

표면 화학 반응이 드릴 가공에 미치는 영향

이현우*(부산대 대학원), 최재영**(부산대 정밀정형 협동과정), 정상철*** (삼성SDI),
박준민*(부산대 대학원), 정해도****(부산대 기계공학부), 최헌종***** (한국생산기술연구원),
이석우***** (한국생산기술연구원)

The Effect to Drilling by The Chemical Reaction on The Surface

H. W. Lee(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), J. Y. Choi(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), S. C. Jeong(Samsung SDI), J. M. Park(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(School of Mechanical Eng. PNU), H. Z. Choi(KITECH), S. W. Lee(KITECH)

ABSTRACT

This research presents the new method to fabricate small features through applying chemical mechanical micro machining(C3M) for Al5052 and single crystal silicon. To improve machinability of ductile and brittle material, reacted layer was formed on the surface before micro-drilling process by chemical reaction with HNO₃(10wt%) and KOH(10wt%). And then workpieces were machined to compare conventional micro-drilling process with newly suggested one. To evaluate whether or not the machinability was improved by the effect of chemical condition, surface defects such as burr, chipping and crack generation were measured. Finally, it is confirmed that C3M is one of the feasible tools for micro machining with the aid of effect of the chemical reaction.

Key Words : Chemical Mechanical Micro Machining(화학 기계적 미세 가공), Al 5052(알루미늄), Si wafer(실리콘 웨이퍼), HNO₃(질산), KOH(수산화칼륨), Reacted Layer(반응층)

1. 서론

현재 많은 기능성 부품과 제품들은 점차 소형화, 정량화, 고정밀화되어 가는 추세에 있으며, 특히 마이크로 가공에 의한 마이크로머신 부품의 개발과 가공기술 확보가 주요 국가 경쟁력으로 떠오르고 있다. 그러나 마이크로 가공은 mm, sub-mm 크기의 기판에 micro, sub-micro 크기의 미세 구조물을 가공해야 하므로 공작물의 고정밀도 가공과 표면품질의 제어측면에서 상당한 기술적 어려움을 겪어 왔다. 이런 마이크로 머시닝에서의 정밀도와 효율성을 개선하기 위해서 여러 연구가 진행되고 있다.

K. Tagashira 등은 희석된 올레산을 순철 위에 도포한 후 직교 절삭(Orthogonal Cutting)하여 칩형성의 메카니즘에 관해 연구하였다. 가공경화된 순철에 대해서 0.2 mass%의 올레산은 가공력을 감소시키고, 가공된 면의 표면 조도를 향상시키는 것으로 측정되었다. 적외 분광 측정(Infrared Spectrum Measuring)으

로 절삭된 칩과 같이 전위(Dislocation)가 많이 일어난 부분은 올레산 분자와 Fe의 표면에 화학흡착이 일어난 것을 확인할 수 있었다.¹⁾

M. Yoshiro 등은 실리콘의 스크래칭 실험을 하였는데, 주사전자현미경(SEM) 속에서 높은 정수압을 가하여, 높은 정수압이 프랙처(fracture)를 줄이고 매끄러운 표면을 만드는 데 중요한 역할을 한다고 발표하였다.²⁾

F. Katsuki 등은 수산화칼륨 용액 내에서 다양한 pH에 대한 실리콘 팁과 SiO₂ 막사이의 마모거동을 AFM으로 조사하였으며, 실리콘 팁의 운동에 의해서 Si-O-Si의 브릿지(bridge)를 포함한 실리카가 수산화칼륨에 의해 용해되면서 결합의 파괴(bond rupture)가 일어나는 것에 대해 연구하였다.³⁾

본 연구에서는 이러한 micro machining차원에서의 효율적인 가공방법을 제시하기 위하여 C3M(Chemical Mechanical Micro Machining) 공정을 제시하였다. C3M 공정의 기본개념은, chemical

solution이 재료의 표면을 반응시키고, 그 반응으로 표면에 화학적으로 반응된 층(chemically reacted layer)이 생긴다. 이후 반응된 층을 기계적으로 제거하는 것이다.

본 연구에서 C3M 공정을 마이크로 드릴가공에 적용하여 연질금속의 특성을 가지는 Al 5052와 경취성 재료인 단결정 실리콘을 선택하여 표면에 질산(HNO₃)과 수산화칼륨(KOH)을 이용하여 화학적인 반응층을 생성시키는 화학적인 처리 이후 드릴 가공을 함으로써 일반적인 드릴 가공과는 달리 절삭저항을 줄이고 이로 인하여 발생할 수 있는 버(Burr), 칩핑(Chipping), 크랙(Crack)을 최소화할 수 있음을 확인하고자 하였다.

2. 기본적 개념

Fig. 1은 기본적인 C3M(Chemical Mechanical Micro Machining)의 개념을 나타낸다. 우선, 일반적인 기계가공과는 달리 화학적 반응을 일으키기 위한 용액에 의해 소재의 표면을 반응시킨다. 화학적 반응에 의해 기계적인 상태량(property)이 전혀 다른 반응층이 표면에 형성되어진다. 생성되어진 반응층을 선택적으로 기계가공하여 종래의 micro machining에서 발생하는 여러 문제점들을 해결하고자 하였다.

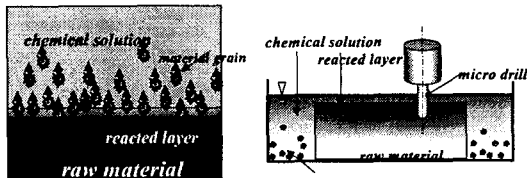


Fig. 1 Machining concept of C3M

3. 실험방법

3.1 실험장치도 및 사용공구

Fig. 2와 3은 전체적인 실험 장치도와 마이크로 드릴 공구(diameter 250 μ m)를 나타낸다. 소형 Desk top장치이며 3개의 리니어 축(linear axis, X,Y,Z)과 Z축상에는 스피들(spindle)을 장착하고 있다. 모든 축은 cross roller guide의 stepping motor에 의해 높은 직진성을 실현하고 있으며 X,Y,Z축의 최고 분해능은 각각 0.25 μ m로 제어할 수 있다. 또한 반복위치정도는 $\pm 0.5\mu$ m을 실현하고 있고 주축 최고 회전수는 40000rpm이며 기계의 모든 이송장치는 NC unit를 토대로 컴퓨터에 의해 제어되어진다.

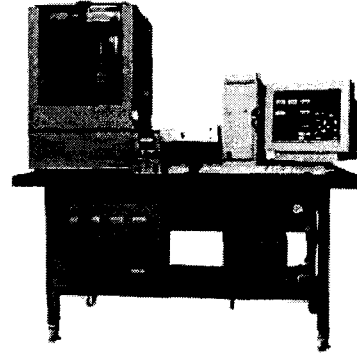


Fig. 2 External View of Drilling Machine

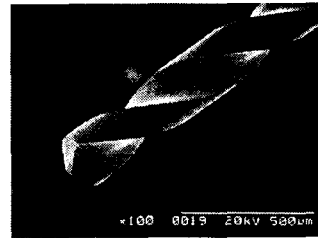


Fig. 3 SEM image of drill

3.2 실험조건

실험에 사용된 가공 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental condition of C3M

Chemical Condition	
Single crystal silicon	
Chemical	KOH(10wt%)
dipping time	10 min
Al 5052	
Chemical	HNO ₃ (10wt%)
dipping time	60 min
Machining Condition	
Rotation speed	20000 rpm
Feed rate	30 μ m/s
Dwell time	500 μ s
Depth of drilling	250 μ m

실리콘의 표면에 화학적인 반응을 일으키므로 그 화학적인 반응이 야기한 기계적인 성질의 변화가 있을 것이라 예상되어 일반적인 기계의 경도변화를 측정하는 것과는 달리, 표면에서 미세한 두께로 일어

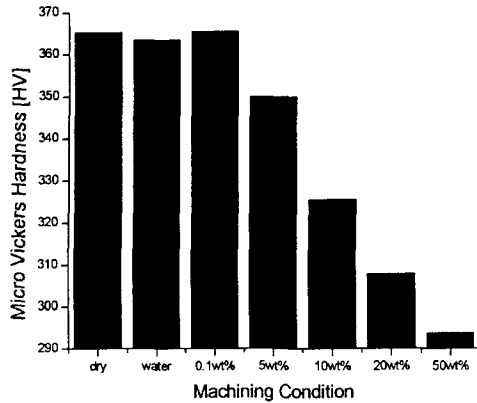


Fig. 4 Harness change on the surface of silicon for KOH wt%

난 경도변화를 측정하기 위해서 Bueler-Maszawa 사의 마이크로 비커스 경도기인 Micromet 2100 Series Micro Hardness Tester를 사용하여 측정 하중은 25gf(0.245N), 수산화칼륨과의 반응시간은 10분으로 하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 수산화칼륨과 농도 차에 따라서 일어나는 실리콘의 표면경도의 변화가 상당히 컸지만 단지 물에 침지(Immersion)시킨 것은 경도의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

또한, 화학반응을 하고 난 알루미늄 표면에 생성된 산화층에 대한 조성분석을 하기 위하여 AES(Auger Electron Spectroscopy)분석기를 이용하여 산소에 대한 농도분석을 하였다. Fig. 5는 깊이 방향에 따른 산소의 농도변화를 나타낸다. 질산과 화학 반응한 표면에서는 산소의 농도가 많이 증가함을 알 수가 있으며, 그때의 Al과 Al₂O₃의 결합에너지 (Binding

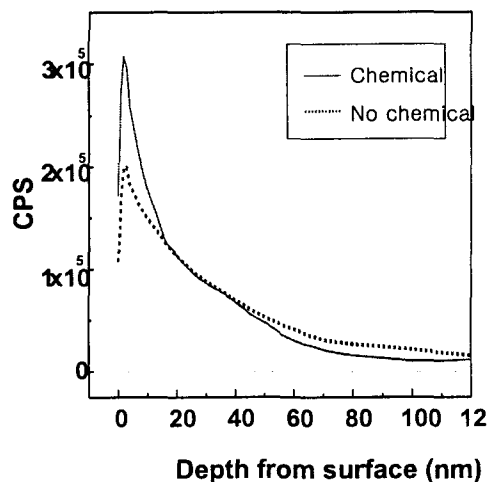
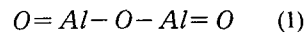


Fig. 5 Comparison of Oxygen density by AES

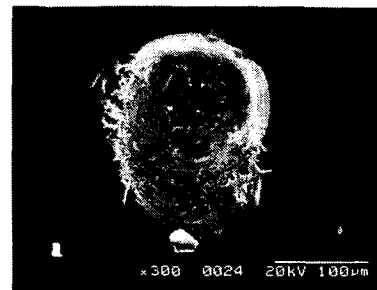
Energy)는 각각 73eV, 75.7eV이다. 이것은 산소의 농도증가에 따라 알루미늄이 질산과 반응을 일으켜 결합을 강하게 형성함을 알 수가 있으며, 이런 에너지로 인해서 전위(Dislocation)를 일으키는 변형에너지를 전달하는 것을 억제하는 것으로 생각되어지며 이 때의 구조식은 식(1)과 같다.⁴⁾



4. 실험결과 및 고찰

4.1 실리콘의 드릴 가공 특성

우선, 실리콘을 대상으로 하여 실험을 수행하였다. Fig. 6에서 측정된 SEM(Scanning Electron Microscope)의 관측에 따르면 절삭유를 공급하지 않고 마이크로 드릴 공구를 사용하여 일반적인 가공을 한 경우에는 취성재료에서 흔히 볼 수 있는 심한 크랙과 칩핑현상을 관측할 수 있었으며 가공 부위의 주위에도 그 영향으로 인해 진원도가 좋지 않았으나 C3M을 적용시킨 가공에서는 앞에서 마이크로 비커스 경도 실험에서 보았듯이 반응층에 의한 표면의 경도 저하의 효과에 의해 연질 상태로 변하게 되어 칩핑과 크랙현상이 많이 감소하는 것을 알 수 있으며 진원도도 향상됨을 알 수 있었다.



(a) Conventional

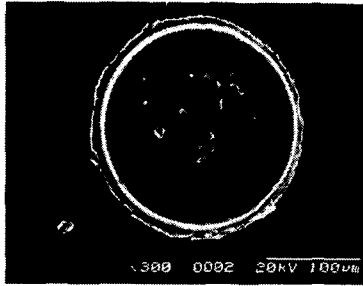


(b) C3M method

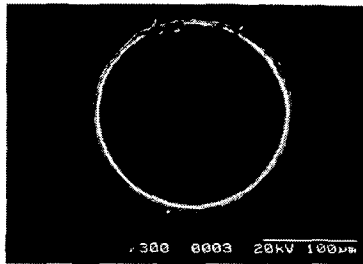
Fig. 6 SEM image after drilling in Si wafer

4.2 알루미늄의 드릴 가공 특성

Al 5052를 대상으로 하여 실험을 수행하였다. 화학반응을 하지 않은 시편에는 냉각수로 일반적인 물을 공급하면서 가공을 하였다. Fig. 7은 실험결과이



(a) Conventional



(b) C3M method

Fig. 7 SEM image after drilling in Al 5052

다. C3M을 적용시키지 않은 일반적인 가공에서는 버(Burr)의 발생량과 크기가 상당히 증가함을 알 수가 있으나, C3M을 적용시킨 결과에서는 버의 크기가 점차 줄어들음을 알 수가 있다.

C3M을 이용한 마이크로 드릴 가공에서 나타나는 이러한 현상은 질산(HNO_3)과 알루미늄(Al)과의 반응에 의해 상호간에 전자를 공유함으로써 알루미늄의 표면에 생성된 산화알루미늄(Al_2O_3)으로부터 전위(dislocation)가 고착되어 전위밀도가 높아져 변형에너지를 충분히 흡수함으로써 항복응력을 상승시키고 절삭저항이 감소, 가공경화시키는 효과로 인해 버의 발생과 크기가 감소하는 것으로 생각되어진다.

3. 결론

일반적인 마이크로 드릴 가공과 C3M을 적용한 마이크로 드릴 가공을 수행하여 가공 특성을 알아보았다. 화학기계적 미세가공을 적용하여 표면의 상태 변화에 의해 경취성 재료에서 문제가 되는 치핑과 크랙을 줄일 수 있었으며, 연성재질에 있어서도 전

위의 이동을 고착시켜 표면의 항복응력을 상승시켜 버의 발생량을 감소시킬 수 있었다.

이러한 결과들로부터 C3M 공정은 기존의 반도체 공정에서 일반적으로 많은 수의 공정과 재료의 제한, 재현성 등의 문제점을 극복함으로써 화학반응의 효과에 의해 다양한 마이크로 가공에 충분히 적용되어질 수 있다고 생각되어진다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부 과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Kohsuke TAGASHIRA, Japan Society of Precision Engineering, The Chip Formation Mechanism of Orthogonal Cutting for Pure Iron Coated with Dilute Oleic Acid, Vol. 66, No. 12, p. 1917-1921, 2000.
2. M. Yoshiro, International Journal of Mechanical Sciences, Some experiment on the scratching of silicon : In situ scratching inside an SEM and scratching under high external hydrostatic pressures, Vol. 43, p. 335-347, 2001.
3. Futoshi Katsuki, Journal of the Electrochemical Society, AFM studies on the Difference in Wear Behavior Between Si and SiO_2 in KOH Solution. 147(6) p. 2328-2331, 20001. Font: Times New Roman 9pt. Tlusty, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517-521, 1990.
4. William D. Callister, Jr, Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc, pp. 148-175, 1995.