

論文

반도체 웨이퍼 다이싱용 나노 복합재료 블레이드의 제작

장경순*, 김태우*, 민경열**, 이정익***, 이기성*

Fabrication of Organic-Inorganic Nanocomposite Blade for Dicing Semiconductor Wafer

Kyung Soon Jang*, Tae Woo Kim*, Kyung Yeol Min**, Jeong-Ick Lee*** and Kee Sung Lee**

ABSTRACT

Nanocomposite blade for dicing semiconductor wafer is investigated for micro/nano-device and micro/nano-fabrication. While metal blade has been used for dicing of silicon wafer, polymer composite blades are used for machining of quartz wafer in semiconductor and cellular phone industry in these days. Organic-inorganic material selection is important to provide the blade with machinability, electrical conductivity, strength, ductility and wear resistance. Maintaining constant thickness with micro-dimension during shaping is one of the important technologies for machining micro/nano fabrication. In this study the fabrication of blade by wet processing of mixing conducting nano ceramic powder, abrasive powder phenol resin and polyimide has been investigated using an experimental approach in which the thickness differential as the primary design criterion. The effect of drying conduction and post pressure are investigated. As a result wet processing techniques reveal that reliable results are achievable with improved dimension tolerance.

초 록

반도체 퀴즈 웨이퍼 다이싱용 블레이드는 마이크로/나노 디바이스와 부품을 제조하기 위해 고정밀도의 가공성을 요구한다. 따라서 균일한 마이크로/나노 선폭의 가공을 위해서는 블레이드의 제작 단계에서 균일한 두께와 밀도를 유지하는 것이 중요하다. 기존의 실리콘 웨이퍼 가공을 위해서는 금속의 블레이드가 사용되고 있지만 퀴즈 웨이퍼 가공을 위해서는 고분자 복합재가 사용된다. 이러한 복합재는 가공성, 전기전도성, 그리고 적절한 강도와 연성 및 마모저항성이 있어야 한다. 그러나 기존의 건식성형 공정으로는 균일성을 유지하기 위해 많은 공정과 비용이 소비되고 있다. 본 연구에서는 도전성 나노 세라믹스 분말, 연마재 세라믹스 분말에 열경화성 수지, 전도성 고분자를 혼합한 복합재 분말을 습식성형 공정에 의해 제조, 평가하는 연구를 수행하였다. 먼저 복합재 분말을 액상과 혼합하여 블레이드를 제작하였으며, 액상의 종류, 액상 건조공정의 영향을 고찰하였다. 평가는 마이크로미터 측정기와 현미경을 이용하여 두께를 측정하였다. 두께편차와 기공률, 밀도, 경도, 등의 특성을 비교, 평가하였다. 그 결과 습식성형에 의해 블레이드의 두께편차를 감소시킬 수 있었으며, 경도 등의 특성을 향상시킬 수 있었다.

Key Word : 나노복합재 블레이드(Nanocomposite Blade), 다이싱(Dicing), 반도체(Semiconductor), 웨이퍼(Wafer), 습식성형(Wet processing), 테이프캐스팅(Tape casting)

* 국민대학교 기계자동차공학부 기계설계전공 대학원

*+ 국민대학교 기계자동차공학부 기계설계전공 대학원, 교신저자(E-mail:keeslee@kookmin.ac.kr)

** 주식회사 동신

*** 인하공업전문대학 기계설계

1. 서론

휴대폰을 비롯한 PDA, 디지털TV, 스마트폰 등 각종 디지털 정보기기들이 인터넷 접속이나 컴퓨팅 기능을 원활하게 구현하기 위해 많은 반도체 칩을 필요로 하고 있다. 또한 정보기기의 양상이 점차 복합 다양화 되는 추세를 보이고 있는 가운데 제품 간의 융합은 더욱 진전될 것으로 전망됨에 따라 하나의 정보기기 안에는 보다 많은 반도체 칩이 필요하게 될 것이다[1]. 이를 가능하게 하기 위해서는 칩의 크기가 소형화 되어야만 한다. 하지만 칩의 크기가 점점 소형화 됨에 따라 외부에서 발생하는 진동과 같은 작은 영향이라도 회로에 손상을 줄 수 있기 때문에 퀴즈 웨이퍼 초정밀 절단공정인 다이싱(Dicing)에서의 정밀도를 유지하는 것은 상당히 중요한 문제가 되고 있다[2]. 따라서 실리콘 웨이퍼를 가공하는 금속 또는 전착 블레이드가 아닌 블레이드를 사용하게 되는데 블레이드의 제조에서 마이크로미터에 달하는 두께 편차를 해결하고, 전도성 폴리머의 응용 및 전도성 나노크기 복합재료의 분산기술을 바탕으로 전기 전도성과 내마모성이 우수한 블레이드를 제조하는 기술의 개발이 우선시 된다.

반도체 웨이퍼의 다이싱(dicing)공정은 Fig. 1 처럼 패턴링(patterning) 된 웨이퍼에서 다수의 칩들을 절단해서 개개의 칩으로 분리해 내는 것을 말한다[3]. 이와 같은 웨이퍼의 다이싱 공정은 다이아몬드 입자가 박힌 얇은 회전 블레이드(blade)를 웨이퍼에 이송하여 절단하는 방법[4-8], 레이저를 이용한 절단 방법[9-11]이 반도체 웨이퍼 다이싱 기술로 가장 일반화 되어 있다. 그 외에도 거의 사용되지는 않지만 Photo-lithography[12]나 Plasma etching[13] 방법이 있다. 또한 최근에 개발된 방법으로 고정된 스크라이버에 웨이퍼를 이송시켜 스크라이빙하고 브레이킹하는 방법이 있다[14].

반도체 가공 장비가 발달된 일본이나 독일에서는 퀴즈(Quarz) 웨이퍼 가공용 블레이드가 이미 개발되어 국내에 공급되고 있는 실정이며, 단점을 보완한 금속-레진 블레이드의 개발도 이미 진행 중이지만 아직 국내에서는 스크라이버를 이용한 다이싱 기술은 물론이고, 다이아몬드 입자가 박힌 얇은 회전 블레이드를 웨이퍼에 이송하여 절단하는 일반적인 반도체 칩 다이싱 시스템조차 개발되어 있지 않아 수입에 의존하고 있다. 또한 다이싱에 관련된 수입 장비도 대부분 회전 블레이드를 이용한 다이싱 방식이므로 수율, 정밀도 그리고 가공속도가 떨어지고 가공 유연성이 부족한 실정이다[15].

또한, 기존의 라미네이션(Lamination)을 이용한 건식 공정으로 제작된 퀴즈 웨이퍼 가공용 블레이드는 두께편차의 문제를 해결하기 위해 후가공 공정을 추가하여 비용과 시간을 증가시키는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 라미네이션을 이용한 건식 공정으로 제작된 퀴즈 웨이퍼 가공용 블레이드를 분석하여 혼합되는 원료와 배합비율을 파악하고, 테잎 캐스팅 공정을 추가한 습식 공정의 방법과 기존의 건식 공정을 결합하여 후처리

가공을 생략한 공정을 통하여 균일한 두께편차와 밀도, 원료의 분산, 경도를 우수하게 하여 제품의 가공 특성을 향상시키고, 제작비용과 시간을 줄일 수 있는 최적의 공정 조건을 찾아내어 반도체 퀴즈 웨이퍼 다이싱용 블레이드를 개발하는 것이 본 연구 목적이다.

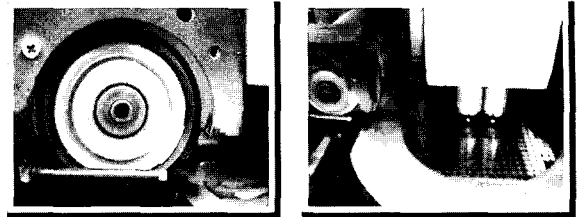


Fig. 1 Dicing processes of quartz wafer.

2. 실험

2.1 소재 및 실험장치

본 연구에서는 SiC 또는 다이아몬드 분말, 세라믹스 분말을 연마재로 사용하고, 고분자 수지로 열경화성수지, 전도성 고분자물 첨가하여 성형보조제, 나노크기의 전도성 화합물 및 coupling agent를 액상프레온 용매와 혼합하여 사용하였다. 먼저 기존의 건식 공정으로 블레이드 시험편을 제작하기 위해 혼합재 분말을 가열가압하기 위한 라미네이션 장비(HMM-04A, Korea)를 사용하였고, 습식 공정으로 균일한 두께의 블레이드 시트를 제조하기 위해 테잎캐스팅 장비(STC-14A, Korea)와 시트를 가열가압하기 위해 라미네이션 장비(HMM-04A, Korea)를 사용하여 블레이드 시험편을 제작하였다. 그리고, 경도를 측정하기 위해 마이크로 경도계(HM-114, Japan)를 사용하였다.

2.2 시편제작

블레이드의 제작은 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 분말의 혼합단계 후 두 가지 공정으로 나누어 시편을 제작하였다. 혼합분말의 제조다음 건식 공정은 성형 틀에 분말을 균일하게 넣어주는 단계와 라미네이션 장비를 사용하여 가열가압하는 단계, 그리고 이형단계로 나눌 수 있다. 습식 공정은 혼합된 분말을 사용하여 슬러리를 제조하는 단계, 테잎캐스팅 단계, 가열가압 단계, 그리고 이형단계로 나눌 수 있다.

먼저 블레이드의 주성분이 되는 탄화규소 또는 다이아몬드 세라믹스 분말 30~50wt%에 열경화성 수지를 첨가하였다. 이때 열경화성 레진은 탄화규소 또는 다이아몬드 세라믹스분말입자들 사이의 결합력을 증가시키는 역할도 하게 되며, 첨가량은 탄화규소 또는 다이아몬드 세라믹스 분말에 대하여 10~30wt%를 첨가 혼합하였다. 그리고, 전도성 고분자 5~10wt%를 첨가하고, 전기 전도성을 지니게 하기 위한 나노 크기의 전도성 화합물을 5.0~

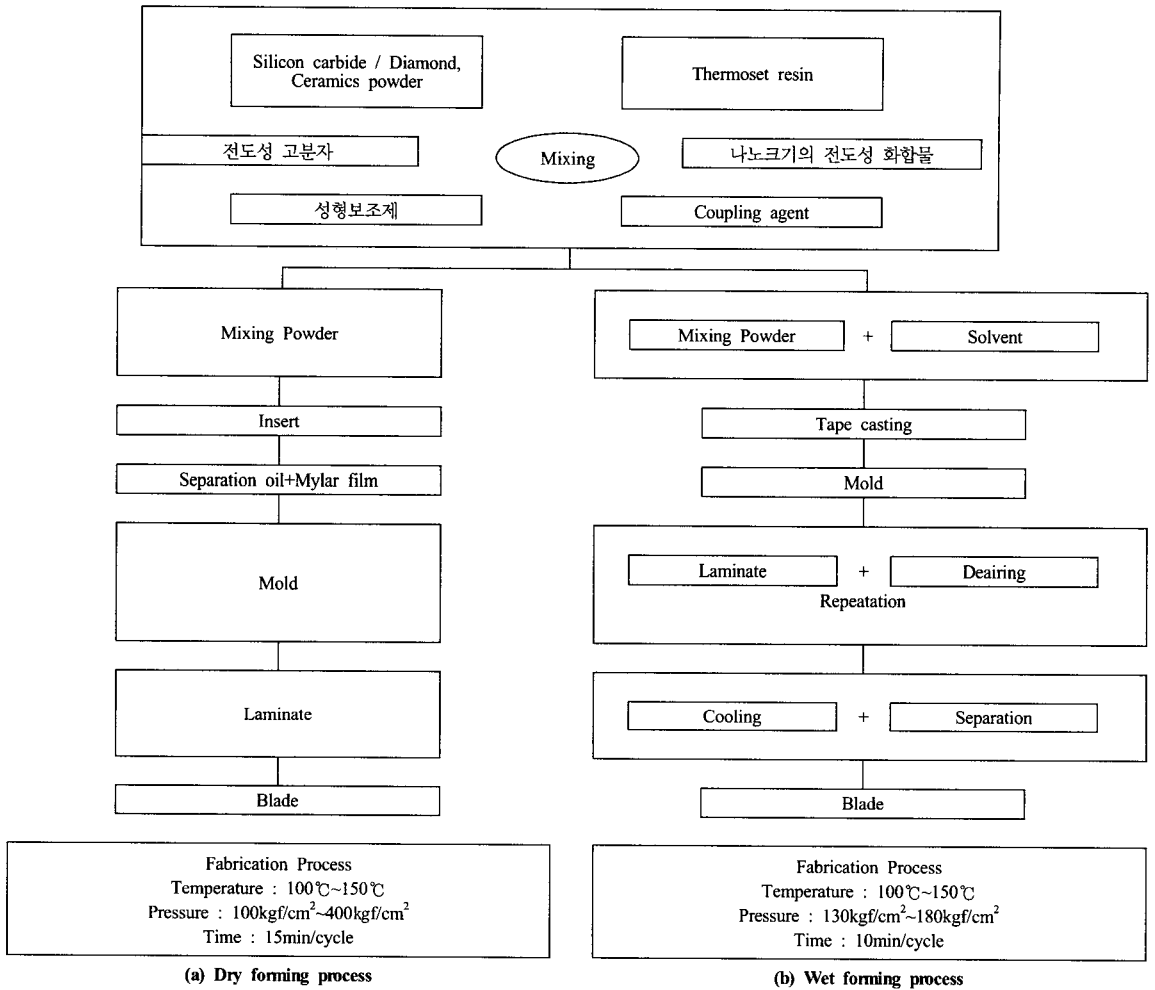


Fig. 2 Schematic diagram of blade manufacturing processes of blade.

25.0wt%, 혼합분말간의 결합력을 증대시키기 위한 coupling agent 를 0.1~1.0wt% 첨가 혼합하여 폴리에틸렌 용기에 넣고 진동 밀(vibration pot mill)에서 1시간 동안 건식 혼합하여 균일한 혼합이 이루어지도록 하였다. 다시 이 혼합물에 10~50wt%의 액상 프렌 용매를 혼합하여 혼련기에 넣고 4시간 동안 고르게 혼합하여 액상 혼합물을 형성하고 100℃이상의 온도에서 24시간동안 건조시킨 후에 마노유발로 다시 분쇄하여 125 μ m크기의 체를 통과한 분말을 얻어내는 단계를 거쳐서 혼합분말을 제조하였다. 이때에 건조시 온도를 100℃ 이상으로 24시간 유지시키는 이유는 본 블레이드의 원료인 열경화성 수지를 1차 경화온도 이상으로 가열하기 위해서이다. 이렇게 제조된 분말을 사용하여 건식 공정과 습식 공정으로 나누어 실험을 실시하였다.

건식 공정은 제조된 혼합원료를 블레이드 형상의 금속 형

틀에 일정량 넣은 후 진동을 주어 분말이 고르게 분포되게 하였다. 이 때, 성형 후 블레이드 시험편이 형틀에서 이행하기 쉽도록 Separation oil을 형틀에 칠해주었다. 다음으로 분말을 넣은 형틀을 라미네이션 장비에 장착하고, 온도를 100℃이상으로 가열한 후, 압력을 150~180kgf/cm²까지 승압하면서 다시 온도를 150℃ 이상으로 승온하였다. 약 15분간 온도와 압력을 유지시킨 다음 세 번의 가스배출 작업을 통해 블레이드 시험편의 표면에 기포자극이 남지 않도록 하였다. 이렇게 가열, 가압된 형틀을 라미네이션 장비에서 해체하여 바로 냉각을 시킨 후 형틀에서 블레이드 시험편을 이행시켰다.

한편, 습식 공정은 제조된 혼합분말과 1.0~5.0wt%의 성형보조제, 0.5~5.0wt%의 분산제를 20wt%의 아세톤 용매와 혼합하여 다시 12시간 불 밀링을 하여 슬러리용 원료를 생성한다.

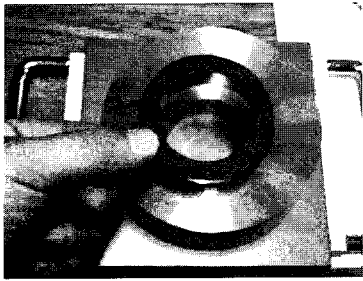


Fig. 3 Insertion of blade sheet into the mold.

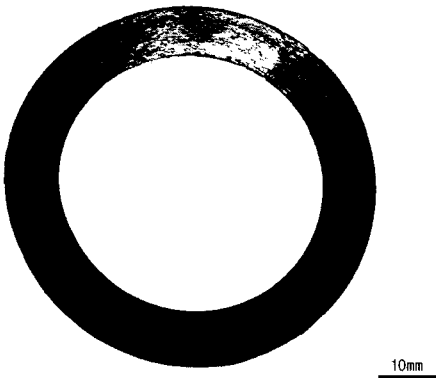


Fig. 4 Fabricated blade of hub type by wet processing.

한편, applicator의 두께간극을 $500\mu\text{m}$ 로 하고, 모터의 속도를 0.2 cm/sec , 온도는 상온에서 30°C 까지 분당 0.1°C 의 승온 속도로 승온하고 30°C 의 온도에서 24시간 유지하도록 하여 앞서 형성한 슬러리를 사용하여 테일캐스팅을 하여 균일한 두께를 갖는 블레이드 시트를 형성하였다.

그리고 성형된 필름을 57mm , 내경 40mm 의 블레이드 형상의 펀치로 가압한 후, 절단을 하여 형상을 유지시켰으며, 테일 캐스팅 장비에서 필름을 제거하여 다시 상온에서 48시간 이상 보관, 유지시켜 용매인 아세톤이 충분히 건조시킨 후 블레이드 형상의 시트를 마일러 필름에서 제거하여 균일한 두께를 갖는 시트를 제작하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 절단된 블레이드를 성형 틀에 넣고 수평이 유지되는 라미네이션 장비를 사용하여 온도를 100°C 까지 분당 5°C 의 속도로 승온하고 100°C 의 온도에서 10분간 유지한 다음 130kgf/cm^2 의 압력으로 10분간 가압한 후 다시 가압을 하여 블레이드 내부에서 발생한 가스를 제거하는 방법으로 각각 10분씩의 공정을 주기로 하여 온도는 150°C , 압력은 180kgf/cm^2 까지 승온 및 가압을 반복하며 블레이드 표면에 기포자국이 발생하지 않도록 하여 블레이드를 열경화 시켰다.

가열된 성형 틀을 라미네이션 장비에서 해체하고 냉각수로 급냉하여 블레이드를 최종 경화 및 냉각하여 성형 틀 내부의 블레이드의 형상을 유지하면서 유압 프레스 장비를 사용하여 냉각된

성형 틀에서 블레이드를 제거하고 블레이드 주변의 버를 제거하여 퀴츠 웨이퍼 절단용 블레이드를 제작하였다. 제작된 시험편을 Fig. 4에 나타내었다.

2.3 실험방법

제작된 블레이드의 두께편차가 $5\mu\text{m}$ 내외의 허용범위를 만족시켜야만 퀴츠 웨이퍼의 절단용으로 성능을 발휘할 수 있게 된다. 따라서 블레이드의 두께편차를 줄여 나가기 위해, 공정에서 라미네이션 장비의 수평 조절 절차가 두께편차에 영향을 주는지에 대해 확인하고, 승온 온도와 최고 압력을 변화 시키며 시험편을 제작하여 마이크로미터 측정기로 두께편차를 측정하였고, 결과를 바탕으로 최적화된 공정 조건을 결정하였다.

또한, 테일캐스팅을 사용한 습식공정이 아닌 기존의 라미네이션만을 사용한 건식가압공정으로 제작된 독일 제품과 제작한 블레이드 시험편들의 비교를 위해 밀도와 겉보기 기공률을 측정하였고, 마이크로 경도계를 사용하여 각 시험편의 경도를 측정하였으며, 광학현미경을 사용하여 습식성형 공정으로 제작한 시험편을 촬영하였다. 그리고 제작된 블레이드의 구간별 특성 평가를 위해 시험편을 동일한 크기로 8등분 하여 각 구간의 밀도와 겉보기 기공률을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 두께편차 감소를 위한 공정 변수의 제어

Fig. 5와 같이 시험편으로 제작된 블레이드는 총 5종류로 Table 1에서와 같은 조건으로 수평제어 여부와 성형시 최대압력을 변화시킨 후 시험편을 8구간으로 나누어 각 구간의 중앙부의 두께편차를 측정하였다. 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Lot No. 1은 절단된 블레이드 형상의 시트를 성형 틀에 삽입한 후 100°C 까지 분당 5°C 의 속도로 승온하고 100°C 의 온도에서 10분간 가열한 다음 150kgf/cm^2 의 압력으로 10분간 가압한 후 가압하여 승온하는 규칙적인 단계를 처음과 동일하게 각각 10분의 시간을 주기로 온도 150°C , 압력 300kgf/cm^2 까지 승온 및 가압을 실행하였다. 이 때 온도는 10°C 씩, 압력은 약 30kgf/cm^2 씩 증가 시켰다. 승온, 가압이 된 블레이드를 냉각 및 이형시키기 위해 가열된 성형 틀을 냉각수로 급냉하여 블레이드를 최종 경화 및 냉각시키고, 유압 프레스 장비를 사용하여 냉각된 성형 틀에서 블레이드를 제거한 후 블레이드 주변에 생성된 버를 제거하여 Lot No. 1의 블레이드를 제작하였다.

이렇게 제작이 완료된 블레이드를 마이크로미터 두께 측정자를 사용하여 각 구간별 두께를 측정하고 평균을 내어 편차를 측정한 결과 $4.923\mu\text{m}$ 가 측정되었다.

한편, Lot No. 2는 Lot No. 1의 두께편차를 감소시키고자 성형시 최대 압력을 $300\sim 250\text{kgf/cm}^2$ 로 줄여서 Lot No. 1과

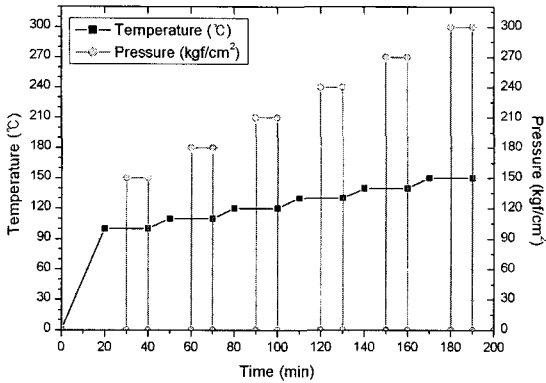


Fig. 5 Hot-pressing cycle of blade.

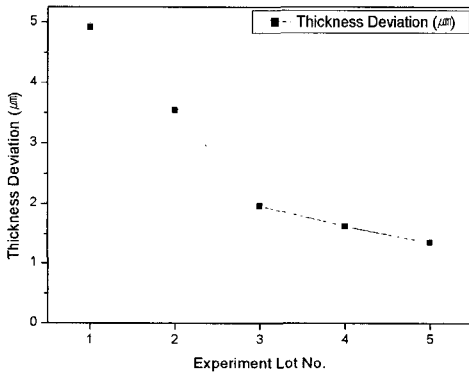


Fig. 6 Experimental result showing decrease of thickness deviation of blade.

Table 1 Experimental result showing decrease of thickness deviation of blade

Experimental Lot No.	실험전 수평조절	성형시 최대압력 (Kgf/cm ²)	두께편차 (µm)
No. 1	×	300	4.923
No. 2	×	250	3.544
No. 3	○	300	1.96
No. 4	○	250	1.625
No. 5	○	180	1.356

동일한 방법으로 블레이드를 제작하였다. 그 결과 두께와 밀도를 줄이기 위해 최고 압력을 증가 시켰을 때 보다 더 편차는 줄었음을 알 수 있었다.

위의 Lot No. 1과 Lot No. 2를 비교해본 결과로 블레이드를 제작할 때 가열과 가압을 하기위한 라미네이트 장비의 수평이 블레이드의 두께편차에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되어 Lot No. 3 ~ Lot No. 5는 각 실험 전 라미네이트 장비의 수평을 조절한 후 실험을 실시하였다.

또한, Lot No. 1과 Lot No. 2에서 성형시 최대 압력이 감소하였을 경우 두께편차가 감소하였음을 확인하고 Lot No. 3 ~ Lot No. 5는 성형시 최대 압력을 감소시켜 실험하였다.

그 결과 Lot No. 3은 두께편차가 1.96µm으로 실험전 수평조절을 해서 결과값이 크게 줄었음을 알 수 있었다.

그리고, Lot No. 4는 Lot No. 3과 동일한 방법으로 성형시 최대 압력을 250kgf/cm²으로 감소시킨 후 블레이드를 제작하였다. 그 결과 1.625µm로 편차가 더 줄어들었다.

Lot No. 5는 Lot No. 4와 동일한 방법으로 블레이드를 제작하되 성형시 최대 압력을 180kgf/cm²으로 감소시켰다. 그 결과 1.356µm로 편차가 더 줄어들었다.

이러한 결과는 성형압력이 증가하면 상대밀도는 증가하지만 어느 정도 이상의 높은 밀도에 이르게 되면 압력의 증가에 의해 탈형시 부피가 오히려 팽창하는 Springback 현상 때문에 증가한 것이라고 생각된다.[16]

이 때에 성형시 최대 압력이 150kgf/cm²보다 작아지면 두께편차가 다시 증가하는 현상을 보였기에 최대 압력의 적정값을 180kgf/cm²으로 선정하였다.

3.2 밀도와 겉보기 기공률 비교를 통한 특성 평가

습식 공정을 통하여 제작한 블레이드 시험편의 특성 평가를 위해 건식 공정만을 사용하여 제작된 제품 및 독일제품과 비교하였다. 세 가지 시험편을 대상으로 밀도와 겉보기 기공률을 측정하여 제작한 시험편의 특성을 평가할 수 있었다.

그 결과를 Fig 7에 나타내었고, Table 2에서 확인할 수 있다. 세 가지 시험(독일제품-Foreign goods, 건식공정-Domestic goods, 습식공정-This Study) 중에 습식공정으로 제작한 시험편의 밀도는 독일 제품이나 국내 개발 제품과 유사하였으며, 겉보기 기공률이 가장 적었다.

습식성형에 의해 밀도가 증가하는 이유는 마이크로 단위의 미립자들이 액상에 둘러싸여 유동성이 증가하여 충전밀도가 향상되기 때문이라 생각된다.[17]

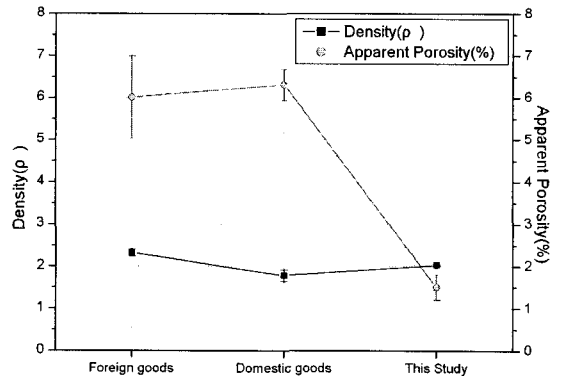


Fig. 7 Density and porosity of blade.

Table 2 Density and porosity of blade

	Foreign goods	Domestic goods	This Study
Density (ρ)	2.32	1.78	2.03
Apparent Porosity(%)	6.01	6.31	1.50

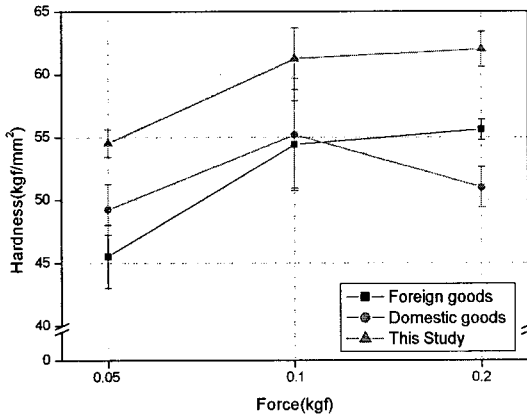


Fig. 8 Hardness of blade as a function of loading force.

Table 3 Hardness of blade as a function of loading force

Force (kgf)	Foreign goods	Domestic goods	This Study
0.025	45.80	49.24	54.52
0.1	54.42	55.20	61.24
0.2	55.60	51.02	61.98
Average	51.54	51.82	59.25

3.3 경도 비교를 통한 특성 평가

다음은 세 가지 시험편을 대상으로 마이크로 경도계를 사용하여 경도의 측정을 통해 제작한 시험편의 특성을 평가할 수 있었다.

그 결과를 Table 3에서 확인할 수 있으며 본 연구와 같이 습식성형으로 제작한 시편의 경도가 건식성형으로 제작한 국내의 제품보다 높은 이유는 Table 2에서 고찰한 바와 같이 유동성 향상에 의해 증가된 밀도에 기인한다.

그 결과를 Fig. 8에 도식화하여 쉽게 확인할 수 있다.

3.4 구간별 밀도와 겉보기 기공률의 측정을 통한 특성 평가

Fig. 9는 제작한 블레이드를 8등분하여 각 구간별 밀도와 기공률을 측정한 결과이며 Table 4에 그 수치가 자세히 제시되어있다.

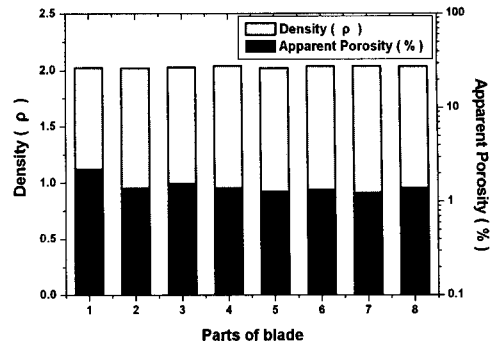


Fig. 9 The graph showing uniformity of density and apparent porosity of blade.

Table 4 Density and apparent porosity of parts of blade

구분	Density (ρ)	Apparent Porosity(%)
1	2.03	2.26
2	2.02	1.41
3	2.03	1.57
4	2.04	1.41
5	2.02	1.31
6	2.04	1.36
7	2.04	1.26
8	2.03	1.42

이에 따라, 각 구간의 밀도와 기공률이 거의 일치하여 블레이드가 전체적으로 혼합재의 분포가 균일함을 확인 할 수 있었으며, 수치값에 차이가 나는 이유는 측정 시 발생하는 오차로 추정할 수 있다.

이러한 이유 또한, 구간별 밀도와 기공률이 습식성형으로 인한 유동성 향상에 의해 변화하는데 기인한다.

4. 결론

본 연구에서는 반도체 퀴츠 웨이퍼 다이싱용 블레이드를 습식공정을 활용하여 시편을 제작하고 기계적 특성을 측정하여 기존의 블레이드와 비교, 평가하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 블레이드의 제작에 있어서 건식공정과 습식공정으로 나누어 시편을 제작하여 두 시편의 두께편차를 측정하고 습식공정으로 제작된 시편의 두께편차가 더 작았다.
- 따라서 건식공정의 문제인 두께편차와 입자의 고른 체적밀도를 습식공정을 통하여 해결할 수 있었다.
- 습식공정으로 제작한 시편의 표면 거칠기가 가장 고른 분포

를 보였으며, 결보기 기공률 또한 가장 적게 측정되었다.

- 경도 역시 습식공정으로 제작한 블레이드의 경도값이 가장 우수함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 실시한 중소기업기술혁신개발 사업의 일환으로 주식회사 동신에서 지원하는 연구과제 및 서울시 산학연 클러스터사업(나노공정 및 장비개발 혁신클러스터 사업)의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 10583)

참고문헌

- 1) 이영길, “SoC 기술동향 및 유망시장”, KISTI, 2005.3.
- 2) 김성철, 이은상, 송지복, “실리콘 웨이퍼의 초정밀 절단가공에 관한 연구”, 한국공작기계학회논문집, 1999, pp. 502-506.
- 3) Oklobdzija, V. G. and Barnes, E. R., “On Implementing Addition in VLSI Technology,” IBM T. J. Watson Research Center, 1998.
- 4) Assembly Technology, “Dicing Saw Cuts Wafers Easily, Accurately,” *Machine Design*, Vol. 66, 2000, No. 13
- 5) Ko, K. Y., Cha, Y. Y. and Choi, B. S., “Wafer Dicing State Monitoring by Signal Processing,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 5, 2000, pp. 70-75.
- 6) Ko, K. Y., Cha, Y. Y. and Choi, B. S., “Monitoring of Wafer Dicing State by Using Back Propagation Algorithm,” *Journal of Control Automation and Systems Engineering*, Vol. 6, No. 6, 2000, pp. 486-491.
- 7) Hassui, A., Diniz, A. E. et al., “Experimental Evaluation on Grinding Wheel Wear through Vibration and Acoustic Emission,” *Wear*, Vol.217, 1998, pp. 7-14.
- 8) Subramanian, K., Ramanath, S. and Tricard, M., “Mechanism of Material Removal in the Precision Production Grinding of Ceramics,” *Journal of Manufacturing science and Engineering*, Vol. 119, 1997, pp. 509-519.
- 9) Avagliano, S., Bianco, N., Manca, O. and Naso, V., “Combined Thermal and Optical Analysis of Laser Back-scribing for Amorphous-Silicon Photovoltaic Cells Processing,” *International Journal of Heat & Mass Transfer*, Vol. 42, No. 4, 1999, pp. 509-519.
- 10) Collier, I. T., Gibbs, M. R. J. and Seddon, N., “Laser Ablation and Mechanical Scribing in the Amorphous Alloys VAC 6030 and METGLAS 2605 SC,” *Journal of Magnetism & Magnetic Materials*, Vol. 111, No. 3, 1992,

pp. 260-272.

- 11) Wenham, S. R., Chan, B. O., Honsberg, C. B., “Green MA. Beneficial and Constraining Effects of Laser Scribing in Buried-contact Solar Cells,” *Journal of Progress in Photovoltaics : Research & Applications*, Vol. 5, No. 2, 1997, pp. 131-137.
- 12) Wang, A., Zhao, J., and Green, M. A., “24% Efficient Silicon Solar Cells,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, No. 602, 1990.
- 13) Chong, C. and Davies, K., “Plasma Grooved Buried Contact Silicon Solar Cells,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, No. 602, 1991.
- 14) Cha, Y. Y. and Go, K. Y., “Development of scribing machine for dicing of GaN wafer,” *Journal of Control Automation and Systems Engineering*, Vol. 8, No. 5, 2002, pp. 419-424.
- 15) 차영엽, 최범식, “A New Dicing Method for Semiconductor Wafer,” 대한기계학회논문집 A권, 제27권 제8호, 2003, pp. 1309-1316.
- 16) James S. Reed, “Introduction to the Principles of Ceramic Processing,” *Jhon wiley & Sons Publication*, New York, USA, 1998, Ch. 20, pp. 348.
- 17) 이우석 외 5명, “저온소성 마이크로파 유전체 세라믹스 복합체의 Tape Casting 특성,” 한국세라믹학회논문집, Vol. 42, No. 2, 2005, pp. 132-139.