

Aligner 알고리즘 및 제어

박 종 현
한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

Algorithm and Control of Aligners

Jong-Hyeon Park
Department of Precision Mechanical Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

A fast algorithm based upon geometry to measure the wafer center and the position of a wafer fiducial mark is developed and implemented on a single-axis aligner. Design issues for a controller when a National Semiconductor's LM629 is used as a PID controller of an aligner are discussed. Performance of an aligner with the algorithm and a LM629 was measured in experiments. The result shows that it takes about 4.1 seconds on average to align a hot wafer supported by metal pins on the chuck.

1. 서론

얼라이너는 반도체 웨이퍼가 항상 일정한 위치로 공정에 투입되도록 하는 웨이퍼 정렬 기구이다. 일반적으로 웨이퍼는 반도체 공정에 들어갈 때 웨이퍼의 중심점과 웨이퍼에 있는 기준마크(fiducial mark)가 웨이퍼에 따라 바뀌지 않고 항상 일정한 위치에 있어야 한다. 얼라이너의 주기능은 정렬이 되지 않은 웨이퍼의 중심점 위치와 기준마크의 각 위치를 결정하는 것이다. 웨이퍼의 중심점은 얼라이너 중심점과의 상대적 위치, 즉 얼라이너 중심점에 대한 웨이퍼의 편심을 구함으로써 얻을 수 있으며 기준마크의 위치는 얼라이너 중심점을 기준으로 마크가 위치한 각도를 구함으로써 얻어진다. 얼라이너는 2개의 구동축을 갖고 있어 웨이퍼 기준마크를 일정 각에 위치하도록 할 뿐만 아니라 웨이퍼를 옮겨 웨이퍼의 중심점이 얼라이너 중심점과 일치시킬 수 있는 쌍축 얼라이너와 한 개의 구동축만을 갖고 있어 웨이퍼 기준 마크를 일정각에 위치시킬 수는 있어도 웨이퍼 중심위치를 얼라이너 중심에 오도록 할 수 없는, 따라서 얼라이너 중심에 대한 웨이퍼의 편심(이후부터 단순히 웨이퍼 편심이라 함)을 자신 스스로가 교정할 수 없는 단축 얼라이너가 있다. 따라서, 단축 얼라이너는 웨이퍼 중심점에 관한 정보를 로봇에 알려 로봇이 웨이퍼를 파지하는 과정에서 파지 위치를 수정하여 웨이퍼 중심점이 일정 위치에 오도록 한다. 본 연구에서는 단축 얼라이너를 기준으로 하여 웨이퍼의 편심을 빠르게 찾는 알고리즘을 개발하였고,

얼라이너에 사용된 서보의 위치제어를 위해 사용된 이산 PID 제어에 관하여 연구하였다.

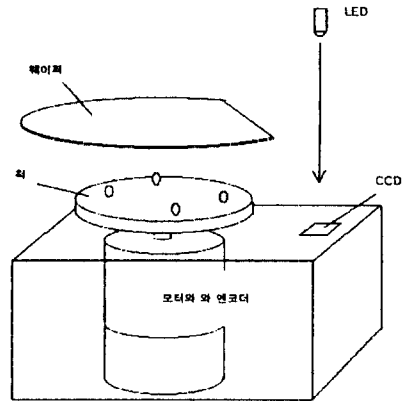


Fig. 1 Aligner configuration.

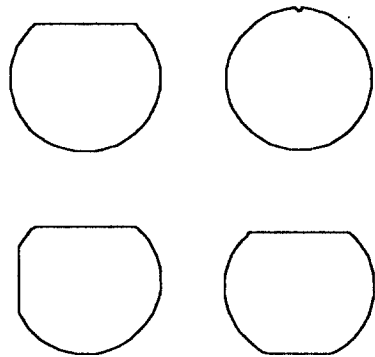


Fig. 2 Different types of wafers.

2. 얼라이너 알고리즘

2.1 얼라이너의 구성

단축 얼라이너는 Fig. 1과 같이 서보모터와 이에 연결된 척(chuck), CCD 라인센서와 LED등의 주요부분으로 구성되어

있다. 얼라이너가 고온의 웨이퍼를 다룰 때에는 3 또는 4개의 금속핀이 위로 돌출되어 있는 척을 사용한다. 이 척위에 정렬이 안 된 웨이퍼가 로봇등에 의해 올려지면 서보모터에 의해 척이 360도 회전하게 되는 데, 그 동안 LED가 작동되어 빛을 발하게 되고 CCD는 웨이퍼에 의해 가려져 빛을 받지 못하는 부위와 LED로부터 빛을 직접 받는 부위로 나뉘지게 되어 2진 화상(binary image)을 얻을 수 있게 된다. 웨이퍼를 360도 회전시키는 동안 등간격 위치에서 이러한 2진 화상을 얻으면 웨이퍼 끝의 위치가 각도에 따라 어떻게 달라지는지를 알 수 있는 웨이퍼 프로파일을 얻을 수 있다. 이러한 웨이퍼 프로파일은 웨이퍼의 편심과 기준마크의 형태에 따라 달라진다. 웨이퍼는 SEMI 규격에 의하여 Fig. 2에 보는 바와 같이 여러형태가 있는데, 얼라이너는 이러한 여러종류의 형태를 지닌 웨이퍼를 동시에 취급할 수 있어야한다. Fig. 3(a)는 1개의 편평 기준마크(flat fiducial mark)를 가진 웨이퍼가 편심을 갖고 있을 때 얻은 웨이퍼의 프로파일이다. 360도 주기의 싸인파형은 웨이퍼의 편심으로 인한 것이고 중간에 돌출된 부분은 웨이퍼 기준마크로 인한 것이다. 웨이퍼 편심이 없을 경우의 웨이퍼 프로파일에는 dc 신호에 기준마크에 의한 돌출부분만이 나타난다. Fig. 3(b)는 노치 기준마크(notched fiducial mark)를 가진 웨이퍼를 얼라인할 경우에 나타나는 웨이퍼 프로파일이다. 여기서도 마찬가지로 끝이 마치도 바늘과 뾰족하게 나타난 부분이 노치마크를 말한다.

얼라이너는 Fig. 3와 같은 웨이퍼 프로파일을 분석하여 웨이퍼가 어떠한 종류의 것인가를 판별하고 편심의 정도와 위치, 기준마크의 위치를 정확히 산출한 후에 척을 회전시켜 기준마크를 사용자가 정한 일정한 각도에 정확히 위치하도록 해야한다. 또한 이러한 얼라인 과정에 소비되는 시간은 생산공정에 영향을 미칠 수가 있으므로 얼라인을 가능한 빨리 해야 하는데 이는 웨이퍼의 여러 파라미터를 측정하는 알고리즘이 소비하는 시간과 기준마크를 일정각도에 위치하는 데 필요한 시간을 단축해야 된다.

2.2 웨이퍼 편심측정

웨이퍼 편심을 측정하는 방법은 여러가지가 있을 수 있으나, 편심측정 과정에서 소비되는 시간을 가능한 줄여야하므로 시간이 적게 소비되는 알고리즘이 사용되어야 한다. 이는 CCD 데이터가 모두 구해진 상태에서 알고리즘이 소비하는 시간이 짧아야 할 뿐 아니라, 얼라인과정 중에 알고리즘이 언제부터 시작될 수 있는가 역시 중요하다. 만일 웨이퍼를 360도 회전시켜 웨이퍼의 프로파일 데이터를 모두 얻는 동안에 CPU가 거의 쉬고 있다가 모든 데이터가 구해진 후에야 계산에 들어가면 웨이퍼를 얼라인하는 과정에 소비되는 총시간 이 길어지게 된다. 본 연구에서 제안된 웨이퍼 파라미터를 찾는 알고리즘은 척이 회전을 시작하면서부터 시작을 하는데, 웨이퍼 프로파일 데이터가 하나씩 얻어질 때마다 이를 이용하여 시간이 많이 소요되는 계산을 하고 웨이퍼가 360도 회전을 모두 끝마친 뒤에는 단순하고 시간이 적게 소비되는 계산을 하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 Fig. 3과 같은 웨이퍼 프로파일

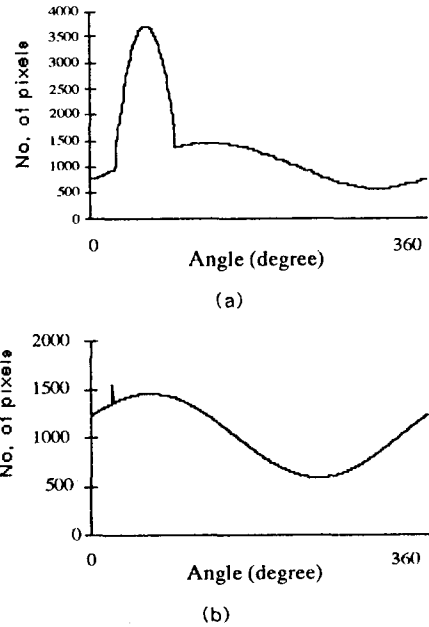


Fig. 3 Wafer profile data from CCD.

그래프 자체를 분석하는 것이 아니고 이러한 프로파일을 만든 웨이퍼편심의 기하학적인 분석을 통한 것이다.

이러한 기하학적 분석은 Fig. 4를 이용하여 쉽게 설명될 수 있다. 맨처음 웨이퍼가 척에 놓였을 때의 위치가 Fig. 4와 같다고 가정하자. 여기서, 점 g 는 웨이퍼의 중심점이고 점 o 는 척의 중심점이며, 벡터 e 는 편심을 나타낸다. 분석을 보다 쉽게 하기위해 웨이퍼가 척에 처음 놓인 위치를 기준하여 두 개의 좌표계를 정의한다. 좌표계 $x-y$ 는 얼라이너에 고정된 것으로 웨이퍼가 회전하여도 움직이지 않으며, x 축은 척의 중심으로부터 CCD 센서 방향을 가르키도록 한다. 따라서, CCD 센서 데이터를 구함으로써 점 o 와 a 사이의 거리를 측정할 수 있다.

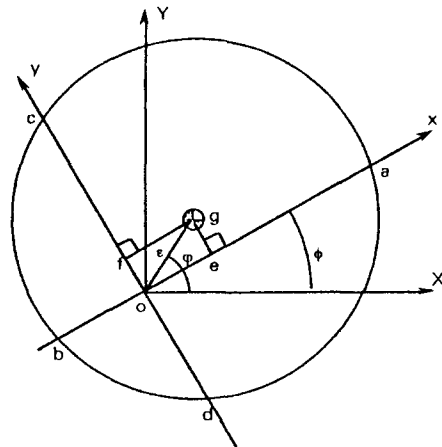


Fig. 4 Geometric relationship between the chuck and wafer.

이에 반하여 좌표계 X-Y는 웨이퍼에 고정되어 웨이퍼와 함께 회전한다. 그러나, 웨이퍼에 대한 CCD 센서의 상대적인 운동을 이용하면, 좌표계 X-Y와 웨이퍼는 움직이지 않는 반면, 좌표계 x-y와 CCD 센서가 웨이퍼의 실제 회전 방향과는 정반대방향으로 회전하는 것으로 생각할 수 있다. 이 경우 웨이퍼의 프로파일을 얻기 위해 좌표계 x-y와 CCD 센서가 웨이퍼 주위를 360도 회전하게 된다.

Fig. 4에서 기하학적인 관계를 이용하면 편심크기 ϵ 및 편심각도 ϕ 에 관한 관계식들을 유도할 수 있다. 즉,

$$|e| = \sqrt{oe^2 + of^2} = \sqrt{\left(\frac{oa - ob}{2}\right)^2 + \left(\frac{oc - od}{2}\right)^2} \quad (1)$$

$$\tan(\varphi - \phi) = \frac{of}{oe} = \frac{oc - od}{oa - ob} \quad (2a)$$

또는

$$\varphi = \phi + \arctan\left\{\frac{oc - od}{oa - ob}\right\} \quad (2b)$$

편심크기 $|e|$ 와 편심각 φ 는 현재의 CCD 센서 위치에서 CCD 센서를 90도씩 (상대적으로) 회전하면서 4 곳에서 CCD 데이터를 읽어 \overline{oa} , \overline{oc} , \overline{ob} , \overline{od} 를 각각 구하여 식 (1)과 (2)를 사용하면 구해낼 수 있다. 그러나, 이렇게 한개의 세트 $\{\overline{oa}, \overline{oc}, \overline{ob}, \overline{od}\}$ 를 이용하여 구한 편심값은 센서의 잡음으로 인하여 정확하지 못하다. 따라서, 웨이퍼를 360도 회전하는 동안에, 즉 좌표계 x-y가 360도 회전하는 동안에 여러 위치에서 여러 세트의 $\{\overline{oa}, \overline{oc}, \overline{ob}, \overline{od}\}$ 를 이용하여 편심을 측정하여 그들에 대해 평균을 취하면 센서잡음으로 인한 영향을 크게 줄일 수 있다. 즉, CCD 센서로부터 i 번째 측정값을 v_i 라 하면, 이를 이용하여 계산된 편심크기 $|e_i|$ 와 편심각도 φ_i 는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$|e_i| = \sqrt{\left(\frac{v_i - v_{i+M/2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{v_{i+M/4} - v_{i+3M/4}}{2}\right)^2} \quad (3)$$

(단 $i = 1, \dots, M/4$)

$$\varphi_i = \phi_i + \arctan\left\{\frac{v_{i+M/4} - v_{i+3M/4}}{v_i - v_{i+M/2}}\right\} \quad (4)$$

(단 $i = 1, \dots, M/4$)

여기서 M 은 웨이퍼를 360도 회전시키는 동안에 CCD 센서로부터 얻은 2진 화상 데이터의 총수이며 4의 배수이다. 알고리즘 사용을 위해 편이상 웨이퍼가 처음 얼라이너에 놓여졌을 당시의 좌표계 x-y를 기준으로 하여 4개의 지역으로 나눈다. CCD 센서가 회전하면서 등간격으로, 즉 매 360/M 도마다 얻는 비디오 데이터를 어떻게 이용하는가는 그 데이터가 어디서, 즉 그 데이터를 구할 당시의 CCD 센서 위치가 어느 상한에 위치해 있었는가에 따라 달라지게 된다. CCD 센서가 제

I, II 상한을 회전하는 동안에는 단순히 비디오 데이터를 구해 저장해 놓는다. CCD 센서가 제 III 상한을 회전하는 동안에 얻는 데이터는 그것과는 정확히 180도 이전에 얻어져 이미 저장된 제 I 상한에 있는 데이터와의 차이를 구하고 이를 제공하여 식 (3)과 (4)에 있는 양들의 일부를 계산한 다음 저장한다. CCD 센서가 제 IV 상한을 도는 동안 얻는 데이터는 그것으로부터 정확히 180도 이전에 얻어져 저장되어 있는 제 II 상한의 데이터와의 차이를 구하고 이를 제공하여 제 III 상한에서 최종 계산된 양들을 이용, 식 (3)과 (4)를 통해 웨이퍼의 편심을 구한다. 이러한 양들을 구하는 계산은 시간이 많이 소요되는데, 이렇게 시간이 많이 걸리는 계산을 웨이퍼가 비디오 데이터를 얻기 위해 회전하는 동안 할 수 있기 때문에 이 알고리즘은 매우 능률적이다.

기하학조건을 이용한 식 (3)과 (4)를 사용하여 편심을 구하는 것은 웨이퍼가 원이라고 가정했을 때만이 가능하다. 이들 식에 사용된 4개의 CCD 데이터 중 어느 하나라도 CCD 센서가 웨이퍼의 기준마크가 있는 곳에 위치할 때 얻은 것일 경우 이들 데이터를 이용해 계산된 편심은 정확하지 않다. 따라서, 여러 곳에서 얻은 편심을 평균하는 과정에서는 이러한 데이터로부터 얻은 것들을 제외시켜야 한다. 즉,

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{M/4 - N} \sum_{i=1}^{M/4} \epsilon_i \eta(i) \quad (5)$$

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{M/4 - N} \sum_{i=1}^{M/4} \varphi_i \eta(i) \quad (6)$$

여기서 $\bar{\epsilon}$ 와 $\bar{\varphi}$ 는 각각 평균 편심크기와 편심각도이며, $\eta(i)$ 는 $i, i+M/4, i+2M/4, i+3M/4$ 번째의 비디오 데이터 중 어느 하나라도 CCD 센서가 기준마크에 위치했을 때 얻어진 것이면 0이고 그렇지 않을 경우에는 1이며, N 은 $\eta(i)=0$ (단, $i=1, \dots, M/4$)인 경우의 수이다.

2.3 기준마크의 위치결정

기준마크가 어디에 있는가를 측정하는 것은 웨이퍼를 얼라인하는 목적의 하나이며, 위에서 다룬 편심 알고리즘에서 평균을 통해 편심을 구하는 과정에서도 이를 필요로한다. 기준마크의 위치결정은 웨이퍼 프로파일 데이터를 미분하므로써 구할 수 있다. Fig. 4의 (a)와 (b)는 각각 편평 기준마크와 노치 기준마크를 가진 웨이퍼의 프로파일 데이터를 아래의 미분기를 통과시킨 결과이다.

$$y_i = v_i - v_{i-1} \quad (\text{단 } i = 2, \dots, M) \quad (7a)$$

$$y_i = v_i - v_M \quad (7b)$$

이 미분기는 CCD 센서로부터 웨이퍼 프로파일 데이터 하나 씩 얻을 때마다 위에서 설명된 편심측정 알고리즘과 병행하여 수행된다. 미분기를 통과한 데이터의 최대와 최소지점 사이의

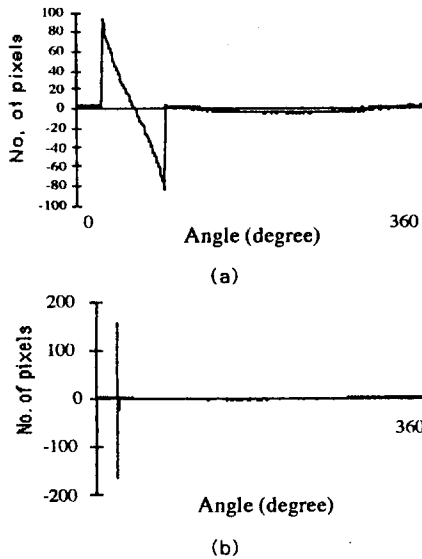


Fig. 5 Differentiated wafer profile.

부분이 웨이퍼의 기준마크부분을 나타낸다. 미분기를 통과한 데이터 중 기준마크에 속한 부분을 직선에 커브피팅하여 이것이 0이 되는 지점이 기준마크의 중심이 된다. 물론 커브피팅에 사용되는 데이터는 미분데이터의 최대, 최소점의 중심으로 부터 양쪽으로 적당한 수를 이용하여, 계산에 소비되는 시간을 줄이면서 정밀도를 높이는 것이 필요하다.

2.4 알고리즘 구현 및 실험

위에서 설명된 알고리즘은 math coprocessor 없이 8 MHz 인텔사의 80286을 이용하여 실현되었다. 알고리즘을 빠른 시간내에 수행하기 위하여 점수만을 이용하였으며, 식 (4)에 있는 싸인 함수의 계산을 위하여 역시 점수 데이터로 된 룩업테이블(Look-Up Table)을 사용하였으며 필요에 따라서 보간을 하였다. CCD 센서는 1×2048의 화소를 갖는 것을 사용하였으며, CCD 센서로부터는 웨이퍼가 1회전 하는 동안 매 0.36도 마다 1개 씩, 모두 1000개의 비디오 데이터를 취했다. 웨이퍼가 360도 회전하는 과정은 200mm 웨이퍼를 기준하여 약 2.9초 걸렸는데, 그 뒤에 웨이퍼의 편심과 기준마크 위치 결정 과정에서 소비된 시간은 거의 없었다. 즉, 알고리즘 수행은 웨이퍼를 360도 회전시키는 동안에 거의 이루어졌다. 웨이퍼의 속도 프로파일은 사다리꼴을 이용하였고, 최대 가속도와 최대 속도는 웨이퍼의 움직임을 거의 허락하지 않도록 설정하여 사용하였다. 웨이퍼가 1회전하는데 쓰인 시간을 2.9초 이하로 줄일 수 없던 이유는 알고리즘이 소요하는 시간이 길었기 때문이 아니고, 웨이퍼를 더 빨리 회전시킬 경우 웨이퍼가 척으로 부터 미끌어지기 때문이었다.

3. 얼라이너 제어

3.1 모델링

모터의 전압제어를 하는 것을 가정할 때, 모터에 흐르는 전류 i 와 전압 e 와 모터 각속도 ω 는 역기전력(back emf)으로 인하여 다음과 같이 된다.

$$e = Ri - K_e \omega \quad (8)$$

여기서 R 은 권선저항이며 K_e 는 역기전력 상수이다. 모터에서 발생하는 토크 τ 는 모터에 흐르는 전류에 비례하므로

$$\tau = K_t i \quad (9)$$

여기서 K_t 는 토크상수이다. 모터에서 발생한 토크는 얼라이너 시스템의 회전관성질량과 마찰로 인해

$$\tau = J\dot{\omega} + B\omega + \tau_f \quad (10)$$

여기서 J 는 척과 웨이퍼, 모터의 회전관성질량의 합이며, B 는 속도에 비례한 마찰력이고 τ_f 는 스틱션과 정지 마찰력을 나타낸다. 따라서, 식 (8), (9), (10)으로 부터 다음과 같은 상태 방정식을 유도할 수 있다.

$$\dot{\omega} = -\frac{B}{J}\omega + \frac{K_t}{JR}e - \frac{1}{J}\tau_f \quad (11)$$

단, 여기서

$$B = B_f + \frac{K_t K_e}{R} \quad (12)$$

3.2 PID 제어기

제어기의 목적은 척을 짧은 시간내에 정해진 위치에 정확하게 위치하도록 하는 것이다. 이러한 목적의 제어기를 설계할 때 중요한 사항은 척이 회전하는 동안 과가속이나 과감속을 피하여 웨이퍼가 척에 대해 미끌어 움직이는 것을 막는 것이다. 이렇게 제한된 가속도 내에서 가장 빠른 위치제어를 위해서는 제어기의 기준 속도가 사다리꼴 프로파일을 갖는 것이 가장 이상적이다. 또 하나 고려되어야 할 점은 진공에서 사용되는 얼라이너인 경우에는 모터와 척 연결부에 씰(seal)을 사용하기 때문에 이로 인해 회전부에 비교적 큰 마찰력이 작용하며 스틱션(stiction)의 영향도 크게 된다. 이러한 마찰로 인한 위치오차를 갖지않게 하기위해 제어기에 자유 적분 인자(free integrator)를 부여하는 것이 필요하므로 PD 제어로서는 부적당하고 Fig. 6과 같이 PID 제어가 필요하다.

본 연구에서는 얼라이너의 PID 제어를 위해 National Semiconductor사의 LM629을 사용하였다. LM629는 사다리꼴 속도파형에의하여 기준위치를 산출하며 엔코더 신호를 피드백 입력으로 사용하여 PID 제어를 위한 PWM 신호를 출력한다. 이 제어기의 출력값은 엔코더입력과 기준 위치와의

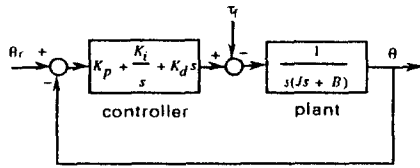


Fig. 6 Control system and the plant.

차이에 대한 다음의 함수로 나타낸다.

$$y_n = \frac{k_p}{256} e_n + \frac{k_i}{256} (e_n - e_{n-1}) + \frac{k_d}{256 \cdot 256} \sum_{i=0}^n e_i \quad (13)$$

여기서 k_p , k_i , k_d 는 각기 이산 비례, 적분, 미분이득을 나타내며, e_n 은 샘플링 시간간격 n 에서의 위치 오차이고, e_n 은 미분 시간간격 n 에서의 위치오차이다. 미분 시간간격은 샘플링 시간간격의 정수배인데, 미분 시간간격과 이산 미분 이득치를 조절하여 같은 값의 연속시스템의 미분 이득을 실현할 수 있다. 미분 시간간격이 작은 경우는 신호에 포함된 잡음을 증폭하게 되고 반대로 미분 시간간격을 너무 크게하는 경우에는 시스템의 응답성이 떨어지기 때문에 이 두효과를 고려하여 실험적으로 최적의 값으로 정한다. 또한 제어기는 적분 와인드업(integral wind-up)을 방지하기 위하여 $\sum e_i$ 의 최대치를 제한한다. 실제로 사용된 샘플링 주파수는 3.9kHz이며 PWM 모터출력의 주파수는 이보다 4배 빠른 15.6kHz이었다. 이처럼 높은 주파수를 이용하여 출력을 변조 하기때문에 PWM으로 인한 시스템 모드의 자극은 거의 무시할 수 있다.

3.3 제어기의 이득

연속 제어기의 이득은 근궤적 방식이나 폴배치등을 통해 안정성과 성능을 고려하여 결정한다. 이산 제어기의 이득 k_p , k_i , k_d 는 이러한 연속제어기의 이득으로부터 쉽게 변환시킬 수 있다. 비록 이러한 변환과정에서 오차는 항상 존재하지만 이산제어를 실행했을 때 연속시스템을 기준으로 한 제어기의 성능을 기대할 수 있다. 그러나 여기서 문제가 되는 것은 미분 이득의 크기이다. 얼라이너의 경우에는 비록 제어기 이득이, 특히 미분 이득이 최적의 연속시스템을 기준으로 하여 정해졌어도 그것을 실행하였을 때는 좋지 못한 결과를 가져올 수 있다. 얼라이너 제어를 위해서는 척의 가감속을 어느 한계치 이하로 유지하는 것이 매우 중요한데 제어기의 미분 이득이 큰 경우에는 가감속도가 예상치보다 더 크게 된다. Fig. 7은 사다리꼴 속도 프로파일을 이용한 척의 위치 제어시에 나타나는 가속도 값을 샘플링한 것이다. 이 경우에는 미분 간격이 샘플링 간격의 50배로 하였는데 미분 계산을 할 때 많은 경우에 있어서 가속도의 상승을 관찰할 수 있었다. 따라서, 실제 척의 최고 가감속도를 줄이기 위해서는 미분 이득을 가능한 줄이는 것이 바람직하다.

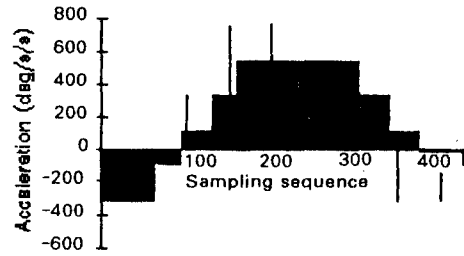


Fig. 7 Chuck acceleration.

3.4 D/A 변환 효과

LM629는 8 비트의 D/A 변환을 하는데 변환으로 인한 오차는 척의 가속도에 큰 영향을 미친다. N 비트의 분해능을 갖는 D/A 변환기를 $\pm V_{cc}$ 볼트의 전원을 기준 전압으로 사용하였을 경우에, 최대치의 변환오차 $|\Delta e|$ 는 다음과 같다.

$$|\Delta e| = \frac{V_{cc}}{2^{N-1} - 1} \quad (14)$$

척이 거의 정지한 상태($\omega = 0$)일 경우를 보면, 식 (11)로 부터

$$|\Delta \omega| = \left| \frac{K_i}{JR} \Delta e - \frac{1}{J} \tau_{friction} \right| - \frac{1}{J} \left| \frac{K_i V_{cc}}{R(2^{N-1} - 1)} - \tau_{friction} \right| \quad (15)$$

따라서, 변환오차가 척에 작용하는 가속도를 줄이기 위하여서는

- (1) 시스템의 회전관성질량 J 을 늘리거나,
- (2) 기준전압 V_{cc} 를 낮추거나,
- (3) D/A 분해능을 높이기위해 N 을 크게하거나,
- (4) K_i 가 작고 저항이 큰 비효율적인 모터를 사용해야한다.

3.5 성능 실험

얼라이너의 편심축정과 기준마크의 위치축정의 반복성을 알아보기 위하여 3개의 서로 다른 웨이퍼, 즉 200mm 노치형(200N), 150mm 단일편평형(150F), 150mm 더블편평형(150FF) 웨이퍼를 사용하여 실험하였다. 웨이퍼의 최대 각가속도는 220도/초/초, 최대 각속도는 220도/초였으며, 회전 중의 진동으로 인하여 웨이퍼가 미세량 움직이기 때문에 이로인한 오차 역시 실험결과에 더해졌다. 200mm 웨이퍼의 경우 약 1.5mm, 150mm 웨이퍼의 경우 약 2.5mm의 편심을 주어 실험하였다.

첫번째 실험은 웨이퍼를 얼라인을 한 웨이퍼당 200회씩하여 웨이퍼 편심크기의 반복도를 조사하였다. 물론 정확한 절대중심위치는 측정하기 어려워 이 방법을 사용하였다. 편심크기에 대한 반복도(표준편차의 3배수)는 200mm 노치형 웨이퍼의 경우 2.85 μ m, 150mm 편평형 웨이퍼의 경우는 0.92 μ m, 150mm 더블편평형의 경우는 2.85 μ m이었으며, 편심각도의 반복도는 각각 0.810, 0.388, 0.522도였다.(Fig. 8 참조)

두 번째 실험은 웨이퍼를 얼라인하여 웨이퍼 편차와 기준마크 위치를 결정한 다음 기준마크를 일정 위치에 오도록하는 포스트포지셔닝을 포함한 전 얼라인 작업을 하는 경우의 웨이퍼 기준마크의 각위치에 대한 반복도를 알아보기 위한 것이었다. 이를 위해 웨이퍼 중심부에 작은 거울을 부착하고 이것에 레이저 광선을 보내 이로부터 반사된 광선이 멀리 있는 벽에 비춰져 표적이 생기도록 하였다. 이 표적 위치의 반복성을 측정하므로써 얼라인 전과정의 반복도를 측정할 수 있었다. 매번 편심각도를 난수를 이용하여 변경하였으며 웨이퍼의 편차크기는 첫 번째 실험에서와 같이 하였다. 각 웨이퍼에 대해 50번의 얼라인을 한 결과는 200mm 웨이퍼의 경우 기준마크 위치의 반복도는 0.281도, 150mm 편평형의 경우는 0.235도, 150mm 더불편평형의 경우는 0.220도였다. (Fig. 9 참조)

4. 결론

본 논문은 단축 얼라이너를 위한 웨이퍼 파라미터 빠른 시간 내에 측정하는 알고리즘을 제시하였고 이의 실제 하드웨어에 적용한 결과를 설명하였다. 또한 LM629 PID 제어기를 이용하여 얼라이너 서보를 제어할 때의 문제점을 제시하였다. 약 2.5mm 정도의 편심을 가진 웨이퍼를 기준마크 반복도 0.5도 이하로 얼라인할 수 있었다. 편을 가진 얼라이너 척을 사용하였을 때, 총얼라인 과정에 소비되는 시간은 최소 2.9초(포스트포지셔닝이 필요 없는 경우)이고, 평균적으로는 약

4.1초 정도였다.

참고문헌

- [1] K. J. Åström and B. Wittenmark. "Computer Controlled Systems, Theory and Design," Prentice-Hall, 1984.
- [2] National Semiconductor, "Motion Control Handbook."
- [3] Fairchild Electronics Corp., CCD Databook.
- [4] センサ-インタ-フェ-シング, No. 2, CQ 出版社, 1983.
- [5] 1991 Loral Fairchild CCD Databook.

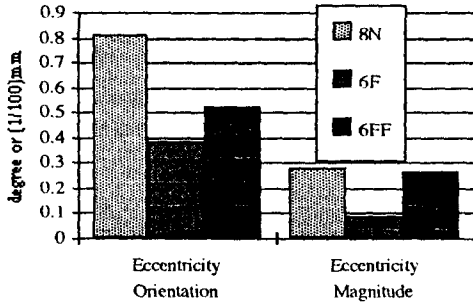


Fig. 8 Repeatability in reporting wafer parameters.

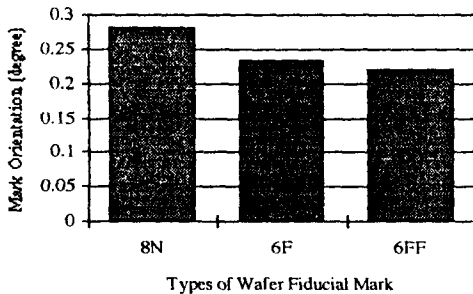


Fig. 9 Repeatability in post-positioning.