

원자현미경(AFM) 기술진화의 3차원과 함의 : 파크시스템스(주) 사례를 중심으로

주저자 이정현 (한양대학교 경상대학 박사수료)
교신저자 전상길 (한양대학교 경상대학 교수)

수출 주도형 경제 구조를 가진 한국의 경제 성장에 반도체·조선·자동차 산업이 큰 역할을 하고 있다. 특히 반도체는 지난 10년간 국내 주요 수출 품목 1위를 유지하고 있는 만큼 한국 경제에 가장 중요한 산업이다. 그러나 데이터 변혁이라 불리는 4차 산업혁명에 의한 반도체 수급 불안정은 국가 간 패권 전쟁으로 이어졌다. 한국이 반도체 패권 경쟁 속에서 지속적인 경쟁력 우위를 점하려면, 메모리 분야 뿐만 아니라, 시스템 분야에서의 역량도 높여, 종합 반도체 강국으로 나아가야 한다. 또한 이를 위해선 반도체 기초 산업(소재, 부품, 장비, 이하 '소부장')의 국산화가 뒷받침되어야 한다. 본 연구는 국내 반도체 소부장의 기술혁신을 통한 국제 경쟁력 제고 방안에 초점을 맞춰 반도체 산업을 살펴보았다. 반도체는 미세화 공정, 속도향상, 전력 절감 기술을 통해 고성능 반도체로 성장해 왔다. 이러한 성장을 견인한 국가 핵심 기술 중 하나가 첨단 현미경 기술이다. 첨단 현미경 산업의 주도권은 기술 선진국의 기업들에게 있고, 이들이 기득권을 장악하고 있는 반도체 시장에서, 우리나라 벤처 기업인 파크시스템스(주)가 2022년, 2023년 연속 산업용 원자현미경 시장점유율 세계 1위를 선점하였다. 따라서 본 연구는 파크시스템스(주)의 사례 연구를 통하여 기업의 사업화 전(全)과정을 기술진화 관점에서 4세대로 구분하여 살펴보고, 이 과정에서 기업의 기술 진화를 추동해 온 기술력의 3가지 차원을 발견하였다.

Key words : 원자현미경(AFM), 기술진화, 파크시스템스(Park Systems), 반도체 장비 산업, 나노계측장비

논문투고일 : 2024.07.31. 수정논문접수일 : 2000. 00. 00 게재확정일 : 2000. 00. 00

1. 서론

수출 주도형 한국 경제 구조에서, 반도체 · 조선 · 자동차 산업은 한국 경제의 급속한 성장을 견인해 왔다. 특히, 수출통관자료를 통해 알 수 있 듯¹⁾, 반도체는 지난 10년 간, 10대 수출 품목 중 1위를 차지하고 있는 만큼 한국 경제에 가장 중요한 산업임이 분명하다. 또한, PC 메모리, 모바일 Application, 모바일 이미지 센서 등 다양한 형태로 이미 우리 일상에 많이 쓰이고 있는 한국 반도체의 2022년 기준 생산 Capa는 20.7%, 시장점유율은 17.7%는 세계 2위로 Global 시장을 선도하고 있다(OMDIA 2023).

정보기술의 발달로 데이터 저장 능력과 처리 능력의 고도화가 요구되었고, 이에 핵심적인 역할을 담당하고 있는 반도체의 성능 향상이 반도체 산업을 성장시켰고, 세계적인 공급망 가치사슬이 형성되었다.

그러나 인공지능, 로봇, 사물인터넷, 나노테크놀로지 등 다양한 기술혁신은 데이터 변혁이라 불리는 4차 산업혁명을 야기하였고, 이로 인한, 반도체 부족은 각국의 수출 규제 정책, 국가 간 패권 전쟁으로 이어지며 반도체 공급망을 교란, 이제는 공급망의 효율성보다는 안정성과 회복력에 초점을 맞춰 자국 내 반도체 기술 및 제조시설을 보유하기 위한 국가 간 경쟁구도로 변하게 되었다(안기현, 2024).

공학한림원 김기남 회장은 “갈수록 치열해지는 반도체 패권 경쟁 속에서 한국이 지속적인 경쟁력 우위를 점하려면, 글로벌 시장을 선도하는 메모리 분야의 경쟁력은 유지하면서, 시스템 반도체 역량을 제고하여 종합 반도체 강국으로 나아가야 한다”고 하였다(이상재 등, 2023). 정부 역시 4차 산업혁명 시대, 급격한 환경 변화에 따른 기술혁신 과제와 반도체 미 · 중 패권 경쟁에 의한 지정학적 리스크를 안고 있는 한국 반도체 산업

은 기초 산업 분야(소재 · 부품 · 장비, 이하 ‘소부장’)의 높은 해외 의존도로, 국내 기업의 경쟁력이 낮은 것을 우려하여, 2023년 5월 ‘반도체 미래기술 로드맵’ 발표식에서, 한국 반도체 산업의 경쟁력을 높이기 위해 소재 개발, 설계 및 패키징 공정의 원천 기술개발이 중요하다는 것을 강조하였다(김기훈, 2023).

본 연구 또한 한국 반도체 소부장의 글로벌 경쟁력 제고 방안으로 초점을 맞춰 반도체 산업을 살펴보았다.

반도체는 미세화 공정, 속도향상, 전력 절감 기술을 통해 고성능 반도체로 성장해왔다. 이러한 성장을 견인한 국가핵심기술 중 하나가 첨단 현미경 기술이다. 즉, 반도체의 품질을 결정하는 선폭 측정 · 결정도 측정 · 농도 측정과 같은 반도체 공정에서의 측정기술 발달로 고성능 반도체를 만들 수 있었다는 것이다(유상영, 2010). 과학 기술의 수준은 어느 정도 정밀한 현미경을 필요로 하는 가에 의해 파악될 정도로, 산업 수준과 현미경의 수준은 정비례 관계이며, 이러한 현미경 기술은 기술축적이 필요한 대표적인 분야이다. 따라서 전 세계 첨단 현미경 산업의 주도권은 공급자에게 있고, 이 공급자의 대다수가 기술 선진국의 기업들이다(이정동, 2021). 그리고 반도체 시장은 첨단 장비의 조기 확보가 성패를 좌우하며, 이미 선진 기술을 보유한 기업들이 기득권을 장악하였기에, 후발 기업이 성공하긴 매우 어려운 환경이다. 이러한 환경에서 한국의 벤처기업인 파크시스템스(주)(이하, ‘파크시스템스’)는 독보적인 기술을 바탕으로 원자현미경(AFM)을 개발하였고, 시장조사기관 QYResearch의 ‘글로벌 원자현미경 시장 보고서 2024’에 따르면 2022년에 이어 2023년도 시장점유율 20.61%로 산업용 원자현미경 시장점유율 세계 1위로 글로벌 원자현미경 시장을 석권하였다(강경래, 2024). 본 연구는 국내 벤처기업이 반도체 공정에 진입하면서 글로벌 원자현미경 시장을 석권할 수 있었던 요인을 밝히고자, 기업 공시 보고서 등 공개자료, 학술

1) 수출품목 중 상위 10개 품목 통계표 참고

문헌 및 뉴스 기사, 그리고 기업 임원 인터뷰를 기반으로 사례연구를 진행하였다. 먼저, 파크시스템스의 사업화 전(全)과정을 전략목표, 기술진화, 경영자원, 위기를 기준으로 4세대로 구분하여 살펴보았다. 그리고 이 과정에서 파크시스템스 원자현미경(AFM)이 기술 진화를 추동해 온 세가지 차원을 발견하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구의 대상이 된 파크시스템스에 대해 살펴보았다. III장에서는 전략목표, 기술진화, 경영자원, 위기를 기준으로 파크시스템스의 성장과 기술의 진화를 분석하였다. IV장에서는 앞서 살펴본 세대별 성장과 진화를 토대로 파크시스템스의 기술 진화를 추동한 3가지 요인(계측역량, 처리역량, 편의성)을 제시하였다. 마지막 V장에서는 IV장에서 밝혀낸 기술 진화의 3차원을 토대로 각 차원 별 우선 순위가 향후 기술 선택 전략에 주는 의미에 대해 살펴보았다.

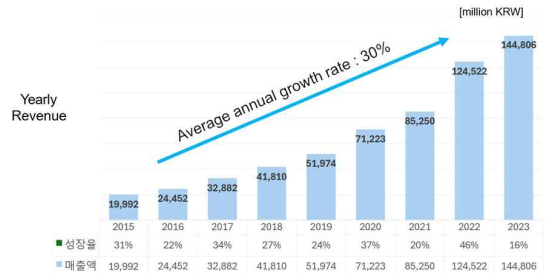
II. 파크시스템스(주) 개요



파크시스템스의 박상일 대표는 원자현미경(AFM)을 세계 최초로 개발한 켈빈 퀴이트 교수 연구실에서 핵심지식을 습득한 뒤, 실리콘밸리에서 'PSI(Park Scientific Instruments)'를 설립하여, 최초로 원자현미경 상용화에 성공한 경험이 있는 과학자이다. 창업 후 10년만에 PSI를 성공레도에 올려놓은 그는 조국의 사업 발전에 이바지 하고 싶다는 생각에 PSI를 미국 Thermo Spectra에 매각하고, 한국으로 돌아와 1997년 파크시스템스를 설립했다.

파크시스템스는 국내 벤처기업으로 원자현미경(AFM)을 개발, 생산, 판매하는 국내 나노계측기기 전문기업이다. 본사는 경기도 수원에 있으며, 전 세계 11개국에서 12개의 현지 법인을 운영하고, 그 외 30개국

에 판매망을 구축하여 자체 브랜드 제품을 직접 공급하고 있다. 고객으로는 전 세계 유수의 대학교, 국책연구소, 기업연구소 및 Global 반도체 기업 등이 있다. 파크시스템스의 주요 제품라인은 크게 연구용과 산업용으로 구분되며, 산업용은 다시 하드디스크, 반도체, 디스플레이로 세분화 되고, 근래에는 바이오 산업의 연구용으로 제품이 개발되었다. 파크시스템스는 2015년 상장 후, 연평균 약30%의 고속성장을 달성하고 있으며, 20% 이상의 영업이익율을 달성하였다.



III. 파크시스템스의 성장과 진화

파크시스템스의 전(全)사업화 과정을 살펴보니, 제품 개발 프로젝트를 기준으로 4세대로 구분할 수 있었다. 본 장에서는 각 세대 별 전략 목표, 기술진화, 경영자원 그리고 한계를 살펴보고, 파크시스템스의 기술진화 과정을 설명하였다.

3.1 제1세대 발전 특성(1997~1999)

3.1.1 전략목표

연구용 원자현미경보다 반도체 생산공정에서 쓰일 수 있는 산업용 원자현미경의 잠재 시장이 훨씬 더 크기에 산업용 원자현미경 개발은 관련 업체들에게 매우 중요한 일이다. 뿐만 아니라 당시 우리나라는 미국, 일본 다음으로 주요 반도체 생산국이지만, 첨단장비의 조기확보가 성패를 좌우하는 반도체산업에서 생산장비의 대외의존도가 높은 것을 우려하여 정부는 국제 경쟁력

강화를 위한 반도체 장비의 국산화를 위한 지원 정책을 추진하고 있었다. 이러한 환경에서 박상일 대표는 1997년 4월 반도체 생산 공정에 쓰일 수 있는 산업용 원자현미경을 개발하겠다는 사업계획을 수립하고 PSIA(2007년 Park System로 법인명 변경, 이하 파크시스템스)를 창업하였다.

3.1.2 기술진화

창업 초기 파크시스템스는 박상일 대표가 미국 유학 시절 창업한 PSI를 매각하기 전 체결된 기술도입 및 상호 판매 대행 계약을 통해 PSI에서 핵심 부분품을 수입하여 자체제품인 M5S를 제작하여 삼성전자 포토마스크에 납품하였다. 그리고 앞서 자본재 산업의 기술혁신에서 살펴본 바와 같이 자본재 산업은 아이디어부터 제품설계, 제작, 구매 단계에 이르기까지 전반적인 활동에 사용자 기업이 참여하는 특징을 갖는데 파크시스템스도 사용자 기업인 삼성전자와 공동개발계약을 체결하여 반도체 공정용 장비인 SM5 제품을 개발하였다. 이는 미국 PSI에서 개발된 M5에 고도의 자동화 기능(인공지능으로 최적 이미지 조건 자동 설정 등)을 추가한 제품으로 웨이퍼 상의 결함검사, 공정 계측, 도핑 농도 측정에 활용할 수 있는 것이었다. 또한 정부 지원과제를 통해 자체 구동기가 탑재된 고속원자현미경용 캔틸레버를 제작하여 고속원자현미경을 상품화하고자 연구개발에 매진하였다.

3.1.3 경영자원

한국은 대기업과 중소기업의 양극화가 심하여 중소기업에서 근무하는 것에 대한 인식이 좋지 않아 우수 인력을 영입하는데 많은 어려움이 있었다. 이때, 정부는 반도체 기초산업(소재·부품·장비, 이하 소부장)의 높은 대외 의존도에서 벗어나기 위해 반도체 소부장의 국산화를 높이고자 다양한 형태의 기업 지원 프로그램을 시행하였고, 파크시스템스는 이러한 정부지원사업을 활용하여 부설연구소 설립을 통한 우수 인재를 유

치할 수 있었고, 국책 연구과제 선정으로 연구개발비 지원을 받을 수 있었다. 또한 대표이사의 미국에서 벤처기업(PSI)을 성공시킨 이력으로 투자 유치를 통해 자본금을 확보할 수 있었다.

3.1.4 위기

파크시스템스의 창업 초기 위기는 크게 외부 환경 변화에 의한 위기와 내부적 위기로 구분해서 볼 수 있다. 외부 환경변화로 인한 한계로 첫째, 경쟁사의 인수 합병 문제이다. 파크시스템스는 미국 PSI와의 기술도입 및 상호 판매 대행계약을 체결하면서 사업을 시작하였는데, PSI를 매각했던 Thermo Spectra와 Topometrix의 합병(Thermo Microscope, TM)으로 PSI와 체결한 기술도입계약은 취소되었고, 파크시스템스는 TM 제품의 한국 판매 대행만 하는 것으로 관계 축소된 것이다. 둘째, 사용자 기업인 삼성전자의 대규모 인사이동이 이루어지며 내부 담당자가 교체되면서 SM5는 전량 회수되는 상황이 발생되었다. 한편 파크시스템스 내부 한계로는 제품의 성능(기술력)을 들 수 있는데, 고속원자현미경용 캔틸레버는 균일한 품질로 대량 생산하는 데 문제가 있었고, 고속으로 이미지를 얻는 것 외 다른 효용성이 없었다. 또한 레이저 산란장치를 결합한 결함검사용 원자현미경 역시 타사보다 성능이 뒤떨어져 매출로 이어지지 못하며 결국 반도체 생산공정으로의 진입은 실패하였다.

3.2 제2세대 발전 특성(2000~2007)

3.2.1 전략목표

파크시스템스가 반도체 생산라인 진입에 어려움을 겪고 있을 때, 삼성전자 LCD(디스플레이산업) 생산라인에서 대형액정 시료 계측을 위한 원자현미경 제작 문의가 있었고, 또 한편으론 삼성전자 포토마스크탑(반도체산업)으로부터 임계치수(CD) 측정을 위한 원자현미경 개발문의가 들어오면서 LCD용 원자현미경과 포토마스크용 원자현미경 개발 프로젝트가 각각 추진되

었다. 프로젝트 진행 중 글로벌 경쟁업체인 Veeco가 Thermo Microscope(TM)를 인수하면서, PSI사의 부품 조달 문제(TM은 PSI와 Topometrix의 합병기업) 그리고 파크시스템스의 기본 매출이 TM 제품을 국내 판매로 인하여 발생되었기에 매출 중단 위기가 발생했다.

Veeco는 2001년 당시 한국 정부가 '국가 나노기술 개발계획'을 수립하고, 나노기술에 적극적으로 지원한다는 정책과 연계하여 파크시스템스가 원자현미경 핵심 기술을 자체 개발하게 되는 것을 견제하려는 의도로 파크시스템스의 기술 개발 활동 일체를 중단하고, 그동안의 자료를 Veeco에 공개하지 않으면, TM사의 원자현미경 및 부품품을 일체 공급하지 않을 것이라는 공격적인 협상안을 제시하였다. 파크시스템스는 Veeco와의 협상하지 않고, LCD용 원자현미경 개발 프로젝트 이외의 진행중이던 프로젝트는 모두 중단하고, 부품품을 포함한 파크시스템스 자체 제품을 만드는 것을 목표로 XE-Series 원자현미경 개발 프로젝트를 추진하였다.

3.2.2 기술진화

(1) LCD용 원자현미경 기술의 진화

당시 파크시스템스는 작은 시료를 관찰하는 연구용과 200mm와 300mm 실리콘 웨이퍼용 원자현미경 제작 기술을 가지고 있었는데, 삼성전자 LCD 생산라인에서 의뢰한 제품 크기는 600*720mm의 대형액정으로 이를 구현하기 위해선 i) x-y stage 크기 확대 ii) 구조물이 커지면서 발생하는 진동 문제 해결 iii) 생산공정에 투입되는 만큼 고도의 자동화 사양 등의 기술력이 요구되었고, 파크시스템스는 이와 같은 요구사항에 맞춘 기술개발을 통해 삼성전자와 LG-Philips에 제품을 납품하였다.

(2) XE-Series 원자현미경 개발

Veeco의 거래 업체 인수합병으로 제품 공급 문제가 대두되자 파크시스템스는 그동안 수입해 온 핵심 부품

포함 모든 부품을 자체 개발하기 위해 노력하였다. 기존 원자현미경의 가장 큰 단점은 측정 속도이다. 광학 현미경이나 전자 현미경에 비해 탐침이 기계적으로 시료 표면을 따라가야 하기에 영상을 얻는 속도가 현저히 느릴 수 밖에 없었다. 또한 원통형 압전 세라믹 스캐너(Piezoelectric tube scanner)를 사용했는데, 압전 세라믹 자체의 비선형성(non-linearity)과 이력현상(hysteresis: 물질이 거쳐 온 과거가 현재 상태에 영향을 주는 현상)으로 인해 실제 시료 표면과는 다른 오차가 발생하게 된다. 그리고 원통형 구조는 X·Y·Z 축이 독립적으로 움직일 수 없고, X-Y 방향으로 움직이기 위해서는 원통형의 한쪽 면이 줄어들고, 다른 면이 늘어나면서 평면 방향이 아닌 원호를 그리면서 움직이기에 상호 간섭이 발생되고, 이러한 구조는 Z축의 제어 속도에 영향을 미치게 된다. 마지막으로 탐침의 크기 및 접촉식(Contact mode, Tapping mode) 측정 방식은 시료 표면에 좁거나, 깊은 경사가 심한 부위가 있는 경우 측정이 불가능하거나 어렵고, 측정이 가능하더라도 왜곡현상(convolution effect)으로 오차가 발생한다. 이러한 기존 원자현미경이 갖고 있는 기술적 한계로 인하여 점차 계측력의 고도화를 요구하는 공정, 특히 반도체 생산공정으로의 진입이 어려웠던 것이다.

이러한 기술적 한계를 극복하기 위해 파크시스템스는 우선 X-Y와 Z Scanner를 분리 한 Flexure guide scanner(유연힌지스캐너)를 개발하여 시료의 수평방향 움직임(X-Y Scanner)과 탐침의 수직 방향 움직임(Z Scanner)의 독립성을 높였고, 또한 기존 접촉식 측정 방식에 의한 문제점을 해결하기 위하여 탐침과 시료가 접촉하지 않고 시료를 측정할 수 있는 완전 비접촉식 모드(True Non-contact mode)를 개발하여 세계 최초로 실용화 한 제품인 XE-100을 출시하였다.

① Tip-Scannig Head(TSH) 개발

OLED 또는 LCD는 일반적으로 기관 위에서 패널을

제조하는데, LCD를 처음 양산하는 시점에는 기관 자체의 크기는 대략 270*360mm정도(1세대) 작았으나, 한 기관에서 더 많은 패널을 만들 수 있도록 생산성을 높이기 위해서 그리고 대형 TV와 대형 모니터의 수요가 증가하면서 기관의 크기가 1,000*1,200mm정도(5세대)로 점차 커졌다²⁾. 그러나 기존 원자현미경으로는 대형 기관을 스캔할 수 없었기에 파크시스템스는 측정하고 자하는 위치로 이동해서 스캔하는 방식의 Tip-Scannig Head를 개발하여 XE-LCD제품을 출시했다.

② PTR 측정 구현

당시 원자현미경의 수요는 반도체 산업이나 LCD 산업에서 어느정도 있었지만, 수요가 가장 큰 시장은 모든 산업 중에서 가장 작은 인공구조물을 제작하는 하드디스크 시장이었다. 하드디스크 드라이브(HDD)에서의 Pole Tip Recession(PTR)은 자기 헤드의 기록 극 부분이 디스크 표면에 비해 낮게 위치하는 현상으로 이는 장기간 사용으로 인해 자기헤드와 디스크 표면 사이의 마찰, 열팽창이나 수축에 의한 물리적 변형 또는 제조 공정에서의 미세한 편차로 인해 발생하는 것으로 데이터 기록 성능 및 데이터 읽기 성능의 저하 또는 헤드와 디스크 표면이 너무 가까워짐으로 인한 충돌 위험이 발생할 수 있다. 즉 PTR은 HDD의 성능과 신뢰성을 유지하기 위해 중요한 요소이다. 또한 하드디스크의 밀도가 올라가면서 데이터를 수직 방향으로 자기 기록하는 수직 자화 기록 방식(PMR, Perpendicular Magnetic Recording)이 상용화 되었다. PMR head의 PTR 값은 불과 수 nm에 불과하고 제조 공정 시 허용오차는 0.5nm, 측정 장비의 계측 허용오차는 0.1nm이내여야 한다. 이는 기존 원통형 원자현미경은 구현이 불가능한 것이다. 파크시스템스가 개발한 XE원자현미경의 유연한지스캐너와 Non-contact mode를 활용한다

2) 기관 크기에 따른 세대 구분은 기업에따라 다소 차이가 있음.
- 자료원 : 삼성디스플레이 뉴스룸 “디스플레이 패널 세대의 이해”

XE-PTR, XE-HDD제품은 하드디스크시장을 장악하고 있던 Veeco의 계측값보다 더 정확하고 정밀한 결과를 보여주었고, 그 결과 2005년 10월 28일 세계 최대 하드디스크 업체인 ‘Segate’의 차세대 생산공정용 나노계측 장비 공급업체로 선정되었다.

③ 3D AFM 개발

기존 원자현미경은 탐침이 수직으로 내려와 시료 표면 형상을 측정하는 장비로 역삼각형(오버행, overhang) 구조물은 측정이 불가하였는데, XE head를 양 옆으로 기울리는 방법을 개발하여 XE-3DM 제품을 출시하였다. 이 제품은 타사가 head를 앞쪽으로 기울려서 한쪽 방향의 옆면을 측정한 뒤, 시료를 돌려 반대편을 측정하고 그 두 사진을 합성하여 보여주는 것과 비교했을 때, 시료를 움직이지 않고 양 옆을 한번에 측정 가능하기에 결과 값의 정확도가 더 높게 나타났다.

3.2.3 경영자원

(1) 재무적 자원

파크시스템스의 매출액은 2002년 32억원에서, 2007년 96억원으로 증가했으며, 영업이익은 1억4천만원에서 11억원으로 증가하였다.

(단위:백만원)

구분	‘02	‘07	구분	‘02	‘07
자산	4,586	10,854	매출	3,155	9,578
부채	1,308	4,666	영업 이익	139	1,067
자본	3,278	6,188			

(2) 관리적 자원

파크시스템스는 외부에 의존하지 않고, 모든 핵심 부품을 자체 개발하여 XE원자현미경 생산이 가능하게 되면서 ① 디스플레이 시장과 하드디스크 시장에 진출

할 수 있었고, 특히, 세계 최대 하드디스크 업체인 Seagate사의 생산공정용 나노계측장비의 공급업체로 선정되었다. ② 회사의 내재 가치가 커지면서 국내 시장 점유율이 높은 상황에서 더 이상 내수 만으로 성장을 기대하기 어려워졌기에 파크시스템스는 해외 시장 진출을 시작하였다. 우선 미·중·일·대만 등 현지 기업들과 판매 대행 계약을 체결하였고, 2003년 미국과 2007년 일본에 해외 현지법인을 설립하였다. 그리고 연례 행사로 'Worldwide Sales Meeting'을 개최하여 해외 판매 대행사 직원들에게 파크시스템스 장비에 대한 교육과 판촉에 필요한 정보를 제공하고, 성과를 분석하고, R&D 현황 및 마케팅전략에 대한 발표와 토의를 진행하여 효율적으로 활동할 수 있도록 관리하였다. ③ 글로벌 시장에서도 선도 기업과 경쟁 할 수 있을 정도로 기업의 경쟁력이 올라가면서, 우수한 인재를 영입할 수 있었고, 이로인해 기업은 점점 더 기술력과 관리 역량을 증대시킬 수 있었다. ④ 2003년 과학기술부에서 지원하는 나노핵심기반기술개발사업 등 정부지원과제 선정은 기업이 외부 연구진들과 R&D 활동이 지속적으로 이루어질 수 있다.

3.2.4 위기

우선 외부 환경에 의한 위기를 살펴보면, 글로벌 기업들이 원자현미경 시장을 장악하면서 후발 기업이 시장에 진입하는 것 자체가 어려운 환경이었으며, 특히 국내 중소기업 제품에 대한 신뢰도가 낮은 상황에서 해외 시장 진출에 많은 어려움이 있었다. 내부적으로 해외 판매대행사 및 현지 법인을 관리하는 데 어려움이 있었다. 일본 하드디스크 시장 진출에 있어 판매대행사의 미온적인 태도 뿐만아니라, 미국 법인 관리에 있어서도 한국 본사가 현지에서 능력있고 신뢰할 수 있는 사람을 찾아 관리를 위임하는 데 현실적인 어려움이 있었고, 이는 미국 법인의 인사관리 문제와 실적 부진의 결과로 이어졌다. 제품개발과 관련하여 파크시

스템스는 SICM(Scanning Ion Conductance Microscope)³⁾ 옵션을 이용하여 세포를 관찰 할 수 있는 바이오 연구장비를 개발하는 데 있어서, Ionscope은 제품 개발과 판촉물 제작을 도와주는 대가로 로열티를 받고, 파크시스템스는 제품의 생산과 판매를 전담하는 것으로 협상을 진행하였지만, 로열티 금액 등 세부 조건의 입장차로 협상은 중단되었고, 파크시스템스 자체 XE-bio 제품을 출시하였다. 이에 대해 Ionscope가 비밀 유지계약 위반 및 지적재산권 침해를 주장하며 적대적인 관계로 전환되며, XE-bio 제품 개발이 더디게 진행되었다.

3.3 제3세대 발전 특성(2008~2015)

3.3.1 전략목표

WD Fremont社의 수주로 XE-Wafer를 제작하여 납품하는 과정에서 장비의 여러 가지 기술적 문제가 불거졌다. 가장 큰 문제는 'X-y stage drift(스테이지 미끌림 현상)'였다. 'stage-drift'란 측정 중 샘플 스테이지가 서서히 이동하거나 미세하게 흔들리는 현상으로 온도 변화에 의해 열팽창이나 수축이 일어나며 발생하거나 기계적 구조나 stage 연결 부분의 불안정성에 의해 발생할 수 있으며, 진동에 의해서도 발생할 수 있다. PTR application은 넓은 영역을 측정하기에 stage drift 현상이 눈에 띄지 않았는데 반도체 공정에 들어가는 XE-Wafer는 작은 영역을 세밀하게 측정하기 때문에 drift 문제가 드러난 것이다. 그 외에도 팁(tip) 충돌 등 여러 가지 기술적 결함이 났다. 이는 AFM의 정확성과 신뢰성에 큰 영향을 미치기 때문에, 파크시스템스는 XE-Series를 개선한 차세대 원자현미경 NX-Series 개발 프로젝트를 추진하였다.

3.3.2 기술진화

3) 유리로 만든 피펫을 사용하는 원자현미경의 한 종류로, 액체 중에서 피펫 끝의 작은 구멍을 통과하는 이온 전류를 측정하여 시료 표면의 높이를 측정하는 기법

(1) ADR(Automatic Defect Review) 개발

ADR은 하드디스크 미디어의 결함을 자동으로 찾아가서 이미지하는 기능으로, 사람이 일일이 조작하지 않아도 되고, 기존 수동 방식에 비해 속도가 5~10배 증가하였다. 이 기능은 반도체 공정에서 웨이퍼 결함을 자동 분석하는 데에도 사용되며, 글로벌 기업들이 관심을 보였다.

(2) NX-Series 원자현미경 개발

① Z-servo 향상

기존 XE원자현미경에서는 대물렌즈(objective lens)가 Z-scanner의 앞쪽에 위치했는데, Z-scanner와 probe 핸드를 대물렌즈 아래쪽에 위치시킴으로써 대물렌즈의 이동거리를 늘렸고, Z-scanner의 공진주파수를 2kHz에서 10kHz로 높일 수 있었다. 공진주파수란 진동계 또는 진동회로에서 제동력 또는 전기저항을 0으로 하였을 때의 고유 주파수를 의미한다⁴⁾. 공진주파수가 높으면 시스템의 고유 진동수가 높아, 빠르게 진동할 수 있는 특성을 갖는다. 또한, 서보시스템(servo system)이란 제어대상 출력을 목표 신호에 추종시키는 제어시스템을 의미하는 것으로⁵⁾, Z-scanner의 공진주파수는 Z-servo의 성능을 좌우하는데, 공진주파수가 높으면, 응답 속도가 빠르고 정밀한 제어가 가능하다는 것을 의미한다.

② 열요동(thermal drift)의 최소화

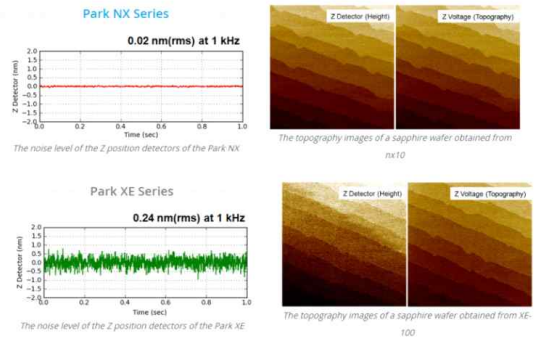
열팽창 계수가 비슷한 물질로 frame, X-y stage, z-stage를 만들어 열요동을 최소화 하였다.

③ 제품 디자인 변경

사용자의 편의성과 심미성을 고려하였다.

④ low z-detector noise

Noise level을 0.2 옴스트롬(Å)까지 낮추었다.



⑤ SmartScan

NX 원자현미경에 탑재한 소프트웨어로, Z-servo system의 특성을 분석하여 컨트롤러의 변수(parameter)를 자동으로 최적화하고, 시료의 높낮이 변화에 따라 scan speed를 능동적으로 변화시킬 수 있는 것으로, 기존에는 사용자가 여러 가지 변수를 조정하며 더 좋은 이미지를 얻기 위해 시행착오를 반복해 왔던 것을, Smartscan은 최적의 변수를 자동으로 찾아주어 누구나 쉽게 최상의 결과를 빨리 얻을 수 있게 된 것이다.

3.3.3 경영자원

(1) 재무적 자원

파크시스템스의 매출액은 2008년 120억원에서, 2015년 200억원으로 증가했으며, 영업이익은 3천만원에서 24억원으로 증가하였다.

(단위:백만원)

구분	'08	'15	구분	'08	'15
자산	16,483	25,515	매출	11,771	19,992
부채	6,868	2,912	영업 이익	31	2,365
자본	9,614	22,603			

(2) 관리적 자원

4) 전기용어사전(2024.07.30.)

5) 정보통신기술용어해설(2023.09.26.)

① 해외시장개척

해외 시장 개척 활동은 계속되었다.

연례 행사로 ‘Worldwide Sales Meeting’을 진행하였고, 싱가포르에 현지 법인을 설립(12)하였다. 순회 강연을 진행하였고, 다양한 학회에 참석하였으며, Nano Scientific 매거진을 발행하여 파크시스템스 AFM 기술을 홍보하였다.

② 국책과제선정

‘산업용 인라인 핵심장비 기술개발’ 과제 선정,, ‘4세대 SPM 우수제조기술연구센터’로 지정, ‘45mm wafer 공정에서의 나노 결함 검출/분석 시스템 개발’ 등 국책 과제 선정은 회사의 실적이 매우 부진한 상황에서도 R&D 부서가 큰 영향을 받지 않고 연구개발 할 수 있는 동력이 되었다.

③ IMEC 공동개발계약(JPD)

IMEC은 세계 유수의 반도체 회사들이 공동 출자하여 설립한 연구소로, 차세대 반도체 공정을 개발하고 새로운 장비의 성능을 검증하고 최적화 시키는 것이 주요 업무이다. IMEC과의 공동개발계약 체결은 파크시스템스 장비의 완성도 및 반도체 공정에서의 응용 가능성을 높이는 것 뿐만 아니라, 파크시스템스가 기업 신뢰도를 높이는 데 결정적인 역할을 했다. 그 결과 Micron 등 다른 반도체 회사들로부터 구매 협상이 이어졌다.

④ 2015년 코스닥 상장

파크시스템스는 AA등급으로 기술성 특례 상장을 하였다.

3.3.4 위기

미국 서브프라임 모기지 사태⁶⁾로 인하여 경기가 침

6) 서브프라임 모지기(sub-prime mortgage)는 신용도가 낮거나 금융거래 실적이 없는 개인을 대상으로 주택담보대출을 해주는 미국의 주택금융을 말한다. 주택경기가 좋을 때 금융기관이 다투어 대출해 준 후 주택가격이 떨어지면서 부실이 급속하게 진행되어 2009년에 많은 금융기관이 도산하고 금융시장이 혼

체되었고, 기업 투자도 위축되었다. 연구용 AFM은 정부의 R&D 예산 삭감으로 수요가 대폭 줄었고, 하드디스크 산업 위축으로 산업용 AFM 수요도 급감하였다. 또한 내부적으로는 미국법인과 일본법인의 실적 부진, 일본 시장 개척을 위해 Hitachi High-Tech(HHT)와 판매대행계약을 체결하였지만, 협상 결렬로 인해 영업 공백 발생, XE-Bio 개발 프로젝트의 지연과 제품 성능 문제제로 인한 위기가 있었다. 이러한 환경에서도 파크시스템스는 기술개발을 통한 경쟁력 향상을 위하여 NX 원자현미경과 SamartScan을 개발하였고, IMEC, IBM Fishkill, Micron 등 반도체 선도 기업과의 공동개발계약 체결 및 제품 납품으로 반도체 시장에서의 기반이 구축되었고, 코스닥 상장을 통해 기업 인지도를 높일 수 있었다.

3.4 제4세대 발전 특성(2016~현재)

3.4.1 전략목표

이 시기의 파크시스템스는 산업용과 연구용으로 구분하여 각각의 성장가속화 전략을 추구하였다.

(1) 산업용 원자현미경

파크시스템스는 각각 반도체 기업의 수요로 ‘NX-hybrid 개발 프로젝트’, ‘EUV Mask Repair-용 AFM’, ‘블랙프로젝트’가 추진되었다. .

(2) 연구용 원자현미경

산업용 장비의 수요가 많이 늘었지만, 연구용 AFM은 사용자 저변 확충과 미래 잠재 고객 확보 차원에서 소홀히 해서는 안되는 분야이며, 수익성도 확보되어야 하기에 적절한 용도와 고객층을 겨냥한 경쟁력 있는 제품 개발이 중요한 분야이다. 따라서 파크시스템스는 고객 편의성에 초점을 맞춰 완전 자동화 원자현미경 개발을 위해 FX 프로젝트를 진행하였다.

3.4.2 기술진화

란에 빠져 사회문제가 되었으며 전 세계에 영향을 미쳤다.네이버 부동산용어사전(2024.07.30.)

(1) NX-hybrid 개발

WLI(White Light Interferometry: 백색광 간섭계)는 백색광을 사용하여 간섭계를 구성하고, 대물렌즈를 수직으로 스캔하면서 카메라의 각 픽셀에서 얻어진 간섭 문늪(interferogram)를 분석하여 각 지점에서 시료의 높낮이를 측정하는 장치이다. 시료 형상을 측정하여 3차원 이미지를 보여주는 것은 원자현미경과 유사하나, WLI는 비교적 빨리, 넓은 영역의 3차원 이미지를 얻을 수 있다는 장점이 있는 반면, 빛을 사용하기 때문에 수평방향의 분해능에 한계가 있고, 시료의 광학적 성질에 따라 측정 오차가 발생하는 단점이 있다. 따라서 파크시스템스는 나노베이스와 공동으로 AFM과 WLI를 결합한 hybrid장비 개발 프로젝트를 진행하였다.

(2) 'EUV Mask Repair'용 AFM 개발

반도체 노광공정(빛으로 웨이퍼에 회로를 새기는 공정)에 포토마스크(Photomask)가 사용되는데, 공정에서 발생하는 파티클(particle)을 AFM tip을 이용해서 제거하는 하고자, EUV Mask Repair용 AFM 장비를 개발하였다.

(3) OCD와 AFM을 결합하는 프로젝트 진행

① 계측기술의 고도화

반도체나 하드디스크 드라이브 등 전자부품이 소형화 되고, 고 집적화 됨에 따라 측정기술도 나노수준의 계측이 필요할 정도로 고도화 되어왔다. 특히, 반도체는 회로의 선폭을 가늘게 만들수록 더 많은 소자를 집적할 수 있는데, 임계치수(Critical Dimension, CD)는 최소 선폭을 의미하며, 포토공정을 통해 패턴을 새길 때 웨이퍼 위치(중앙-가장자리)에 따른 CD값의 변화로 반도체의 균일성을 판단한다.

② SEM(전자현미경)과 TEM(투과식전자현미경) 도입 임계치수가 마이크로미터 미만 범위로 감소하면서

광학 계측으로 측정이 어려워지자, 전자 기반의 빛 반사를 통해 표면을 관찰하는 CD-SEM(Scanning Electron Microscopy)방식이 사용되었고, 장치 크기가 계속 작아지자 전자빔을 사용하여 샘플을 투과하여 측정하는 Transmission Electron Microscopy(TEM)이 도입되었다. 그러나 이 두가지 측정방식은 모두 처리량이 낮고, 속도가 느려 공정 제어 Application으로 부적합하다.

③ OCD(optical critical dimension)의 등장

OCD 측정은 샘플과 상호작용함으로써 관찰된 빛의 산란패턴으로부터 모양/치수 등을 도출하는 산란계 기반의 측정방식으로 이는 빛이 일정 간격의 선 및 공간에 떨어질 때 생성되는 간섭 패턴을 이용해 측정한다. OCD측정 방식은 빠르고, 반복가능하며, 비파괴적 측정방법으로 현재의 CD측정 방식의 주류이다.

④ OCD와 AFM

OCD는 부정확한 면이 있지만, 매우 빠른 것이 장점이므로, AFM 경쟁력을 높이려면 측정 속도를 높이고, 자동 분석 소프트웨어개발이 시급하다. 이에 파크시스템스는 측정속도를 높이기 위해 한 측정 site에서 다음 측정 site로 이동할 때, z stage를 들어 올리지 않고 z scanner만 들어올리고, 각 측정 site가 사이에 높이 차이가 큰 경우에만 최소한으로 z stage를 움직이도록 하여 원자현미경의 처리량(throughput)을 개선할 수 있었다.

(4) FX 원자현미경 개발

FX 원자현미경은 AI와 로봇틱스 기술을 활용하여 사용자의 편의성과 성능을 크게 개선하였다.

① Auto Prove Exchange

탐침의 위치와 종류를 자동으로 인식하고, 자동 선택, 자동 착장이 가능하다.

② Auto Probe Reading

탐침 식별 카메라는 탐침의 모델과 제품 사양을 사

7) 네이버 blog "(반도체)ONTO_로직항 OCD 수요 증가"
<https://blog.naver.com/hokdooroomi/222906890539>

용자에게 제공하고, 시료와 탐침을 위한 전용 듀얼 카메라를 장착하였다.

③ Auto Beam Alignment

한번의 클릭으로 레이저빔이 탐침의 적절한 위치에 오도록 조절하고, 반사된 레이저 빔이 광 검출기에서 최적의 민감도를 가지도록 정렬할 수 있다.

3.4.3 경영자원

(1) 재무적 자원

파크시스템스의 매출액은 2016년 245억원에서, 2023년 1,448억원으로 증가했으며, 영업이익은 35억원에서 276억원으로 증가하였다.

(단위:백만원)

구분	'16	'23	구분	'16	'23
자산	32,228	201,673	매출	24,452	144,806
부채	5,802	58,188	영업 이익	3,463	27,560
자본	26,426	143,485			

(2) 관리적 자원

① 해외시장개척

연례 행사로 'Worldwide Sales Meeting'을 진행하였고, 2017년 대만 지사와 독일 법인을 설립하였다.

상장법인으로 회사의 인지도가 올라가자 직원들의 자부심이 올라갔고, 우수 인재를 채용하는 데 큰 도움이 됐다. 또한 회사 실적이 주가에 반영되기에 직원들의 책임의식이 높아졌으며, 스톡옵션이나 우리사주로 주식회사를 보유한 직원들에겐 성실하게 근무함에 있어 강한 동기부여가 되었다.

② 독일 Accurion GmbH 인수

OCD와 AFM을 결합 한 장비 개발 프로젝트가

AFM의 처리량의 한계를 이유로 중단되었는데, ISE(Imaging Spectroscopic Ellipsometry : 분광타원계)가 Spot Ellipsometry에 비해 넓은 면적에서 투명 박막의 두께와 높낮이를 한꺼번에 측정할 수 있고, 한 pixel의 측정 영역이 Spot Ellipsometry보다 작아서 차세대 OCD를 구현할 수 있기에, 파크시스템스는 ISE 기술을 개발한 독일 Accurion GmbH 인수하여 ISE기술을 이 전받았다.

3.4.4 위기

강제징용 손해배상 문제로 한일관계가 악화되며 일본에서 핵심 반도체 소재 수출 규제 조치를 취하자 예정되었던 삼성전자의 대규모 프로젝트가 연기되었고, COVID-19으로 전 세계 경제가 위축되고 주가가 폭락하는 등 경영상의 어려움이 있었지만, 파크시스템스는 산업용과 연구용 모두 고객사의 요구에 맞춰 기술개발에 매진하였기에 글로벌 시장을 선도하는 기업으로 성장할 수 있었다.

IV. 파크시스템스 기술진화의 3차원

파크시스템스의 세대별 성장 과정을 통해 AFM 기술력을 추동해 온 기술 혁신의 세가지 축을 발견하였다. 이는 계측 역량, 처리 역량, 편의성으로, 파크시스템스는 이 세 역량을 고도화시켜 글로벌 시장을 석권할 수 있었다.

1. 계측역량(Measurement Capability)의 고도화

계측역량은 정확성(accuracy)과 시각화(visualization)로 설명할 수 있다. AFM의 정확성은 샘플(시료) 표면의 미세 구조를 얼마나 정밀하게 측정할 수 있는지를 나타내는 것으로, AFM의 측정 오류, 기계적 안정성, 탐침의 종류, 해상도에 의해서 결정된다. 또한 계측역량은 정확한 측정에서 끝나는 것이 아니라 측정값을 이미지화하여 보여주어야 한다. 즉 높은 시각

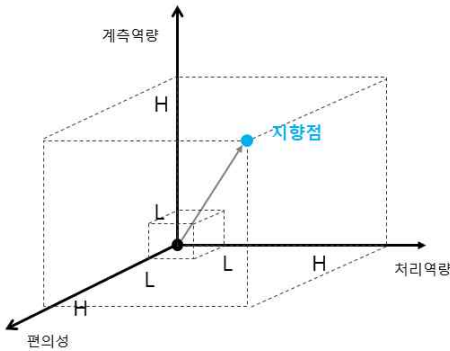
화 역량은 미세한 표면 특성과 구조를 명확하게 보여주는 이미지를 생성할 수 있음을 의미한다.

2. 처리역량(Processing Capability)의 고도화

처리역량은 처리량(throughput)과 속도(speed)로 설명할 수 있다. 처리량은 특정 시간 동안 측정할 수 있는 샘플의 양이나 수집할 수 있는 데이터의 양을 의미하는 것으로 높은 처리량은 많은 샘플을 효율적으로 측정할 수 있도록 하며, 속도는 샘플을 측정하고 데이터를 수집하는 데 걸리는 시간으로 빠른 측정 속도는 높은 처리량을 가능하게 하고, 대량의 데이터를 신속하게 수집할 수 있게 한다.

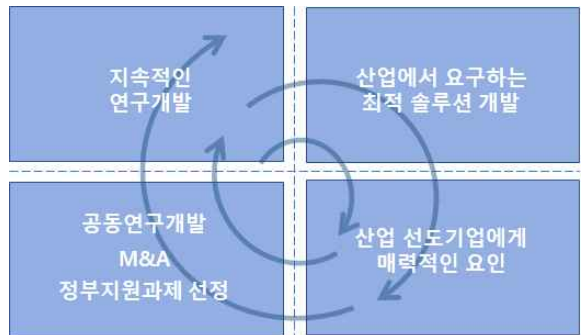
3. 편의성(Convenience)

편의성(Convenience)은 자동화(automation)과 호환성(compatible)로 설명할 수 있다. 자동화 시스템은 샘플 준비부터 측정, 데이터 수집 및 분석을 자동으로 수행할 수 있으며, 사용자 개입을 최소화한다. 이는 사용자 개입으로 발생할 수 있는 측정의 오차를 줄여주어 계측역량을 높여주는 결과로 연결된다. 호환성은 AFM이 다양한 샘플 및 실험 조건에 얼마나 잘 맞는 지를 의미하는 것으로 이는 다른 장비나 소프트웨어와의 호환성, 다양한 샘플 형태와의 호환성 등을 포함한다.



V. 결론

4차 산업혁명은 산업 간 경계를 허물고, 기술의 수명 주기를 단축하였다. 따라서 기업은 지속적인 경영 활동을 영위하기 위해 신성장 동력을 찾아 local에서 벗어나 Global 시장으로 진출해야 한다. 하지만, 이미 선도기업이 주도권을 장악하고 있는 시장에 국내 벤처기업이 후발주자로 진입하여 경쟁력을 갖추기는 어려운 환경임은 분명하다. 그러나 파크시스템은 기술 혁신을 통해 산업에서 요구하는 최적의 솔루션을 개발할 수 있었다. 이는 산업 선도기업에게 매력적인 요인으로 작용하여, 글로벌 대기업과의 공동연구개발이 이루어질 수 있었고, 정부로부터 파크시스템스가 개발하고자 하는 기술의 중요성이 인정되어, 국책 과제에 선정될 수 있었다. 이는 다시 지속적인 연구개발로 이어지며, 나선형 기술 혁신이 가능할 수 있었다.



앞 장에서 밝힌 파크시스템스 기술진화의 세 가지 차원은 각각 중요한 의미를 가지며, 동시에 다른 차원에도 영향을 미친다. 예를 들어, 편의성의 한 요소인 '자동화'는 샘플 준비부터 분석까지 전 과정에 사용자 개입을 최소화하기 위해 처리 속도를 높일 수 있고(처리 역량 고도화), 정확성은 더욱 고도화(계측 역량 고도화)되는 것이다. 따라서 경쟁력 있는 제품 혁신을 이루기 위해선 세 차원이 함께 고루 고도화되는 것이 가

장 좋은 방법이다. 그러나, 기업이 가진 자원의 한계로 전략적 선택이 필요하다면, 계측장비로써 제품의 신뢰성에 영향을 미치는 계측역량이 가장 본원적인 요소로 볼 수 있다. 그 후, 기업이 보유하고 있는 제품 특징에 따라 연구용과 산업용을 구분한 뒤, 우선 적용할 요소를 선별 할 수 있을 것이다.

① 연구용 계측 장비는 대학 및 실험실에서 작은 샘플 측정용으로 사용되는 계측장비로써, 원자현미경의 저변을 더욱 확대하기 위해서는 사용자 편의성을 증진시키는 것이 관건이다. 처리역량 보다는 다양한 샘플 측정이 가능하도록 여러 가지 옵션을 함께 제공하여 고객 편의성(호환성) 측면을 고도화 할 수 있는 기술 전략을 수립해야 한다.

② 산업용 계측장비는 신뢰성과 생산성이 무엇보다 중요하다. 생산성은 처리역량에서의 데이터 처리량과 속도에 의해 판단될 수 있다. 따라서 계측역량과 처리역량을 고도화하는 기술 전략 수립이 중요하다.

■ References

- 강경래(2024), “파크시스템스, 2년 연속 글로벌 원자 현미경 선두”, 파이낸셜뉴스, 2024.03.15.
- 김현정(2024), “주가 극대화 몰두하려면 임원 주가기 반 보상해야”, BUSINESSplus, 2024.06.19.
- 강경래(2023), “원자현미경은 반도체 공정 핵심...글로벌 시장 넘볼 것”, 파이낸셜뉴스, 2023.06.04.
- 김도현(2023), “‘삼성전자도 총척전’ · · 반도체 계속 뒤질래”, 디지털데일리, 2023.08.22.
- 이나영(2023), “파크시스템스, 독일 아큐리온 인수 시너지 효과 기대” 뉴스핌, 2023.12.18.
- 조충희(2023), “박상일 원자현미경 한 우물, 파크시스템스 EUV시대 수퍼올드나”, 채널 Who
- 최원석(2023), “세상을 바꾼 사물의 과학”, 궁리
- 이해성(2022), “전량 수입하던 첨단 현미경 ‘강소기업 3형제’가 국산화 앞장”, 한국경제 2022.12.02.
- 배현기(2021), “미세화가 될수록 타겟시장이 커진다,” 삼성증권
- 이정동(2021), “한국의 기술로 열어가는 원자현미경의 세계,” 중앙일보, 2021.07.05.
- 고재연(2020), “글로벌 반도체社 모두 우리 고객”, 한국경제, 2020.08.19.
- 신동엽, 최강식, 양동훈, 한준(2018), “4차 산업혁명, 일과 경영을 바꾸다”, 삼성경제연구소
- 전상길(2016), “창조경영을 위한 인적자원관리, 길을 묻다,” 도서출판 창명
- 유상영(2010), “과학기술 발전-산업 성장, 측정기술 발전에 달렸다.”HelloDD, 2010.05.23.
- 이철원(2009), “기술 로드맵 작성, 쏠 부서 참여하라,” 동아비즈니스리뷰, 45호, 34-38
- 이경희(2007), “파크시스템스와 시게이트 테크놀로지, 차세대 원자간력현미경 개발 · 공급계약 체결,” NEWSIS, 2007.11.09.
- 김종일(2006), 대 · 중소기업 간 격차 완화-중소기업의 혁신역량 강화가 근본 해법,” 나라경제, 제3월호, 21-24
- 김인수(2001), “세계가 두려워 할 미래의 한국기업 어떻게 만들 것인가?,” 삼성경제연구소
- 이홍, 한재민(1999), “현대자동차 성장의 진화적 경로,” Korea Business Review, 제3권, 제3호, 81-104
- Toshio Ando, Takayuki Uchihashi and Scheuring, Simon (2014), Filming Biomolecular Processes by High-Speed Atomic Force Microscopy, Chemical Reviews, Vol.114, p.3120-3188
- Greg Haugstad (2012), “Atomic Force Microscopy:Understanding Basic Modes and Advanced Applications”, John Willey & Sons Incorporated
- Hansen, Walter S. and Bhushan Bharat (2005), “Measurement and mechanism of pole tip recession with advanced metal evaporated tape at low tension in a linear tape drive,” Springer-Verlag, 12, p.193-203
- Ashok V. Kulkarni, Chilamakuri,S.K. Gupta,B.K. and Menon, A. (2000), “Pole Tip Recession (PTR) measurements with high accuracy, precision, and throughput,” IEEE Transactions on Magnetics,

- Magnetics, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Magn.
- Amabile T. M. (1997), "Motivating creativity in organizations: On doing what you love and loving what you do", California Management Review, 40(1), 39-58
- Clayton M. Christensen (1997), "The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail," Boston, MA, Harvard Business School Press.
- JinjooLee, Zong-taeBae and Dong-kyu Choi (1988), "Technology development processes: A model for a developing country with a global perspective," R&D Management, 18, No3., p.235-250
- Kim Linsu (1980), "Stages of development of industrial technology in a developing country: A model," Research Policy
- Utterback, James M. and Abernathy, William J. (1978), "Patterns of Industrial Innovation," Technology Review, Vol.80, p.41-48

Three Dimensions and Implications of Atomic Force Microscopy (AFM) Technology Evolution: Focusing on the Case of Park Systems Co., Ltd

Lee, Jeong Hyeon*
Geon, Sang Gil**

Abstract

Semiconductor, shipbuilding, and automobile industries are playing a big role in Korea's economic growth, which has an export-led economic structure. In particular, semiconductors are the most important industry for the Korean economy as they have maintained the top spot in major export items in Korea over the past decade. However, the instability of semiconductor supply and demand due to the Fourth Industrial Revolution called data transformation led to a hegemonic war between countries. In order for Korea to gain a continuous competitive advantage in the competition for semiconductor hegemony, it is necessary to become a comprehensive semiconductor powerhouse by increasing its capabilities in the system as well as in the memory field. In addition, for this, localization of the basic semiconductor industry (materials, parts, equipment, hereinafter referred to as 'small manager') should be supported. This study examined the semiconductor industry, focusing on ways to enhance international competitiveness through technological innovation of the domestic semiconductor small manager. Semiconductors have grown into high-performance semiconductors through miniaturization processes, speed improvement, and power saving technologies. One of the key national technologies that have driven this growth is advanced microscope technology. The leadership of the advanced microscope industry lies with companies in advanced technology countries, and in the semiconductor market, where they control vested interests, Park Systems Co., Ltd., a Korean venture company, has dominated the world's No. 1 industrial atomic microscope market share in 2022 and 2023. Therefore, this study examined the entire commercialization process of a company by dividing it into four generations from the perspective of technological evolution through the case study of Park Systems Co., Ltd., and in this process, three dimensions of technology that have driven the technological evolution of a company were discovered.

* First Author, Ph.D. Candidate, College of Business & Economics, Hanyang University

** Professor, College of Business & Economics, Hanyang University

Key words : Atomic Force Microscopy (AFM), technology accumulation, technology evolution, Park Systems, Nano-measuring equipment, Semiconductor equipment industry,