https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.4.351

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. ISSN 2508-5107(Online)

반사 공압 기반 중공 노즐을 이용한 미세패턴 높이 측정

김형진^a, 김병희^{a*}, 서영호^a

Micropattern Height Measurement using Hollow Nozzle based on Reflected Pneumatic Pressure

Hyung Jin Kim^a, Byeong Hee Kim^{a*}, Young Ho Seo^a

^a Department of Advanced Mechanical Engineering (Mechatronics Engineering), Kangwon National University, 1, Kangwondaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do, 24341, Korea

ARTICLE INFO

Article history:			
Received	20	April	2018
Revised	21	June	2018
Accepted	31	July	2018
Keywords: Hollow nozzle Reflected pneumatic pressure Micropattern CFD simulation Height measurement			

ABSTRACT

This research proposed a new method to measure the height of micropattern by non-contact method using only pneumatic pressure. When a pneumatic constant pressure is through a hollow nozzle on a micropatterned object, the height of the micropattern can be measured using a pressure sensor located at the end of the nozzle. The measured pneumatic pressure depends on the height of the micropattern. Thus, the latter can be evaluated by converting pressure into distance. To verify the proposed method, the distance between the object and fabricated hollow nozzle was varied from 10 to 200 μ m, and experiments were performed to investigate static responses. Furthermore, to confirm the dynamic response, experiments were performed to measure the reflected pneumatic pressure while moving the hollow nozzle over the micropattern. The static and dynamic state experiments, revealed an error of approximately 2% in the reflected pneumatic pressure.

1. 서 론

최근 고정밀 부품에 대한 미세가공 정도의 정보와 같은 요구가 증가함에 따라 미세형상 측정 및 평가 기술의 중요성이 확대되고 있다. 특히, 반도체 제조공정에 있어 미세패턴이 웨이퍼 상에 제작 될 때, 웨이퍼와 미세패턴 사이의 각도나 높이에 따른 균일성은 매 우 중요하다^[1]. 이를 측정하기 위한 방법으로는 크게 접촉식과 비 접촉식으로 구분할 수 있다. 미세 패턴의 표면에 직접 접촉이 가능 한 경우, 마이크로 미터(Micrometer)와 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) 센서 등과 같은 접촉식 측정 기기를 사 용할 수 있다^[2,3]. 접촉식 측정 기기는 정밀도가 높고, 가격이 저렴 한 점이 있지만, 미세패턴에 직접적으로 접촉하여 측정하기 때문에 미세패턴에 손상을 유발시킬 수 있기 때문에 접촉 시 변형을 일으 키는 물체에는 측정이 불가능하고, 연속 사용으로 인한 측정 기기 의 기계적 노후 현상이 중요한 단점으로 볼 수 있다^[1,4]. 비접촉식 방법에는 광학(Opticalr) 센서나 비전(Vision)을 이용한 비접촉식 측정 기술이 널리 사용되고 있다^[2,5]. 이러한 방법은 표면 반사 특 성, 광원과 이미지 센서의 종류에 따라 다양한 기술이 개발되어 왔 다. 레이저를 이용하는 광학식은 빛이 조사 되었을 때, 반사되는 빛의 위치나 반사광의 크기와 같은 정보를 이용하여 미세패턴의

^{*} Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6374 Fax: +82-33-259-5551

E-mail address: kbh@kangwon.ac.kr (Byeong Hee Kim).

높이 나 3차원 형상을 측정한다^[6,7]. 그리고 광학과 카메라의 조합 을 구성하고 반사되는 빛에 의한 영상을 이미지센서로 캡쳐 후, 영 상 처리에 의해 측정하는 방법이 있다^[6,8]. 그러나 이러한 방법은 높은 정밀도와 정확도로 측정이 가능 하지만, 광학 모듈의 전달도 특성, 조명 상태, 발열, 진동, 그림자 등에 의해 측정에 왜곡이 발생 할 수 있고, 시스템이 복잡하며, 비용적인 측면에서도 접촉식 방법 에 비해 고가라는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 측정 방법이 아닌 공압만을 이용하는 새로 운 방법을 제안하고자 한다. 일정한 공압을 중공 노즐부터 미세패 턴이 있는 측정물에 분사하여 반사되어 되돌아오는 공압을 측정하 는 방식으로써 비접촉식 방법을 사용하기 때문에 미세패턴의 손상 을 가하지 않을 뿐만 아니라 광학을 이용한 단점도 피할 수 있고, 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 따라서 제안된 방법을 확인하기 위하여 중공 노즐을 제작하였고, 실험을 통해 10 µm부터 200 µm 까지 측정이 가능함을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 측정 원리

본 연구에서는 미세패턴의 높이를 측정하기 위하여 공압만을 이 용한 공압식 거리측정방법을 적용하였다^[9]. 공압식 거리 측정 방 법을 적용하기 위한 반사 공압형 노즐은 서로 다른 직경을 갖는 이중 노즐을 동심원 상에 배치하는 중공 노즐의 구조를 갖는다. 외부 노즐에서 일정한 압력으로 분사되는 공압이 측정물에 닿게 되면, 충돌 제트 현상^[10]이 발생됨에 따라 공압의 일부는 측정물 밖으로 유출되고, 나머지 일부는 측정물에 반사되어 내부 노즐로 유입된다^[9,11]. 중공 노즐로 분사된 공압은 에어 커튼을 형성하게 하고 반사된 공압을 밀폐시키는 효과를 유발하여 보다 큰 압력을 발생한다. 이때 내부로 유입된 공압은 중공 노즐의 다른 끝에 삽입 된 압력 센서로 측정하여 거리로 환산하게 된다. Fig. 1은 본 연구 에서 제안된 높이 측정 시스템의 측정 원리를 보여주고 있다. Fig. 1(a)와 (b)는 제 안된 중공 노즐을 이용하여 측정물과의 거리(측정 거리)에 따른 공압의 흐름을 각각 보여주고 있다. 중공 노즐을 통해 동일한 크기의 공압을 측정물에 분사하였을 때, 근거리에 위치한 측정물에 반사된 공압은 내부 노즐로 많이 유입되고, 원거리에 위 치한 측정물에 반사된 공압은 내부 노즐로 적게 유입되어 압력의 차이를 발생하게 된다. Fig. 1(c)는 중공 노즐 내부에 위치된 압력 센서를 이용하여 거리에 따른 반사 공압량을 예측한 그래프를 보여 주고 있다. 중공 노즐과 측정물과의 거리에 따른 반사 공압량의 차 이를 이용하여 미세패턴의 높이를 예측하게 된다.

제안된 중공 노즐의 가능성을 검증하기 위하여 전산유체해석을 수행하였다. 해석 프로그램은 CFD-ACE+ (ESI group)를 사용하



Fig. 1 Principle of micropattern height measurement, (a) high micro pattern (short measuring distance), (b) low micro pattern (long measuring distance), (c) pressure output according to micropattern height

였다. 해석을 위해 3차원 비정렬격자를 사용하여 모델링을 수행한 후, Flow와 Turbulence 모듈을 사용하였고, 사용된 유체는 공기, 공급 압력은 3 bar로 10 ms 동안 수행되었다. Fig. 1의 측정원리를 검증하기 위하여 측정거리 100, 200, 500, 1,000, 1,500 µm로 해 석을 수행하였다. Fig. 2(a)는 해석을 위해 사용된 중공 노즐의 3차 원 유동장과 유동장의 단면을 보여주고 있다. 내부 및 외부 노즐 사이에서 분사되는 공압이 측정물에 반사되어 일부는 노즐 외부로 유출되고, 일부는 노즐 내부로 유입되는 결과를 확인할 수 있다. Fig. 2(b)는 거리에 따른 반사 공압량을 그래프로 보여주고 있다. 측정 거리가 증가 할수록 반사 공압량은 감소하는 결과를 확인하였 고, 이는 초기 거리에서 미세 패턴의 높이에 따라 반사 공압량이 달라짐을 의미하며, 해석을 통해 가능성을 검증하였다.

2.2 설계 및 제작

Fig. 3(a)는 설계된 중공 노즐의 내부 및 외부 노즐을 조립한 그 림을 보여주고 있다. 조립된 중공 노즐의 전체 길이는 20 mm, 전



Fig. 2 CFD simulation, (a) 3 dimension flow field and crosssection of flow field, (b) pressure output graph according to measurement distance

체 직경 7 mm로 제작되었다. 외부 노즐에는 끝단으로부터 8 mm 거리에 솔레노이드 밸브로부터 일정한 압력을 공급하기 위한 직경 2 mm 의 공압주입구가 위치되어 있고, 다른 끝단에는 압력 센서를 삽입할 수 있도록 설계 되었다. 내부 노즐은 외부 노즐과 동심원 상에 조립되고, 외부 노즐의 내경은 직경 4 mm 이고, 내부 노즐의 외경은 직경 2 mm 로써 공압이 측정물로 분사될 수 있도록 설계되 었다. 또한, 내부 노즐 중심에 직경 1 mm의 유로를 설계하여 중공 노즐로부터 분사된 공압이 측정물에 반사되어 압력 센서까지 도달 할 수 있도록 내부 노즐 중심에 직경 1 mm의 유로를 설계하여 중공 노즐로부터 분사된 공압이 측정물에 반사되어 압력 센서까지 도달할 수 있도록 설계하였다. 설계된 중공 노즐은 폴리카보네이트 (Polycarbonate, PC)를 기계 가공 제작하였다. Fig. 3(b)는 제작된 내부 및 외부 노즐과 조립된 중공 노즐을 보여주고 있다.

3. 실 험

3.1 실험 장치 구성

Fig. 4는 압력 센서가 삽입된 중공 노즐과 측정물 사이의 거리를 측정하기 위해 실험 장치를 구성한 사진을 보여주고 있다. 실험 장



Fig. 3 Design and fabrication of hollow nozzle, (a) design of hollow nozzle, (b) photograph of fabricated hollow nozzle



Fig. 4 Configuration of experimental apparatus

치는 측정물, 중공 노즐, 솔레노이드 밸브 (EV-3M-24, Clippard Instrument Laboratory, Inc.) 그리고 레귤레이터로 구성되어 있 다. 중공 노즐은 측정물과 수직방향으로 위치 할 수 있도록 고정하 였다.

중공 노즐에서 일정한 공압을 분사하기 위하여 솔레노이드 밸브 출구와 중공 노즐의 공압주입구 사이를 공압 튜브로 연결하였고, 솔레노이드 밸브의 신호는 함수발생기를 이용하여 시간 및 주기를 조절하였다. 솔레노이드 밸브로 인가되는 공압은 레귤레이터를 이 용하여 3 bar의 압력으로 조정하여 공급하였다. 중공 노즐 끝단에 삽입된 압력 센서 (26PCCFA6G, Honeywell International Inc.) 의 데이터는 DAQ board (NI USB-6259, National Instrument Inc.)를 이용하여 10 kHz의 샘플링으로 실시간 수집하였다.

3.2 실험 방법

실험은 총 3가지로 구분하여 수행되었다. 첫 번째 실험은 측정물 과 제작된 중공 노즐 사이의 거리를 10 µm 간격으로 200 µm까지 순차적으로 조정하고, 정적상태의 응답에 대한 실험을 수행하였다. 두 번째 실험은 초기거리 200 µm에서 미세패턴의 높이가 50, 100, 150 µm일 때, 중공 노즐이 각각의 미세패턴을 이동하면서 동적상 태의 응답에 대한 실험을 수행하였다. 세 번째 실험은 패턴의 높이 가 50, 100, 150 µm로 연속적으로 변화될 때, 중공 노즐을 이동시 키면서 동적상태의 응답에 대한 실험을 수행하였다.

3.3 실험 결과

첫번째 실험은 아크릴 벽과 중공 노즐 사이의 거리를 10 μm부터 200 µm까지, 10 µm 간격으로 이동시키면서 압력센서를 이용하여 거리에 따른 반사 공압을 측정하였다. 아크릴 벽과 중공 노즐 사이 의 측정 거리를 조정하기 위하여 중공 노즐을 x-스테이지에 고정시 키고, 스타일러스 마이크로 미터기(Digimicro MFC-101, Nikon) 를 이용하여 거리를 측정하였다. 중공 노즐에 인가된 공압은 압력 조정기로 조정된 3 bar의 압력을 사용하였고, 함수발생기를 사용하 여 0.2 Hz의 사각파 형태로 솔레노이드 밸브를 2.5초씩 on/off 시 켰다. Fig. 5(a)는 첫번째 실험의 결과로써, 10~200 μm까지 10 μm 씩 증가시켰을 때 측정된 반사 공압의 원 데이터를 보여주고 있다. 측정 거리 50, 100, 150 µm에서 반사 공압이 0.462±0.003, 0.182±0.003, 0.093±0.003 bar 로 각각 측정되었고, 거리가 증가 함에 따라 압력센서 출력은 증가하는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 측정물인 아크릴 벽과 중공 노즐 사이의 거리가 멀어짐에 따라 중공 노즐 내부로 유입되는 공압보다 중공 노즐 밖으로 유출 되는 공압이 많기 때문에 발생하는 결과로써^[12] 해석과 같은 경향 성의 결과를 확인할 수 있다. Fig. 5(b)는 5(a)의 압력센서 출력의 피크 데이터를 이용하여 반사공압에 따른 측정거리로 나타낸 그 래프이다. 측정거리는 반사 공압에 따라 로그함수적으로 감소함으 로써, $D=b \times \ln(p-a)$ 의 형태로 나타낼 수 있다. 여기에서 D는 중공 노즐과 측정물 사이의 거리(µm)이고, a는 0.02785, b는 -55.63224로 상수이며, p는 측정된 반사 공압(bar)이다. 측정된 반 사공압 데이터를 이용하여 중공 노즐과 미세패턴 사이의 거리를 측정할 수 있다.



Fig. 5 Output pressure according to a distance between object and nozzle, (a) Raw data of measured pressure sensor, (b) measurement distance according to measurement pressure

Fig. 6은 제안된 방법을 통하여 미세패턴의 높이를 직접 측정하 기 위하여 미세패턴을 제작한 후, 3차원 표면측정기(NVC 0505, Nanosystem Co., Ltd) 를 이용하여 실제 높이를 측정한 결과이다. 미세패턴은 3M 테이프를 이용하였고, 3M 테이프 1장의 두께는 50 μm, 2장은 100 μm, 3장은 150 μm로 각각 측정되었다.

두 번째 실험은 미세패턴이 없는 벽면과 중공 노즐 끝단 사이의 초기 측정 거리를 200 µm로 설정하였고, 미세패턴의 높이가 각각 50, 100, 150 µm 일 때, 중공 노즐이 고정된 x-스테이지를 0.8 mm/s로 이송 시키면서 수행하였다. 이 때 미세패턴과 중공 노즐 사이의 거리는 각각 150, 100, 50 µm이다. 사용된 공압은 3 bar로 첫번째 실험과 동일한 압력을 사용였고, 30초 동안의 연속적으로 공압을 분사시켜 실험을 수행하였다. Fig. 7은 시간에 따른 중공 노즐의 이송 경로와 미세패턴 높이에 따른 반사 공압 측정 결과를 보여주고 있다. a와 e 구간은 미세패턴 상에 위치하였을 때로써, 측정거리가 짧아 반사 공압이 가장 높은 결과를 보이고, c 구간은 미세패턴이 없는 초기 측정 거리에서의 반사 공압을 나타내고 있 다. 그리고 b와 d 구간은 미세패턴의 높이차가 발생하는 구간으로



Fig. 6 Height measurement of fabricated micropattern using 3 dimension surface profiler



Fig. 7 Continuous measurement according to each height of micropattern

써, 반사 공압이 변동되는 결과를 보이고 있다. b와 d 구간의 그림 과 같이, 미세패턴에 대한 동적실험의 결과로서, 중공 노즐의 중심 이 미세패턴 높이 차가 발생하는 구간에 위치 될 경우, 중공 노즐의 반은 미세패턴이 높은 곳에 위치 되고, 나머지 반은 미세패턴이 낮



Fig. 8 Continuous measurement according to variable height of micropattern

은 곳에 위치된다. 따라서 중공 노즐 내부로 유입되는 반사공압은 이동하는 중공 노즐에 의해 시간에 따라 중공 노즐과 미세패턴 사 이의 거리가 감소 또는 증가하기 때문에 발생되는 결과이다. 150, 100, 50 μm의 미세패턴 높이에서의 중공 노즐을 통해 측정된 반사 공압은 0.457±0.002, 0.182±0.004, 0.091±0.007 bar로 각각 측 정되었다. 이는 첫번째 실험 결과와 각각 98.9, 98.9, 97.8 %의 정확도를 확인할 수 있었다.

세 번째 실험은 50, 100, 150 µm의 높이를 갖는 미세패턴을 순 차적으로 변화시켰을 때, 중공 노즐을 이송 시키면서 반사 공압을 측정하였다. 각각의 미세패턴은 10 mm의 길이로 제작되었고, 사 용된 공압은 3 bar로 동일한 압력을 사용하였으며, 35초 동안 연속 적으로 공압을 분사시켜 실험을 수행하였다. Fig. 8은 실험 결과를 보여주고 있다. a, b, c 구간의 미세패턴의 높이에 따른 측정 거리 는 각각 150, 100, 50 µm로써, 반사 공압의 크기는 0.45±0.001, 0.184±0.002, 0.091±0.002 bar로 출력되었다. 이는 첫번째 실험 의 정적인 상태의 결과와 비교하였을 때 약 97.4, 98.9, 97.8 %의 정확도를 보였다. Fig. 8의 a-b 구간과 b-c 구간 사이의 과도구간은 Fig. 7의 b와 d구간과 같은 이유로 인해 발생된 결과로써, 반사 공압이 증가하는 결과를 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구는 접촉식이 갖는 미세패턴의 손상이나 연속사용으로 인 한 기기의 노후 현상에 대한 문제점이 없고, 광학식과 달리 미세패 턴 재질의 투명성에 대한 오류가 없으며 저가로 시스템을 간단히 구축하기 위해 공압만을 이용한 비접촉식 미세패턴 높이 측정법 을 제안하였다. 중공 노즐을 통해 분사되는 공압이 미세 패턴에 반사되어 돌아오는 공압을 측정하는 원리로써 해석과 실험을 통 해 가능성을 검증하였다. 실험은 정적 실험과 동적 실험을 수행하 였으며, 정적 실험은 측정물과 중공 노즐 사이의 거리에 따른 반사 공압을 측정하여 미세패턴의 높이를 예측하였다. 측정 거리 150. 100, 50 µm에서 반사 공압이 0.093±0.003, 0.182±0.0030 그리 고 0.462±0.003 bar로 각각 측정되었다. 동적 실험은 중공 노즐 이 제작된 미세패턴 상을 이동하면서 시간에 따른 반사 공압량을 측정하여미세패턴의 높이를 예측하기 위하여 수행되었다. 50, 100, 150 µm의 높이를 갖는 미세패턴 상을 각각 이동하면서 측정 한 실험 결과는 0.091±0.007, 0.182±0.004, 0.457±0.002 bar로 각각 측정되었다. 또한, 미세패턴의 높이가 연속으로 변화될 때, 중공 노즐을 이동하면서 측정한 실험에서는 50, 100, 150 μm의 높이를 갖는 미세패턴에 따라 0.091±0.002, 0.184±0.00 그리고 0.45±0.001 bar로 출력되었다. 정적 상태와 동적 상태 실험 결과, 반사 공압 출력은 약 2 % 내외의 오차를 보임으로써 가능성을 확 인하였다. 그러나 공압이 분사되는 중공 노즐의 직경이 4 mm로 제작되었기 때문에 이보다 짧은 길이의 미세패턴은 분사된 공압이 완전히 반사되지 않아 측정에 어려움이 있다. 따라서 중공 노즐의 직경을 고려하여 미세패턴 높이 측정에 적용되어야 하고, 추후에 보다 미세한 패턴을 측정하기 위하여 작은 직경의 중공 노즐을 제 작 후 실험을 수행할 계획이며, 수 µm 이하의 높이를 갖는 미세패 턴을 이용하여 가능성을 검증할 것이다. 또한, 동적상태에 대한 응 답을 확인하기 위해 본 연구에서는 0.8 mm/s의 속도로 이송되었지 만, 보다 정확한 동적특성의 한계에 대해 검증할 계획이다.

후 기

본 연구는 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(No. 520170139)의 지원과 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다 (P0001005).

References

[1] Shin, J. Y., Kang, S. H., Ma, H. J., Kwon, I. H., Yang, S. P., Jung, H. C., Hong, C. K., Kim, K. S., 2016, Measurement of Width and Step-height of Photolithographic Product Patterns by using Digital Holography, J. Korean Soc. Nondestruc. Test. 36:1 18-26.

- [2] Shin, K.-Y., Hwang, S., 2015, Development of Contact-type Thickness Measurement Machine using LVDT Sensors, J. Korean Soc. Manuf. Process. Eng. 14:4 151-159.
- [3] Ha, Y.-S., 2011, Development of LVDT-based Measuring System of the Cylinder Liner Wear for Marine Diesel Engines and its Performance Evaluation, Journal of the Korean Society of Marine Engineering 35:6 829-834.
- [4] Ortiz-Gutierrez, M., Perez-Cortes, M., Gomez-Colin, M.R., Olivares-Perez, A., Ibarra-Torres, J.C., 2005, Microdisplacement Measurements with Holographic Gratings, Proceedings of the SPIE 2005 5776 773-778.
- [5] Cho, K.-C., Kim, S.-Y., Shin, K.-Y., 2015, Development of Automated Non-contact Thickness Measurement Machine using a Laser Sensor, J. Korean Soc. Manuf. Process. Eng. 14:2 51-58.
- [6] Kim, J. H., 2015, 3-d Shape Estimations using Rreflection Images, J. Korean Soc. Image Sci. technol. 21:3 38-45.
- [7] Ohtani, K., Narita, D., Baba, M., 2008, 3-d Shape Measurement by Inverse Raytracing Approach, SICE Annual Conference 2008 1531-1535.
- [8] Caulier, Y., Bourennane, S., 2010, Visually Inspecting Specular Surfaces: A Generalized Image Capture and Image Description Approach, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 32:11 2100-2105.
- [9] Kim, H. J., Seo, Y. H., Kim, B. H., 2017, New Intraocular Pressure Measurement Method using Reflected Pneumatic Pressure from Cornea Deformed by Air Puff of Ring-type Nozzle, PloS one 12:12 e0186738.
- [10] Fu, T.-L., Deng, X.-T., Liu, G.-H., Wang, Z.-D., Wang, G.-D., 2016, Experimental Study of Cooling Speed for Ultra-thick Steel Plate during the Jet Impinging and Quenching Process, Int. J. Precis. Eng. Manuf. 17:11 1503-1514.
- [11] Kim, H. J., Seo, Y. H., Kim, B. H., 2018, Non-contact Intraocular Pressure Measurement Method using Relation between Deformed Cornea and Reflected Pneumatic Pressure, Int. J. Precis. Eng. Manuf. 9:9 737-744.
- [12] Kim, K. H., Kim, B. H., Seo, Y. H., 2012, A Noncontact Intraocular Pressure Measurement Device using a Micro Reflected Air Pressure Sensor for the Prediagnosis of Glaucoma, J. Micromech. Microeng. 22:3 035022.