

<기술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2009.33.9.969

# 본딩 웨이퍼 분석 시스템 개발

장동영<sup>†</sup> · 반창우<sup>\*</sup> · 임영환<sup>\*\*</sup> · 홍석기<sup>\*\*\*</sup>

(2008년 12월 8일 접수, 2009년 7월 17일 수정, 2009년 7월 28일 심사완료)

## Development of Bonded Wafer Analysis System

Dong-Young Jang, Chang-Woo Ban, Young-Hwan Lim and Suk-Ki Hong

**Key Words:** Bonded Soi Wafer(본딩 웨이퍼), Ellipsometry(엘립소메트리), Galvano Mirror(갈바노미러), Laser(레이저), Wafer Analysis(웨이퍼 분석)

### Abstract

In this paper, bonded wafer analysis system is proposed using laser beam transmission; while the transmission model is derived by simulation. Since the failure of bonded wafer stems in void existence, transmittance deviations caused by the thickness of the void are analyzed and variations of the intensity through the void or defect easily have been recognized then the testing power has been increased. In addition, large screen display on laser study has been done which resulted in acquiring a feasible technique for analysis of the whole bonding surface. In this regard, three approaches are demonstrated in which Halogen lamp, IR lamp and laser have been tested and subsequently by results comparison the optimized technique using laser has been derived.

### 1. 서 론

반도체 부품은 각종 전자제품의 개발과 함께 많은 양의 데이터를 처리하는 정보처리 분야는 물론 데이터베이스 구축, 각종 제어분야, 컴퓨터 산업, 의료기기산업, 군사무기산업 등 많은 분야에서 사용되어지고 있다.<sup>(16)</sup>

전자제품과 주변기기의 성능은 반도체 부품의 성능에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이들 반도체 부품은 하루가 다르게 고집적화, 소형화, 고성능화를 위해 개발되고 있으며 현재 반도체 부품을 패키징하는 기술은 반도체 부품의 성능 향상을 위한 핵심 기술의 하나로써 중요시되고 있다.

또한 반도체 소자의 집적도를 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며 특히 복수의 실리콘 웨이퍼를 수직으로 적층하는 웨이퍼 스택 기술에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 웨이퍼 본딩 기술은 MEMS 제품의 상용화와 포톤효율을 높이기 위한 이미지 센서 및 솔라셀 공정에서 핸들링 웨이퍼의 수요가 늘어나면서 많은 공정에서 사용되어지고 있다.<sup>(14)</sup>

그런데 이와 같이 복수의 웨이퍼를 적층하는 경우 웨이퍼 간의 접합이 불완전하여 웨이퍼의 접합면 사이에 에어갭(Air Gap)이 발생될 수 있으며, 또한 웨이퍼의 가공 또는 웨이퍼 스택의 제작을 위한 다양한 공정을 거치는 동안 웨이퍼 후면에는 스크래치(Scratch) 또는 크랙(Crack) 등이 발생될 수 있다. 그런데 이와 같은 에어갭, 스크래치, 크랙 등은 웨이퍼 스택이나 반도체 소자의 불량을 초래하게 되어 실리콘 웨이퍼의 내부 또는 웨이퍼의 후면 등을 정확히 분석할 수 있는 방법이 요구된다.<sup>(11)</sup>

불량 분석 장비로 AOI(Automated Optical Inspec-

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과  
E-mail : dyjang@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6450 FAX : (02)974-5288

<sup>\*</sup> 서울산업대학교 에너지환경대학원 NIT공학과

<sup>\*\*</sup> 서울테크노파크

<sup>\*\*\*</sup> 서울산업대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템공학과

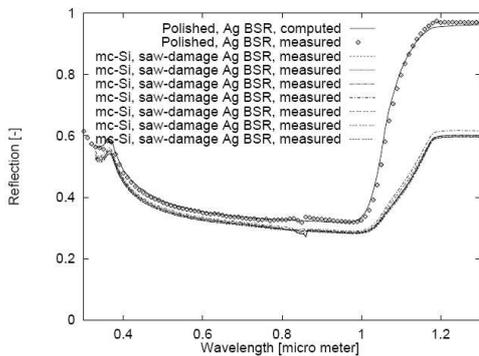


Fig. 1 Transmittance of Si by different laser wavelengths

tion) 장비를 들을 수 있고 초음파 검사 기법과 X-Ray 검사 기법 등이 사용되고 있으나 사용이 불편하고 검출력이 떨어진다.<sup>(14)</sup>

초음파 검사 기법은 10MHz ~ 500MHz 고주파수의 초음파를 이용하여 검사체를 파괴하지 않고 내부를 검사할 수 있는 비파괴 검사의 일종으로 반도체 신뢰성 평가 뿐 만 아니라 금속, 비금속, 복합소재 등의 건전성 및 특성평가에 응용되고 있는 현대 산업 기술에 반드시 필요한 분석 장치이다.<sup>(15)</sup> 그러나 초음파 검사기법은 분석자의 숙련성과 많은 횟수의 샘플링 검사를 요구하고, 접촉식의 스캐닝 방식이기 때문에 전체적인 패턴을 확인하기에는 많은 시간이 소요된다. 또한 시료를 용액에 담궈야 하는 문제점도 갖고 있다.

X-Ray 검사 기법은 복잡하고 대기시간이 길고 방사능에 대한 노출이라는 단점이 있다. 레이저를 이용한 경우 Fig. 1에서 보듯이 1000nm 이상의 파장에서는 웨이퍼의 특성상 투과하게 된다.<sup>(1-3)</sup>

따라서 본 논문의 목적은 레이저의 한계인 대면적 조사를 갈바노미러를 사용하여 극복하고, 웨이퍼의 투과율이 높은 1000nm 이상의 레이저를 투과시켜 분당된 웨이퍼 내부의 상태를 쉽게 파악할 수 있도록 광량의 변화율을 분석하여 기포 이미지의 위치를 파악하는 불량 검사 시스템을 구축하는데 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 투과 효율 계산

분당면을 다층박막으로 가정하고 투과와 반사의 관계를 엘립소메트리(Ellipsometry) 기법을 사

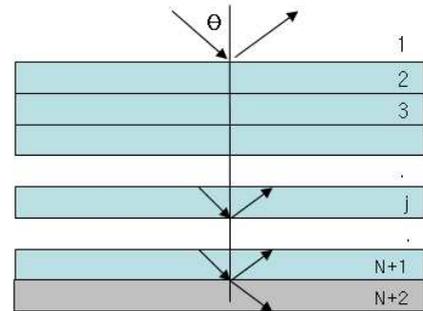


Fig. 2 Transmission and reflection for each layer of Multilayer thin films

용하여 분석하였다.

Fig. 2와 같이 분당 웨이퍼 다층 박막에서의 각각의 복소굴절률을  $N_j$ 라 하면 여기서 복소굴절률은 실수 부분인 굴절률(Refractive Index)  $n_j$ 와 허수 부분인 소광계수(Extinction Coefficient)  $k_j$ 로써  $N_j = n_j + ik_j$ 와 같이 표현한다.<sup>(8,12)</sup>

다층 박막의 경우 표현 양식이 간단한 Scattering Matrix 방법을 이용하였다. Fig. 2와 같이 다층 박막이 있는 경우 반사는 각 경계면(Interface)에서 일어나고 흡수나 위상 변화 등은 주어진 층을 지날 때 발생하게 된다.<sup>(5)</sup>

따라서 Scattering Matrix S는 Interface Matrix I와 Layer Matrix L로 표현이 가능하다. n층의 다층 박막이 무한히 두꺼운 기반 위에 형성되어 있을 때 Scattering Matrix S는 (1)과 같이 표현이 가능하다.<sup>(10)</sup>

$$S = I_{12} L_2 I_{23} L_3 \dots I_{j,j+1} L_{j+1} \dots I_n L_{n+1} L_{n+1} L_{n+2} \dots \quad (1)$$

여기서  $I_{j,j+1}$ 은 j번째와 (j+1)번째 층간의 경계면에서의 현상을 나타내는 Interface Matrix이고  $L_{j+1}$ 은 (j+1)번째 층을 지날 때의 현상을 표현한 Layer Matrix이다. 일반적으로 반사 계수는 복소수이며 빛의 위상과 크기의 변화를 나타내고 Fresnel 계수라 부른다. Fresnel 반사 계수는 (2)와 같은 수식으로 표현된다.<sup>(4)</sup>

$$r_{j,j+1} = \frac{N_{j+1} \cos \theta_j - N_j \cos \theta_{j+1}}{N_j \cos \theta_{j+1} + N_{j+1} \cos \theta_j} \quad (2)$$

마찬가지 방법으로 투과한 파에 대한 투과 계수도 (3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$t_{j,j+1} = \frac{2N_j \cos \theta_j}{N_j \cos \theta_{j+1} + N_{j+1} \cos \theta_j} \quad (3)$$

이들 Matrix는 Fresnel의 반사 계수 및 투과 계수 등으로 (4), (5)와 같이 표현된다.

$$I_{j,j+1} = \begin{pmatrix} 1 & r_{j,j+1} \\ t_{j,j+1} & t_{j,j+1} \\ r_{j,j+1} & 1 \\ t_{j,j+1} & t_{j,j+1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$L_j = \begin{pmatrix} e^{i\beta_j} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_j} \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서  $\beta_j$ 는 j번째 층을 지날 때 발생하는 위상 변화량으로 그 층의 두께( $d_j$ ), 입사각( $\theta_j$ ), 그리고 복소굴절률( $N_j$ )의 함수 (6)이다.

$$\beta_j = \frac{2\pi d_j N_j \cos \theta_j}{\lambda} \quad (6)$$

결국 Scattering Matrix는 2X2의 인자를 갖는데 식 (4)와 (5)를 통해 표현된 Scattering Matrix를 각각 계산하면 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$S = I_1 L_2 L_3 L_4 L_5 L_6$$

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{t_{12}} & \frac{r_{12}}{t_{12}} \\ \frac{r_{12}}{t_{12}} & \frac{1}{t_{12}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_2} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{t_{23}} & \frac{r_{23}}{t_{23}} \\ \frac{r_{23}}{t_{23}} & \frac{1}{t_{23}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_3} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_3} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{t_{34}} & \frac{r_{34}}{t_{34}} \\ \frac{r_{34}}{t_{34}} & \frac{1}{t_{34}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_4} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{t_{45}} & \frac{r_{45}}{t_{45}} \\ \frac{r_{45}}{t_{45}} & \frac{1}{t_{45}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_5} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{t_{56}} & \frac{r_{56}}{t_{56}} \\ \frac{r_{56}}{t_{56}} & \frac{1}{t_{56}} \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{t_{12}t_{23}t_{34}t_{45}t_{56}} \begin{pmatrix} e^{i^2\beta_2} + r_{12}r_{23} & r_{23}e^{i^2\beta_2} + r_{12} \\ r_{12}e^{i^2\beta_2} + r_{23} & r_{12}r_{23}e^{i^2\beta_2} + 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_3} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_3} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & r_{34} \\ r_{34} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_4} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 - r_{12}r_{12}e^{-i^2\beta_2} & -r_{12} + r_{12}e^{-i^2\beta_2} \\ r_{12} - r_{12}e^{-i^2\beta_2} & -r_{12}r_{12} + e^{-i^2\beta_2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 Drude 공식 (4)을 이용하면 반사 계수(r)와 투과 계수(t)는 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$r = \frac{S_{21}}{S_{11}}, \quad t = \frac{1}{S_{11}} \quad (8)$$

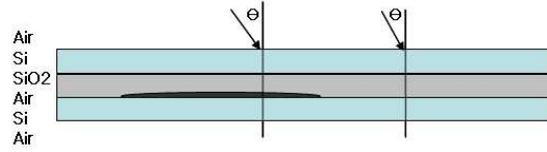


Fig. 3 Laser transmission configuration through each layer of bonded wafer

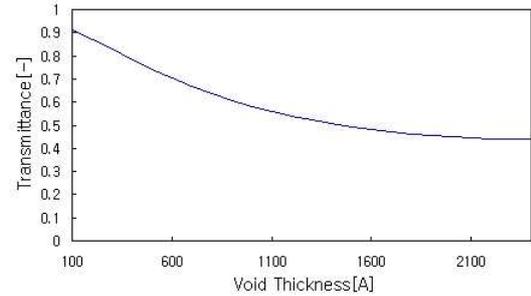


Fig. 4 Transmittance by different thickness of air layer

위 식은 다음과 같은 가정을 하였다. 소실률 k는 0에 근접하고, 입사각  $\theta$ 는  $0^\circ$ 로 고정시켰다. 그리고 파장( $\lambda$ )은 1064nm이고 공기의 굴절률은 1, Si의 굴절률(n)은 3.8, SiO<sub>2</sub>의 굴절률(n)은 1.44, Si의 두께(d)는 300  $\mu$ m, SiO<sub>2</sub>의 두께(d)는 1  $\mu$ m로 시뮬레이션 하였다.<sup>(9,15)</sup> Fig. 4는 기포의 두께를 100Å에서 2400Å까지 시뮬레이션 한 결과로 기포의 유무를 투과되는 광량의 차이에 의하여 알 수 있음을 알았다.

실제로 공기층 두께의 증가 시는 보강 간섭, 상쇄 간섭으로 인한 광량 변화가 발생한다. 1064nm 파장에서 정상 웨이퍼의 투과율은 0.97을 나타냈다. 정상 웨이퍼에 비해 기포(Void) 웨이퍼는 두께에 따라 투과율이 현저하게 감소하여 기포 부분을 검출할 수 있다.

시뮬레이션 모델링을 구현한 분석 장치는 Fig. 5와 같이 Laser Diode, Lens, Beam Expander 등을 포함하였다. 분석 장치로 기포를 가진 본딩 웨이퍼를 투과한 결과 Fig. 7과 같이 Newton Ring을 형성하였다. Newton Ring은 굴절률 및 두께의 차이가 있는 물질에 빛을 통과시켰을 때 위상차에 의해 간섭(Interference)현상이 생겨 발생하게 된다.<sup>(16)</sup>

## 2.2 IR 램프와 레이저의 비교

앞에서 웨이퍼를 투과할 수 있는 파장의 범위가 1000nm이상으로 1064nm의 레이저를 이용하여

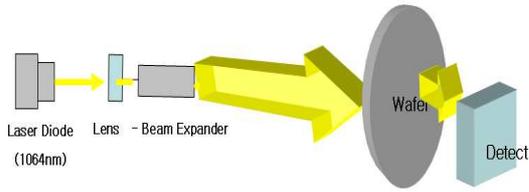


Fig. 5 Block diagram of bonded wafer an- alysis system

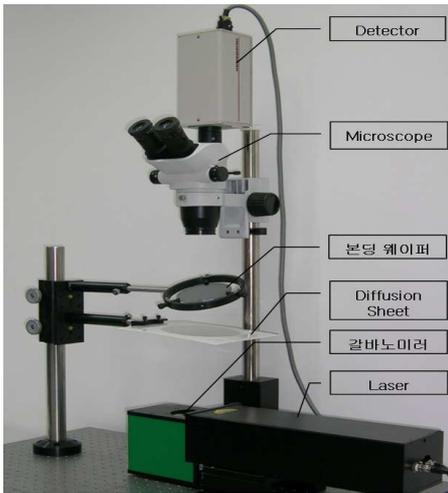


Fig. 6 Bonded wafer analysis system



Fig. 7 Result of bonded wafer void an- alysis by laser

실험 하였다. 특정 대역의 레이저 외에 일반적인 할로겐램프와 IR 램프를 사용하여 레이저와 비교 하였다.

Fig. 8은 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 할로겐램프, IR 램프, 레이저를 분석하였다.

파워의 경우 각기 조절이 가능하므로 대역에서의 최대값을 기준으로 하였다. 광원을 받는 이미

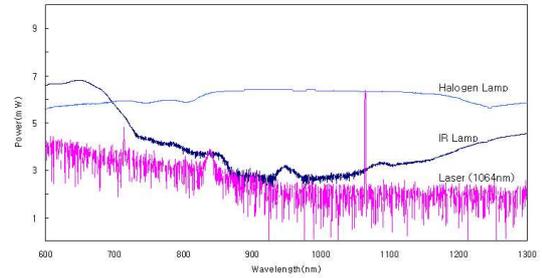


Fig. 8 Comparison of Halogen lamp, IR lamp and laser

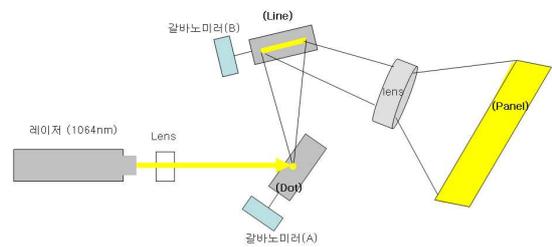


Fig. 9 Block diagram of bonded wafer an- alysis using Galvano mirror system

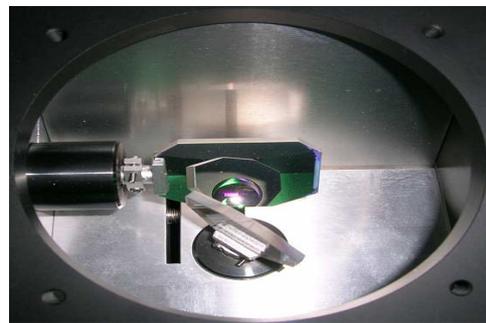


Fig. 10 The structure of optics applied by Galvano mirror

지 센서의 잡음과 파장간 간섭을 고려 할 경우 상당 부분 레이저가 우수함을 알 수 있다. 하지만 레이저의 경우 램프와 달리 대면적 조사가 어렵다는 단점을 갖고 있다.

### 2.3 갈바노미러를 이용한 시스템 구성

대면적 조사 방법으로 갈바노미러를 사용하는 스캔 방식을 이용하였다. Fig. 9는 시스템 개요도이다. 레이저의 광원이 렌즈를 투과 하면서 갈바노미러(A)에 Dot로 표시 되면 갈바노미러(A)와 갈바노미러(B)에 대면적으로 조사되게 된다. 갈바노미러의 왕복 운동은 컨트롤러와 드라이버에 의해 PC로 조절 가능하며 본딩 웨이퍼 면의 Panel

면적을 조절할 수 있다. 광학계 설계 및 구성과 카메라의 프레임 수를 고려하여 최대 40인치 정도의 대면적 조사가 가능하다.

### 3. 결 과

Fig. 11은 IR 램프를 이용한 투과 이미지 결과이고 Fig. 12는 레이저와 갈바노미러를 이용한 투과 이미지 결과이다. 시료는 4인치 Si 웨이퍼이고 두께는 1.03mm인 일반적인 MEMS 공정에서 사용 중인 것으로 하였다.

IR 램프와 레이저를 이용한 대면적 검사 시스템 모두 본딩면의 이물 및 기포로 인해 Newton Ring이 형성되었다. 하지만 Fig. 12는 뚜렷한 형

상과 함께 웨이퍼 전체의 Newton Ring까지 보였으며 검출력이 높은 것을 알 수 있다. 이는 IR 램프에 비해 레이저의 직진성과 파장간의 간섭이 현저히 작아서 더욱 선명하고 검출력 높은 이미지를 구현할 수 있었다.

본 논문의 목적은 레이저의 한계인 대면적 조사를 갈바노미러를 사용하여 극복하고, 웨이퍼의 투과율이 높은 1000nm 이상의 레이저를 투과시켜 본딩 웨이퍼 내부의 상태를 쉽게 파악할 수 있도록 광량의 변화율을 분석하여 기포 이미지의 위치를 파악하는 불량 검사 시스템을 구축하는데 있다.

Fig. 13과 Table. 1은 기포 부분의 두께 측정을 위하여 독일 “BRUKER”사의 “Wafer Thickness Mapper”라는 장비를 사용하여 본딩 웨이퍼의 기포가 없는 부분과 기포가 있는 부분과의 두께 차이

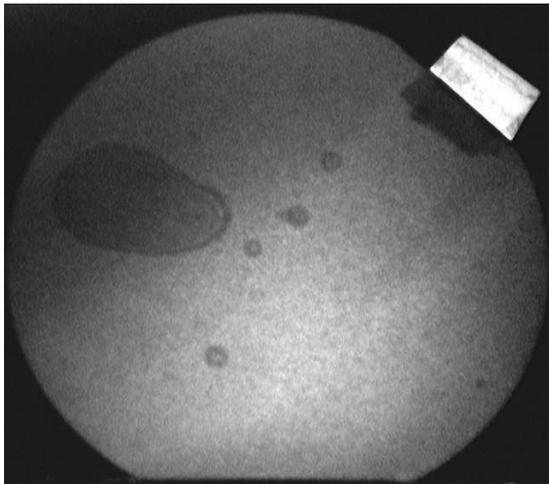


Fig. 11 Image captured by IR lamp

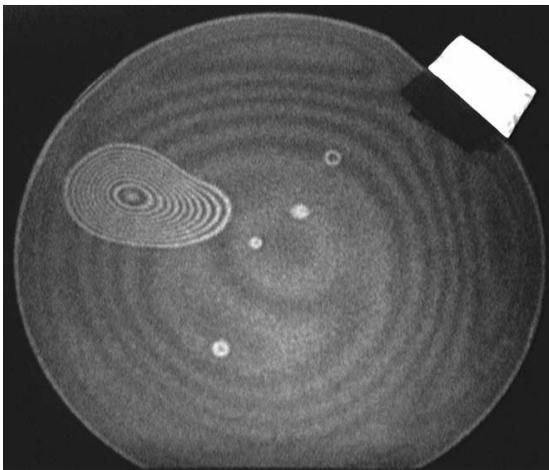


Fig. 12 Image captured by laser and Galvano mirror

Table 1 Wafer thickness at Void locations (unit : mm)

	실험1	실험2	실험3	평균
1	0.8836	0.8851	0.8839	0.8842
2	0.9313	0.9392	0.9315	0.9340
3	0.9203	0.9233	0.9214	0.9217
4	0.9225	0.9303	0.9235	0.9254
5	0.9311	0.9258	0.9337	0.9335
6	0.9204	0.9215	0.9209	0.9209
7	0.7984	0.7991	0.7989	0.7988

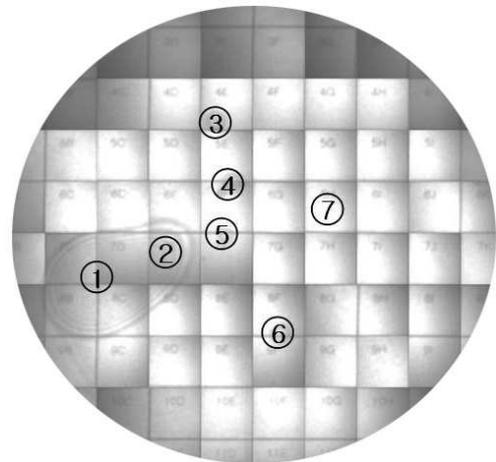


Fig. 13 Voids locations are illustrated on bonded wafer

도 알아보았다. 이 때 기포의 위치와 크기를 파악하기 쉽게 하기 위하여 가상의 눈금을 만들어서 실험하였고, 한 눈금의 크기는 10mm로 하였다. 본딩 웨이퍼의 기포가 있는 ①~⑥번과 기포가 없는 부분인 ⑦번 부분의 두께를 측정해 보았다. 그 결과 기포가 없는 ⑦번의 두께가 평균 0.7988mm로 기포가 있는 ①~⑥번 부분보다 얇음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 13에서 눈금 한 칸의 크기는 10mm이므로 ①, ②번이 있는 기포의 크기는 약 28.36mm이고 ③번 기포는 3.96mm, ④번 기포는 4.12mm, ⑤번 기포 2.89mm, ⑥번 기포 4.25mm의 크기인 것으로 나타났다. 하지만 위 장비는 IR 램프를 이용한 장비로 싱글(Single) 웨이퍼 두께 측정에는 신뢰성과 재현성을 가지고 있으나 본딩 웨이퍼 두께 측정에는 낮은 신뢰도와 재현성을 나타내었다. 이는 계면이 2개인 경우는 가능하지만 계면이 4개 이상인 경우는 두께 및 기포의 위치 측정이 불가능하기 때문이다. 또한 아주 미세한 기포일 경우 레이저 투과 검사 시스템에서는 검출이 가능하였으나, 본 장비의 두께 측정으로는 기포의 위치 추적이 불가능하였다.

본 논문에서는 갈바노미터를 사용하여 웨이퍼 대면적 조사를 가능하게 하였고, 웨이퍼의 투과율이 높은 1000nm 이상의 레이저를 투과시켜 본딩 웨이퍼 내부의 기포 이미지의 위치를 파악하는 불량 검사 시스템을 구축하였다. 이와 같은 시스템 구축을 통해 본딩 웨이퍼의 결함 평가에 적용성이 높을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

1064nm 파장의 레이저 빔을 이용하여 본딩 웨이퍼를 투과하는 모델링을 시뮬레이션 한 후에 시스템 구현을 통해 타당성을 입증하였다. 광량의 변화 차이를 통하여 본딩 웨이퍼의 에어갭(Air Gap)을 검출하였다.

또한 갈바노미터를 이용하여 대면적 Panel의 검사를 가능하게 하여 대면적 웨이퍼에 레이저를 이용할 수 있게 하였다. 또한 IR 램프에만 의존하여 검사하는 시스템에 있어 갈바노미터를 사용하여 레이저의 적용을 가능하게 하여 경제성적인 측면도 고려하였다. 향후에는 모형의 정밀도를 높이고 검출 속도와 신뢰성을 제고하는 동시에 편광모드, 빔 스프리트 등을 적용하여 다양한 검

출 능력을 높일 수 있는 연구가 필요하다.

#### 후 기

본 논문은 서울테크노파크의 차세대 패키징 공정장비 실용화사업의 일환으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Burgers, A.R., Kinderman, R., Hylton, J.D., Sinke, W.C. and De Moor, H.H.C., 1997, *ECN Solar Energy* "Light-trapping in Saw-Damage Etched Silicon Wafers," No. 5.
- (2) Zhao, J. and Martin A. Green, 1991, "Optimized Anti-reflection Coatings for High-Efficiency Silicon Cells," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 38, No. 8.
- (3) Hofstetter, J., del Canizo, C., Ponce-Alcantara, S. and Luque A., 2007, *Electron Devices*, "Optimization of SiNx:H Anti-Reflection Coatings for Silicon Solar Cells."
- (4) An, I. S., 2000, *Ellipsometry*, Hanyang University.
- (5) Pang, H. Y., Kim, H. J., Kim, S. Y., Kim, B. I., 1997, "Measurement of a Refractive Index and Thickness of Silicon-Dioxide Thin Film on LCD Glass Substrate Using a Variable Angle Ellipsometry," *Optical Society of Korea*, Vol. 8, No. 1.
- (6) Choi, D. J., 1987, "The Measurement Thickness and Refracting Index of Ceramic Thin-Film by Ellipsometry," *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol. 2, No. 4, pp. 392~395.
- (7) Bang, S. H., Hong, S. K., Kim, S. G., Kang, T. S., 2003, "Controller Design of a Galvanometer for Laser Marking Equipment," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 17, No. 3.
- (8) Lee, W. Y., Kim, S. K., Cho, B. I. and Kwan, O. J., 1989, "Evaluation of the Amorphous Layer Thickness in Implanted Silicon by Ellipsometry," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 12, No. 2.
- (9) Kwon, J. H. and Lee, S. H., 2003, "Anti-reflection

- coatings for solar cells," *The Korean Solar Energy Society*.
- (10) Kim, S. Y., 1990, "Analysis of Surface and Thin Films Using Spectroscopic Ellipsometry," *Journal of the Optical Society of Korea*, Vol. 1, No. 1.
- (11) Chegal, W., Cho, Y. J., Cho, H. M., Kim, H. J., Lee, Y. W. and Kim, S. H., 2004, "Measurement of Thin Film Thickness of Patterned Samples Using Spectral Imaging Ellipsometry," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 21, No. 6.
- (12) Tommi Suni, "Direct Wafer Bonding for MEMS and Microelectronics," *Technical editing Leena Uksoski*.
- (13) Lee, S. H. and Choi, K. S., 2006, "An Implementation of Scanning Acoustic Microscope," *Korea Institute of Information Technology*.
- (14) Jung, S. T., Kim, K. S., Yang, S. p., Jung, H. C. Y. and Lee, H., 2003, "A Study on the Inner Defect Inspection for Semiconductor Package by ESPI," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 1442~1447.
- (15) Nam, S. J. and Han, K. S., 2001, "Implementation of Automated Defect Detection and Classification System for Semiconductor Wafers," *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 28, No. 2.
- (16) Moon, D. M., Kang, S. G., Ryoo, K. K. and Jeong, H. D., 1997, "A Fundamental Study of the Bonded SOI Wafer Manufacturing," *Korean Society for Precision Engineering*, pp. 921~926.