

특집 2 ■ 로드맵 요약본 II

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

WG 09. 광계측

1. 광계측 기술 분야 개요

- 광계측은 빛을 이용하여 피측정물의 다양한 특성을 알아냄
- 광계측은 고분해, 고감도, 비접촉 및 고속 계측기술이며, 피측정물은 원자, 분자에서 우주에 이르기까지 범위가 매우 넓음
- 광계측은 다양한 산업의 각 단계에서 빈번하게 요구되는 보편적 기술이며, 광산업과 계측산업의 특징을 동시에 가지고 있음
- 21세기를 주도할 반도체, 정보통신, 신소재, 생명공학, 의료공학, 항공우주 등의 첨단미래산업과 과학기술분야에서 정밀 광계측 필요성이 크게 증가할 것이며, 관련 계측기 산업도 따라서 팽창할 것임
- 광계측은 거의 모든 산업에 쓰이지만, 각 산업별 기술 로드맵으로 다루면 집중성과 효율이 떨어짐. 따라서 공통 기반기술인 광계측 기술개발을 위한 로드맵을 따로 만들 필요가 있음
- 그러므로 이번 보고서에서는 국내의 관련 산업과 연구분야를 살펴서 세부기술들을 정리하였고, 집필진을 확보할 수 있는 주제들에 대하여 우선적으로 로드맵을 만들었음
- 도출된 세부기술은 다음 6 가지 계측기술임: 광량, 변위, 표면형상, 광학계(평가), 타원, 현미경. 이 가운데 광량, 변위, 표면형상, 광학계(평가)는 피측정물의 속성이나 기능을, 타원계측은 계측원리를, 현미경계측은

계측장비를 위주로 구분하여 묶은 것으로, 혼동이나 중복을 최소로 하면서, 작성의 편리성을 높였음

- 보고서의 각 항목마다 세부기술별 내용이 순서대로 들어있으므로, 같은 항목에 대한 세부기술을 비교하기 편리함. 또한 각 항목 안에 세부기술별 내용이 시작할 때 세부기술명이 적힌 줄을 넣었으므로, 한 가지 세부기술만을 보고자 할 때도 편리함
- 작성된 광계측 로드맵은 완전한 것이 아니며, 집필진의 제한된 정보와 짧은 기간 때문에 다루지 못했거나, 인용시 빠졌을 수 있음. 이러한 부분들을 계속 보완하여 로드맵을 개정해야 함

2. 광계측 기술 현황 및 전망

(1) 광량 계측

- 최근 LED 조명산업 및 디스플레이 산업의 성장으로 일부 계측기기를 개발하고 상용화하여 수출까지 하는 파이맥스, 광전자정밀, 미래산업 등 국내 중소기업이 다수 성장하고 있음
- 계측기기 시장에서의 경쟁력은 결국 계측기기의 신뢰도를 결정하는 평가기술이므로, 정밀광량계측 원천기술을 많이 보유하고 표준화 기술을 확보한 국가가 시장을 주도할 것임

(2) 변위 계측

- 국외의 경우 Agilent, Renishaw, Zygo 등에서 레이저 간섭계를, Lincoln Lab. 및 Northrop Grumman사에서 3차원 스캐너를 판매하고 있음

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

- 국내에서도 이오시스템이 전기광학 거리측정기(EDM) 및 3차원 스캐너를 개발하였으며, 한국표준과학연구원, 한국과학기술원(KAIST) 등에서 레이저를 이용한 정밀 변위계측 기술이 중소기업에 이전되었음
- 간섭계 측정에서 가장 큰 문제인 환경변화 문제를 해결할 실시간으로 광 경로상의 공기 굴절률 변화를 추적하여 보상하는 기술이 개발될 것임
- 3차원 스캐너는 건물이나 구조물 측량 용도에서는 정확도와 측정속도를 향상시키는 방향으로, 군사용도로는 수중 측정 분야로 개발될 것임

(3) 표면형상 계측

- 파면 측정용 피조우 간섭계는 대부분 Zygo, 4D사 등의 제품을 수입하여 사용하며, 국내에서는 한국과학기술원(KAIST) 등에서 개발이 진행 중임
- 미소형상 측정용 위상이송 간섭계 및 백색광 주사 간섭계의 결합시스템은 국내의 나노시스템(주)과 에스엔유프리시전이 생산하고 있음
- 대영역 표면형상 측정용 무아레 간섭계는 인텍플러스(주)가 생산
- 간섭계의 발전 방향은 정밀도 및 분해능 향상, 측정 면적 확장, 원샷 측정, 극저온 등 특수 환경에서 사용 가능한 간섭계 개발로 요약됨

(4) 광학계 평가

- 결상 광학계 성능평가기술은 미국과 독일은 표준연구소(NIST)와 물리연구소(PTB)를 중심으로, 일본은 카메라 산업체를 중심으로 재래기술을 획기적으로 발전 시킴. 전략물자인 대형 광학계의 성능평가기술은 선진국에서는 기술이전을 엄격하게 제한하고 있음
- 한국표준과학연구원에서 휴대폰 렌즈, 디지털 카메라, 자외선 리소 광학계, 인공위성 카메라용 변조전달함수(MTF) 측정장치를 개발하였으며, 휴대폰 카메라용 실시간 MTF 측정장치를 삼성전자와 엘지전자에 보급하였으며, 지우기술에 기술 이전하였음
- 고분해능/고속측정 자동화기술, 제품제작에 필요한 다기능 평가장치기술 및 저가형 적외선 성능평가 장치기술등이 발전방향임

(5) 타원계측

- 반도체 산업에서는 타원계측기를 공정용 박막두께 및 나노패턴 형상측정장치로 쓰며, Nanometrics, TEL/Timbre, KLA-Tencor 사에서 제품생산
- 국내에서는 분광 타원계측기에 대한 연구개발이 표준연, 아주대, 한양대, 경희대, 한국과학기술원(KAIST) 등에서 주로 진행됨
- 2000년초에 엘립소테크놀러지와 나노뷰에서 분광타원계측기를 상용화하였으며, 태양광 소자 및 평판 디스플레이 등의 산업에서 사용됨
- 적외선, 진공자외선, 극자외선으로 분광범위 확대, 분광 이미징, 밀러행렬 방식, 이중위상변조 방식의 타원계측기 등이 연구 방향임

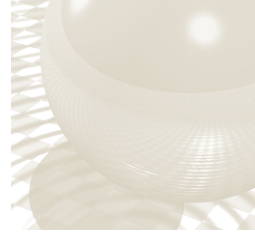
(6) 현미경 기술

가. 재래식 현미경

- 현재 세계 현미경 시장을 주도하는 독일(Zeiss), 미국(Leica), 일본(Olympus, Nikon)등이 전자 및 정보기술을 활용하여 현미경 성능과 기능을 고도화하고 있으며, 산학연 협조가 효과적으로 이루어지고 있음
- 국내의 경우 고급 광학 현미경의 기술적, 경제적 중요성에도 불구하고 국내에는 필요한 전략, 조직 및 인력 양성에 대한 구체적 계획이 없음
- 광원은 백열등/할로겐 등 대신 LED/레이저 다이오드/광섬유 레이저 등으로 바뀌고, 더 짧은 파장의, 더 작고 효율적인 광원개발이 진행될 것임
- 자외선과 엑스선쪽의 결상계는 현재의 굴절계에서 반사계나 회절광학계 또는 혼성광학계(굴절·반사광학계 + 회절광학계)로 바뀌게 될 것임
- 자외선, 극자외선, 엑스선 광원에 적합한 영상 감지기를 개발할 것임
- 정밀한 이해와 정량적 분석을 위하여 전산시능의 개발이 중요해질 것임

나. 공초점 현미경

- 반사형의 경우 Olympus와 Keyence에서, 형광형의 경우는 Carl Zeiss, Leica Olympus, Nikon 등에서 꾸준히 신모델을 출시하고 있음
- 국내에서는 나노스코프시스템즈(주)에 의해 반사형이 상용화되어 산업에 활용되고 있고, 형광형도 출시될 예정임
- 반사형에서는 측정 속도를 높이기 위한 시도 및 고해



상도를 위한 자외선 대역 (200-400 nm)를 쓰는 반사형이 출시될 것임

- 이론적으로 초고속 3D 측정이 가능한 다색 공초점 현미경 방식(Chromatic Confocal Microscopy)과 관련된 기술 개발 시도가 지속될 것임
- 향후 바이오산업의 성장과 더불어 형광형 기술이 주목 받을 것임

다. 비선형 현미경

- 국외를 살펴보면, 생물시료의 경우 미국 Pacific Northwest National Lab, 이스라엘 Weizmann 연구소, 미국 Beckman 연구소등에서 성공했으며, 고분자, 액정, 실리콘 반도체 시료에서도 미국 하버드대의 CARS 연구팀, 켄트대학 액정연구팀등에 좋은 결과를 얻었음
- 결맞음 반 스톡스 라만산란(Coherent Anti-Stokes Raman Scattering) 현미경이 한국표준과학연구원에서 국내최초로 개발되어 무표지 고속 촬영기술을 확립하여, 바이오 및 의료분야에 활용중임. 연세대, 고려대, 광주과학기술원 등에서 이차조화파 발생 현미경을 이용한 콜라겐 이미징 기술을 개발하고 있음
- 보다 높은 선택적 이미징 기술 및 소형/마이크로 광학계와 결합된 비선형내시경현미경(Endoscopic Microscope) 개발이 발전할 것임
- 고출력 레이저의 발전으로, 소형/마이크로 비선형현미경이 상용화될 것임

라. 근접장 현미경

- 외국의 다수 주사탐침현미경(Scanning Probe Microscope, SPM) 회사에서 상용화되어 여러 분야에서 활용되고 있으며, 최근 2007년 버지니아 폴리텍 주립대학교(Virginia Polytechnic Institute and State University)의 용 수(Yong Xu)그룹에서 광 탐침 끝에 탄소 나노튜브를 부착하여 광 탐침의 분해능을 1nm 급 이상으로 향상시킴
- 서울대, 인하대등 국내 대학 및 연구소에서도 자체개발하여 사용하고 있으며, 국내 타 기술 회사들도 기반 기술 및 경험은 있으나 아직 제품화되지 못한 상태임
- 향후 분해능을 수 nm급으로 향상하는 기술 개발이 진행될 것임
- 액체 환경에서 동작하는 근접장 현미경의 개발이 요구되고 있으며, 광 탐침과 나노 센서의 결합 기술 개발도

진행될 것임

3. 광계측 분야 산업 현황 및 전망

(1) 광량 계측

- 전통적으로 유럽과 미국, 일본이 광량 계측장비 시장을 주도하고 있는 반면, 중국의 시장이 막대하게 증가할 것으로 예측하며, 계측장비산업도 약진할 것임
- 국내 광도계측 시장은 디스플레이에 이어서 최근 고효율 LED 관련 시장이 급속하게 커졌으며, 녹색 성장동력 산업으로 꾸준히 성장할 것임

(2) 변위 계측

- 레이저 간섭계는 Zygo, Agilent 양사가 전세계 시장을 주도하고 있으며 후발 주자인 Renishaw가 시장에서 영향력을 높이고 있음
- 광학거리측정기는 Trimble, Leica, Sokia 등이 시장을 3등분하고 있으며 연 1조원 이상의 시장이 형성되어 있음
- 대형 3D 스캐너는 Trimble, Leica, Riegld등의 회사가 범용 3D 스캐너 시장을 주도하고 있음. 사용이 많아지고 속도와 정밀도가 높아지면 CMM(Coordinate Measuring Machine), 레이저 트래커등을 대체할 것임
- 항공기에 탑재하여 지형도를 작성하는 3차원 스캐너는 국토개발과 국방 분야에서 개발하고 있고, 수중 지형 및 물체를 측정하는 3차원 스캐너가 잠수함이나 기뢰 검출용으로 최근에 많이 연구함

(3) 표면형상 계측

- 가장 응용 범위가 넓은 백색광 주사 간섭계는 각종 정밀 가공품의 측정에 널리 사용 중이며, 시장도 확대되고 있음
- 피조우 간섭계도 디스플레이등 대형 광학부품이나 군사용의 적외선 광학부품 측정시 필수 계측기로 꾸준히 수요증가
- 무아레 간섭계는 인체측정 등 의학 분야나 납땜 검사기 등으로 활용됨

(4) 광학계 평가

- 일본은 모든 고화소 디지털 카메라 조립라인에서 변조

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

전달합수 측정장치를 사용하는 등 관련분야와 시장을 주도하고 있음

- 미국은 군사용의 적외선 변조전달합수 측정장치 시장을 주도하고 있음
- 국내의 경우 직접 생산/개발하는 결상광학계(휴대폰 카메라, 디지털 카메라, CCTV 카메라, 교환렌즈, 자외선 노광기 등)의 시장이 급속히 커지면서 변조전달합수 측정을 비롯한 성능평가 수요도 크게 증가하고 있음

(5) 타원계측

- 타원계측기는 광학, 광전자학, 광전변환공학, 전자공학, 센서, 생명공학, 에너지절약, 화학, 촉매학등의 다양한 분야에서 활용되고 있음
- 타원계측 및 편광계측의 특히 건수가 최근 들어 급격히 늘고 있고 시장규모도 함께 증가할 것임
- 반도체의 경우, 2009년 타원계측기의 세계 시장규모는 박막계측용은 연평균 약 4,000억원, 리소그래피 계측용은 연평균 약 6,000억원에 이르며 그 수요는 꾸준히 늘 것으로 전망됨
- 국내 반도체 장비 시장은 세계 시장의 약 17% 정도이며 반도체 공정용 타원계측기 관련 국내시장은 약 800억 원 이상으로 예상됨

(6) 현미경 기술

가. 재래식 현미경

- 의생명과학 연구와 나노기술의 연구 활성화로 고성능 연구용 광학 현미경 및 맞춤형 특수 광학 현미경수요가 계속 증가하고 있음
- 공간분해능을 높일 수 있는 자외선, 극자외선, 엑스선을 쓰는 현미경을 개발하여 쓰게 될 것임
- 극초단 펄스를 쓰는 초고속 현미경 영상 획득방법에 관한 연구가 진행될 것이고, 이를 바탕으로 한 초고속 시간분해 현미경이 개발될 것임

나. 공초점 현미경

- 세계시장 규모는 연간 약 6~8억 달러의 규모이며, 최근 산업계에서의 관리 측정 치수가 작아지고, 재질과 형상이 다양화, 미세화 되면서 늘고 있음
- 공초점 현미경은 독일의 Carl Zeiss, 일본의 Leica, Nikon, Olympus 등이 시장을 주도하고 있음

- 높은 기술집적 산업으로 선진국 위주의 대형 기업에 의해 시장이 선점되어 왔으나, 최근 산업용 공초점 현미경의 경우 유럽의 소규모 기업에 의해 제품이 출시되고 있음. 그러나 바이오 메디컬 분야의 형광 공초점 현미경은 여전히 메이저 기업들에 의해 독점되고 있는 영역임
- 반사형은 콤팩트하게 만들어져 산업에서 측정 모듈로서의 역할이 주이며, 형광형은 분석 장비의 역할로 큰 시장을 형성하고 있음

다. 비선형 현미경

- 국외시장을 보면, 세계적인 현미경 회사인 Carl Zeiss, Olympus, Nikon 등에서 비선형광학 현미경인 결맞음 반스톡스 산란(CARS) 현미경 및 초고분해능 형광현미경 등을 상용으로 출시하였음
- 비선형광학 현미경이 기존 현미경의 상당부분을 대체할 것이며, 따라서 시장규모도 매우 클 것임

라. 근접장 현미경

- 현재 주사탐침현미경(SPM)시장은 미국의 Veeco사가 약 50% 그리고 나머지를 Park Systems, JPK, Asylum, Agilent, NT-MDT 등이 차지하고 있음
- 아직까지는 주사속도가 느리지만, 향후 나노 위치제어 기술이나 주사 기술 등이 발전함에 따라 산업적 활용이 크게 증가할 것임
- 또한 나노광탐침 기술이 발전하면, 기존의 SPM 시장을 상당부분 대체할 것이므로 나노광탐침 기술의 시장이 성장할 것임

4. 핵심 전략 기술 및 제품

- 다음의 고려사항을 바탕으로 다음 표의 핵심 전략기술을 선정하였음
 - 세계적 기술 우위 확보여부와 핵심 기술에 대한 원천기술 확보 가능성을 고려하였으며, 세계시장 경쟁력과 원천기술 확보 가능성 여부
 - 광계측기술에 필요한 인프라의 필요성과 산업 수요에 대하여 투자가치의 효과정도를 시장 경쟁력을 기준으로 선별함
 - IT, NT, ST 등의 첨단 산업에서 세계시장 경쟁력과 원천기술 확보 가능성여부, 그리고 기술개발이 성공하였을 때 타 기술과 산업에 미치는 파급효과를 고려함

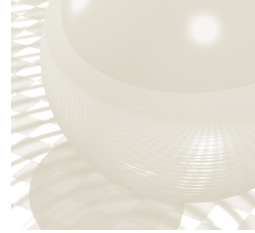


표 12. 광계측분야 핵심전략 기술 및 제품

분야	핵심 전략 기술 [제품]
변위측정	수중탐사 3차원 레이저 스캐너 개발
표면형상 계측분야	2 m 대면적 자유곡면 형상 측정 기술 개발
광학계 평가	고속 분광이미징 기술
타원계측	차세대 반도체 산업수요 충족 나노패턴 광측정 장비 개발
재래식 현미경	구경 합성 및 간섭계측 기법을 쓰는 3차원 광학 현미경 기술
공초점 현미경	다파장 형광 공초점 현미경 국산화 기술
비선형 현미경	분자진동모드 이미징 CARS 현미경 기술
근접장 현미경	액체환경 구동 근접장 현미경 기술

5. 세부기술 및 산업 로드맵

표 13-1. 광량 계측

분야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	광량 계측 - 분광특성 평가 - 고속 분광이미징	평가 범위 및 정확도 선진국 수준 확보	선진국 수준을 능가하는 성능 개발	평가기술의 산업체 이전을 통한 상용화	고감도 분광분석 기술 등 높은 수준의 기술로 확대	- 고감도 분광분석 기술 등 높은 수준의 기술로 확대
산업 분야	광량 계측 - 적분구광도계 - 분광복사계	특허발굴 및 실용화 개발	해외시장 진출	- 제품 고도화 - 파생기술 추가	고부가가치 제품 추가육성	- 인공위성탐재체 등 대형 R&D 산업에 진출

표 13-2. 변위 계측

분야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	광변위 측정기술 환경보상형 레이저 간섭계 기술(원천기술)	광경로의 환경변화 실시간 보상기술 ($\Delta n=10^{-8}$)	다양한 파장대에서 저가로 제작 가능한 간섭계 용 주파수 안정 레이저 기술 개발 ($\Delta f/f=10^{-9}$)	실시간 환경보상 고속 간섭계 개발	장거리 변위의 고정밀 측정 기술 (1 km 이상, $\Delta L/L=10^{-7}$)	-
산업 분야	광변위 측정기술 대형 고정밀 3차원 스캐너 기술 (복합기술)	고정밀 분해능 장거리 측정기술 개발(100 m영역, 1 μ m 분해능)	고성능 대형 3차원 스캐너 및 요소 측정기술 개발	수중 탐사형 3차원 스캐너 개발	비행기/자동차 탑재형 3차원 스캐너 개발	새로운 응용처 발굴

표 13-3. 표면형상 계측

분야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	측정분해능 향상 기술	자가보정 (1 m 이상)		펄스초 응용 (0.05 nm)		
	측정 면적 확대 기술	이어붙임(stitching) 기술개발	복잡형상의 이어붙임 기술개발		이어붙임 기술을 자유곡면과 연계	이어붙임을 이용한 30 m급 형상 측정
	자유곡면 측정기술	자유곡면 측정 간섭계 개발		자유곡면 측정기술 표준화	10 m급 자유곡면 측정기술	30 m급 자유곡면 측정
산업 분야	표면형상 계측 기술 분야	무진동 간섭계	무진동 간섭계 개발 (10 Hz)	무진동 간섭계 개발 (100 Hz)	실시간 간섭계 (1 kHz 이상)	실시간 간섭계 (1 MHz 이상)
	표면형상 계측 기술 분야	적외선 및 특수 용도 간섭계	1 m급 적외선 간섭계	다양한 파장의 적외선 간섭계	적외선 간섭계 표준화	20 m급 적외선 간섭계

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

표 13-4. 광학계 평가

분야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	공정용 고속 평가기술	25M급 디지털 카메라용 평가기술	10M급 휴대폰 카메라용 평가기술	40M급 디지털 카메라용 평가기술	20M급 휴대폰 카메라용 평가기술	60M급 디지털 카메라용 평가기술
	적외선 광학계 평가기술	적외선 광학계 평가기술 표준화	보급형 적외선 광학계 평가장치 개발			
	고해상도 광학계 평가기술	현미경 대물렌즈 평가기술 개발	현미경 대물렌즈 평가기술 보급	극자외선 광학계 평가기술 개발		
	대형 광학계 평가기술	직경 1 m 광학계 평가기술 확립		직경 2 m 광학계 평가기술 확립		
산업 분야	광학계 조립 및 시험	디지털 카메라(25M) 성능평가장치	휴대폰 카메라 (10M) 성능평가장치	자외선 광학계 성능평가장치	휴대폰 카메라 (20M) 성능평가장치	

표 13-5. 타원계측

분야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II	
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030	
기술 분야	윌러 타원계측기	고급 윌러 타원계측기		신기술 기반 광대역(EUV~IR) 다채널 분광측정		3D 나노형상 실시간 측정	
	고성능 이미징 타원계측기	다채널 분광결상이미징	이미지측정성능 고도화	광대역 분광결상이미징	비등방성 복합소재의 광물성 이미징		
	나노 패턴형상 광측정기술	32 nm 선폭 측정	22 nm 선폭 측정	16 nm 선폭 측정	11 nm 선폭 측정	10 nm 이하 선폭 측정	
산업 분야	반도체공정계측	나노 패턴형상 광측정장치	32 nm 선폭 측정	22 nm 선폭 측정	16 nm 선폭 측정	11 nm 선폭 측정	10 nm 이하 선폭 측정
	디스플레이 공정계측	박막두께측정장치	0.0026 nm 박막두께 측정정밀도	0.002 nm 박막두께 측정정밀도	0.002 nm 박막두께 측정정밀도	0.002 nm 박막두께 측정정밀도	0.001 nm 박막두께 측정정밀도
	신약스크린 및 질병진단	표면플라즈몬 타원계측기	1x10 ⁻⁶ 굴절률 측정정밀도	0.5x10 ⁻⁶ 굴절률 측정정밀도	0.3x10 ⁻⁶ 굴절률 측정정밀도	1x10 ⁻⁷ 굴절률 측정정밀도	0.5x10 ⁻⁷ 굴절률 측정정밀도

표 13-5. 현미경 기술 - 재래식 현미경

분야	세부기술/제품	1단계(3년)	2단계(3년)	3단계(3년)	장기 I(5년)	장기 II(5년)	
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030	
기술 분야	조명계	조명장치	편광 조절	파장 조절	휘도분포 조절	펄스조명	편광+펄스조명
	결상계	결상장치	가시광	적외선	자외선	극자외선	엑스선
	영상처리	영상처리 s/w	기초기술	3D 입체상	3D 분광 입체상	초분광 입체상 I	초분광 입체상 II
	구경합성	합성구경 현미경	기초기술	구경 2개	구경 4개	구경+분광합성 I	구경+분광합성 II
산업 분야	산업용 현미경	반도체 소자 검사계측용 현미경	100 nm 수준	30 nm 수준	10 nm 수준	5 nm 수준	3 nm 수준
	연구용 현미경	나노물질 분석용 현미경	100 nm 수준	30 nm 수준	10 nm 수준	5 nm 수준	3 nm 수준

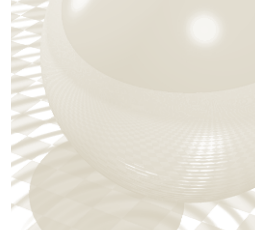


표 13-6. 현미경 기술 - 공초점 현미경

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	공초점 현미경	형광형 공초점 현미경 기술	중급형 형광 공초점 현미경 국산화 개발	국내 관련 산업체 특정 용도의 형광형 공초점 현미경 응용	고급형 형광 공초점 현미경 국산화 개발	형광체, 형광물질, 분석 기법 등 관련 마커 및 콘텐츠 개발
산업 분야	공초점 현미경	형광형 공초점 현미경 기술	유전자 분석 기반의 농수산물 검사기	기초 생화학 분석용 형광 공초점 현미경 응용 장비	의료 영상 진단 용 형광 공초점 현미경	고급 생화학 분석 및 연구용 형광 공초점 현미경
						최고급형 수준의 형광 공초점 현미경 개발
						고부가가치의 형광 공초점 현미경 응용 기술 제품

표 13-7. 현미경 기술 - 비선형 현미경

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	비선형 이미징 기술	고감도 현미경 이미징 기술	고속 3차원 다광자 형광이미징	고감도-고선택성 SHG/THG/SRS/CARS	분자감응 적외선 광시야 현미경 기술	초고분해능 비선형광학 이미징기술
산업 분야	의료/바이오 비선형 이미징	비선형광학 마이크로부품	고성능 적외선 현미경 대물렌즈	비선형분광용 특수광섬유	적외선 마이크로 광부품	초고분해능 비선형광학 현미경
						분자감응 내시현미경기술
						비선형광학 내시경용 특수광섬유

표 13-8. 현미경 기술 - 근접장 현미경

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	시스템화 기술	고속, 고분해능, 액체환경 동작	고속 주사 근접장 현미경	수nm급 고분해능 근접장 현미경	액체속 시료 측정용 현미경	바이오 신호 검출 근접장 현미경
	광탐침 제작 기술	nm 직경 광탐침 기능성 광탐침	광탐침 투과율 개선	10 nm급 광탐침 제작	2 nm급 광탐침 제작	기능성 광탐침 제작
산업 분야	의료/바이오 비선형 이미징				액체속 생체 시료 측정	세포 기작 측정
	형상 측정			10 nm급 형상 측정	2 nm급 형상 측정	

WG 10. 광소재 및 부품

1. 광소재 및 부품 기술 분야 개요

(1) 적외선 광학렌즈 및 소재 분야

- 셀렌화아연(ZnSe)과 게르마늄(Ge)은 고에너지 CO 레이저용 광학제품의 가공에 필수적인 광학 소재임
- 적외선 렌즈는 Ge, Si, ZnS 등의 단결정 소재를 단일 점 다이아몬드터닝(Single-Point Diamond Turning)으로 가공하거나 성형이 가능한 비정질의 칼코게나이드 유리를 몰드 성형하여 제작하고 있음

(2) 메가(Mega)급 CCTV용 광학렌즈

- CCTV(Closed-Circuit Television) 카메라는 특정한 화면을 수상자에게 화상정보로 전송하는 카메라이며, 빛을 센서에 맺혀주는 렌즈와 빛을 전기적 신호로 바꾸어주는 센서와 전기적 신호를 원하는 형태로 변경시

켜 주는 소프트웨어로 구성됨

- CCTV 카메라용 렌즈는 촬영하고자 하는 물체에서 나오는 빛을 센서에 상(Image)을 맺혀 주는 역할을 함
- 메가(Mega)급 CCTV 카메라용 주야겸용 가변초점(Day-Night Vari Focal) 렌즈에서는 광축을 따라 렌즈를 구동시켜 렌즈 초점 거리를 변하게 할 수 있음. 넓은 영역을 볼 수 없는 작은 화각의 단점과 사물이 너무 작게 촬영되는 큰 화각의 단점을 모두 극복한 광학 기술임
- Full HD급 CCTV 카메라는 고해상도를 구현하여 인물의 얼굴 판별과 자동차의 번호 인식도 가능하고, 가시광선과 근적외선 영역을 모두 사용할 수 있는 주야겸용 기능도 구현하여 CCTV 카메라의 고급화를 선도함

(3) 콘택트렌즈

- 콘택트렌즈는 비교적 짧은 역사에도 불구하고 안경과 더불어 오늘날 대표적인 굴절이상 교정기구이며 최근

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

여가 활동 시간의 증가와 젊은 세대의 미용에 대한 관심 확대로 그 사용 추세가 점차 증가함

- 또한 시력 교정에 있어 좋은 효과를 보이며 안정성을 가지고 있고 편의성과 효율성, 다양성으로 인해 앞으로 사용률이 계속적으로 증가할 것으로 예상됨
- 콘택트렌즈는 과거에는 소량이나 주문 생산에 유용한 절삭연마(Lathe Cut)법을 주로 사용하여 제작하였으나 최근에는 금형 코어를 활용하여 대량 사출하는 캐스트 몰드법으로 제작하고 있음
- 정기 교체형 콘택트렌즈는 캐스트 몰드법으로 제작하고 있으므로 렌즈의 고품질화 및 생산량의 수급부족 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대됨
- 대부분 선진국에서는 캐스트 몰드법을 이용하여 콘택트렌즈를 제작하고 있지만 국내에서는 아직 선진국에 비해 기술력이 부족함
- 캐스트 몰드법의 핵심기술인 사출용 금형 코어 가공기술은 국내에서 매우 어려움을 겪고 있는 기술로 향후 사업화를 위해서는 반드시 확보해야 하는 필수 기술이라 할 수 있음

(4) 리플로우(Reflow) 렌즈

- 리플로우 공정 즉, 고온의 환경 조건을 견디어 내는 렌즈를 리플로우 렌즈라고 하며 리플로우 공정을 적용해서 카메라 렌즈의 대량생산이 가능함

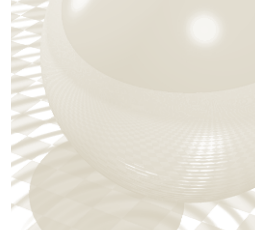
2. 광소재 및 부품 기술 현황 및 전망

(1) 적외선 광학렌즈 및 소재 분야

- 비정질인 칼코겐 금속 화합물은 대량생산에 필요한 고온 압축성형의 특성이 있는 소재로 국내에서도 관심이 집중되고 있는 소재임
- 현재 이 소재는 벨기에의 Umicore에서 GASIR®을 선도적으로 생산하고 있으며, 성형된 제품을 판매하고 있음
- 벨기에 Umicore사는 저온 성형이 가능한 칼코게나이드 유리 소재를 개발하여 적외선 광학렌즈의 단가 절감을 실현하였으며 원천 소재는 공개하지 않고 고부가가치 창출을 위해 렌즈 상태로만 제공하고 있음
- 독일의 Vitron에서는 IG(Schott가 판매 대행)를 생산하고 있고, Amorphous Materials Inc.에서는

AMTIR®을 생산하고 있으며, 일본의 Sumitomo에서는 유사한 소재를 개발하고 있음

- 일본의 Sumitomo 전공이 1.5 μ m 이하의 ZnS 원료분말을 사용하여 분말 성형체의 가열압착기(Hot Press)에 분위기, 온도, 압력, 시간 등의 조건을 최적화하여 소결밀도 99.9%, 평균입경 3.3 μ m의 치밀한 저가형 적외선 투광성 렌즈 개발에 성공하였으며, 10 μ m 대역에서의 원적외선 투과율은 약 71%이었음
- 그러나 고온소결의 필요성으로 비교적 저온에서 성형되는 칼코게나이드 유리에 비해서 생산단가가 높고 공정이 복잡하여 상용성이 낮음
- 미국의 Light Path에서는 Black Diamond라는 소재명으로 생산하고 있으며 성형된 제품을 활발하게 마케팅하고 있음
- 국내의 경우, 저가의 칼코게나이드계 비구면 렌즈 제작 기술은 전무한 상태임
- 최근 칼코게나이드계 비구면 렌즈 제작 기술이 민수 분야에서 신규 거대시장 창출 분야로 인식되고 있음. 관련 업체들이 개발 필요성은 절감하지만 핵심기술개발의 고난이도와 고가의 개발 장비로 인해 자체 개발 투자는 현실적으로 매우 어려운 실정임
- 현재 ZnSe를 생산하고 있는 큰 규모의 두 회사인 II-VI와 Rohm and Haas (Dow사로 합병됨)의 경우 매출이 비약적으로 증가하고 있고, 칼코게나이드 소재를 개발한 Umicore의 경우 소재의 판매를 제한하고 성형한 렌즈 시스템을 판매하는 점을 볼 때, 국산화의 요구는 매우 크다고 볼 수 있음
- ZnSe의 경우 국내 반도체 및 디스플레이 산업에서 확보한 화학기상증착(Chemistry Vapor Deposition: CVD) 공정 기술을 바탕으로 기술개발을 할 경우 현 기술 수준은 선진국의 80% 이상이라고 할 수 있음
- 현재, 러시아, 중국 등에서 ZnSe를 생산하는 회사들의 경우 가격 우위를 내세우고 있으나, 품질 측면에서 많이 뒤떨어지는 상태가 10년 이상 유지되고 있으므로, 좋은 품질을 얻는 기술적 우위를 확보한다면, 사업화에서 큰 경쟁력을 갖게 될 것으로 예상함
- 게르마늄(Ge)렌즈 소재의 경우 독일, 중국 등이 주요 생산국이며, 중국의 원자재 공급량이 70%를 넘음
- 게르마늄은 중국 제품이 품질 면에서 유럽 제품과 동등한 정도의 사양으로 인정받고 있으며, 가격은



50~70%선에서 형성되어 있어 경쟁력이 높음

- 칼코젠의 경우, 이미 국내 연구진들에서(한국전자통신연구원 등) 이 화합물을 제작과 이를 이용한 광섬유 가공 등을 수행한 실적이 있으므로 기술적으로는 90%이상 접근하였다고 할 수 있음

(2) 메가(Mega)급 CCTV용 광학렌즈

- Full HD급 3배 줌배율 가변초점(Vari Focal) 렌즈는 기존 고정초점(Fixed Focus) 렌즈에 비해 가격이 비싸다는 단점이 있으나, 광각렌즈의 이미지가 작게 촬영되는 단점과 망원렌즈의 감시 범위가 좁다는 단점을 보완할 수 있어 고정초점 렌즈 적용 카메라 시장이 가변초점 렌즈 적용 카메라로 대체될 예정임
- 일본 Fujinon D mount 2.8mm~10mm 제품이 현재 가장 성능이 좋은 렌즈지만 아직 Full HD 시스템을 만족할 만한 수준에 못 미치므로 더 나은 성능의 Full HD 대응렌즈를 개발한다면 시장 선도가 가능함
- 국내 CCTV 카메라는 Vision High Tech, Vision St, Inter M, Inner View, CNB 등 여러 업체에서 생산하고 있으며 Full HD급은 고정초점 렌즈만 적용이 되어 있고, 가변초점 렌즈는 VGA급만 적용이 되고 있음
- 국내 CCTV 카메라용 렌즈 업체는 한광옵토, Naotech, 위즈옵텍 등의 업체에서 보드(Board) 렌즈 등과 함께 가변초점 렌즈를 취급 하고 있음
- 현재 시중에 나와있는 가변초점 렌즈는 1/3인치 센서 사이즈에만 적용이 가능하며 해상력은 모두 VGA급 센서에 맞춰 있어서 아직까지 상용화된 Full HD급 가변초점 렌즈는 개발되어 있지 않음

(3) 콘택트렌즈

- 일반적으로 콘택트렌즈는 절삭연마(Lathe Cutting)법, 회전주조(Spin Casting)법, 캐스트몰드(Cast Mold)법에 의해 제작됨
- 절삭연마법은 원료를 성형시켜 선반을 사용, 절삭 가공하여 제조하는 방법으로 국내 제품 대부분이 이 방식으로 제조되지만 노동집약적이고 고비용에 재생이 불가능하여 대량생산에는 적합하지 않음
- 정기교체형 소프트 콘택트렌즈는 과거에는 소량이나 주문 생산에 유용한 절삭연마법과 회전주조법을 사용하였으나 최근에는 소프트 콘택트렌즈 사용률이 급속

히 증가함에 따라 금형코어를 활용하여 콘택트렌즈를 대량 사출하는 캐스트몰드법으로 제작되고 있음

- 바슈룸, 존슨앤드존슨과 같은 국외 메이저급 업체에서는 캐스트몰드법에 의해 대량으로 생산하고 있지만 그 제작기술의 공개를 꺼려하고 있음
- 국내에서는 (주)베스콘, 인터로즈 등이 캐스트몰드법으로 제품을 생산하고 있으나 콘택트렌즈 제작 기술력이 선진국에 비해 부족한 실정임

(4) 리플로우(Reflow) 렌즈

- 국내의 경우, 대기업 S사에서 리플로우 렌즈 사출기 1대로 양산준비를 하고 있으며, 다른 기업은 비싼 투자비용으로 검토만 하고 있는 상황임
- UV경화 렌즈 재질의 국산화 부재로 해외업체 의존하며 렌즈 웨이퍼(Wafer)간 정렬(Align) 장비가 고가이기 때문에 투자가 어려워 품질 향상에 어려움 있음
- 세계적으로 리플로우 렌즈 사출기에 투자하여 양산 준비를 하는 대표업체는 Anteryon, Nemotek, Heptagon 등이며 사출기 5개 이하로 투자하여 소규모 양산 시작함
- 리플로우 렌즈 재질은 UV 경화용 재질로 렌즈 재질로서 필요한 투과율, 굴절률, 복굴절 특성이 기존 열가소성 플라스틱 재질에 비해 뒤지고 있으며 고해상도 렌즈 보다는 저화소(VGA급) 렌즈부터 적용을 검토하고 있음
- 향후 새로운 UV 경화용 재질이 개발이 되고 있기 때문에 점차적으로 고화소 렌즈까지 적용이 가능할 것으로 예상함

3. 광소재 및 부품 분야 산업 현황 및 전망

(1) 적외선 광학렌즈 및 소재 분야

- 국내의 경우, 야간감시용 광학계의 비구면 렌즈 핵심 기술이 적용되고 있는 분야는 게르마늄(Ge) 렌즈를 포함한 몇 가지 적외선 광학소재를 직가공 방법을 이용하여 군수분야에 국한하여 사용하고 있으며, 저가의 갈코게나이드계 비구면 렌즈 핵심 기술개발은 전무한 상태임
- 국내 관련업체들의 경우 최근 해당기술이 민수분야에서의 신규 거대시장 창출분야로 인식됨에 따라 관련업

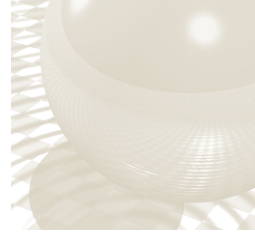
광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

- 체들이 개발 필요성은 절감하지만 핵심 기술개발의 고 난이도와 고가의 개발 장비로 인해 자체 개발투자는 현실적으로 매우 어려운 실정임
- 세계적으로 군수산업이 발달된 국가의 일부 업체(미국 LightPath, 독일 Umicore 등)만이 칼코게나이드계 비구면 광학렌즈 관련 핵심기술 및 노하우를 독점하고 있으며 이러한 기술을 토대로 민수분야로의 시장 확대를 모색하고 있는 상황임
- 민수분야로는 야간감시 광학계용 광학렌즈의 응용분야 중 차량 탑재형 야시경(Night Vision) 분야의 수요가 폭발적으로 증대될 것으로 예상됨에 따라 원재료의 높은 가격, 개발기술의 고난이도가 요구되는 게르마늄 광학소재에 비해 비교적 저가인 칼코게나이드계 소재를 활용 대체하려는 기술개발 시도가 적극적으로 진행되고 있음
- 자동차 탑재형 야시경(Night Vision)용 적외선카메라 세계시장은 1.0조원 규모(2008년)에서 2.5조원(2015년) 예상
- 기존 감시카메라용 광학계 경우 야간감시 CCTV 카메라로 교체상황이며 세계시장은 0.7조원(2007년)에서 1.3조원(2015년) 예상되며 카메라폰, 디지털 카메라 등 결상광학계 응용분야로 신규시장 확대창출 예상
- 현재 야간감시카메라용 적외선 광학렌즈 소재로서 성형이 가능한 칼코게나이드 유리 소재는 선진국을 중심으로 크게 주목 받고 있으나, 개발이 완료된 소재들은 고부가가치 창출을 위해 원천소재를 공개하지 않거나 환경문제 및 물리적 특성 면에서 상용성이 낮은 실정임
- 적외선(Infrared, IR) 렌즈는 폭발적 수요 증가가 예상되며, 미용에 대한 관심이 증가하면서 CO레이저를 이용한 미용성형의 수요도 증가함
- 가시광을 이용한 가시 영상 정보에 덧붙여, 야간 조명의 제약성을 극복한 열 영상 정보를 이용하고자하는 산업적 요구가 커짐에 따라, 군사, 보안, 자동차 산업 영역에서의 열 영상용 렌즈에 대한 수요가 매우 커지고 있음
- 열 영상장비들은 군수와 보안뿐만 아니라, 재난 구조, 공정 모니터링, 전력 유지 보수, 건축 및 인쇄회로기판(Printed-Circuit Board: PCB)검사, 자동차 영상장비 및 의료분야에 이르기까지 응용 분야가 넓으므로 성장 잠재력이 크다고 할 수 있음

- 제품의 개발로 세계적인 품질을 달성할 경우 소재 매출 자체가 매우 큰 규모일 것이며, 이를 이용한 열상 광학소자 및 열상 시스템을 활용한 산업은 수출에 크게 이바지할 것임
- 주요 시장은, 국방 개인 탐색장비에서부터, 보안 카메라, 자동차용 카메라, 개인 의료용 카메라 등이 있음
- 최종 제품의 국내 시장 규모는 국방 개인 탐색 장비의 경우, 1조원이며 보안 카메라의 경우, 국내 삼성테크윈의 2010년 보안 카메라 시스템 매출이 7천억 원이 예상되므로 그 중 30%에 해당하는 열상 카메라 시장이 가까운 시기에 열릴 것으로 예측할 수 있음
- 자동차 시장의 경우 연간 생산량 350만대의 20% 정도 생산 분에 자동차용 카메라가 부착될 것을 가정하면 최종 제품 매출로 약 2조 원가량의 시장이 예상되며 그 주요 부품의 재료에 해당하는 소재의 경우 총액의 1/10에 해당하는 4천억 원의 수요를 예측할 수 있음

(2) 메가(Mega)급 CCTV용 광학렌즈

- 영상감시 시장은 매년 약 12%씩 성장해왔고 향후에도 비슷한 성장 추세를 유지할 것으로 전망되며 2006년 200억 달러였던 시장은 2011년 340억 달러로 성장할 것으로 예상함
- 유럽과 북미의 원격 영상감시 시장은 크게 성장할 것으로 예상되며 향후 5년간 유럽과 미국에서 연 20%씩 성장할 전망
- 관련 업계는 2014년까지 전 세계 모든 네트워크 카메라의 50%가 메가픽셀급 CCTV 카메라로 대체될 것으로 전망하고 있으며, 이러한 시장의 흐름은 국내 역시 비슷한 양상을 보이고 있음
- 메가픽셀 카메라는 이제 막 시작하는 새로운 시장이고, 기존 시장에서 메가픽셀 카메라와 네트워크 카메라 또는 아날로그 카메라가 혼재돼 설치되기 때문에 정확한 수치를 파악하는 데 어려움이 있음
- 현재 국내외 보안업계에서의 아날로그 카메라 시장은 마이너스 성장률을 기록하는 반면, 메가픽셀 및 HD 카메라 시장은 급격히 성장하고 있음
- CCTV 카메라 시장에서는 메가픽셀 카메라 시장이 급성장할 것으로 기대되며 향후 3년간 메가픽셀 카메라 시장은 연평균 100% 이상 성장할 것으로 전망됨
- 메가픽셀 카메라가 직면한 문제는 엄청난 데이터의 처



리 해결이었으나 압축 알고리즘의 향상과 기가비트 이더넷 설치의 보편화 및 저장기기의 가격하락으로 이 문제가 상당히 해결됨

- 메가픽셀 카메라는 저조도 문제로 설치와 사용자 확대에 한계가 있었으나 센서 제조사들에 의해 문제점이 해결되어 왔고 이를 바탕으로 메가픽셀 카메라의 저조도 성능이 점차 개선됨
- 그 동안 메가픽셀 카메라를 공급하는 회사의 수가 적었으나 향후 2년간 새로운 업체들이 시장에 들어올 것으로 전망되며 특히 대형 영상감시 카메라 제조사들이 참여할 것으로 예상됨

(3) 콘택트렌즈

- 국내 콘택트렌즈 시장은 1997년도부터 고도성장을 이루어 2001년과 2002년에는 각각 780억, 850억의 성장을 함
- 생활환경의 변화, 콘택트렌즈의 품질향상, 여성들의 미용효과에 의한 영향으로 최근에는 시력교정용뿐 만 아니라 서클렌즈, 칼라렌즈 등 미용렌즈에 대한 관심이 커지고 상용화됨에 따라 약 1,500억의 국내시장이 형성됨
- 세계 콘택트렌즈 시장은 빠른 시장변화의 환경에 따라 판매시스템의 구축과 체인영업 현상이 발생하고 소비자 욕구의 다양화로 인해 신속한 제품정보 및 다양한 제품이 요구되고 있음
- 바슈롭, 존슨앤드존슨과 같은 국외 메이저급 업체에서는 캐스트몰딩법에 의해 대량으로 생산하고 있지만 그 제작기술을 공개하지 않음
- 국내에서는 (주)베스콘, 인터로즈 등이 캐스트몰딩 방법으로 제품을 생산하고 있으나 콘택트렌즈 제작 기술력이 선진국에 비해 부족한 실정임
- 국내 콘택트렌즈 시장 역시 정기 교체형 콘택트렌즈 비중은 최근 10년 동안 매년 30~40%의 꾸준한 성장을 지속하고 있음
- 특히 최근 인기를 끌고 있는 정기 교체형 콘택트렌즈는 시장에 선보인 이후 일반형 렌즈시장을 위협하는 수준으로 급성장함
- 한국과 시장상황이 비슷한 일본시장의 경우 교체형 콘택트렌즈 시장 비중이 80%대를 기록하고 있어 정기 교체형 콘택트렌즈 비중은 더욱 늘어날 것으로 예상함

(4) 리플로우(Reflow) 렌즈

- 휴대폰 카메라 시장은 휴대폰 카메라 장착율이 80%이며 약 10억 개/연 규모의 큰 시장으로 리플로우 렌즈로 대체될 전망이다
- 현재 사용되는 플라스틱 렌즈는 열가소성 수지로 고온에서 녹는 문제가 있으며 휴대폰 세트 업체는 지속적으로 카메라 모듈 업체와 렌즈업체에 리플로우 렌즈개발을 요청하고 있음
- 국내 리플로우 렌즈 시장은 대기업 1곳에서만 사출장비를 투자해서 검토 중이며, 다른 기업들은 고가의 투자비용으로 검토단계에 머물러 있음
- 휴대폰 카메라 시장에서 리플로우 렌즈 적용 세계 시장은 2013년에 약 5억개/연 이상 예상함

4. 핵심 전략 기술 및 제품

(1) 적외선 광학렌즈 및 소재 분야

- 민군분야에 채용 가능한 저가 보급형 야간감시 광학시스템의 개발을 위해서는 최적성형 기술을 적용한 비구면 렌즈를 개발과 야간감시용 광학계를 단순화할 수 있는 광학모듈용 어셈블리(Assembly) 개발이 필요함
- 적외선 광학계 몰드성형에 사용되는 광학소재는 게르마늄(Ge)을 포함하는 칼코게나이드계의 소재와 Ge을 포함하지 않는 소재가 일부 개발되고 있음. 이들 소재는 근적외선 영역과 원적외선 영역에서 각기 다른 투과율을 갖기 때문에 적용분야에 따라 소재의 선택을 달리하여 개발되고 있음
- 특히 민군 겸용 야간감시용 광학시스템을 위해서는 저가로 대량생산이 가능한 초정밀 비구면 렌즈의 개발이 선행되어야 하며 이를 위해서는 저가의 칼코게나이드계 소재를 활용한 핵심 광학부품 개발이 요구됨

(2) 메가급 CCTV용 광학렌즈

- 최근의 제품 동향은 VGA급에서 HD를 지나 Full HD로 발전하고 있고, 고정초점 렌즈는 가변초점 렌즈로 발전하고 있으며, 주간 전용에서 주야겸용으로 발전하고 있음
- 비구면 유리 렌즈 2매를 채용함으로써 렌즈 광학계 길이를 줄여 박스형 카메라뿐 아니라 돔 카메라까지 적용이 가능하고, F#를 1.2까지 작게 하여 동급에서는

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

가장 밝은 렌즈를 개발하는 기술이 핵심임

- F# 1.2는 렌즈 밝기를 밝게 하여 주야겸용 카메라에서 조명계를 최소화 할 수 있는 장점이 있고 비구면 렌즈는 렌즈 형상 비구면 수식을 정확히 유추할 수 없어 타인이 모방하기에 극히 어려운 고급 기술임
- 박스형 Full HD 카메라는 렌즈 길이의 제약이 없기 때문에 기존의 고급 CS 마운트(Mount) 렌즈를 활용한 시스템 구축이 가능함. 돛형 Full HD 카메라는 기존의 D 마운트 렌즈로는 성능 만족을 못하고 있는 실정이며, 기존의 돛형 카메라에 외관 변화 없이 적용 가능한 Full HD 렌즈가 필요함
- 비구면 렌즈를 2장까지 사용하며 단품 렌즈와 기구물의 설계기술, 단품 구면렌즈의 관리, 비구면 렌즈의 관리, 기구물의 공차 관리 등이 기존 제품보다 훨씬 높은 난이도를 요구함
- HD 렌즈를 Full HD 시스템에 사용하면 해상력 저하가 발생하고 센서의 픽셀이 작아 색수차가 발생하기 때문에, 변조전달함수(Modulation Transfer Function: MTF)와 색수차의 개선이 필요함

(3) 콘택트렌즈

- 금형주조법(Cast Molding)을 이용한 콘택트렌즈 사출용 코어가공 기술 및 콘택트렌즈 제작기술을 개발해야 함
- 이 경우 정밀하고 균일한 하드렌즈, 산소투과성 하드렌즈, 소프트렌즈 등의 다양한 콘택트렌즈의 생산이 가능함
- 또한 비용절감 및 대량생산으로 고부가가치 창출이 가능함

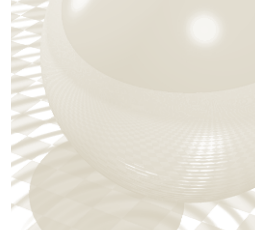
(4) 리플로우(Reflow) 렌즈

- 리플로우 렌즈 설계, 금형가공 분야의 경우 기 보유 기술을 바탕으로 관련기술의 개발이 수행될 경우 해외 기술선진국과 동일한 수준의 기술력 확보가 가능함
- 리플로우 렌즈 성형 및 정렬(Align) 적층 분야의 경우 전 세계적으로 기술 개발이 초기 단계이므로, 조속한 기술 개발이 이루어질 경우 시장 선점이 가능함. 리플로우 렌즈 측정평가 분야의 경우 전용장비 구축을 통해 관련기술 확보가 가능함

5. 세부기술 및 산업 로드맵

표 14. 광소재, 및 부품 세부기술 및 산업 로드맵

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II	
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030	
기술 분야	적외선 광학렌즈 및 소재	ZnSe소재 ($\lambda=1\sim 13 \mu\text{m}$)	광흡수율<5%(CVD-No Size Limit)	소재광흡수율(3%(CVD-No Size Limit)	소재광흡수율(1.5%(CVD-No Size Limit)	-	-
		Ge소재 ($\lambda=7\sim 14 \mu\text{m}$)	5 mm이하 렌즈 소재 개발소재 광흡수율(3%(10mm재료)	75 mm이하 렌즈용 소재 개발소재광흡수율(2%(10 mm재료)	소재광흡수율(2%(10 mm재료)	-	-
		칼코겐소재 ($\lambda=2.5\sim 10.5 \mu\text{m}$)	2.5~10.5 um대역에서 흡수피크 <15%	250도 이하 저온 성형 칼코겐 화합물의 제조 : 2.5~10.5 um 대역에서 <10%	칩단 칼코겐 렌즈 제조 기술개발	-	-
	메가급 CCTV용 광학렌즈	비구면 유리 렌즈 2매 채용 (최종 F/# 1.2)			-	-	-
	콘택트렌즈	금형주조법(Cast Molding) 사출성형 렌즈 기술 구축			-	-	-
	리플로우 렌즈	리플로우 렌즈 산업화지원 인프라 기반 기술 구축			-	-	
산업 분야	적외선 광학렌즈 및 소재	중적외선 렌즈 및 소재 제조 기술					
		원적외선 광학렌즈, 소재 제조 및 평가기술 개발					
		적외선 소재 기반 광학 응용 부품 시스템 개발 및 평가					
	메가급 CCTV용 광학렌즈	Vari focal Day-Night 렌즈 개발					
Full HD급 CCTV 카메라 응용기술 개발							
콘택트렌즈	Cast Molding 사출 성형 렌즈 개발						
	프리즈마/다이나믹 토릭형 콘택트렌즈 개발						
리플로우 렌즈	UV 경화 수지 몰딩 적용 렌즈 개발						
	Reflowable렌즈 성형기술 및 측정 평가 기술 개발						



WG 11. 차세대 광기술

1. 차세대 기술 분야 개요

- 새로운 물리적 개념과 시대적인 기술 발전에 의해 차세대 광산업으로 유망한 새로운 광과학기술들을 다루며, 다음 기술들이 고려되었음:

- 가. 양자정보처리(Quantum Information Processing) 기술
- 나. 플라즈모닉스(Plasmonics) 및 나노포토닉스(Nanophotonics) 기술
- 다. 광자집적회로(Photonic Integrated Circuit) 기술
- 라. 메타물질(Metamaterials) 기술
- 마. 아토초 광학(Atto-Second Optics) 기술
- 바. 초강력 레이저 응용 입자빔 가속 기술
- 사. 레이저 핵융합 기술
- 아. 차세대 리소그래피(Next Generation Lithography) 기술
- 자. 3차원 홀로그래피(3D Holography) 기술

- 양자정보처리 기술은 양자역학적 물리 법칙에 따른 새로운 양자 개념의 정보처리 및 통신 기술이며, 물리적으로 보안이 보장되는 통신 기술과 기존 컴퓨터 보다 막대한 소인수 분해 방식의 정보처리 기능을 가지는 정보처리 기술을 포함함
- 플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술은 빛이나 전자빔에 의해 여기된 금속 내 전하밀도의 집단적 진동인 플라즈몬(Plasmon)을 이용하는 기술이며, 광학적인 회절한계 이하의 초미세 고속 나노포토닉스 소자 구현을 가능케 하는 기술과 각종 광바이오 센서 기술을 포함함
- 광자집적회로 기술은 초고속 및 대용량 정보처리/전송 및 양자 정보처리용으로 활용이 가능한 하이브리드 및 단일 집적형 광능동 및 광수동 소자를 집적하는 회로 기술이며, 기존의 중앙처리장치(Central Processing Unit: CPU) 등과 같은 집적형 전자회로 소자가 갖는 고속 동작 시에 발생하는 발열 문제 등의 한계성을 극복하여 차세대 중앙처리장치 및 대용량 DRAM(Dynamic Random Access Memory) 등에 사용될 수 있음
- 메타물질 기술은 인공적인 구성 요소를 주기적으로 배치하여 제작된 인공 소자를 이용하는 기술이며, 구조

물의 크기가 분자 크기보다는 훨씬 크고 전자파의 파장보다는 매우 작아 근접장 영역의 스펙트럼 성분에 의해 거시적인 물질 응답이 결정되는 구조임. 음의 굴절률을 이용하여 투명망토 및 고집적 광회로, 고용량 광저장소자, 고해상도 나노광현미경, 차세대 나노광리소그래피, 3D 디스플레이, 초음파 영상, 무반사 태양전지, 테러위협방지센서 등으로의 응용이 가능한 기술을 포함함

- 아토초 광학(Atto-Second Optics) 기술은 절대위상이 안정화된 고휒력 펨토초(10-15 초) 레이저를 기체에 집속시켜 고차 조화파를 발생시키고 펨토초 이하의 광펄스를 얻는 기술이며, 광 주파수빔을 이용한 아토초(10-18 초) 시간/위상 안정도를 갖는 광 및 전자신호 생성, 초정밀 광주파수 분광학, 시간/주파수 정보의 아토초 정밀도 전송 및 동기화 등으로의 응용 기술을 포함함
- 초강력 레이저 응용 입자빔 가속 기술은 극초단 및 1018 W/cm² 이상의 초고출력 레이저 빔을 고체 표적에 집속하면 순식간에 플라즈마가 생성되고, 레이저 플라즈마 내의 고에너지 전자와 표면의 이온 간의 강력한 전기장에 의해 표적의 표면 위에 존재하는 물이나 탄화수소의 불순물에서 생성된 양성자가 가속되어 고품질의 양성자를 발생시키는 기술이며, 방사선 치료와 초고해상도 초고속 비파괴 검사 등의 응용 기술을 포함함
- 레이저 핵융합 기술은 2.5 kJ 이상의 고에너지와 10 Hz 이상의 반복률을 갖는 레이저 200기 이상(500 kJ)을 연료 구슬에 동시에 발사하여 표면의 물질을 증발시키고 그 반작용으로 내부의 연료를 압축시켜 핵융합을 일으키는 기술이며, 미래의 환경 친화적 에너지원 확보 기술을 포함함
- 차세대 리소그래피 기술은 반도체 소자, LCD 패널, 광디바이스, 플라즈모닉 디바이스 등 나노 및 마이크로 구조를 패터닝(Patterning) 하는 기술임. 기존의 심자외선(DUV, 파장 193 nm) 광원을 이용하는 방법보다 더 작은 구조를 패터닝하기 위해 극자외선(EUV, 파장 13.5 nm)을 이용한 극자외선 리소그래피 기술, 표면 플라즈몬을 이용한 플라즈모닉 리소그래피(Plasmonic Lithography) 기술, 나노 템플레이트를 이용한 나노 임프린트 리소그래피(Nano Imprint

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

Lithography) 기술, 그리고 분자의 자체 배열을 이용하는 유도 자체 조직 리소그래피(Directed Self-Assembly Lithography) 기술 등을 포함함

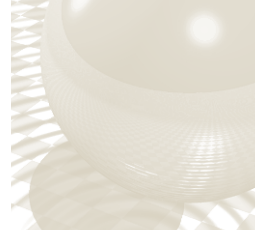
- 3차원 홀로그래피 기술은 실제 물체로부터 반사 또는 회절되어 전파되는 빛의 분포를 기록 및 재현하여 공간상에 실제 물체에 대한 3차원 상을 완벽하게 재현하며 관찰자에게 실제와 같은 입체감을 제공하는 기술이며, 전자기기 및 광전자기기를 이용하여 디지털 홀로그래프를 획득, 생성, 기록, 복원, 신호처리, 디스플레이하는 기술들을 포함함

2. 차세대 광기술 현황 및 전망

- 양자통신기술에서는 InGaAs/InP APD(Avalanche Photo Diode) 기반의 단일광자검출기가 상용화되어 이를 이용한 초보적인 수준으로 단지 두 지점 간에 낮은 속도의 보안용 암호키 전송 장치가 일부 상용화되어 있으며, 통신 네트워크로의 확장을 위해 양자얽힘 기반의 양자 광 중계기를 이용하거나 아니면 다중 광자들을 이용하는 방식에 대한 연구 개발 노력이 활발히 이루어지고 있음. 궁극적으로 양자 통신 네트워크 구성을 위해서는 양자 중계기 및 스위치 등이 필요하며 관련된 양자정보처리 및 양자 컴퓨팅 기술의 발전이 요구되고 있기도 하나, 아직 이 부분은 좀 더 장기적인 기술 개발 노력이 이루어져야 하는 부분이 있음
 - 미국, 유럽, 일본 등에서 활발한 연구가 진행이 되고 있으며 일부 양자통신 기술은 초기 단계의 상용화 수준으로 지속적인 발전이 되고 있으며,
 - 국내에서는 아직 상용화 노력이 미흡하고 대학 및 연구소의 기초적인 연구 수준에 머물고 있고 최근에 SKTelecom에서 사업화 노력중임
- 플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술에서는 짧은 거리에서의 광배선용 장거리 플라즈몬 도파로, 나노스케일 플라즈몬 도파로와 수동 및 능동 광소자, 테라헤르쯔용 나노 플라즈몬 안테나 소자, 표면 플라즈몬 센서 소자 등에 대한 연구가 이루어져 오고 있으며, 전송손실을 줄이거나 보상에 줄 수 있는 고집적 플라즈모닉스 광소자 개발과 기존 광소자와의 효율적인 결합을 위한 연구가 이루어지고 있음. 플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술은 평판 디스플레이, 태양전지, 이미징, LED

및 조명, 데이터 스토리지, 센서, 데이터콤 및 텔레콤, 광연결, 광기기 등으로의 다양한 응용 기술이 개발될 것으로 전망됨

- 세계적으로도 많은 연구소와 대학 등에서 활발한 연구가 진행이 되고 있으며, 일부 응용 기술로 상용화된 제품 기술들이 있음
- 국내에서도 한국전자통신연구원 및 대학 등에서 많은 기초 연구가 진행이 되고 있으나, 기 확보된 원천 기술력이 다소 취약함
- 광자집적회로 기술에서는 근래에 들어와 실리콘 기반의 광도파로 소자와 광변조기, Ge 광검출기 등에 대한 개발이 이루어져 왔으며, 최근에 미국 Intel사에서는 실리콘 기반의 광 수동소자와 InP 기반의 광원을 집적한 12.5 Gbps × 4채널 = 50 Gbps급 능동 광케이블(Active Optical Cable)의 개발과 Luxtera 사와 같은 업체를 중심으로 하이브리드 제품의 상용화가 시도되고 있음. 궁극적으로는 칩간 및 칩내 고속 광배선 및 광 동기신호 분배 등으로의 응용과 다양한 광센서 등으로의 응용을 위한 연구가 진행되고 있음
 - 미국에서는 IBM, Intel 및 많은 대학들에서 실리콘 기반 광자집적회로 기술의 개발과, 유럽에서는 JEPPIX 및 ePIXfab 기구를 만들어 실리콘 및 InP 기반의 집적회로 기술을 공동으로 개발하고 있으며, 일본에서는 NTT를 비롯하여 Hitachi 및 PECST, PETRA, 대학들이, 싱가포르의 A*STAR Institute of Microelectronics(IME), 중국 및 호주의 여러 대학 연구팀들이 활발한 연구를 수행하고 있음
 - 한국에서도 한국전자통신연구원, 삼성전자, 한국과학기술원, 인하대, 성균관대, 광운대 등에서 실리콘 기반 광자집적회로 기술의 연구를 수행하고 있어 선진국 기술을 다소 뒤 따라가는 수준이나, 국내의 앞선 반도체 산업과의 연계를 통해 세계적인 수준으로 발돋움이 가능할 것임
- 메타물질 기술에서는 음의 굴절률 특성을 이용하여 파장보다 짧은 해상도를 가지는 슈퍼렌즈와 투명 망토에 대한 기초 연구가 이루어져 왔으며, 향후 메타물질을 이용한 차세대 광리소그래피 기술, 나노분해능 이미징 기술, 광/전자 회로의 초소형화, 차세대 저장소자의 픽업기술, 나노스케일 해상도 영상기술, 초음파 영상



기술 등으로 발전과 더불어 투명 망토 기술에 대한 연구가 활발히 이루어질 것으로 전망됨

- 미국 및 유럽, 일본의 연구소 및 대학 연구 기관들에서 많은 연구가 진행이 되어 오고 있으며,
- 국내에서는 한국전자통신연구원 및 서울대, 고려대, 이화여대 등에서 기초 연구가 진행되고 있음

• 아토초 광학(Atto-Second Optics) 기술에서는 초저잡음 펨토초 레이저 개발과 초정밀 광주파수빔 응용 연구가 활발히 이루어져 오고 있으며, 향후에는 보다 높은 펄스 에너지, 짧은 펄스폭, 짧은 파장, 높은 펄스 안정도를 갖는 아토초 펄스 생성과 관련 응용 기술들이 개발될 것임

- 독일 막스플랑크 양자광학연구소와 이탈리아의 밀라노공대, 스위스의 ETHZ, 오스트리아의 비엔나공대 등 다수의 유럽 내 연구소와 대학들, 그리고 미국의 콜로라도 대학과 중부플로리다 대학의 CREOL, 캐나다의 NRC와 오타와 대학, 일본의 RIKEN과 동경대 등에서 활발한 연구가 이루어지고 있음

- 국내에서는 한국과학기술원(KAIST)에서 자체적으로 직접 잠금방법으로 절대위상이 안정화된 고강도 펨토초 레이저 시스템의 개발과 에너지 1mJ 이상인 3.7펨토초(1.5주기) 펄스 생성, 고차 조화파(High Harmonic Generation, HHG)에 의한 아토초 극자외선 펄스 생성 성공이 이루어져 왔으며, 광주과학기술원 고등광기술연구소(APRI)에서는 페타와트(Peta-Watt)급 초고출력 레이저를 이용한 상대론적 광학(Relativistic Optics) 기법을 이용한 고에너지 아토초 펄스 발생에 대한 연구의 수행과 제4세대 방사광가속기인 엑스선 자유전자레이저(X-ray Free-Electron Laser, XFEL)가 포항가속기연구소에 건설되고 있으며, 고에너지의 아토초 엑스선 펄스 생성 및 펄프-프로브 실험을 목표로 하고 있음

• 초강력 레이저 응용 입자빔 가속 기술에서는 페타와트(PW)급 Nd:glass 레이저빔과 수십 테라와트(TW) 이상의 출력을 가진 티타늄 사파이어 레이저 시스템을 이용한 양성자 가속 연구가 활발히 진행되어 오고 있으며, 페타와트 급 레이저 시스템을 이용한 멀티 GeV의 전자빔 발생 기술과 고에너지 전자빔을 이용한 언

줄레이터 연엑스선(Soft X-Ray) 싱크로트론 방사선 발생, 방사선 치료용 소형 전자 가속기, 초고해상도 초고속 비파괴 검사, 동위 원소 생산 및 핵파쇄(Spallation), 중성자 생산 등의 응용 연구가 이루어질 전망이다

- 미국 Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL), 일본 Japan Atomic Energy Agency(JAEA), 프랑스 Laboratoire d'Optique Appliquee(LOA) 등에서 고출력 레이저 빔으로 고에너지 전자빔 발생 연구가 이루어져 오고 있으며,
- 국내에서도 광주과학기술원 고등광기술연구소와 한국원자력연구원에서 극초단 광양자빔 연구시설을 보유하고 있으며 레이저 유도 양성자 가속을 연구를 수행해 오고 있음

• 레이저 핵융합 기술에서는 Yb:S-FAP 결정이나 Yb:YAG 결정 혹은 세라믹을 이용하고 기존의 섬광관(Flash Lamp) 펌핑에서 다이오드 레이저 펌핑으로의 고출력 레이저 개발과 더불어 고체 핵융합 연료와 융합-분열(Fusion-Fission) 하이브리드 방식의 레이저 관성핵융합 에너지(Laser Inertial Fusion-Based Energy) 생성 기술에 대한 연구가 진행되고 있음

- 미국 Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL), 영국의 RAL(Rutherford Appleton Laboratory), 프랑스의 LULI, 독일의 IOQ(The Institute of Optics and Quantum Electronics), 유럽연합의 HIPER, 일본의 오사카 대학 등에서 다이오드 펄프형 관성핵융합에너지용 레이저 드라이버 개발이 진행 중이며,

- 국내에서는 한국과학기술원에서 유도 브릴루앙 산란-위상 공액 매질(Stimulated Brillouin Scattering-Phase Conjugate Medium, SBS-PCM) 기반 빔결합 기술 및 다이오드 여기형 고체 레이저(Diode Pumped Solid-State Laser) 개발, 한국원자력연구원에서 섬광관 여기형 Nd:YAG 고체레이저 등의 개발이 이루어져 오고 있음. 레이저용 결정의 생산이 국내에서 시도된 적이 있으나 산업 기반이 취약하며, 고출력 반도체 레이저 산업 기반도 선진국에 비해 많이 뒤떨어진 부분이 있음

• 차세대 리소그래피 기술에서는 반도체 EUV 노광기의 고출력 광원 개발, 반사형 광학계의 반사 효율을 높이

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

는 연구, 다층 박막 형태의 광 마스크용 무결함 다층박막 코팅 및 검사 기법 등이 연구되어지고 있음. 그 외 고속 플라즈모닉 리소그래피용 고속 회전 기판에 부상 헤드를 접목한 고속 패터닝 구현 연구, 패턴 분해능을 높이기 위한 다단계 플라즈모닉 렌즈 연구, 고분해능 패턴을 대면적에 전사하는 나노 임프린트 리소그래피로 기술과 임프린트 된 패턴을 기판에 전사하는 기술, 유도 자체 조립 리소그래피로 복잡한 패턴을 형성하는 기술 등이 연구되고 있음

- 반도체 EUV 노광기 장비는 네덜란드의 ASML 사를 중심으로 장비 개발 및 공정 효율을 높이는 연구가 진행되고 있으며, 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서 국가 핵심 산업으로 육성하고 있음

- EUV 리소그래피 공정기술 분야에서는 한양대, 서울대, 인하대, 포항공대, 삼성전자 등에서 주로 마스크 물질, 검사, 레지스트 개발 등 공정에 관련된 내용의 연구와 여러 대학 및 연구소를 중심으로 플라즈모닉 리소그래피, 나노 임프린트 기반 리소그래피 등의 연구가 이루어지고 있음

- 3차원 홀로그래피 기술은 연구실에서는 완벽한 입체 영상을 제공하지만, 아직까지 실용화 및 상용화를 위한 모델이 제시되지 못하고 있음. 특히 디지털 홀로그래피 기술은 상용화 수준의 전자식 홀로그래픽 디스플레이를 실현하기에는 아직 큰 한계가 존재하여 이를 해결하려는 노력이 이루어지고 있음

- 독일의 SeeReal사에서 2007년 세계 최초로 20인치급 홀로그래픽 프로토타입 디스플레이 시스템을 시연한 바 있으며, 일본 NHK 및 NICT, 스페인 치바대학, 치바대학, 니혼대학, EU의 FP7으로 Real 3D 프로젝트, MIT 미디어랩, 버지니아 공대, 스위스의 Lyncee Tec 등에서 홀로그램 저장, 방송, 디스플레이, 홀로그램 동영상 등으로 활발한 연구를 추진하고 있으며

- 국내의 한국과학기술연구원(KIST) 및 한국전자부품연구원(KETI), 서울대, 인천대, 세종대, 충북대, 광운대 등에서는 홀로그래픽 디스플레이, 데이터 입출력 시스템, 영상 장치, 복원, 생성, 신호 압축 등의 연구를 수행하고 있으나 아직까지 실험실에서의 연구개발 초기 단계 수준에 있음

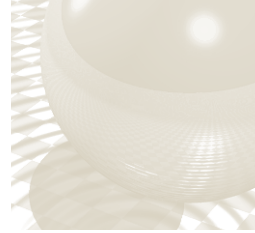
3. 차세대 광기술 분야 산업 현황 및 전망

- 양자정보처리 기술 분야에서는 단일 광자검출기가 양자 암호통신용 광검출기로써 뿐만 아니라 다양한 센서 및 라이다(Light Detection And Ranging, Lidar)용 고감도 광검출기로 사용될 수 있어 스위스의 id Quantity와 미국의 Princeton Lightwave 등의 업체와 더불어 프랑스 및 이태리 등에서의 업체가 상용화를 추진하고 있으며, 초보적인 양자 암호키 분배 장치도 스위스의 id Quantity와 미국의 MagicQ, BBN, NuCrypt LLC 등이 상용화한 상태임. 일본 업체들도 기술력은 보유하고 있으나, 상용 제품 출시는 시장 상황을 주시하고 있음. 국내에서는 아직 상용화가 별로 이루어지지 않고 있으며, 최근에 SKT(SK Telecom)가 자체 개발 노력을 하고 있음. 양자 암호키 전송 기술은 조만간에 상용화가 확산될 것 같으며, 양자 컴퓨터 관련 기술은 시장 형성이 오래 걸릴 것으로 전망되나 그 들 가운데 일부 기술은 양자 정밀 계측 및 센서와 집적용 양자 광도파로 소자인 광변조기 및 스위치, 파장 필터 등에 활용될 수 있을 것으로 전망됨

- 플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술 분야의 산업화 현황은 바이오 센서로써 일부 상용화가 이루어져 사용되고 있고, LED/OLED 및 태양전지 등의 효율성을 높여 주고 있으며, 회절한계 이하의 미세 수동 및 능동 광소자로 신호처리 및 센서, 이미징 등에 응용될 것으로 전망됨

- 광자집적회로 기술은 이미 실리콘 기반으로 InP 계열의 광소자가 집적화된 광자집적회로가 미국의 Kotura Inc., Lightwire Inc., Luxtera Inc., PGT Photonics, Translucent Inc., Chiral Photonics 와 같은 기업들에서 상용화가 추진되어오고 있으며, 향후 CPU 및 메모리 소자들간 고속 대용량 광배선과 칩내 고속 광통신 신호 분배 등의 응용 산업이 형성될 것이고 아울러 다양한 센서 및 양자 계측 등의 응용 소자들로 산업이 형성될 것으로 전망됨

- 메타물질 기술은 현재 개념 정립 및 기초 연구 수준에 있어서 아직 시장이 형성되지 않고 있으며, 국방 및 우주 산업용 메타물질을 이용하는 연구가 진행되고 있어 향후 반도체 및 나노산업 분야 전반에 걸쳐 신개념 신



기능 소자의 출현으로 사회적 및 경제적, 산업적인 모든 분야에서 상상을 초월하는 기술적 변화와 새로운 시장 형성을 가져올 것으로 전망됨

- 아토초 광학(Atto-Second Optics) 기술도 아직 시장이 형성되지 않은 상태이나 미국 등 선진국에서는 국방 및 우주 산업 등을 중심으로 초정밀 신호 발생 및 신호 처리 시스템에 대한 상당한 수요가 있으며, 향후 가격 경쟁력과 시스템 안정성이 확보되면 정보통신 등의 보다 넓은 산업 분야에서 수요가 급격히 증가할 것으로 전망됨
- 초강력 레이저 응용 입자빔 가속 기술도 아직 선진국의 주요 국영 연구소를 중심으로 기초 연구가 이루어지고 있는 상황이라 시장이 형성되지 않은 상태이고, 현재 1대의 가속기 기반 암치료기만이 국립암센터에서 운용중이고 시장 확대가 이루어지지 못하고 있음. 향후 관련 기술 개발이 이루어지면 고에너지 양성자 및 이온을 이용한 암치료의 우수성으로 인해 암치료기의 산업의 성장이 전망됨
- 레이저 핵융합 기술은 아직 세계적으로 유수의 국영 연구소에서 관련된 기술을 개발하고 있는 상황이고, 다만 이러한 핵융합용 레이저 개발에 필요한 고체 레이저 이득 매질과 고출력 고효율 펌프용 반도체 레이저 개발 산업이 발전하여, 레이저 가공 등의 부수적인 산업 발전에 직·간접적으로 기여하고 있음. 국내에서도 고출력 펄스 레이저 다이오드 기술 및 산업 확보의 노력이 절실하고 이를 통해 향후 레이저에 의한 핵융합 기술이 개발되면, 산업적으로 아주 중요한 에너지 산업의 발전을 가져올 것으로 전망됨
- 차세대 리소그래피 기술은 극자외선 리소그래피와 같이 막대한 투자와 설비가 필요한 리소그래피 기술은 이미 유럽의 ASML 사가 세계적으로 기술 및 시장을 독점하고 있음. 차세대 기술인 플라즈모닉 리소그래피, 임프린트 리소그래피, 유도 자체 조립 리소그래피 기술은 이제 막 실용화가 진행될 단계이므로 핵심 원천 기술 확보가 국내 연구진에 의해 확보가 가능함. 국내 연구 기관과 산업체의 협력을 통해서 산업화 한다면 향후 5 ~ 10 년 이후에는 차세대 리소그래피 기술의 국내 자립도를 확보할 수 있을 것으로 전망됨
- 3차원 홀로그래피 기술은 독일의 SeeReal사에서 2007년 세계 최초로 20인치급 홀로그래픽 프로토타입

디스플레이 시스템을 시연한 후 아직까지 실용화 및 상용화를 위한 모델이 제시되지 못하고 있음. 향후 5년 이내에 상용화가 시작되어 10년 내에 홀로그램 3D 비디오 스크린 및 홀로그래픽 콘텐츠, 컴퓨터 이용 설계(Computer-Aided Design: CAD) 시스템, TV, 부품 기술의 발전으로 약 40억 달러 이상의 규모로 성장할 것으로 전망하고 있음

4. 핵심 전략 기술 및 제품

- 차세대 광기술 분야에서의 핵심 전략 기술 및 제품은 다음과 같이 정리할 수 있음

가. 양자정보처리 분야

- 고속(>2 GHz) 및 고효율($>25\%$) 상온 단일 광자 검출기
- 저손실 고밴드폭 고효율 안정된 고속 단일 광자 또는 얽힘 광자쌍, 압착된 (Squeezed State) 상태의 광원
- 양자 메모리 및 인터페이스와 양자 광전집적회로

나. 플라즈모닉스(Plasmonics) 및 나노포토닉스(Nanophotonics) 분야

- 저손실 플라즈모닉스 기반 고속 광신호 처리용 나노 집적 광전회로 소자
- 나노입자를 활용한 고감도 나노바이오센서
- 금속 나노입자 및 플라즈모닉스 구조를 이용한 고효율 LED 및 태양전지

다. 광자집적회로(Photonic Integrated Circuit) 분야

- 나노 구조의 집적 회로 설계 및 시뮬레이션 기술
- 나노 광자집적회로용 기판 및 나노 소자 구조 패터닝 기술
- 나노 광자집적회로 패키징 및 측정, 응용 기술
 - 양자얽힘 광원 생성을 위한 고 비선형성 실리콘 광도파로 소자
 - WDM 신호처리용 Si 및 플라즈모닉 광도파로 소자
 - 광배선 및 양자 정보처리, 양자 계측, 바이오 센서용 광자집적회로

라. 메타물질(Metamaterials) 분야

- 능동 제어 하이브리드 메타 물질
- 3차원 투명망토(Optical Cloaking) 구조체

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

마. 아토초 광학(Atto-Second Optics) 분야

- 아토초 수준 시간/위상 잡음을 갖는 펄스 레이저 기술
- 아토초 수준 시간/위상 잡음을 갖는 전자신호 및 THz 신호원
- 아토초 수준 시간/위상 잡음에 기반을 둔 광전자 집적 소자와 응용 기술

바. 초강력 레이저 응용 입자빔 가속 분야

- 초강력 레이저를 이용한 양성자 및 이온 가속 기술
- 가속된 양성자 및 이온을 이용한 암치료 기술

사. 레이저 핵융합 분야

- 자체조종(Self Navigation)이 가능한 고출력/고반복률 레이저 기술
- 저렴한 펄핑용 고출력 레이저 다이오드 기술

아. 차세대 리소그래피(Next Generation Lithography) 분야

- 고분해능 플라즈모닉 나노 개구 기술
- 대면적 패터닝을 위한 고속 스캐닝 병렬 광 프로브 기술

자. 3차원 홀로그래피(3D Holography) 분야

- 디지털 홀로그램 신호처리 및 생성, 복원 기술
- 홀로그램 3차원 디스플레이 기술

5. 세부기술 및 산업 로드맵

표 15-1. 차세대 광기술 세부기술 및 산업 로드맵 1

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030
기술 분야	양자정보처리 기술	양자 통신 및 양자컴퓨터 기술	200 km급 양자 암호키 분배 및 양자 중계기	집적형 양자 암호키 생성 및 양자 메모리	양자 네트워크 및 다차원 양자 메모리	해킹 방어 양자 통신 기술 및 양자 프로세서 기술
	플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술	나노 집적회로 요소 기술	저손실 플라즈모닉 소자 및 바이오센서	광전 융합 소자와 플라즈모닉스 기반 LED 및 태양전지	나노 광전 집적회로 소자 기술	나노 광전 집적회로 기반 고속 완전 광신호처리 및 응용 기술
	광자집적회로 기술	광자집적회로 기술	능동 광케이블, 바이오 센서, 광능동 및 수동 소자 집적회로	칩간 광배선, 소규모 집적 바이오 센서, 양자 얽힘 광원용 광자집적	칩내 광배선, 고기능 바이오 센서, 양자 논리 소자용 광자집적회로	칩내 광자회로 네트워크 및 광유체 칩상 집적회로, 양자 논리/양자메모리 집적 제어 소자
	메타물질 기술	저손실 메타 물질 및 투명 망토 기술	이득제어 메타 물질 및 광학위장 시뮬레이션	금속저항제어 메타 물질 및 등방성 굴절률 제어 메타 물질	능동 제어 메타 물질 및 준3차원 구조의 광학 위장 기술	- 복합소재 능동제어 무손실 메타물질 기술 - 완전 3차원 광학위장 기술
산업 분야	양자정보처리 기술	양자 통신 및 양자컴퓨터 기술	InGaAs APD 기반 단일 광자 검출기 상용	양자암호키 분배 장치	양자중계기 및 양자 얽힘 생성/측정기	- 양자 중계기/고속 양자암호키 전송 시스템 - 양자 메모리 및 양자 프로세서
	플라즈모닉스 및 나노포토닉스 기술	플라즈모닉스 응용 기술		고감도 나노 바이오 센서	플라즈모닉스 기반 고효율 LED/태양전지	나노 광전 집적회로를 이용한 칩내 및 칩간 광배선 및 바이오 신호처리 시스템
	광자집적회로 기술	광자집적회로 응용 기술	능동 광케이블, 바이오 센서, 파장 변환 소자	칩간 광배선 모듈, 소규모 집적 바이오센서, 광 필터 집적 소자	칩내 광신호 분배 모듈, 고기능 바이오 센서, 양자얽힘 광원	photonics lab-on-chip 모듈, 집적형 나노 바이오 센서, 양자 논리 기능 광자집적회로
	메타물질 기술	저손실 메타 물질 및 광학 위장 제품	- 이득제어 메타물질 - 광학위장 시뮬레이션 S/W	- 금속저항제어 메타물질 - 굴절률 제어 등방성 메타물질	- 능동제어 메타물질 - 준3차원 구조 광학위장	- 복합소재 능동제어 무손실 메타물질 - 완전 3차원 광학위장

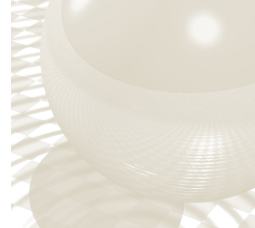


표 15-2. 차세대 광기술 세부기술 및 산업 로드맵 2

분 야	세부기술/제품	1단계	2단계	3단계	장기 I	장기 II	
		2012-2014	2015-2017	2018-2020	2021-2025	2026-2030	
기술 분야	아토초 광학 기술	- 아토초 펄스 발생 기술 - 아토초 정밀도 광기술	- 고에너지 아토초 펄스 발생 기술 - 아토초 정밀도 레이저	- 고에너지 아토초 펄스 이용 자연현상 측정 - 아토초 정밀도 시스템 시제품	- 고에너지 아토초 펄스 반도체, 바이오, 제약 산업 등에 응용 기술 - 아토초 정밀도 시스템 상용 제품 기술	아토초 이하 펨토초 영역 펄스 발생 및 안정도를 응용하는 시스템 개발	
	레이저 핵융합 기술	self navigation이 가능한 고효율/고반복률 레이저	- 0.1 J, 10 kHz 레이저 개발 - 고반복률/고출력 광선결합(SBS-PCM) 기술	25개의 100 J, 10 Hz 레이저를 광선결합하여 2.5kJ@10Hz 레이저 개발	5개의 100 J, 10 Hz 레이저를 광선결합하여 2.5kJ@10Hz 레이저 개발	200개 2.5 kJ@10Hz를 결합하여 레이저 핵융합 main driver로 사용	
	차세대 리소그래피 기술	- 극자외선 - 플라즈모닉	- 20 nm 급 양산 - 10 nm 급 개발	- 16 nm 급 양산 - 10 nm 급 장비	- 12 nm 급 양산 - 5 nm 급 개발	- 10 nm 급 양산 - 5 nm 급 장비	- 10 nm이하 양산 - 5 nm 급 양산
	3차원 홀로그래피 기술	디지털 홀로그램 생성, 신호처리, 복원	단일 시점 디지털 홀로그램 획득 및 생성, 복원, 보정, 기록 기술	다 시점 디지털 홀로그램 획득 및 생성, 신호처리, 복원, 기록 기술	고속/고화질 홀로그램 획득, 생성, 복원 및 부품 기술	디지털 홀로그램 획득/생성/기록/재생/신호처리 장비기술	홀로그램 카메라 및 디스플레이, 저장용 장비의 상용화
산업 분야	아토초 광학 기술	- 아토초 펄스 발생기 및 응용 - 아토초 정밀도 신호처리	- 고에너지 아토초 펄스 발생기 - 아토초 정밀도 레이저	- 고에너지 아토초 펄스 생성 소형 집적 제품 - 아토초 정밀도의 시스템 소자	- 고에너지 아토초 펄스 생성 실용 제품 - 아토초 정밀도 시스템 집적 소자	아토초 펄스폭 및 정밀도 지닌 상용 시스템	
	레이저 핵융합 기술	저가의 고효율 펌프 레이저 다이오드 (LD)	- Epitaxial 나노성장 장치 - cw >60W, qcw >150W LD 개발 - 25 bars/stack LD 적층, 어레이, 빔정렬기	- Epitaxial 나노성장 기술 최적화 - cw >100W, qcw >300W LD 개발 - qcw 300W LD bar 기반 qcw 7.5kW 출력의 LD 적층 어레이	- Epitaxial 나노 성장 기술 최적화, 양산화 - cw >100W, qcw >300W LD 신뢰성 확보 - qcw 300W LD bar 기반 qcw 7.5kW 출력의 LD 적층 어레이	- Epitaxial 나노성장양산기술 저가화 - cw >150W, qcw >500W 레이저 다이오드 개발 및 신뢰성 확보 - qcw 500W 레이저바를 이용한 qcw 10kW 적층 다이오드 어레이 양산	
	차세대 리소그래피 기술	- 극자외선 - 플라즈모닉	- 20 nm 급 양산 - 10 nm 급 개발	- 16 nm 급 양산 - 10 nm 급 장비	- 12 nm 급 양산 - 5 nm 급 개발	- 10 nm 급 양산 - 5 nm 급 장비	- 10 nm이하 양산 - 5 nm 급 양산
	3차원 홀로그래피 기술	홀로그램 3차원 디스플레이 기술	- 홀로그램 디스플레이 - 홀로그램 현미경, 사진기	- 홀로그램 3차원 정지영상 디스플레이 - 홀로그램 투모그래피	- 홀로그램 3차원 동영상 디스플레이 - 홀로그램 생체 모니터 - 홀로그램 원격 센싱	- 홀로그램 TV - 홀로그램 의료 영상 시스템 - 홀로그램 카메라	- 인터랙티브 홀로그래피 시스템 - 3차원 홀로그램 방송 시스템 - 홀로그램 단층 촬영기 / 진단 장치

광과학기술 세부 분야별 현황 및 전망(下)

표 15-3. 차세대 광기술 분야 발전 전략



WG 12. 교육 및 연구

1. 교육 및 연구 분야 개요

- 교육 분야는 광과학 관련 전공자를 배출하는 대학의 학/석/박사 과정과 산업계 인력을 신규/재교육 하는 교육 기관으로 나눌 수 있음
- 학/석/박사의 경우 광공학 분야로 특성화된 학과를 보유한 대학을 통해 주로 인력이 배출되고 있으며, 그 외에도 자연과학 계열의 물리학과, 공학계열의 전자공학, 정보통신공학과를 통해서 일부 배출되고 있음
- 국내의 4년제 대학 중 광공학 분야로 특성화된 교육과정(학과 혹은 전공 Track)을 가진 학교는 8개교이며 이들 8개교의 2012년 입학정원은 총 430명, 석사 배출 실적은 2010년 52명, 박사 배출 실적은 2006~2010년 5년간 평균 2.4명 수준임
- 물리학, 전자공학, 정보통신공학과를 통해 배출되는 광과학 관련 전공자의 정확한 수는 파악하기 어렵지만, 물리학 졸업생의 10%를 광학 전공자로 볼 경우 2010년도에만 석사 약 46명, 박사 약 18명의 물리학과 출신의 광학 인력이 배출되고 있음을 추정할 수 있으며 따라서 석/박사급 고급인력은 물리학과, 전자공학,

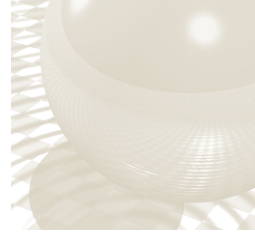
정보통신공학 분야에서 상당수가 배출되고 있음

- 현장기술인력 신규/재교육을 위한 교육 기관은 인하대 학교 광기술교육센터 정도가 있음
- 국내의 광과학기술과 관련된 대표적인 연구기관으로는 고등광기술 연구소, 광기술원, 한국과학기술연구원, 한국전자부품연구원, 한국전자통신연구원 등이 있음
- 이 중 고등광기술 연구소와 광기술원은 광과학에 특화된 연구소들로서 광주 광특화단지과 연계하여 설립되었음
- 다른 연구소들은 대부분 연구 주제별로 독립된 센터에서 광학에 관련된 연구가 진행되고 있음

2. 교육 및 연구 분야 현황 및 전망

(1) 교육 분야 현황 및 전망

- 국내의 광과학기술 교육은 광공학 분야로 특성화된 학과와 자연과학 계열의 물리학과, 공학계열의 전자공학, 정보통신공학과를 통해서 이루어지고 있음
- 국내의 4년제 대학 중 광공학 분야로 특성화된 교육과정을 가진 학교는 공주대학교, 세종대학교, 조선대학교, 청주대학교, 한국산업기술대학교, 한남대학교,



호남대학교, 호서대학교 등 8개교이며 이 밖에 광주 과학기술원이 광공학 분야로 특화된 대학원을 보유하고 있음

- 4년제 대학 8개교의 2012년 입학정원이며 총 430명이며, 석사 배출실적은 2010년 52명, 박사 배출실적은 2006~2010년 5년간 평균 2.4명 수준임
- 광학공학 분야의 입학생 수는 물리, 과학 분야와 비교하면 30.5%, 전자공학 분야와 비교하면 8.7%, 정보통신공학 분야와 비교하면 7.0% 정도로 상대적으로 그 수가 적지만 타 분야의 입학생 수가 감소 혹은 정체하고 있는 추세와 달리 광학공학 분야의 입학생 수는 최근 크게 증가하고 있음
- 광학공학 분야로 특성화된 학과 이외에서도 물리학, 전자공학, 정보통신공학 분야의 관련 학과를 통해 광학과 광기술 응용분야를 전공하는 학/석/박사가 부분적으로 배출되고 있음
- 최근 3차원 디스플레이, 태양전지, LED 등의 기술이 사회적으로 각광을 받으면서, 이들과 관련된 학문을 전공하고자 하는 학생들의 수요가 급증하고 있음
- 또한, 광기술이 광고, 디자인 등의 산업과 융합하여 발전되는 최근 추세에 따라 인문학과와의 융합이라는 측면에서도 추후 관련된 교육의 수요가 증가할 것으로 판단됨
- 광기술이 다양한 산업의 핵심기반 기술인 관계로 정밀 광학산업 분야에서 첨단 생산 기술의 지속적 발전과 국제경쟁력 강화를 이루기 위하여 현장기술인력의 지속적인 재교육이 필요함에 따라 추후 산업계 인력을 신규/재교육 하는 별도의 교육 기관을 설립하는 것이 필요함
- 중저가 광학부품 및 기기는 중국이 빠른 속도로 발전하고 있어, 품질의 고급화를 위한 고급 광기술 교육과, 산업현장에 즉시 활용할 수 있는 첨단 광학 관련 주문형 및 현장형 교육이 필요함
- 국내에는 지식경제부의 지원을 받아 운영하고 있는 인하대학교 광기술교육센터와 광기술원 등에 현장기술인력의 재교육센터가 있음
- 국내 대학/대학원의 광학공학 교육은 주문식 현장형 교육이 아니므로 국내에 정밀광학기술을 재교육시킬 수 있는 체계적이고 조직적인 단기 교육 전문기관의 확충이 필요함

(2) 연구 분야 현황 및 전망

- 국내의 광과학기술과 관련된 대표적인 연구기관으로는 고등광기술 연구소, 광기술원, 한국과학기술연구원, 한국전자부품연구원, 한국전자통신연구원 등이 있음
- 이 중 고등광기술 연구소와 광기술원은 광과학 및 광기술 연구진을 집중시켜 원천핵심기술과 응용기술을 개발하는 것을 목표로 설립된, 광과학기술에 특화된 연구소들로서 광주 광특화단지과 연계하여 광산업 활성화에 크게 기여하고 있음
- 한국과학기술연구원 나노포토닉스연구센터, 태양전지 연구센터, 한국전자부품연구원 디스플레이부품소재연구센터, 에너지나노소재연구센터, 플렉서블디스플레이 연구센터, 화합물소자연구센터, 한국전자통신연구원 호남권연구센터 등 다른 연구소들도 광과학에 관련된 연구 센터를 별도로 설립하여 운영하고 있음
- 고등광기술 연구소 및 광기술원은 그 규모나 연구 분야의 폭에 있어서 전 세계적으로도 드문 광 전문 연구소이며 추후 응용기술 뿐만 아니라 혁신적인 원천기술을 개발하고 있어 지속적 지원이 필요함
- 다른 연구소에는 대부분 연구 주제별로 독립된 센터에서 광학에 관련된 연구를 진행하고 있음
- 이러한 연구소의 경우 중소기업의 기술적 요구, 특히 기술 이전 직전 단계에 대응할 수 있는 전담 조직을 갖출 필요가 있으며, 기업의 기술적 요구뿐만 아니라 다양한 종류의 자문, 특히 특허에 관련된 자문도 수용할 수 있는 조직의 신설 및 활성화를 통해 업계와 융합된 새로운 개념의 연구 기관으로 성장할 수 있을 것임
- 융합 기술이 중시되는 최근의 경향에 따라 광과학기술 융합연구 및 교육을 담당할 “광과학기술 융합연구원”의 설립과 운영 활성화 필요
- 다양한 광융합기술 개발과 새로운 광융합 제품의 제조를 위해 산·학·연 기관들로 구성된 첨단 광융합산업 클러스터 설립 및 운영 활성화 필요