

실리콘 미세구멍가공기술에 관한 연구

허 찬*, 이창규*, 채승수*, 박세진*, 이종찬#

A Study on the Micro Hole Drilling of Silicon

Chan Huh*, Chang-Gyu Lee*, Seung-Su Chae*, Se-Jin Park*, Jong-Chan Lee#

ABSTRACT

This paper reports experimental results on microdrilling process for silicon parts used in semiconductor equipments. An experimental system was developed consisting of a high speed precision machine, microscope system, and project profile instrument. The experimental results indicate that the amount of chipping at the entrance and exit of micro hole decreases as the spindle speed increases up to 18,000 rpm. At higher spindle speed, however, the amount of chipping increases rapidly. The amount of chipping and infeed rate show proportional relationship up to 20 m/min of infeed rate. Beyond that infeed rate, however, sudden increase in the amount of chipping has occurred.

Key Words : Silicon(실리콘), Micro Hole Drilling(미세구멍 드릴가공), High Speed Machining(고속가공)

1. 서 론

반도체 산업은 하루가 다르게 기술이 개발되고 발전되는 분야로서 현재 우리나라는 1 기가급(giga 급) 메모리를 생산하고 있다. 또한 12인치 웨이퍼(wafer) 반도체 생산 공정을 세계 어느 반도체 생산국보다 먼저 라인(line)을 구축하여 세계최대의 반도체 생산국이 되어서 한국경제에 큰 비중을 차지하고 있다^[1].

이러한 반도체의 효율적 생산을 위해서는 반도체 생산장비에 반도체재료와 같은 재료로 만들어진 고정밀도의 실리콘(silicon) 부품이 많이 사용되게 된다. 정밀한 실리콘 부품의 생산에는 절삭가공방법과

연삭가공방법이 널리 활용되고 있다. 그러나 실리콘 절삭가공과정 중에서도 높은 비중을 차지하는 미세구멍가공기술은 아직 초보적인 단계에 머물고 있다. 실리콘은 일반적인 가공과는 달리 소재의 경도 및 취성이 큰 난삭재로 미세구멍가공 작업시 공구의 마모 및 파손, 크랙(crack), 칩핑(chipping) 등이 발생하기 쉬워 가공이 어려우며, 생산성도 낮다. 그러므로 미세구멍가공은 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 고도의 기술을 필요로 한다. 실리콘 미세구멍가공 기술에 대한 연구는 아직까지 많이 미비한 실정이기 때문에 앞으로 이 분야에 대한 연구·개발이 절실히 요구된다^[2,7].

본 연구에서는 실리콘 공작물을 드릴회전수와 드릴이송속도의 변화를 통하여 각 절삭조건에 따른 칩핑량, 미세구멍 단면의 표면거칠기, 공구마모 형상을 측정하여 후 비교·고찰하였다.

* 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : jcleee@kumoh.ac.kr

2. 실험방법 및 조건

2.1 실험 장비 및 방법

실리콘 미세 홀 가공실험은 주축의 회전수와 절삭 깊이를 정확하고 정밀하게 변화시킬수 있는 고속정밀가공기(Toshiba F-MACH 442)를 사용하여 수행하였다. 공작물은 단결정 실리콘 P-type(순도 99.9999%)을 사용하였다. Fig. 1은 실험 장치의 구성도를 나타낸 것이다.

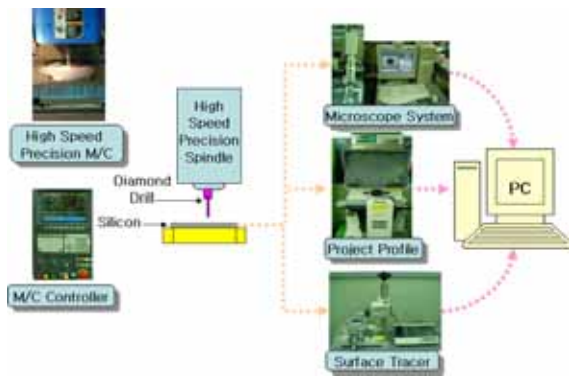


Fig. 1 Experimental set-up

가공된 홀 입구와 출구부의 칩핑 형상은 공구현미경(Hyrox CX-7575cs)을 이용하여 측정하였다. 측정된 영상은 CCD 카메라(Toshiba Color)를 이용하여 PC로 전송되었고 PC에서는 형상측정 소프트웨어(Image Partner)를 이용하여 칩핑량을 측정하였다. Fig. 2는 이때 측정된 구멍형상의 예이다. 칩핑량($\Delta D_{chipping}$)은 식(1)과 같이 정의 하였다.

$$\Delta D_{chipping} = D_{chipping} - D_m \quad (1)$$

이때 $D_{chipping}$ 은 칩핑부위의 지름, D_m 은 가공구멍의 지름을 나타낸다.

Fig. 3은 홀 형상 측정을 하기위하여 실험 가공된 공작물을 나타낸다. 가공조건변화에 따른 공구마모는 Mitutoyo PH3500 타입(type)의 프로젝트 프로파일(project profile)을 사용하여 공구마모 진행사항을 파

악하고, 공구현미경을 이용하여 공구 사용량에 따른 공구마모 형상을 측정하였다. Fig. 4는 공구 형상을 공구현미경으로 촬영한 결과를 보여주고 있다.

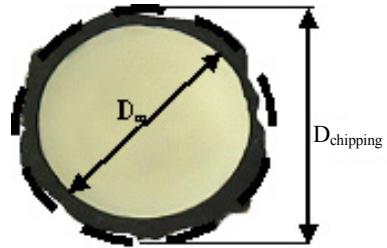


Fig. 2 Hole shape at the entrance and exit of the hole



Fig. 3 Workpiece after hole drilling

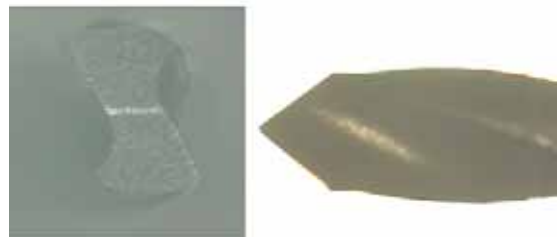


Fig. 4 The front and side view of diamond drill

가공조건에 따른 홀 단면 조도는 홀 가공 후 성형 연삭기를 이용 단면을 절개한 다음 표면조도계(Mitutoyo SJ-400)를 이용하여 홀 단면 조도를 측정하고, 공구현미경을 이용하여 조건 변화에 따른 홀 표면 형상을 영상으로 확인 관찰하였다. Fig. 5는 홀 단면 형상 측정을 위하여 홀 가공 후 홀 단면을 절개한 공작물을 나타낸다.



Fig. 5 Cross sectional view of the drilled hole

2.2 실험조건

본 실험에 사용되는 공작물은 반도체 공정에 사용되는 순도 99.9999% 이상의 단결정 실리콘으로 80×80×5t의 사각 플레이트(plate)를 사용하였다. 드릴은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 초경 샹크(shank)에 PCD 팁(tip)이 블레이징(brazing)되어 있는 드릴을 사용하였고 드릴의 세부치수는 Table 1에 나타내었다. 실험은 실리콘 시편의 홀을 PCD 다이아몬드 드릴로 1회씩 관통하였고 관통후의 돌출길이는 1mm로 일정하게 하여 각각 100개의 구멍을 가공하는 실험을 하였다. 드릴의 마모나 파손을 최소화 하고 미세구멍의 칩의 구멍 막힘을 방지하기 위해 스텝이송 가공을 하였다.

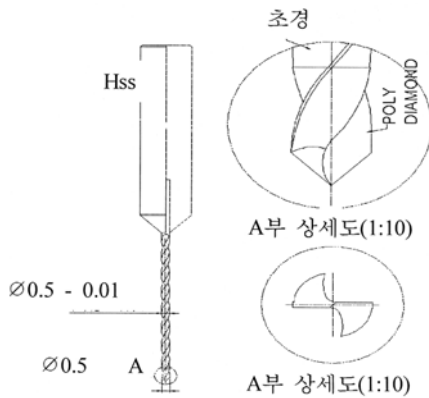


Fig. 6 Shape of micro drill

스텝 이송시 이송속도는 드릴이 들어갈 때 이송속도를 f_{in} 나올 때 이송속도를 f_{out} 이라 정의하였다. 절삭조건은 절삭속도와 이송속도의 변화로 나누어 두

경우 모두 습식절삭실험을 했으며 스텝 피드(step feed)는 0.2 mm, $f_{in} = 15$ m/min으로 고정하고 드릴회전수(n)를 6,000~22,000 rpm으로 4,000 rpm씩 변화를 시키면서 드릴 회전수에 따른 특성을 실험을 했고, 다음 실험에서는 스텝 피드 0.2 mm와 14,000 rpm으로 드릴회전수(n)를 고정하고 $f_{in} = 5\sim 25$ m/min 에서 5 m/min 단위로 변화시켜 실험을 하였다. Table 2는 실험에 사용된 장비를 나타내고 있고 Table 3은 본 실험에 사용된 절삭조건을 나타내었다.

Table 1 Dimension of micro hole drill

Material	PCD Diamond
Drill Diameter(\varnothing)	0.5
Overall Length(mm)	38
Flute Length(mm)	7
Shank(\varnothing)	3.175
Point Angle	120°

Table 2 Experimental equipments

Items	Type
High Speed Precision Machine	Toshiba F-MACH 442
Microscope System	Hyrox CX-7575cs
	Toshiba Color CCD
	Image Partner & Flashbus MV 보드
Surface Tracer	Mitutoyo SJ-400
Profile Projector	Mitutoyo PH3500
Tool	PCD Drill $\varnothing 0.5 \times 6$
Workpiece	Single Crystal Silicon 80×80×5

Table 3 Drilling conditions

Cutting speed (rpm)	Feed rate (m/min)		Step feed (mm)
	f_{in}	f_{out}	
6,000 10,000 14,000 18,000 22,000	15	1,500	0.2
14,000	5 10 15 20 25	1,500	0.2

3. 실험결과 및 고찰

3.1 드릴회전수에 따른 미세구멍 가공특성

실리콘 미세구멍가공에서는 소재가 경도가 크고 취성이 강하며, 또한 드릴의 직경이 작으므로 고속가공을 할 필요가 있다. 하지만 드릴의 회전수가 일정 한도 이상으로 높아지게 되면 열적인 원인이나 진동 등으로 인해 가공 품질에 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 이와 같은 이유로 드릴 회전수에 따른 미세구멍 가공특성을 알아보았다.

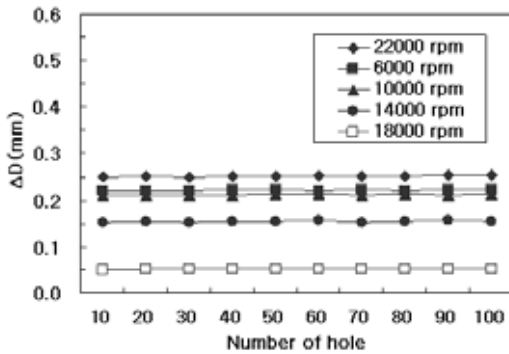


Fig. 6 Amount of chipping at hole entrance ($f_{in}=15$ m/min, wet condition)

실험은 스텝 피드량을 0.2 mm로 고정하고 $f_{in} = 15$ m/min, $f_{out} = 1,500$ m/min으로 하여 수행하였다. 드릴 회전수(n)는 6,000, 10,000, 14,000, 18,000, 22,000 rpm으로 변화시키며 실험을 하였다. Fig. 6은 이 실험에서 구멍가공수에 따른 구멍입구부의 칩핑량을 나타내고 Fig. 7은 구멍출구부에서의 칩핑량을 나타낸다. 실험결과 칩핑량의 변화는 모든 회전수에서 100개의 구멍을 가공하기까지 큰 차이를 나타내지 않았다. 가공후 PCD 드릴의 마모를 측정하였으나 마모량이 매우 적어 그 차이를 정량적으로 나타낼 수 없었다.

Fig. 8은 드릴회전수(n)에 따른 입구부와 출구부의 미세구멍 칩핑량을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 보면 드릴회전수(n)가 6,000 rpm에서 18,000 rpm에서는 칩핑량이 줄어들었으나 22,000 rpm으로 실험을 하였을 때는 오히려 6,000rpm일 경우보다 칩핑량이 많았다. 이는 앞서 언급한바와 같이 드릴의 회전

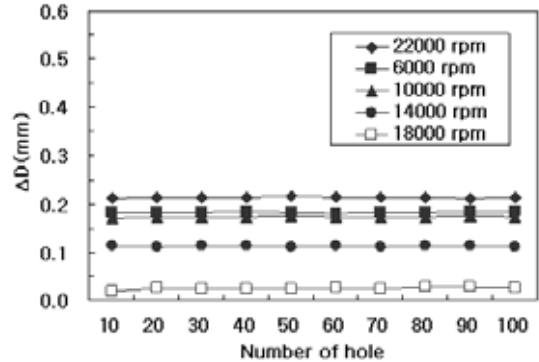


Fig. 7 Amount of chipping at hole exit ($f_{in}=15$ m/min, wet condition)

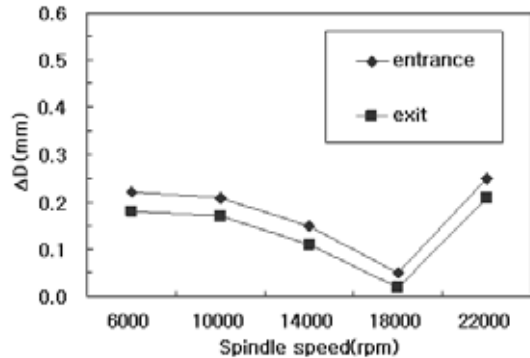


Fig. 8 Amount of chipping versus spindle speed ($f_{in}=15$ m/min, wet condition)

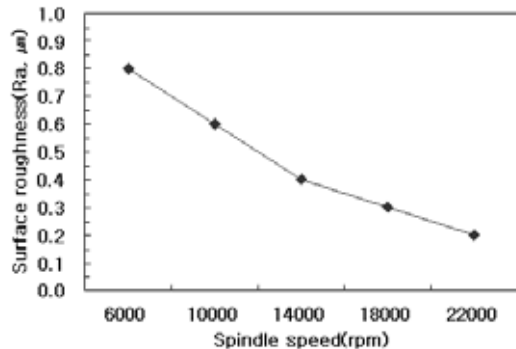


Fig. 9 Surface roughness of the hole versus spindle speed ($f_{in}=15$ m/min, wet condition)

수가 일정하고 이상으로 높아져 진동이 발생했기 때문이다. 또한 입구부와 출구부의 칩핑량을 비교하였을 때 입구부의 칩핑량이 더 많았다. 이는 일반적인 드릴 가공에서 나타나는 현상과 같았고, 그 차이는 0.03~0.05 mm 정도였다.

Fig. 9는 드릴회전수(n)를 변화시키면서 실험을 하였을 때 구멍 단면의 표면거칠기를 나타낸 것이다. 그래프에서 보면 드릴의 회전수가 높아질수록 구멍 단면의 표면거칠기는 향상되는 것을 알 수 있다.

3.2 드릴 이송속도에 따른 미세구멍 가공 특성

실험은 스텝 피드량을 0.2 mm 로 고정하고 드릴회전수(n)를 14,000 rpm, $f_{out} = 1,500$ m/min으로 하여 수행하였다. $f_{in} = 5, 10, 15, 20, 25$ m/min으로 변화시

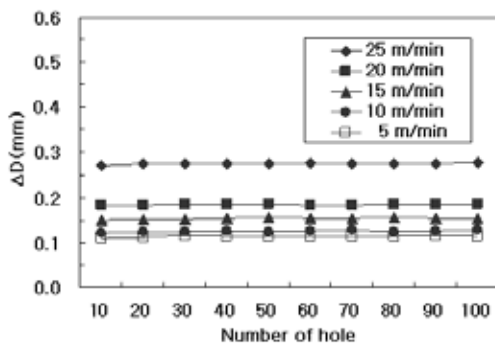


Fig. 10 Amount of chipping at hole entrance (n =14,000 rpm, wet condition)

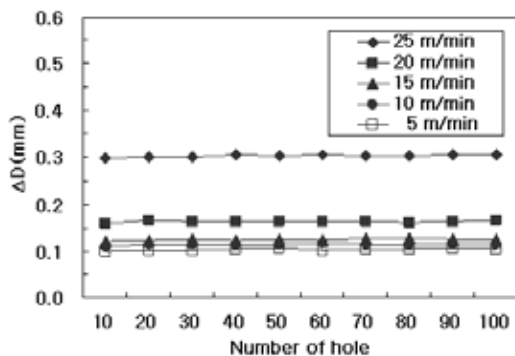


Fig. 11 Amount of chipping at hole exit (n =14,000 rpm, wet condition)

키며 실험을 하였다. Fig. 10은 이 실험에서 구멍가공수에 따른 구멍입구부의 칩핑량을 나타내고 Fig. 11은 구멍출구부에서의 칩핑량을 나타낸다. 실험결과 칩핑량의 변화는 앞절에 드릴회전수(n)를 달리했을 때 실험과 마찬가지로 모든 f_{in} 에서 100개의 구멍을 가공하기까지 큰 차이를 나타내지 않았다. 가공후 PCD 드릴의 마모를 측정하였으나 마모량이 매우 적어 역시 그 차이를 정량적으로 나타낼 수 없었다.

Fig. 12는 f_{in} 에 따른 입구부와 출구부의 미세구멍 칩핑량을 그래프로 나타낸 것이다. 전체적으로 f_{in} 이 증가할수록 칩핑량은 증가하였으나 그 차이가 $f_{in} = 20$ m/min까지는 미미하였고 그 이상으로 하였을 때는 칩핑량의 증가비가 커짐을 알 수 있다. 출구부보다 입구부의 칩핑량이 많았으며 $f_{in} = 25$ m/min 이상으로 하여 가공시 공구의 파손이 일어났다. 또한 $f_{in} = 25$ m/min 일 때는 출구부의 칩핑량이 입구부의 칩핑량보다 오히려 크게 나왔는데, 이는 f_{in} 이 일정하고 이상으로 증가함에 따라 최종 출구부에서는 공작물을 미처 절삭하지 못하고 공작물에 파괴가 발생하여 떨어져 나갔기 때문이다.

Fig. 13은 위와 같이 f_{in} 을 변화시키면서 실험을 하였을 때 구멍 단면의 표면거칠기를 나타낸 것이다. 표면 거칠기는 들어갈 때 f_{in} 이 10~20 m/min에서 $Ra = 0.2 \sim 0.5 \mu m$ 사이로 비교적 양호하였고 그 이하나 이상일 때는 좋지 않음을 알 수 있다. 이러한 이유는 f_{in} 이 일정하고 이하일 때는 칩배출이 원활하지 못하는데 있으며 그 이상일 때는 위에서 언급한 바와 같이 공작물에 파괴가 발생했기 때문이다.

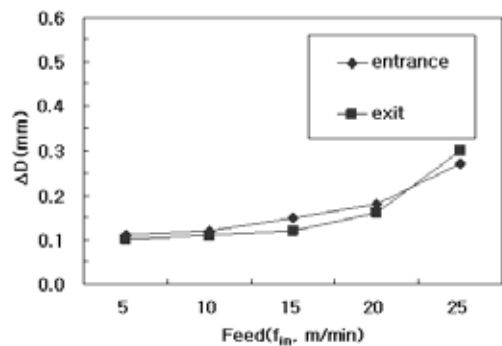


Fig. 12 Amount of chipping versus feed rate (n =14,000 rpm, wet condition)

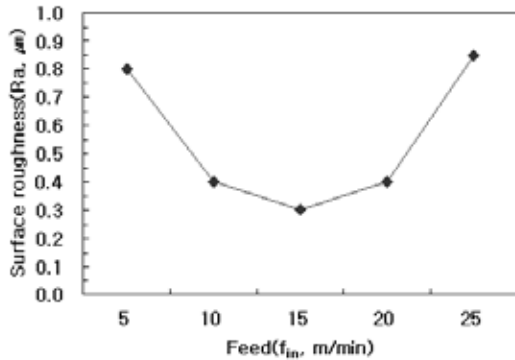


Fig. 13 Surface roughness of the hole versus feed rate ($n = 14,000$ rpm, wet condition)

4. 결 론

본 연구에서는 PCD 다이아몬드 드릴로 실리콘 소재를 미세구멍 가공하였고, 공구현미경과 표면조도계를 사용하여 가공구멍의 품질을 평가하여 본 논문의 실험범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가공시 드릴회전수(n)가 증가할수록 칩핑량이 적어지며 18,000 rpm에서 최소가 되었으나 그 이상에서는 칩핑량이 다시 증가하였다.
2. 구멍 단면의 표면거칠기는 실험조건범위 내에서는 드릴의 회전수가 높아질수록 향상되었다.
3. $f_{in} = 20$ m/min까지는 이송속도가 증가할수록 칩핑량이 완만히 증가하였으나 $f_{in} = 25$ m/min일 때는 칩핑량이 급격히 증가하여 공구 파손이 일어났다.
4. 구멍 단면의 표면거칠기는 $f_{in} = 10 \sim 20$ m/min에서 비교적 양호하였고 그 이하나 이상일 때는 좋지 않았다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, Y. H., "The state of the art in the production planning and control of the semiconductor manufacturing industry," KOPOMS, Vol. 11, No. 3, pp. 85-87, 2001.
2. Kim, H. N. and Lee, H. W., "A study on inner surface roughness variation in micro deep hole drilling operation of Be-Cu material," J. of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 19, pp. 525-530, 2000.
3. Han, J. U., Lee, E. S. and Jung, Y. G., "Micro Drilling by Using Step-Feed," J. of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 9, pp. 281-287, 1995.
4. 김태영, 신형곤, 김종택, 김민호, 이한교, "TiAlN 코팅드릴의 구멍가공특성에 관한 연구," 한국기계공학회지, 제3권, 제4호, pp. 29-36, 2004.
5. 신형곤, "열연강판의 드릴가공시 공구의 마모에 관한 연구," 전북대학교 정밀기계공학과 박사학위 논문, 2000.
6. 지홍기, "<111>방향 단결정 성장한 Si 연삭 특성에 대한 연구," 금오공과대학교 기계설계공학과 석사학위 논문, 2002.
7. 고태조, 김원일, 김희술, 박동삼, 이종찬, 조명우, "21세기를 위한 공작기계," 문운당, pp. 200-215, 2002.