

실리콘 웨이퍼 연삭가공 특성 평가에 관한 연구

Study on Characteristics of Ground Surface in Silicon Wafer Grinding

이상직*(부산대 대학원), 정해도, 이은상(부산대 기계공학부), 최현중(한국생산기술연구원)

S.J. Lee*(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.) H.D. Jeong, E.S. Lee(Pusan Nat'l Univ.)

H.Z. Choi(KITECH)

Abstract

In recent years, LSI devices have become more powerful and lower-priced, caused by a development of various wafer materials and an increase in the diameter of wafers. On the other hand, these have created some serious problems in manufacturing of wafers because materials used as semiconductor substrate are very brittle. In view of this fact, there are some trials to apply shear-mode(or ductile-mode) grinding for efficient manufacturing of semiconductor wafers instead of conventional lapping process. In fact, grinding process that has not only more excellent degree of accuracy but also more adaptable to fully automated manufacturing than lapping, is already used in Si machining field.

This paper described the elementary studies to establish the grinding technology of wafers. First, we investigated the variation of grinding force and the transition of grinding mode as various grinding conditions. Then, it was inspected that the change of grinding force affected the integrity such as the topography and the roughness of ground surfaces, and led to the chemical defects generation and distribution in damaged layer. The degree of defects was estimated by FT-IR(Fourier Transformed Infrared) Spectroscopy and Auger Electron Spectroscopy

Key Words : silicon wafer, wafer grinding technology, grinding force, specific grinding energy, surface roughness, chemical defects penetration

1. 서 론

21세기 정보화시대를 앞두고 반도체 산업은 끊임없는 발전을 거듭하여 LSI를 비롯한 각종 반도체 디바이스는 점차 고집적화·고기능화 되어가고 있으며 그 크기도 증가하고 있는 추세이다. 이러한 경향에 발맞추어 기판재료로 사용되고 있는 웨이퍼 또한 보다 고정밀도·고품위화 되어야 하고, 칩 크기의 변화에 따른 제조비용(cost)과 제조수율(manufacturing yield) 등이 중요한 문제로 부각되면서 웨이퍼의 크기도 점차 대직경화 되어가고 있다. 그러나 기판재료로 사용되고 있는 실리콘을 비롯한 GaAs, InP 등과 같은 화합물 반도체 재료들은 취성이 매우 강하여 가공상에 많은 문제를 야기시키고 있다. 따라서 웨이퍼의 고정밀도·고품위가공은 물론 대직경화에

적용할 수 있는 가공기술의 필요성이 요구되어 왔으며, 최근에는 이를 위해 웨이퍼 가공기술로서 연삭기술을 도입하려는 노력이 활발히 이루어지고 있다.

2. 웨이퍼 연삭가공기술

지금까지 반도체 공정에 있어서의 연삭기술은 성장시킨 실리콘 단결정 잉곳(ingot)의 외경연삭이나 OF(orientation flat)연삭, 또는 슬라이싱한 웨이퍼의 면취연삭(edge grinding)과 같은 극히 제한된 부분에만 적용되어 왔다. 그러나 반도체 디바이스의 발전은 웨이퍼의 사양 또한 보다 엄격하게 하였고 웨이퍼의 크기도 점차 대직경화

되어 가는 추세이다. 따라서 최근에는 기존의 램핑에 비해 형상정밀도와 표면품질이 우수할 뿐만 아니라, 가공효율이 뛰어나며 대직경 웨이퍼 생산에 대한 적응성이 뛰어난 연삭을 이용한 웨이퍼 가공기술이 주목받고 있다. 그러나 연삭가공은 고정입자를 사용하므로 유리입자를 사용하는 램핑에 비해 표면하부에 보다 많은 가공결함을 발생시키는 단점이 제시되고 있다(Table 1)⁽¹⁾. 따라서 본 연구에서는 실리콘 웨이퍼의 연삭가공 후의 연삭 표면특성과 표면하부의 화학적 결합에 관한 기초연구를 수행하였다.

3. 실험방법

Si 단결정의 연삭특성을 평가하기 위해 웨이퍼의 (100)면을 <001> 방향으로 20×10mm의 크기로 절단하여 사용하였다. SD2000R100B 스톨로 평면연삭기에서 플런지(plunge) 모드로 <001> 방향으로 절입량과 스톨의 속도를 달리하여 가공하였다. 자세한 실험조건은 Table 2와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연삭력의 측정

연삭력(또는 연삭저항)은 연삭공정 시의 하드웨어적·소프트웨어적인 요소들의 복합적 작용에 의한 결과력으로 나타나는 것이라 할 수 있으며, 이러한 연삭력의 작용은 표면의 상태는 물론 표면하부의 결합생성과 종류, 분포 등에 지배적인 영향을 미치게 된다. 일반적으로 법선방향 연삭력은 스톨과 공작물 사이의 상대적 탄성변위를 유발시키고, 스톨의 절입량을 변화시킴과 동시에 절잔(uncut)을 일으키기 때문에, 치수정도나 표면거칠기의 저하와 깊은 관계를 가지며, 접선방향 연삭력은 연삭온도의 상승과 연삭버닝(burning) 등을 고려할 때 중요한 요소가 된다고 알려져 있다. 따라서 훌륭한 연삭기술을 확립하기 위해서는 이들 연삭저항을 측정하고 그 영향을 고찰하는 것이 필요불가결하다.

Fig. 2와 Fig. 3은 절입깊이의 변화와 스톨 회전속도의 변화에 따른 연삭력의 변화를 나타낸다.

Table 1 Comparison Between Grinding and Lapping

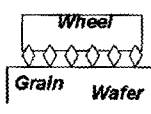
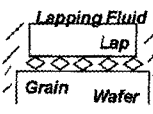
	Grinding	Lapping
Principle		
Grain	Fixed	Loose
Mechanical Damage	Large	Small
Automation	Applicable	Difficult
Removal Speed	> 200 μm/min	< 2 μm/min
Surface Roughness	Rmax < 0.1 μm	Rmax < 1.0 μm

Table 2 Experimental Conditions

Parameters	Conditions
Wheel	SD2000R100B
Workpiece	Single crystalline Silicon Wafer
Depth of Cut	0.1 - 6.0 μm
Wheel Speed	1000 - 3000 rpm
Grinding Mode	Plunge
Machine	NAGASE EPG-52S
Coolant	N-3 Brix Scale 3%
Measurement	Surface Photography Optical Microscope[Olympus] Surface Roughness ACCURA 1500M [Intek Engg.] Chemical Analysis FT-IR Spectroscopy Auger Electron Spectroscopy

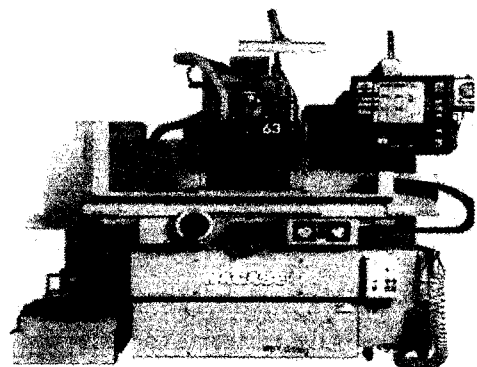


Fig. 1 Grinder of Nagase EPG-52S

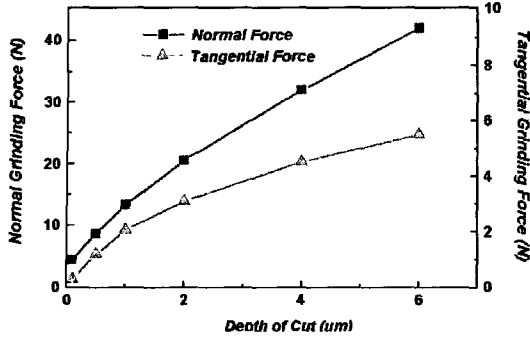


Fig. 2 Depth of Cut vs. Grinding Force

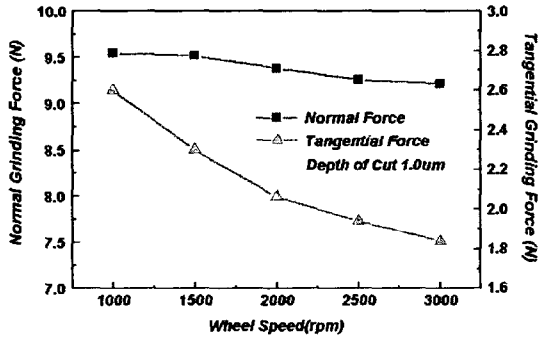


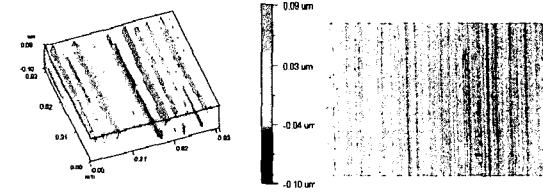
Fig. 3 Wheel Speed vs. Grinding Force

4.2 표면거칠기와 형상

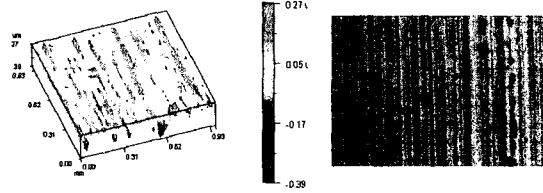
실리콘 웨이퍼는 대표적인 경취성 재료로서 소성변형(plastic deformation)에 의한 연성모드(ductile mode)가공과 취성파괴(brittle fracture)에 의한 취성모드(brittle mode)가공에 의해 가공이 이루어진다. Fig. 4는 3차원 광학식 표면거칠기·형상 측정기(ACCURA 1500M)와 광학 현미경을 이용하여 각각의 가공조건에 따른 웨이퍼의 표면거칠기와 표면형상의 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 절입량의 변화에 따라 (a)는 소성변형에 의한 가공이 지배적으로 이루어지고 있으며, (b)~(c)는 소성변형 가공에 취성파괴가 부분적으로 진행되면서 표면거칠기가 악화되고 있다.

표면거칠기의 변화는 비연삭에너지와 관련지어 생각할 수 있으며, 비연삭에너지(u)는

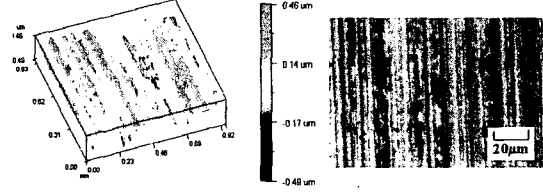
$$\text{Specific Grinding Energy}(u) = \frac{\text{Energy rate needed for grinding}}{\text{Removal rate}}$$



(a) Depth of cut 0.1 μm Ra 28.7nm



(b) Depth of cut 1.0 μm Ra 69.6nm



(c) Depth of cut 2.0 μm Ra 108.8nm

Fig. 4 Surface Topography and Roughness

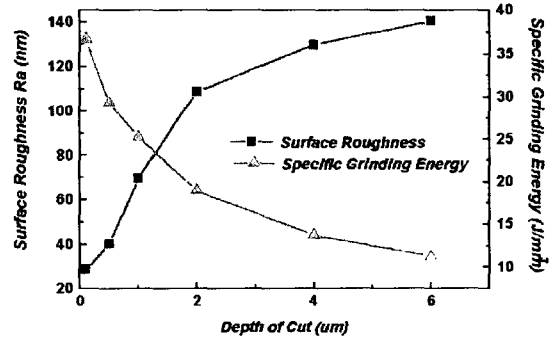


Fig. 5 Correlation of Surface Roughness and Specific Grinding Energy with Depth of Cut

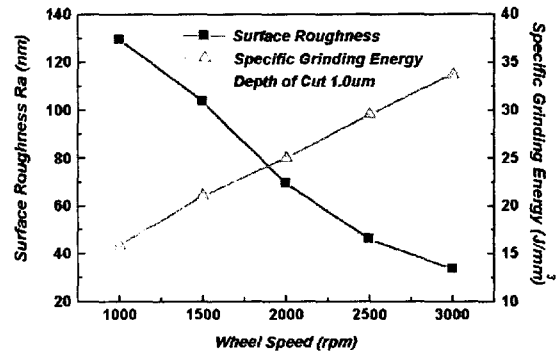


Fig. 6 Correlation of Surface Roughness and Specific Grinding Energy with Wheel Speed

$$= \frac{F_t \cdot V_s}{b \cdot a_p \cdot v_w}$$

로 나타내어진다. 여기서 F_t 는 접선방향 연삭력, V_s 는 슷들의 주속도, b 는 슷들의 폭, a_p 는 절입량, v_w 는 공작물의 이송속도를 나타낸다. 즉, 비연삭에너지는 치수효과에 따라 절입량이 작을수록, 슷들의 회전속도가 증가할수록, 공작물의 속도가 느릴수록 비연삭에너지는 증가하게 된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 절입량과 슷들의 속도에 따른 비연삭에너지와 표면거칠기의 변화를 나타낸 것으로, 비연삭에너지가 증가하는 방향이 표면정도가 향상되는 방향과 일치함을 알 수 있다⁽²⁾.

4.3 연삭표면의 화학적 분석

본 연구에서는 연삭 후 연삭표면에 발생하는 화학적 결합을 분석하기 위하여 FT-IR(Fourier Transformed Infrared) Spectroscopy와 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 사용하였다. FT-IR은 비접촉으로 재료 내에 분포하는 미량의 화학 성분을 빠르고 정확하게 정량·정성분석할 수 있을 뿐만 아니라 시료내에 존재하는 화합물의 결합구조도 판별할 수 있기 때문에 많은 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. AES는 정밀표면분석 기술의 하나로서 고체 시료 표면에 1~25keV의 전자빔을 조사하여 Auger 전자를 방출시켜 재료를 정밀분석할 수 있다. 또한 표면의 일부를 식각(sputtering)시키면서 깊이 방향으로 존재하는 화학원소의 분포를 측정할 수 있다.

본 연구에서는 FT-IR 파장영역 370~4000 cm^{-1} 에서 분해능 2 cm^{-1} 의 투과모드(transmission mode)로 측정하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각의 절입량과 슷들의 회전속도를 변화시켜면서 가공한 시편의 FT-IR 측정 결과이다.

측정결과, 두드러진 파장흡수 영역은

600 cm^{-1} : Si-Si harmonic mode

1100 cm^{-1} : Si-O-Si asymmetric stretching mode
 으로 나타났으며, 모든 시편에 대해 시편 내에 존재하는 화학원소는 원재료인 실리콘 이외에 파장흡수영역 1100 cm^{-1} 의 asymmetric stretching mode의 결합구조를 가지는 Oxide임을 알 수 있었다⁽³⁾. 그러나 FT-IR만으로는 정확하게 Oxide

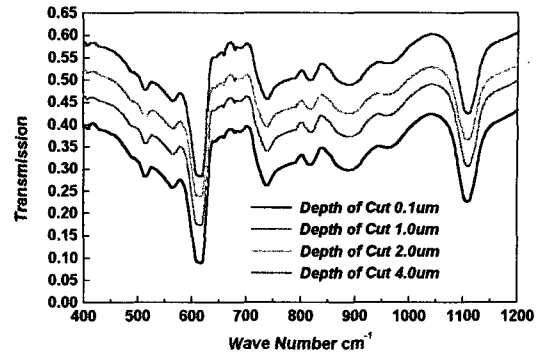


Fig. 7 FT-IR Spectra of Ground Surface with Depth of Cut Varying

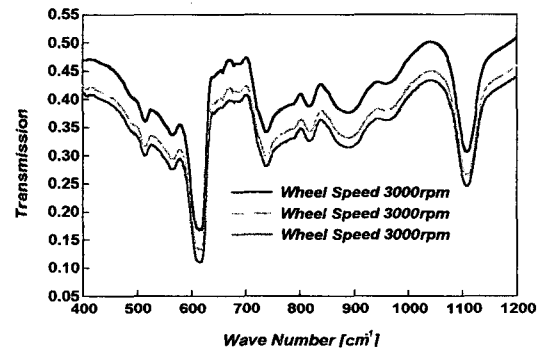


Fig. 8 FT-IR Spectra of Ground Surface with Wheel Speed Varying

성분이 어느 깊이까지 얼마나 분포하고 있는지 파악하기 곤란하므로, 보다 정확하게 성분의 침투깊이와 분포정도를 알아보기 위해 AES에 의한 성분분석을 하였다.

AES의 측정은 전자빔을 1×1mm 영역에 조사하여 1Å/sec의 속도로 스퍼터링(Sputtering)하면서, 50×50 μm 의 영역을 측정하였다.

Fig. 9는 가공후 실리콘 표면에 존재하는 화학 성분을 측정하기 위해 Wide Scan 모드에서 측정한 결과이다. 측정결과, 표면에는 FT-IR에서 검출되었던 Oxide 이외에도 Carbon이 검출되었으며, 시편에 따라서는 Ca, Zn, Na 등의 미량원소가 검출되었다. 이것은 FT-IR으로 측정하였을 때, Carbon의 파장흡수 영역이 실리콘과 거의 동일하여 Carbon의 스펙트럼이 실리콘의 스펙트럼과 중첩되어 그 존재유무를 판별할 수 없었기 때문이며, 다른 미량의 원소들은 가공후 외부요소들에 의한 표면오염에 의해 생성된 것으로 그 양

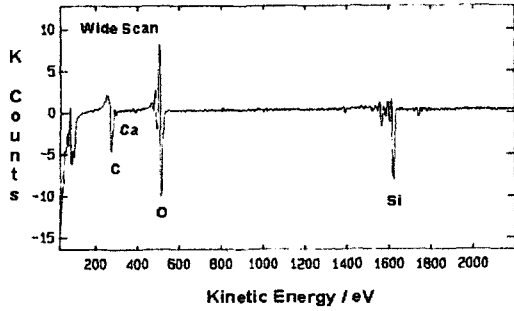


Fig. 9 Chemical Analysis by AES Wide Scan Mode
Depth of Cut 0.1 μ m, Wheel Speed 2000rpm

이 극소량 존재하여 FT-IR의 검출한계를 벗어나 측정이 불가능하였기 때문인 것으로 사료된다. Wide Scan 측정에서 검출된 성분중 가장 큰 피크(peak)는 Oxide와 Carbon으로 나타났으며, 이들 성분에 대한 침투깊이와 분포정도를 알아보기 위해 표면으로부터의 Depth Profile을 측정하였다.

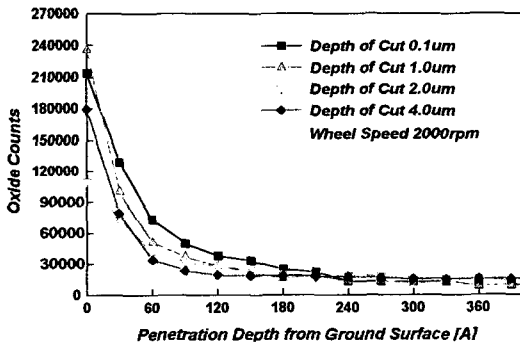


Fig. 10 Depth Profile of Ground Surface with Depth of Cut Varying (Oxide)

Fig. 10과 Fig. 11은 슷돌 회전속도를 2000rpm으로 고정하고 절입깊이를 0.1~4.0 μ m까지 변화시키면서 가공한 실리콘 표면의 Oxide와 Carbon에 대한 Depth Profile 결과이다. Oxide와 Carbon은 표면으로부터 각각 60~70nm, 30nm 까지 침투하여 있었다. 그리고 Oxide가 Carbon보다 성분의 침투깊이(penetration depth)가 깊게 나타났으며, 이것은 실리콘에 있어서 Oxide가 Carbon에 비해 화학적 친화성(chemical affinity)이 더 크기 때문인 것으로 사료된다⁽⁴⁾. 일반적으로 실리콘 단결정에 있어서 자연산화막의 두께가 보통 10~20Å 정도임을 감안할 때, 표면으로부터 수십nm 깊이까지 Oxide와 Carbon이 침투되어 있는 것은, 연삭시 발생하는 연삭입자와 피삭재 사이의 부분적인 마찰에 따른 연삭열에 기인하는 것으로 사료된다. 즉, 연삭표면의 Oxide는 가공에 사용된 연삭액과 반응하고, Carbon은 슷돌의 다이아몬드 입자와의 반응에 의해 생성된 것으로 사료된다.

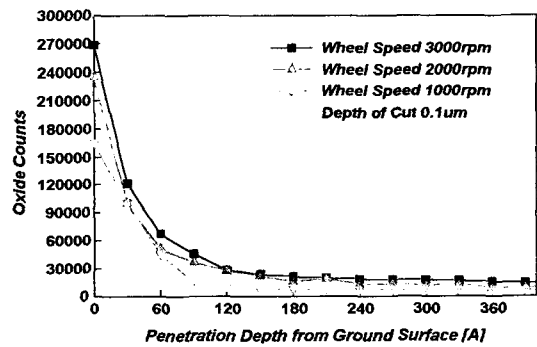


Fig. 12 Depth Profile of Ground Surface with Wheel Speed Varying (Oxide)

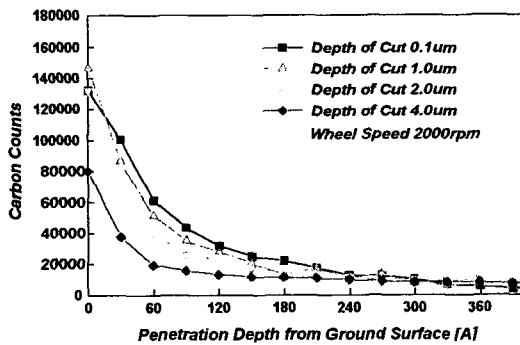


Fig. 11 Depth Profile of Ground Surface with Depth of Cut Varying (Carbon)

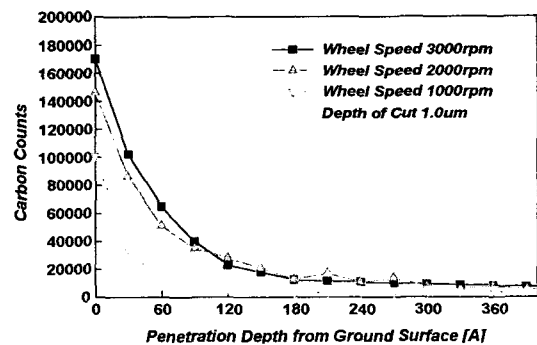


Fig. 13 Depth Profile of Ground Surface with Wheel Speed Varying (Carbon)

Fig. 12와 Fig. 13은 절입깊이를 1.0 μ m으로 고정하였을 때, 슛들의 회전속도에 따른 Oxide와 Carbon의 Depth Profile을 나타낸다.

이상의 결과에서, Oxide와 Carbon은 절입량이 작을수록, 슛들의 회전속도가 빠를수록 침투깊이가 깊고 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 비연삭에너지가 증가하는 방향과 일치하며, 통상적으로 접선방향 연삭력이 클수록 연삭열이 많이 발생한다는 사실과 상당히 배치되는 현상으로, 이것은 경취성 재료가 취성 / 연성의 두가지 가공모드를 가지기 때문으로, 단위체적에 가해지는 기계적 제거 에너지가 커질수록, 그리고 취성모드에 의한 취성파괴 가공보다는 연성모드에 의한 소성변형가공이 많아질수록 보다 많은 연삭열을 발생시켜 화학적 반응을 활성화시키기 때문인 것으로 사료된다.

5. 결 론

다이아몬드 레진 본드 슛들(#2000)에 의한 실리콘 웨이퍼 연삭실험을 통하여 연삭표면과 표면하부의 화학적 특성에 관하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 표면 거칠기의 향상은 비연삭에너지가 증가하는 방향과 일치하였으며, 이것은 재료의 소성 변형에 의한 연성모드 연삭가공이 이루어지는 부분이 점차 증가하기 때문이다.
2. 연삭가공 후 표면에는 Oxide와 Carbon이 침투되어 있었으며, Oxide는 60~70nm, Carbon은 30~40nm까지 침투해 있었다. Oxide는 연삭열에 의한 연삭액과의 반응에 의해 생성된 것이며, Carbon은 연삭입자인 다이아몬드와의 반응에 의해 생성된 것으로 사료된다. 그리고 Oxide가 Carbon에 비해 침투깊이가 깊고 분포량이 많은 것은 실리콘에 대한 Oxide와 Carbon의 화학적 친화성의 차이에서 기인한 것으로 사료된다.
3. 실리콘 웨이퍼와 같은 경취성 재료에 있어서, 화학성분의 침투와 분포와 같은 화학적 결합은 절입량이 작을수록, 슛들 회전속도가 빠를수록 깊고 넓게 확산되어 있음을 알 수 있으며, 이는 통상의 접선방향의 연삭력에 의존한

다기 보다는 비연삭에너지에 의존성이 강하다.

참 고 문 헌

1. N.Masanori et al., "Mass Production Back Grinding/Wafer-Thinning Technology for GaAs Devices", IEEE Vol.13, No.3, September 1990, pp.528-533
2. Jongchan Lee et al., "A Study on the Grinding Parameters Affecting the Surface Integrity of Ceramics", Proceedings of 3rd Japan-Korea Joint Workshop on Surface Finishing, Deburring Technology and Other Production Problems, 1998, pp.31-40
3. Yih Cahng, Yao-Ti Hung et al., "Si-O-Si Bonding Configurations of Damaged Layer Formed After Diamond Grinding and Chemomechanical Polishing of Si Wafers", Proceeding of the Int'l Abrasive Technology, 1997, pp.38-42
4. I.Zarudi, L.C.Zhang, "Subsurface Structure Change of Silicon After Ultra-Precision Grinding", Proceeding of the Int'l Abrasive Technology, 1997, pp.33-37
5. U.Bismayer et al., "Measurement of Subsurface Damage in Silicon Wafers", Journal of ASPE, Vol.16, No.2, April 1994, pp.139-144