

# 반도체 불량 검사를 위한 백색광 간섭계의 고속화 A Fast Algorithm of White light Scanning Interferometry(WSI) for a Semiconductor Defect Inspection

\*이두길<sup>1</sup>, #고 국원<sup>2</sup>

\*D. K. Lee<sup>1</sup>, #K. W. Ko(kuks2309@sunmoon.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 선문대학교 제어계측공학과, <sup>2</sup> 선문대학교 제어계측공학과

Key words : White light Scanning Interferometry(WSI)

## 1. 서론

본 연구에서는 반도체 불량 검사를 위한 백색광 간섭계의 측정 시간을 고속화하기 위하여 각종 알고리즘의 장단점을 분석하고 속도 측면에서의 최적화를 다루었다. 반도체 공정에서 나노 단위의 측정기술은 부각 되어지고 그 중요성이 커지고 있다. 특히 기존의 반도체 검사 장비의 경우 대부분이 일본 미국계열의 회사가 시장을 점유 하고 있다. 이러한 가운데 국내에서도 반도체 검사장비의 국산화가 활발히 이루어 지고 있으며 최근 광 위상을 이용한 초정밀 미세 형상 측정 기술 중 백색광을 이용한 WSI(White light Scanning Interferometry) 측정 방법이 반도체 검사 장비에 적용되어지고 있다

WSI 는 비 접촉식이라 대상물체에 손상을 주지 않으며 접촉식 보다는 빠른 측정 속도를 가지고 있다. 특히 같은 광 위상을 이용한 3 차원 측정 기술 중 기존의 광 위상 간섭법이 가지고 있는  $2\pi$ -모호성을 가지지 않는다는 장점과 이론상으로 나노미터(nm)에서부터 미리 미터(mm) 단위에 까지 폭넓은 측정 범위를 가지고 있다.

현재 국내의 많은 기업들 또한 백색광 주사 간섭계를 이용한 분야에서 상당한 수준에 올라와 있으며 더욱 더 정확하고 빠른 백색광을 이용한 검사장비의 개발이 활발히 이루어 지고 있다. 하지만 백색광 주사 간섭계는 진동과 검사 시간이 느리다는 단점이 있다. 본 연구에서는 백색광 주사 간섭계의 단점 중의 하나인 속도개선에 대한 연구가 본 논문의 목표이다.

## 2. 백색광 간섭계의 정점 추출 알고리즘 분석

백색광 주사 간섭계에서 정점을 찾는 연구에 대해서는 현재 까지도 많은 연구가 이루어 지고 있으며. 그 중 본 연구에서는 Fourier transform 을 이용한 방법, 무게 중심법, 가시도 상관 분포법, SEST, 이 4 가지 알고리즘의 장단점을 비교 분석하고, 반도체 검사에 적합하도록 정밀도와 속도를 가질 수 있는 최적화 방법에 대해서 소개한다.

### 2.1 Fourier Transform Analysis 방법

FFT 를 이용한 방법은 많이 알려진 방법으로 간단히 설명하자면 처음 Kino 에 의해 제안된 알고리즘으로 식(1)에 의해 표현된 백색광 간섭무늬는 배경 광 성분을 제외하면 식(1)과 같이 주기 성분인 cosine 함수 항과 가시도 함수의 곱으로 표현되고, 이의 푸리에 변환이 두 함수의 Convolution 인 성질을 이용한 것이다. 식 (3)은 식(2)의 푸리에 변환 결과이다.

$$I(x, y, z) = I_0(I + g(x, y, z)\cos 2k_c(z - z_0(x, y))) \quad \text{식(1)}$$

$$I(x, y, z) = I_0g(x, y, z)\cos 2k(z - z_0(x, y)) \quad \text{식(2)}$$

$$F(I) = I_0F(g) * F(\cos 2k(z - z_0)) \quad \text{식(3)}$$

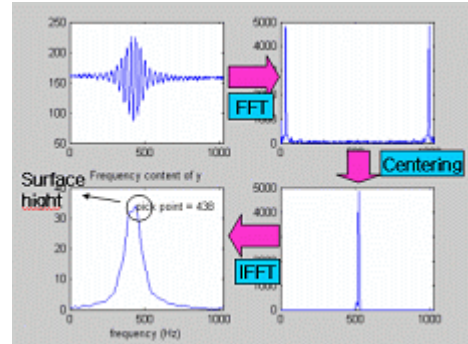


Fig. 1 Fourier Transform Analysis

주기함수의 푸리에 변환은 delta 함수가 되므로, 식 2에 의해 가시도 함수가 주기함수의 주파수만큼 이동된 결과를 갖는다. 따라서 주기 성분을 제거하면 가시도 함수를 추출해낼 수 있고, 이는 가시도 함수 성분을 주파수 영역에서 원점으로(Centering)하여 역 푸리에 변환함으로 수행된다. 이를 가시도 추출법이라고도 하며 Fig. 1에서 도식화 하였다.

### 2.2 무게 중심법

무게 중심 법이란 Interferogram 의 가시도의 정점에 대하여 무게 중심 점을 구하는 방법으로. 매우 간단한 연산으로 고속의 정점을 구할 수가 있다. 이 방법은 연산량을 줄이기 위하여 Fig. 2 와 같이 Interferogram 의 가시도의 정점을 중심으로 fringe 가 나오기 시작하여 끝나는 구간에 대하여 무게 중심을 구하면 된다. 이는 식 (4)로 표현 한다.

$$I(x, y) = \frac{\sum_{n=1}^N z_n I(z_n)}{\sum_{n=1}^N I(z_n)} \quad \text{식(4)}$$

여기서  $z_n$ 은 image Pixel상 (u,v)좌표에 해당하는 주사방향(z축 방향)의 가시도 좌표 값을 나타낸다.

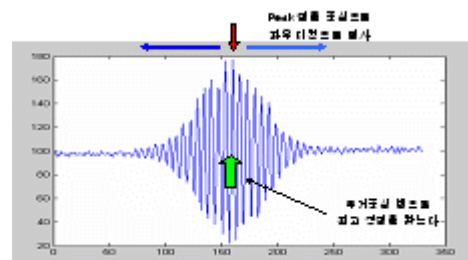


Fig. 2 Weight center law

### 2.3 가시도 상관 분포법

이 방법은 간섭무늬의 주기적인 성질을 이용하여 실험 결과의 임의의 형태의 함수를 만들어 서로 상관시켜 그 크기가 가장 큰 점을 찾는다.

$$f(x) \otimes h(x) = \int f(x)h(\alpha - x)d\alpha \quad \text{식(5)}$$

여기서 상관시키는 함수 h(x) 통상 측정치 함수를 잘 대표할 수 있는 함수를 구성하여 사용하는데, WSI 의 가시도 분포함수는 보통 가우스 함수 형태를 가지고 있다.

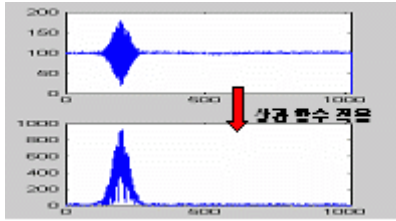


Fig. 3 A splinter is a distribution senior officer method

### 2.4 SEST (squared-Envelope function estimation by Sampling Theory)

SEST algorithm 은 generalized sampling for squared-envelope function 을 이용하는 방법으로 Interferogram 의 값으로부터 squared-envelope function 을 이용하여 sampling interval 을 구성하여 빠른 속도로 간섭무늬의 peak 구하는 방법이 되겠다. 식 (7)는 z 축 방향으로의 interferogram 의 intensity 값의 평균이 되겠으며 식 (6)에서 sampled value 를 구한 후 식 (8)적용 가장 큰 값을 가지는 점을 찾게 된다.

$$f_n = g(z_n) - c \quad \text{식(6)}$$

$$c = \frac{1}{n} \sum_{n=0}^{N-1} g(z_n) \quad \text{식(7)}$$

$$r_n(z_j) = (f_j)^2 + \frac{4}{\pi^2} \left[ \sum_{n=-(j+1)/2}^{[(N-j-2)/2]} \frac{f_j + 2n + 1}{2n + 1} \right]^2 \quad \text{식(8)}$$

### 3. 제안된 실험 방법

Table 1. A measurement result by algorithm

Step resolution/ Measurement range	0.2/40	0.4/40	Pole 측정 오차	Bump 측정 오차
FFT	24 sec	12 sec	1.25%	0.48%
무게 중심 법	1.1 sec	0.6 sec	3.2%	1.1%
가시도 분포 상 관 법	1.7 sec	0.9 sec	5.51%	2.3%
SEST	2.3 sec	1.7 sec	1.38%	0.52%
Proposed algorithm	1.3 sec	0.7 sec	1.41%	0.58%

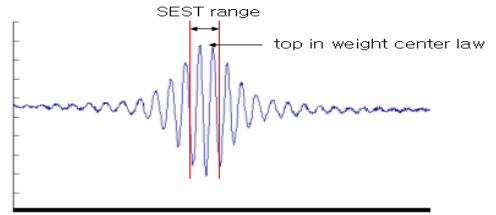


Fig. 4 The proposed new algorithm

위의 알고리즘의 구현 결과 SEST 알고리즘이 속도면 정밀도에서 가장 우수한 형태를 보이고 있으나 원하는 연산속도에는 미치지 못한다. 이에 본 연구에서는 위의 기존의 무게중심법과 SEST 알고리즘을 병행하여 WSI 의 가장 취약한 외부진동 환경에 강한 고속의 알고리즘에 대하여 생각하여 보았다.

본 실험에서 속도 개선을 위하여 정점은 무게 중심법을 이용하여 구한 후 그 정점을 중심으로 Interferogram 의 작은 범위 안에서 다시 SEST 알고리즘으로 정확히 정점을 검출하게 된다.

Table 1.에서 나타나듯이 속도면 에서는 무게 중심 법이 가장 빠르며 정밀도 면에서는 FFT 를 이용한 방법이 신뢰도가 가장 높았다. 하지만 FFT 를 이용한 방법은 연산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 무게 중심 법은 정밀도 면에서 낮은 신뢰도를 보이고 있으며, SEST 알고리즘은 정밀도 면에서는 높지만 속도면 에서 약간 미흡한 부분이 있다. 이에 새로 제안한 무게중심법과 SEST 알고리즘을 접목한 알고리즘은 속도면 에서와 정밀도 면에서 가장 적합하다고 말할 수 있다.

### 4. 결론

기존에 연구된 알고리즘들 중에서 반도체 검사에 적용이 가능하도록 정밀도와 속도를 만족할 수 있는 측정 알고리즘을 선택하였다. 결과는 Table 1.에서와 같이 정밀도에서는 FFT 를 이용한 방법이 가장 좋으나 검사 시간이 너무 오래 걸린다. 무게 중심법의 경우 속도는 가장 빠르나 진동의 영향을 받아 정밀도가 떨어지게 된다. 가시도 상관분포법의 경우 속도도 떨어지며 정밀도 또한 떨어지게 된다. SEST 방법의 경우 FFT 를 이용한 방법 보다는 정밀도 대비 속도면 에서 우월한 성능을 보이고 있다. 하지만 연산 량이 무게 중심 법 보다는 많기 때문에 무게 중심법과 SEST 알고리즘을 병행하여 고속의 검사 방법에 대하여 제안하였다.

### 후기

본 연구는 디스플레이 연구개발 클러스터사업단의 연구비 지원과 지능형 로봇 산업단의 연구로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Alka Hirabavashi, Hidemitsu Ogawa, and Katsuiich Kitagawa "Fast surface profiler by white-light interferometry by use of a new algorithm base on sampling thory" APPLIED OPTICS, 41, 23, 2002.
2. R. G Vaughan, N. L. Scott, and D. R. White, "The theory of bandpass sampling,"IEEE Trans. Signal Process. 39, 1972-1984, 1991.
3. 박민철, "백색광 주사간섭계의 측정정밀도 개선에 대한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 2000.
4. P. de Groot and L. Deck, "three-demensional imaging by subnyquist sampling of white-light interferograms,"Opt.Lett. 18, 1462-1464, 1993.