노치형 웨이퍼 정렬기 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Wafer Notch Aligner

나원식*

Won-Shik Na*

요 약

본 논문에서는 노치형 웨이퍼 20~25개를 일련번호가 같은 위치에 자동으로 정렬이 되도록 하여 반도체 공정 전, 후 감지기에 의해 웨이퍼의 공정상태 파악을 용이하게 하는 시스템 개발 및 정확하게 노치를 정렬하는 보정 알고리즘, 스테핑 모터 제어 알고리즘을 제안하였다. 웨이퍼 회전 시 표면 재질이 적당한 마찰 계수를 가지며 웨이퍼의 회전으로 파티클(Particle)이 발생하지 않는 소재를 사용하여 발생을 최소화 시킬 수 있었다. 또한 미끄럼 방지를 위한 기구설계 기술을 개발하였고, 수학적 검증을 통한 성능평가를 실시하였다. 본 연구 개발 시스템은 반도체 공정 진행 중 웨이퍼의 오염 방지로 반도체 수율을 향상 시킬 수 있으며, 향후 450mm 이상의 대형 웨이퍼 생성 시에도 탄력적으로 적용 할 수 있다.

Abstract

This study aims to develop a system that enables 20 to 25 wafers to be automatically aligned at the position of the corresponding serial number and facilitates the checkout of wafer processing by sensing them before and after semiconductor processing. It also suggests compensation algorithm and stepper motor control algorithm that carefully align notches. This study minimizes the rate of occurrence by adopting materials of which the surface has proper coefficient of friction when wafers are rotating and that do not rarely produce particles. This study completed the development of a slip resistance apparatus and carried out performance tests through mathematical verification. This system is expected to improve semiconductor yield due to anti-pollution technology in semiconductor processing and can be selectively applied to a large size wafer over 450mm in the future.

Key words : Wafer, Alignment, Notch Type, Flat Type, Stepper Motor, Semiconductor

I. 서 론

반도체 산업은 정보화 시대의 핵심 산업으로서 정보통신산업, 디지털가전산업, 항공우주산업, 자동차산업 등, 주요 기반 산업의 발전을 뒷받침하고 경쟁력 제고 및 기술 향상을 선도하는 기저 산업으로 전, 후방 연관 효과가 매우 큰 지식자본 집약형 첨단산업이다. 웨이퍼는 과거 50㎜(2인치)~75㎜(3인치)부터 100㎜(4인치), 125㎜(5인치), 150㎜(6인치), 200㎜(8인치)까지 다양한 크기가 존재했고, 최근에는 300㎜ 웨이퍼가 대세가 된 상태이다. 국내 메모리 반도체 선두 생산 업체에서는 현재 D램의 300㎜ 웨이퍼 생산

* 남서울대학교 교양과정부 컴퓨터계열(Dept. of General Education Namseoul University)
· 제1저자 (First Author) : 나원식
· 투고일자 : 2009년 6월 4일
· 심사(수정)일자 : 2009년 6월 9일 (수정일자 : 2009년 6월 23일)
· 게재일자 : 2009년 6월 30일

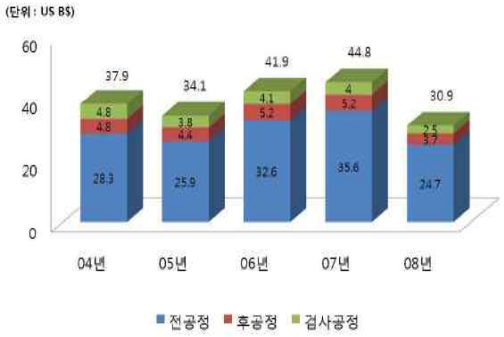
비중이 70%대 중반에서 90%까지, 낸드플래시 메모리는 60% 수준으로 비중을 더 높일 계획이다. 반도체 업계 선두 기업들이 차세대 웨이퍼로 450㎜를 제시하면서, 이 규격이 업계 표준으로 자리 잡을 가능성이 높아졌다. 웨이퍼 직경이 450㎜로 확대되면 그만큼 생산할 수 있는 반도체 수는 늘고, 제조원가는 낮아지게 된다. 200㎜와 300㎜ 웨이퍼 라인의 생산량은 2.25배가 차이나는 것으로 나타났다. 450㎜ 웨이퍼는 300㎜ 웨이퍼보다 표면적이 2배 이상 넓어 생산량 또한 그 이상 확대될 것으로 예상 된다 [1]. 이에 본 논문에서는 노치의 방향을 빠르게 계산하기 위한 알고리즘과 정확하게 노치를 정렬하는 보정 알고리즘, 스테핑 모터 제어 알고리즘을 구현하여 시스템을 구성하였고, 수학적 검증을 통한 성능평가를 실시하였다.

Ⅱ. 관련 연구 동향

웨이퍼의 형태는 그 모양에 따라 크게 두 가지로 나뉘는데, 국내에서 많이 사용하는 플랫(Flat)형과 미국과 유럽에서 많이 사용되는 노치(Notch)형이 있다. 플랫형은 노치형에 비해 반도체 공정 중 같은 형태로 정열이 쉬우나, 웨이퍼의 수율은 노치형이 높다. 노치형 웨이퍼 수요가 더욱 증가될 것으로 전망되며, 국내 웨이퍼 생산 업체들은 수출용으로 노치형 웨이퍼를 생산하고 있다.

2-1 세계 반도체장비 시장

세계 반도체장비 시장은 309억불(2008년 기준)로 반도체소자 시장의 10% 이상을 차지하고 있는 주요 후방 산업이다. 특히 아시아 지역(대한민국, 중화권)은 전 세계 반도체 설비 투자의 약 70%를 차지하고 있다. 최근 해외 선진 업체들은 우리 반도체 산업 견제를 위해 장비, 부품, 소재 산업무기화, 특허 공세 등을 강화 하고 있는 추세이다. 또한 450㎜ 생산 시스템 도입을 위한 논의 및 준비가 최근 활발히 진행 중이다.



[Gartner 2009.3]

그림 1. 세계 반도체장비 시장 추이
Fig. 1. Changes in Global Semiconductor Equipment Market.

2-2 국내 반도체장비 시장

국내 반도체장비 시장은 50.2억불 (2008년 기준)로 전 세계 시장의 16% 수준이며, 2004년 이후부터 300㎜ 라인 증설에 따라 시장 규모가 증대되고 있다. 45나노급 양산장비 투입이 예상되는 2010년, 2011년을 기점으로 시장 확대가 전망되며, 32나노급 양산 시점도 주요 성장 타이밍으로 예상 할 수 있다. 프로세스에 따른 전공정, 후공정, 검사용 장비 중 전공정 장비의 비중이 전체의 80% 이상으로 절대적인 비중을 차지하고 있다. 대부분의 범용, 고가장비는 여전히 해외 의존 중이나 일부 장비군은 경쟁력을 확보하여 세계적인 수준에 도달하고 있다.

최근 반도체장비 수출 규모는 괄목할 만한 성장을 지속 중에 있다. 국내 장비 업계의 지속적인 기술 개발 및 해외시장 개척 노력과 수요 업체인 소자 업체

표 1. 세계 반도체장비 시장 전망
Table 1. Market Prospects for Global Semiconductor Equipment.

연도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	CAGR '08~'13
시장규모(억불)	308.3	168.9	202.8	288.3	353.3	299.6	-0.6%

[Gartner, 2009.3]

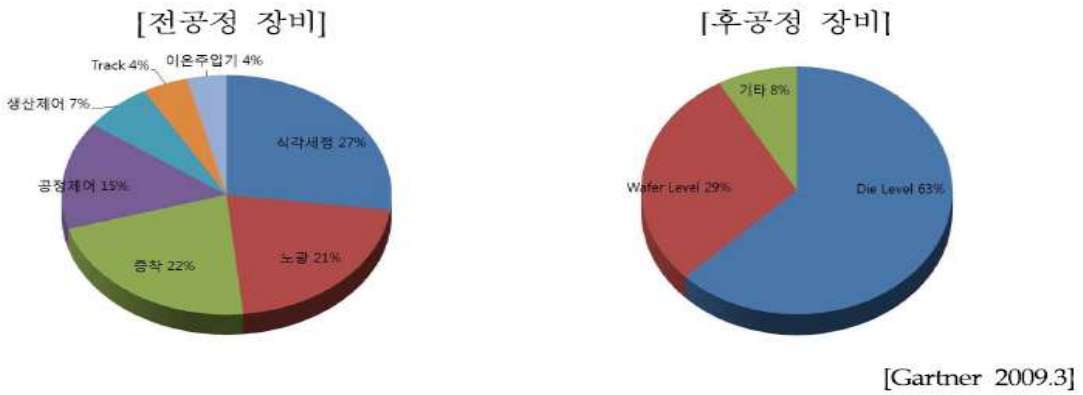


그림 2. 품목별 점유 현황
Fig. 2. Market Share by Items.

표 2. 반도체장비 수출·입 현황
Table 2. Export/Import of Semiconductor Equipment.

(단위 : 백만불)

구분	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	CAGR
수출	374.4	668.9	687.4	1165.6	1581.4	1146.1	25.08
수입	3,003.4	4,553.8	6,089.3	7,030.0	8,593.0	5,846.6	14.25

*자료 : KOTIS 2009, 부분품 포함 수치임.

의 해외 생산 거점 확대를 계기로 큰 폭의 성장세를 기록하고 있다. 2000년 이후 중국 IT 시장의 확대로 인해 중화권(중국, 대만 등)으로의 수출 비중이 가장 높아졌다 [2].

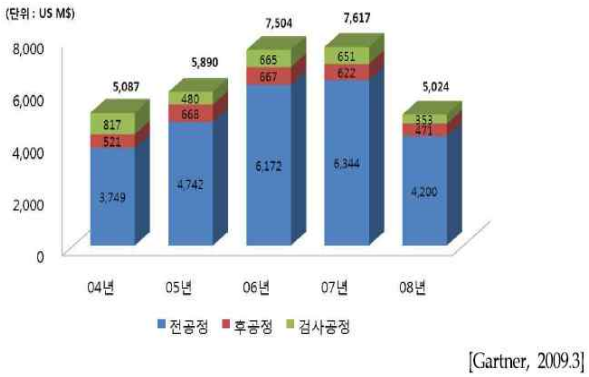


그림 3. 국내 반도체장비 시장 추이
Fig. 3. Changes in Local Semiconductor Equipment Market.

Ⅲ. 시스템 구성 및 제어 알고리즘

본 연구 시스템은 노치형 웨이퍼의 자동 정렬을 위하여 웨이퍼 회전용 스텝 모터 조절 장치와 웨이퍼 회전 시 파티클(Particle) 발생을 최소화시키고, 미끄럼 방지를 위한 기구 설계 기술을 개발하였다.

3-1 시스템 구성

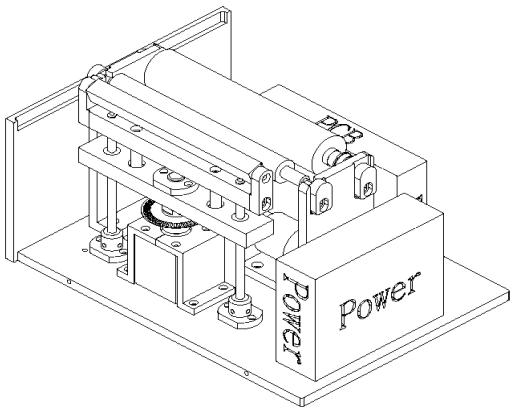


그림 4. Aligner 내부 구조도
Fig. 4. The Internal Structure of an Aligner.

그림 5의 시스템 구성도에서 보는 바와 같이 Main control에서 웨이퍼의 크기, 종류 및 수량을 인식하고 모터의 RPM을 조절하게 되며, 연산부에서는 스텝 모

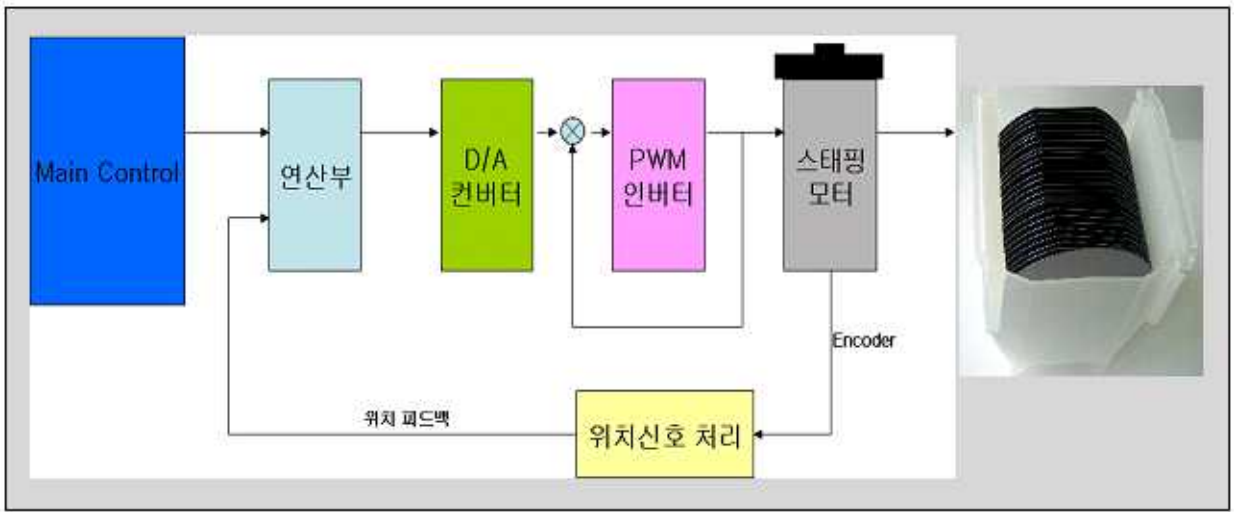


그림 5. 시스템 구성도
Fig. 5. System Structure.

터를 정밀 제어 할 수 있는 PID(Proportional Integral Differential) 방식을 사용하여 신속하고 정밀하게 웨이퍼의 위치를 조정한다[3].

수동과 자동으로 설정 할 수 있으며, 수동 시 구간 구간별 정렬 설정이 가능하며, 노치 부분이 밑으로 향해 정렬되고, 그 후 롤러가 밑으로 내려오면서 노치 부분이 위로 향해 정렬된다. 자동 타입은 웨이퍼 정렬 시 롤러는 약 6 바퀴 회전하고, 웨이퍼는 한 바퀴 반을 회전하면 정렬을 마치게 된다.

3-2 제어 알고리즘

D/A Converter는 연산부의 디지털 데이터 값을 입력 받아 아날로그 값을 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터에 보내어 전류 제어에 의한 Stepping Motor의 구동이 이루어지고, Stepping Motor를 구동하여 Align Bar를 UP/DOWN 시키게 된다. 특히, 제어부는 스테핑 모터의 PID 제어 알고리즘이 개발의 중요한 부분이며, 제품의 성능에 많은 영향을 미치게 된다.

3-3 수학적 검증

웨이퍼를 회전시킴으로써 노치의 위치가 다양한 각도에 따라 얻어진다. 데이터들은 각θ_i, i ={0,1,2,...,N-1} 와 그에 대응하는 위치 P_i에 의해 표현된다. 여기서 위치 데이터 P_i는 웨이퍼를 각 θ_i에 따라 회전시킬 때, 척 센터 O에서부터 웨이퍼 노치까지의 거리가 배열에 투영된 값이다. 여기서, 첫 데이터가 (θ_0, P_0)라면 θ_0는 처음 각이므로 0 일 것이다. 두 번째 데이터는 각 θ_1에 의해 시계방향으로 회전한 후에 얻어진 데이터이므로 (θ_1, P_1)으로 표현된다. θ_2에 대한 데이터를 얻기 위해 $\theta_2 - \theta_1$만큼을 회전시킨 후에 위치 데이터 P_2을 얻는다. 그러므로 세 번째 데이터는 (θ_2, P_2)같이 표현된다. 따라서 웨이퍼를 1회전 (360^o)하면서 N 개 만큼의 데이터를 얻는다면 마지막 데이터는 (θ_{N-1}, P_{N-1}) 같이 표현 된다. 이것을 일반화된 식으로 표현하면 다음과 같다 [5]. 여기서 N은 얻고자 하는 데이터의 개수로서, 많을수록 정확한 데이터를 얻을 수 있다.

$$\theta_i = \frac{2\pi}{N} i\,[rad] \tag{1}$$

일반적으로 진원이고 반경이 r인 원판을 회전시키면 노치에 대한 위치 정보를 얻을 수 있다.

$$P_i = \sqrt{r - (e\sin(\theta_i - \phi))^2} + e\cos(\theta_i - \phi) \tag{2}$$

(e:척 중심과 웨이퍼 중심사이의 거리, ϕ:기준점으로 부터의 각)

실제적으로 웨이퍼 중심과 척 중심 사이의 거리는 매우 작으므로, 즉 $\frac{e}{r}$이 매우 작기 때문에 (2)식은

(3)식과 같이 간략화 될 수 있다.

$$\widehat{P}_i = r + e\cos(\phi - \theta_i) \tag{3}$$

여기서, $\widehat{P}_i$는 각 θ_i에 대응하는 위치 데이터식이다. 식 (3)을 다시 쓰면 다음과 같다 [6].

$$\widehat{P}_i = r + (e\cos\phi)\cos\theta_i + (e\sin\phi)\sin\theta_i \tag{4}$$

(4)의 $\widehat{P}_i$, 즉 이상적인 웨이퍼 노치의 위치 데이터를 구하기 위해서는 $r, e\cos\phi, e\sin\phi$ 등을 알아야 한다. 반지름 r은 모든 위치 데이터들의 평균으로부터 구할 수 있다. 따라서 반지름 r로부터 코사인 커브의 꼭지점 까지가 편심량이 되고 이상적인 커브와 실제 데이터와의 차이가 가장 큰 부분이 노치의 중심이 된다. 또한 노치의 방향을 원하는 위치로 향하게 하기 위해서는 척 센터와 노치 센터간의 좌표 변환이 필요하다. 그림 6은 척 중심과 노치 사이의 좌표를 나타내었다.

여기서, C_c는 척 중심이고, C_w는 웨이퍼의 중심을 그리고 N_c는 노치의 중심을 나타낸다.

$$\begin{aligned}\overline{C_w} &= [C_w\cos\theta_c \cdot C_w\sin\theta_c][\frac{\overline{x}}{y}] \\ &= \overline{x}\,C_w\cos\theta_c + \overline{y}\,C_w\sin\theta_c\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}\overline{N_c} &= [N_c\cos\theta_{n1} \cdot N_c\sin\theta_{n1}][\frac{\overline{x}}{y}] \\ &= \overline{x}N_c\cos\theta_{n1} + \overline{y}N_c\sin\theta_{n1}\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}\overline{N_w} &= [N_c\cos\theta_{n2} \cdot N_w\sin\theta_{n2}][\frac{\overline{x}}{y}] \\ &= \overline{x}N_w\cos\theta_{n2} + \overline{y}N_w\sin\theta_{n2}\end{aligned} \tag{7}$$

$\overline{N_w} = \overline{N_c} - \overline{C_w}$ 이므로,

$$\begin{aligned}&\overline{x}N_w\cos\theta_{n2} + \overline{y}N_w\sin\theta_{n2} \\ &= \overline{x}N_c\cos\theta_{n1} + \overline{y}N_c\sin\theta_{n1} \\ &- (\overline{x}\,C_w\cos\theta_c + \overline{y}\,C_w\sin\theta_c)\end{aligned} \tag{8}$$

표 3. 스테핑 모터 제어 알고리즘
Table 3. Stepper Motor Control Algorithm.

```
/* ================================================================ */
/*  DC Motor Control & Step Motor Drive Program V1.0 using ATmega128  */
/* ================================================================ */

// Stepping Motor : FDD Head Motor (12 V / 90 ohm / 2-Phase 4-Pole)
//          PD0 = -CLOCK
//          PD1 = CW/-CCW
//          PD4 = -RESET
// DC Servo Motor : Tamagawa TS1900N102 (21 V / 0.43 A / 200 PPR)
//          PD1 = CW/-CCW
//         OC3B = PWM
//           T1 = SPEED_CLOCK (200*4)
//          PD7 = FOR/-REV
//     PB7-PB0 = D/A converter (real speed)

#define  Kp      0.3                          // P gain
#define  Ki      24.0                         // I gain
#define  Ts      0.008                        // speed sampling time[sec]

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
#include "c:\AvrEdit\Ok128c\Ok128.h"

volatile unsigned char count400ms;
volatile unsigned int count3sec;
volatile unsigned char table;
volatile unsigned int count, old_count, new_count;
volatile signed int Wref, Wr, PWM;
volatile float Werr0, Werr1, PIconstant, PI;
signed int Wref_table[] = {
  +0, +3000, +0, -3000, +3000, -3000,
  +500, -500, +2000, -2000, +1000, -1000, +2500, -2500,
  +1500, -1500, +3000, -3000, +3500, -3500 };

void LCD_s4d(signed int number)    /* display signed 4-digit decimal number */
{ signed int i, x;
  unsigned char flag;

  if(number >= 0)                              // sign
    { LCD_data('+');
      x = number;
    }
  else
    { LCD_data('-');
      x = -number;
    }

  flag = 0;
  i = x/1000;                                  // 10^3
  if(i == 0) LCD_data(' ');
  else {      LCD_data(i + '0');
              flag = 1;
       }
                                    ⋮ ⋮ ⋮

while(1)
    { if(count400ms >= 50)             // display Wref and Wr for each 400ms
        { count400ms = 0;
          LCD_command(0x86);
          LCD_s4d(Wref);
          LCD_command(0xC6);
          LCD_s4d(Wr);
        }
    }
```

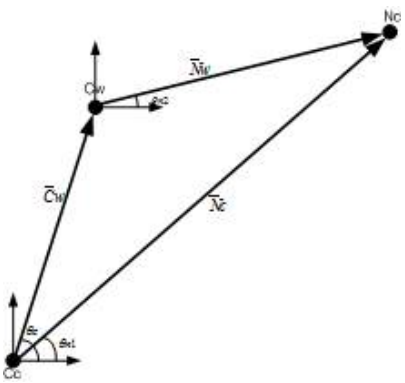


그림 6. 노치 중심과 척 중심 사이의 좌표계
Fig. 6. Coordinates between the angle of notch and center of chuck.

Ⅳ. 성능 평가

정렬기의 성능을 평가하는 두 가지 성능 지표는 웨이퍼 중심이 얼마나 편심 되었는가와 웨이퍼의 노치의 방향을 얼마나 정해진 방향으로 정확하게 향하게 하는가이다. 개발된 정렬기에 대한 위의 두 성능 평가는 정렬기 위에 웨이퍼를 올려놓으면 제어기에 의해서 웨이퍼를 회전하게 되며 이때 제어 알고리즘을 통해 웨이퍼의 프로파일을 얻는다. 모터는 회전한 후 정지하고, 이때 제어기는 웨이퍼의 이미지 데이터를 읽게 된다. 이 값들을 이용하여 웨이퍼의 편심량과 노치의 방향을 계산한다. 그런 후에 웨이퍼의 중심을 일치시키는 편심보정 과정을 거친 후 노치의 방향을 정해진 방향으로 정렬시킨다. 그 결과를 웨이퍼 위에 마킹해 놓은 비주얼 마킹(Visual Marking)의 위치를 해석하여 웨이퍼의 편심과 노치의 방향이 정확하게 정렬되었는가를 확인한다. 그림 7은 비주얼 마킹을 이용하여 웨이퍼의 편심과 노치의 방향을 계산하기 위한 각 좌표 시스템을 정의한 결과이다.

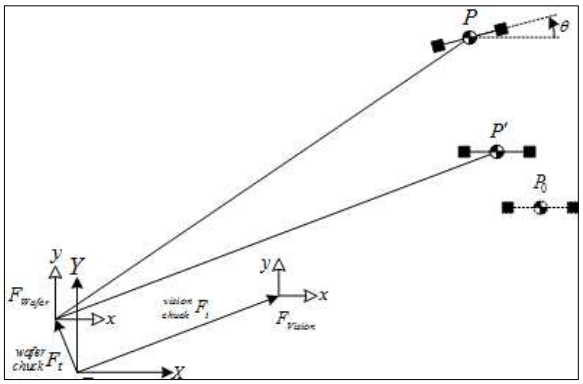


그림 7. 시스템의 좌표계
Fig. 7. Machine Coordinate.

여기서,

$_{wafer}P'$ = *Marked point on the wafer a alignment*

$_{wafer}P$ = *Marked point on the wafer*

$_{chuck}P_0$ = *Vision center after a calibration*

F_{wafer} = *Coordinate of wafer*

F_{chunk} = *Coordinate of chunk*

F_{vision} = *Coordinate of vision*

이를 이용해 다음과 같이 웨이퍼의 편심을 계산할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

$$ {}^{wafer}_{chunk}F_t = {}_{chunk}P - T_R \bullet {}_{chunk}P_0 $$

$$ {}^{wafer}_{chunk}F_t = ({}_{vision}P + {}^{wafer}_{chunk}F_t) - T_R \bullet {}_{Chunk}P $$

Ⅴ. 결 론

본 연구 개발 시스템은 노치형 웨이퍼 20~25개를 일련번호가 같은 위치에 자동으로 정렬이 되도록 하여 반도체 공정 전, 후 감지기에 의해 웨이퍼의 공정 상태 파악을 용이하게 하고, 웨이퍼 생산 후 자동 정렬로 포장검사 시간을 단축시키는 장비 개발을 위한 알고리즘과 정확하게 노치를 정렬하는 보정 알고리즘, 스테핑 모터 제어 알고리즘을 제안하였다. 노치형 웨이퍼의 자동 정렬을 위하여 웨이퍼 회전용 스텝 모터 조절 장치와 웨이퍼 회전 시 롤러 부분의 표면 재질에 따라 정렬 상태가 달라지므로, 표면 재질이 적당한 마찰 계수를 가지며 웨이퍼의 회전으로 파티클(Particle)이 발생하지 않는 소재를 사용하여 발생을 최소화시킬 수 있었다. 또한 미끄럼 방지를 위한 기구 설계 기술을 개발하였고, 수학적 검증을 통한 성능평가를 실시하였다.

200㎜~300㎜ 웨이퍼 20~25개를 정렬하는데, 롤러는 약 6 바퀴 회전하고, 웨이퍼는 한 바퀴 반을 회전하여 약 10~12초 정도면 정렬을 마치게 된다. 본 연구 개발 시스템은 반도체 공정 진행 중 웨이퍼의 오염 방지로 반도체 수율을 향상 시킬 수 있으며, 향후 450mm 이상의 대형 웨이퍼 생성 시에도 탄력적으로 적용 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2008학년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] 권용재 “반도체 장비재료 동향” 2009. 4
[2] https://www.ksia.or.kr.

[3] 박종현, “반도체 웨이퍼를 위한 얼라이너 개발”한국과학재단 보고서 과제번호 931-1000-039-2, 1995.

[4] 박홍래, 유준, “웨이퍼 정렬법과 정밀도 평가”, *제어자동화시스템공학 논문지,* 제8권, 제9호, pp. 812-817, 2002. 9

[5] N. H. Judell and R. C. Abbc, Dodiye, Roy Mallory “Wafer alignment station”United States Patent No. 4, pp. 457, 664, 1984.

[6] V. W. R. Volovich “Semiconductor object pre-aligning method” *United States Patent,* No. 5, pp. 125,791, 1992.

[7] P. E. Bacchi and F. Greenbrae “Universal specimen prealigner” United States Patent, No. 5, pp. 513, 948, 1996.

[8] S. Kuo, “Computer applications of numerical methods” 1972.

나 원 식 (羅元植)

2005년 8월 : 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)

2001년 3월~2003년 2월 : (주)성신섬유 전산실장

2006년 3월~현재 : 남서울대학교 교양과정부 컴퓨터계열 교수

관심분야 : 네트워크 보안, 무선 LAN, 의료정보, 전자제어