

레이저 펄스를 광원으로 이용한 레이저 세정기의 시작품 제작과 공정기술 개발

윤태림¹, 이영복¹, 안성준^{2*}

¹선문대학교 디스플레이반도체공학과

^{2*}선문대학교 스마트정보통신공학과

*e-mail:sjahn0@sunmoon.ac.kr

Development of process technology and manufacture of a prototype laser cleaner using laser pulses as a light source

Tae Rym Yoon¹, Young Bok Lee¹, Seong Joon Ahn^{2*}

¹Dept. of Display and Semiconductor Engineering, Sun Moon University

^{2*}Dept. of Smart Information and Communications Engineering, Sun Moon University

요약

박막을 증착하는 chamber의 부품들은 공정을 진행하는 동안 chamber 내부에 축적된 polymer를 제거하는 maintenance 작업을 받아야 한다. Polymer를 제거하는 기존의 sand blast 세정방법은 설비에 대한 투자 비용이 높고 유지비용이 지속적으로 발생할 뿐만 아니라 환경오염의 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 보다 친환경적인 세정공정을 실현하기 위하여 대부분의 polymer와 반응성이 우수한 적외선 영역의 펄스형 레이저를 광원으로 이용한 레이저 세정기의 시작품을 제작하였다. 그리고 대면적 부품의 세정을 실행하여 시작품으로 제작된 레이저 세정기의 세정능력을 평가하였으며 양산에 적용이 가능한 공정기술을 개발하였다.

1. 서론

Thin film을 증착하는 chamber 내부의 대면적 부품들에 누적된 polymer를 제거하는 maintenance 작업은 grain이 작은 bead를 고압의 공기와 더불어 노즐에서 고속으로 분사하여 부품의 표면에 충돌시킴으로써 표면을 세정하는 건식 방식과 잔존하고 있는 오염물을 세척하는 습식 방식으로 이루어져 있다. 대면적 부품들에 누적된 polymer를 제거하는 기존의 sand blast 방법을 사용할 경우, 설비에 대한 투자 비용이 높고 유지비용이 지속적으로 발생할 뿐만 아니라 환경오염에 대한 문제점이 있기 때문에 대체할 수 있는 차세대 세정공정의 필요성이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 보다 친환경적인 세정공정을 실현하기 위하여 레이저 펄스를 광원으로 이용한 레이저 세정기의 시작품을 제작하고 양산에 적용이 가능한 공정기술을 개발하였다.

2. 펄스형 레이저 세정기의 시작품 제작

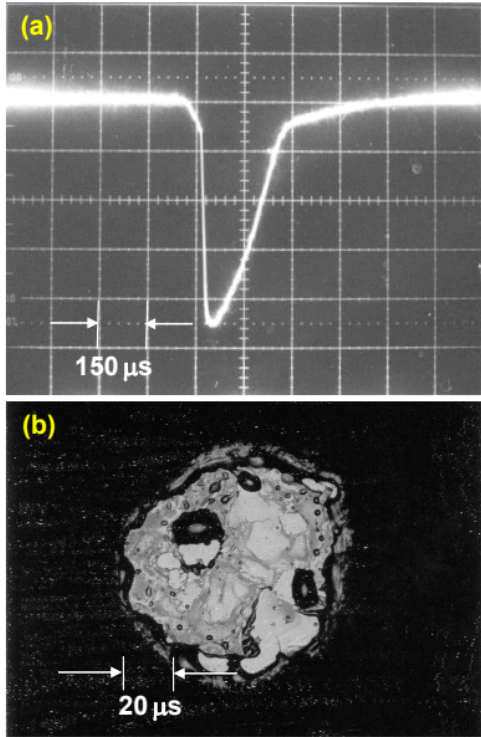
레이저 펄스를 광원으로 사용하여 thin film이나 소재를 가공할 경우, 레이저 세정방식은 기존의 sand blast 방법과 비교하여 볼 때 공정의 자동화가 용이하고, 가공 물질과 레이

저 펄스와의 상호작용 시간이 짧아서 단단하고 열에 의한 변형이 쉬운 물질을 쉽게 가공할 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 열원(heat source)의 펄스폭이 짧아서 열에 민감한 element를 보호할 수 있으며 가공 부위에 레이저 빔을 국소적으로 focusing 하기 때문에 에너지가 전달되는 부분이 매우 작아져서 가공 물질의 distortion이나 shrink를 방지할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다[1].

대부분의 polymer는 적외선 영역($1.0\sim 1.5\ \mu\text{m}$)의 파장에 대하여 반응성이 우수하기 때문에 세정공정의 광원으로 적외선 파장의 고체레이저를 선택하는 것이 적합하다[5, 6]. 본 연구에서는 레이저 세정기의 시작품 제작을 위하여 최대 출력이 $\sim 80\ \text{W}$, 반복률(repetition rate)이 $20\ \text{kHz}$, 반치폭(FWHM : Full Width Half Maximum)이 $\sim 150\ \mu\text{s}$, 파장이 $1.064\ \mu\text{m}$ 인 펄스형 Nd:YAG 레이저[2]를 레이저 세정기 시작품의 광원으로 선택하였다.

그림 1(a)는 본 연구에서 제작한 레이저 세정기의 광원으로 사용한 Nd:YAG 레이저의 펄스를 storage oscilloscope로 측정한 파형으로 반치폭이 $\sim 150\ \mu\text{s}$ 임을 알 수 있으며 그림 1(b)는 polymer가 흡착된 가공 물질(대면적 부품)의 표면을 레이저 펄스로 조사한 후, 레이저 펄스에 의해 손상된 대면적 부품의 표면을 현미경으로 관찰한 사진이다. 시작품으로 제작된 레이저 세정기는 세정기의 공간적 가공 능력을 확대하기 위하여 로봇 이송기와 광섬유 광 guide system을 채택

하였다. 그림 2는 본 연구에서 제작한 레이저 세정기의 시작품 사진이다.

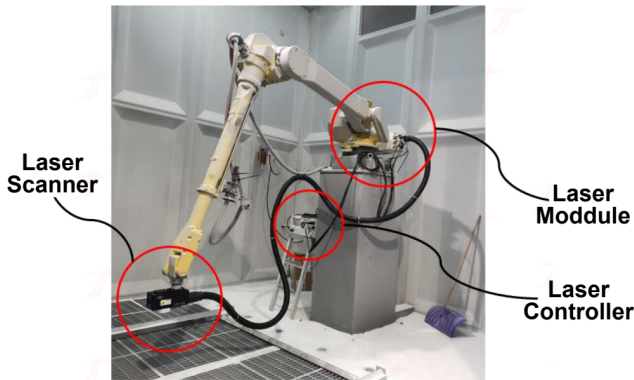


[그림 1] (a) Storage oscilloscope로 측정된 Nd:YAG 레이저의 펄스 파형 (b) 레이저 펄스에 의해 손상된 대면적 부품 표면의 현미경 사진(melting-dominant process).

되면 레이저 빔은 polymer, 실리콘, 금속 등과 같은 물질을 녹이기보다 물질의 표면에 플라즈마를 형성하여 물질을 기화시키는 현상이 주된 현상으로 일어나게 된다[3].

레이저 빔의 spot 크기를 1 μm 이하로 집속할 경우 power 밀도 영역은 $2.0 \times 10^{12} \sim 2.0 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ 으로 실리콘의 기화 잠열($1.8 \times 10^6 \text{ J/kg}$)을 고려해 볼 때, 실험에서 사용한 power 밀도 영역에서는 시료의 표면이 용융(melting)보다 기화 현상이 주된 상호작용으로 작용하게 됨을 알 수 있지만 세정기의 가공 능력을 증대시키기 위하여 레이저 빔의 spot 크기를 수십 μm 이상으로 집속하는 것이 바람직하다. 레이저를 이용하여 세정공정을 진행할 경우, 고려해야 할 또 하나의 인자는 공정 진행 후 시료의 물리적 damage이다. 물리적 damage는 particle의 근원이 될 뿐만 아니라 부품들의 수명과 maintenance 작업의 주기를 단축시켜서 장비의 가동율을 저하시키게 된다. 따라서, 본 연구에서는 레이저의 공정 margin을 용융 현상과 기화 현상이 혼합되어 일어날 수 있도록 설정하였다.

제작한 레이저 세정기로 대면적 부품에 흡착되어 있는 polymer(AIF) 박막을 제거하기 위하여 레이저의 power를 ~80 W로 고정시킨 다음 이송용 로봇에 탑재하였다. 시작품으로 제작된 레이저 세정기는 세정기의 3차원적 가공 능력을 확대하기 위하여 로봇 이송기와 광섬유 광 guide system을 채택하였다. 시료에 대한 scanning과 세정의 효율성(생산성)을 최적화시키기 위하여 로봇의 이송 속도와 피치 간격을 3 mm/s와 100 mm로 setting하고 갈바노미터의 scanning 속도를 100 mm/s로 유지하면서 대면적 부품의 세정을 실행하여 시작품으로 제작된 레이저 세정기의 세정능력을 평가였다.



[그림 2] 로봇 이송기에 탑재된 시작품 레이저 세정기.

3. 실험 결과 및 토의

펄스형 레이저를 이용한 레이저 미세가공(micromachining)이나 세정공정에 있어서 중요한 인자 중의 하나가 레이저의 펄스폭과 에너지이다. 레이저 빔과 polymer, 실리콘, 금속 등과 같은 물질들 사이의 상호작용에 있어서 레이저 빔의 강도가 $\sim 5.0 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 정도 이상이

참고문헌

[1] H. Beyer, W. Ross, R. Rudolph, A. Michaelis, J. Uhlenbusch, W. Viol, "Interaction of CO₂ laser pulses of microsecond duration with Al₂O₃ ceramic substrates", Journal of Applied Physics, Vol.70, No.1, pp.75-81, 1991.

[2] G. Zhu, Z. Xu, Y. Jin, X. Chen, L. Yang, J. Xu, D. Shan, Y. Chen, B. Guo, "Mechanism and application of laser cleaning: A review", Optics and Laser in Engineering, Vol.157, No.6, 107130, 2022.

[3] X. Liu, D. Du, G. Mourou, "Laser Ablation and Micromachining with Ultrashort Laser Pulses", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.33, No.10, pp.1706-1716, 1997.