

보간법에 의한 실리콘웨이퍼 단면도 추정

송은지 *

*남서울 대학교 컴퓨터학과

e-mail: sej@nsu.ac.kr

An estimate of silicon wafer's cross section shape by interpolation

Eun - Jee Song *

**Dept. of Computer Science*

요약

반도체에 이용되는 실리콘웨이퍼 생산에 있어 평탄도는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 실리콘웨이퍼의 평탄도는 POLISHING이라는 공정과정을 통하여 측정하고 제어하고 있는데 현재 측정장비에서 보여주는 웨이퍼의 모양을 사람에 의해 제어하고 있어 경험이 필요하고 일일이 사람이 체크해야하는 번거로움이 있다. 따라서 평탄도가 시스템에 의해 자동적으로 측정되고 제어할 필요가 있다. 본 연구는 웨이퍼의 3차원 형상을 측정하여 보여주는 장비에서 이미지와 함께 나타나는 몇 개의 정량적인 항목을 이용하여 웨이퍼의 단면도를 추정하는 알고리즘을 제안함으로 평탄도가 자동으로 측정될 수 있도록 하였다. 이 알고리즘은 Spline보간법을 이용하였고 웨이퍼의 특정단면 뿐만 아니라 임의의 단면도도 추정할 수 있으며 수치실험을 통해 Lagrange보간법과 비교하여 그 효율성을 입증하였다.

1. 서론

반도체에 이용되는 실리콘웨이퍼 공정 과정 중 웨이퍼의 평탄도(flatness)를 측정하고 제어하는 Polishing 공정은 평탄한 정도에 의하여 제품의 합격 여부가 결정되는 측면에서 매우 중요한 과정이다. 현재 Polishing 공정에서는 담당 기술자가 웨이퍼 측정장비인 ADE9500을 이용하여 웨이퍼의 평탄도와 관련된 데이터와 웨이퍼의 이미지를 컴퓨터 모니터에서 관찰하여 웨이퍼의 평탄도를 높이기 위한 제어를 하고 있다. 논문[1]에서는 측정장비에서 제공하는 정량화된 데이터들의 관계를 분석하여 Lagrange 보간법을 이용하여 웨이퍼단면도의 모형을 추정하였

다. 본 연구에서는 Spline 보간법에 의해 단면도의 모형을 추정하는 알고리즘을 제안하고 Lagrange 보간법의 결과와 비교하여 본다. 특히 이 알고리즘은 특정단면 뿐만 아니라 임의의 단면도 모형을 추정할 수 있는 장점이 있다.

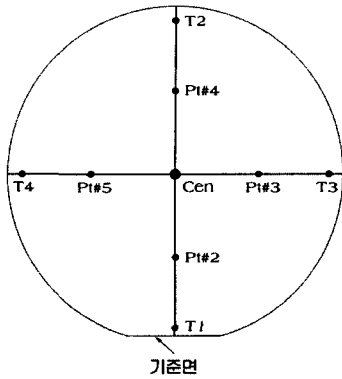
2. ADE9500 장비에서 측정 가능한 항목

보간 다항식을 이용하기 위해 위치와 두께를 알 수 있는 항목을 살펴보도록 한다.

본연구에서 사용한 측정장비인 ADE9500에서 웨이퍼의 형상 외에 제공하는 항목들을 다음과 같은 변수로 나타내기로 한다.

그림1에서 9개점에 대한 위치정보는 다음과 같다.

T1 : 기준면 중앙에서 중심 쪽으로 6.35mm 들



<그림 1> 웨이퍼 상에서 위치의 정보를 추정할 수 있는 항목

어간 위치

T2 : 기준면에서 180도 방향에 있는, 웨이퍼 끝에서 중심쪽으로 6.35mm 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

다음은 위치를 알 수 있는 위의 9개의 점에 대한 두께에 대한 정보를 알아보기로 한다. 먼저 Cen, Pt#2, Pt#3, Pt#4, Pt#5 등 5개점에 대한 두께에 대한 정보는 측정장비로부터 알 수 있고 T1, T2, T3, T4 등 4개점 두께의 정보는 다음에 설명하는 Taper와 Rolloff를 이용하여 계산된다.

Taper는 그림1의 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. Rolloff는 실제 웨이퍼의 중앙점의 두께와 Taper에서의 두 점을 직선으로 연결하였을 때, 웨이퍼의 중앙점에서 이 직선상의 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. 측정장비에서 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 Taper를 생각해 볼 수 있다. ADE9500장비에서 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.

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

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

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

$$\text{if } (Rolloff * Rolloff2 < 0) \text{ Rolloff2} = - Rolloff2$$

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

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

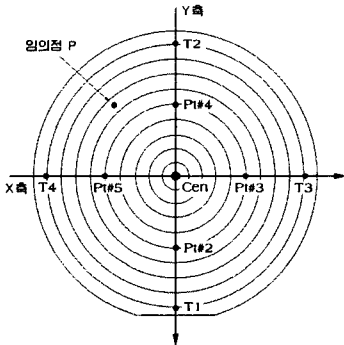
$$T3.thk = T4.thk + Taper2$$

따라서 웨이퍼 측정장비 ADE 9500에서 추정할 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 9개 이다.

3. 웨이퍼의 두께 추정 알고리즘

위에서 살펴본 위치와 두께를 알 수 있는 9개의 점을 이용하여 3차 Spline 보간 다항식을 사용한다[2].



<그림2> XY축상에 보간점의 위치

그림2에서와 같이 XY직교 좌표 상에 나타내었을 때 9개의 점을 보간에 이용하는데 다음과 같은 알고리즘 순서대로 임의 점에 대한 두께를 계산한다.

< 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 대한 두께를 계산한다.

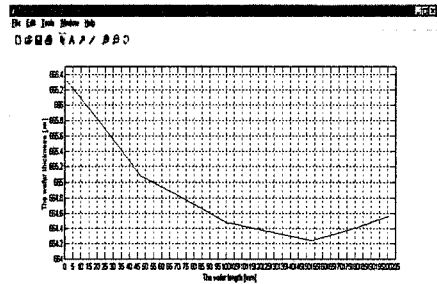
2. Y축의 5개점 (Cen, Cen.thk),(Pt#2, Pt#2.thk), (Pt#4, Pt#4.thk), (T1, T1.thk), (T2, T2.thk) 을 사용하여 Spline보간 다항식으로 Y축의 임의의 점에 대한 두께를 계산한다.

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

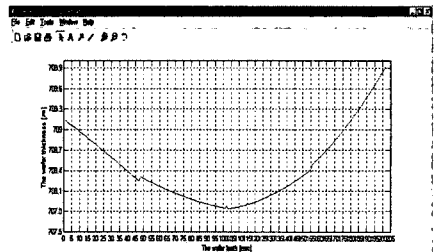
예를 들어 그림2에서 임의의 점 p의 두께는 1,2번을 이용하여 X, Y축 상의 점들의 두께를 계산 후 3번을 이용하여 p와 같은 반경에 있는 X, Y축 상의 4점을 보간하여 구한다.

4. 수치실험 및 결과

위의 알고리즘으로 구현한 프로그램의 결과는 웨이퍼 단면들의 두께를 수치적 데이터로 나타내었고 측정장비에서의 결과와 비교하기 위해서 수치적 데이터를 그래프로 나타내었다[그림3,4]. 실험한 결과 추정된 웨이퍼 단면의 그래프와 ADE9500 장비를 이용하여 웨이퍼의 단면을 실제로 그린 그래프와 비교하였을 때 그 모양이 매우 유사함을 관찰할 수 있었다. 그림3,4는 그림2와 같은 위치의 웨이퍼에서 90도, 45도 방향의 단면도를 본 연구에서 개발한 알고리즘에 의해 그래프로 구현한 것이다. 웨이퍼의 두께에 대해 추정된 데이터의 정확도를 검증하기 위해 10개의 웨이퍼에 대한 추정알고리즘에 의한 웨이퍼의 평균두께와 측정장비에 의한 평균두께의 오차를 계산하여 Lagrange보간에 의한 실험결과와 같이 표1에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 그 오차가 작으며 Lagrange보간법에 의한 결과와도 매우 유사하여 본 알고리즘이 유효함을 알 수 있다.



<그림 3 > 추정알고리즘에 의한 단면도 모형(90도)



<그림 4>추정알고리즘에 의한 단면도 모형(45도)

<표 1 > Spline보간법과 Lagrange 보간법에 의한 오차 비교

단위: μm

웨이퍼 ID	Spline	Lagrange
1	0.371	0.377
2	0.513	0.555
3	0.061	0.047
4	0.442	0.424
5	0.223	0.197
6	0.152	0.156
7	0.038	0.028
8	0.112	0.091
9	0.196	0.200
10	0.044	0.047

5. 결론 및 향후과제

실리콘웨이퍼 생산의 여러 공정에서 웨이퍼의 생명이라 할 수 있는 평탄도를 제어하는 Polishing이라는 공정 과정에서는 현재 측정장비에서 보여주는 웨이퍼의 3차원 이미지를 담당기술자가 육안으로 판단하여 평탄도를 제어하고 있다. 따라서 많은 경험을 요하며 오판의 우려도 있고 일일이 사람이 판단하여야 하는 번거로움이 있다.

본 연구의 목적은 사람을 거치지 않고 웨이퍼의 모형을 좀더 과학적이고 정확하게 판단하는 알고리즘을 개발하여 웨이퍼의 평탄도를 높이는데 있다. 본 연구에 사용한 측정장비는 ADE9500인데 이 장비에서는 웨이퍼의 3차원이미지와 함께 웨이퍼 평균두께, 중심의 두께 등 몇 개의 항목을 제공하고 있다. 본 논문에서는 그 항목들 중 두께와 위치의 정보를 갖고 있는 항목을 알아내고 Spline보간 다항식으로 웨이퍼의 단면도를 추정하는 알고리즘을 개발하였다. 추정알고리즘에 의한 웨이퍼의 단면도와 측정장비에서 제공하는 단면도를 비교한 결과 그 모형이 매우 흡사하였으며 측정장비와 추정알고리즘에 의한 평균두께의 오차도 매우 작아 본 연구에서 개발한 추정 알고리즘의 유효화가 입증되었다. 앞으로 Polishing공정의 자동화 가능성을 위해서는 이 공정에서 제어 가능한 모형별로 분류하는 시스템의 개발이 필요하다.

참고문헌

[1] 김수희, 송은지, "실리콘웨이퍼 형상 추정 에 관한 연구", 한국정보처리학회 추계 학술 발표논문집 제6권 제2호, 1999.
 [2] 박재년, "수치해석", 정의사, 1996.
 [3] 이상엽, "Visual C++ Programming Bible", Ver 6.X, 영진출판사, 1998.
 [4] 복진광, 이승권, 문성득, 박선원, "반도체 제조공정을 위한 새로운 생산일정 알고리즘", 자동화시스템공학 논문지 제4권 제6호 1998.12.
 [4] Harry F. Davis, Arthur D. Snider, "Introduction to Vector Analysis", Fifth Edition, 1987.