에칭시스템에서 요동각 변화에 따른 에칭특성 시뮬레이션

정흥철† · 김영진* · 정지원** · 김덕줄***

Simulation of Etching Characteristics with Oscillation Angle in Etching System

Heung-Cheol Jeong, Young-Jin Kim, Ji-Won Jung and Duck-Jool Kim

Key Words: Spray Characteristics(분무특성), Etching Factor(에칭계수), Oscillation Angle(요동각), PDA(위상 도플러 입자분석기), Coefficient of Variation(변이계수)

Abstract

The objective of this study is to simulate the etching characteristics with oscillation angle for the optimization of etching system. The etching characteristics were analyzed under different etching conditions. The spray characteristics were measured by Phase Doppler Anemometer (PDA). The correlation between the spray characteristics and the etching characteristics was investigated and used for fundamental data to simulate the etching characteristics with oscillation angle. The smaller coefficient of variation, the more uniform etching characteristic distribution became. It was found that numerical predictions of etching factor generally agreed well with the measured results with distance from nozzle tip. Oscillation leads to decrease of etching factor and increase of uniformity.

기호설명

D_{32} : 자우터 평균 직경(SMD)
N_i : 액적 수
U_i : 축방향 속도
d_i : 액적 직경
Z : 선단거리
γ : 요동각
Δt : 샘플링시간

† 부산대학교 기계공학과 대학원
E-mail : djkim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-3072 FAX : (051)510-9598
*부산대학교 기계공학과 대학원
**회원, 부산대학교 기계기술연구소
***회원, 부산대학교 기계공학부

1. 서 론

최근 제품이 초소형화되고 고정밀도와 고집적화를 요구하는 초정밀부품의 수요가 급증하면서 포토에칭기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 반도체, 통신, 광학, 전자부품, MEMS, 초소형정밀기계 등 여러 산업 분야에서 미세 부품가공 및 미세가공이 필요한 공정 등에 응용되고 있으며 점차적으로 적용되는 분야는 확대되어 가고 있다. 특히, 반도체 및 전자부품분야에서는 초정밀 미세가공에 포토에칭기술이 핵심적인 기술이 되었다. 포토에칭기술은 현상기법을 이용하는 포토공정과 에칭공정을 합한 기술로써 가공하고자 하는 물체에 감광성수지(photoresist)를 도포하고 적절한 파장의 빛과 마스크를 이용하여 정확한 위치와 정확한 크기로 여러 가지 형태의 무늬나 도면을 제작한 후 현상하고 현상에 의해 노출된 부분을 화학적 또는 전기화학적으로 제거하여 제품이나 형상을 가공하는 기술이다. 습식에칭기술

은 포토에칭기술의 핵심기술로서 에칭용액($FeCl_3$)을 가공대상물체에 분사시켜 작동유체의 분사속도 및 충격력 등에 의해 가공물체에 고정밀의 형상을 가공시키는 것이다. 따라서 분사되는 액적들의 유속, SMD, 충격력 등의 분무특성은 초정밀 미세가공 제품의 품질 및 생산성에 중요한 인자가 되고, 이는 에칭시스템의 공정 특성 및 조건에 좌우된다. 따라서, 에칭공정의 최적화를 위해서는 분무특성과 에칭특성의 상관관계와 에칭시스템의 공정 특성 및 조건의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해가 필요하다. 액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구[1~5]는 다양한 분야에서 응용되고 있으나, 현재까지 에칭시스템 및 포토에칭기술에 관한 연구[6~8]는 부족한 상태이며, 특히 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 단계에 있으며 산업현장에서는 아직도 습식포토에칭기술에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다. 또한, 에칭공정에는 요동각, 요동 속도, 판의 이동속도, 노즐간격 등과 같은 많은 공정변수를 갖고 있다. 본 연구에서는 분무특성과 에칭특성의 상관관계를 분석하여 여러 공정변수들 중에서도 요동각에 따른 포토에칭 특성을 시뮬레이션하였다. 이 결과를 토대로 미세 가공 산업에서 에칭공정의 근본적인 이해와 최적화에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 에칭특성 분석을 위한 실험장치의 구성은 설계 시스템, 코팅 시스템, 노광 시스템, 현상 시스템, 에칭 시스템, 박리 시스템으로 구분된다.

Fig. 1은 분무특성 분석을 위한 실험 장치를 나타낸다. 실험장치의 구성은 분사 시스템, PDA 시스템으로 구성된다. 분사시스템은 스월노즐, 압력계, 펌프, 레귤레이터, 대형수조, 정수필터, 분사압 조절을 위한 밸브 등으로 구성되어 있다. PDA 시스템은 레이저를 포함한 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원 이송장치, 이송장치 제어기, 오실로스코프, 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 분사시스템은 펌프와 대형 수조를 배관으로 연결하여 순환식으로 작동유체를 공급하도록 설치하였다. PDA 시스템에서 레이져는 Argon-ion 레이져

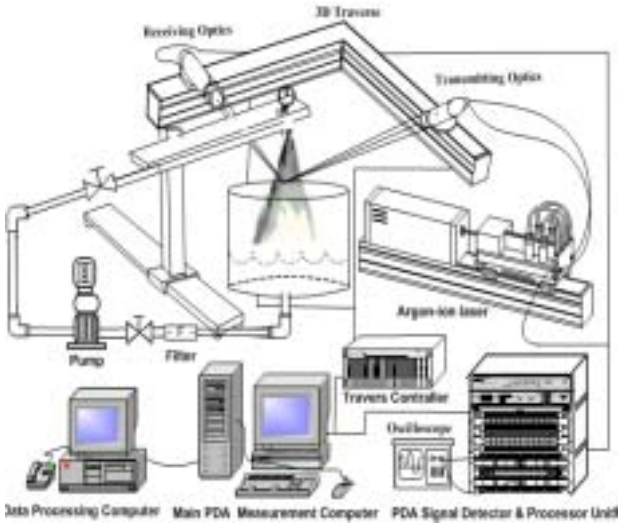

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for spray characteristics analysis

(최대출력 5W)가 사용되었고 실험시 사용출력은 2W로 하였으며 초점거리는 송광부와 수광부 모두 400mm로 하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용된 노즐의 제원을 나타내고 있다.

2.2 실험방법

에칭특성 분석을 위해서 마스터 패턴을 제작하고 시편표면을 탈지 및 세정한 후에 감광성수지를 코팅하고 건조시켰다. 제작된 마스터 패턴을 통하여 자외선을 조사시켜 감광막에 형상을 형성시킨 다음 현상공정을 통해 노광되지 않은 부분의 감광막을 제거하였고, 에칭 장치내에 시편을 고정시킨 후 분사노즐을 통해 에칭용액($FeCl_3$)을 수직 하방향으로 분사시켜 형상을 가공하는 에칭공정을 실시하였다. 3차원 광학 측정장치를 이용하여 시편의 에칭깊이와 횡방향 에칭폭을 측정하였다.

Table 2는 에칭특성 측정에 대한 실험조건을 나타내고 있다.

분무특성 측정은 예비실험을 통해 분무의 대

Table 1 Specifications of nozzle

Nozzle type	Pressure-swirl
Length/diameter of orifice	1.2
Convergence angle of swirl chamber (°)	45
Swirler vane angle (°)	35

Table 2 Experimental conditions for etching

Material	Cu substrate
Etchant	Ferric chloride solution
Injection pressure (Mpa)	0.4
Distance from nozzle tip(mm)	150, 200, 250, 300

칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 PDA장치를 사용하여 분무특성을 측정하였다. 또한 노즐에서부터 선단거리 150, 200, 250, 300 ㎜의 횡단면에 대해 분무중심으로부터 반경방향으로 분무가 분포하는 최외곽영역의 위치까지 측정하였으며 작동유체의 분사압력은 0.4Mpa로 하였다. 작동유체는 상온의 수돗물로서 실험동안 일정한 온도로 유지하여 사용하였으며, 분무특성 측정값은 PDA장치의 측정체적을 통과한 액적 5000개의 평균값으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분무특성을 통한 에칭특성 시뮬레이션

PDA장치를 통해 분무특성값으로 액적의 축방향 평균속도와 액적의 크기인 Sauter 평균입경(SMD)인 D_{32} 를 획득하였다. 분무특성과 에칭특성에 관한 연구[8]에 의하면 분무특성중 에칭특성과 큰 상관관계를 가지는 것은 충격력으로 제시되어있다. 따라서 측정된 액적의 속도와 크기로서 충격력을 계산하였다. 충격력은 액적을 구형이라 가정 했을 때 액적크기를 이용하여 구한 액적의 질량에 축방향 속도를 곱하여 샘플링 시간으로 나눈 값으로 정의하였다.

Fig. 2는 분사압력이 0.4Mpa일때 선단거리에 따른 충격력분포를 나타내고 있다. 각각의 선단거리에서 충격력은 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내고 있으며 분무하류쪽으로 갈수록 충격력은 작게 나타났다. 또한 분무상류부분에서는 충격력이 크게 나타나지만 중심부와 외곽부에서의 편차도 크다. 분무하류부분에서는 충격력은 작지만 전체적으로 균일한 분포를 보인다.

Fig. 3은 분무특성인 충격력과 에칭특성인 에칭계수와의 상관관계를 나타내고 있다. 결정계수

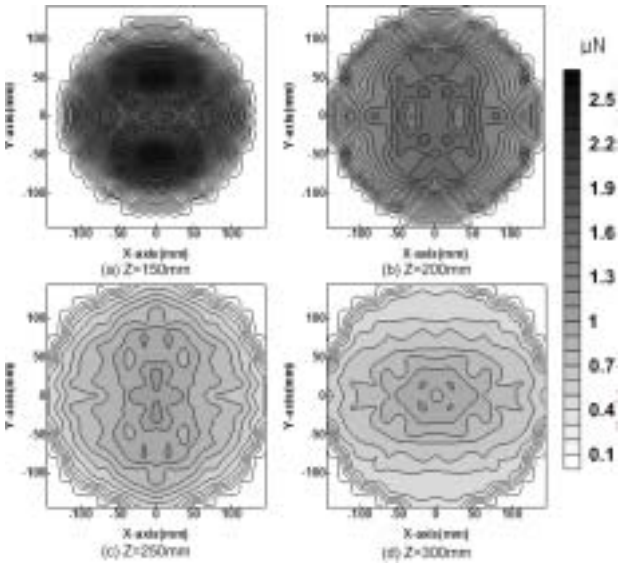

Fig. 2 Imfact force distribution with distance from nozzle tip (P=0.4Mpa)

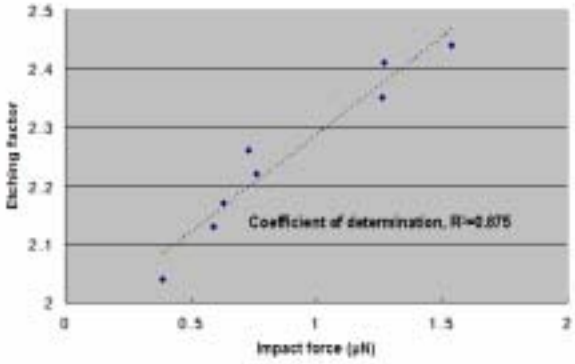

Fig. 3 Correlation between etching factor and impact force

(R^2)은 0.875이고 회귀식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Y = AX + B \qquad (1)$$

여기서, Y는 에칭계수, X는 충격력, A는 0.334, B는 1.95이다.

Fig. 4는 분사압력이 0.4Mpa일때 선단거리에 따른 횡단면에서의 에칭계수분포를 나타내고 있다. 횡단면에서의 에칭계수분포는 Fig. 2의 충격력을 식(1)에 대입하여 계산된 분포이다. 에칭계수는 분무중심부분에서 분무외곽부분보다 크게 나타났다. 또한 분무상류에서 에칭계수가 크게 나타났으며 편차는 분무하류보다 큰 경향이었다.

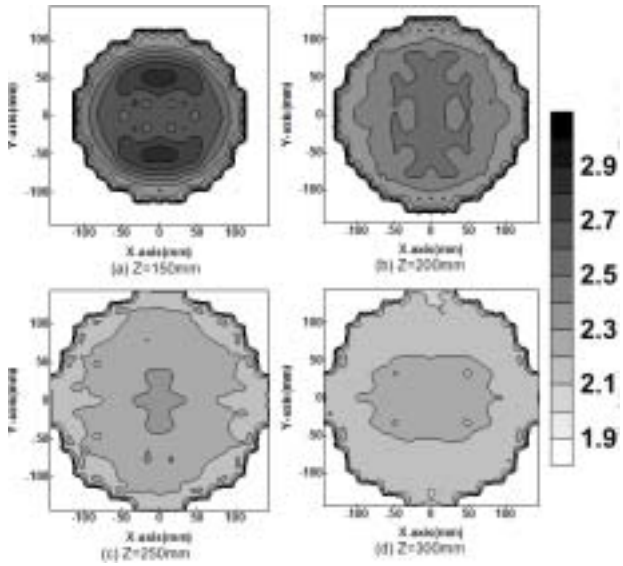

Fig. 4 Etching factor distribution with distance from nozzle tip (P=0.4Mpa)

Fig. 5는 분사압력이 0.4Mpa일때 선단거리에 따른 실제 에칭계수의 평균값과 계산된 분무특성과의 상관관계 분석을 통해 계산된 에칭계수의 평균값을 비교한 것이다. 실험에 의한 에칭계수와 계산된 에칭계수는 일치함을 알 수 있다.

3.2 요동에 의한 좌표이동

Fig. 6은 요동각과 시표의 이송에 따른 좌표의 이동을 나타낸다. 분무특성분포에 의해 생성된

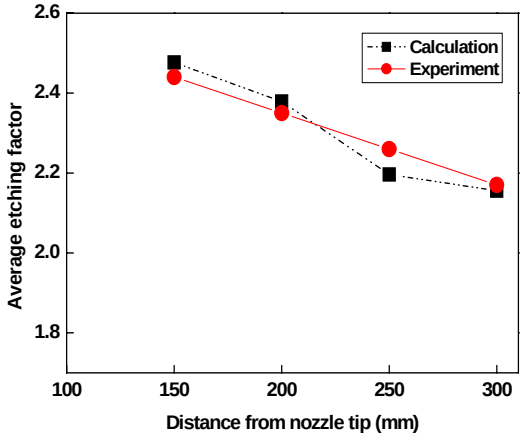

Fig. 5 Comparison of etching factor between the calculations and experiments

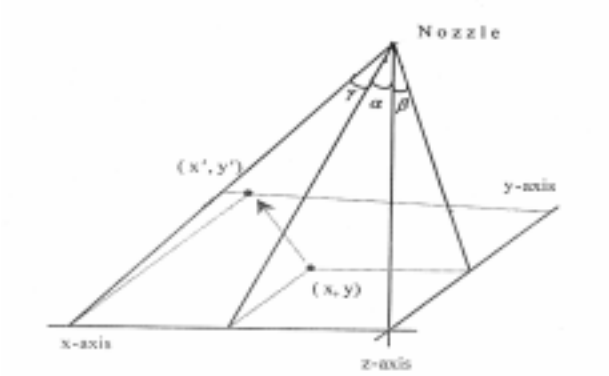

Fig. 6 The diversion of the coordinate with oscillation angel and transfer of plate

임의의 좌표를 (x,y)라 하면 그 때 수직인 z축과 x성분이 이루는 각을 α, y성분과 이루는 각을 β, 요동시스템에 의해 생성된 요동각을 γ로 둔다. 그리고, 선단거리를 Z라 두면 새로운 좌표 (x',y')는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x' = Z \cdot \tan(\alpha + \gamma) \tag{2}$$

$$y' = \frac{Z \cdot \tan(\beta)}{\cos(\alpha + \gamma)} \tag{3}$$

본 연구에서는 요동각이 x좌표의 변환에만 영향을 주고 시편의 이동은 고려하지 않아서 y=y'이 된다.

Fig. 7은 Fig. 4(b)에서 나타난 에칭계수분포를 요동각 40°로 요동시켜 분사시에 선단거리 200㎜에서 식(2),(3)에 의해 정지상태에서 예측된 에칭특성분포의 이동을 나타낸 것이다. 에칭특성 전체 분포는 요동각에 의해 중심에서 요동하는 방향으로 치우쳐있고 정지상태의 분포보다 더 큰

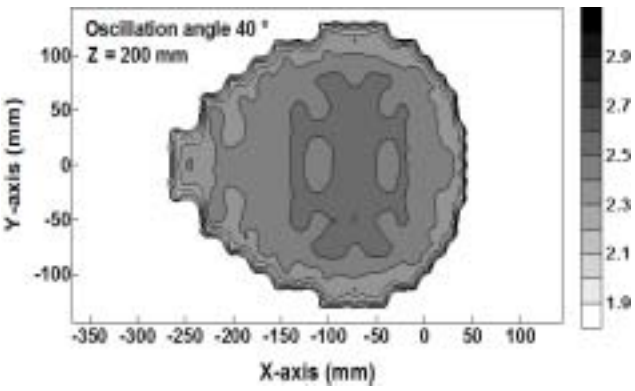

Fig. 7 Etching factor distribution (γ=40°,Z=200mm)

면적으로 분포한다. 또한 유사한 에칭계수가 존재하는 영역도 커지게 되어 전체적으로 균일한 영역이 넓게 분포한다.

3.3 요동각 변화에 따른 에칭특성 시뮬레이션

요동각을 30°, 40° 및 50° 로 변화시키면서 에칭특성을 시뮬레이션하였다. 에칭시편은 40cm x 40cm크기의 동판으로 선정하였다. 현장에서의 공정조건에 맞추어 1회요동시 경과되는 시간을 2초로 두고 좌우 요동이 대칭이라는 가정하에 1/4회에 해당하는 요동인 0.5초 동안에 대해 시뮬레이션하였다. 요동각이 0°에서 최외각에 도달할 때까지를 0.05초간격으로 10구간으로 나누어 각 구간에서 에칭시편에 각지점에서 분포하는 에칭계수들의 값을 계산하였다.

Fig. 8은 선단거리별로 요동각의 변화에 따라 계산되어진 산술평균 에칭계수를 나타내고 있다. 전체적으로 선단거리가 증가할수록 감소하는 경향이었으며, 일반적으로 요동이 주어졌을 때 에칭계수는 일정량 감소하였다.

Fig. 9은 선단거리별로 요동각의 변화에 따라 계산되어진 변이계수를 나타내고 있다. 변이계수란 계산된 에칭계수의 편차를 산술평균한 에칭계수로 나눈 것이다. 변이계수가 작을수록 에칭시편에 에칭특성분포가 균일한 것을 의미한다. 전체적으로 요동이 주어졌을 때가 변이계수는 작았다. 선단거리 150mm에서는 40°가 최저값을 보였고 200mm에서는 30°, 250mm에서는 50°, 300mm에서는 40°가 가장 균일한 분포를 보였다. 전체적으로 볼 때 요동이 있는 경우에서 변이

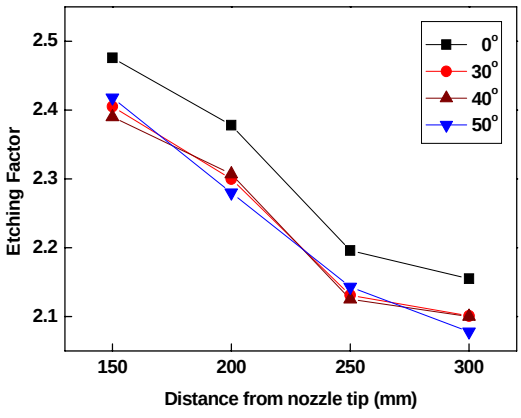

Fig. 8 Etching factor with oscillation angle

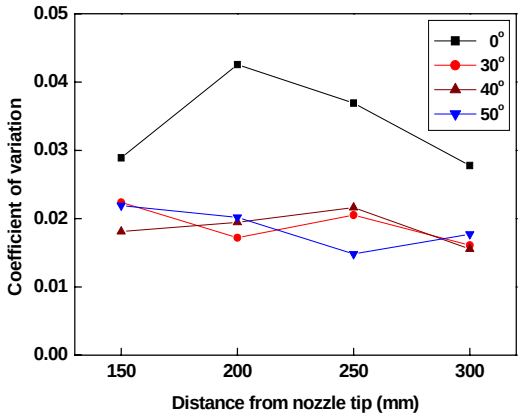

Fig. 9 Coefficient of variation with oscillation angle

계수가 향상되었다. 따라서 최적의 에칭효과를 얻기 위해서는 높은 에칭계수를 가지면서 균일한 분포를 가지는 적절한 요동각의 선정이 중요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 분사조건에 따른 에칭특성과 분무특성을 측정하여 상호상관을 비교하였고 에칭공정중에서 요동각의 변화에 따른 에칭의 단면분포특성을 시뮬레이션하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 충격력은 분무중심영역과 분무상류에서 크게 나타났다.

(2) 충격력과 에칭계수는 강한 양의 상관관계를 나타내었다.

(3) 선단거리에 따른 에칭계수의 실험값과 예측값은 잘 일치하였다.

(4) 요동이 주어졌을 때 에칭계수는 감소되었으나 에칭특성분포는 더욱 균일해졌다.

(5) 에칭최적화는 높은 에칭계수를 가지면서 균일한 분포를 가지는 적절한 요동각의 선정이 중요하다.

참고문헌

(1) Choi, D. S., Choi, G. M. and Kim, D. J., 2002, "Spray Structures and Vaporizing

Characteristics of a GDI Fuel Spray," *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 7, pp. 999~1008.

(2) Shrimpton, J. S. and Yule, A. J., 1998, "Drop Size and Velocity Measurement in an Electrostatic Producted Hydrocarbon Spray," *ASME Journal of Fluids Engineering*, Vol. 120, pp. 580~585.

(3) Jung, J. W., Cha, K. J. and Kim, D. J., 2000, "Characteristics of the Droplet Behavior in the Overlap Region of Twin Spray and in Single Spray," *Transactions of the KSME*, B, Vol. 24, No. 10, pp. 1300~1308.

(4) Choi, Y. C., Jung, J. W. and Kim, D. J., 2001, "Characteristics of Spray from Pressure-Swirl Nozzle with Different Liquid Properties and Nozzle Geometries," *Transactions of the KSME*, B, Vol. 25, No. 12, pp. 1813~1820.

(5) Lee, I. S., Jung, J. W., Cha, K. J. and Kim, D. J., 2002, "The Effect of Property of Emulsified Fuel and Injection Pressure on the Spray Characteristics for Super-Critical-Pressure Burner," *Journal of ILASS-KOREA*, Vol. 7, No. 3, pp. 38~44.

(6) Visser, A. and Buhlert, M., 2001, "Theoretical and Practical Aspects of the Miniaturization of Lead Frames by Double Sided Asymmetrical Spray Etching," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 115, pp. 108~113.

(7) Ueda, R., Toki, S., Tanizaki, Y., Sugiutra T. and Asakura, S., 1994, "Principles of Photoetching in the Fabrication of Fine-Pitch Lead Frames," *Metal finishing*, Vol.92, No.1, pp.29~31.

(8) Jung, J. W. and Kim, D. J., 2004, "A Study on Effect of Spray Characteristics on Etching Characteristics in Micro Fabrication System," *Transactions of the KSME*, B, Vol. 28, No. 1, pp. 1813~1820.