

펨토초 레이저 초미세 가공 기술

손익부

레이저 미세 가공기술은 가공 도구인 레이저 빔의 고집속 및 시/공간적 정밀제어가 가능하여 반도체, 전자, 자동차, 메카트로닉스 등의 첨단산업 분야에서 고품질의 부품을 가공하는데 필수적인 기술로 널리 활용되어 왔다. 또한 환경 친화적이며, 비접촉 공정으로서, 수십 마이크로미터의 형상을 갖는 부품 가공영역에서 기존의 공정을 대체하는 신 공정 개발에 기여하여 왔었다. 그러나 최근 레이저 가공 공정은 열적 가공현상 및 분해능의 한계로 인하여 경량, 박판, 고밀도, 및 고집적화 되어가고 있는 산업의 추세를 따르기 힘들어졌다. 이에 따라 기존의 레이저 가공 방식보다 더욱 정밀한 새로운 개념의 첨단 레이저 가공 기술의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이와 같은 첨단 레이저는 수 마이크로미터 급의 형상 가공뿐만 아니라 열적영향이 없으며 3차원 가공이 가능한 펨토초 레이저가 대표적이다.

펨토초란 무엇인가? 펨토(femto, f)란 국제단위계(SI)에 정해져 있는 SI 접두어의 하나로 10^{-15} 을 나타내는 단위이다. 1펨토초(1fs)란 1×10^{-15} 초를 말한다. 이것은 극히 짧은 시간이며 이 우주에서 가장 빠른 빛이 $0.3 \mu\text{m}$ 진행하는 시간이다. 펨토초 레이저란 이같은 빛을 방사하는 레이저를 말한다. 모드 잠금(Mode lock)이라는 기법으로 짧은 시간 간격의 펄스 열(Pulse train)로서 펨토초 광펄스를 발생시키고 Chirped Pulse Amplification(CPA)이라는 교묘한 방법을 이용하여 지금의 고출력 펨토초 레이저를 개발하였다. 현재는 펨토초 레이저 가공에 대한 연구가 급속히 확산되어 가고 있다.

펨토초 레이저를 이용한 레이저 가공에서 가장 큰 특징은 재료의 열 반응 속도보다 빠른 시간 내에 빔을 조사하

기 때문에 레이저와 재료의 상호반응 시 발생하는 열이 전파되는 시간을 갖지 못하여서 재료의 열적손상이나 구조변화를 발생시키지 않는 장점이 있다. 다시 말하면, 재료의 국부적인 부분이 극도의 짧은 시간 내에 제거되어 일반적인 레이저 가공에서 나타나는 열 확산 현상은 발생되지 않으며 기존 레이저의 열적 가공보다 정밀한 가공이 가능하다(그림1). 이와 같이 펨토초 레이저 가공은 극도의 높은 침투출력(10GW)에 의한 비선형 현상인 다광자 흡수(Multi-photon absorption) 프로세스에 의해 가공물질에 제한적이지 않고 금속, 유전체, 세라믹 등 다양한 재료의 정밀 가공이 가능하며 비열적(Non-thermal) 성질에 의해서 정밀 미세가공이 가능하다. 또한, 기존의 레이저 가공법으로서는 시도할 수조차 없었던 투과물질 재료의 내부에 서브미크론 크기의 패턴을 3차원으로 가공하여 광통신 분야, 나노 및 바이오 관련 산업의 광범위한 분야에 활발한 응용이 이루어지고 있으며, 21세기 다양한 산업의 발전에 큰 영향을 주는 첨단 미세 가공이다.

고등광기술연구소에서는 펨토초 레이저의 미세 가공 기술 및 응용 연구를 진행하고 있으며, 산·학·연에 레이저 가공 기술 지원 및 공동 연구를 수행하고 있다. 본 고에서는, 고등광기술연구소 미세광학연구실에서 최근에 진행하고 있는 펨토초 레이저 초미세 가공에 대한 연구 내용과 실험결과를 소개하고자 한다. 그림 2는 펨토초 레이저를 이용한 실리콘 기판의 주기적인 $30 \mu\text{m}$ 크기의 미세 홀 가공에 이다. 이와 같이 펨토초 레이저는 가공물의 주변에 형성되던 용융물 및 잔유물(Debris)의 발생도 대부분 억제할 수 있고 발생된다 하더라도 매우 미세한 파

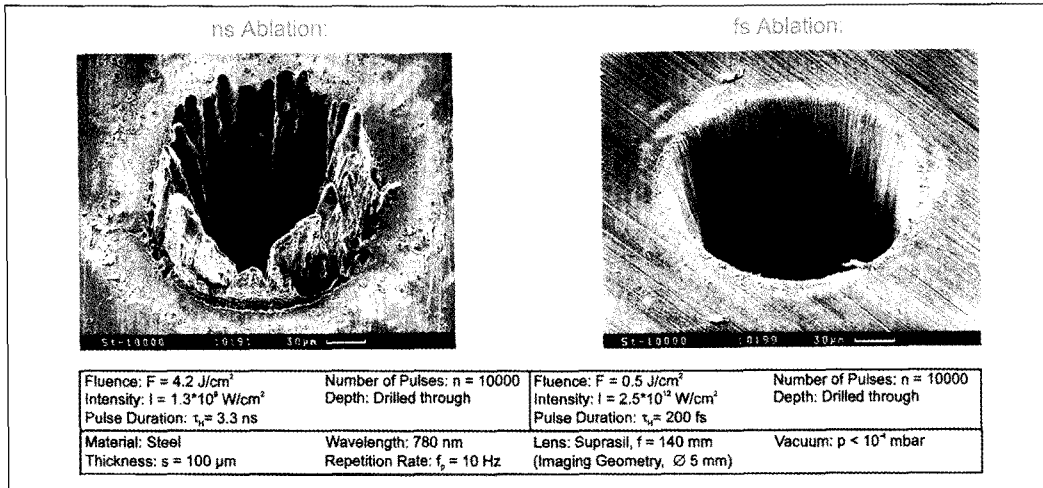


그림 1. 나노초와 펨토초 레이저의 가공 특성 비교(Ref. Laser Zentrum Hannover e.V.)

우더 형태이며 이는 쉽게 세척이 가능하다는 장점이 있어 현재 전 세계적으로 각광을 받고 있다. 또한, 펨토초 레이저를 이용한 유리 가공은 기존의 타 레이저에 비해서 우수한 가공 특성을 보이며, 광섬유(Optical fiber)에 아래에서 위로 가공이 이루어지는 후면 가공법(back-side etching)을 적용함으로써 완전히 미세한 홀 가공이 가능하다(그림 3).

펨토초 레이저를 이용한 가공은 투명물질(Transparent material) 내부에서도 가능하며 미소공간에서 굴절을 변

화를 유기하거나 발광성 결함을 생성하여 3차원 광도파로 광학소자(Optical waveguide devices) 제작에 폭넓게 응용되고 있다. 높은 첨두출력(Peak power)을 가지는 펨토초 레이저 펄스를 투명물질의 내부에 집광하게 되면 다광자 흡수 및 이온화 등의 비선형 현상에 의해서 굴절률 변화를 유기하게 된다. 또한, 자기집속(Self-focusing) 현상에 의해서 가공선폭은 더욱 작아지게 된다. 이와 같이 펨토초 레이저를 이용한 투명 재질 내부에서 서브미크론 크기의 점과 직선패턴 가공은 고집적 광메모

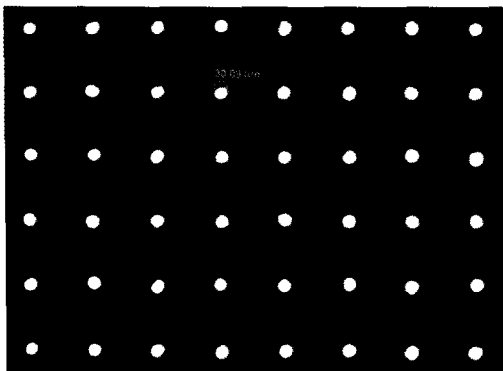


그림 2. 실리콘 웨이퍼 홀 가공

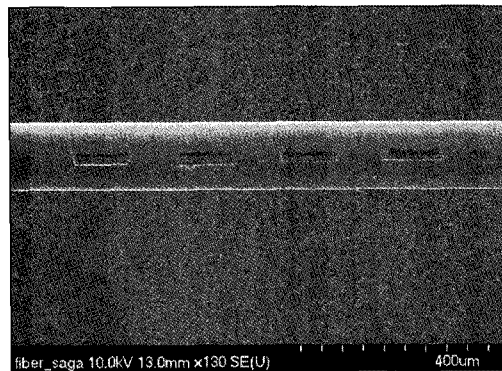
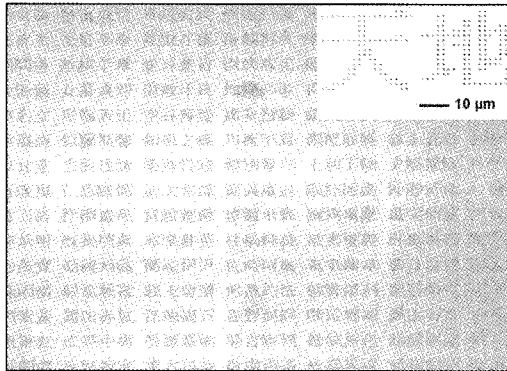
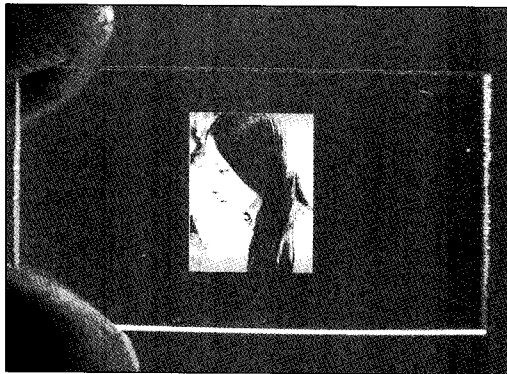


그림 3. 광섬유 미세 홀 가공

빛과 함께 ●●●

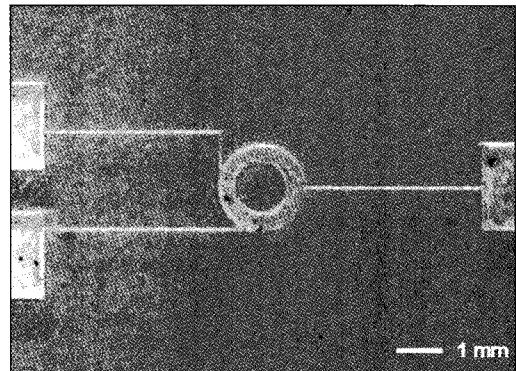


(a) 전자문(Chinese characters) 기록

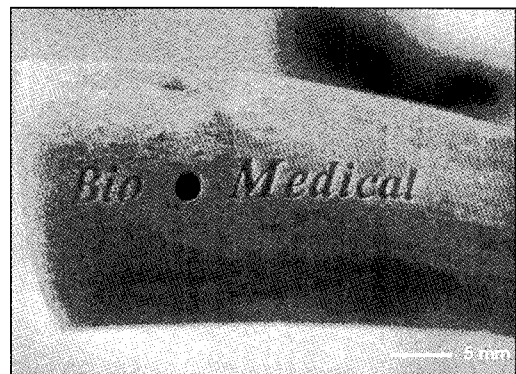


(b) 무지개 빛 그림(Hologram figure) 기록

그림 4. 플라스틱 기관 내부에 기록된 전자문 및 무지개 빛 그림



(a) 바이오 칩(Mixer) 가공



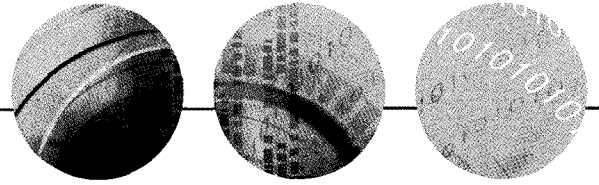
(b) 뼈 가공

그림 5. 바이오 칩 및 뼈 가공

리(Optical memory), 포토닉 밴드 갭(Photonic band gap) 구조를 갖는 광자결정(Photonic crystal)이나 브래그 격자(Bragg grating) 제작이 가능하다.

그림 4는 플라스틱 내부에 서브미크론 크기의 미세 패턴을 이용하여 전자문 및 무지개 효과 그림 이미지를 기록한 측정 사진이다. 이와 같이 펨토초 레이저는 다양한 응용 가능성을 보여준다. 펨토초 레이저를 이용하여 유리에 바이오 칩 제작하거나 뼈를 가공할 수도 있다(그림 5). 열에 의한 영향이 최소화 되므로 가공 주변에 열 영향이 거의 발생하지 않아 치과의 임플란트 시술에 유용할 것이다.

나노 테크놀로지가 진보해감에 따라 나노, 서브미크론 수준의 2차원·3차원 영역에서 물질 조작이나 가공이 필요하게 되었고, 펨토초 레이저 미세가공과 같은 새로운 가공기술의 개발은 나노 테크놀로지 분야의 연구개발을 촉진할 것으로 기대하고 있다. 펨토초 레이저를 이용한 가공은 다양한 재료의 미세가공뿐만 아니라 도파로, 3차원 광자 결정, 광 정보 저장 소자 같은 광통신 소자의 제작에도 이용할 수 있다. 그리고 펨토초 레이저를 이용한 Bio-MEMS, Bio-chip, LoC 응용 및 인체 조직이나 암 세포의 선택적 제거와 같은 의료 치료에도 이용할 수 있다. 이와 같이 펨토초 레이저 가공기술은 광통신산업, 바



이오·의료산업, 나노·신소재산업, 환경·원자력산업, 반도체·컴퓨터산업, 정밀기계·금형산업 등의 다양한 응용분야와 큰 시장을 형성하고 있다.

그러나 현재 펨토초 레이저가 양산성 문제를 해결하고

산업체 적용을 위해서는 높은 출력과 펄스 반복률 (Repetition rate)을 가지며 동시에 장기 안정성(Stability)을 갖는 펨토초 레이저와 대면적 가공 기술 및 시스템 개발이 이루어져야 할 것이다.



저/자/약/력 손익부

손익부 박사는 인하대학교 전자공학과에서 학사와 석사를 경북대학교 전자공학과에서 광통신 전공으로 박사학위를 취득하였다. 한국정보통신대학교에서 박사후연구원으로 펨토초 레이저를 이용한 광도파로 제작에 대한 연구를 하였으며, 현재 광주과학기술원 고등광기술연구소에서 선임연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 펨토초 레이저를 이용한 초미세 가공 기술 및 응용 연구이며, 현재 펨토초 레이저 가공 특성 및 고집적 광학소자 제작에 대한 연구를 수행하고 있다.