

# Si Cathode 개발을 위한 연삭 및 폴리싱 가공특성

채승수\*, 이충석\*, 김택수\*, 이상민\*, 허찬\*, 이종찬#

## Processing Characteristics of Grinding & Polishing for Si Cathode Development

Seung-Su Chae\*, Choong-Seok Lee\*, Taek-Su Kim\*, Sang-Min Lee\*, Chan Huh\*,  
Jong-Chan Lee#

(Received 28 Januray 2010; received in revised form 12 April 2010; accepted 15 April 2010)

### ABSTRACT

This paper reports some experimental result in grinding and polishing of silicon cathodes used in semiconductor manufacturing process. Cup shape diamond core wheels were used in experiments and the radial and tangential grinding forces were measured with surface roughness. In polishing experiments, flat type and donut type wool polishing tools were tested. The experimental results indicate that the grinding forces are proportional to the material removal rates and the surface roughness are inversely proportional to the spindle speed. The surface roughness of polished Si decreases with polishing time and higher spindle speed.

**Key Words** : Cathode(전극), Silicon(실리콘), Grinding Tool(연삭공구), Wool Wheel(양모 휠)

### 1. 서 론

반도체 제조공정에 있어서 Plasma Etching 공정은 물리적인 이온 충격으로 메모리 회로를 만드는 공정으로써 Chamber에 Gas를 흘려주고 상·하 전극에 전압을 걸어 Plasma를 형성시켜 Silicon Wafer를 선택적으로 식각(Etching) 하는 공정으로 Plasma의 양과 질이 매우 중요한 공정이다. Plasma Etching 공정은 Plasma, Gas, Vacuum 등의 상태에 따라 식각성능이 달라지며, 이러한 식각성능을 좌우하는 가장 큰 요소부품이 전극(Cathode)이다.

\* 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과

# 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : jclee@kumoh.ac.kr

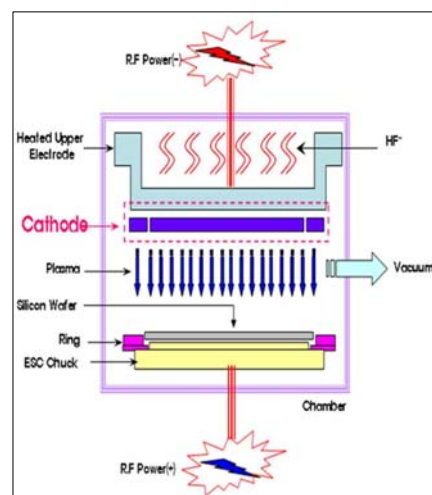


Fig. 1 Diagram of Plasma Etching

Fig 1에는 플라즈마 에칭 공정에 대한 간략한 공정 원리를 나타내었으며, Fig 2에는 일반적인 Cathode 형상을 나타내었다.

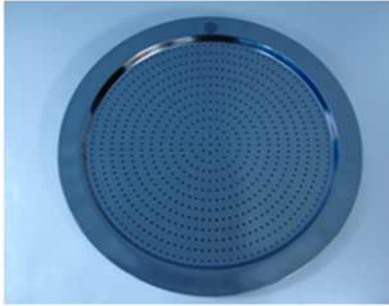


Fig. 2 The Cathode for Plasma Etching

기존에 사용되어온 Plasma Etching 공정용 Cathode는 Carbon과 Silicon을 Elastomer Bond를 이용해 Bonding 한 이후 사용됨에 따라 공정환경의 고온화와 구조적인 문제로 인해 Particle이 발생하여 다량의 불량을 유발한다.

따라서 이러한 Particle의 문제와 구조적인 문제를 해결하기 위해 일체형의 Si Cathode가 요구되고 있다.

플라즈마 에칭 공정용 Si 일체형 Cathode는 반도체와 동일한 고순도 Silicon을 사용함에 따라 소재의 특성상 경도 및 취성이 강해 기계가공을 할 때에 Crack이나 Chipping이 발생하기 쉬워 가공이 어려우며, 생산성도 매우 낮아 이와 관련된 연구가 절실한 실정이다.[1]

본 연구논문에서는 Plasma Etching 공정에 사용되는 일체형 Si Cathode 개발에 있어서 Cathode 상부면의 스텝형상 가공을 위해 전용 공구를 제작하여 각기 다른 가공조건하에서 나타나는 절삭저항력과 표면조도를 측정하여 전용 Tool의 가공성을 분석하였다. 또한 스텝형상 폴리싱 가공을 위해 양모 휠(Wool Wheel)과 콜로이달 실리카(Colloidal Silica)를 주성분으로 하는 Slurry를 이용하여 Si 폴리싱 이후 가공된 표면의 Center부와 Side 부의 표면조도를 측정하여 가공성을 비교·분석 하였다.

## 2. 실험장치 및 조건

### 2.1 Core Wheel

Si 라운드 형상 스텝 폴리싱 가공을 위해 표면 형상 Grinding용 Core Wheel을 제작하였다. 제작된 Core Wheel은 Si Cathode의 상면의 원형가공을 위해 Cup 형으로 선정하였다.

제작된 Core Wheel은 단결정 Si의 높은 경도를 고려해 Diamond 지립을 사용하여 #400, 집중도 N, 결합도 125, 비트리 파이드 본딩재 조건으로 제작하였다. 아래 Fig 3에는 제작된 Core Wheel을 나타내었다.

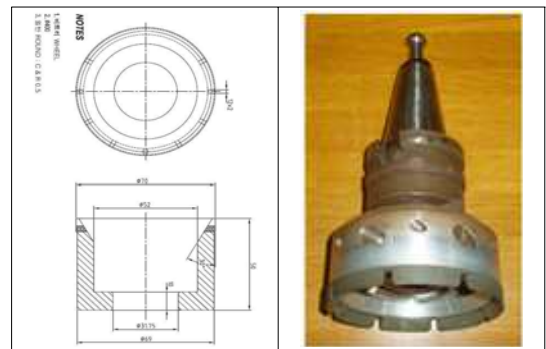


Fig. 3 Core Wheel (DIA400N125V)

### 2.2 Polishing Tool & Slurry

폴리싱 툴은 피삭재와 툴의 접촉면적의 차이에 따라 나타나는 경향을 분석하기위해 양모 휠을 이용하여 Flat Type 형상과 중앙부를 제거한 Donut Type형상으로 제작하였다. 폴리싱 가공 Test에 사용된 슬러리(Slurry)는 Colloidal Silica, Amine, Water를 이용하여 제작된 화합물을 사용하였다. 아래 Fig 4에는 폴리싱 가공에 사용된 툴의 형상을 나타내었다.

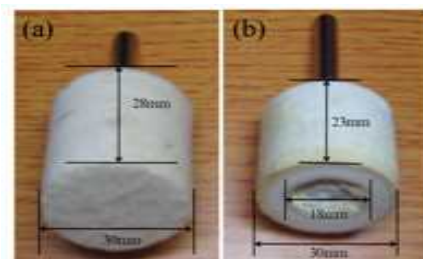


Fig. 4 Wool Wheel for Si Polishing  
(a) Flat Type (b)Donut Type

### 2.1.3 저항력 측정 시스템

본 실험은 절입깊이 최소눈금 1 $\mu$ m인 머시닝 센터를 사용하였다. 실험장치는 Core Wheel을 이용한 연삭 가공 시 발생하는 연삭 저항력을 측정하기 위해서 압전형 공구동력계(Piezo-electric type tool dynamometer, Kistler9257B)를 머시닝센터 테이블에 설치하고 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다.

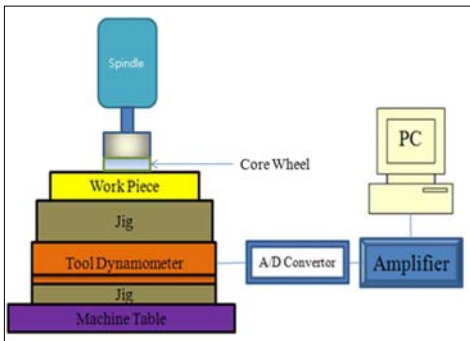


Fig. 5 Experimental Set-up

### 2.2 실험조건

Table 1 Experimental Conditions

Machining Center	Ecomil 43ANDVN
Grinding Conditions	Spindle speed: 500, 1000, 1500 rpm
	Table speed: 50, 126, 300 mm/min
	Depth of cut: 30, 60, 90 $\mu$ m
Polishing Conditions	Spindle speed: 1000, 2000 rpm
	Table speed: 20 mm/min
	Depth of cut: 200 $\mu$ m
Coolant	Soluble type: 50:1
Dresser	Dressing stick WA 200
Workpiece	Grinding : Silicon(150 $\times$ 70 $\times$ 8 mm)
	Polishing : Silicon(100 $\times$ 100 $\times$ 20 mm)
Tool dynamometer	Kistler, 9277B
Amplifier	Multichannel charge amplifier (Kistler 5019A)
Surface Roughness Test Machine	Mitutoyo SJ-201

Table 1에는 실험조건을 나열하였다.

Core Wheel을 이용한 Silicon Grinding 실험은 스펀들 회전속도, 테이블 이송속도, 절입깊이를 변수조건으로 선정하여 각 조건하에 따라 나타나는 Grinding 저항력과 표면조도를 측정하였다.

Polishing 실험은 스펀들 회전속도를 변화시키고 테이블 이송속도와 절입깊이는 고정하여 수행하였으며, Polishing Tool 형상(Flat, Donut)에 따라 동일 조건하에서 총 4회에 걸쳐 가공한 이후 표면조도를 측정하여 비교하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Core Wheel Grinding

Fig 6~8은 동일한 스펀들 속도에서 테이블 속도와 절입깊이에 따라 나타나는 연삭 저항력을 나타내었다.

측정된 저항력은 스펀들의 회전방향인 Radial Force와 공구의 이송방향인 Tangential Force로 분류하였다.

동일한 스펀들 속도에서 연삭 저항력은 절입깊이가 클수록 커지는 경향을 보였으며, 이와 더불어 테이블 이송속도가 증가할수록 연삭 저항력이 커졌다.

이러한 연삭 저항력은 Radial Force와 Tangential Force에서 동일한 경향을 나타내었으며, 그 원인을 살펴보면 절입깊이와 테이블 이송속도 증가는 재료 제거율의 증가로 이어지며, 따라서 단위시간당 재료를 제거하는 제거율이 증가되었기 때문에 저항력이 증가한 것이라 판단된다.<sup>[2][3][4][6]</sup>

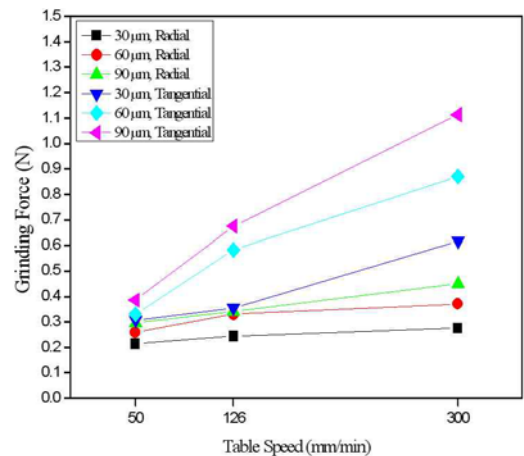


Fig. 6 Grinding Force (Spindle Speed : 500 rpm)

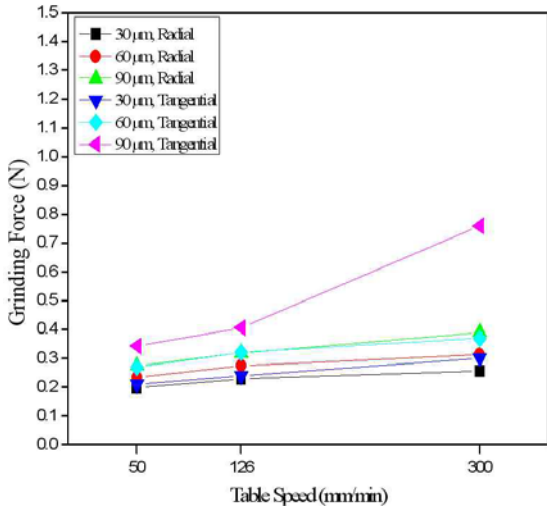


Fig. 7 Grinding Force (Spindle Speed : 1,000 rpm)

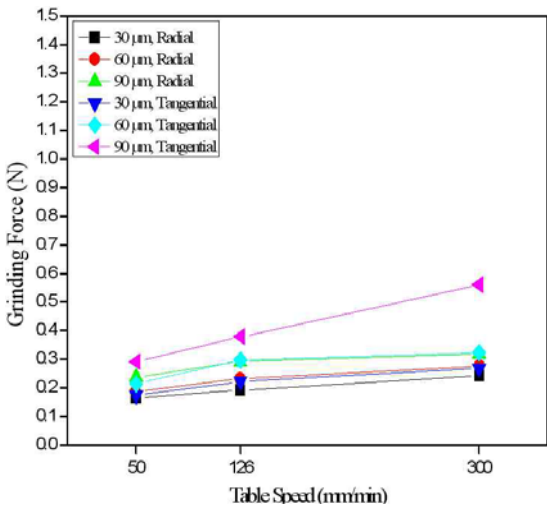


Fig. 8 Grinding Force (Spindle Speed : 1,500 rpm)

Fig 9~11은 동일 절입깊이(30 $\mu$ m, 60 $\mu$ m, 90 $\mu$ m) 조건에서 스피들 속도와 테이블 속도에 따라 나타나는 연삭저항력을 나타내었다.

Fig 9~11의 결과와 같이 높은 스피들 속도와 낮은 이송속도 조건에서 상대적으로 낮은 연삭저항력이 나타났으며, 결과적으로 스피들 회전속도와 테이블 이송속도는 연삭저항력에 있어서 반비례하는 결과가 나왔다.<sup>[7]</sup>

그 원인을 살펴보면 스피들 속도 증가는 단위시간당 절삭입자 1개가 재료를 제거하는 제거율이 감소되기 때문에 보다 낮은 연삭저항력이 나타난 것으로 판단된다. 또한 테이블 이송속도 증가는 Core Wheel에 존재하는 개개의 절삭입자가 Si를 가공할 때 절삭길이가 증가하기 때문에 보다 높은 연삭저항력이 나타난 것으로 판단된다.

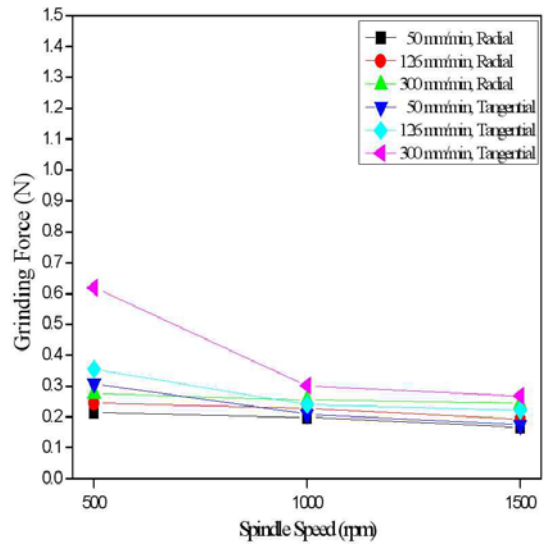


Fig. 9 Grinding Force (Depth of Cut : 30  $\mu$ m)

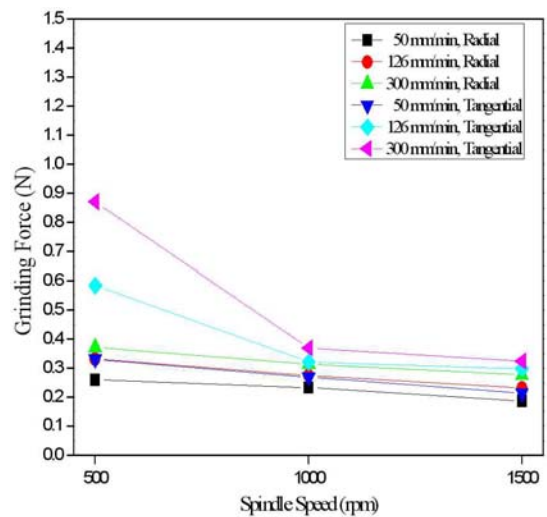


Fig. 10 Grinding Force (Depth of Cut : 60  $\mu$ m)

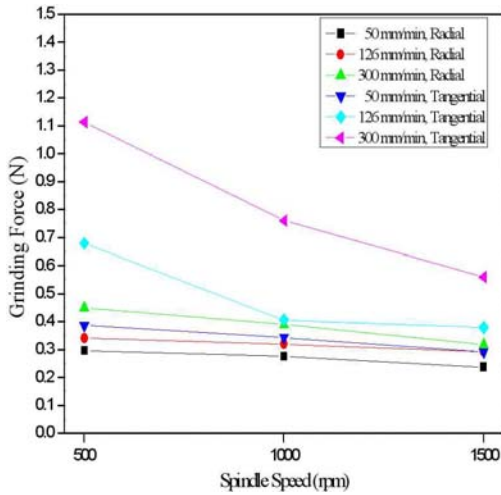


Fig. 11 Grinding Force (Depth of Cut : 90 μm)

Fig 12에는 각 조건하에서 나타나는 표면조도를 나타내었다. 500rpm의 스피들 회전속도에서는 절입깊이가 증가하고, 테이블 이송속도가 증가할수록 표면조도가 거칠게 나타났다. 하지만 1,000rpm과 1,500rpm에서는 테이블 이송속도에 따른 표면조도는 500rpm에서와 유사하게 나타났지만 절입깊이에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 표면조도는 스피들 회전속도 1,000rpm, 테이블 이송속도 50mm/min에서 가장 낮은 표면조도를 나타내었다.

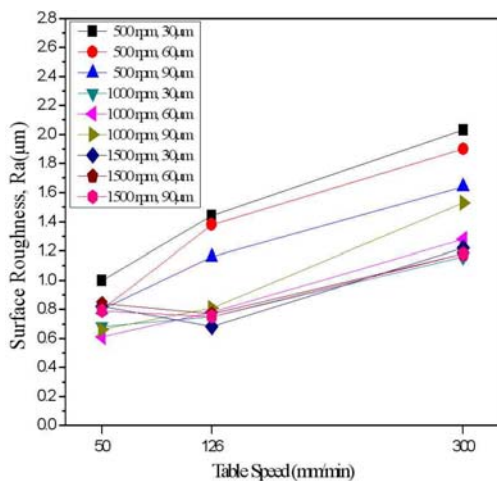


Fig. 12 Surface Roughness

### 3.2 Polishing

아래 Fig 13~15는 스피들 회전속도와 양모 휠 형상 (Flat Type, Donut Type)에 따라 각기 달리 나타나는 표면조도를 나타내었다. 표면조도는 스피들 회전속도가 큰 2,000 rpm에서 보다 우수한 조도값이 나타났다. 그 원인은 아래 식(1) Preston's Equation을 통해 확인할 수 있다.

$$\delta = K \cdot P \cdot t \cdot v \quad (1)$$

위 식에서 K는 Preston 상수, P는 가공압력, t는 가공 시간, v는 상대속도를 나타낸다.<sup>[2][5][8]</sup>

Preston's Equation을 살펴보면 동일한 가압력과 시간에서 상대속도가 증가하게 되면 제거량이 증가됨을 확인할 수 있다. 즉, 회전수 증가는 공작물과의 상대속도를 증가시키게 되어 표면조도가 향상되었으리라 판단된다. Flat Type 형상의 양모 휠에 의한 중앙부와 변부의 표면조도 차이는 상대속도의 원인으로 판단되며, Donut형상 톨에 의한 중앙부와 변부의 표면조도값의 차이는 가공시간의 차이로 인해 발생됨을 확인할 수 있었다.

Fig 15에 나타낸 두 Type의 양모 휠로 가공된 Si 표면의 Center 부위의 표면조도를 비교하였다. 중앙부의 경우 비교적 가공시간이 높은 Flat Type의 양모 휠이 보다 우수한 표면조도를 나타내었다.

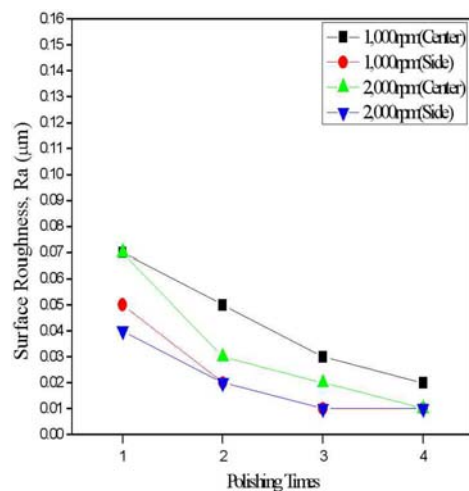


Fig. 13 Surface Roughness (Flat Type)

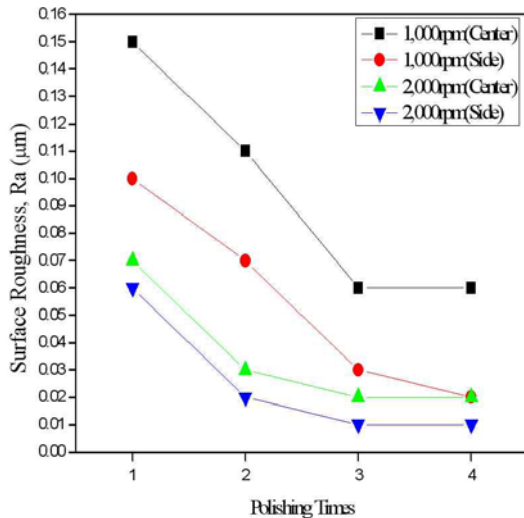


Fig. 14 Surface Roughness(Donut Type)

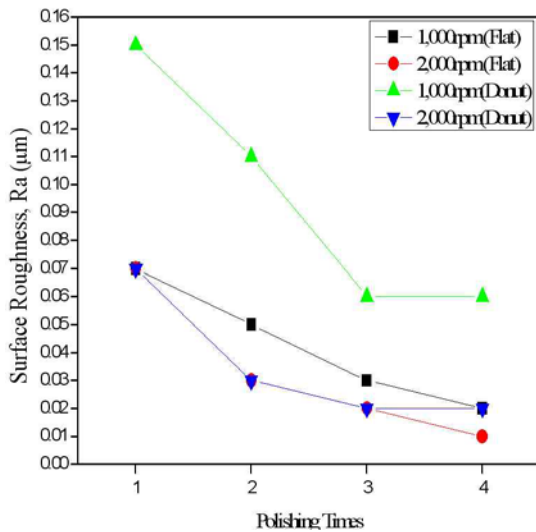


Fig. 15 Surface Roughness of Center (Flat Type versus Donut Type)

### 5. 결론

본 연구에서는 Si Cathode 개발을 위해 제작된 Diamond Core Wheel과 양모 휠, 슬러리를 이용하여 각기 다른 가공조건에서 Test하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. Core Wheel을 이용한 Si 연삭에서 스피들 회전속도가 증가할수록 연삭 저항력은 낮게 나왔으며, 테이블 이송속도와 절입깊이가 증가할수록 보다 높은 연삭저항력이 나왔다. 즉, 연삭저항력은 단위 시간당 재료를 제거하는 제거율에 의존함을 확인할 수 있었다.
2. Core Wheel을 이용한 가공조건에서 스피들 1,000rpm, 테이블 이송속도 50mm/min에서 가장 우수한 표면조도가 나왔다.
3. 폴리싱 가공에 있어서 공구형상(Flat, Donut)에 따른 표면조도 결과를 통해 Preston's Equation에 규명된 것과 같이 상대속도와 가공시간의 영향이 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다.
4. 양모 휠을 이용한 폴리싱 가공에 있어서 스피들 회전속도가 높은 2,000rpm이 1,000rpm보다 우수한 표면 조도가 나왔으며, Flat Type의 양모 휠이 Donut Type의 양모 휠 보다 중앙부와 변부의 표면조도 편차가 보다 낮음을 확인할 수 있었다.
5. 표면조도 0.01 $\mu$ m를 만족시키는 콜로이달 실리카, 아민, 물로 혼합된 슬러리와 양모 휠은 Si 폴리싱에 적합함을 확인할 수 있었다.

### 후 기

본 연구논문은 2007년도 구미전자정보기술원 “지역밀착형 촉진사업”을 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이충석, “Si 연삭가공 특성에 관한 연구,” 금오공대대학원, pp. 2-8, 2005.
2. 이상민, “LCD 유리기판 폴리싱 가공특성에 관한 연구,” 한국기계가공학회, Vol 8. No1. pp78-82. 2009.
3. 이충석외 5명, “폴리싱 정반용 다이아몬드 펠렛의 성능평가”, 한국기계가공학회 추계학술대회, pp147-148, 2009.
4. 이종찬외 5명, “21세기를 위한 공작기계”, 문운당, pp. 235-303, 2005.

5. 김태완, “나노 연마 Grinding Wheel 제조 및 Silicon Wafer에 대한 연마 특성 평가”, 연세대학교대학원, pp. 57-64, 2005.
6. S.Y Luo, K.C Chen, "An experimental study of flat fixed abrasive grinding of silicon wafers using resin-bonded diamond pellets", Journal of Materials Processing Technology, pp686-694, 2009.
7. S. Chidambaram, Z.J. Pei. S. Kassir, "Fine grinding of silicon wafers", International Journal of Machine Tools & Manufacture, pp1595-1602, 2003.
8. Yoo-min Ahn, Joon-Young Yoon, "Chemical mechanical polishing by colloidal silica-based slurry for micro-scratch reduction", Wear, pp785-789, 2004.