

레이저에 의한 포토레지스트의 마스크리스 패터닝

이 경 철, 김 재 권, 이 천, 최 진 호*, 이 강 옥*, 최 의 순*
인하대학교 전기공학과, *LG 전자(주)

Maskless patterning of photoresist by laser

Kyoung-Cheol Lee, Jae-kwan Kim, Cheon Lee, Jin-ho Choi, Kang-ook Lee, Ik-soon Choi
Dept. of Electrical Engineering, Inha Univ, LG Electronics co.,

Abstract - By irradiating photoresist on Si or glass with Ar⁺ ($\lambda=514$ nm, CW) and Nd:YAG ($\lambda=266$ and 532nm, pulse) laser beam, the photoresist was etched masklessly in air. Using a fourth harmonic Nd:YAG laser beam, the etching threshold of energy fluence was 25 J/cm² and the damage of substrate was appeared over 40 J/cm².

공정에서 적용되고 있는 노광 및 현상 공정의 대면적 대응, 공정 단순화, 생산라인 용이성 향상을 위한 방안으로 집속된 레이저빔을 이용하여 mask없이 노광 및 현상을 일괄적으로 할 수 있는 포토레지스트 패터닝 기술을 개발하고자 CW Ar⁺ 레이저와 Q-switch Nd:YAG 레이저를 사용하여 각 소재에 대한 최적 가공조건을 출력 모드, 파장, 빔 출력, 주사속도 등을 고려하여 실험적으로 규명하고 이론적인 해석을 통하여 가공현상을 설명하였다.

1. 서 론

레이저를 미세가공에 이용하려는 시도는, 루비 레이저가 개발된 후 바로 이루어졌으며, 그 원리는, 레이저에 의한 국부 급속가열, 용융, 증발, 냉각 등의 열과정에 의한 것으로 주로 금속재료의 제거가공이나 표면처리 등으로 응용되어 왔다[1]. 또한 최근에는 레이저를 열원으로 이용하는 방법이 아닌, 기체상태에서 혹은 고체 표면에서의 광화학 반응이나 열화학 반응을 유도하여 고체 표면을 가공하는 레이저 유도에 의한 가공이 반도체 혹은 세라믹재료의 프로세스 기술로서 광범위하게 사용되고 있다[2,3,4,5]. 이러한 추세에 따라, 레이저 가공의 정도(精度)도 서브 마이크론이나 퀴터 마이크론이 요구되어, 레이저 가공기술은 기존의 가공기술인 플라즈마나 이온 빔, 또는 X선을 포함하는 빔 프로세스 기술의 하나로서 그 응용이 기대된다.

2. 본 론

2.1 실험

본 실험에 사용된 주요 장비는 Ar⁺ 레이저($\lambda=514$ nm, CW), Nd:YAG 레이저($\lambda=266, 532$ nm), 광학계, 무진동 테이블, 레이저 출력 측정기, 초정밀 X-Y-Z 스테이지, 스테이지 제어용 컴퓨터 등이다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 레이저 직접 식각 장치의 개략도이다.

본 연구에서는 레이저 어블레이션(ablation) 메커니즘을 이용하여 포토레지스트의 패터닝 가공을 수행하였다. 레이저 어블레이션은 전자적 여기, 결합 파괴, 가열에 의한 화학적 분해, 제거, 증발 등의 여러 가지 프로세스가 복합적으로 작용하여 일어난다. 이러한 어블레이션 가공을 위해서는 높은 침투 출력이 필요하며 따라서 펄스 폭이 아주 짧은 레이저가 사용된다. 일반적으로 펄스 폭은 nanosecond 범위가 사용되며, 경우에 따라서는 picosecond 또는 sub-picosecond 범위의 펄스 레이저를 사용하기도 한다. 미세가공에 사용된 레이저의 펄스 폭이 짧을수록 가공된 단면의 품질은 우수하다. 주요 가공대상물은 금속, 반도체, 세라믹, 전기·광학 소재, 유리, 폴리머, DLC(diamond-like carbon) 등이 있다. 레이저 미세가공의 응용분야는 microelectronics, 광학, 초전도체 박막, 의료분야 및 공업적인 절단, 마킹, 드릴링 등과 같이 다양하다[6]. 따라서, 본 연구에서는 포토리소그래피

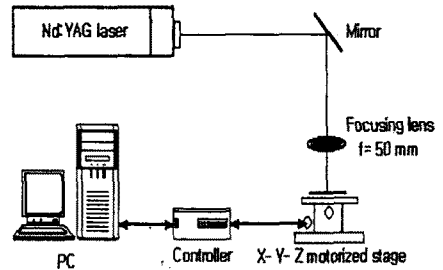


그림 1. 레이저 직접 식각 장치의 개략도

사용된 시편은 2 cm x 1 cm 크기로 절단한 실리콘 웨이퍼와 glass 위에 ITO가 코팅된 기판을 사용하였다. 포토레지스트의 도포하기 전에 표면에 존재하는 불순물을 제거하기 위해 Isopropyl alcohol 용액에서 5 분간 초음파 세척을 한 후, N₂ gun을 이용하여 건조시켰다.

PR의 도포는 다음과 같은 조건으로 행하였으며, 이때 얻어진 PR 막의 두께는 약 1 μm 정도이었다.

표 1. PR 도포 조건

PR의 종류	AZ RFP230K2	
Spin coating	spin (rpm)	4000
	time (sec)	30
Baking	temperature (°C)	100
	time (min)	10

가. Ar⁺ 레이저에 의한 PR patterning 실험

Ar⁺ 레이저 (514 nm, CW) 에 의한 포토레지스트의 패터닝 특성은 레이저 출력과 빔 주사속도를 변화시키면서 PR의 식각 깊이 및 가공 형상에 미치는 영향의 변화에 대해 관찰하였다. 이 때, 레이저 출력은 1 W와 2 W로 고정하였으며 빔 주사속도는 각각 100 $\mu\text{m/s}$ 와 200 $\mu\text{m/s}$ 로 하였다.

나. Nd:YAG 레이저에 의한 PR patterning 실험

기본파장이 1064 nm인 Nd:YAG 레이저를 532 nm와 266 nm의 파장으로 가변하여 사용하였다. 본 실험에서는 레이저 파장에 따른 포토레지스트 패터닝 특성의 변화를 관찰하였으며 각각의 파장에 대한 에칭 문턱 에너지 값 (threshold energy)을 산출하고 가공 형상을 평가하였다. 또한 높은 펄스 에너지로 인해 발생하는 하부기판의 damage 평가를 통해 최적 출력 조건을 확립하고 식각된 PR의 깊이 및 가공형상의 단면은 surface profiler (α -step 500)를 사용하여 측정하였다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 Ar⁺ 레이저에 의한 Photoresist의 가공

본 연구에 사용된 레이저는 TEM₀₀의 원형 spot shape을 갖는 아르곤 이온레이저이다. 이를 시료에 조사할 경우 레이저빔의 세기는 공간적으로 가우시안 분포 (Gaussian distribution)를 형성한다.

Ar⁺(514nm, CW) 레이저에 의한 포토레지스트 패터닝의 반응메커니즘은 주로 레이저빔의 조사로 인한 시료표면의 국부적인 온도상승과 이에 따르는 용융 작용이다. 따라서 레이저 식각 후 형성된 패턴 형상은 레이저빔 profile과 같은 가우시안 형태를 나타낸다. 그림 2는 1W의 레이저 출력값에서 100 $\mu\text{m/s}$ 으로 주사한 포토레지스트의 패터닝 형상과 가공형상의 단면을 α -step으로 관찰한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 가공형상은 정확하게 가우시안 형상을 취하는 것을 알 수 있다. 그러므로 아르곤 이온 레이저에 의한 포토레지스트 재료의 패터닝 메커니즘은 열에 의한 반응임을 알 수 있다.

2.2.2 Nd:YAG 레이저에 의한 Photoresist의 가공

그림 3은 Nd:YAG 레이저 4고조파에서의 레이저 에너지 밀도 (laser fluence)에 대한 포토레지스트의 패터

닝 넓이의 변화를 나타낸 것이다. 가공속도는 스테이지 최대 이동속도인 200 $\mu\text{m/s}$ 이며 이때 사용된 pulse laser의 반복율 (repetition rate)은 10 Hz이다. 그림에서 보는바와 같이 30~40 J/cm^2 (단위 펄스당 에너지 = 3~4 J/cm^2) 에너지 범위에서 최적의 가공조건을 보여주며 포토레지스트 재료를 가공하기 위한 임계에너지 값 (threshold energy fluence)은 25 J/cm^2 이다.

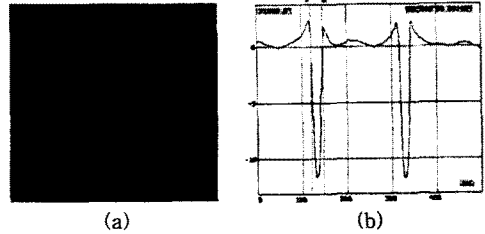


그림 2. 레이저 출력 1W, 주사속도 100 $\mu\text{m/s}$ 에서의 Ar⁺ 레이저에 의한 포토레지스트의 가공면의 형상(a)과 α -step 측정결과(b)

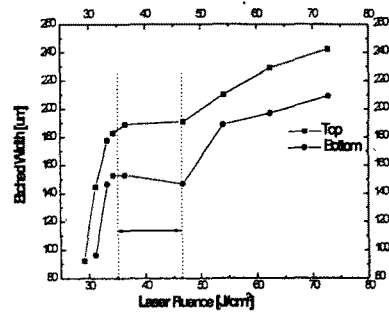


그림 3. 4고조파에서의 레이저 에너지 밀도 (laser fluence)에 대한 식각 넓이의 변화

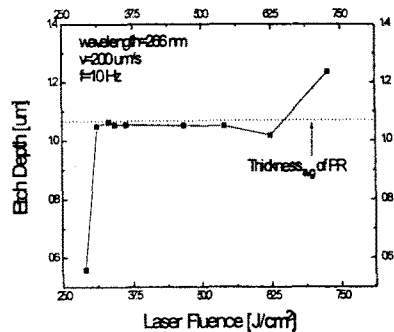


그림 4. 4고조파에서의 레이저 에너지 밀도에 대한 식각 깊이의 변화

그림 4는 레이저 에너지밀도에 대한 포토레지스트의 패턴 깊이의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 약 30 J/cm^2 의 레이저출력 값에서 거의 모든 포토레지스트

를 제거함을 알 수 있었고, 약 40 J/cm^2 이상의 출력 값에서는 하부기판에 손상이 발생하였다. 또한 이러한 UV 영역의 파장을 이용한 포토레지스트의 가공은 Ar^+ 레이저를 이용한 가공에서와는 달리 패터닝 면의 상부와 하부의 비 (bottom width/ top width) 가 80 % 이상이다. 이러한 이유는 UV 영역의 pulse 레이저를 이용한 경우의 시료와의 반응 메커니즘이 photon 에 의한 ablation 에 기인하기 때문이라고 생각된다.

3. 결 론

Ar^+ 레이저 ($\lambda=514\text{nm}$, CW) 와 Nd:YAG 레이저 ($\lambda=266/532 \text{ nm}$, pulse) 를 이용하여 포토레지스트를 직접 패터닝하는 실험 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 아르곤 이온 레이저를 이용하여 가공한 포토레지스트의 단면은 빔 profile 과 같은 가우시안 형상을 나타내었다. 따라서 아르곤 이온 레이저에 의한 포토레지스트의 가공 메커니즘은 열에 의한 반응임을 알 수 있다.

- Nd:YAG 레이저의 4고조파를 이용한 경우 약 30 J/cm^2 의 레이저 에너지 밀도 값에서 포토레지스트를 제거할 수 있었고 대략 40 J/cm^2 이상의 에너지 밀도 값에서는 하부기판에 손상이 발생하였다. 이 때 포토레지스트를 가공하기 위한 임계에너지 값은 25 J/cm^2 이었다.

[참 고 문 헌]

[1] 難波 進, "レーザーと加工", 共立出版, 1983
 [2] D. Bäuerle, "Chemical Processing with Laser", Springer-Verlag, Berlin, 1986
 [3] B. W. Hussey and A. Gupta, " Laser-assisted etching of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ", Appl. Phys. Lett., 54(13), pp 1272 ~ 1274, 26 March 1989
 [4] W. Westlake, M. Heinzte, " Substrate selective deposition and etching of silicon thin films ", J. Appl. Phys., 77(2), pp 879 ~ 884, 15 Jan. 1995
 [5] 이경철, 이천, " Mn-Zn 페라이트의 레이저 유도 열 화학 습식식각 ", 한국전기전자재료학회지, Vol.10, No. 7, pp 668 ~ 673, aug. 1997
 [6] 한국기계연구원, " 레이저빔 응용 가공기술 (2차년도 연차보고서)", 통상산업부, 1997