

태양전지용 실리콘 웨이퍼 표면에서 레이저산란의 광편향 규명에 관한 연구

A Study on Identification of Optical Deflection of Laser Scattering in Silicon Wafer of Solar Cell

*안병인¹, #김경범²

*B. I. An¹, #G. B. Kim(kimgb@cjnu.ac.kr)²

¹국립 충주대학교 대학원, ²국립 충주대학교 항공·기계설계학과

Key words : Solar Cell, Silicon Wafer, Laser Scattering, Optical Deflection

1. 서론

최근 화석에너지 고갈현상과 환경오염문제가 크게 대두되고 있는 가운데 그린에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 태양전지(solar cell)를 이용한 태양광 발전은 경제적, 기술적 측면에서 다른 그린에너지에 비해 재생청정에너지로 각광받고 있다.¹

태양전지용 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면 형상과 표면결함 검사는 태양전지의 효율에 악영향을 끼치는 것을 미연에 방지하고, 생산비 절감 측면에서 가장 중요하게 다루어지고 있다. 그러나 형상 결함(topology defect), 표면 결함(surface defect), 마이크로 결함(micro defect)을 위한 검사모듈 및 검사기에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 표면에 존재하는 마이크로 결함을 강건하게 검출하기 위해 레이저산란(laser scattering) 메커니즘을 구성하여 실리콘 표면의 경사(slope)면에서 일어나는 레이저산란 성분들의 편향성을 규명하였다.

2. 실리콘 웨이퍼의 광산란 속성

Fig. 1 은 단결정 실리콘 웨이퍼 표면의 3차원 마이크로 형상 특징을 보여주는 AFM(atomic force microscope) 측정 영상이다. 보통 기계가공 후에는 가공결(machined lay)이 형성되어 가공결의 특징을 내포하고 있는 특정한 산란광 패턴이 형성된다. 그러나 단결정 실리콘 웨이퍼의 경우 가공결과 같은 특징이 나타

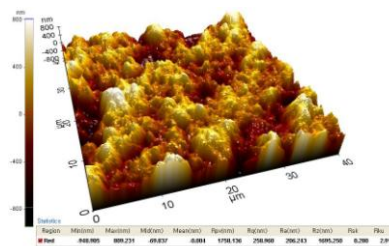


Fig. 1 3D AFM image of crystalline silicon wafer

나지 않는 완전한 랜덤표면이 형성되기 때문에 이러한 표면에서 특정한 산란광 패턴을 해석하기가 쉽지 않을 것이라 판단된다.²

3. 레이저산란의 광편향 규명

표면으로부터 반사되는 광의 방향은 입사각에 의해 결정되는데 표면의 불규칙적인 마이크로 형상은 이 입사각에 영향을 미쳐 산란광의 광로(light ray)를 편향시킨다. 특히, 국소적으로 매우 작은 기울기를 갖는 함몰(inclusion) 및 덴트(dent)의 경우 목시로 보기도 매우 힘들 뿐더러 검출하기도 쉽지 않다. 따라서, 이러한 매우 얇고 상대적으로 넓은 영역에 걸친 마이크로 결함을 가시화하는데 있어 적절한 가정이 필요하다. 그것은 강한 정반사 성분이 결함 영역의 국소 표면 기울기에 따른 편향각에 의해 이동한다는 것이다. 이 편향각(deflection angle)은 간단한 기하학적 계산에 의해 아래의 식(1)과 같이 정의된다.

$$w = 2\delta \quad (1)$$

여기서, w 는 편향각을, δ 는 광이 조사된

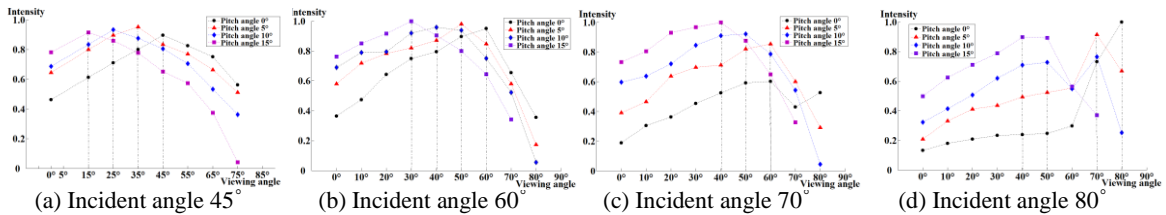


Fig. 2 Optical deflection for 4 surface slopes

표면 마이크로 형상 경사면의 최대 표준 기울기를 의미한다.³

위의 수학적 모델이 마이크로 표면 결함에 있어 실제의 광편향을 반영하는 지를 규명하기 위해 식 (2)의 레일리기준 식을 이용하였다.⁴

$$h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (2)$$

여기서, θ_i 는 레이저의 입사각, λ 는 레이저의 파장, h 는 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면거칠기 Ra를 의미한다. 본 실험에서는 레일리 기준 각도보다 크고 작은 각도 45° , 60° , 70° , 80° 를 레이저 입사각으로 이용하였고, 카메라 관찰각은 $10^\circ \sim 80^\circ$ 까지 10° 간격으로 균등하게 설정하였다. 또한, 실리콘 웨이퍼의 기울기를 레이저의 입사 방향과 마주하는 방향으로 $0^\circ \sim 15^\circ$ 까지 5° 씩 변화시키며 실험을 수행하였다.

Fig. 2는 광편향을 실험한 그래프이다. 레일리기준 각도보다 작은 레이저 입사각의 경우 실리콘 웨이퍼의 기울기가 변함에도 레이저산란광의 분포는 정반사 성분 영역을 중심으로 가우시안 형태를 보인다. 반면 레일리기준 각도보다 큰 경우, 레이저산란광의 분포는 기존 연구 이론⁵에서 제시한 정반사 영역을 중심으로 대칭적인 형태를 보이는 것과는 다르게 비대칭적인 형태로 나타난다. 이러한 레이저산란의 광편향은 태양전지의 실리콘 마이크로 결함 형상에서도 동일하게 나타날 것이라 추정된다.

4. 결론

본 논문에서는 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 마이크로 표면결함을 강건하게 검출하기 위한 시스템의 개발을 목적으로 실리콘 웨이퍼 표면에서의 레이저산란 기반 광편향을 실험적

으로 고찰하였다.

실리콘 웨이퍼의 기울기를 변화시키며 레이저 산란광 성분들의 광편향성에 대해 분석한 결과 제시된 기하학적 관계식과 유사하게 기울기의 두 배만큼 편향되는 것을 실험적으로 규명하였다. 다만, 스침 입사각도에서는 비대칭적인 분포를 가지며 다른 각도로 편향됨을 알 수 있다.

후기

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

참고문헌

1. Lee, J. H., "Current Status and Future Prospects of Solar Cell", KSPE, 25, 7-22, 2008.
2. Kim, G. B., "A Structured Mechanism Development and Experimental Parameter Selection of Laser Scattering for the Surface Inspection of Flat-Panel Glasses," International Journal of Production Research, 48, 13, 3911-3923, 2010.
3. Han, J. C., and Kim, G. B., "A Study on the Optimum Condition Determination of Laser Scattering using the Design of Experiment," KSPE, 26, 58-64, 2009.
4. Bakolias, C., "Oblique imaging of scattered light for surface inspection," Department of Mechanical Engineering, Ph. D, London University, 1996.
5. James, E. Harvey, Andrev Krywonos, and Cynthia L. vernold, "Modified Beckmann-Kirchhoff Scattering Theory for Rough surface with Large Scattering and Incident Angles," Applied Optics, 1-12, 2006.