

실리콘웨이퍼 평탄도 추정 알고리즘을 위한 디지털 콘텐츠에 관한 연구

송은지*

요약

반도체 집적회로를 만드는 토대가 되는 실리콘 웨이퍼의 표면은 고품질 회로를 구성하기 위해 극도의 평탄도가 요구되므로 평탄도는 양질의 웨이퍼를 보증하는 가장 중요한 요소이다. 따라서 실리콘웨이퍼 생산의 10개의 공정 중 거칠어진 웨이퍼 표면을 고도의 평탄도를 갖도록 연마하는 폴리싱공정은 매우 중요시 되는 생산라인이다. 현재 이 공정에서는 담당 엔지니어가 웨이퍼의 모형을 측정장비의 모니터에서 육안으로 관찰하여 판단하고 평탄도를 높이기 위한 제어를 하고 있다. 그러나 사람에게 의한 것이므로 많은 경험이 필요하고 일일이 체크해야하는 번거로움이 있다.

본 연구는 이러한 비효율적인 작업의 효율화를 위해 웨이퍼의 모형을 디지털 콘텐츠화하여 폴리싱 공정에 있어 평탄도를 사람이 아닌 시스템에 의해 자동으로 측정하여 제어하는 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 전체 웨이퍼 평탄도 추정알고리즘을 토대로 실제 현장에서 쓰이는 웨이퍼 각 사이트별 평탄도를 측정하기 위한 사이트두께 추정 알고리즘을 제안한다.

A study on the Digital contents for Estimated Thickness Algorithm of Silicon wafer

Eun-Jee Song*

Abstract

The flatness of a silicon wafer concerned with ULSI chip is one of the most critical parameters ensuring high yield of wafers. That is necessary to constitute the circuit with high quality for the surface of silicon wafer, which comes to be base to make the direct circuit of the semiconductor. Flatness, therefore, is the most important factor to guarantee the wafer with high quality. The process of polishing is one of the most crucial production line among 10 processing stages to change the rough surface into the flatness with best quality. Currently at this process, it is general for an engineer in charge to observe, judge and control the model of wafer from the monitor of measuring equipment with his/her own eyes to enhance the degree of flatness. This, however, is quite a troublesome job for someone has to check every process by one's physical experience. The purpose of this study is to approach the model of wafer with digital contents and to apply the result of the research for an algorithm which enables to control the polishing process by means of measuring the degree of flatness automatically, not by person, but by system. In addition, this paper shows that this algorithm proposed for the whole wafer flatness enables to draw an estimated algorithm which is for the thickness of sites to measure the degree of flatness for each site of wafer.

Key words : 실리콘 웨이퍼(silicon wafer), 폴리싱(Polishing)

1. 서론

반도체 산업은 21세기를 이끌어 갈 대표적인 산업으로 국내는 물론 국외의 모든 반도체 생산업체들은 국제 경쟁력 향상을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 국내의 반도체 산업에서 신제품 개발에는 많은 연구가 이루어지고 있는 반면 생산성 향상을 위한 노력은 아직 미흡한 실정이다. 반도체 집적회로의 토대가 되는 것이 실리콘 웨이퍼이다. 순도 99.999999%의 실리콘을 녹인 액체 속에 씨결정이라고 하는 굵기가 수 mm인 단

결정(單結晶)을 넣고 그곳에서부터 씨결정을 끌어 올리면 이것에 접한 실리콘이 식어 결정화해 간다. 이 방법으로 길이 1m 정도의 원통형 단결정실리콘을 만들어 이것을 얇고 둥글게 자른 것이 실리콘웨이퍼이다. 반도체 회로가 집적회로 제작기술의 진보와 더불어 실리콘 웨이퍼의 규격이 더 엄격해지고 경제성을 향상시키기 위한 목적으로 대구경화하고 있다. 현재는 지름이 8인치(20cm) 웨이퍼가 주로 사용되고 있으나 차세대 반도체에서는 그보다 2.3배이상인 지름이 12인치(30cm) 웨이퍼의 채택이 유력시 되고 있다.

* 본 논문은 2004년 남서울대학교 교내 연구비지원에 의해 수행되었음

* 제일저자(First Author) : 송은지

접수일 : 2004년 10월 20일, 완료일 : 2004년 11월 15일

* 남서울대학교 컴퓨터학과 부교수

sej@nsu.ac.kr

실리콘웨이퍼의 제조 공정은 다음의 10단계로 이루어진다.

1. Crystal Growing : 다결정 실리콘을 높은 온도에서 녹여 액체 상태로 만들었다가 서서히 단결정봉(Ingot)으로 성장시키는 공정이다.
2. Evaluation : 성장된 단결정봉이 제조하고자 하는 제품군의 특성에 적합한지를 분석한다.
3. Slicing : 가공된 단결정봉을 웨이퍼 형태로 만들기 위해 일정한 두께로 절단한다.
4. Lapping: Slicing 공정 중 발생된 웨이퍼 표면의 Damage를 제거하고 웨이퍼의 두께와 평탄도를 균일하게 만든다.
5. Etching : 화학 용액으로 Wafer 표면에 남은 Damage를 제거한다.
6. Heat treatment : 웨이퍼를 가열한 다음 급격히 냉각시켜 결정 본래의 저항률을 갖도록 한다.
7. Polishing : 거칠어진 웨이퍼 표면을 고도의 평탄도를 갖도록 연마하는 공정이다.

Polishing



8. Cleaning : Polishing 후 웨이퍼 표면에 붙은 오염 입자들을 제거한다.

9. Inspection : Particle 및 금속성 불순물 검사 등을 통해 고객이 원하는 수준에 미달하는 제품을 가려낸다.

10. Packing : 검사에 합격한 제품이 포장되어 출하한다.

반도체 집적회로를 만드는 토대가 되는 실리콘 웨이퍼의 표면은 고품질 회로를 구성하기 위해, 회로 제조 시 치명적인 영향을 주는 표면에 미세한 손상이나 또는 미량의 화학적 성분이 표면에 잔존해서도 안되며, 극도의 평탄도(Flatness)가 요구된다. 따라서 평탄도는 양질의 웨이퍼를 보증하는 가장 중요한 요소이며 위에 열거한 실리콘웨이퍼 생산의 10개의 공정이 모두 중요하지만 거칠어진 웨이퍼 표면을 고도의 평탄도를 갖도록 연마하는 폴리싱(Polishing)공정은 평탄도 정도에 따라 제품의 합격여부가 결정되는 측면에서 매우 중요시 되는 생산라인이다. 현재 Polishing 공정에서는 웨이퍼 측정장비를 이용하여 컴퓨터모니터에 비춰진 그림 1과 같은 웨이퍼의 이미지를 담당기술자가 육안으로 관찰하고 판단하여 다음에 들어오는 웨이퍼의 평탄도를 높이기 위한 제어를 하고 있다. 따라서 이 공정의 엔지니어는 많은 경험이 필요하며 웨이퍼를 일일이 체크해야하는 번거로움이 있다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 Polishing 공정에 있어 측정장비를 통해 보여주는 웨이퍼의 이미지를 디지털 컨텐츠화하여 평탄도를 사람이 아닌 시스템에 의해 자동으로 측정하여 제어하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 현장에서 실제로 반도체칩을

만들기 위해서는 원형의 웨이퍼를 사이트라하는 여러개의 정사각형으로 나누어 사용하므로 사이트의 평탄도 또한 품질평가의 매우 중요한 요소가 된다[1]-[3]. 본 연구에서 제안한 원형인 웨이퍼 전체 평탄도 측정을 위한 알고리즘을 이용하여 정사각형인 사이트별 평탄도를 측정하기 위한 사이트별 두께 추정알고리즘을 더불어 제안한다.

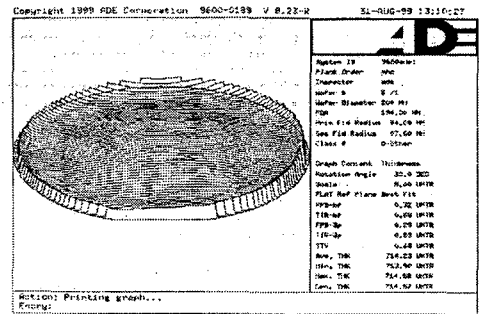
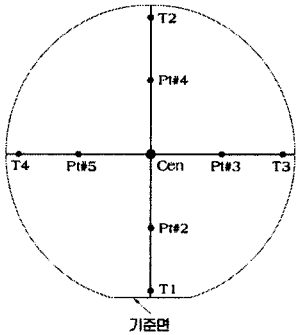


그림 1. 측정장비가 보여주는 웨이퍼 모형

2. 측정 장비의 웨이퍼모형 디지털 작업

본 연구에서는 실리콘웨이퍼 모형의 측정 장비로서 미국의 ADE사(www.ade.com)에서 생산하는 장비를 사용한다. 이것은 웨이퍼, 반도체 장비, 반도체 디바이스 공정 개발 설비 관련 NanoMapper 측정장비로서 개발 첨단 비접촉 광학 측정방식을 이용, 나노미터 수준의 표면고도변분에 대한 정밀 수량화를 통하여(사람 머리 카락의 직경은 약 7만 nm, 즉 70 micron임) 200mm와 300mm 웨이퍼 관련 모든 웨이퍼 상전이 데이터를 구현한다. 그러나 측정 데이터는 양이 많으므로 일단 형상을 그려주고 몇 개의 중요한 데이터를 제외하고 모두 버려지고 있다. 본 논문에서는 이 측정 장비에서 웨이퍼의 모형과 함께 제공하는 정량화된 몇 개의 데이터들의 관계를 분석하여 웨이퍼의 모형을 디지털 컨텐츠화한다. 먼저 원형인 웨이퍼 전체의 평탄도 측정에 이용할 수 있는 데이터를 살펴본다. 평탄도를 추정 할 수 있는 방법으로 측정 장비에서 제공하는 데이터를 이용하여 보간 다항식을 이용하여 웨이퍼의 두께를 추정하기로 한다. 보간 다항식을 사용하여 두께를 추정하기 위해서는 위치와 두께를 알 수 있는 항목이 필요하다. 여기서는 현재 가장 많이 사용하고 있는 지름이 20cm인 웨이퍼를 대상으로 한다. 실리콘웨이퍼는 거울처럼 투명한 원형판으로 두께는 대부분 1mm이하이다. 웨이퍼 측정장비에서 측정 가능한 항목들을 다음과 같은 변수로 나타내도록 한다. 이외에도 측정 가능한 항목들이 있으나 본 연구에 직접 이용한 항목만 설명하기로 한다. 그림 2에서와 같이 9개점에 대한 위치에 대한 정보를 추정할 수 있다.



T1 : 기준면 중앙에서 중심 쪽으로 6.35mm 들어간 위치
 T2 : 기준면에서 180도 방향에 있는, 웨이퍼 끝에서 중심 쪽으로 6.25mm 들어간 위치
 T3 : T2에서 시계 방향으로 90도 방향에 있는 위치
 T4 : T2에서 시계 반대 방향으로 90도 방향에 있는 위치
 Cen : 웨이퍼의 중심

Pt#2 : 웨이퍼의 중심에서 기준면 쪽으로 반경이 50mm인 위치
 Pt#3 : Pt#2에서 시계 반대 방향으로 90도 회전한 위치
 Pt#4 : Pt#3에서 시계 반대 방향으로 90도 회전한 위치
 Pt#5 : Pt#4에서 시계 반대 방향으로 90도 회전한 위치

그림 2. 웨이퍼 상에 위치와 두께를 알 수 있는 점

다음은 위치를 알 수 있는 위의 9개의 점에 대한 두께에 대한 정보를 알아보기로 한다. 측정 장비에서 두께의 정보를 알 수 있는 데이터로서 다음에 설명하는 Taper와 Rolloff 가 있다. Taper 는 그림 2의 기준면을 양분하는 웨이퍼 직경 위에 있는 두 점 T1과 T2의 두께의 차이이며 '+'값은 기준면 쪽의 두께가 더 크며, '-'값은 반대 방향의 두께가 더 크다는 것을 나타낸다. Rolloff 는 실제 웨이퍼의 중앙점의 두께와 Taper에서의 두 점을 직선으로 연결하였을 때, 웨이퍼의 중앙점에서 이 직선 상의 값의 차이를 나타낸다. Rolloff가 양수인 경우는 웨이퍼의 중앙점의 두께가 더 크며, Rolloff가 음수인 경우는 웨이퍼의 중앙점의 두께가 더 작다는 의미이다. 이하, 변수 A.thk 는 A점에서의 두께를 나타내기로 하자. 측정 장비에서 제공하는 항목 중 Taper와 Rolloff를 이용하여 다음과 같이 두 점의 위치와 두께의 추정이 가능하다.

$$T2.thk = Cen.thk - Taper/2 - Rolloff$$

$$T1.thk = T2.thk + Taper$$

Taper 방향에서 90도 되는 방향으로도 제2의 Taper 를 생각해 볼 수 있다. 웨이퍼 측정 장비에서 이 값을 제공하지 않으므로 Taper 방향으로 두 점 Pt#2의 두께와 Pt#4의 두께의 차이와 그의 90도 되는 방향으로 Pt#3의 두께와 Pt#5의 두께의 차이를 계산한다. 그리고 Taper 값과 Rolloff 값을 이용하여 제 2의 Taper와 이에 대응하는 제 2의 Rolloff는 다음과 같이 계산한다.

$$Ratio = (Pt\#3.thk - Pt\#5.thk) / (Pt\#2.thk - Pt\#4.thk)$$

$$\text{제 2의 Taper } Taper2 = Ratio * Taper$$

$$\text{제 2의 Rolloff } Rolloff2 = Ratio * Rolloff$$

if (Rolloff*Rolloff2 < 0)

$$Rolloff2 = - Rolloff2$$

이 계산은 Ratio의 값에 비례하여 Taper2와 Rolloff2 결정되며, Rolloff와 Rolloff2는 항상 그 부호가 같을 것이라는 착상에서 계산하였다. 웨이퍼가 중앙점을 중심으로 웨이퍼의 모양이 비교적 대칭이라고 볼 때 Rolloff2의 부호는 Rolloff의 부호와 같다고 할 수 있다. Taper2와 Rolloff2를 계산한 후, T3와 T4는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T4.thk = Cen.thk - Taper2/2 - Rolloff2$$

$$T3.thk = T4.thk + Taper2$$

위에 분석 한 것을 종합하면 결국 웨이퍼 측정 장비에서 측정할 수 있는 항목들 중 위치와 두께를 알 수 있는 항목을 (위치,두께) 라고 하면(Cen, Cen.thk), (Pt#2, Pt#2.thk), (Pt#3, Pt#3.thk), (Pt#4, Pt#4.thk), (Pt#5, Pt#5.thk), (T1, T1.thk), (T2, T2.thk), (T3, T3.thk), (T4, T4.thk) 등 9개이다.

3. 웨이퍼 모형의 디지털 콘텐츠 시스템

위에서 측정 장비에서 제공하는 데이터를 분석하여 얻어낸 9개의 점의 정보를 이용하여 웨이퍼의 모형을 추정하기 위해 다음과 같이 웨이퍼 전체의 두께와 각 사이트의 두께를 추정하는 알고리즘을 에 제안한다.

3.1 웨이퍼의 전체 두께 추정 알고리즘[3]

9개의 점을 이용하여 보간 다항식을 사용하는데 보간다항식으로서 Lagrange 보간다항식과 Spline 보간다항식을 이용하였다. Spline 보간 다항식이 보다 오차가 적어 여기서는 Spline 보간다항식을 이용한 결과를 제시한다. 보간에 이용할 9개의 점을 그림 3 에서와 같이 XY직교 좌표 상에 나타내어 다음과 같은 알고리즘순서 대로 임의의 점에 대한 두께를 계산한다[4]-[7].

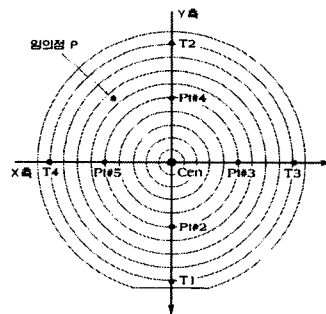


그림 3. XY축 상에서 두께 추정가능 위치

알고리즘 순서

1. X축의 5개점 (Cen, Cen.thk), (Pt#3, Pt#3.thk), (Pt#5, Pt#5.thk), (T3, T3.thk), (T4, T4.thk)을 사용하여 Spline보간 다항식을 이용하여 X축의 임의의 점에 대

한 두께를 계산한다.

2. Y축의 5개점 (Cen, Cen.thk),(Pt#2, Pt#2.thk), (Pt#4, Pt#4.thk), (T1, T1.thk), (T2, T2.thk) 을 사용하여 Spline보간 다항식을 이용하여 Y축의 임의 점에 대한 두께를 계산한다.

3. 중심에서 같은 반경에 있는 점들의 두께는 1, 2에서 구한 X축과 Y축 상의 4개의 점을 사용하여 Spline 보간 다항식을 이용하여 계산한다.

즉, 그림 3에서 임의의 점 p의 두께는 알고리즘 1,2 번을 이용하여 X, Y축 상의 점들의 두께를 계산 후 3 번을 이용하여 p와 같은 반경에 있는 X, Y축 상의 4점을 사용하여 보간하여 구한다.

3.2 웨이퍼사이트 두께추정 알고리즘

현장에서 실제로 반도체칩을 만들기 위해서는 원형의 웨이퍼를 사이트라하는 여러 개의 정사각형으로 나누어 사용하므로 사이트의 평탄도도 전체 웨이퍼의 평탄도와 함께 품질평가의 중요한 요소가 된다. 여기서는 원형인 웨이퍼 전체 평탄도 측정을 위한 알고리즘을 이용하여 정사각형인 사이트별 평탄도를 측정하기 위한 사이트별 두께 추정알고리즘을 제안한다. 정사각형인 사이트의 크기는 주문업체에 따라 15mm*15mm, 20mm*20mm, 25mm*25mm 등으로 다를 수 있다. 여기서는 위의 알고리즘으로 구한 전체 웨이퍼의 두께를 이용하여 크기가 20mm*20mm 인 정사각형 사이트 두께를 추정하고자 한다(그림4 참조)[8]-[11].

위에서 제안한 웨이퍼 전체의 두께를 추정하는 알고리즘은 중심에서 같은 반경에 놓인 점들의 두께를 추정하는 알고리즘이므로 정사각형모양의 두께를 추정하려면 이것을 직접 사용하지는 못한다.

따라서 다음과 같은 알고리즘에 의해 정사각형인 사이트의 두께를 추정한다.

알고리즘순서

1. 먼저 그림 3의 X축에서 그림 4와 같은 정사각형인 사이트의 두께를 추정하기 위해 사이트의 길이인 20mm 간격에 해당하는 위치의 두께를 3.1절에서 제안한 보간식에 의해 추정한다.

2. 같은 방법으로 Y축에서 정사각형인 사이트의 두께를 추정하기 위해 사이트의 길이인 20mm 간격에 해당하는 위치의 두께를 3.1절에서 제안한 보간식에 의해 추정한다.

3. 1과 2에서 추정한 X와 Y축의 20mm 간격에 있는 위치와 두께를 이용하여 그림 5에서와 같이 원의 중심에서부터 마름모 모양의 위치에서의 두께를 보간식에 의해 추정한다.

4. 그림 5에서와 같이 첫 번째 마름모를 이용하여서는 1,2,3,4번 위치의 4개 사이트의 두께를 추정한다.

5. 두 번째 마름모를 이용하여 5,6,7,8,9,10,11,12의 8개의 사이트의 두께를 추정하는 순서로 나머지의 두께도 추정한다. 여기서는 마름모의 크기가 커짐에 따라 보간점의 간격이 넓어져서 정확도가 떨어짐으로 그림 6과 같이 45도, 75도 방향의 두께를 추정하여 사이트별

꼭지점에 해당하는 두께를 이용하면 보다 정확도를 높일 수 있다.

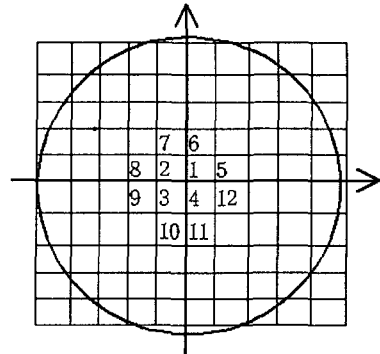


그림 4. 웨이퍼위의 사이트 배열

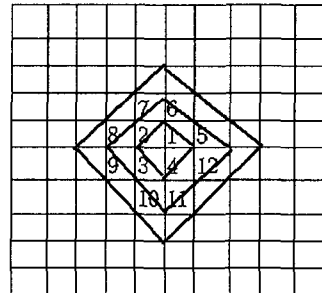


그림 5. 각 사이트별 두께 추정을 위해 보간 점을 이은 모양

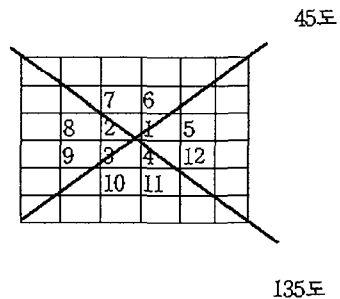


그림 6. 사이트 두께의 정확도를 위해 사용 가능한 45도 135도 방향의 보간점을 이은선

4. 실험결과 및 분석

지금까지 측정 장비를 통해 보여진 웨이퍼의 모형을 디지털화하여 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 여기서는 실제로 알고리즘을 실험한 결과를 고찰해 보고자 한다. 먼저 약 20여 개의 웨이퍼를 대상으로 측정 장비가 실제 웨이퍼의 두께를 측정하여 그런 단면도와 본 연구에서 개발한 시스템에 의해 추정한 단면도를 비교하여 보았다. 그림 7-1은 웨이퍼 측정장비가 그린 웨이퍼의 3차원이미지이며 그림 7-2는 기준면을 중심

으로 그 웨이퍼의 90도 방향으로 자른 단면도의 실제 모양이다. 그림 7-3은 본 연구에서 개발한 추정 알고리즘에 의해 측정된 단면도 모양이다. 그림에서와 같이 측정장비가 직접 그린 단면도와 추정알고리즘에 의해 그린 단면도 모양이 매우 흡사함을 알 수 있다. 마찬가지로 측정장비가 직접 측정된 웨이퍼 그림 8-1에 대해 실제의 단면도 그림 8-2와 추정알고리즘에 의해 그린 단면도 그림 8-3의 모양이 매우 흡사함을 알 수 있어 본 연구에서 개발한 추정알고리즘의 유효성을 보였다.

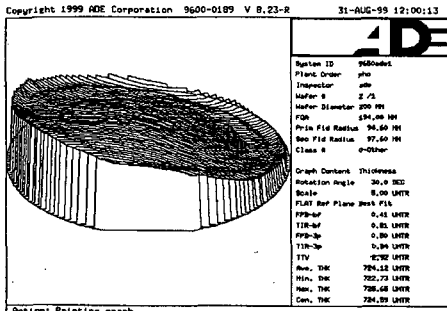


그림 7-1. 측정장비에 의한 웨이퍼모형1

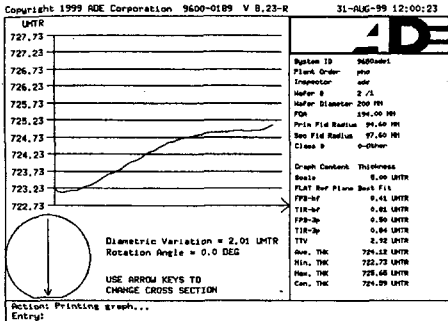


그림 7-2. 그림7-1 웨이퍼의 실제 단면도모양

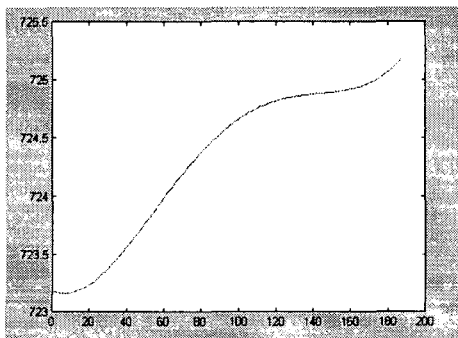


그림 7-3. 그림7-1웨이퍼를 추정알고리즘에 의해 그린 단면도모양

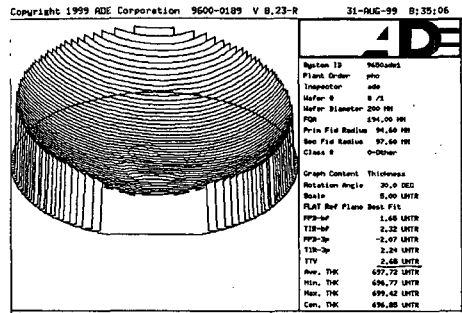


그림 8-1. 측정장비에 의한 웨이퍼 모형2

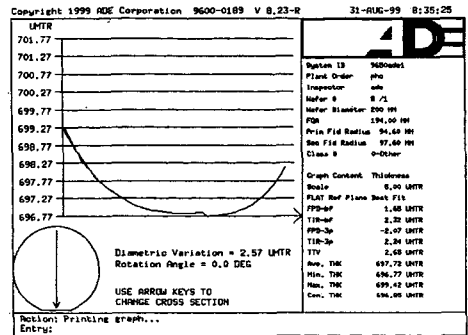


그림 8-2. 그림8-1 웨이퍼의 실제 단면도모양

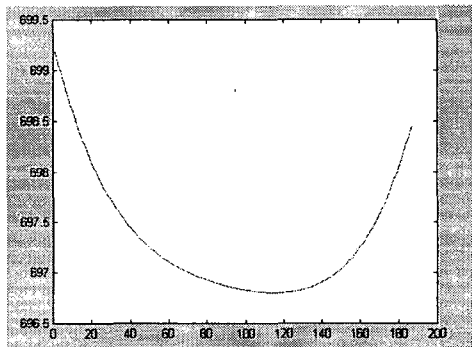


그림 8-3. 그림8-1 웨이퍼를 추정알고리즘에 의해 그린 단면도모양

5. 결론 및 향후과제

반도체 산업과 관련한 본 연구의 대상인 실리콘웨이퍼의 생산 전략의 주된 초점은 품질보증과 납기일 준수 등을 향상시키는 반면 생산단가를 최소화하고 생산성을 증진시키는데 있다. 여기서는 실리콘웨이퍼의 품질보증의 중요한 요소인 웨이퍼의 평탄도를 측정하고 제어하는 문제를 다루었다. 현재 웨이퍼의 평탄도는 POLISHI

-NG이라는 공정에서 측정장비가 보여주는 웨이퍼의 3차원 이미지를 보고 사람이 일일이 체크하고 분류하여 제어하고 있다. 따라서 이 공정의 엔지니어는 많은 경험 필요하며 일일이 체크하고 제어함으로 생산의 경제성이 떨어진다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하기 위해 이 공정의 자동화를 모색하였다. 즉, 측정장비가 보여주는 웨이퍼의 모형을 디지털화 하여 웨이퍼의 이미지를 사람이 보지 않고도 모형을 추정할 수 있는 디지털 시스템을 구현하였다. 추정 알고리즘에서는 웨이퍼의 임의의 위치의 두께를 계산하기 위해 측정 장비에서 제공하는 정량적인 데이터를 분석하여 9개의 점의 정보(위치, 두께)를 알아내어 보간법을 이용하였다. 이 알고리즘을 검증하기 위해 추정 알고리즘에 의해 웨이퍼의 단면도를 0도, 45도, 90도등 여러 방향으로 그려 측정장비에 의한 실제의 단면도들과 비교한 결과 대부분의 웨이퍼에서 각 단면도들이 매우 유사하여 본 연구에서 개발한 알고리즘이 유효함을 알 수 있었다.

또한 본 연구에서는 웨이퍼 전체의 두께를 추정하는 알고리즘을 토대로 주문업체에 따라 다른 사이트별 평탄도를 효율적으로 측정하기 위해 각 사이트별 두께를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 실제로 현장에서 반도체를 만들기 위해서는 원형의 웨이퍼를 사이트라하는 여러 개의 정사각형으로 나누어 사용 한다. 따라서 실리콘웨이퍼 전체의 평탄도도 물론 중요하지만 실지로 반도체에 쓰이는 부분인 각 사이트의 평탄도가 더욱 중요한 요소이다. 이부분에 있어서는 본 연구에서 사이트별 두께추정 알고리즘을 제안만 하였으나 향후 제안한 알고리즘을 기반으로 수치실험을 통하여 시스템을 구현하고 더 나아가 각 주문업체에서 요구하는 사이트의 크기에 따라 두께를 추정할 수 있는 시스템을 구현하고자 한다.

국내에 우수한 실리콘웨이퍼 생산업체가 여러개 있고 양질의 실리콘웨이퍼 생산을 위한 다방면의 연구가 이루어지고 있으나 평탄도를 제어하는 Polishing 공정의 자동화에 대한 시도는 아직 이루어지고 있지 않다. 이런 면에서 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성과는 웨이퍼 생산주기에 있어 인력과 시간의 경비를 줄일 수 있으므로 생산경비를 절감하고 생산성을 향상시키는데 기여하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 송은지, "폴리싱공정의 자동화를 위한 실리콘웨이퍼의 형상추정 및 분류에 관한 연구", 한국디지털컨텐츠학회 논문지 제3권제1호, 2002.
- [2] 송은지, "보간법에 의한 실리콘웨이퍼 단면도 추정", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회, 2001
- [3] 김수희, 송은지, "실리콘웨이퍼 형상 추정에 관한 연구", 한국정보처리학회 추계학술발표대회, 1999.
- [4] 임해석, "수치해석론", 정익사, 1985.
- [5] Harry F. Davis, Arthur D. Snider, "Introduction to Vector Analysis", Fifth Edition, 1987.
- [6] 김숙자역, Andre LAMothe 지, 3D 게임프로그래밍, 성안당, 1996.
- [7] 이상엽, "Visual C++ Programming Bible", Ver 6.X, 영진출판사, 1998.
- [8] 복진평, 이승권, 문성득, 박선원, "반도체 제조공정을 위한 새로운 생산일정 알고리즘", 제어.자동화.시스템공학 논문지 제4권 제6호 1998.
- [9] Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie, "THE C PROGRAMMING LANGUAGE", Second Edition, Prentice Hall, 1998.
- [10] Stephen Prata, "C++ Primer Plus", Second Edition, Waite Group Press, 1995.
- [11] 송은지, "실리콘웨이퍼 사이트별 두께추정 알고리즘에 관한 연구", 한국디지털컨텐츠학회 2004학술대회 논문집, 2004.

송 은 지



1984년 숙명여자대학교 수학과 (이학사)

1988년 일본나고야(名古屋)국립대학 정보공학과 (공학석사)

1991년 일본나고야(名古屋)국립대학 정보공학과 (공학박사)

1991년 - 1992년 : 일본 나고야(名古屋)국립대학 정보공학과 객원연구원

1996년 - 현재 남서울대학교 컴퓨터학과 부교수 멀티미디어기술사

관심분야 : 수치해석, 암호학, 디지털컨텐츠