

레이저빔 투과 모델링을 이용한 본딩 웨이퍼 검사

임영환, 양시은, 장동영, 홍석기*
서울산업대학교, 서울테크노파크*

e-mail: root@seoultp.or.kr, aceyang@seoultp.or.kr, dyjang@snut.ac.kr, hong@seoultp.or.kr

Bonding Wafer Inspection Using Laser Beam Transmission Modeling

Young-Hwan Lim, Si-Eun Yang, Dong-Young Jang, Suk-Ki Hong*
Seoul National University of Technology, Seoul Techno Park*

Abstract

본 연구에서는 레이저빔 투과를 이용한 본딩 웨이퍼 검사 방법을 제안하고 검사 장치를 설계 구현하였다. 1064nm 파장에서 정상웨이퍼를 일정한 비율로 투과하였다. 본딩 불량으로 인한 웨이퍼의 기공은 두께에 따라 투과율이 현저하게 변화하여 기공 부분을 검출하였다. 이러한 기공은 두께의 변화가 있으며 광량의 변화하는 부분이 에어갭으로 인식 카메라로 쉽게 구분이 가능하였다.

I. 서론

반도체 소자의 집적도를 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며 특히 복수의 실리콘 웨이퍼를 수직으로 적층하는 웨이퍼 스택 제작 기술에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 웨이퍼 본딩 기술은 MEMS 제품의 상용화와 포톤 효율을 높이기 위한 솔라셀, 이미징 센서 공정에서 핸들링 웨이퍼로 인해 수요가 늘어나면서 많은 공정에서 사용되고 있다.

그런데 이와 같이 복수의 웨이퍼를 적층하는 경우 웨이퍼간의 접합이 불완전하여 웨이퍼의 접합면 사이에 에어갭(air gap)이 발생될 수 있으며, 또한 웨이퍼의 가공 또는 웨이퍼 스택의 제작을 위한 다양한 공정을 거치는 동안 웨이퍼의 후면에는 스크래치(scratch) 또는 크랙(crack)등이 발생될 수 있다. 그런데 이와 같은 에어갭, 스크래치 또는 크랙 등은 웨이퍼 스택이나 반도체 소자의 불량을 초래하게 되어 실리콘 웨이퍼

의 내부 또는 웨이퍼의 후면 등을 정확히 검사할 수 있는 방법이 요구된다.

따라서 본 연구는 본딩 웨이퍼에 레이저광을 조사하여 본딩 웨이퍼의 내부 또는 후면의 상태를 검사하여, 본딩 웨이퍼의 불량을 쉽게 판단할 수 있다.

II. 본론

다층 박막에서의 각각의 복소굴절율을 N_j 라 두자. 여기서 복소굴절율은 실수 부분인 굴절율 (refractive index) n_j 과 허수 부분인 소광계수 (extinction coefficient) k 로써 $N_j = n_j + ik_j$ 와 같이 표현한다. 다층 박막의 경우 표현양식이 간단한 scattering matrix를 이용하는 방법을 이용하였다. 다층 박막이 있는 경우 반사는 각 경계면(interface)에서 일어나고 흡수나 위상 변화 등은 주어진 층을 지날 때 발생하게 된다. 따라서 Scattering Matrix S는 Interface matrix I와 Layer matrix L로 표현이 가능하다, n층의 다층박막이 무한히 두꺼운 기반 위에 형성되어 있을 때 scattering matrix S는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$S = I_{12}L_2I_{23}L_3I_{34}L_4I_{45}L_5I_{56} \tag{1}$$

여기서 I_{jj+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, 반사계수는 복소수이며, 빛의 위상과 크기의 변화를 나타내고, Fresnel 계수라 한다. Fresnel 반사계수는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$r_{ij} = \frac{N_j \cos \theta_i - N_i \cos \theta_j}{N_i \cos \theta_j + N_j \cos \theta_i} \quad (2)$$

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

$$t_{ij} = \frac{2N_i \cos \theta_i}{N_i \cos \theta_i + N_j \cos \theta_j} \quad (3)$$

이들 matrix는 Fresnel 반사 계수 및 투과 계수 등으로 표현이 된다. 즉,

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

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

여기서 β_j 는 j번째 층을 지날 때 발생하는 위상변화량으로 그 층의 두께(d_j), 입사각(θ_j), 그리고 복소굴절율(N_j)의 함수이다. 즉,

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

결국 Scattering Matrix는 2x2의 인자를 갖는데 scattering matrix를 각각 계산한 후 반사계수(r), 투과계수(t)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r = \frac{S_{21}}{S_{11}}, \quad t = \frac{1}{S_{11}} \quad (7)$$

위 식은 다음과 같은 가정을 하였다. 소실율 k는 0에 근접하고, 입사각 θ 는 0로 고정시켰다. 그리고 wavelength(λ)는 1064 nm 이고, Air,Si, SiO₂ 의 굴절률(n)은 각각 1, 3.8, 1.44, 두께(d)는 300 μ m, 1 μ m으로 시뮬레이션 하였다. 그림3은 void 두께를 100 에서 2400 Å 까지 시뮬레이션 하였다.

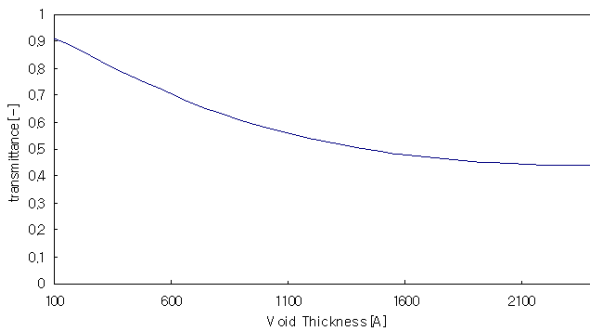


그림3. 에어갭 두께에 따른 투과율 변화

III. 구현.

실제로 에어 갭의 두께 증가 시는 보강간섭, 상쇄간섭으로 인한 광량 변화가 발생한다. 1064nm 파장에서 정상웨이퍼의 투과율은 0.97을 나타냈다. 정상 웨이퍼에 비해 void 웨이퍼는 Thickness에 따라 투과율이 현저하게 감소하여 void 부분을 검출할 수 있다. 그림4와 같이 에어갭은 두께의 변화가 있으며 광량의 변화하는 부분이 Void로 인식 카메라로 쉽게 구분이 가능하다.

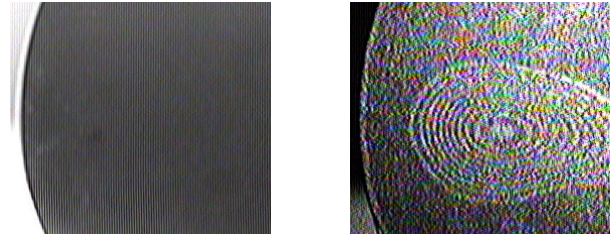


그림4. 평상시와 레이저빔 투과시 본딩웨이퍼 사진

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 1064nm 파장의 레이저 빔을 본딩 웨이퍼를 투과하는 모델링을 시뮬레이션 한 후에 시스템 구현을 통해 타당성을 입증하였다. 광량의 변화차이를 통하여 본딩 웨이퍼의 에어갭을 검출하였다. 이와 같은 시스템 구현을 통해 본딩 웨이퍼의 결함평가에 적용성이 높을 것으로 사료된다. 항 후에는 검사의 결과 속도와 신뢰성을 제고하는 동시에 편광모드, 빔 스프리트등을 적용하여 검출 능력을 높일수 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] A.R.Burgers, R. Kinderman, J.D.Hylton, W.C.Sinke H.H.C. De Moor "Light-trapping in saw-damage etched silicon wafers ", ECN Solar Energy 1997

[2] J.Zhao and Martin A.Green, "Optimized Antireflection Coatings for High-Efficiency Silicon Cells," IEEE Transactions on Electorn Devices, vol.38,no.8,1991

[3]Tommi Suni, "Direct wafer bonding for MEMS and microelectronics", Technical editing Leena Uksoski

[4] 안일신, Ellipsometry, 한양대학교 출판부, 2000

[5] <http://www.luxpop.com/>

[6] 김상열, "Spectroscopic Ellipsometry를 이용한 표면 및 박막의 분석", 한국광학회지 Volume 1, Number 1, March 1990