

펄토초/나노초 레이저에 의한 Cr 박막의 미세 패터닝 특성 비교

Characteristic Comparison on the Micro Patterning of Cr Thin Films by Femto/Nano Laser

강원대학교 기계·메카트로닉스공학과, 신 홍 규, 김 응 겹, 김 병 희
한국산업기술대학교 기계공학과, 이 종 길
한국표준과학연구원 나노광계측부, 정 세 채

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, 극초단펄스 레이저에 의한 재료가공은 최근 들어 상대적으로 긴 펄스레이저에 비해 가공측면에서 우수한 장점이 있어 마이크로 머시닝 가공기술 및 나노머시닝 가공기술에 대한 연구가 빡 특성과 가공현상을 고려하여 활발히 진행되고 있다[1-2] 다양한 메탈 계열의 재료뿐만 아니라 투명성과 투과성이 우수하여 디스플레이 시장에 주로 사용되는 ITO(indium oxide) 박막의 가공에도 레이저를 이용하여 미세 패터닝에 대한 연구가 진행되고 있다[3] 또한, 다양한 관점에서의 수학적 모델을 통하여 레이저와 가공물 사이의 주변 현상 및 원인을 규명하였으며[4], AE(acoustic emission) 센서를 이용하여 Cr 박막의 문턱값(threshold)을 도출하는 방법을 제시하기도 하였다[5]

본 연구에서는 펄토초 및 나노초 레이저를 이용하여 Cr 박막상의 미세 패터닝 시 발생하는 표면 현상 및 가공 결과를 관찰하였다 특히, 각각의 레이저 파워의 변화에 따른 Cr 박막의 가공 깊이, HAZ(Heat Affected Zone)의 분포도, Cr과 Si 표면이 만나는 경계면의 거동 및 문턱에너지 값을 확인함으로써 박막가공에 있어서 최적의 인자를 도출하였다 또한, 펄토초 레이저와 나노초 레이저의 가공 결과를 비교·분석함으로써 펄토초 레이저가 향후 산업현장에 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다

II. 펄토초 vs 나노초 레이저

Cr 박막의 미세 패터닝 및 경계면 거동 조건을 찾기 위하여, 본 실험에서 사용한 레이저는 펄토초 레이저와 나노초 레이저를 각각 사용하였다 먼저, Fig 1(a)의 펄토초 레이저는 Quantronix사의 ultrafast Ti-Sapphire CW 레이저로 780nm의 파장을 가지며 펄스폭은 130fs, 반복율은 1kHz이다 또한, Amplifier에서 나오는 레이저의 파워는 약 280W이며 attenuator를 통하여 1~180W로 크기가 변하며, Fig 1(b)와 같이, PC와 연결된 펄스 서터 장치와 스캐너(Scanner)를 통하여 최종적으로 빔을 주사하는 방식이다 PC의 프로그램에 의해서 다양한 형태의 패턴 도시화(원, 사각, 삼각, 기타 복잡한 형상)가 가능하다 또한, 순차적인 레이저의 파워에 따른 펄스별 가공을 위하여, 수동형태의 서터 개방기를 이용하여 원하는 펄스만큼의 레이저를 Cr 박막에 직접 주사함으로써 Cr 박막의 문턱값을 도출하였다

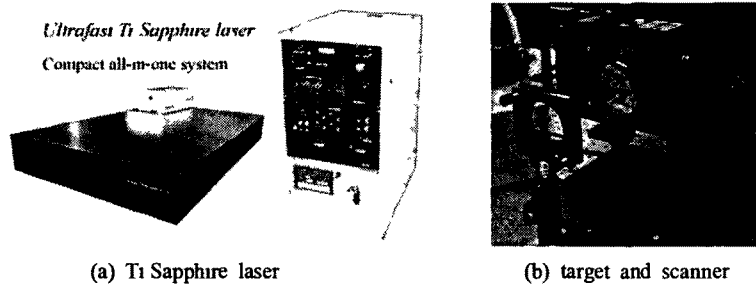


Fig 1 Femto-seconds laser and accessories

Cr 박막의 미세 패터닝을 위해 사용한 레이저는 Fig 2(a)와 같은 나노급(15ns)의 엑시머 레이저 (248nm)를 사용하여 기초실험을 수행하였다. 나노급 레이저의 파장 대역은 248nm의 KrF를 레이저 소스로 사용하는 엑시머 레이저이며, 평균 출력 파워는 10W, 펄스당 에너지는 100mJ이다. 실제 박막 패터닝을 위해 사용한 레이저 파워의 크기는 1~10W이며, 초당 1pulse로 박막 거동 실험을 하였다. 또한, Fig 2(b)와 같은 CCD 카메라와 광학 현미경을 통하여 컴퓨터의 모니터 상에서 실시간 거시적인 측정 및 관찰이 가능하였으며, 자체 프로그램을 통하여 원하는 시간과 펄스만틈의 레이저 양을 Cr 박막에 미세 패터닝을 할 수 있었다.

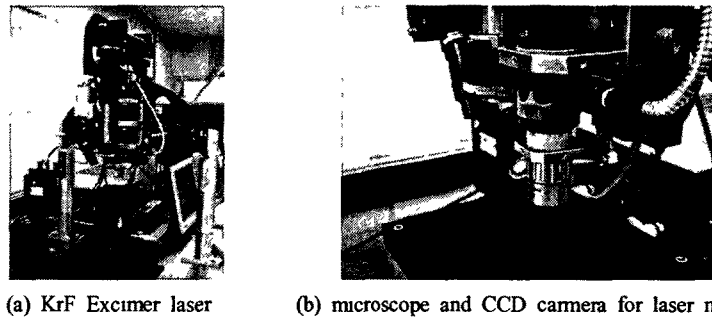


Fig 2 Nano-seconds laser and accessories

사용된 박막은 두께 180nm 정도의 Cr 박막이다. 균일한 Cr 박막 증착을 위하여, Fig 3(a)와 같은, 자성체를 이용한 스퍼터링 시스템을 이용하였다. 약 10^{-4} Torr의 고진공에서 Si 웨이퍼 상에 나노박막 증착을 하였으며, 스퍼터링 시간은 2~3분 정도로 회전 증착하였다. 스퍼터링 증착에 의한 박막의 평균두께 및 레이저 미세 패터닝 후의 가공면의 깊이 측정을 위하여 Fig 2(b)와 같은 alpha-step을 사용하였다. 측정에 사용된 alpha-step은 박막의 두께를 측정하는 접촉식 측정기로서 시료위에 도포시킨 각종 박막의 표면을 scanning하여 약 0.1nm 미만의 분해능으로 분석하는 장비이다. Fig 2(c)는 스퍼터링 시간에 따른 Cr 박막의 두께를 alpha-step을 이용하여 측정한 그래프이다. 증착시간의 증가에 따라 박막 두께가 점진적으로 증가함을 알 수 있다.

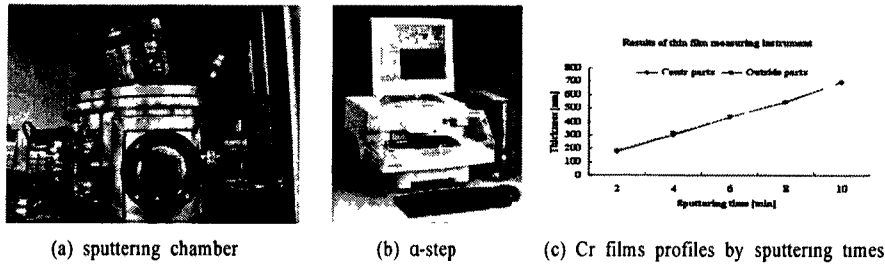


Fig 3 The sputtering system for deposition of thin films and measurement system

III. 결과 및 고찰

Cr 박막의 미세 패터닝은 펨토초/나노초 레이저를 구성하여 실험하였다 먼저, 펨토초 레이저를 이용하여 Cr 박막의 표면 거동 및 문턱값을 찾기 위하여, 1~50mW의 범위에서 시작했다 20mW 이하에서는 Cr 박막의 표면에 약간의 거동만 관찰되었을 뿐 표면 가공은 일어나지 않았다 20mW~50mW에서 Cr 박막이 점진적으로 가공이 되었으며, 특히 35mW의 레이저 에너지에서 펄스가 증가에 따라 Cr 박막이 점진적으로 기화되었으며, Si 웨이퍼의 표면이 드러나기 시작했다 또한, HAZ(Heat Affected Zone)에 의한 열적 영향은 없었으나, 폭발(explosion)에 의해 가공부위 주변에서 일어나는 돌기형상이 약 20nm 정도 나타났다 Fig 4는 레이저 파워 35mW에서 Cr 박막의 거동을 실험한 결과이다 Fig 4(b)는 SPM(Scanning Probe Microscope)을 이용하여 측정된 결과로 약 35nm 정도의 깊이 값이 측정되었으며, Fig 4(c)는 α-step를 이용하여 측정된 결과로서 SPM과 유사한 40nm 정도로 측정되었다 하지만, 전체적으로 펨토초 레이저의 기본 구성이 완벽하지 못하여 완벽한 원의 초점을 찾지 못해 향후 추가 연구가 필요하다 또한, 50mW이상의 레이저 파워 범위에서의 펄스별 레이저 실험에서는 Cr 박막의 문턱값 이상의 레이저 파워가 주입되어서 폭발과 리코일 압력(recoil pressure)에 의한 가공부위의 돌기 현상이 심하게 관찰되었다 하지만, 열확산에 의한 가공 표면의 열전달 현상은 나타나지 않아, 펨토초 레이저가 HAZ에 의한 영향이 미소하다는 것을 확인할 수 있었다

반면에, 나노초 레이저를 이용하여 Cr 박막의 표면 거동 실험에서는 10mW이상의 레이저 파워에서는 폭발 및 열 확산 현상이 심하게 나타났다 펨토초 레이저와 비교하여 상당히 높은 열적 에너지가 Cr 박막에 주입되었음을 알 수 있었으며, 또한 Fig 5(b)와 같이, 폭발에 의해 발생하는 주변 돌기가 펨토초 레이저에 비해 현저히 높게 나타났다 주기적인 레이저 파워의 감소를 통하여, 약 3mW에서 나노초 레이저에 의해 가공된 Cr 박막의 문턱값을 찾을 수 있었다 펨토초 레이저에 의해 가공된 표면 결과와 어느 정도 유사성을 확인할 수 있었으나, 전반적으로 가공 부위의 돌기 형상이 약 100nm 정도로 크게 나타났으며 펄스가 증가함에 따라 가공 부위 내의 주변부가 깊게 가공되었다 이는 약 10^6 정도의 레이저 펄스 폭 차이에 의한 주된 영향이라 볼 수 있으며, 두 레이저의 소스가 전혀 다른 매개체를 한다는 점도 어느 정도 영향을 주었다고 짐작된다

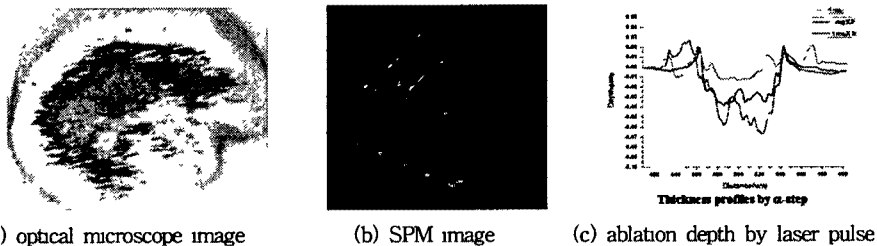


Fig 4 Ablation results by femto seconds laser at 35mW

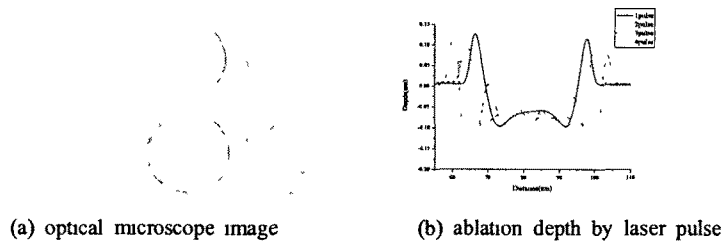


Fig 5 Ablation results by nano seconds laser at 3mW

또한, 유한요소법을 이용하여 펨토초 레이저 및 나노 레이저 가공 공정 해석을 수행하였다 해석에서는 상변화를 고려하였으며, 열전달 현상의 개입 정도를 조절하기 위한 열전달 계수의 조절을 비롯한 일부 물성치의 조절과 공정 변수의 조절을 통하여 실험결과와 일치하도록 해석 변수를 조절하였다 이렇게 조절된 해석 변수를 이용하여 다양한 경우에 대한 해석을 시도하였다

Cr 박막에 대한 레이저 조사에 의한 온도 분포 해석을 수행하고, 온도가 특정 값 이상이면 가공일 일어난 것으로 가정하였다 펨토초 레이저의 예측된 온도 분포는 Fig 6과 같다 박막이 제거되는 판정하는 온도를 약 2500K로 가정하였을 때, 20mW의 에너지를 가지는 레이저 조사에 대해서는 가공이 일어나지 않은 것을 볼 수 있으며, 35mW의 에너지를 가지는 레이저 빔이 두 펄스 조사 된 경우는 약 40nm가량의 가공이 진행된 것으로 판정할 수 있음을 볼 수 있다 한편, 레이저 조사에 따른 Cr 박막의 온도 분포를 분석하여 Cr의 용융점 이상이 되는 온도가 나타는 시점이 초기에 발생할수록 폭압에 의한 가공부위 돌기 형상의 형성이 심한 것으로 판정할 수 있음을 확인하였다

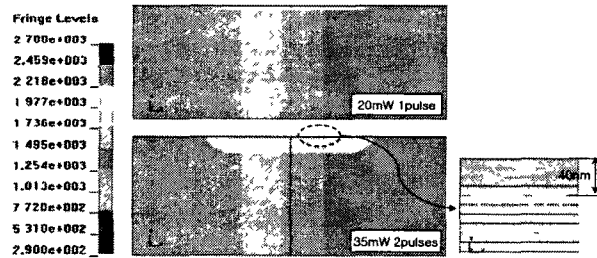


Fig 6 Predicted temperature distribution in Cr film

IV. 결론

본 연구는 펨토초 레이저와 나노초 레이저를 이용하여 Cr 박막의 표면 거동 및 주변 현상에 대하여 비교하였다 전반적으로 펨토초 레이저의 열적 영향에 의한 열확산이 적음을 알 수 있었으며, 폭압에 의해 발생하는 가공부위의 돌기형상이 나노초 레이저 보다 적음을 확인하였다 이는 펨토초 레이저의 펄스 폭(pulse duration)이 나노초 레이저 보다 현저히 짧기 때문이다 또한, 유한요소 해석을 통하여 Cr 용융점 이상의 온도에서 폭압에 의한 가공부위의 돌기 형상을 증명하였다

V. 참고문헌

- 1 B N Chichkov, et al High power laser ablation, Proc SPIE 4760, pp 19,(2002)
- 2 J G Kim, et al Cr thin film machining by ultrashort pulse laser, pp 116~119,(2003)
- 3 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)
- 4 Meng Hua, et al Limit analysis for laser removal of micron contaminant colloidal silicaon dioxide particles from the super-smooth optical glass substrate by pulse Nd YAG laser, Optical & Laser Technology, 37, pp 9~20, (2004)
- 5 Guangyu Liu, et al Evaluation of excimer laser ablation of thin Cr film on glass substrate by analysing acoustic emission, OLE, Vol 42, pp 639~651, (2004)