

로타리 연삭에 의한 대직경 Si-wafer의 ELID 경면 연삭특성

박창수*, 김원일⁺, 왕덕현⁺

(논문접수일 2001. 5. 3, 심사완료일 2002. 9. 4)

Characteristic of Mirror Surface ELID Grinding of Large Scale Diametrical Silicon Wafer with Rotary Type Grinding Machine

Chang-Soo Park*, Won-Il Kim⁺, Duck-Hyun Wang⁺

Abstract

Mirror surface finish of Si-wafers has been achieved by rotary in-feed machining with cup-type wheels in ELID grinding. But the diameter of the workpiece is limited with the diameter of the grinding wheel in the in-feed machining method. In this study, some grinding experiments by the rotary surface grinding machine with straight type wheels were conducted, by which the possible grinding area of the workpiece is independent of the diameter of the wheels. For the purpose of investigating the grinding characteristics of large scale diametrical silicon wafer, grinding conditions such as rotation speed of grinding wheels and revolution of workpieces are varied, and grinding machine used in this experiment is rotary type surface grinding m/c equipment with an ELID unit. The surface ground using the SD8000 wheels showed that mirror like surface roughness can be attained near 2~6 nm in Ra.

Key Words : Large Scale Diametrical Silicon Wafer(대구경 실리콘 웨이퍼), ELID(Electrolytic In-Process Dressing, 전해 인프로세스 드레싱), Mirror Like Surface(경면), Surface Integrity(표면성상) Micro-structure(미세조직)

1. 서론

반도체 디바이스, 특히 반도체 회로의 요구 사항은 고집적성, 고속성 그리고 다기능성 등에 있으며. 낮은 단가에 높은

생산성을 간과할 수 없다. 반도체 특성에 직접적인 영향을 주는 것은 웨이퍼의 표면 즉, 미소 표면거칠기 (Micro Roughness)가 큰 요인 중의 하나라고 생각된다. 특히, 웨이퍼가 대직경화 됨에 따라 표면의 양호한 가공면 품질을 얻기는

* 주저자, 경남대학교 대학원 기계공학과 (cspark1@dsme.co.kr)
주소: 656-050 경남 거제시 능포동 옥명 대우아파트 102-1102호, Tel: 055-681-7035
⁺ 경남 대학교 기계자동화 공학부

대단히 어렵다.

지금까지 소직경 웨이퍼의 ELID 연삭특성에 대하여는 다수의 연구발표 및 논문이 있고, 우수한 결과들을 얻었다⁽¹⁻³⁾.

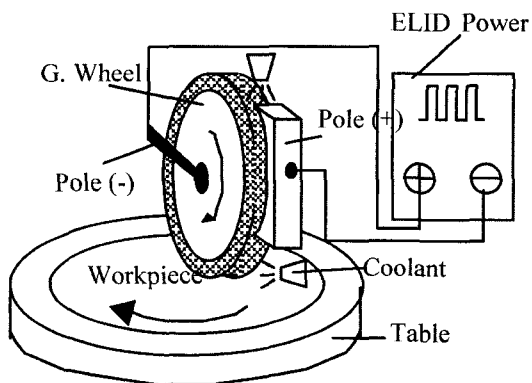
그리고 현재 전기, 전자, 우주 관련산업이 발달됨에 따라 보다 극한적인 환경 조건하에서도 뛰어난 내열성, 내식성, 기계적 강도, 전자기적 특성을 가지며, 초정밀하고 가공후 방향성이 없는 좋은 신소재가 각광을 받고 있다.

또한 전자, 의료 항공, 우주 관련산업 등 각종 산업분야에서는 높은 정밀도와 함께 생산성을 증대시키는 가공공정을 요구하고 있고, 연삭기술또한 그의 한분야로서 중요한 위치를 차지하고 있다⁽⁴⁾.

이러한 재료에는 세라믹스를 비롯하여 초경합금, 페라이트계 등이 있으며, 이러한 재료의 특성은 난삭성과 취성이 높다는 것이다. 그러므로 이러한 첨단 난삭재를 효율적으로 가공하기 위한 공구가 필요하게 되었고 그 중에서도 메탈본드 스톨을 적용한 가공이 점차 확대되고 있다⁽⁵⁾.

메탈본드 스톨은 래진, 비트리파이드 결합제로 제작된 스톨에 비해 고강성, 자기 윤활성을 가지며 연삭비가 현저히 높지만 이러한 메탈 본드 스톨의 이용에 있어서 가장 큰 문제는 드레싱의 어려움이다. 따라서 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해서 연속 전해 드레싱 기술이 개발되었다⁽⁶⁻⁷⁾.

웨이퍼의 가공은 통상적으로 래핑에 의해서 이루어지고 있지만 본 연구에서는 횡형 로타리 연삭기 머시인에 300mm 대구경 실리콘 웨이퍼 (Large Scale Diametrical Silicon Wafer) 를 장착하여 초정밀 경면연삭 가능성, 경제성, 품질 그 성능이 검증되고 있는 연속전해 드레싱 기법을 적용하여 연삭 특성을 평가하였다.



From: ELID Grinding Tech. H. Ohmori.
Fig. 1 Schematic illustration of ELID grinding system

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

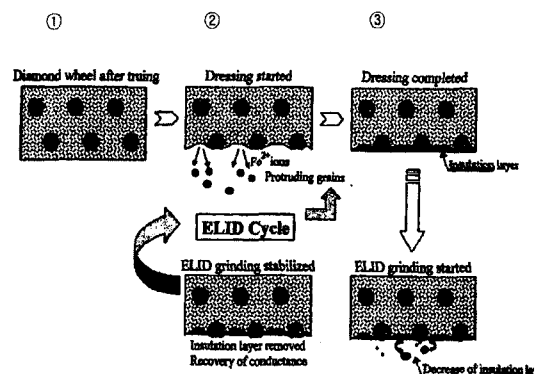
본 연구에 사용한 실험장치 및 측정기는 횡형로타리 평면 연삭기와 표면 거칠기는 비접촉식 형상측정기 등이다. 횡형로타리 평면 연삭기는 최소절입량을 $0.1 \mu\text{m}$ 으로 조절할 수 있도록 별도의 장치를 부착하였다. 그리고 대형 테이블의 직경방향으로 변하는 주속도의 영향을 최소화 하기 위하여 스톨의 위치에 따라서 1 : 3의 비율로 테이블의 회전수가 변하게 되어 있다. 회전하는 테이블에 대하여 상향절삭 (Up-grinding) 방식을 채택하고 있는 기계에 ELID 시스템을 장착하였으며, 실험의 개략을 Fig. 1에 표시하였다. 전극은 스톨면의 1/4면적에 대응하는 것을 사용하였다.

2.1 전해 메커니즘 순서

Fig. 2는 연속 전해 드레싱 래핑의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 스톨입자를 가진 메탈본드 스톨은 트루잉 작업후에도 연마재와 결합제는 평탄화 되어 연마성이 저하된다. 그래서 초기전해 드레싱을 통하여 결합제를 전해 용출하여 연마재를 돌출시킨다.

2.2 전기적 거동의 방법

Fig. 3은 전해 드레싱에 있어서 전기적 거동을 나타내고 있다. 초기 드레싱시에는 트루잉된 스톨표면의 전기 전도성은 양호하다. 이 때문에 전류는 전원상에서 설정된 최대치에 가까운 값이 흐르고, 스톨(양극)과 전극(음극)사이의 전위차는 다음과 같다.



From: ELID Grinding Tech. H. Ohmori.
Fig. 2 The basically chemical theory of ELID cycle

이들의 순차적인 반응에 의해 슷돌면의 전기전도도는 부도체피막의 성장에 따라서 감소하게 되고 전해전류는 감소하고 실제로 전위는 전원상에서 개방전압으로서 설정된 값에 근접하고 있다.

이 전해 현상에서 연삭 슷돌의 결합재가 수 μm 용출한 후, 빠르게 수산화철, 산화철등에 의한 절연층이 연삭 슷돌 표면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다. 그리고 연삭을 시작하면 공작물이 부도체 피막과 접촉하여 슷돌입자가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다. 이에 피막에 의한 절연이 저하되고 또다시 결합재가 돌출되어져 안정된 가공이 진행된다. 이러한 연속드레싱 연삭의 자율적인 제어기능에 의해 초정밀 가공이 유지된다.

2.3 실험재료 및 장비

본 실험에 사용한 실험재료의 형상 및 경도를 Table 1에 나타낸다.

Table 1 The experimental material

Material	Diameter	Thickness	Hardness (Hv)
Si-wafer	300mm	0.8mm	Abt.800-900

본 실험에 사용한 실험장비 사양은 Table 2에 나타낸다.

Table 2 Instrument for experimental

Grinding machine	Rotary grinding M/C (Amadasino, SS501)
Grinding wheel	Cast Iron Bond Diamond for ELID SD8000N100M 300mm x W10 (Fuji co.)
ELID power	Power supply of ELID Fuji ELID 920 (Fuji daisu co.)
Fluid	AFG-M, 50:1 dilute (Nordake co.)
Workpiece	Si-Wafer (300mm)
Measuring Equipment	Surfrest 701 (Mitutoyo co.)

2.4 실험방법

본 연구에 사용한 공작물은 직경 300mm의 대구경 실리콘 웨이퍼이고, 슷돌은 주철본드 다이아몬드 슷돌 #8000이다. 집중도 100의 스트레이트 슷돌이며, 직경 300mm, 폭 10mm이다. 특히, 슷돌은 WA 325의 투루잉 슷돌장치에 의해서 투루잉 시켜서 연삭 개시전 20~30분 정도 초기전해 드레싱하여 날 세우기를 하였다. 공작물은 직경 300mm의 치구 플레이트에 장착하여 원판 전자척에 고정하였다. 전해

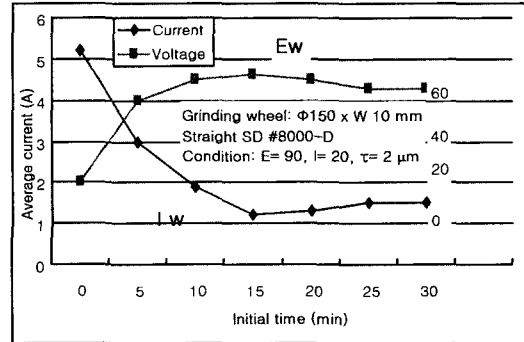


Fig. 3 The electrical behavior of ELID

Table 3 The specification of experimental conditions

Grind-ing condition	Revolution of table (rpm)	800, 1000, 1150
	Work piece speed (m/min)	150, 174, 197
	Ram feed speed (mm/min)	120
	Cutting depth (μm)	1
ELID condition	Voltage (V)	90
	Peak current (A)	20
	On-off time (μs)	2/2
	Pulse	D.C Pulse wave

조건은 인가전압 90V, 설정최대전류 20A 파형은 직류 펄스를 적용하여 펄스 on-off 시간을 $2\mu\text{s}$ 로 하였다. 연삭가공은 절입량 $1\mu\text{m}$, 이송방향은 외경 원주 방향에서 웨이퍼 중심 방향으로 램의 이송 속도 120mm/min으로 하여 슷돌 회전수 및 공작물 주속도를 각각 800 · 1000 · 1150 (rpm), 150 · 174 · 197(m/min)의 3단계로 설정하였다. 설정한 연삭 및 전해조건은 Table 3에 요약하였다.

이 조건에 따라 평면연삭을 행하고 연삭조건이 표면거칠기 및 표면성상에 미치는 영향을 조사하였다.

상기의 조건에 기초해서 평면연삭을 행하고, 연삭조건이 표면거칠기 및 표면성상에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면거칠기의 측정방향

Fig. 4는 표면거칠기 측정을 위해서 공작물 전체에 걸쳐 가공의 불균일성을 검토하기 위하여 공작물의 반경방향은 중심부터 끝단까지 35mm 간격으로 5직선 등분으로 측정

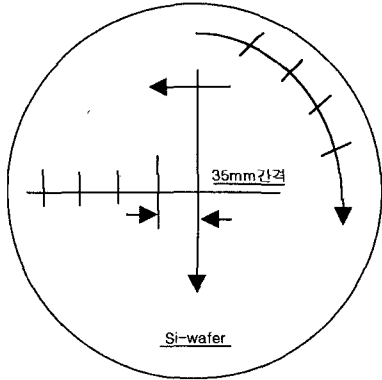


Fig. 4 The measuring point of surface roughness

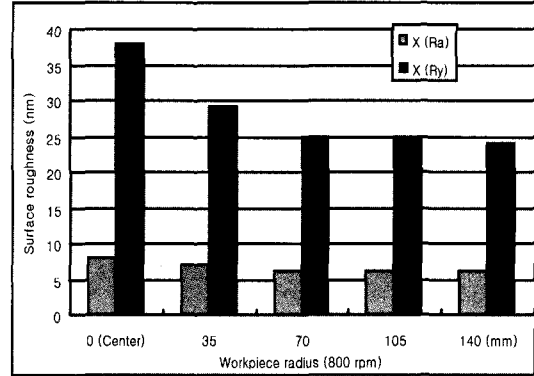


Fig. 5 Influence of feed direction on surface roughness

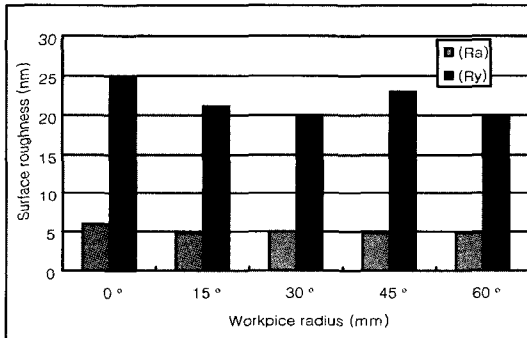


Fig. 6 Influence of grinding direction on surface roughness

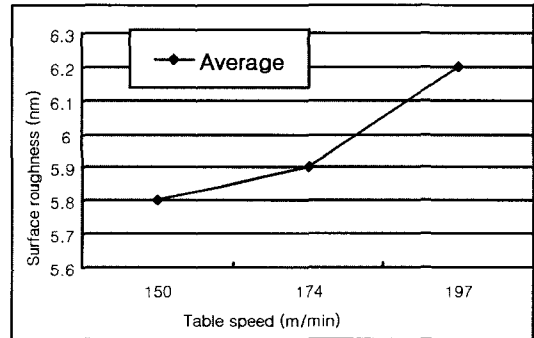


Fig. 7 Influence of workpiece revolution

하고 각 원주방향도 5등분 각도 15°로 원주등분하여 가공의 방향성과 함께 고찰하였다.

3.2 공작물 반경에 대한 표면거칠기

표면거칠기를 표시한다. 평균표면거칠기(Ra)는 공작물 중심으로부터 반경위치에 대하여 약 8nm에서 거의 변하지 않았다.

최대표면거칠기(Ry)도 거의 동일한 경향을 나타내고 있지만 (Ra)에 비해서 연삭숫돌의 하부 칩이 완전히 빠져나가지 못하고 제자리 머물러 있는 요인으로 볼 때, 약간 감소하는 경향이 보인다. 단, 중심부의 표면거칠기는(Ra, Ry) 모두 이외의 위치보다 양호한 것은 이 위치에서 중심방향으로 이동하는 램의 이송방향이 반경중심 방향에서 원위치로 옮기기전 머무르는 것이 그 원인이라 생각된다.

원주방향의 표면거칠기의 경향을 Fig. 6에 표시하였다. 경향은 반경방향과 비슷하지만, 그 값은 Ra 4nm, Ry 25nm로써 약 1/2정도이다.

Fig. 5, 6에서의 방향성 및 변화구배의 차는 반경방향에 있어서는 램의 이송속도, 숫돌면의 경사정도 등에, 원주방향은 입자의 연삭작용에 크게 영향을 받는다고 생각된다. 이외의 연삭조건에서도 유사한 현상이 나타났지만, 거칠기의 값에 있어서는 다소 차이가 있었다.

3.3 표면거칠기와 공작물 주속도와와의 관계

Fig. 7은 숫돌회전수 800rpm, 램의 이송속도 120mm/min에서 공작물의 주속도 150, 174, 197(m/min)에 대한 표면거칠기의 변화를 표시한 것이다. 여기서 표면거칠기는 중심으로부터 끝단까지 10점의 최대값과 최소값 그리고 평균값을 표시하였다. 공작물 주속도의 증가에 따라 표면 거칠기도 증가하고 있지만, 그 변화 구배는 크지 않았다. 평균표면거칠기(Ra)는 각 조건에서 평균 5.8, 5.9, 6.2(nm)라는 양호한 결과를 얻을 수 있었지만 150m/min의 조건에서는 공작물 끝단에서 약간 강한 가공흔적이 발견되었다.

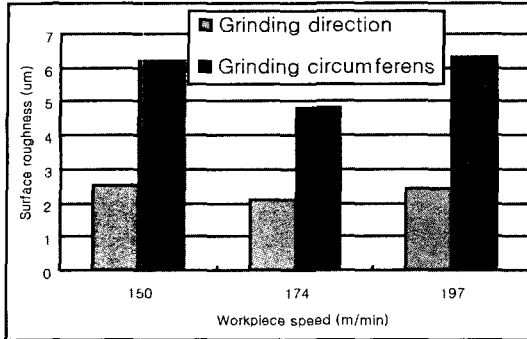


Fig. 8 Surface roughness versus grinding direction

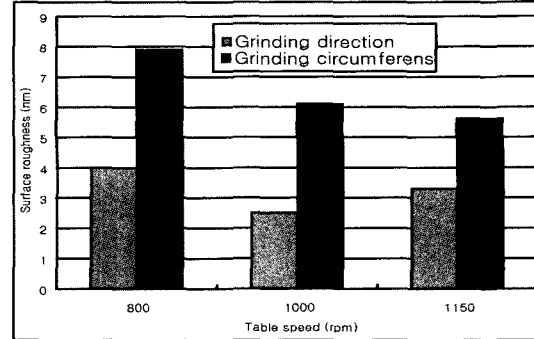


Fig. 9 The influence of wheel speed

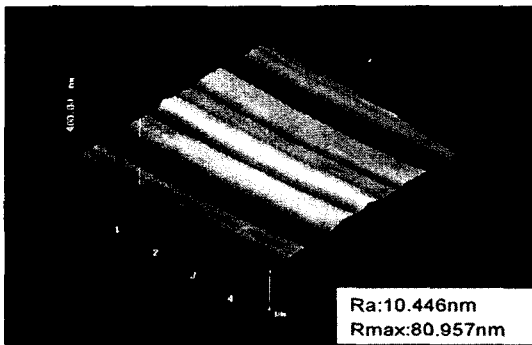


Fig. 10 AFM image for Si-wafer by SD#8000

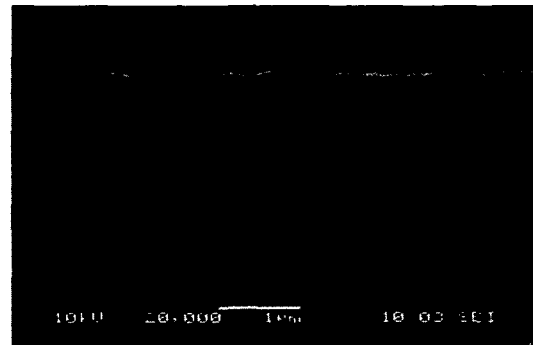


Fig. 11 The cross section of ground Si-wafer

3.4 표면거칠기와 스톨회전수와의 관계

Fig. 8은 스톨회전수 1000rpm, 램의 이송속도 120mm/min에 공작물 주속도를 150, 174, 197(m/min) 변경에 따른 표면거칠기의 변화를 연삭방향별로 표시한 것이다. 여기서 평균 표면거칠기(Ra)는 각 조건 및 연삭 방향에서의 평균값(Ra)이다. 공작물 주속도 174m/min까지는 감소경향을 나타내고 있지만 197m/min에서는 약간 증가하였다. 이 현상은 주속도가 커짐으로 해서 연삭 잔량이 증가하고, 입자의 연삭작용시 입자가 깊게 작용하기 때문에 표면 거칠기는 다소 증가하는 것으로 생각된다. 따라서, Fig. 11의 결과로써 스톨 회전수 1000rpm에서 공작물 주속도 174m/min가 가장 적절한 조건으로 나타났다.

Fig. 9는 공작물 주속도 174m/min, 램의 이송속도 120mm/min에서 스톨회전수 800, 1000, 1150(rpm)에 대한 표면거칠기(Ra)의 연삭 방향별 경향을 표시하였다. 반경방향은 스톨회전수가 증가할 수록 표면거칠기는 감소하고 있지만 원주방향에서는 1150rpm에서 오히려 증가하였다. 이와

같은 현상은 스톨회전수 상위 속도1150rpm부근에서 공작물이 타기 시작한 결과로 생각된다. 표면거칠기의 관점에서는 SD 8000 스톨에서 절입량 1 μm , 램의 이송속도 120mm/min의 가혹한 조건에서도(Ra 4~8nm, Ry25~40)의 경면을 얻을 수 있고 경면 ELID 연삭이 가능하였다.

3.5 실리콘 웨이퍼의 표면성상

Fig. 10은 #8000 스톨에 의하여 가공한 Si-Wafer의 AFM (Atomic Force Microscope)상을 나타낸 것이다. ELID연삭표면은 고정입자 선단에서 형성된 예리한 절삭흔적을 나타내고 있다. 이러한 연삭방향의 절삭흔적이 방향에 따른 표면 거칠기의 차이를 나타내는 요인이다.

Fig. 10은 SD8000N100M 스트레이트 스톨에 의한 실리콘 웨이퍼의 ELID연삭면은 고정입자에 의한 제거 가공이기 때문에 미세한 입자선단의 연삭 작용에 의하여 어느 정도의 가공면질층의 존재는 피할 수 없다. 그러나, 상세한 조사는 할 수 없었지만 Fig. 14에 의하면 최대 1 μm 이하인 것

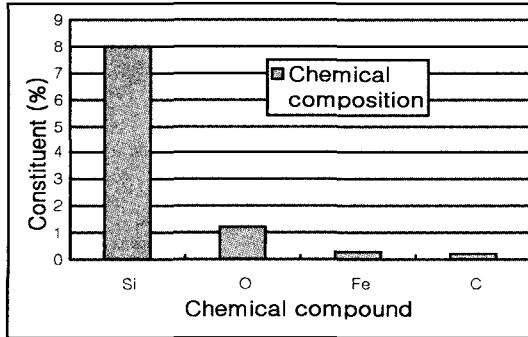


Fig. 12 The chemical composition of surface for si-wafer

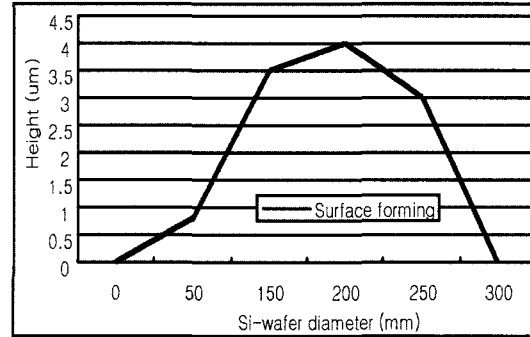


Fig. 13 The flatness of ground si-wafer

을 알 수 있으며, 관용의 래핑가공에 비하여 수배정도 적은 영향을 받고 있을 뿐 아니라 우수한 고능률 경면연삭도 가능함을 알았다. 11 μm 이하의 변질층은 ELID연삭이 웨이퍼의 중간 가공 공정임을 고려할 때 전혀 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

Fig. 12는 실리콘 웨이퍼를 ELID로 연삭작업 완료후, 표면의 상태를 이차전자 이미지 SEI(Second Electron Image)로서 완성되어진 Si-Wafer 표면의 원소들을 나타낸 값이다. 실리콘 웨이퍼는 표면에 불순물이 함유되어 있으면 고유의 성능을 얻기가 어렵다.

본 실험에서는 표면분석 결과는 규소(Si) 8외에 탄소(C) 0.2, 산소(O)2.4, 철(Fe)0.3의 미소량 값은 Si전체를 8의 값은 중요시되지 않는다.

래핑 후 차기 공정인 화학 기계적 폴리싱 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 마무리로서 처리된다.

또한, 최종 가공된 웨이퍼의 표면 화학성분을 분석한 결과 99%이상은 실리콘으로 구성되어 있으나 약간의 산소, 탄소 그리고 철 성분이 검출되었다. 미소량의 불순물이 웨이퍼의 표면층에 존재하고 있는 미소량의 값은 마무리 공정에서 충분히 제거될 수 있으리라 사료되지만, 이러한 불순물 생성기구 및 개선방안에 대하여는 차후 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

Fig. 13은 웨이퍼 중심으로부터 반경 150mm까지 비접촉식 형상측정기로 형상오차를 측정하여 나타내었으며, 가장자리를 기준하여 중심부에서 약 4 μm 정도의 연삭 잔량이 관측되었다. 이러한 현상은 대직경의 공작물을 가공하면서 숫돌의 날무덤 현상을 전해속도가 따르지 못하였거나 지나친 램의 이송속도 그리고 기계의 가공 원리상 중심부의 주속도 저하 등으로 추측된다.

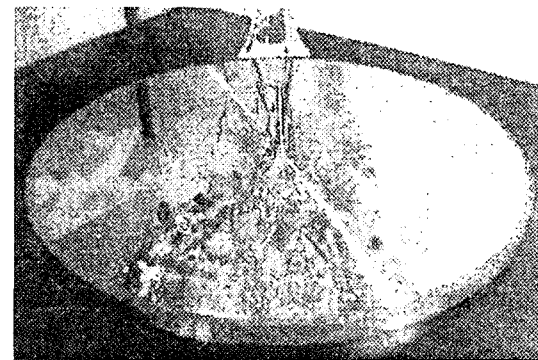


Fig. 14 The photography of machined Si-wafer

Fig. 14는 웨이퍼의 거울면표면이 꽃병의 꽃이 비치는 모습을 디지털 카메라로 촬영한 후의 모습을 보여진다.

4. 결론

본 연구는 #8000 메탈본드 다이아몬드 숫돌에 의한 300mm 대구경 실리콘 웨이퍼의 ELID 경면 연삭 특성을 시험한 것이다. 연삭조건에 대한 표면 거칠기의 방향성과 표면성상 등에 대하여 본 연구의 작업 조건 범위 내에서 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공작물 주속도는 표면거칠기에 거의 영향을 미치지 않았다.
- (2) 표면거칠기는 반경방향에 비해서 원주방향이 1/2정도 양호하였다.
- (3) 본실험의 조건에서는 숫돌회전수1000rpm, 공작물 주

속도 174m/min에서 가장 양호한 결과를 얻을수 있었고, 실리콘 웨이퍼의 경면 연삭이 좋은 결과를 얻을수 있었다.

- (4) 가공조건하에서 웨이퍼 중심으로부터 150mm 위치에서 4 μ m 정도의 형상오차가 있었다.

후 기

본 연구는 2002학년도 경남대학교 학술 논문 게재연구비 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- (1) H. Ohmori: Electrolytic In-Process Dressing(ELID) Grinding Technique for Ultra-precision Mirror Surface Machining, International Journal of JSPE, Vol. 26, No. 4, pp. 273 ~ 278, 1992.
- (2) H. Ohmori: Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding for Optical Parts Manufacturing. Int, Progress In Ultra-precision Engineering, Proceedings of IPES 7th pp. 134 ~ 148, 1993.
- (3) 大森 整, “鑄鐵ボンドダイヤモンドによるシリコンの研削加工,” 昭和63年度精密工學會 春季講演論文集, p. 519, 1988.
- (4) Matsuo, T, Okamura, “Wear Characteristic of General and Superhard Abrasive Grain against Various Hard Materials,” annuals of the CIRP, Vol. 30, pp. 233 ~ 237, 1981.
- (5) M.K.Ha, J.S.Kwak, J.Y.Yang, Y.D. Jung, S.B. Sim, I.I.Ryoo “Characterristics of Grinding Force and Surface Roughness by CBN and WA Wheel” Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers. Vol. 11, No.1, pp. 26 ~ 31, 2002.
- (6) E.S.Lee, J.D.KIM, “A Study on the Analysis of Grinding Mechanism and Development of Dressing System by using Optimum In Process electrolytic Dressing,” Int. J. Mach. Tools Manufacture. Vol. 37, No. 12, pp. 1673 ~ 1681, 1997.
- (7) N.Itoh, H.Ohmori “Finishing Characteristic of ELID-lap grinding Using Ultra Fine Grain Lapping Wheel,” International Journal of JSPE, Vol. 30, pp. 305 ~ 308, 1997.