

백색광 간섭계의 정밀도 향상을 위한 노이즈 제거 방법

Development of Elimination Method of Measurement noise to Improve accuracy for White Light Interferometry

고 국 원*, 조 수 용, 김 민 영

(Kuk Won Ko, Soo-Yong Cho, and Min Young Kim)

Abstract : As industry of a semiconductor and LCD industry have been rapidly growing, precision technologies of machining such as etching and 3D measurement are required. Stylus has been important measuring method in traditional manufacturing process. However, its disadvantages are low measuring speed and damage possibility at contacting point. To overcome mentioned disadvantage, non-contacting measurement method is needed such as PMP(Phase Measuring Profilometry), WSI(white scanning interferometer) and Confocal Profilometry. Among above 3 well-known methods, WSI started to be applied to FPD(flat panel display) manufacturing process. Even though it overcomes 2π ambiguity of PMP method and can measure objects which has specular surface, the measuring speed and vibration coming from manufacturing machine are one of main issue to apply full automatic total inspection. In this study, We develop high speed WSI system and algorithm to reduce unknown noise. The developing WSI and algorithm are implemented to measure 3D surface of wafer. Experimental results revealed that the proposed system and algorithm are able to measure 3D surface profile of wafer with a good precision and high speed.

Keywords : WSI(White Light Scanning Interferometry), in-line equipment, anti-vibration, 3D measurement

I. 서론

10년간 반도체와 LCD산업이 급속도로 발전함에 따라, 미세형상 부품 산업과 이에 따른 기반기술 산업 제품의 복잡성과 정밀도는 날로 높아져 가는 추세이다. 초정밀 형상의 가공 기술과 반도체 분야의 미세패턴 생성 기술인 식각, 증착 등과 같은 새로운 표면 가공 기술 등의 발전에 따라 미세 부품의 결함 및 불량을 검사할 수 있는 미세 형상 측정법에 대한 수요도 급격히 증가하고 있다.

현재 반도체 및 LCD산업분야의 3차원 측정의 경우 stylus를 이용한 접촉방식의 높이 측정 방법이 주로 사용되었지만, 점 측정 방식의 2차원적인 높이 단면을 보여 주므로, 최근 비접촉 방식을 이용한 백색광 주사 간섭계나 공초점 방식의 3차원 측정법을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

백색광 주사 간섭계는 위상천이 간섭계의 단점인 2π -모호성으로 인한 측정 오차의 영향을 받지 않으면서 stylus의 점 측정과 point 측정 방식의 단점을 극복할 수 있는, 비 접촉식 area 측정 방식이라는 점에서 최근 주목을 받고 있다.

이러한 장점에도 불구하고 백색광 주사간섭계가 가지고 있는 몇 가지 단점들은 백색광 간섭계를 반도체나 디스플레이 생산 산업에서 검사 장비로 사용하기 위해서는 극복되어야 한다. 첫 번째 단점으로는 측정 속도가 느리다는 점이다. Stylus가 point측정 방식이고 백색광 주사 간섭계가 area 측정 방식으로 한번에 많은 측정을 할 수 있지만, 간섭무늬 data를 획득하고 분석하기 위해 수십에서 수백 장의 이미지가 필요하고, 대용량의 data 분석 시간이 필요하다. 고정밀도의 측정 방식으로 장비나 바닥에서 발생하는 진동은 측정 오차를 일

으키는 중요 요인이 된다.

이중 미세 진동은 나노(nano) 단위를 측정하는 백색광 주사 간섭계에 있어 측정 정밀 반복도에 가장 큰 오차를 발생 시킨다. 미세진동의 발생 요인으로 actuator 변위간 발생 noise, 방진 table 자체의 noise, 장비 외부 바닥 면에서 발생하는 noise등이 있다. 이러한 진동 noise의 제거를 위해서는 나노미터 수준 이하의 방진 제어가 요구 되어 많은 비용이 필요하다.

본 연구에서는 백색광 주사 간섭계에서 발생하는 진동 noise 제거를 위해 주파수 분석을 통한 진동 주파수를 분석하고 진동의 발생 영역 대를 차단하기 위하여 high pass filter를 이용 미세 진동을 줄였다. 그 결과 높이 값 측정을 통한 반복 정밀도를 3Sigma로 분석해 그 효과에 대하여 입증하였다.

II. 백색광 주사 간섭계

백색광 주사 간섭계란 넓은 주파수 대의 광원을 가지고 있는 백색광이 수 마이크로 이하의 짧은 가 간섭 거리를 가지고 있다는 점을 이용, 측정 광과 기준 광으로 분리 이를 측정 면과 기준면에 조사하여 돌아오는 광에 대하여 같은 광 경로를 갖게 한다. 이때 발생한 간섭현상으로 인해 얻어진 정보로부터 3차원 Profile를 구하는 방법이다[1]. 백색광 간섭계의 측정기로서 처음 1972년에 P. A. Flournoy에 의해서 필름의 두께 측정에 이용되었으며, 1980년대 N. Balasubramanian에 의해 표면 측정기로서 개발되었다.

백색광 주사 간섭계는 높이를 측정하기 위해서 그림 1과 같이 피에조 액츄에이터(PZT)를 미소 단위(μm 이하)로 단계 이동하면서 CCD 카메라를 이용하여 각 화소 단위로 간섭 무늬를 얻는다. 이때 간섭 무늬는 사인(sine) 곡선 형태의 밝기 값이 얻어진다. 이러한 간섭 무늬의 interferogram은 가우스 함수 형태의 모양을 띠고 있다. 이렇게 얻어진 간섭 무늬에서 측정 변위 구간의 최고 정점을 구하게 되면 대상물의

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

고국원, 조수용 : 선문대학교 정보통신공학부

(kuks2309@sunmoon.ac.kr/win781013@hanmail.net)

김민영 : 고영 테크놀로지(mykim@kohyoung.com)

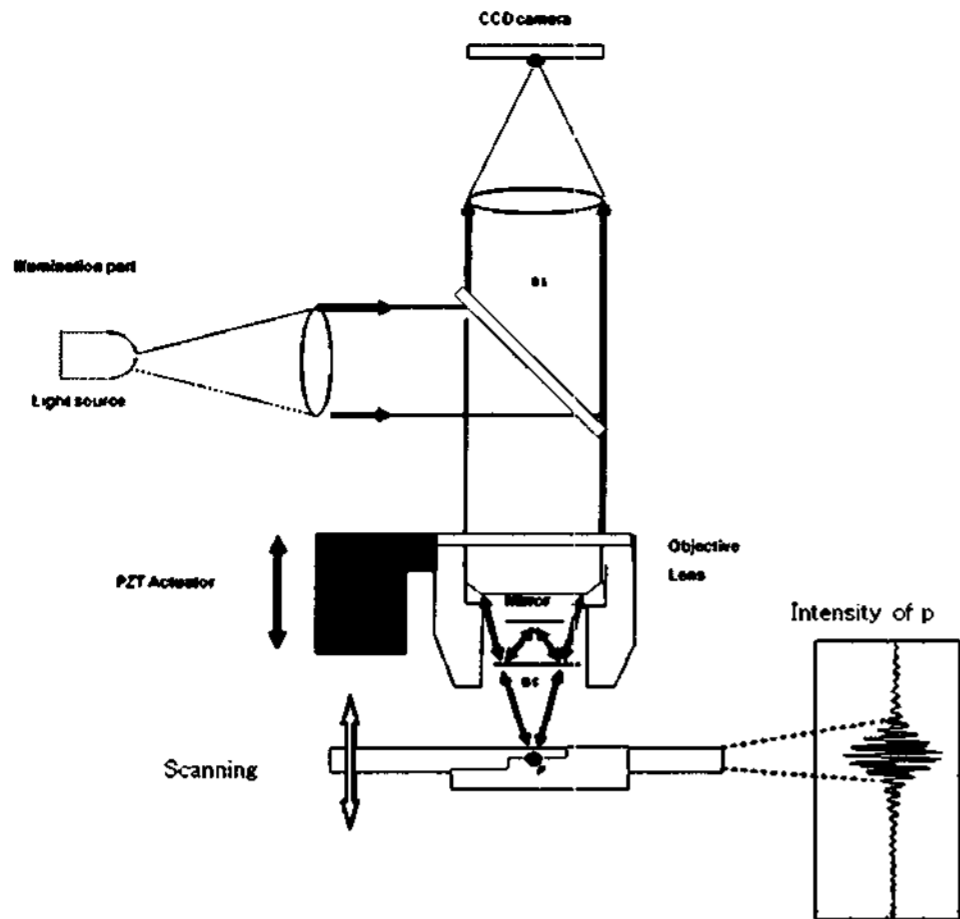


그림 1. 백색광 주사간섭계의 기본원리.
Fig. 1. Principle of WSI.

표 1. 백색광 간섭계 사양.

Table 1. Specification of developed WSI.

목차	Specification
측정 방법	white light Interferometry
Z축 측정 범위	250um
Objective Lens	CF Plan 10X DI
Function and option	2D and 3D view Vibration Isolation system Visual c++.net LED Controller
Scan speed	40um/sec
Z Step resolution	0.1um
Auto focusing	300um/sec
FOV	640(um) X 480(um)

한 point에 대하여 PZT와의 상대 거리를 구할 수 있으며, 이 값은 높이 변위로 변화되며, 전 영상 획득 구간에 걸쳐서 3차원 높이를 구할 수가 있다.

백색광 간섭계의 최근 연구는 1990년대 이후에 들어와서는 주로 정점을 어떻게 하면 고속으로 빠른 시간 내에 정확히 찾을 수 있는가와 미세 진동을 해결하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 실험을 위해 제작한 백색광 간섭계의 그림 2에서 나타내었으며 그 사양은 표 1과 같다.

III. 간섭 무늬 해석 방법

현재 백색광 주사간섭계의 정점 검출에 관한 고속화 알고리즘은 많은 방법이 연구되어 왔다[2-6]. 대표적인 연구를 살펴보면 Fourier transform, 무게 중심 법, 가시도 상관 분포 법, SEST이 있다. 이중 정밀도에서는 FFT를 이용한 방법이 가장 신뢰도가 높지만, 계산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 반면 무게 중심법의 경우 검사 속도는 우수하나 진동의 영향을 받아 정밀도가 떨어졌다. 가시도 상관 분포법의 경우 속도 및 정밀도에서 우수하지 못하였다. 반면, SEST 방법의 경우 FFT를 이용한 방법 보다는 정밀도 대비 속도면에서 우월한 성능을 보였다. SEST(Squared-Envelope Function Estimation by Sampling Theory)방법은 Alira hirabrashi, Hidemitsu Ogawa와

Katsuichi Kitagawa에 의하여 2002년 제안된 방법[7,8]으로 기존의 Fourier transform을 이용한 digital filter의 방법이 연속의 좁은 간격의 sample data를 획득하여 많은 수의 연산으로 많은 계산 시간이 걸리는 단점을 극복하기 위하여, sampling 이론을 바탕으로 빠른 속도로 정점을 구하는 방법이다. (2)는 Z축 방향으로의 interferogram의 intensity 값의 평균이 되겠으며 (1)에서 sampling value를 구한 후 (3)에 적용하여 정점을 검출하게 되겠다.

$$f_n = g(z_n) - c' \tag{1}$$

$$c = \frac{1}{n} \sum_{n=0}^{N-1} g(z_n) \tag{2}$$

$$r_n(z_j) = (f_j)^2 + \frac{4}{\pi^2} \left[\sum_{n=-[(j+1)/2]}^{[(N-j-2)/2]} \frac{f_{j+2n+1}}{2n+1} \right]^2 \tag{3}$$

SEST 알고리즘이 속도대비 정밀도에서 뛰어나지만, 반도체나 LCD 공정에서 요구하는 검사 속도인 40um/sec를 만족할 수 없었다. 계산 속도를 높이기 위해서 그림 3에서처럼 무게중심법과 SEST 알고리즘을 병행하여 간섭 무늬의 정점을 무게 중심법을 이용하여 구한 후, 그 중심점에서 SEST 알고리즘을 적용하여 계산량을 줄여 속도를 높였다. 각 정점 추출 알고리즘에 따른 속도와 정밀도는 표 2에 나타내었다.

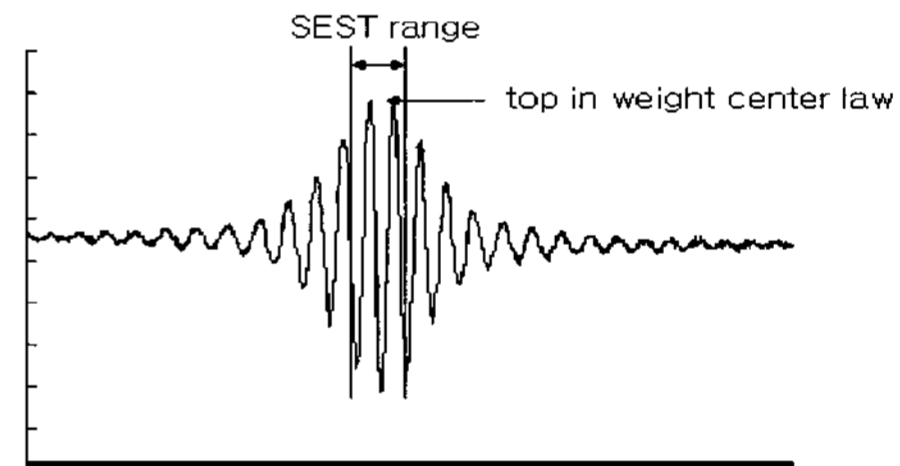


그림 3. 제안된 방법.

Fig. 3. The proposed method.

표 2. 정점 추출 방법 비교.

Table 2. Comparison results of 5 different algorithms.

정점 추출 방법	0.2/40*	0.4/40*	측정 오차
FFT	24 sec	12 sec	0.48%
무게 중심 법	1.1 sec	0.6 sec	1.1%
가시도분포 상관 법	1.7 sec	0.9 sec	2.3%
SEST	2.3 sec	1.7 sec	0.52%
Proposed algorithm	1.3 sec	0.7 sec	0.58%

* Step resolution(um)/Measurement range(um)

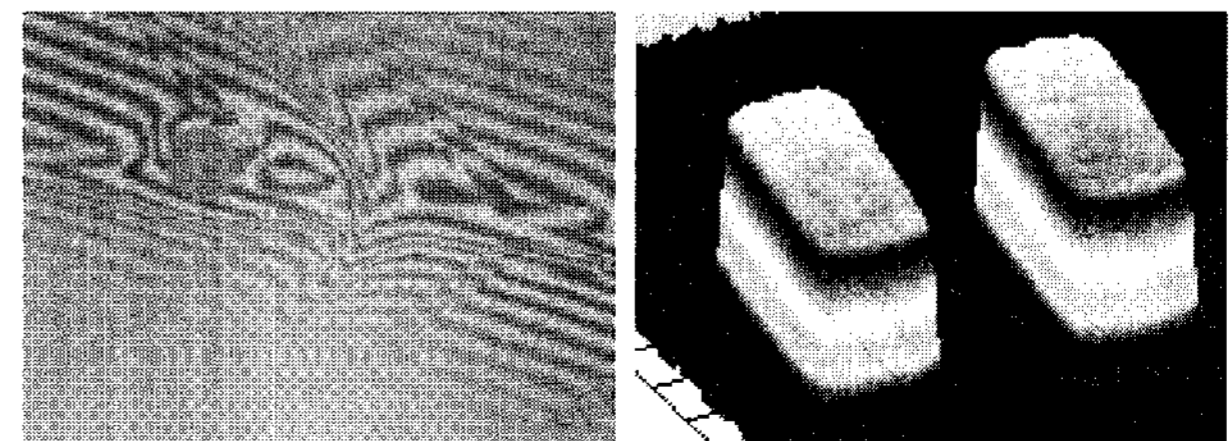


그림 4. 제안된 방법을 이용한 측정 결과.

Fig. 4. Mmeasurement result of proposed method.

IV. 진동 해석 및 제거법

측정시 여러 원인에서 발생하는 미세 진동은 그림 5와 같이 기준 바닥 면에 육안으로 확인 할 수 있을 정도의 측정 오차를 발생시키며, 진동을 분석한 결과 그 원인은 바닥면과 각종 모터를 통하여 발생되며, 약 1um 정도의 진폭을 보이고 있다. 이러한 진동 노이즈는 측정 대상물인 반도체 웨이퍼(wafer)의 높이 측정시 반복 오차 발생의 원인이 된다. 이에 대한 노이즈 제거를 위해 진동 주파수를 분석하고 제거해 방법이 반드시 필요하다.

노이즈 분석을 위해서 200frame/sec의 영상 획득 속도로 640×480 Pixel의 CCD camera를 사용하였다. 획득된 영상의 높이 데이터인 그림 6(a)를 Fourier transform을 이용하여 주파수 분석을 하면 그림 6(b)와 같은 주파수 영역으로 나눌 수 있으며 분석 결과 약 0-20Hz영역대의 진동이 발생 하는 것을 알 수 있다.

그림 7(a)는 간섭 무늬 획득을 위해서 한 pixel에서 얻어지는 간섭 무늬이며 그림 7(b)는 간섭 무늬를 Fourier transform을 이용 주파수 변환한 것으로서 간섭 무늬의 주파수는 30~60Hz 영역 대를 보이고 있다.

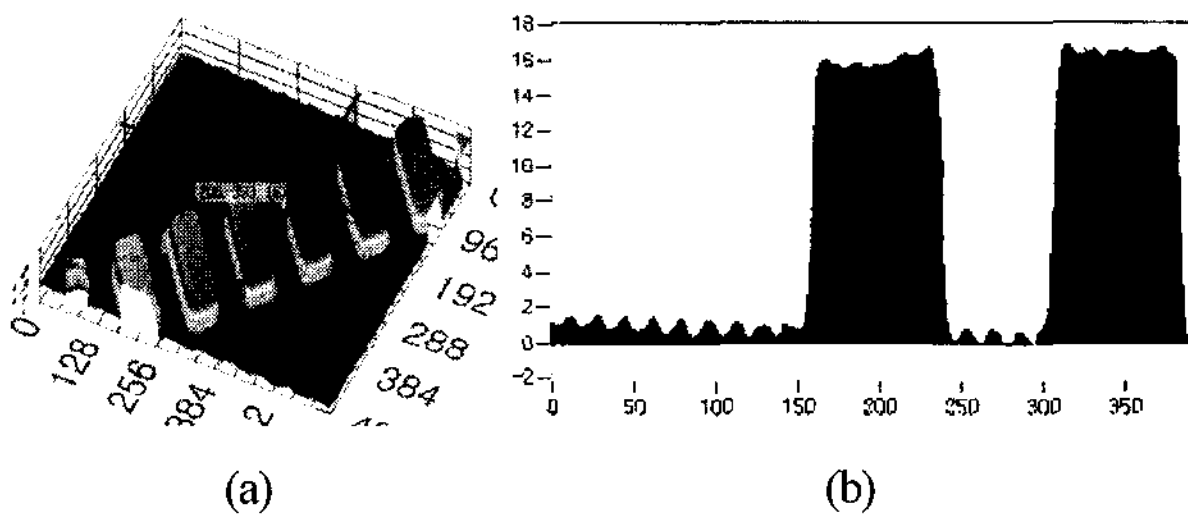


그림 5. (a) 측정 결과 (b) 측정 단면.
Fig. 5. (a) Measurement result (b) Cross sectional profile with noise.

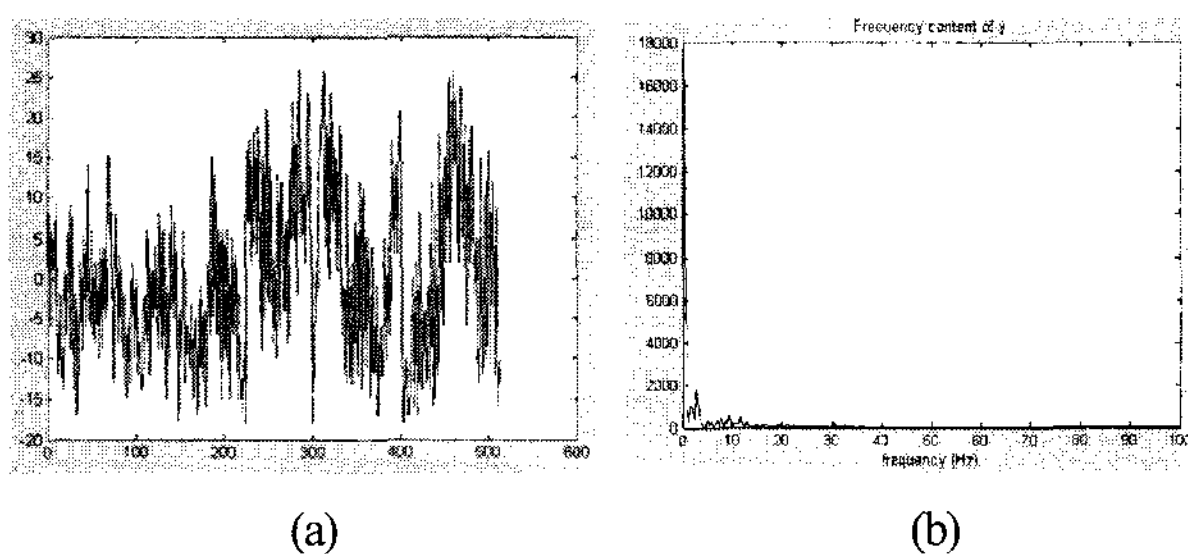


그림 6. (a) 분석을 위한 높이 데이터 (b) 변환된 주파수.
Fig. 6. (a) analysis data (b) Frequency analysis result.

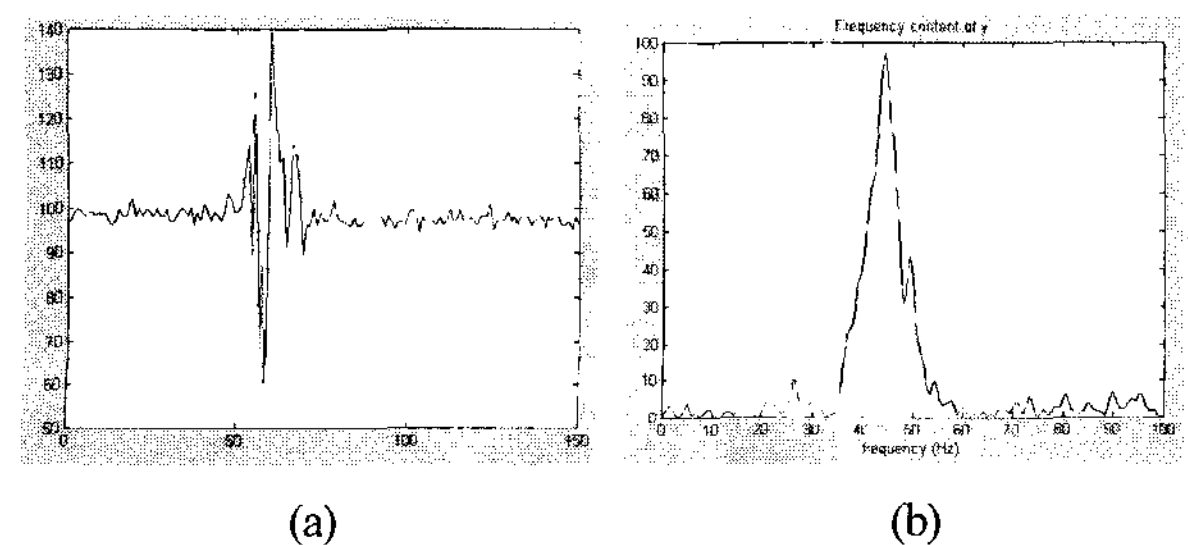


그림 7. (a) 간섭 무늬 (b) 주파수 분석 결과.
Fig. 7. (a) Interferogram (b) Frequency domain analysis.

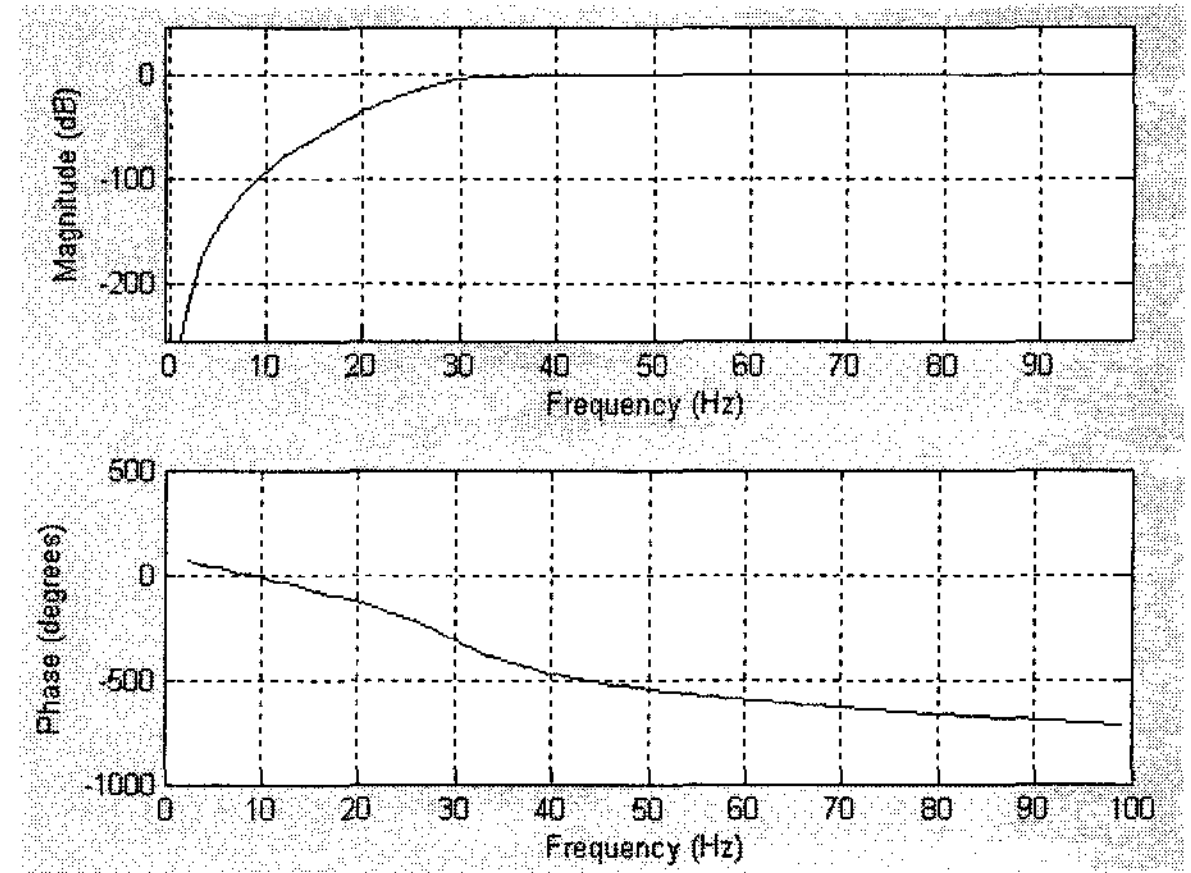


그림 8. 30hz 이상 high-pass filter 결과.
Fig. 8. Result of 30Hz cutoff frequency high-pass filter.

주파수 분석 결과 대부분의 노이즈는 저 주파성분을 가지므로 high-pass 필터를 사용하여 저주파 노이즈를 제거할 수 있다. High-pass 필터는 차단 주파수 통과대와 감쇄대와의 경계주파수 보다 높은 주파수의 신호는 감쇄 없이 통과하지만 이보다 낮은 주파수 신호에 대해서는 감쇄를 주도록 한 필터이다. Sampling rate 200Hz의 data에 대하여 30Hz 이하를 Cutoff 시켜준 high-pass filter의 결과를 그림 8에 나타내었다. 그 결과 30Hz 이하의 주파수 영역에 대해서 차단되는 것을 확인할 수 있다.

진동 분석 결과 장비에서 측정된 진동주파수의 경우 0~20Hz 이하의 진동 주파수 영역을 보이고 있고 간섭무늬의 주파수 영역대의 경우 30~60Hz 사이의 주파수 성분을 보이므로, High-Pass filter를 이용 30Hz 영역 대 이하의 주파수를 Cutoff 시켜 획득 된 간섭무늬 data에서 장비에서 발생하는 진동 주파수 성분을 제거하도록 Butterworth filter의 transfer function을 아래 (4)와 같이 구성하였다.

$$H(z) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b(1)z^n + b(2)z^{n-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{z^n + a(2)z^{n-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}} \quad (4)$$

Row vectors b and a
Coefficients in descending powers of z

그림 9는 high-pass filter의 적용 전 후를 비교하였으며, 상단의 그래프는 노이즈 제거 필터가 없는 경우이며 하단 그래프의 경우 30Hz 이하의 주파수 성분을 제거해준 그래프이다. 그림 9에서 나타나 듯이 진동에 의한 잡음이 사라지는 것을 볼 수 있다.

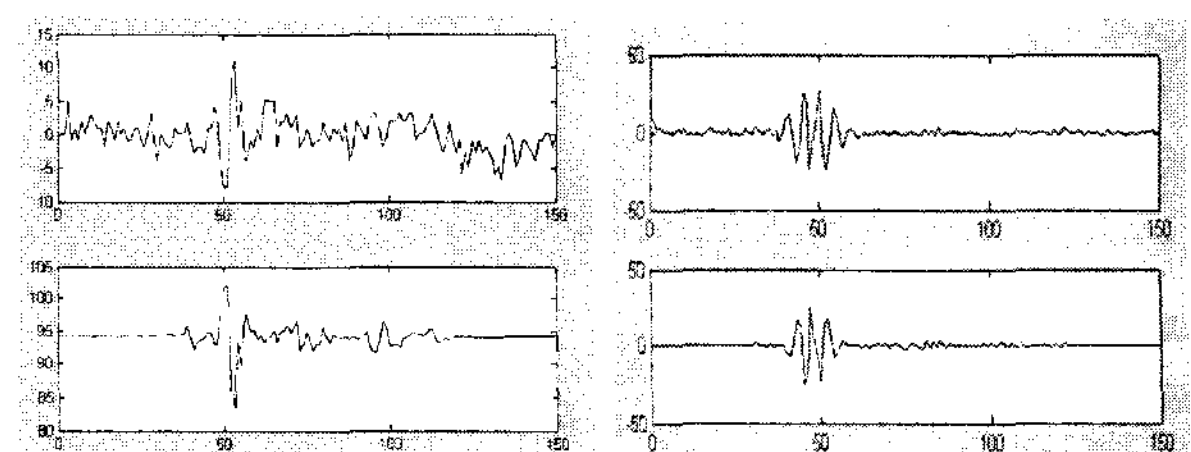


그림 9. High-pass filter 적용 결과.
Fig. 9. A high-pass filter application result.

표 3. Wafer 측정 높이 결과 비교.

Table 3. Comparison result with and without filter.

		No filtering	Filtering
Bottom (3sigma)	Min (um)	-0.0215	-0.0398
	Max (um)	0	-0.0041
	Average (um)	-0.00981	-0.01225
	3 Sigma	0.015228	0.007409
Top (3sigma)	Min (um)	15	14.9956
	Max (um)	15.3	15.0075
	Average (um)	15.0053	14.99877
	3 Sigma	0.017929	0.007575
Height (3sigma)	Min (um)	15	15.0039
	Max (um)	15.0515	15.0423
	Average (um)	15.01512	15.011
	3 Sigma	0.029941	0.008394

위 실험을 바탕으로 30hz의 high-pass filter를 적용하여 측정 대상인 wafer에 대하여 30회 높이 측정 한 후, 그 결과를 편차로 분석한 결과 표 3과 나타나 듯이 높이 값 반복 측정 정밀도면에서 3.6배 이상의 반복 재현 성을 얻을 수가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 백색광 주사 간섭계의 측정 반복도에 영향을 미치는 진동에 대하여 오차를 줄일 수 있도록 주파수 분석 기법을 통하여 주파수 영역을 분석하였다. 측정 분석 결과를 현재 발생하는 미세 진동 영역은 측정 장비에서 0~

20Hz 사이의 진동 영역을 발견하였으며, 이를 제거하기 위하여 high-pass filter를 적용하여 미세 진동 발생 영역인 30Hz이하의 구간을 제거해 주었다. 측정 결과 30회 측정 후 필터를 사용하지 않았을 때보다 필터를 사용하였을 때가 약 3.6배 이상의 정밀도를 보였다.

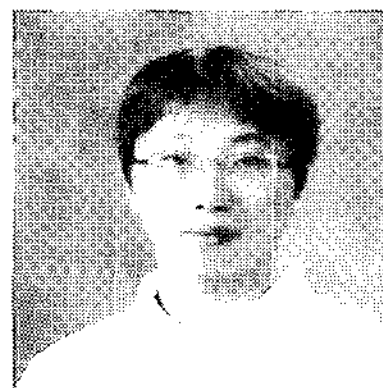
참고문헌

- [1] 강민구, “백색광 주사 간섭계를 이용한 표면 측정 알고리즘에 관한 연구,” 박사학위논문, 한국과학기술원 1999.
- [2] 박민철, “백색광 주사간섭계의 측정정밀도 개선에 대한 연구,” 한국과학기술원 박사학위논문 2000.
- [3] 민정일, 남기봉, “백색광 간섭계의 봉우리 찾기 샘플 비교,” Hankook Kwan호마 Hoeji vol. 11, Number 6, December 2000(journal of the Optic Society of Korean Edition).
- [4] A. Hirabavashi, H. Ogawa, and K. Kitagawa “Fast surface profiler by white-light interferometry by use of a new algorithm base on sampling thory” *APPLIED OPTICS*, vol. 41, no. 23, August 2002.
- [5] K, Creath “Sampling requirements for white-light interferometry,” *Proc. Fringe'97*, Academic pp. 52-59, 1997.
- [6] 고국원, 고경철, 김민영, “반도체 검사를 위한 백색광 위상 간섭계의 고속화에 관한 연구,” *Journal of KSDet*, vol. 6, no. 5 pp. 51-p59.
- [7] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, Seoul, 1989.
- [8] A. Ono, “Aspherical mirror testing with an area detector array,” *Applied Optics*, vol. 26, no. 10, 15 May 1987.



고 국 원

1992년 서울대학교 농업기계학과 졸업(학사). 1994년 한국과학기술원 정밀공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 선문대학교 제어계측공학과 조교수. 관심분야는 로봇 비전시스템, 마이크로 프로세서 응용.



조 수 용

2005년 선문대학교 기계공학부 졸업(학사). 2008년 선문대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정 졸업. 현재 고영테크놀러지 연구원. 관심분야는 머신 비전.



김 민 영

1996년 한국과학기술원 기계공학과(학사). 1998년 동 대학원 석사. 2002년 동 대학원 박사. 2006년 현재 고영테크놀로지 차장. 관심분야는 3차원 머신비전, 로봇센서 시스템, 신경망을 이용한 로봇 환경 인식 자율 이동 로봇.