

태양전지 실리콘 웨이퍼의 결함 검출을 위한 레일리기준 기반 레이저산란 패턴 분석 및 고찰

Based on Rayleigh's Criterion Laser Scattering Pattern Analysis and Discussion for Defect Detection in Silicon Wafer of Solar Cell

*연정승¹, #김경범²

*J. S. Yeon¹, #G. B. Kim(kimgb@cjnu.ac.kr)²

¹국립 충주대학교 산업대학원, ²국립 충주대학교 항공·기계설계학과

Key words : Defect detection, Laser scattering, Rayleigh criterion, Silicon wafer, Solar cell

1. 서론

최근, 차세대 에너지원으로 실리콘 웨이퍼를 주원료로 하는 태양광 발전산업이 각광을 받고 있다. 태양전지에서 실리콘 웨이퍼는 원료의 유한함과 제조원가의 절감을 위해 점점 박형화 (slimming) 되어가고, 이에 따라 공정 중 파손을 유발하고 효율에 악영향을 끼치는 결함을 검사하는 검사모듈의 개발도 생산비 절감 측면에서 중요하게 다루어지고 있다.

본 연구에서는 태양전지에 주로 사용되는 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면에 존재하는 마이크로 결함을 대상으로 비교적 간단하고 신뢰성 있는 결함 검출 정보를 도출하기 위한 레이저산란 패턴분석을 시도하였다.

2. 레일리기준 기반 레이저산란 패턴 분석

단결정 실리콘 웨이퍼 표면에서 나타나는 레이저산란 패턴 특징을 알아보기 위해 기존 연구를 토대로 레이저산란 메커니즘을 설계하여 실험을 수행하였다¹.

실험에 사용한 실험조건은 레이저 입사각의 경우 기구적인 간섭, 레일리기준(Rayleigh's criterion)²을 만족하는 각도 그리고 레일리기준을 만족하지 않는 스침 입사각도(grazing incident angle)를 고려하였다. 스침 입사각도는 거친 표면(rough surface)에 대해 이상적인 광학 표면(specular surface)을 얻기 위해 레일리기준으로부터 식(1)과 같이 유도할 수 있다.

$$h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (1)$$

여기서, θ_i 는 레이저 입사각, λ 는 레이저

파장, h 는 웨이퍼의 표면거칠기 Ra 이다. 본 실험에 사용한 웨이퍼의 거칠기는 10 번의 AFM (atomic force microscope) 측정을 통해 Ra 평균 값 0.212 μm 을 얻었고, 실험에 사용한 레이저는 636.6nm 의 파장을 갖는다. 따라서, 레이저 입사각은 레일리기준 각도($\theta_i > 67.8^\circ$)보다 크고 작은 $30^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$ 를 선정하였다.

카메라의 관찰각은 입사평면(incident plane) 안에서 $0^\circ \sim 80^\circ$ 까지 10° 간격으로 균등하게 설정하여 실험 하였다. Fig. 1 은 획득한 레이저산란 영상을 광 강도를 기반으로 분석한 결과이다. 레일리기준 입사각보다 적은 레이저 입사각에서 레이저산란의 광 강도 분포는 가우시안 형태이며 이것은 표면이 거칠어 확산된 레이저산란광 성분이 반사됨을 알 수 있다. 반대로, 레일리기준 기반 입사각보다 큰 레이저 입사각에서는 비대칭 가우시안 형태를 보이고 실리콘 웨이퍼의 표면이 이상적으로 광학적인 평탄면이고 정반사가 되는 것으로 고려된다. 또한, 정반사가 되는 영역의 일정 각도만큼 적은 카메라 관찰각이 이동되는 것을 확인할 수 있다³.

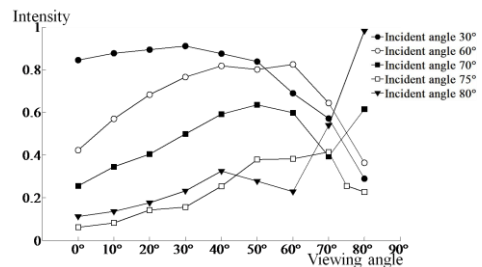


Fig. 1 Distributions of laser scattering intensity according to change of viewing angle

여기서, 중요한 점은 레이저 입사각 75° , 카메라 관찰각 70° 에서의 레이저산란 강도는 레일리기준을 만족하지 않는 레이저 입사각 30° , 60° 의 정반사 성분보다 대략 50%가 감소되어 마이크로 결함 검출시 중요한 정보로 이용될 것임을 알 수 있다.

3. 레이저산란 패턴 기반 마이크로 결함 분석

앞에서 레이저산란강도 기반으로 도출된 레이저 입사각 75° 와 카메라 관찰각 70° 를 레이저산란 메커니즘에 적용하여 마이크로 결함을 추출할 수 있는 근거를 도출하여 고찰하고자 한다.

실험에 사용한 결함은 실리콘 웨이퍼 시편을 FIB(focused ion beam)로 가공하여 길이 $64\ \mu\text{m}$, 폭 $32\ \mu\text{m}$, 깊이 $4\ \mu\text{m}$ 으로 제작하였다. 이 치수는 매우 얇은 깊이와 상대적으로 넓은 영역에 존재하는 마이크로 결함 중 스크래치, 텐트, 함몰 등을 반영하여 정한 것이다. Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 입사각 75° 에서 무결함 웨이퍼와 결함 웨이퍼에서의 최대산란연결면적(maximum connected area of scattering)과 레이저산란의 연결 성분(connected component of scattering)들의 수를 비교한 것이다. 여기서, 중요 레이저산란 변수로 도출된 레이저 입사각 75° , 카메라 관찰각 70° 에서 무결함 웨이퍼와 결함 웨이퍼의 최대산란연결면적과 레이저산란 연결 성분이 많은 차이를 보이고 있어 결함 검출에 중요한 정보로 사용된다고 판단된다.

이상의 레일리기준 레이저산란 패턴분석을 통해 레이저산란 변수를 도출한 후, 실리콘 웨

이퍼 표면에서 마이크로 결함의 유무를 검출할 수 있는 중요한 정보를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 레이저산란 패턴분석을 실험적으로 고찰하였고 또한, 마이크로 표면결함의 검출을 위한 중요 설계정보를 얻을 수 있었다.

레일리기준에 의한 레이저 입사각을 기준으로 레이저산란 광의 분포는 정반사 영역 중심으로 가우시안 분포와 비대칭적인 카이제곱 분포로 형성됨을 알 수 있었다. 이 비대칭적 카이제곱 분포의 레이저산란 강도가 상대적으로 많은 양이 감소하는 변수 영역에서 마이크로 결함에 대한 레이저산란 패턴을 분석한 결과, 도출된 레이저 입사각과 카메라 관찰각, 최대산란연결면적 및 레이저산란 연결 성분의 수는 결함검출을 위한 중요 설계정보로 적용될 수 있다고 판단된다.

후기

본 연구는 2009년 교육과학기술부 지역대학우수과학자지원사업(2009-0064599)과 중소기업청 산학협력사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다

참고문헌

1. Hong, Y. K., Kim, G. B., "A study on the analysis of laser scattering characteristics depending on surface shapes," Proceeding of KSPE, 473-474, 2009.
2. Bakolias, C., "Oblique imaging of scattered light for surface inspection," Department of Mechanical Engineering, Ph. D, London University, 1996
3. James, E. Harvey, Andrey Krywonos, Cynthia L. Vernold, "Modified Beckmann-Kirchhoff scattering theory for rough surfaces with large scattering and incident angles," Applied Optics, 1-12, 2006.

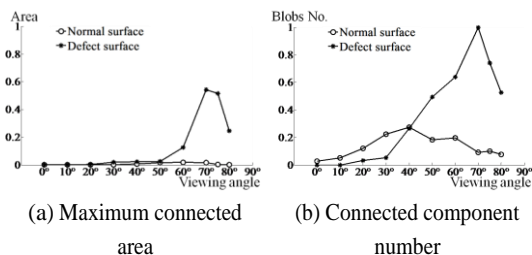


Fig. 2 Maximum connected and Connected component number area of scattering for different incident angles of laser ($\theta_i = 75^\circ$)