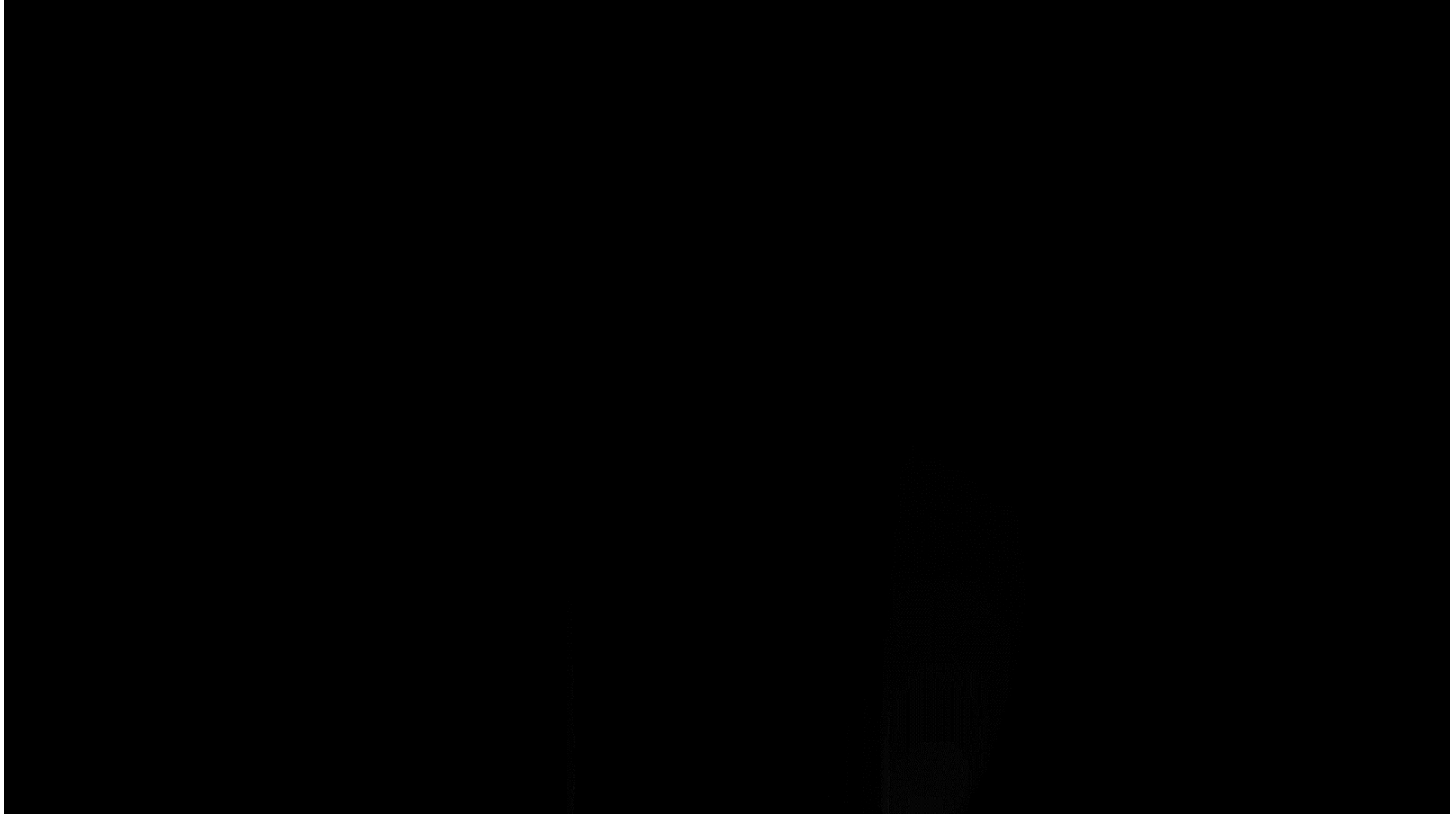


FX40: A New Generation Automatic AFM 출시

- 7/7일 나노코리아 행사에서 전시



나노 과학 기술 연구의 새로운 시대를 여는 획기적인 원자현미경 FX40





The Kodak Camera

*“You press the button,
we do the rest.”*

OR YOU CAN DO IT YOURSELF.

The only camera that anybody can use without instructions. As convenient to carry as an ordinary field glass World-wide success.

*The Kodak is for sale by all Photo stock dealers.
Send for the Primer, free.*

The Eastman Dry Plate & Film Co.

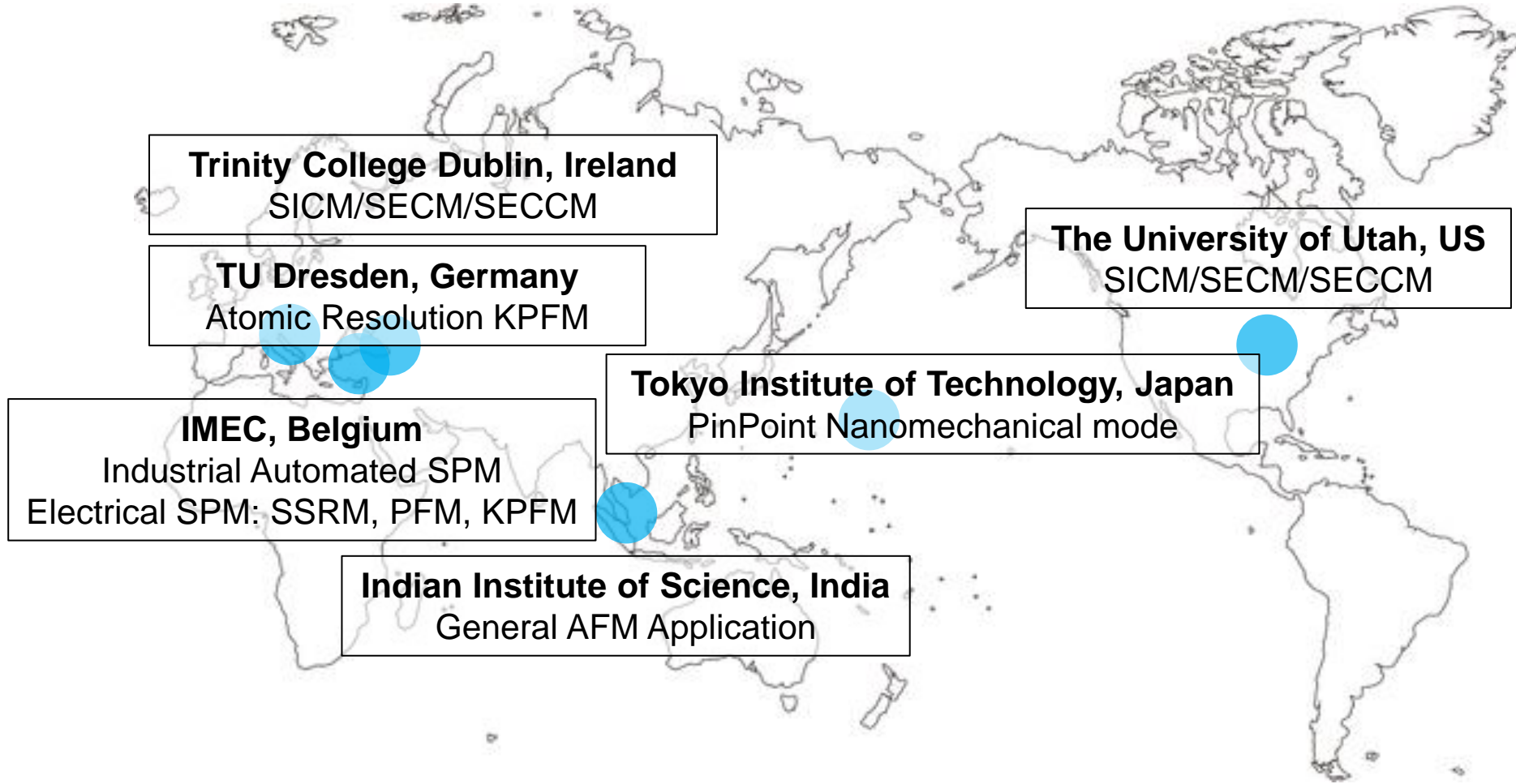
Price, \$25.00 — Loaded for 100 Pictures. ROCHESTER, N. Y.
Re-loading, \$2.00.

Photography 사진술 (寫眞術)



- 국가 과학기술 경쟁력 향상
- 세계 과학기술을 주도하는 국가 대열에 합류
- 연구장비 산업육성은 과학기술의 Follower가 아닌 Leader가 되기 위한 첫번째 관문
- 선발주자 우위(first-mover advantage)의 가능성
- 자원의 열세와 격차를 극복하고 혁신성장을 통한 세계시장 진출
- 기계/물리/화학/전자 등 학제간 융합 촉진
- 고부가가치로 고급 인력의 고용창출 효과 기대

- 원자현미경기술은 태동기에서 막 성장기로 접어든 첨단계측기술
- 가장 응용분야가 넓고 다른 계측기술과 융합이 용이하여 새로운 연구를 할 수 있는 무궁무진한 가능성이 열려 있음
- AI를 탑재한 원자현미경이 산업계의 많은 문제점을 해결할 수 있음
- 국내에 세계에서 가장 긴 개발 역사와 원천기술을 가진 제조업체가 있으며 이 원자현미경 기술은 국가핵심기술로 지정되어 보호받고 있음



ISO TC201/SC9
Scanning Probe
Microscopy



Int'l Test Methods
Task Force

- Meetings, Exhibits (2020년 24회) 참가 & Workshops (2020년 15회) 지원
- 정기적인 Webinar 시행 (2020년 28회 실시)
- 분기별 NanoScientific Magazine
- App notes(2020년 14건), 유튜브 강의
- 학생과 포닥을 위한 학회 참여 장학금
- NanoScientific Symposium (8개국) 지원

