

펨토초 레이저 기반 나노바이오 응용기술 개발

이 글에서는 펨토초펄스레이저를 이용한 미세가공법의 나노바이오 산업에의 응용으로 게르마늄 나노구조체형성, 마이크로 유체공학 소자 제작 및 마이크로 입자 영상 유속체, 인돌주석산화막을 이용한 유기발광다이오드 제작, 세포에서의 나노바이오서지기술 개발에 대해 소개한다.

양 지 상 / 한국표준과학연구원 광기술표준부, 선임연구원

정 세 채 / 한국표준과학연구원 광기술표준부, 책임연구원

e-mail : scjeoung@kriss.re.kr

펨토초(10^{-15} sec) 레이저 발전 및 증폭과 제어기술의 획기적 발전은, 지난 20여 년 간 전자전이 한계를 뛰어 넘는 시간대에서 물질-빛의 상호작용을 이해하고 제어하는 분야에서 발전의 큰 원동력이었다. 최근에 펨토초 레이저는 동작 및 출력 측면에서 신뢰성을 갖추게 됨에 따라, 기초적인 측정 및 계측 분야에 국한되지 않고 실질적인 경제-산업분야에서 활용할 수 있는 첨단 기술로의 응용가능성이 한층 높아졌다. 따라서 향후 첨단 산업에 널리 적용될 것으로 예측되고 있다. 특히 나노 및 마이크로미터 수준의 첨단의 물리화학적 부품소재 공정 및 기계적 가공 기술은 나노, 바이오, 정보전자 및 환경 산업 등 21세기 신산업의 혁신적인 발전을 위한 핵심전략 기술이다. 이 글에서 다루고자 하는 펨토초 레이저 미세 가공기술은 물질-빛과의 상호작용을 이해하고 이를 제어하고자 하는 학문적 기초 연구 분야뿐만 아니라 실질적 측면에서 응용가능성이 매우 높기 때문에 최근 4~5년간 미국, EU 및 일본 등 기술 선진국들에서 매우 많은 투자를 하고 있다. 펨토초 미세가공 기술은 타 미세가공에 비해 에너지 투여가 매우 짧은 시간 동안만 이루어지므로 열에 의한 변형 및 손상을 최소화할 수 있고, 가공 공차의 최소화가 가능하며, 청정환경이 필요 없고, 다양한 재료에서 가공이 가능한 이점이 있다. 이 글에서는 펨토초 레이저 미세 가공 기술의 예로써 현재 한국표준과학연구원에서 진행하고 있는 연구들을 소개하고자 한다.

Ge 나노 구조체 형성

게르마늄은 실리콘에 비해 전자이동도가 높은 장점에도 불구하고 안정된 산화막 형성의 어려움 및 접합에서의 높은 누설전류 등 단점으로 인해 현재까지는 적외선 렌즈 등의 광학 소자로 그 응용이 제한되어 왔다. 이로 인해 게르마늄은 실리콘처럼 공정 기술이 체계화되어 있지 않을 뿐더러 그에 대한 기초연구가 부족한 실정이다. 한편 금, 은 등의 금속 물질들에 비하여 게르마늄의 레이저 직접 가공에 따른 구조 분석에 대한 연구가 전무한 상태이다. 본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용해 게르마늄을 가공하는 기술과 이 과정에서 레이저에 의한 게르마늄 결정성과 형태학 및 광학적 특성의 변화를 관찰하였다. 이를 바탕으로 전자, 광학, 바이오 등의 다양한 분야에서의 게르마늄을 이용한 여러 소자 개발에 있어서 초고속 레이저의 응용 가능성을 연구하였다. 실험에 사

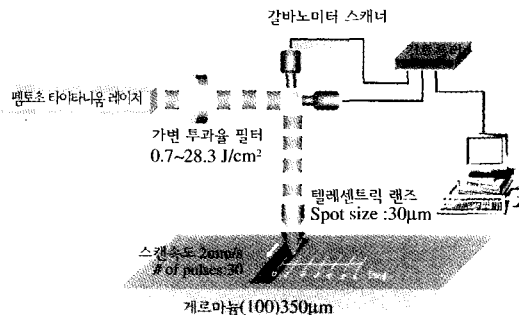


그림 1 펨토초 레이저 가공 모식도

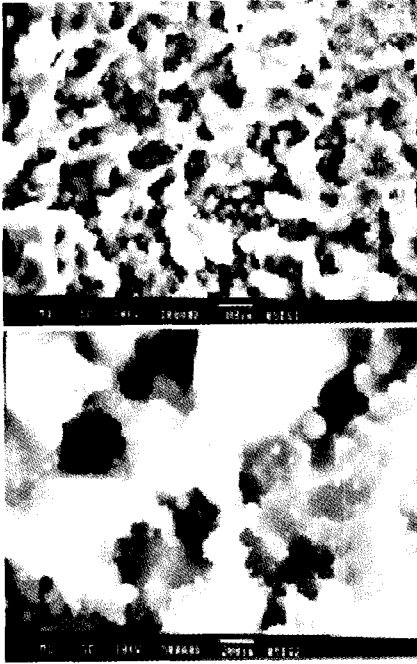


그림 2 45.3 J/cm² 으로 가공된 게르마늄 시편의 10,000배(상)와 50,000배(하) SEM 사진

용한 게르마늄 시편은 Eagle-Picher 사에서 구매한 것으로(100) 방향, 350 μ m의 두께를 갖으며 2" 웨이퍼를 조각내어 사용하였다. 본 연구에서 사용한 펄스 레이저 가공 시스템의 모식도가 그림 1에 나와 있다. 이 때 레이저는 증폭된 펄스 레이저로서 1kHz의 반복률 및 최대 1mJ/pulse 레이저 출력, 800nm의 파장 및 150fs 레이저 펄스폭을 갖고 있다. 발생된 레이저빔은 가변형 중성밀도필터를 이용해 조절되었다. 이렇게 출력이 조절된 빔은 컴퓨터에 의해 제어되는 갈바노 스캐너를 거쳐 z-축 이동장치 위에 놓여 있는 시편을 가공하게 된다. 이 때 레이저 빔의 초점 크기는 대략 40 μ m로 측정되었다. 펄스 레이저가 조사된 게르마늄 웨이퍼의 가공된 표면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다. 그림 2는 레이저 출력이 45.3J/cm², 레이저 주사 속도 2mm/s, 주사 횟수 3회일 때 가공된 게르마늄 표면에 대한 SEM 사진으로서 각각 10,000배와 50,000배로 확대한 사진이다. 위 사진을 살펴보면 레이저에 의해 게르마늄 원자들이 균일하게 어블레이션(ablation)이 되지 못하고 균

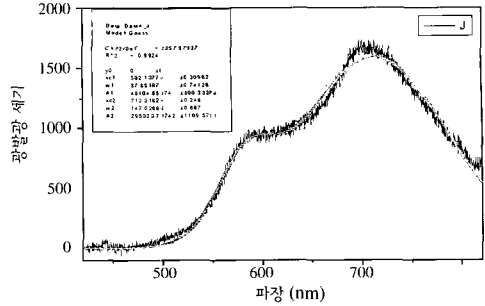


그림 3 가공된 Ge wafer로부터 관찰된 상온 광발광 스펙트럼

데균데 남아 있는 게르마늄 덩어리들이 관찰된다. 비록 스캔 속도가 느리기 때문에 한 지점당 10여 개의 펄스가 조사되지만, SEM 사진 크기가 11.5 × 8 μ m²이므로 레이저 빔 직경(~ 40 μ m)보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 게르마늄 원자들의 에너지 준위에 따라 우선 어블레이션되는 영역과 그렇지 못한 영역이 존재한다고 할 수 있다. 즉 레이저가 조사되는 시점에서 원자들의 준위가 어블레이션 임계치보다 낮은 지점에서만 어블레이션이 일어나서 원자들이 공기중으로 스퍼터링(sputtering)되는 것으로 생각된다. 그림 2에서는 스퍼터링되지 않고 남아 있는 게르마늄 구조들 사이사이에 수nm에서 100nm 크기의 입자들이 관찰된다. 특히 그것들은 거의 모두가 원형이다. 초음파 세척을 한 이후에 관찰한 시편이므로 재증착에 의한 것들은 아닌 것으로 판단된다. 이것들의 생성 원인에 대해서는 아직까지 밝혀진 것이 없다. 이런 나노-입자들 때문에 레이저 처리된 게르마늄은 이전과 달리 특이한 특성을 갖게 되리라 예상된다.

그림 3은 초고속 레이저로 가공한 게르마늄에 대하여 연속파 HeCd 레이저를 여기광으로 하여 상온에서 관찰된 광여기 발광 스펙트럼을 보여주고 있다. 가시광선 영역에서 비교적 강한 orange-red 광발광이 관찰되었으며, 이들의 광발광은 나안상태의 눈으로도 감지할 수 있다. 일반적으로 단결정상태의 게르마늄은 충만대와 전도대 사이의 에너지 폭이 0.67eV이며 간접전이성 반도체이므로 가시광선 영역에서는 발광할 수 없다. 그렇지만 bulk한 상태에서 비발광성 물질인 게르마늄이라도 매우 작은 크

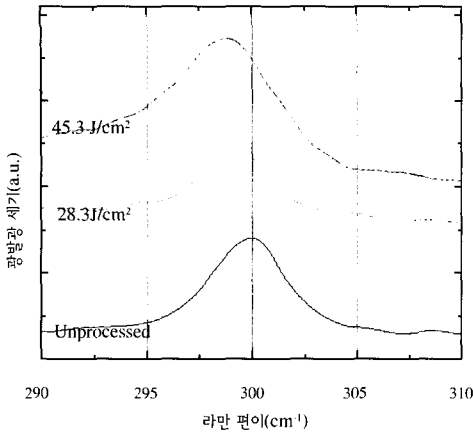


그림 4 상온에서 측정된 단결정, 레이저 처리한 (28.3, 45.3 J/cm²) 시편의 라만 스펙트럼

기의 나노 입자로부터는 양자구속현상에 의하여 가시광선 영역에서 발광이 일어날 수 있다.

한편 라만 분광법은 고체의 화학적 구조를 비파괴적으로 분석하는 것으로 그 스펙트럼 분석을 통해 게르마늄 나노 입자들의 구조를 파악할 수 있다. 특히 Ge-Ge 결합의 형성에 대한 직접적인 증거를 보여 줄 수 있으므로 이번 실험 결과를 분석하는 데 있어 매우 적합한 것으로 판단된다. 라만 피크의 이동은 주로 미세 구조에 있어서 포논 구속에 의해 생성되며 입자의 크기와 관련 있다는 것이 알려져 있다. 또한 라만 피크의 반치폭은 미세 구조의 모양과 매우 관련이 높다. 그림 4에는 단결정 게르마늄뿐만 아니라 레이저 가공 처리한(28.3, 45.3J/cm²) 게르마늄에 대한 상온 라만 스펙트럼이 나와 있다. 레이저 가공 출력력이 낮을수록 낮은 주파수 대역으로 더 많이 피크 이동이 관찰된다. 이동 크기는 단결정 시편으로부터 28.3J/cm²일 때는 대략 1cm⁻¹, 45.3J/cm²일 때는 대략 1.5cm⁻¹만큼 이동한 것을 관찰되었다. 이렇게 레이저 가공 처리한 경우에 관찰되는 Stokes 효과는 나노 입자에 의한 것으로 추정된다. 스파크 처리, cluster beam 기술, 심각한 변형, cosputtering에 의해 생성된 게르마늄 나노 입자에 대한 라만 분광 분석에 대한 연구가 이미 진행되었다. 구형 나노 입자를 가정했을 때 45.3J/cm²인 경우 입자의 크기가 대략 8nm 정도되는 것으로 추정된다.

현재 본 연구실에서는 Ge 단결정 웨이퍼상 생성되는 나노구조체의 크기를 조절할 수 있는 전혀 새로운 나노구조 생성 기술에 대하여 연구를 수행 중에 있으며 괄목할 만한 결과를 얻고 있다. 특히 이러한 나노구조체 생성 및 크기 제어 기술은 향후 초고속 레이저 pump-probe 방식의 계측기술과 접목하여 나노구조체의 형성 기작을 이해함으로써 더욱 더 잘 제단된 나노구조체를 제한된 영역에 패턴닝될 수 있는 기술로의 개발이 이루어질 것이다. 이러한 연구 개발은 초고집적 영상과 같은 첨단 IT산업 및 Ge 관련 산업 발전에 매우 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

마이크로 유체공학 소자 제작과 마이크로 입자 영상 유속계

단체급식이나 학교급식 시설에서의 식품 안정성 검사에 대한 요구와 규제는 더욱 강화되고 있는 시점에 현재 많은 급식시설 보유기관이나 업체에서는 검사방법이나 그에 필요한 장치의 한계로 인한 사전검사가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 전형적으로, 농장에서 사용하고 있는 물은 전체적인 수질과 분변에의 오염정도를 알려주는 총 미생물수에 대한 평가가 있어야만 한다. 하지만, 기존의 중량 집중화된 수질 환경위생 유기물검출에 있어서는 5일 이상 장시간의 반응시간과 연구실 형태에서의 측정시스템으로 이루어져 실시간측정 및 원격 모니터링이 불가능하다.

본 연구에서는 아파트 등 집단거주시설 및 단체급식이나 학교급식 시설 등의 상수원 수질 오염사고의 예방을 위한 음용수의 실시간 예비 실험 검사 및 감시를 통한 안정성 확보와 오수·분뇨 및 축산 폐수의 처리에 관한 오수시설 설치에 관한 법률적 기준에 준하는 수준을 측정하는 적은 비용의 예비시험 분석 방법을 제시하였다.

그림 5는 펄스 레이저를 이용하여 상용 유리기판에 미세 가공하여 시료의 세균수 검출 측정이 실시간으로 가능한 디바이스이다. 컴퓨터상에서 AutoCAD로 그려진 도면은 갈바노미터 시스템을 통해 상용유리기판위에 가공되는데, 이때 만들어지는 가

공부분이 채널, 시료 및 광원의 주입구이다. 상용 유리기판의 채널의 폭과 깊이는 반복횟수를 증가시켜 ~70 μm 와 ~100 μm 수준으로 결정할 수 있다. 이렇게 만들어진 디바이스를 표면의 친수성기 도입의 개질 과정을 거쳐 또 다른 상용유리와 맞대어 접합시킨 후 시료의 주입구와 출구가 막힘현상 없이 용이하도록 capillary를 접합시킨다. 또한, 시료의 형광 및 산란현상을 이용한 측정을 위하여 532nm의 다이오드 레이저를 전송시키기 위한 단일모드형 광파이버를 삽입시켜 프로토타입의 디바이스를 만든다. 그림 6은 실험 장치 개략도이다. 마이크로 펌프를 이용하여 주입구로 시료를 흘려주고, 광파이버로는 다이오드 레이저를 입사시킨다. 디바이스에서 형성된 채널과 광파이버가 만나는 교점의 T자형 부분은 검출기가 시료를 여기시키는 방향의 90°로 놓이게 된다. 이때, 흘러가는 시료에 레이저 광원은 자체 형광물질을 지닌 균물질에 대해서 형광을 발하거나 그렇지 못한 입자성 성분에 대해서는 산란광이 나오게 되는데 이 빛을 PMT로 측정함으로써 시료 속에 들어있는 균의 수를 정량적으로 측정이 가능하게 제작되었다. 그림 7의 왼쪽 그래프는 PMT로 측정된 빛의 세기를 시간에 따라 나타낸 것으로 임계치 이상 되는 개수를 counter를 통해 측정하게 된다. 오른쪽 그림은 1,000,000개/mL(sub ppm)의 세 가지 농도를 가진 표준시료에 대해 시료를 흘려주는 속도 함수가 선형적임을 보여준다. 즉 정량적 측정의 신뢰성 및 측정 가능한 농도범위를 보여주고 있다.

본 연구를 통해 음용수에서의 대장균, 살모넬라균이나 양식 및 가축 사육 등 관련 유사 산업에서의 수질 위해요소 관리를 위해 필수적으로 필요한 실시간 검사 및 감시를 할 수 있게 된다.

상용 유리 기판에 펄스초 레이저를 이용한 미세 가공의 또 다른 응용 분야로 마이크로 입자 영상 유속계를 들 수 있다. 이것은 유리판에 마이크로급의 채널을 가공하여 입자의 속도 벡터장을 구하는 것으로 디바이스 제작은 위에서 언급한 방법과 동일하다. 그림 8은 micro PIV 실험에 필요한 개략적 set-up을 나타낸 그림이다. 실험에 사용하는 레이저는 New Wave Research 사의 두 쌍의 Nd:YAG 펄스형 레이저이며 2차 조화파 광의 최대세기는 펄

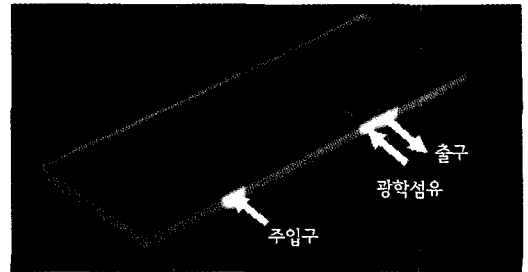


그림 5 세균 개수 측정용 디바이스

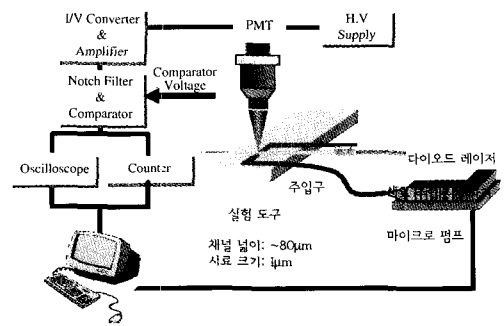


그림 6 세균 개수 측정 장치

스당 100mJ이며 반복률은 5~15Hz로 변화할 수 있고, 컴퓨터와 FlowMap 프로세서와 인터페이스로 컴퓨터에서 반복률을 조절할 수 있다. CCD 카메라는 Hamamatsu 사의 모델명 C8484-05CP이며, 픽셀 수는 1324×1024이며 셀 크기는 6.45 μm ×6.45 μm 이다. 주사기 펌프를 사용하여 미소유체 공학 소자에 유체를 흘려주는데, 여기서 유체는 증류수를 사용하고 매질인 입자는 지름이 200nm인 폴리스티렌에 색소를 착색하여 사용한다. 펄스형 레이저광이 현미경 렌즈로 입사하여 디바이스 채널 속 유체 내에 있는 입자에 집중되며 중심파장이 약 570nm인 강한 형광신호가 비간섭적으로 산란되어 나온다. 신호광은 다시 현미경 렌즈로 통하여 수집되며 Dichroic mirror를 사용하여 신호광만을 분리하여 CCD 카메라로 측정한다. 그림 9의 왼쪽 그림은 이렇게 측정한 그림이며, 오른쪽 그림은 CCD 영상을 교차-상관 기법을 이용하여 속도 벡터로 표시한 것이다. 여기서 교차-상관 기법이란 동일한 위치에서 시간차를 둔 레이저 펄스광으

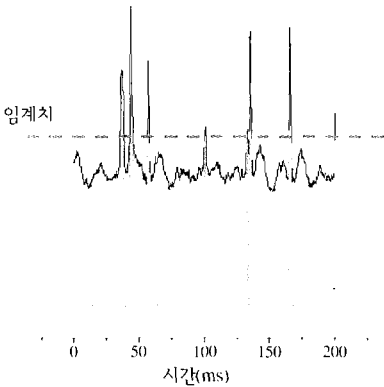
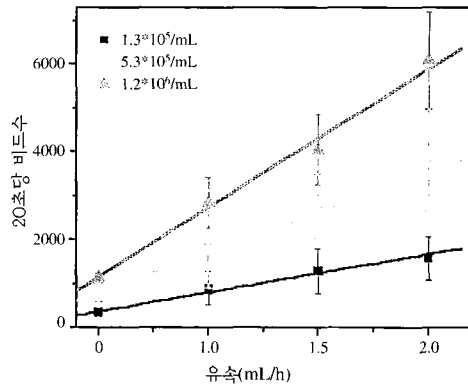


그림 7 세균 개수 측정 방법과(좌) 흘러주는 속도에 따른 세균 개수(우)



로 영상을 기록하여 입자의 위치 변화를 계산함으로써 속도 벡터를 구하는 방식이다.

본 연구에서는 3차원 미세유속측정 기술을 개발하기 위하여 밀변이 80 μm 이고, 윗변이 150 μm , 높이가 60 μm 인 사다리꼴 형태의 채널을 가공하여 깊이에 따른 속도 분포를 구하였다. 그림 10의 왼쪽은 채널 중앙에서의 속도를 깊이별로 측정된 값으로, 오른쪽의 시뮬레이션 결과와 비교적 일치함을 알 수가 있다.

이 마이크로 입자 영상 유속계를 통하여 미소 유체 고유의 물리량을 정밀하게 측정하고 해석이 가능하며, 나아가서는 BT, ET 등 미래 신산업의 다양한 미소 유동체에 응용할 수 있다.

ITO를 이용한 유기발광다이오드 제작

유리 위에 코팅된 Indium Tin Oxide (ITO) 박막은 투명하고 높은 전기 전도성의 특징을 지니므로 유기발광다이오드, 태양전지, LCD 등과 같은 광전자소자로 많이 사용되어 왔다. ITO 박막이 광소자로 사용하기 위해서는 패터닝이 필요하며 현재까지는 주로 습식 식각에 의해 패터닝이 이루어져왔다. 최근에 습식 식각을 대체할 건식 식각법이 시도되었는데, 이 방법은 유독성 식각액을 사용하지 않는 점에서 매우 유용하다고 할 수 있다. 펄펄초 레이저를 이용한 식각법은 기존의 연속파 레이저나 긴 펄스폭

을 지닌 레이저에 비해 열적 손상이 작은 잇점이 있으므로 2차원 또는 3차원 구조를 만드는데 적합하다. 하지만, 펄펄초 레이저 식각법으로 ITO 박막을 가공한 OLED 성능이 보고된 바 없다.

이 글에서는 패터닝된 ITO 박막을 이용한 유기발광다이오드가 가장 좋은 성능을 내기 위한 펄펄초 레이저 식각 조건을 연구하였다. 레이저 출력과 회수를 변화시켜가면서 가공된 홈의 깊이와 너비를 측정하였다. 그리고 펄펄초 레이저로 가공한 ITO로 만든 OLED와 기존의 습식식각으로 가공한 ITO로 만든 OLED의 성능을 비교하였다.

본 연구에서는 두께 0.7 μm , 가로 세로가 2cm 인 유리 기판에 ITO가 200nm 두께로 코팅된 것을 사용하였다. 그림 11은 여러 레이저 출력에서 펄스 개수에 따른 홈의 너비와 깊이를 나타내었다. 식

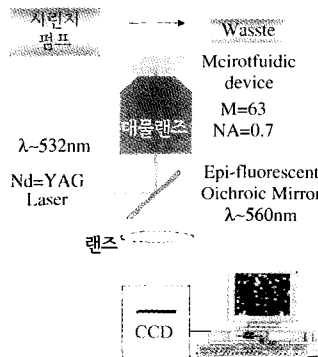


그림 8 Micro-PIV 실험 Set-up

각된 너비의 경우 출력이 0.49 J/cm²일 때는 일정하게 증가하지만 0.41J/cm² 이하에서는 일정한 값 이상으로 증가하지 않는다. 레이저 출력이 0.41J/cm² 이상에서는 펄스 개수를 증가시킴에 따라 깊이가 증가하다가 ITO 박막 두께인 200nm에서 수렴하게 된다. 하지만 레이저 출력이 0.29J/cm² 이하에서는 횡수를 증가시켜도 ITO 박막을 제거하지 못하게 된다. 즉, ITO 박막 삭각 조건은 레이저 파워가 0.41J/cm² 이상일 때 유리에 ITO 흔적을 남기지 않고 깨끗하게 삭각할 수 있음을 확인하였다.

가공된 홈의 표면 상태와 단면도를 살펴보기 위해 AFM으로 단층을 촬영하였다(그림 12). 레이저 출력이 0.41J/cm² 이상일 때 펄스 개수를 증가시키면 처음에는 V자형 홈을 이루다가 깊이가 200nm인 U자형 홈으로 바뀐다. 이것은 유리의 삭각임계치가 ITO보다 훨씬 크기 때문이다. ITO의 임계치는 본 실험 결과 0.07J/cm²로 측정되며 유리의 임계치는 1.2~1.6J/cm²이다. 삭각된 홈의 기하학적 모양과 전기적 저항을 고려할 때, ITO 박막이 가장 좋은 특성을 지니려면 레이저 펄스의 개수는 10개 이상이 되어야 한다.

위 가공 조건을 가지고 직접 OLED 소자를 제작하였다. OLED 소자 특성에 펄스 레이저 삭각 공정이 어떤 영향이 있는지 확인하기 위해 다른 조건은 똑같이 하고 출력만 0.41J/cm² (ITO I)와 0.49J/cm²(ITO II)로 바꾼 두 가지 종류의 소자를 제작하고 비교를 위해서 기존의 습식 삭각으로 패터닝한 ITO로 OLED 소자를 제작하였다. 제작된 소자의 전류-전압 특성과 형광세기를 그림 13에 나



그림 9 CCD로 측정된 발광 영상과(좌) cross correlation 기법으로 계산한 속도벡터 (우)

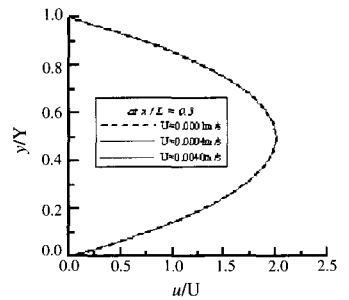
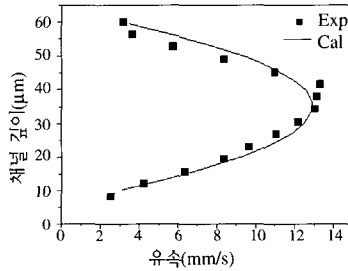


그림 10 사다리꼴 형태의 채널에서 깊이에 따른 속도 분포와(좌) simulation을 통해 구한 속도 분포 그래프(우)

타내었다. 발광하기 시작하는 전압(luminescence ~ 1cd/m²)은 2.6V이고, 최대 밝기는 30,000cd/m²으로 기존의 습식 삭각으로 가공한 소자와 비슷하다. 높은 전압 영역(8~10 V)에서는 기존 방식과 레이저 패터닝 방식이 비슷하나 낮은 전압 영역에서는 누설 전류가 나타난다. 이것은 레이저 가공시 열 영향에 의해 홈 주위로 작은 미세 구조가 생성되었기 때문이다. 이 미세구조가 유기발광다이오드의 양극과 음극 사이를 이어주는 작은 경로 역할을 한 것으로 여겨지고, ITO 패터닝 끝 부분에 절연층을 도입함으로써 충분히 해결될 수 있다고 생각된다.

본 연구를 통해 펄스 레이저 미세 가공법이 유리 기판에 해가 없이 ITO 박막을 패터닝 하는 방법으로 매우 유망함을 확인할 수 있었고, 대략 70 정도의 높은 종횡비의 마이크로 구조가 가능함을 보였다. 패터닝된 ITO 박막은 OLED 소자로 제작되어 기존의 습식 삭각에 의해 만들어진 소자와 동등한 전기적 특성을 가지므로 충분히 대체 가능한 공정으로 각광 받을 수 있다고 보인다.

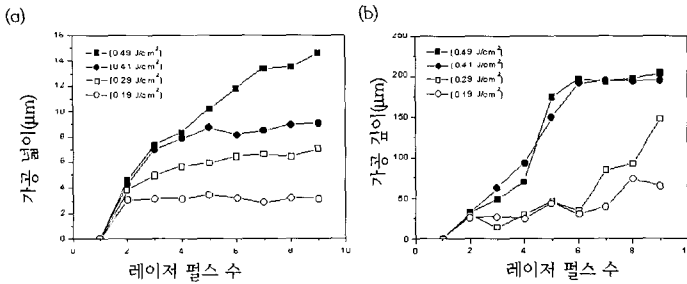


그림 11 여러 레이저 출력에서 펄스 개수에 따른 너비(a)와 깊이(b) 분포

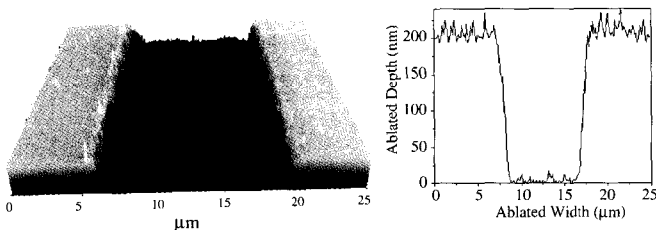


그림 12 레이저 출력 0.49J/cm²으로 9번 가공한 ITO 박막 AFM 사진(좌)과 단면도(우)

펄초 레이저 기반 cellular nanobiosurgery 기술 개발

1960년대 레이저가 최초로 발명된 후 응용된 분야가 안전 사진을 찍는 광원으로 사용되었다는 점을 고려하여 보아도 레이저의 의학·생물학적인 응용의 역사는 매우 길다. 그 후 라식이나 라섹과 같은 안과학적 시력 교정과 같은 외과학적 수술뿐만 아니라 미용학적인 측면과 가장 최근에는 광역학 치료의 광원으로 레이저의 응용 분야는 더욱 확대되어 가고 있다. 펄초 레이저의 경우에도 의학 분야에서의 응용 가능성을 타진하고 있는데, 펄초 레이저를 이용하였을 경우 정밀도 및 안전성 분야에서 기존의 엑시머 레이저를 이용하였을 경우보다 대등하거나 더욱 더 나은 어블레이션 결과를 얻을 수 있다.

그 활용방안으로 단일세포 레벨에서 생리적인 손상으로부터 완전하게 자유로운 nanobiosurgery 시스템을 개발하였고, 그 도식도를 그림 14에 나타내었다. 이때 펄초 레이저를 일종의 수술용 칼로써 사용할 수 있게 함으로써 세포에 손상을 최소화할 수 있게 하였으며 동시에 대상 세포를 진공과 같이 살아 있는 세포에게 치명적인 환경이나 급속 냉동 같은 인

위적인 조작 없이 가장 생리학적으로 적합한 환경에서 관련 연구 및 분석을 가능하게 하였다. 그림 15에는 본 연구에서 개발된 시스템을 이용하여 펄초 레이저로 절제를 하기 전과 후의 쥐의 뇌에서 채취된 신경세포에 대한 AFM 영상을 보여주고 있다. 이때 세포 막에 절제한 영역의 선포는 230nm 이하로서 사용된 레이저의 파장(800nm)의 회절한계보다 매우 좋은 가공 정밀도를 얻을 수 있었다. 또한 이러한 w 절제뿐만 아니라 세포막에 깊이 150nm 이하의 구멍을 드릴링할 수 있었다. 한편 이론적으로는 펄초 레이저 공정 정밀도의 한계는 없으므로, 향후 레이저 플루

언스 및 광학적인 집속방법과 같은 공정 변수를 최적화함으로써 더욱더 진보된 세포막 수술기술이 개발될 것이다. 이상에서 기술된 펄초 레이저 기반 nanobiosurgery 시스템은 특히 세포막의 존재유무에 구애 받지 않고 3차원적인 초미세 공정이 가능하다는 특징이 있다. 즉 레이저가 투과하는 세포막 영역에서는 레이저 유발 손상이 없으면서도 목표 영역에서는 물질 변화를 야기시킬 수 있다면 세포내 각종 세포 소기관에 대한 조작이 가능할 것이다. 이러한 방법은 비교적 잘 알려진 레이저의 선형 및 다중광자 여기와 같은 비선형 광학현상을 적용하여 레이저 초점거리의 거리를 획기적으로 단축하고 레이저 출력을 정밀하게 제어함으로써 해결할 수 있다. 또한 이 글에서 제안하고 이용한 방법에 형광현미경법 및 공초점 현미경을 포함한 초미세 나노광학 기술을 접목함으로써, 수술 과정에서 일어나는 세포의 생물리적인 변화를 손쉽게 실시간 모니터링함으로써 더욱더 많은 정보를 획득할 수 있도록 하였다.

현재 본 연구실에서는 세포의 크기 및 대상을 다루고자 하는 단백질 및 DNA 및 RNA와 같은 정보 전달자와 같은 크기이다. 따라서 가공 정밀도가 나노미터 영역으로 되게 하기 위하여 나노팁을 응용한 펄초

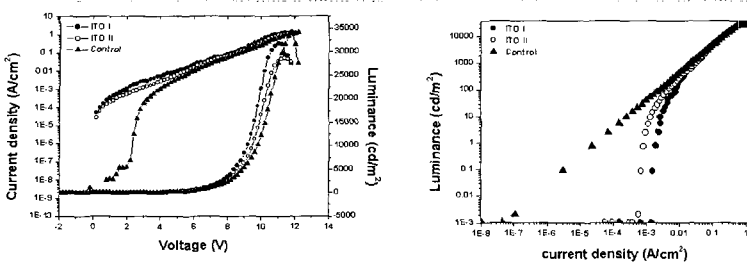


그림 13 레이저로 가공한 OLED(ITO I, ITO II)와 기존 습식식각으로 가공한 OLED(Control)의 전압 전류 특성과 발광 특성

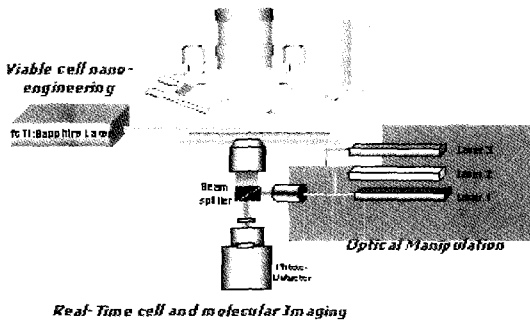


그림 14 펄초 레이저를 이용한 nanobiosurgery 모식도

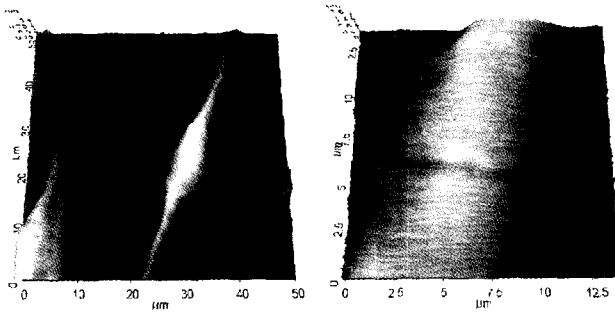


그림 15 세포 가공 전(좌) 후(우)의 AFM 이미지

초 레이저 조사방법도 동시에 가능하도록 고안하였다. 이러한 기술은 현재 매우 많은 노력 및 자금이 소요되고 있는 분석학적인 방법과 비교하여, 비교적 빠르고 값싼 방법으로 생물학적-의학적인 측면에서의 세포 기능에 대한 궁극적인 해답을 할 수 있는 가장 직접적인 연구법으로 발전되기를 기대한다. 이러한 nanobio-surgery 기술은 향후 광학집게(optical tweezers)법을 접목함으로써 동종 혹은 이종의 세포간 혹은 세포와 인공적으로 만들어진 각

종 마이크로 알갱이와의 동시 미세공정 기술을 개발함으로써 현재 활발하게 진행되고 있는 생물학적-의학적인 연구개발에 있어서 반드시 필요할 것으로 기대되는 초미세 공정 혹은 수술법에 대한 원천적인 기술로서 펄초 레이저 가공 및 공정 기술을 개발하고자 한다.

이상에서 보는 바와 같이 펄초 레이저를 이용한 가공은 기존 가공법이 할 수 없는 다양한 미세 가공을 할 수 있고 그 응용 범위도 매우 다양하다. 고출력 출력 특성에 의한 고차 광학 비선형적 물질-광 상호작용은 더 이상 레이저 파장에 의한 한계로 지워지지 않는 공간 분해능을 가능하게 하며, 이러한 기술 개발은 차세대 디스플레이용 광전 소재 및 전기전자 소재뿐만 아니라 생체조직 등 다양한 형태의 물질에 대한 미세 가공 기술로 응용할 수 있다. 또한 차세대 디스플레이 개발 및 생산에 필수적인 ITO와 같은 기능성 나노박막에 대한 초미세 공정 기술의 확보 및 기존의 습식 식각공정에서 야기되는 환경문제를 근본적으로 극복하기 위한 친환경적 미세 가공 공정 확보는 국가간 기술무역장벽 극복에 도움이 되리라 기대된다. 최근의 근적외선 영역에서의 고출력을 갖는 펄초 레이저의 비약적인 발전에 따라, 펄초 레이저광원을 실험실내 순수 연구 분야에 국한하지 않고 실제 응용성을 갖춘 장비로써 개발된다면 파급 효과는 실로 막대하다고 할 수 있다. 또한, BT, IT, NT 등의 융합 기반 기술 확보를 통한 타 기술 분야로의 펄초 레이저 초미세 공정 기술의 이전이 가능하다고 여겨진다.