

펨토초 레이저 초미세공정 원천 기술개발

정 세 채

한국표준과학연구원 광기술표준부 나노광계측그룹

scjeoung@kriss.re.kr

1. 서론

펨토초(10^{-15} sec) 레이저 발진 및 증폭과 제어기술의 획기적 발전은, 지난 20 여 년간 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 나노공정 및 제어 등 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 첨단 물리화학적 부품소재 공정 및 기계적 가공 기술은 나노, 바이오, 정보전자 및 환경 산업 등 21 세기 신산업의 혁신적인 발전을 위한 핵심전략 기술이며, 지난 4-5 년간 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 본 논문에서는 펨토초 레이저 미세 가공 기술의 예로써 현재 본 연구진에서 진행하고 있는 연구들을 간략하게 소개하고자 한다.

2. 본론

2-1. Ge 표면공정을 통한 상온 광발성 나노구조체 형성 및 그 크기 조절

그림 1 의 (a)와 (b) 펨토초 레이저를 single crystalline Ge 표면을 조사한 후에 표면의 변화를 AFM 및 HRTEM 으로 관찰한 결과이다. 약 10 nm 정도의 반구모양의 나노구조체가 Ge 표면 위에 매우 규칙적으로 생성되는 것을 확인할 수 있다 이러한 펨토초 레이저로 처리된 표면을 325 nm 의 레이저 빛을 상온에서 조사하였을 경우 400-800 nm 정도의 모든 가시광선 영역에서의 광발광 현상을 확인할 수 있었다 이러한 현상은 Ge 의 band gap energy 를 고려하였을 경우 일반적으로

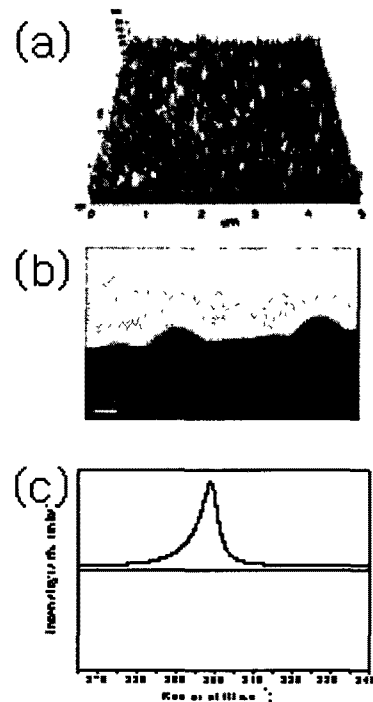


그림 1 펨토초레이저로 공정된 Ge 표면의 AFM(a), TEM(b) 및 Raman 스펙트럼(c)

해석할 수 없는 현상이며 나노구조체 형성에 따른 양자 구속 효과에 의한 것으로 해석될 수 있다. 이러한 양자 구속현상은 그림 1의 (b)에서 볼 수 있는 나노구조체 위에 자발적으로 형성된 수 나노미터의 GeOx 층에 의한 capped layer와 그림 1(c)에서 보여주는 라만 변이 스펙트럼으로도 알 수 있다. 또한 크리스탈의 축과 레이저의 polarization을 그림 2와 같이 변화 시키는 경우 나노구조체의 크기를 약 7에서 15 nm로 정교하게 변화시킬 수 있는 전혀 새로운 나노구조체 크기 제어 기술을 개발하여 보고한바 있다. 이러한 layer로 capping된 게르마늄 나노구조체는 현재 광디스플레이 소자 개발 및 생체 분자의 선택적인 측정을 위한 다양한 응용 연구를 현재 수행 중에 있다.

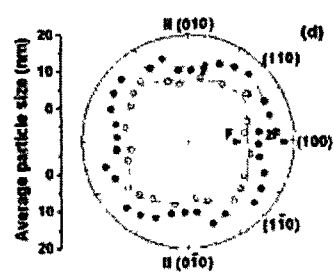


그림 2 레이저 polarization 변화에 따른 nc-Ge의 크기 변화

2-2. 펄스 레이저 초미세 공정 기술의 세포 성장 제어 및 단세포 기반 미세수술 기술 개발

제할 의학분야에서 조직 공학적인 측면뿐만 아니라 세포기반칩을 응용한 신약 스크리닝 및 다양한 분야에서의 세포의 성장인자 조절에 의한 다양한 형태의 세포

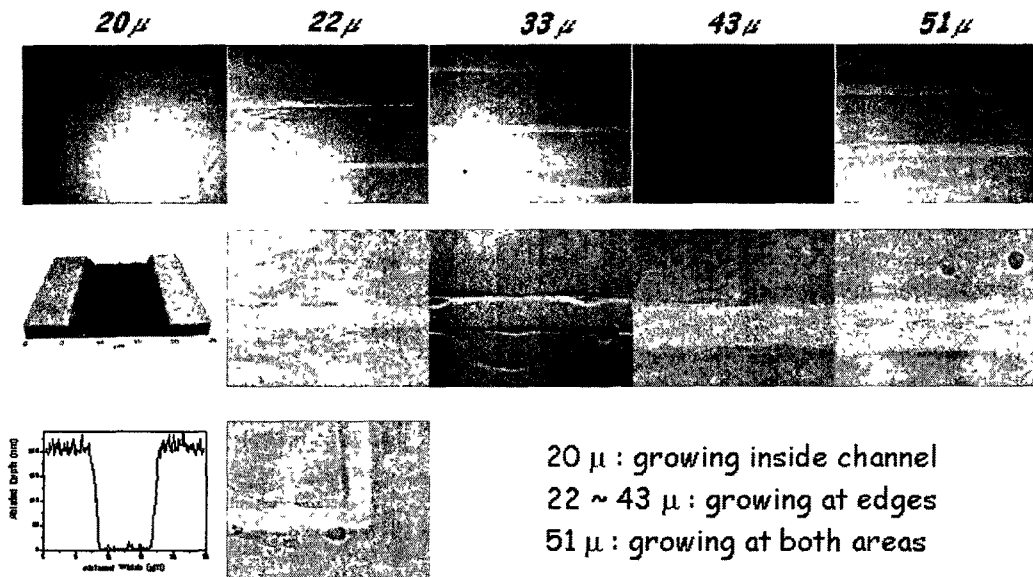


그림 3 펄스 레이저로 공정된 ITO 나노막막 글라스위에 성장시킨 신경세포주의 성장 패턴

성장 기술의 수요는 매우 활발하다. 본 연구실에서는 이제까지 이루어져왔던 세포

의 adhesion 바이오 고분자의 micro-patterning에 의한 세포 성장 기술 개발 측면과는 다른 나노구조를 기반으로 한 물리적인 구조를 변수로 한 새로운 세포 성장 인자를 구하고 이를 응용하고자 하는 연구를 시도하고있다. 그림 3은 전도성 새락믹 소재인 ITO (Indium Tin Oxide)의 나노박막을 펨토초 레이저 공정을 통하여 초미세 공정을 시도하고 이를 기반으로 N2a 세포주를 성장시키는 연구를 수행하고있다. 그림에서 보여 주는 바와 같이 제거된 ITO 박막의 공정 면적에 대한 세포 성장과정이 매우 특이적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 현재 본 연구 실에서는 이러한 특이적 세포 성장 조건의 생물 화학적인 측면에서의 원인 규명을 위한 PMMA와 같은 유기고분자 박막에 대한 연구를 활발하게 시도하고 있다.

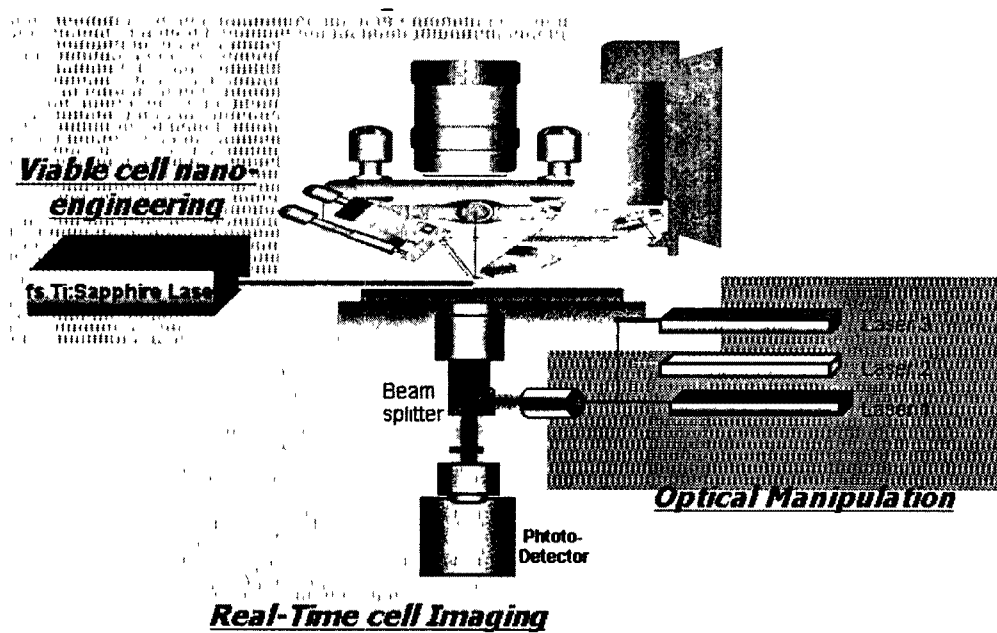


그림 4. Schematic diagram for optical viable cell-nanosurgery system

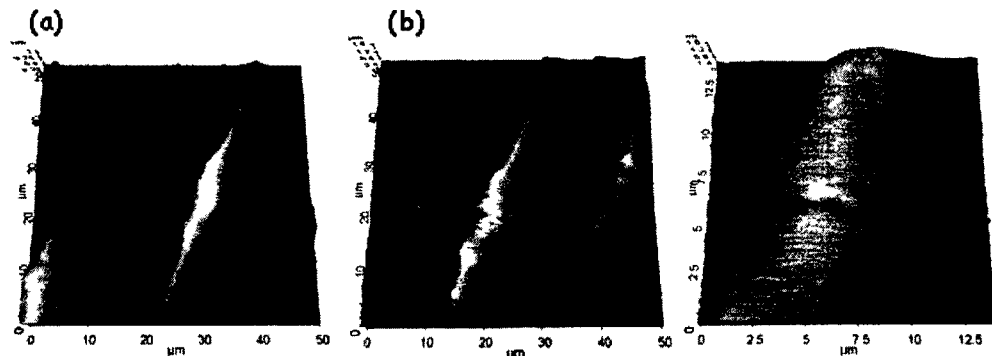


그림 5 AFM image of Neuron cells before (a) and after (b) fs laser irradiation

그림 4는 본 연구진에서 개발하고 있는 살아있는 단세포의 초미세 공정 및 조작 workstation의 도식도를 보여주고 있으며 그림 5는 이상의 시스템을 이용하여 membrane이 공정된 N2a neuron celline의 AFM 이미지를 보여 주고있다. 이러한 기술이 개발이 완료되면 이를 통하여 다양한 형태의 단일세포 상에서 가능한 다양한 bio-technology에 대하여 본 발표를 통하여 토의하고자 한다.

2. 결론

이상에서 보는 바와 같이 펨토초 레이저를 이용한 가공은 기존 가공법이 할 수 없는 다양한 미세 가공을 할 수 있고 그 응용 범위도 매우 다양하다 고출력 특성에 의한 고차 광학 비선형적 물질-광 상호작용은 더 이상 레이저 파장에 의한 한계로 지워지지 않는 공간 분해능을 가능하게 하며, 이러한 기술개발은 차세대 디스플레이용 광전 소재 및 전기 전자 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 습식각공정에서 야기되는 환경문제를 근본적으로 극복하기 위한 친환경적 미세가공 공정 확보는 국가간 기술무역장벽 극복에 도움이 되리라 기대된다 최근의 근적외선 영역에서의 고출력 펨토초 레이저의 비약적인 발전에 따라, 펨토초 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 펨토초 레이저 초미세 공정 기술의 이전이 가능하다고 여겨진다.

본 연구는 부분적으로 식품의약품안전청 용역연구개발사업 및 산업자원부의 지원에 의하여 수행된 연구 결과임.

1. M -II Park et al, *J Kor. Phys Soc* 46 (2005) 531-535
2. M -II Park et al, *Optics and Lasers in Engineering* in press, (2005)
3. S C Jeoung et al *Jap J Appl Phys*, in press (2005)