

특집 ─ 국가광과학기술 로드맵 요약본

광계측

- 전통적인 광산업뿐만 아니라 반도체와 생명공학산업 등에서 핵심역할을 하는 광계측기술은 매우 다양하지만 여기서는 렌즈나 거울 같은 광학부품과 이를 조립한 광학계 제작과정에 사용되는 기술을 중심으로 기술함
- 광계측기술의 수요를 고려하여 광량, 변위, 형상, 분해능, 거칠기, 편광, 미세형상 등의 측정기술을 중심으로 기술동향과 산업현황을 자세히 파악하고 전략기술을 선정함

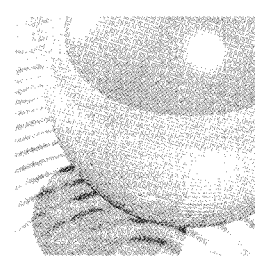
1. 광계측기술 동향

가. 국내 동향

- 광센서는 광조도계(illuminance meter) 혹은 이의 파생적 제품인 필터식 광휘도계 및 색채계로써 국내 한국표준과학연구원(KRISS)을 중심으로 세계 수준의 교정 및 성능평가 기술을 확보한 상태임
 - LED 산업의 성장과 더불어 급속히 시장이 형성되면서 광센서의 국산화 연구가 가속화되고 있음
- 레이저 간섭계를 이용한 정밀 변위 측정에 대한 연구는 표준과학연구원을 중심으로 진행되어 왔으며 파장 안정화 레이저 개발 및 레이저 주파수 측정에 대한 연구를 진행하였고 장거리에서 나노미터 분해능을 구현함
 - 이오시스템은 전기광학거리측정기(Electro-optical distance meter, EDM)를 자체 개발하여 제품 출시를 계획하고 있음
- 표면형상측정기술은 표준과학연구원에서 교정연구를

- 지원함으로써 초정밀급 다양한 간섭계가 개발되어 사용되고 있음
 - 비구면 형상측정은 null 렌즈 개발능력을 보유한 표준과학연구원에서 주도하고 있으며 나노시스템(주)과 에스엔유프리스전이 백색광 위상이동 간섭계를 개발하여 반도체 및 디스플레이 공정에서 사용하고 있음
- 광학계 성능평가기술은 한국표준과학연구원에서 주도하고 있으며 변조전달함수 측정표준을 확립하고 휴대폰 렌즈, 디지털 카메라, 자외선 리소 광학계, 인공위성 카메라 등의 변조전달함수 측정장치를 개발 하였음
 - 지우기술에서 디지털 카메라와 휴대폰 카메라 공정용 실시간 성능평가장치를 삼성전자 등에 공급하고 있음

- 결함검사기술은 장치설계기술, Optic설계기술(조명설계 포함), 영상처리기술(검출알고리즘 포함) 등의 융합인데 전문가 및 기반기술이 부족함
- 국내 현미경 제조기술은 중저배율(500배 이하)의 교육용 현미경을 생산하며, 인건비 부담 때문에 생산 시설을 거의 중국으로 옮겼음
 - 최근 들어 국내 반도체 소자 제조업체의 수요 때문에 산업용 계측 현미경을 개발하려고 시도하지만 연구인력이 절대 부족함
- 3차 비선형광학 현상의 하나인 결맞음 반스톡스 라만 산란(Coherent Anti-Stokes Raman Scattering: CARS)을 이용한 고분해능 이미징기술이 한국표준연구원서 국내 최초로 개발되었음
 - CARS 현미경을 이용하여 생체세포나 조직에 대한 무



표지 이미지를 획득할 수 있으므로 바이오 및 의료관련분야 연구에 활용되기 시작함

- 분광 타원계측기 연구는 표준연에서 최신 상용 분광 타원계측기 보다 측정 정확도 및 정밀도가 10배이상 우수한 세계 최고 수준의 기준기를 개발함
- 엘립소테크놀러지와 나노뷰에서 분광타원계측기 상용화에 각각 성공하여 국내외 산업 및 대학에 보급하고 있음

나. 국외 동향

- 광측정 및 복사측정 거의 모든 분야의 광센서 기술은 현재 미국, 독일, 일본, 영국 등 몇몇 선진국이 주도하고 있음
- 과거 조명산업을 주도했던 나라에서 관련 광센서 기술과 시장점유율도 독점하고 있지만 최근 LED 조명의 발달로 인하여 중국, 한국 등 신흥 국가의 기회가 커지고 있음
- 레이저 간섭계 관련 연구는 각국의 표준 기관을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 특히 나노 기술의 발달에 따라 나노미터보다 작은 영역의 측정 표준을 만들기 위해서 EURAMET 프로젝트가 진행되고 있음
- 일본 표준연구기관인 NMIJ/AIST에서도 펄소초 레이저를 이용하여 시간 비행법 및 광학간섭계를 적용한 정밀절대거리측정에 대한 연구를 진행하고 있으며 유럽의 위성군 비행 프로그램 등에 기술 자문을 하고 있음
- 미국 로렌스 리버모어 국가연구소에서는 극자외선 노광기의 광학부품 성능 평가를 위해 기존 피조우 간섭계의 한계를 뛰어넘는 새로운 간섭계 개발에 박차를 가하고 있음
- 미국 Zygo 사에서는 백색광 측정 원리를 결합한 새로운 간섭계를 개발 중이며 미국 4D 사에서는 진동에 강한 간섭계 개발에 성공했음
- 결상 광학계 성능평가기술은 광기술 선진국인 미국 표준연구소(NIST)와 독일 물리연구소(PTB)를 중심으로 국가에서 새로운 측정기술과 표준화연구를 주도하였지

만 일본은 카메라 산업체를 중심으로 관련기술을 개발함
- 카메라 중심의 소형광학계 평가기술은 1990년도 말에 국제 표준화기구(ISO TC-172 : Optics and Photonics)를 중심으로 표준화함으로써 광산업체에 관련기기가 널리 보급됨

- ITRS 2009 로드맵에서는 2015년까지 패턴 웨이퍼에서 10 nm의 감도를 요구하고 있으나, 현재의 2010년의 요구수준인 18 nm도 세계적으로 해결하지 못함

■ 광학현미경 기술은 일본(Nikon, Olympus 등), 독일(Carl Zeiss), 영국(Leica), 미국(American Optics, KLA-Tencor) 등에서 기술 고도화를 통해 독과점적 위치를 지켜가고 있으며, 최신 연구결과를 반영하여 계속 새 제품을 개발하고 있음

- 생물학적 시료에 대한 최초의 성공적인 결맞음 반스톡스 라만산란 현미경 측정 실험은 미국 Pacific Northwest National Lab의 Xie 연구그룹에 의해 시도되어 기존 자발라만 현미경의 측정시간을 10000배 단축하였음
- 비 생물학적 시료에 대한 CARS 현미경 응용이 고분자, 액정, 실리콘 반도체 등에서도 시도되고 있음

■ 타원계측기 연구는 초기에는 미국의 NIST, 독일의 BAM, 프랑스의 JOBIN YVON과 SOPRA가 주도하였다가 최근에는 미국의 노스캐롤라이나 주립대와 J. A. Woollam Co., Inc. 등에서 활발히 진행되고 있음

- 단일 원자층 두께 이하의 측정감도, 비파괴성, 비접촉성, 실시간 측정가능과 같은 장점들로 인하여 나노기술 분야에서 측정장치로 널리 사용됨

2. 광계측산업 현황

가. 국내시장 전망

- 국내 광센서 시장은 조명시장과 연동되어 있으며 최근 고효율 LED 조명기술의 개발 및 상용화가 국가적아젠다 사업으로 부각되면서 관련 시장의 규모도 급속하게

광계측

증가하였음

- LED 조명, 차세대 디스플레이, 태양광발전 등 광센서의 시장 수요는 국가적 녹색 성장동력 산업과 맞물려 꾸준히 성장할 것으로 전망함

■ 변위 레이저 간섭계만의 시장규모는 약 200억원/년 미만이지만 반도체와 LCD 장비에 부착되어 수입되는 간섭계를 고려하면 1000억원/년 정도임

■ 국내 반도체, 휴대폰, 디스플레이 생산라인에 부품의 형상을 정밀하게 측정하기 위한 표면형상 측정기가 설치됨으로서 시장이 급속히 증가함

■ 국내 결상광학계 생산규모는 약 3억개 정도이며 삼성전자와 LG전자가 결상광학계 최종 조립업체이므로 성능평가장치 수요가 대폭 발생함

- 디지털 카메라와 휴대폰 카메라 전문업체에서는 1990년도 부터 변조전달함수 측정장치를 사용하고 있으며 시장규모는 약 50억원/년 정도임

■ 결함검사장비는 반도체 계측장비 중에서 시장규모가 가장 클 뿐 아니라, 기술의 파급효과가 커서, 연관산업을 크게 활성화할 수 있음

- 결함검사기술은 대표적인 반도체 장비기술로서 부가가치가 가장 큼. 이 기술을 개발하면 년 4천억원의 수입대체효과 및 연 2조원 규모의 세계시장에 도전할 수 기회가 열림

■ 2010년의 광학 현미경 시장규모는 630억원이며 2013년에는 729억원 정도 예상함

■ 비선형광학 현미경은 생산할 여건이 성숙되어 있지 못함

■ 국내 반도체 장비 시장은 세계 시장의 약 17% 정도이므로 반도체 공정용 타원계측기 관련 국내시장은 약 1,700억원으로 예상됨

나. 국외시장 전망

■ 광센서 시장의 동력은 세계적인 “고효율 조명” 산업의 발전이며 이미 미국과 유럽은 상당한 시장이 형성되어 있음
- 중국은 국가적으로 LED 산업을 육성하고 있으며 따라서 광센서 시장도 막대하게 증가할 것으로 예측하며 실제로 최근 중국의 광센서 기술 산업의 해외 진출이 두드러지고 있음

■ 레이저 간섭계는 Zygo, Agilent 양사가 전세계 시장을 주도하고 있으며 후발 주자인 Renishaw가 시장에서 영향력을 높이고 있음
- 광학거리측정기는 Trimble, Leica, Sokia 등이 시장을 삼분하고 있으며 연 1조원 이상의 시장이 형성되어 있음

■ 초정밀 표면형상 측정기 시장은 미국, 독일, 일본의 업체들이 활발한 경쟁을 하는 중이며, 최근 한국의 업체들도 조금씩 경쟁력을 갖춰나가고 있음. 특히 중국, 대만을 비롯한 동남아 시장에 적극 진출하고 있음
- 중국도 최근 표면형상 측정기 시장에 뛰어들었으나, 아직까지는 실험실 수준에 머물고 있음

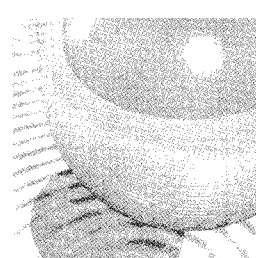
■ 고화소 디지털 카메라 생산을 주도하는 일본은 모든 조립라인에서 변조전달함수측정장치를 사용하고 있으므로 관련시장을 주도하고 있음

- 전세계 변조전달함수 측정장치 시장규모는 약 1000억 원/년 정도이지만 디지털 광학계가 고화소급으로 발전하면서 전수검사용 측정장치의 수요가 급속히 증가하므로 시장도 성장하고 있음

■ 결함검사장비 시장규모는 연평균 24 억불 수준, 국내 시장 규모는 연 4천억원 정도임
- 결함검사장비의 수요는 꾸준히 늘고 있으며, 최근 5년간 연평균 성장률은 7.1%로 매우 큼.

■ 2010년의 광학 현미경 세계시장 규모는 577백만 달러이며 2013년에는 688백만 달러로 추정됨

■ 세계적인 현미경 회사인 Carl Zeiss, Olympus, Nikon 등에서는 라이선스 계약을 거쳐 최첨단의 비선형 광학 현미경인 CARS 현미경 및 초고분해능 형광현미경 등을 상용으로 출시했거나 곧 출시할 것으로 보임



- 2009년 반도체 산업용 타원계측기의 세계 시장규모는 박막계측용은 연평균 약 4,000억원, 리소그래피 계측용은 연평균 약 6,000억원에 이르며 그 수요는 꾸준히 늘 것으로 전망되고 있음

3. 광계측기술 로드맵

가. 전략기술 선정기준 및 방법

- 세계적 기술 우위 확보여부와 핵심 기술에 대한 원천 기술 확보 가능성을 고려하였으며, 세계시장 경쟁력과 원천기술 확보 가능여부
- 광계측기술에 필요한 인프라의 필요성과 산업 수요에 대하여 투자가치의 효과정도를 시장 경쟁력을 기준으로 선별함
- IT, NT, ST 등의 첨단 산업에서 세계시장 경쟁력과 원천기술 확보 가능여부, 그리고 기술개발이 성공하였을 때 타 기술과 산업에 미치는 파급효과의 크기를 고려함

나. 전략기술 선정

- 기술수준과 중요도, 시장 성장률과 점유율을 고려하여 광센서 등 8개 기술을 선정함

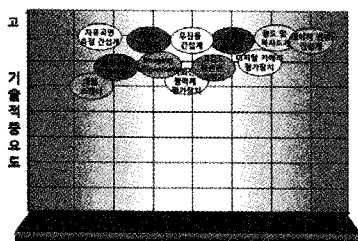


그림 1. 광계측분야 전략기술의 중요도와 성숙도

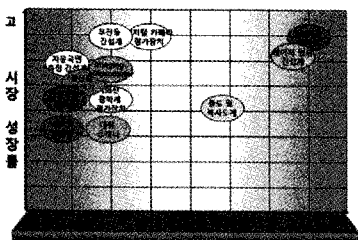


그림 2. 광계측분야 전략기술의 시장 성장률과 점유율

다. 전략기술 로드맵

기술구분	기술명	기술개발		중요도	성숙도	시장규모	기술수준	
		개발	개발					
광센서 기술	적분구 광도계	정밀급 개발	표준급 개발	●	●	●	선급별 광도계 개발	
	분광 복사계	기서용 영역	자외선 및 적외선 영역	●	●	●	선급별 광도계 개발	
	광센서 교정 기술		보급형 교정장치 개발	●	●	●	교정장치 상용화	
	시장 규모	국내 50억/년	60억/년	100억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대
변위 측정 기술	환경보상 레이저 간섭계 개발	광경로 환경보상 실시간 보상기술(6~10 ⁴)	실시간 환경보상 간섭계 개발 (1 nm)	●	●	●	실시간 환경보상 간섭계 개발	
	대형 경이치 스케니 왕선 기술 개발	장거리 고속측정기술 개발 (100m 영역, 분해능 1 um)	고속능 대형 스케니 교정기술 개발	●	●	●	고속능 대형 경이치 측정기술 개발	
	시장 규모	국내 500억/년	1,000억/년	3,000억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대
	시장 규모	국내 1,000억/년	2,000억/년	3,000억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대
광학계 측정 기술	적외선 대역형 측정 기술	300 nm 영역 측정	1 m 영역 측정	●	●	●	20 μm 내 중대형 측정 기술 개발	
	무선용 실시간 측정 기술	무선용 간섭계 개발 (10~100kHz)	실시간 간섭계 개발 (1 kHz 이상)	●	●	●	실시간 무선용 측정 기술 개발	
	자유곡면 측정 기술	자유곡면 측정 간섭계 개발	자유곡면 측정 표준화	●	●	●	자유곡면 측정 및 표준화	
	시장 규모	국내 200억/년	400억/년	1,000억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대
광학계 성능 평가	고해상도 광학 계측 기술	15 M급 디지털 카메라 분광기	20 M급 디지털 카메라 분광기	●	●	●	30 M급 광학계 개발	
	적외선 광학계 평가 기술	적외선 광학계 성능 평가(100 nm~10 um)	적외선 표준광학계 개발 및 표준화	●	●	●	적외선 성능평가 표준화	
	자외선 광학계 평가 기술	자외선 광학계 성능 평가(100 nm~500 nm)	자외선 광학계 성능 평가(100 nm 이하)	●	●	●	자외선 성능평가 표준화	
	시장 규모	국내 100억/년	300억/년	600억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대

그림 3. 광계측기술 분야의 전략기술별 세부 로드맵

기술구분	기술명	기술개발		중요도	성숙도	시장규모	기술수준	
		개발	개발					
광학 현미경	고분해능 광학 현미경 개발	고분해능 현미경 개발	고분해능 현미경 표준화 개발	●	●	●	기술 수직	
	합성주경 현미경 개발	구경 2개 현미경 개발	구경 4개 현미경 개발	●	●	●	기술 선진	
	시장 규모	국내 700억/년	800억/년	1,000억/년	●	●	●	국내산재 해외시장 확대
	시장 규모	국내 7,400억/년	8,800억/년	11,000억/년	●	●	●	국내산재 해외시장 확대
비선형 현미경	비선형 현미경 이미징 기술	고속 8채널 (1-μm) 다광자분광 이미징	고강도-고선형성 SHG/THG/SRS/CARS 분자결정 적외선 광시야 현미경 기술	●	●	●	비선형-대역 이미징 기술 선진	
	비선형 현미경 광학 기술	극초음속 동기화 펄스 레이저	중적외선 펄스 레이저	●	●	●	극초음속 동기화 펄스 레이저	
	비선형 광학 대역 크로포우	고속능 적외선 현미경 대역판드	비선형 광학 증폭기	●	●	●	대역판드 대역 크로포우 광학 기술 선진	
	시장 규모	국내 10억/년	20억/년	30억/년	●	●	●	시장규모 확대
광산란-결합 검사 기술	광학계 설계 및 조립 기술	깊이 50 nm	깊이 90 nm	●	●	●	DLQ, 깊이 20nm	
	시뮬레이션 기술	Sigament, 회절, 회산, 계구 최적화	한계해석 및 교정기술 개발	●	●	●	한계해석	
	결함 검출 및 분류 기술	Void, metal, I/S line	직경 450 nm	●	●	●	30 wafers/h	
	시장 규모	국내 200억/년	500억/년	1,000억/년	●	●	●	시장규모를 확대 해외시장 확대
타원계측기	Muller ellipsometer	Dual-rotating compensator ellipsometer 개발	미세선로 분석 및 평가기술 개발	●	●	●	비특성 소재 측정기술 선진	
	고속능 imaging ellipsometer	고속능 측정기 (수직 < 0.1 nm, 수평 < 1 nm)	MEMS 및 LLS 등용기술 개발	●	●	●	고속능 이미징 측정 기술 선진	
	나노 패턴 형성 측정 기술	32 nm 선폭측정	22 nm 선폭측정	18 nm 선폭측정	●	●	18 nm 선폭측정	
	시장 규모	국내 300억/년	480억/년	760억/년	●	●	●	시장선도 해외시장 확대
시장 규모	국내 1,500억/년	2,400억/년	3,800억/년	●	●	●	시장선도 해외시장 확대	

그림 4. 광계측기술 분야의 전략기술별 세부 로드맵