

광산란 현상을 이용한 대면적 패턴의 표면 결함측정 Defect inspection of large patterned surface using scattered light

*주우덕, #김승우

*W.- D. Joo, #S.W.Kim(swk@kaist.ac.kr)

KAIST 기계공학과

Key words : defect inspection, scattering, patterned surface

1. 연구 배경 및 목적

경면 또는 패턴이 새겨진 표면의 결함 측정을 위하여 목시 검사법이나 간섭계를 이용한 3 차원 형상측정법을 비롯하여 다양한 방법이 적용되고 있다. 결함 검사에 있어서 측정 가능한 최소 결함 크기나 결함 검사 속도와 같이 생산 과정의 수율을 결정하는 데에 중요한 역할을 담당하는 항목은 반드시 측정 대상에 최적화하여 적용할 필요가 있다¹.

목시 검사법은 특수한 장비가 필요치 않으나 검사자에 대한 의존성이 높으며 측정속도에 한계가 있고, 간섭법을 비롯한 3 차원 형상측정 기술들은 매우 정확하게 결함을 포함한 형상 정보를 얻어낼 수 있으나 대개 측정 영역이 좁아 넓은 면적의 결함측정에는 제한적으로 적용될 수 밖에 없다. 이에 비하여 광산란 특성을 이용한 검사기술은 표면의 거칠기(roughness)를 측정하는 데에 많이 적용되는 방법으로, 광학계 구성이 간단하고 비교적 빠른 시간 내에 측정이 가능하기 때문에 평면 결함 검사에서도 널리 사용되고 있다. 광산란 검사방법은 사용하는 광원에 따라서 산란광을 촬상시키는 지점을 달리함으로써 그 성능을 달리한다. 이러한 방법들의 선택은 측정해야 할 시편의 종류나 주된 결함의 특성에 따라 달리 이루어지며, 크게 간접적인 이미지를 가지고 결함을 살펴보는 방법과 직접적인 이미지를 가지고 알아보는 방법으로 나눌 수 있다. 간접적인 이미지는 측정 시스템 상에서 카메라를 산란광을 집광하는 렌즈의 회절면에 위치시킴으로써 시편의 회절된 이미지를 획득하여 그로부터 표면의 결함을 살펴보는 방법이다. 이 방법은 시스템이 간결하고 결함의 공간주파수 분석에 대해 장점을 가지지만 결함이 없는 기준 시편에 대한 이미지를 확보하고 있을 경우에 사용할 수 있으며 시스템 정렬 등에 민감하기 때문에 경우에 따라 제한적으로 적용이 가능하다. 직접적인 이미지를 가지고 검사하는 방법의 경우에는 평면 비전검사와 유사한 형태로써 시편의 측정면의 영상이 카메라에 맺히도록 광학계를 구성하고 산란광을 획득하여 영상 처리를 통해 결함의 위치와 개수 정보를 직접적으로 얻어낼 수 있다².

본 논문에서는 패턴 시편에 대한 산란광을 직접 영상으로 받아들이고 이를 통해 표면결함의 위치와 개수를 빠르게 검사해냄으로써 기존 간섭계 등으로 이를 수 없었던 대영역 패턴 가공에 적용 가능한 검사 시스템을 구현한 결과를 소개한다.

2. 측정 원리 및 광학계 구성

광학계의 구성은 그림 1 에서와 같이, 결함을 예상할 수 있는 시편 부분에 광원을 위치시켜 산란광을 형성하게 한다. 렌즈와 카메라는 시편에 수직하게 위치하며, 광원은 비스듬히 시편을 비추도록 한다. 경우에 따라 광원과 시편 사이에 시준렌즈가 위치하는 경우도 있다. 시편 상에서 결함이 없는 표면에서는 거울반사(specular reflection)에 가까운 형태의 반사가 일어나기 때문에 대부분의 빛은 입사한 반대 방향으로 반사되어 빠져나간다. 결함이 있는 부분에서는 산란에 의해 반사각의 범위가 넓어지는데, 이때 렌즈로부터 집광된 반사광의 일부가 CCD 에 상을 형성하게 되고

그 영상을 처리함으로써 결함의 위치와 개수를 분석할 수 있다.

광원으로는 LED 조명을 사용하였고, 별도의 시준렌즈는 적용하지 않았다. 광량이 너무 강할 경우 결함이 없는 부분까지 밝게 나타나고, 너무 약할 경우 산란광의 세기가 충분히 나타나지 않기 때문에 최적의 S/N 비율을 위해서 적절한 광량 조절이 필요하다. 강한 광량이 필요할 경우 두 개 이상의 광원을 동시에 적용하는 경우도 있다. 시편의 측정 영역은 CCD 카메라의 유효면적과 렌즈의 배율에 따라 결정되므로, 넓은 영역을 빠르게 측정하고자 하면 최대한 넓은 CCD 촬상소자를 가진 카메라와 저배율의 렌즈를 사용하도록 한다. CCD 카메라는 검사 환경에 따라 영역(areal) CCD 를 사용할 수도 있고 선형(line) CCD 를 사용할 수도 있다.

측정은 웨이퍼와 같이 경면에 가까운 표면상태에 대해서 이루어질 수도 있지만 특정 패턴이 새겨진 형태의 시편을 검사하는 경우도 많다. 표면에 패턴이 존재할 경우 조명의 방향에 따라 측정결과가 달라지기도 하므로 유의해야 한다. 예를 들어 롤금형에 의한 선형 홈(groove) 시편의 경우 홈의 진행방향과 평행하게 조명을 조사해 주어야 패턴에 의해 받는 영향을 최소화할 수 있다. 만약 홈의 진행방향과 수직하게 조명을 조사할 경우, 시편 상에 입사광이 미치지 않는 사각영역이 발생하여 결함을 검출하지 못하거나 패턴의 산(peak) 부분에서 산란이 발생하여 영상 처리에 방해요인이 될 수 있다.

3. 측정 결과 및 분석

표면 결함은 그 특성에 따라 찍힘(pit), 긁힘(scratch), 얼룩(stain), 먼지나 이물(dust/particle) 등과 같이 여러 가지 형태로 존재한다¹. 그림 2 는 실제 패턴 시편을 측정한 영상이다. 대면적 롤 가공기를 이용하여 가공한 시편의 표면에는 90° 각도와 50 μm 피치로 골-산(peak-valley) 형태의 패턴이 새겨져 있다. 대부분의 배경은 검게 나타나며 밝은 점 또는 선의 형태로 빛나는 부분은 결함이 있는 것으로 추정되는 지점이다. 실험 결과 찍힘 또는 먼지 및 이물에 의한 결함 검출이 가장 많았으며, 산란광이 강하게 보이지 않는

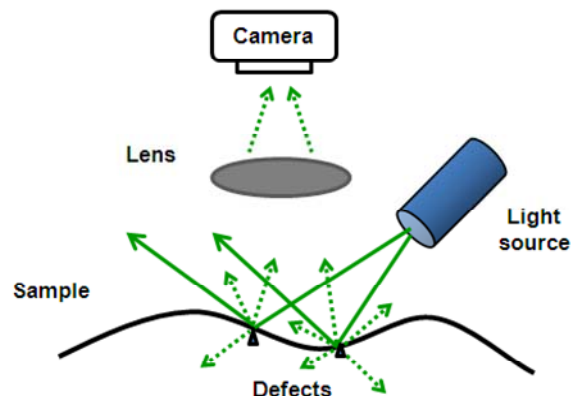


Fig. 1. Optical configuration of the defect inspection system using scattering phenomenon

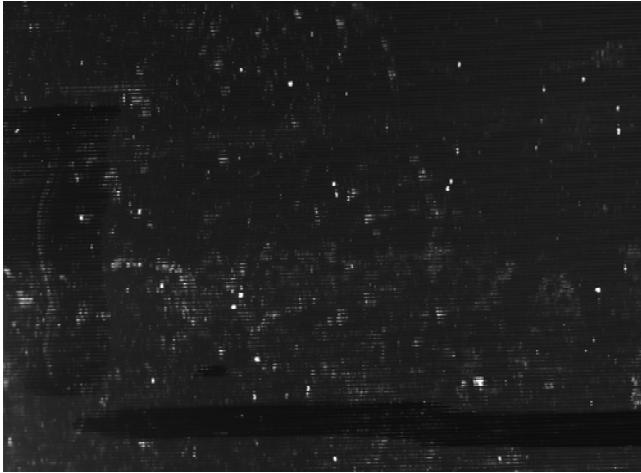


Fig. 2. The image of a patterned surface whose defects appear as bright spots. The actual size of the image is about 8 mm x 6 mm.

얼룩이나 형상 오류에 대해서는 검출이 되지 않는 경우도 나타난다. 그림 2에서 볼 수 있는 영상은 약 8 mm x 6 mm 크기의 시편영역을 2 배율 광학계로 대영역 CCD 를 사용하여 한 번에 측정하는 것이다.

그림 3(a) 는 그림 2 에서 측정된 시편의 일부분(0.75 mm x 0.75 mm)을 잘라내어 확대한 영상으로, 일반 광학 현미경으로 측정된 영상인 3(b)의 시편의 영역과 같은 부분을 의미한다. 단, 통상적인 10 배율 광학현미경으로 측정된 3(b)의 경우 실제 시편의 모습을 확인할 수 있지만, 한 번에 약 0.6 mm x 0.5 mm 의 좁은 영역만을 검사할 수 있기 때문에 여러 장을 찍은 후에 이어 붙인(stitching) 결과이다. 3(a)와 3(b)를 비교해 보면, 점선 원형으로 표시한 결함부분이 매우 잘 일치하는 것으로 나타난다. 또한 결함의 크기에 따라 밝은 부분의 크기 역시 변화하는 결과로부터 산란광을 이용한 본 시스템이 결함의 위치 및 크기를 검사하는데에 충분한 가능성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 실제로 결함이 존재하지만 결함 음성반응이 나타나는 항목과 결함이 존재하지 않거나 무시할 수 있을 정도의 결함이 존재할 때에도 결함 양성인 경우를 분류하여 영상처리 시에 적용한다면 보다 정밀한 검사가 가능할 것이다.

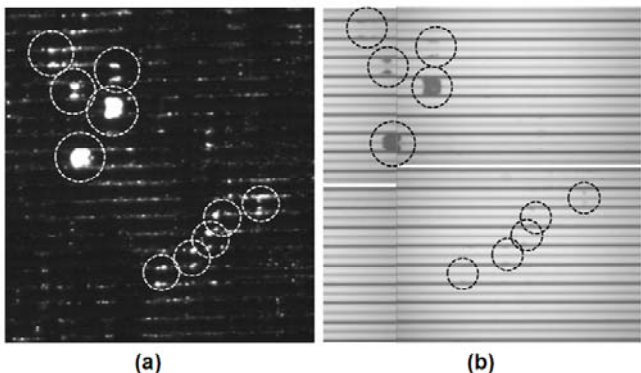


Fig. 3 Comparison of images from the same sample whose actual size of the image is about 0.75 mm x 0.75 mm (a) image from the scattering inspection system (b) image from the conventional microscopy(10x). Defects are marked with dotted circles at both images.

4. 결론 및 논의사항

본 논문에서는 산란광을 통해 패턴 표면 상의 결함검출에 대한 방법을 논의하였다. 다양한 결함 검사 방법에 비하여 측정 속도에 장점을 지니고 있으며 수 μm 수준의 최

소 검출크기로 결함의 위치와 개수를 결정할 수 있는 본 방법은 마이크로 패턴으로 둘러싸인 넓은 표면을 측정하는데 좋은 수단이 될 것으로 기대한다. 자동화 및 시스템과의 동기화 과정을 거치게 되면 실제 공정상에서 편리하게 검사가 가능하다. 측정 원리와 광학계의 구성은 기타 측정검사 방법에 비해 간단하지만, 시편의 형태나 재질, 측정 환경 등이 달라짐에 따라서 조명의 종류, 조명 입사 방향 및 세기, 렌즈, CCD 카메라, 그리고 영상처리 방법에 이르기까지 각 변수를 조절하여 최적의 조건을 결정하는 과정이 필요하다.

후기

본 연구는 본 연구는 지식경제부 전략기술개발사업 ‘대면적 미세가공장비 및 측정/검사 원천기술 개발’의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. Takami, K., "Defect inspection of wafers by laser scattering," Mater. Sci. Eng., B44, 181-187, 1997.
2. Whitehouse, D. J., Handbook of Surface and Nanometrology, Institute of Physics, 2003.