

# 펨토초 레이저를 이용한 크롬 박막의 가공성 평가에 대한 연구

The study on the ablation characteristic of chromium thin films using the  
femto-seconds laser

강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 신홍규, 김웅겸  
강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 김병희  
한국산업기술대학교 기계공학과 이종길  
한국표준과학연구원 나노광계측부 정세채

## I. 서론

레이저에 의한 미세 가공분야는 고부가가치 산업으로 시급한 기술개발을 필요로 하며 기술개발이 될 경우 지적재산권 확보 및 국가 기술력 경쟁에서 우위를 차지할 수 있는 좋은 분야이다. 특히, 극 초단 펄스 레이저에 의한 재료가공은 최근 들어 상대적으로 긴 펄스 레이저에 비해 가공 측면에서 우수한 장점이 있어 마이크로 머시닝 가공기술 및 나노머시닝 가공기술에 대한 연구가 빡 특성과 가공현상을 고려하여 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup> 다양한 메탈 계열의 재료뿐만 아니라 투명성과 투과성이 우수하여 디스플레이 시장에 주로 사용되는 ITO(indium oxide) 박막의 가공에도 레이저를 이용한 미세 패터닝 연구가 진행되고 있다<sup>[2]</sup> 본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용하여 크롬 박막 가공에 있어 경계면의 안정화와 더불어 크롬 박막 가공의 최적 값을 도출하는데 있다. 크롬 박막 가공에 있어 발생할 수 있는 현상들을 레이저 강도(intensity)에 따라 분류하여 폭발, 반발압(recoil-pressure), 용해(melting), 그리고 기화(vaporization) 현상 등으로 최소화하였다. 또한, 크롬 박막 표면과 레이저 가공각을 높이기 위하여, 반복 펄스 실험을 수행하여, 크롬 박막 표면 각이 수직이 될 수 있도록 최적 조사 조건을 도출하였다.

## II. 실험방법

크롬(chromium) 박막의 미세 패터닝 및 경계면 거동을 살피기 위하여 Quantronix사의 ultrafast Ti-Sapphire CW 레이저를 사용하였다. Fig 1은 실험에 사용된 펨토초 레이저의 구성 개요도이다. 펨토초 레이저는 780nm의 파장을 가지며, 펄스폭은 150fs, 반복율은 1kHz이다. 또한, 증폭기를 통하여 출력되는 기복 출력 에너지는 최대 1mJ/pulse이며, 가변형 neutral density filter를 통하여 레이저 파워를 조절하였다. 필터를 통하여 출력된 레이저 빔은 갈바노 스캐너(galvanometer scanner)를 통하여 x-y-z의 3축 테이블에 부착된 크롬박막시편을 가공한다. 또한, 펄스를 조절 할 수 있는 펄스 조절기를 부착하여 펄스의 수에 따른 크롬 가공이 가능하며, 자체 내장된 소프트웨어를 통하여 사각형, 원, 삼각형 및 기타 다양한 패턴의 구현이 가능하다. 이러한 고속 초미세 공정용 펨토초 레이저에서 펨토초 펄스를 이용하여 물질 가공의 공정 정밀도뿐만 아니라, 레이저 가공에 있어 열에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 중요한 과정이라 할 수 있다.

실험에 사용된 박막은 크롬 박막으로 두께 약 220nm로 PVD(physical vapor deposition) 방식인 스퍼터링(sputtering)으로 증착하였다. Evaporation 증착은 공정이 단순하고 증착속도가 빠르며 장비의 가격이 저렴한 반면, 필름 균일도(film quality)가 나쁜 단점이 있어 증착 속도는 느리나 균일도가 다소 확보되는 스퍼터링으로 증착하였다. DC/RF 방식의 스퍼터 방법을 채택하였으

며 Fig 2는 본 실험에 사용된 스퍼터의 개요도 및 장비이다

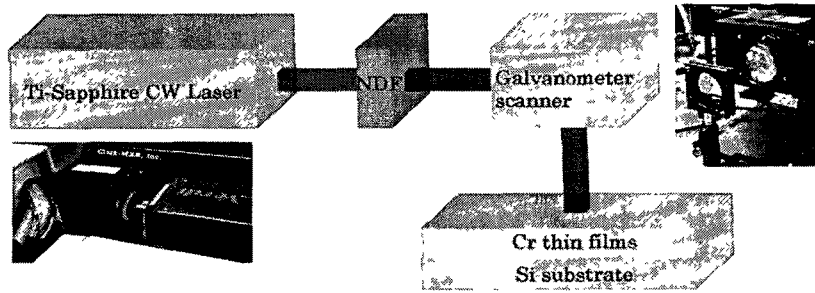


Fig 1 Schematics of femto-seconds laser

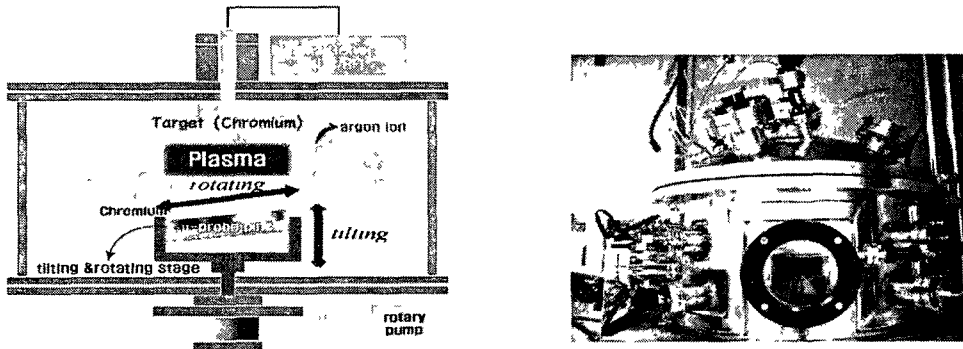


Fig 2 Schematics of femto-seconds laser

펄초 레이저를 이용하여 약 220nm급 크롬 박막의 경계면 안정화 실험을 위하여, 레이저 파워(laser intensity)에 따른 실험을 수행하여 최적의 문턱에너지(threshold value)를 도출하였다. 본 실험에서 설정한 크롬 박막의 문턱에너지는 약 5mW이며, 빔 사이즈는 약 15~20 $\mu$ m이다. 동일 에너지로 출력된 50 $\mu$ m의 빔 사이즈를 갖는 나노초 레이저와 비교해 볼 때, 상당한 에너지가 크롬 박막에 주사되었음을 알 수 있다. 그리고 나노초 레이저를 이용하여 크롬 박막을 가공한 결과와 비교하여 펄초 레이저의 열적 에너지 전달이 극도로 적다는 것을 증명하기 위하여 동일 에너지의 범위에서 크롬 박막의 거동을 살펴보았다.

또한, 크롬 박막의 표면과 펄초 레이저에 의해 가공된 표면의 접촉각을 최대 90°까지 높이기 위하여 반복 펄스 패터닝을 수행하였다. 문턱에너지로 설정된 5mW 외에 3mW에서 20mW까지의 에너지 범위에서 10회까지의 펄스 반복 실험을 수행하여 크롬 박막층의 접촉각이 최대가 되는 조건을 살펴봄과 동시에 펄초 레이저에 의해 거동되는 크롬 박막 표면의 현상을 관찰하였다.

### III. 결과 및 고찰

펄초 레이저는 극초단파의 펄스폭을 가짐으로써 이에 따른 열적 손상이 극히 미세하다. Fig 3은 5mW의 동일 레이저 파워에서 15ns의 나노초 레이저와 150fs의 펄초 레이저의 크롬 박막에 대한 거동 실험 결과이다. 나노초 레이저의 경우, 가공부위 주변에 약 200nm 정도의 둔덕이 발생하였으며, 가공된 영역 내부에서는 그와 비슷한 크기의 골이 발생하였다. 그리고 20 $\mu$ m 범위 안에서 약 100nm 정도의 크롬 박막만 기화되었다. 가공 영역 내부에서의 골은 크롬 박막이 미처 기화되지 않고 용해된 상태에서 레이저에서 발생하는 폭압에 의해 가공 부위 주변으로 밀려난 것으로 추정된다. 그러나, 펄초 레이저를 이용한 5mW 크롬 박막의 거동 실험에서는 열적 손상이나 폭압에 의한 주변 둔덕은 발생하지 않았으며, 안정된 가공 표면이 나타났다. 이는, 동일

에너지 영역에서 펄스폭이 작을수록 열적 손상 없이 극도로 빠른 속도로의 미세 가공이 가능하다는 점을 의미하며, 또한 두 레이저의 펄스폭에 따른 가공 차이점을 극명하게 나타내는 결과라고 할 수 있다 Fig 4(a)는 5mW의 레이저 파워에서 펄스별 크롬 박막의 가공 깊이를 측정한 그래프이다 동일 에너지 영역에서 펄스가 증가할수록 크롬 박막은 기화되며, 점진적으로 실리콘 층에 접근하게 된다 또한, 9~10 펄스에서 크롬 박막은 전부 기화되며 실리콘 층의 일부가 열 융해하여 경계면의 표면 거칠기를 저하시키기 시작한다 Fig 4(b)는 7mW, 3펄스에서 실리콘 층의 열 융해된 모습을 나타낸 3차원 측정 이미지이다 크롬 박막 층은 기화되었으나, 실리콘 층과 만나는 경계면에서 레이저의 폭압에 의해 열 융해가 실리콘 층에서 발생한 것으로 추정된다 10mW 이상의 레이저 파워에서는 Fig 4(b)와 같은 열 융해 현상이 심하게 발생하였다

Fig 5(a)는 5mW의 레이저 파워에서 1~10 펄스로 반복 실험을 한 결과이다 1펄스에서는 거의 V 홈에 가깝게 가공이 되었으나, 펄스가 증가함에 따라, 깊이 및 상 하단의 직경이 증가하였다 하지만, 5펄스 이상에서의 상단 직경은 거의 50 $\mu$ m로 일정하였으며, 단지 깊이 및 하단의 직경만이 넓어졌다 또한, Fig 4(a)에서 알 수 있듯이, 8펄스부터 가공깊이 변화가 적음을 확인할 수 있었다. 즉, 펄스초 레이저의 문턱에너지인 5mW에서는 크롬 박막만을 기화시킬 뿐, 더 이상의 실리콘 층에 대한 영향을 미치지 않는 것으로 실험에서 확인되었다 또한, 펄스가 증가함에 따라 가공 부위가 증첩됨에 따라, 하단 부의 직경이 증가하였다 Fig 5(b)는 3mW와 5mW에서의 가공부위와 경계면의 각을 측정한 그래프이다 3mW의 1~2 펄스에서는 가공이 이루어지지 않았으며, 3펄스부터 가공이 시작되었다 앞서 설명한 바와 같이, 펄스의 양이 증가함에 따라 경계면과의 접촉각도 증가한다는 것을 확인할 수 있었다 또한, 문턱에너지 이하에서는 각의 변화량이 약간 높이나 나타나는 것을 확인할 수 있었다 이는 크롬 가공부위의 하단 직경이 상단 직경에 비해 매우 작아서 각의 변화량이 커지는 것으로 판단된다 향후, 5mW 레이저 에너지에서의 펄스에 따른 물리 화학적인 거동 현상에 대한 고찰을 수행할 예정이며, 박막 조건이 CVD(chemical vapor deposition)인 경우에서 펄스초 레이저 가공 실험을 수행하려한다

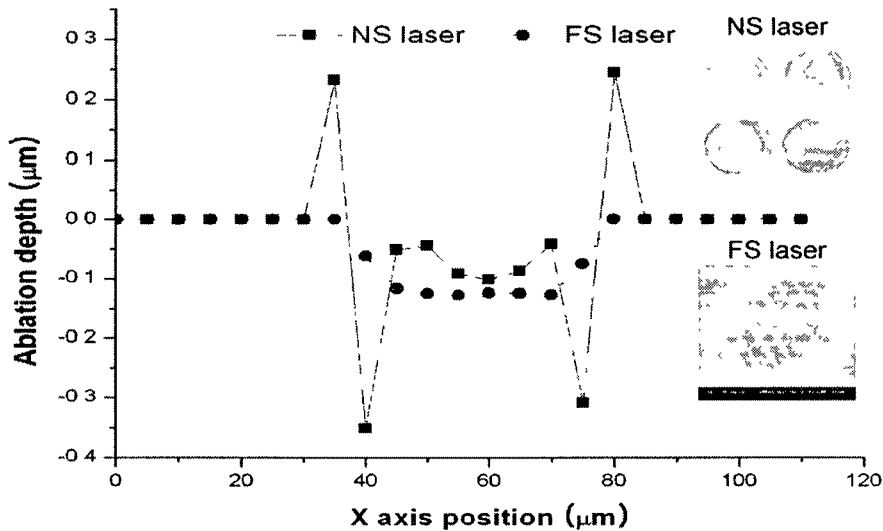
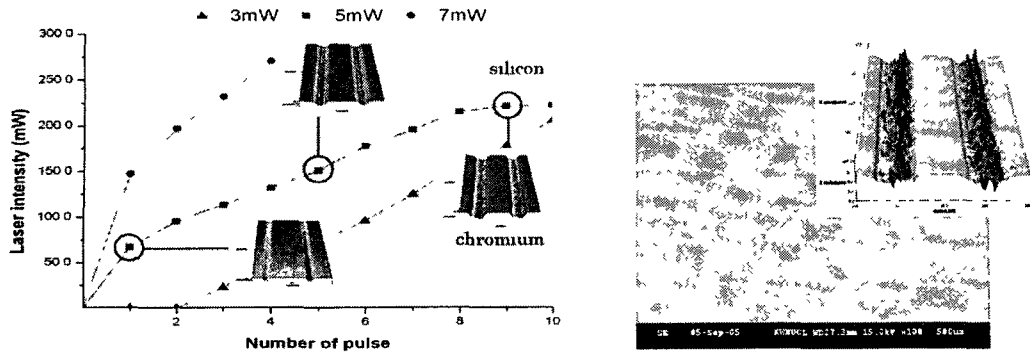
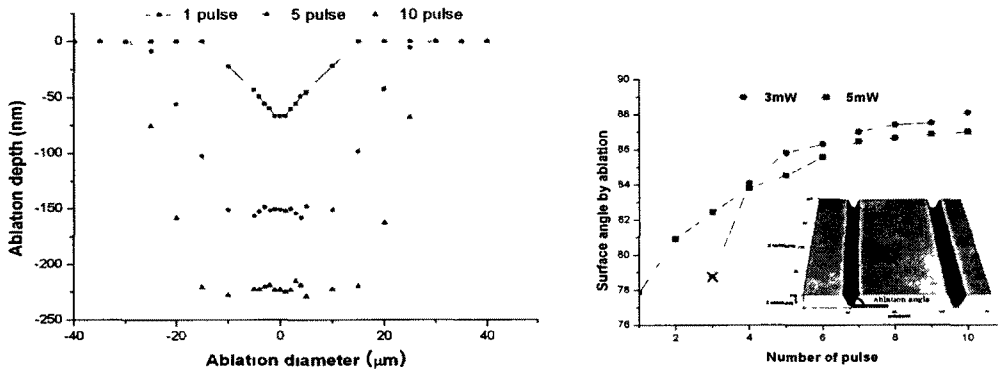


Fig 3 Comparison graph of NS laser and FS laser at laser intensity of 5mW



(a) ablation depth graph by pulse (b) SEM photo of silicon layer melting zone  
Fig 4 Laser ablation of chromium thin film by number of pulse



(a) surface depth graph by pulses [5mW] (b) ablation angle graph by pulse  
Fig 5 Laser ablation by multi pulses

#### IV. 결론

본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용하여 크롬 박막 가공의 경계면 안정화와 최적 조건의 가공성을 도출하였다. 다양한 레이저 강도와 펄스에 따른 실험을 통하여, 5mW의 문턱 에너지에서 7펄스에서 안정적인 경계면을 구할 수 있었으며, 8펄스에서 경계면의 변화를 확인하였다. 크롬 박막의 경계층과 가공단면의 평편도를 확보하기 위하여, 반복 펄스 실험을 통하여 최대 87°까지의 수직에 가까운 단면을 얻을 수 있었다. 또한, 경계면 근처에서 레이저의 잠열에 의해 실리콘 층의 부분적인 용해현상을 증명하였다. 향후, 크롬 박막과 실리콘 웨이퍼의 경계면에 있어서 펨토초 레이저의 열에 의한 영향, 반발압, 폭압에 대한 세부적인 실험 및 분석을 통하여, 펨토초 레이저의 우수성을 검증할 예정이다.

#### V. 참고문헌

- 1 M R Park, S C Jeoung, et al Ultrafast laser ablation of ITO thin films for organic light-emitting diode application, Optics and Laser in Engineering, pp 1-9 (2005)
- 2 Y H Son, et al Excimer laser crystallization of a ITO thin film deposited on plastics, JKPS, Vol 42, No 6, pp 814-816 (2003)