

신호처리를 이용한 웨이퍼 다이싱 상태 모니터링

고경용*, 차영엽**, 최범식*

Wafer Dicing State Monitoring by Signal Processing

Kyoung Yong Ko*, Young Youp Cha** and Bum Sick Choi*

ABSTRACT

After the patterning and probe process of wafer have been achieved, the dicing process is necessary to separate chips from a wafer. The dicing process cuts a wafer to lengthwise and crosswise direction to make many chips by using narrow circular rotating diamond blade. But inferior goods are made under the influence of complex dicing environment such as blade, wafer, cutting water and cutting conditions. This paper describes a monitoring algorithm using feature extraction in order to find out an instant of vibration signal change when bad dicing appears. The algorithm is composed of two steps: feature extraction and decision. In the feature extraction, two features processed from vibration signal which is acquired by accelerometer attached on blade head are proposed. In the decision, a threshold method is adopted to classify the dicing process into normal and abnormal dicing. Experiment have been performed for GaAs semiconductor wafer. Based upon observation of the experimental results, the proposed scheme shown a good accuracy of classification performance by which the inferior goods decreased from 35.2% to 12.8%.

Key Words : Dicing monitoring(다이싱 모니터링), Feature extraction(특징추출), Signal analysis(신호분석)

1. 서론

반도체 제조공정 중에서 회전하는 블레이드(blade)를 사용하여 반도체 웨이퍼(wafer)에서 가로와 세로 방향으로 칩을 잘라내는 다이싱(dicing) 공정은 다른 반도체 제조공정보다 많은 불량률을 나타낸다. 이러한 제품의 불량률은 작업자가 인지하지 못하는 상태에서는 한 웨이퍼의 다이싱이 끝난 후에 발견되기 때문에 더욱 심각한 상황이 된다. 현재 다이싱 머신의 구조상 웨이퍼의 양/불량 검사는 다이싱 작업을 중단시키고 검사위치로 옮겨서 확대

경을 통하여 이루어지도록 되어있다. 결국 생산성 면에서 보면, 불량률 작업 중에 단속적으로 감시하기도 어려울뿐더러, 작업자가 계속 확대경을 통하여 다이싱 과정을 지켜보기도 어려운 일이다. 계속 지켜본다고 하더라도 다이아몬드 블레이드에 의한 절단과정에서는 계속 연삭액이 분사되기 때문에 다이싱 과정을 정확히 지켜 볼 수가 없다. 더군다나 한 작업자가 여러 대의 다이싱 머신을 조작해야하기 때문에 양/불량 관정이 다이싱 작업 중에는 거의 불가능하다.

신호처리를 이용한 모니터링에 대한 연구⁽¹⁻⁴⁾

* 원광대학교 대학원

** 원광대학교 기계공학부

와 웨이퍼 가공기의 진동해석⁽⁵⁾, 그리고 연삭 메카니즘⁽⁶⁾에 대한 연구는 개별적으로 이루어져 왔으나, 신호처리기법을 이용한 웨이퍼의 다이싱 공정 모니터링 알고리즘에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

여기서는 다이싱 머신에서 다이싱 불량 발생되는 순간에 블레이드 헤드에 전해지는 가속도 신호를 분석하여, 불량인 경우 자동으로 작업자에게 알리고, 기계의 작동을 중지시키는 모니터링 알고리즘을 개발하였다. 이를 위하여 다이싱 과정 신호 분석과 특징값 추출, 다이싱 양/불량 감시 알고리즘을 구성하고, 불량인 경우 다이싱 작업을 중지시키는 시스템을 구성한다. 그리고 실제 다이싱 머신에 적용하여 본 연구에서 제안한 모니터링 알고리즘의 타당성을 검증한다.

2. 다이싱 공정의 특징 및 불량원인

2.1 다이싱 공정의 특징

Fig. 1은 반도체 웨이퍼용 다이싱 머신의 다이싱 부(part)를 보여주고 있고, Fig. 2는 다이싱 부의 각 운동 축을 개략적으로 보여주고 있다. 웨이퍼 다이싱 과정은, X-Y 테이블 위에 장착된 척 테이블(chuck table)에 다이싱 할 웨이퍼를 올려놓고, Z축 방향으로 상하 이동할 수 있고 Y축 방향으로 고속 회전하는 스피들에 얹은 원형 블레이드를 장착시키고, X-Y 테이블을 X축 방향으로 이동시키면서 다이싱이 이루어진다. 한 Line의 절단이 끝나면 다음 Line의 절단을 위하여, 블레이드는 Z축 방향으로 상하이동하고, 웨이퍼는 칩의 간격만큼 X-Y 테이블을 이용하여 Y축 방향으로 이동한다. 그리고 X축이 리턴(return)한 후, 회전 블레이드의 Z축이 하향이동하고, 테이블이 X축 방향으로 이동하면서 다음 Line이 다이싱 된다. 이러한 과정을 반복하면서 웨이퍼를 절단한다. 특히 X-Y Table의 X방향은 블레이드와 평행하고, 이송속도는 13mm/sec로 일정하다.

Fig. 3은 다이싱 상태에서 웨이퍼와 블레이드의 관계를 도식적으로 보여준다. 다이싱용 블레이드 두께는 15~20 μ m, 외경은 50mm, 회전속도는 31,000rpm이다. 그리고 블레이드 표면에는 다이아몬드 입자가 붙어있다. 다이싱되는 웨이퍼 재료는 GaAs, 두께는 260 μ m이다. 그리고 다이싱된 후의 웨이퍼 절단 폭은 20~25 μ m로 되고, 이는 블레이드 두께보다 약간 커지는데, 이 폭을 Kerf라 한다.

웨이퍼를 진공척에 고정시키는데 필요한 테이블

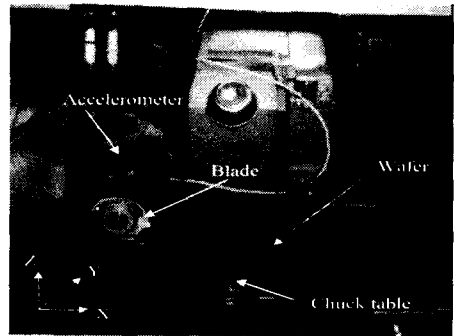


Fig. 1 Photograph of dicing part in dicing machine

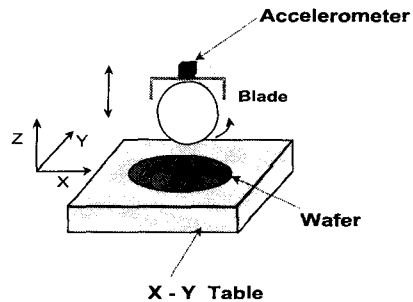


Fig. 2 Schematic diagram of moving axes in dicing machine

프의 재료는 PVC를 사용하고, 두께는 40~50 μ m이다. 테이프와 웨이퍼 사이에는 접착부가 있고 두께는 20~30 μ m이다. 다이싱 과정에서 블레이드는 웨이퍼를 통과해서 접착부를 약 10 μ m만큼 더 들어간다. 일반적으로 다이싱 후에 생성되는 칩은 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 가로 0.25mm, 세로 0.25mm, 높이 260 μ m의 크기를 갖는다.

Fig. 4는 다이싱 머신에서 연삭액 공급에 대한 개략도를 보여준다. 연삭액은 증류수(DI Water)를 사용하고, 1차 공급은 블레이드 회전축과 직각인 위쪽방향에서, 2차 공급은 블레이드 회전축과 평행한 양쪽방향에서 이루어진다. Fig. 5(a)는 다이싱하기전의 GaAs 웨이퍼를 보여주고 있고, (b)는 다이싱과 Expanding 한 후의 칩 모양을 보여주고 있다.

2.2 다이싱 불량발생 원인과 형태

Fig. 6은 다이싱 과정에서 생성되는 불량 칩의 형태를 도식적으로 보여주고 있다. 불량 칩의 종류

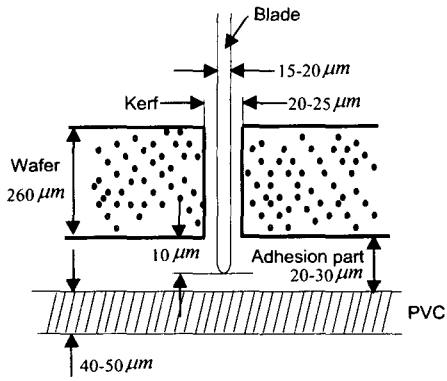


Fig. 3 Schematic diagram of wafer and blade at dicing state

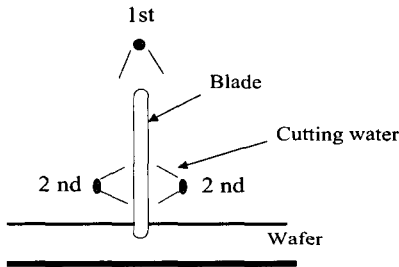
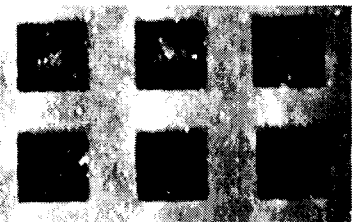


Fig. 4 Schematic diagram of supply of cutting water



(a) Wafer



(b) Chip shape

Fig. 5 Photographs of wafer and chip shape

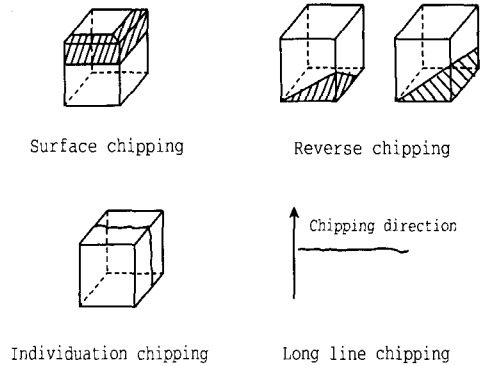


Fig. 6 Bad chip shapes

로는 표면 칩핑(chipping), 이면 칩핑, 개별적으로 금이 갈라지는 칩핑, 그리고 웨이퍼에서 길게 금이 갈라지는 쪼개짐 등이 있다. 이와 같이 다이싱 공정에서 제품의 불량 발생되는 요인으로는 웨이퍼 재질에 따른 블레이드의 선택 잘못, 블레이드 교체 시기 초과에 따른 문제점, 블레이드 표면의 다이아몬드 입자 과다탈락에 의한 웨이퍼의 열발생과 부하증가에 따른 불량발생, 웨이퍼 결정방향과 다이싱 방향의 불일치에 따른 파괴(fracture)와 크랙(crack)발생, 수평방향 다이싱이 끝나고 수직방향 다이싱에서의 칩핑 발생, 테이블의 이송속도, 블레이드의 회전속도, 연삭액의 유량 등 여러 가지 주위 조건들에 의해 불량 칩이 발생한다.

3. 다이싱 상태 모니터링 시스템

3.1 모니터링 시스템 구성

Fig. 7은 신호처리를 이용한 웨이퍼 다이싱 상태 모니터링 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 웨이퍼 다이싱에서 생성되는 진동 데이터의 획득을 위하여 블레이드 헤드에 가속도계를 부착하였다. 여기서 얻어진 신호의 A/D 변환, 필터링(Filtering), FFT(Fast Fourier Transform), 특정 대역에서의 특징값 추출, 수치비교, And 연산, 경고신호 생성, 그리고 D/A 변환에 따른 릴레이 작동을 위하여 데이터 처리장치(Data Acquisition System)를 사용하였다. 데이터 처리장치의 소프트웨어 구동, 신호처리 개별요소의 구성, 구성된 각 요소의 변수값 선정, 그리고 이들을 연결시키고 그 결과를 출력하기 위하

이 개인용 컴퓨터(PC)를 사용하였다.

가속도계는 PCB Piezotronics사의 증폭기가 필요없는 353B33 ICP(100mV/g, 1~4,000Hz)모델을 사용하였고, 데이터 처리장치로는 신호처리용 전용보드가 탑재된 Strawberry Tree사의 DataShuttle Express를 사용하였다. 이 장치의 신호처리 최대속도는 100KHz이고, 분해능은 13bit이다. 이 장치의 개별요소 구성과 변수값 선정 등을 위하여 같은 회사의 WorkBench PC for Windows라는 소프트웨어를 사용하였다. 그리고 이 소프트웨어를 구동하기 위하여 IBM 586 PC 호환 컴퓨터를 사용하였다.

3.2 모니터링 알고리즘

Fig. 8은 웨이퍼에서 두 Line을 다이싱할 때, 회전 블레이드의 헤드에 Z축 방향으로 장착한 가속도계로부터 검출한 신호를 보여주고 있다. X축 방향 이송에 의하여 한 Line의 다이싱이 이루어지는 부분이 Dicing Process 구간이 된다. 그리고 한 Line의 다이싱이 끝나고 블레이드 헤드가 상부위치로 이동하기 위하여 Z축 최고점으로 올라가는 부분이 A 위치이다. 그리고 새로운 Line의 다이싱을 위하여 X-Y 테이블이 X축 방향으로 이송된 웨이퍼 폭만큼 리턴 하면서, Y축 방향으로 칩의 폭만큼 이동한다. 그리고 블레이드가 다음 Line 다이싱을 시작하기 위하여 웨이퍼 표면으로 이동하는 부분이 B 위치가 된다. 즉, Dicing Process → A → B → Dicing Process를 계속 반복함으로써 한 웨이퍼의 다이싱이 이루어진다. 특히 Dicing Process에서 불량 발생하므로 이 구간이 관심영역이 된다.

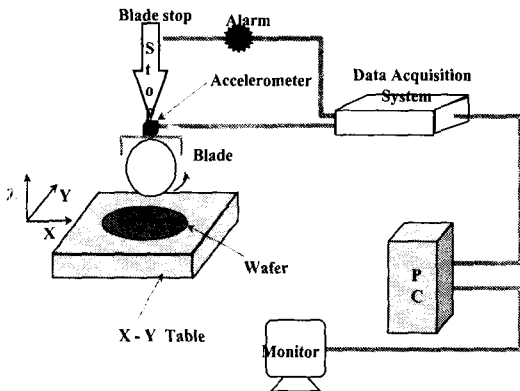


Fig. 7 Schematic diagram of dicing state monitoring system

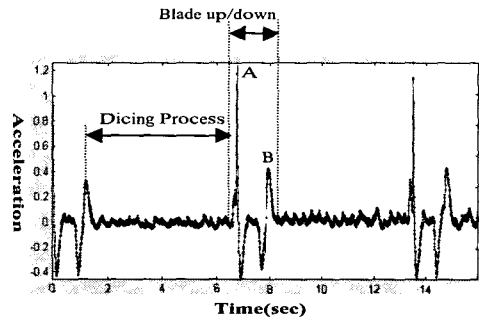


Fig. 8 Acceleration signal in dicing process

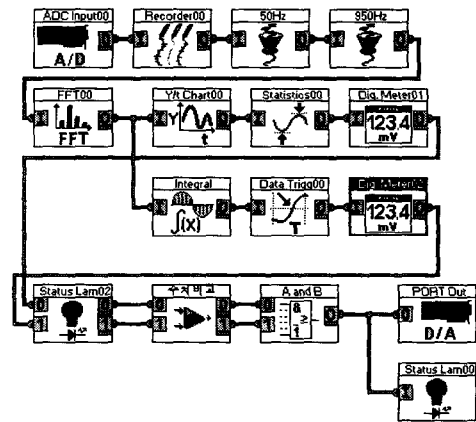


Fig. 9 Dicing state monitoring algorithm using WorkBench function

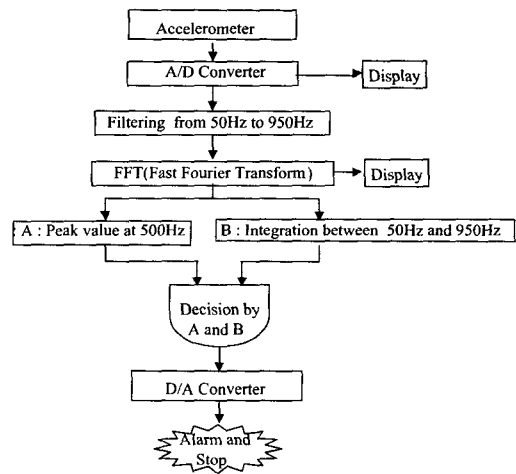


Fig. 10 Flowchart of dicing state monitoring algorithm

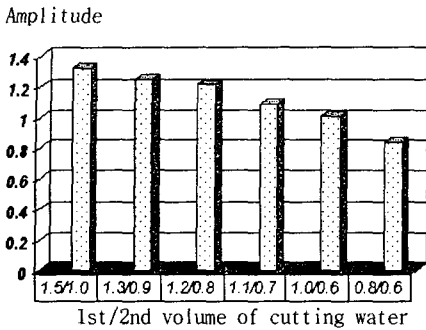


Fig. 11 Experimental result between the 1st/2nd volume of cutting water and integrated amplitude at 50-950Hz.

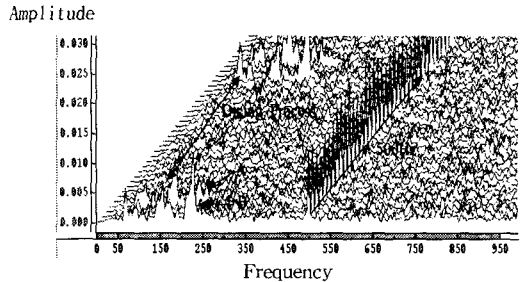
그리고 다이싱 머신의 블레이드 회전속도가 30,000rpm으로 일정하므로 회전주파수는 500Hz가 된다. 여기서는 작업부의 진동 문제임을 고려하여 500Hz 대역이 주 관찰영역이 되지만, 연삭액 분사, 테이블 이송 등 다이싱 공정의 여러 주위환경과 가속도계의 잡음 영향을 고려하여 50~950Hz 대역에서 특징값을 추출하였다.

Fig. 9는 WorkBench 소프트웨어를 이용하여 구성한 다이싱 상태 모니터링 알고리즘을 보여주고 있다. 그림에는 표시되어있지 않지만, 회전하는 블레이드 헤드에 Z축 방향으로 장착된 가속도계로부터의 신호를 A/D 변환한 후에, 50~950Hz대역의 성분만을 얻기 위하여 밴드패스필터링을 하고, FFT를 한 후에, 그 결과를 Y/t Chart를 이용하여 모니터에 보여준다. 그리고 다이싱 양/불량 판정을 위하여 두 가지 대역에서 얻은 데이터를 특징값으로 하는데, 첫 번째는 500Hz 대역의 성분이고, 두 번째는 50~950Hz 대역에서의 적분값이다. 두 특징값 중에서 어떤 것이 임계값(Threshold)을 초과하는지 판별하고, 그와 동시에 각각의 특징값의 수치를 Digital Meter를 이용하여 알 수 있다. 그리고 And 연산을 하여, 두 개의 특징값이 모두 임계값을 초과한 경우에는 Status Lamp를 이용하여 다이싱 불량 경고를 On시키고, D/A 변환에 의하여 릴레이를 작동 시킴으로써 다이싱 머신의 작동을 중지시킨다. Fig. 10은 그 순서도를 보여주고 있다.

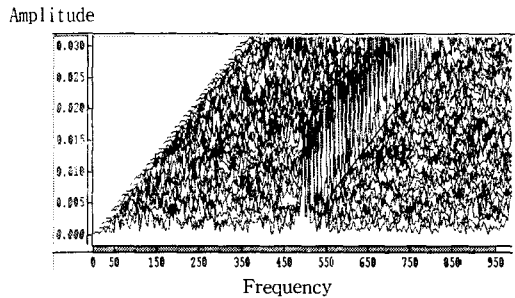
4. 실험결과 및 분석

Fig. 11은 1차와 2차(Fig.4 참조) 연삭액 유량에

따른 50-950Hz 대역의 적분값 변화를 보여준다. 1차와 2차 유량이 적어질수록 50-950Hz 대역의 적분값이 낮아지는 것을 볼 수가 있는데, 이는 연삭액이 분사되면서 블레이드 날에 계속해서 충격을 가하기 때문에 유량이 적을수록 다이싱 공정에는 유리하다. 하지만 연삭액이 없는 공정은 연삭액이 있는 공정보다 불량 발생율이 더 크다. 이는 연삭액이 웨이퍼의 다이싱에서 발생하는 열을 감소시키고 절단 시 발생하는 미세한 칩을 씻어주기 때문이다. 따라서 최소한의 유량 선정이 중요하다. 본 연구에서는 모든 실험에서 연삭액을 1차에 0.8 l/min, 2차에 0.6 l/min로 일정하게 공급했다.



(a) Normal dicing



(b) Abnormal dicing

Fig. 12 FFT results

Table 1 Average amplitudes at normal and abnormal dicing and threshold values

	Normal dicing	Abnormal dicing	Threshold
500Hz	0.012	0.021	0.066
50-950Hz	0.841	1.371	1.106

Fig. 12는 다이싱 정상과 불량에 대한 FFT 결과를 시간경과에 따른 Waterfall로 각각 보여 주고 있다. 두 결과 모두 500Hz에서 항상 일정한 주파수가 나타나는데 이는 블레이드가 30,000rpm으로 회전하기 때문이다. Fig. 12(a)에서 보면, Fig. 8과 같이 웨이퍼 다이싱 구간인 Dicing Process, 블레이드 상향이동 구간인 A, 그리고 블레이드 하향 이동 구간인 B가 명확하게 구분되는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 12(a)의 다이싱 정상과 Fig. 12(b)의 다이싱 비정상, 두 결과를 비교하여 보면, 500Hz 대역의 성분뿐만 아니라 50-950Hz 대역의 성분들도 차이를 보이고 있다. 즉, 다이싱 불량일 때가 정상일 때보다 500Hz 대역의 성분뿐만 아니라 50-950Hz 대역의 성분이 모두 크다. 이는 다이싱 불량인 경우에는 교환시기가 지난 블레이드 사용, 너무 빠른 이송속도, 너무 많은 연삭액 분사 등의 원인에 따른 칩핑 발생으로 블레이드의 진동이 더 커지는데 따른 것으로 보인다. 이와 같이 다이싱 정상과 비정상에서 주파수인 500Hz에서의 성분과 50-950Hz 대역에서의 적분값이 서로 차이가 나는 것을 이용하고, 이들을 특징값으로 사용하여 다이싱 정상과 불량을 판별한다.

Table 1은 다이싱 정상일 때와 불량일 때, 각각 30개의 데이터를 평균하여 얻은, 500Hz 대역에서의 진폭값과 50~950Hz 대역에서 적분값을 보여주고 있다. 500Hz에서 진폭값은 다이싱 불량인 경우가 정상인 경우보다 약 1.75배, 그리고 50-950Hz 대역의 적분값은 1.63배 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 이들 각각의 중간값을 임계값으로 이용하여 다이싱 양/불량 판정을 행한다. Fig. 9와 Fig. 10을 보면, 두 특징값이 모두 임계값 이상이면 다이싱 불량으로 판정하고 Alarm신호를 발생시킨다.

LED 전용 GaAs 웨이퍼 한 개의 다이싱을 위하여 약 300-400라인의 절단이 필요한데, 각각 10개의 GaAs 웨이퍼에 대해서 기존의 육안검사에 의존하는 경우와 본 연구에서 제안한 모니터링 알고리즘을 이용한 경우에 대하여 실험하였다. 기존의 육안검사에 의한 다이싱에서는 35.2%의 불량이 발생하는 반면에, 500Hz의 진폭과 50-950Hz 대역에서 적분값을 특징값으로 사용하여 다이싱 정상/불량을 판별하고, 불량인 경우에는 작업 조건을 변경해서 다이싱을 실행한 경우에는 12.8%의 불량이 발생했다. 불량율을 더욱더 감소시키는데 문제가 되는 것

은 다이싱 공정 중에 여러 변수들, 즉 각 블레이드의 다이아몬드 입도의 불균일, 가로와 세로방향 다이싱에 따른 재료의 방향성, 그리고 각 장비의 특성에 따른 노이즈(noise), 연삭액 수량의 변화, 블레이드 회전속도와 이송속도 등의 변수들이 다이싱 과정에 복잡하게 영향을 끼치는 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 다이싱 머신에서 다이싱 불량이 발생하는 순간에 블레이드 헤드에 전해지는 가속도 신호를 분석하여, 불량인 경우 자동으로 작업자에게 알리고, 기계의 작동을 중지시키는 모니터링 알고리즘을 개발하였다. 이를 위하여 다이싱 과정 신호분석과 특징값 추출, 다이싱 양/불량 감시 알고리즘을 구성하였다. 그리고 실제 다이싱 머신에 적용하여 본 연구에서 제안한 모니터링 알고리즘을 사용하여 실험한 결과 다이싱 불량율을 35.2%에서 12.8%로 낮출 수 있었다.

참고문헌

1. H.T.Grimmelius, P.P.Meiler, et.al., "Three state-of-the-art methods for condition monitoring," IEEE Trans. Ind. Elec., Vol. 42, No. 2, pp. 407-416, 1999.
2. L.M.D.Owsley, L.E.Atlas, and G.D.Beranrd, "Self-organizing feature maps and hidden markov models for machine-tool monitoring," IEEE Trans. Sig. Process., Vol. 45, No. 11, pp. 2787-2797, 1997.
3. S.Li, and M.A.Elbestawi, "Tool condition monitoring in machining by fuzzy neural networks," Journal of Dyn. Sys., Meas., and Control, Vol. 118, pp. 665-672, 1996.
4. Kwa, M. K., Denoyer, K. K., "Dynamic Modelling and Vibration Suppression of a Slewing Structure Utilizing Piezoelectric Sensors and Actuators," Journal of Sound and Vibration, Vol. 189, No. 1, pp. 13-31, 1996.
5. 김명엽, "웨이퍼가공기의 진동 해석 및 실험적 검증," 한국과학기술원 석사학위 논문, 1990.
6. A.Hassui, A.E.Diniz, et al., "Experimental evaluation on grinding wheel wear through vibration and acoustic emission," Wear, Vol. 217, pp. 7-14, 1998.