

PSD의 출력특성향상을 위한 경사 입력광의 특성해석에 대한 기본연구

권현규[#], 박창용^{*}

Basic Study of the Improvement of PSD Output by Inclined Light Input

Hyun-Kyu Kweon[#] and Chang-Yong Park^{*}

(Received 19 July 2010; received in revised form 24 August 2010; accepted 26 August 2010)

ABSTRACT

In this paper, the output characteristics of PSD(Position Sensitive Detector) used in measurement system are described. Most of the precision measurement systems are accomplished by a laser diode(LD), a photo diode(PD) and PSD(Position Sensitive Detector), which are used in reflection of mirror or projection of infrared spectrometer. But it is especially restricted by resolution of PD and PSD in nano-measurement. A new inclined light methods into the PSD are employed in the surface measurement system for increasing the resolution. As the results, we can know that the output characteristics of detective sensor (PSD) become more than 2 or 3 times by changing inclined angle(range: 5 degree) compared with common angle. In addition, the experiment results are confirmed that the change of inclined angle is not affecting to the linearity and repeating.

Key Words : PSD(Position Sensitive Detector), Measurement(계측), Amplifier(증폭), PD(포토다이오드)

1. 서 론

나노 계측 기술은 나노 기술의 기반이 되는 핵심 기술로 나노 또는 테라급의 수준의 물성 및 구조 및 성분을 계측하고 분석해내는 기술이다. 그러나, 현재 많은 초정밀 공학 분야에 있어서 당면하고 있는 문제 중의 하나는 나노 물성치를 얼마나 높은 분해능으로 측정, 분석하여 신뢰도를 높이는 것이 중요한

연구과제였다[1][2]. 그러한 연구 중에서, 최근 테라 기술에 발전이 가속화되기 시작하면서 고정밀의 분해능을 가진 정밀 계측기가 요구되고 있고[3]-[4], 그 중 광소자인 PSD(Position Sensitive Detector)의 경우, 상당히 많은 정밀 계측 시장에서 그 역할이 증가하고 있는데[5]-[8], CCD와는 달리 물리적으로 연속적인 특징을 보인다.

일반적으로 포토다이오드는 광에너지를 전기에너지로 변환하는 광센서의 일종이며, 플래너 구조이기 때문에 다이오트 특성이 좋고, 부하를 걸었을 때의 동작 특성이 우수하다. 또한, 저조도에서 고조도까지 광전류의 직선성이 양호하며, 소자간의 광출력

[#] 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : hkkweon@kumoh.ac.kr

^{*}금오공과대학교 기계공학부

편차가 동일조립상태에서 적다. 뿐만 아니라, 감도 파장이 넓다는 것과 응답속도가 빠르다는 특징이 있어 여러 분야에서의 활용이 되어지고 있다. PSD는 기본적으로, 높은 저항을 반도체 기판의 한편 또는 양쪽 모두의 표면에서 만들어지는 균일한 저항층으로부터 완성된다, 그리고, 한 쌍의 전극은 위치 신호를 출력하기 위해서 저항층의 양단으로 완성되어 있고, 활발한 지역(저항층)은, 광전력력 효과에 의해서 광전류를 발생시키는 PN접합을 가진다. PSD의 위치결정은 이러한 빛의 중심점을 광전효과를 이용하여 양쪽 전류의 차이로 위치를 결정하게 된다. 또한, PSD와 같은 광소자의 연속적인 특징은 고정밀도를 요구하는 센서에 부합하여 가능성은 무한하다. 그러나 비교적 고가로 형성되어있고 충격에 약하다는 점과 전반사식의 경우 노이즈 등의 영향이 심하다는 점은 극복해야할 과제로 남아 있다. 그러나, 정밀도가 우수하다는 관점에서 많이 사용되고 있으며, 향후 많은 수요가 발생하리라 생각되어진다.

본 논문에서는 기존의 PSD를 이용하여 광의 입사각을 조절함으로써 광계측 시스템을 효율적으로 이용할 수 있는 원리를 제시하고, 광계측기(PSD 등)의 정밀도 향상에 기여하는 것을 목적으로 한다. 경사각 실험에 있어서는, PSD에 Mirror를 이용하여 LD(Laser Diode)의 빛의 입사각을 변화시킴으로써 물리적인 변화량의 증폭을 가능하게 하였으며, 기존의 출력량과 비교를 통하여 그 유효성을 확인하였다.

2. PSD의 출력특성

2.1 일반적인 PSD의 출력특성

Fig.1은 일차원 PSD 광 센서의 2차원개념도를 나타내고 있으며, 식 (1)에 따라 전극으로부터 출력전류를 측정하여 PSD상의 광의 움직임 즉 위치변화를 감지할 수 있다.

$$\frac{I_{X_2} - I_{X_1}}{I_{X_2} + I_{X_1}} = \frac{2x}{L_x} \quad (1)$$

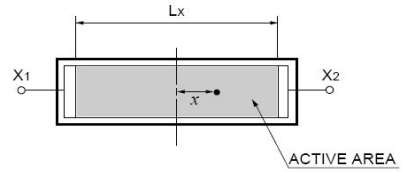


Fig.1 Displacement of light on the PSD

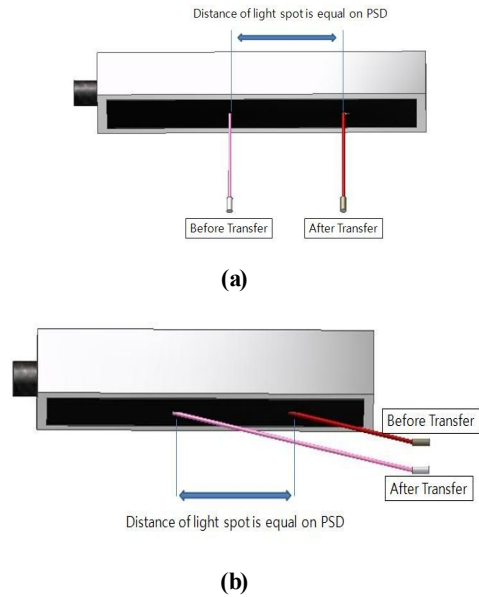


Fig. 2 Characteristics of light in PSD

여기서, I_{X_2}, I_{X_1} 은 양전극에서의 전류출력, L_x 는 저항길이(활성지역거리), x 는 광이 이동한 거리를 나타낸다.

2.2 경사광에 의한 PSD의 출력특성

Fig. 2는 본 연구에서 적용한 기본적인 변위 증폭을 위한 경사 입사광에 대해 설명하고 있다. 광계측기의 일반적인 사용 형태로 수직으로 직접 투과하는 방식과 반사경(거울)을 이용하여 미세한 각도를 기울여 사용하는 방식이 주를 이루고 있으며, 본 연구에서는 반사경을 이용하여 이용하는 방식에 대해 출력특성을 확인하였다.

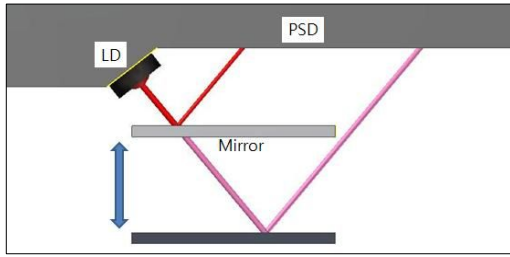


Fig. 3 Typical optical measurement system

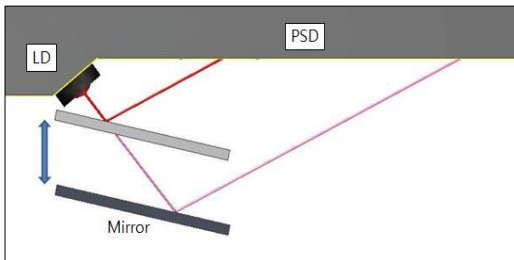


Fig. 4 Inclined optical measurement system

Fig. 3의 경우는 반사경이 평행한 경우를 나타내며, Fig. 4는 반사경을 각 θ 만큼 경사지게 하여 입사광을 이용하였다. Fig. 3는 Fig. 4에 비하여 보다 작은 양의 상하 이동으로 PSD 상의 광이 같은 양의 이동거리를 움직임을 확인할 수 있다. 따라서, 광의 입사각이 커지면 커질수록 적은 이송량으로 많은 PSD로부터 출력을 얻어낼 수 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 광의 입사각(θ)과 PSD상의 광의 이동거리(x)와의 관계를 나타낸 결과이다. Fig.5의 기하학적인 관계로부터 반사경(거울, Mirror)의 각 변위에 따른 PSD상의 이동거리 Δd 와 반사경의 각 변위에 따른 증폭비(Amplification, AR)는 다음과 같다.

$$\Delta d = \frac{X}{\tan(\theta - 2\theta_M)} \quad (2)$$

$$AR = \frac{\cotan\theta + \cotan(\theta - 2\theta_M)}{2\cotan\theta} \times k \quad (3)$$

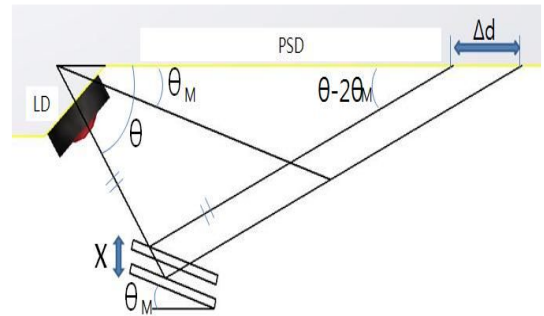


Fig. 5 Theory of optical measurement system

여기서, θ 는 빛의 입사각의 각도, θ_M 은 반사경의 각도를 나타내며, k 는 보정 상수로 기기 고유의 성질에 따라 변하게 된다. 위의 식(3)을 이용하여 적용시 8.5도 까지는 약 0.8의 보정 상수로 근사한 증폭비를 유추 할 수 있었다.

다만 기기의 특성상 보정 상수는 언제든지 변화할 수 있고 빛의 상이 변함과 동시에 계측영역에 걸쳐 측정된 경우 위의 공식에서 벗어 날수 있음을 확인해야 할 것이고 만약 증폭률이 초과된 경우 계측오차도 고려를 해야 한다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험장치구성 및 실험방법

장치는 기본적으로 반사경(Mirror), 거울의 각도를 조절하기 위한 정밀 각도 스테이지, PSD, LD를 사용하여 Fig.6과 같이 장치를 구성하였다. 정밀 각도 스테이지는 보다 정밀한 각도 변위특성을 얻기 위해 정밀 각도스테이지와 PZT액추에이터를 사용하였다. 또한, PSD의 신호를 처리하기위해, A/D보드, 오실러스코프, 파워서플라이(전압발생기) 등을 이용하여, PSD의 신호처리를 하였다.

본 연구에서는 경사광 입력과 동시에 반사경이 반사각이 0도일때의 경우 PSD의 출력특성에 관한 기초실험을 첫 단계로 실시하였다. 그리고 반사경의 반사각을 변화시켜 출력특성을 파악하였으며, 이에 대

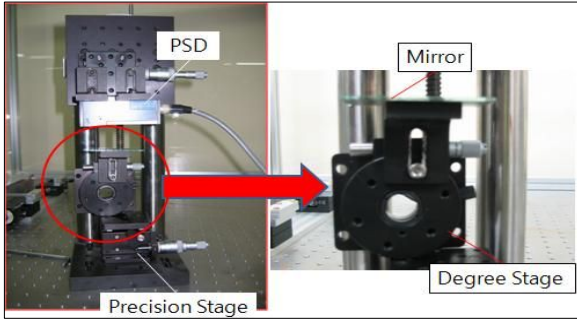


Fig. 6 Set up of precision measurement system

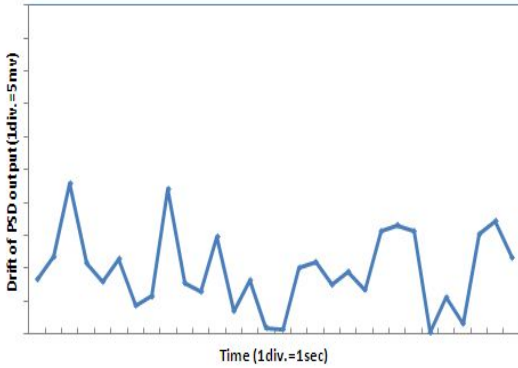


Fig.7 Drift of the PSD

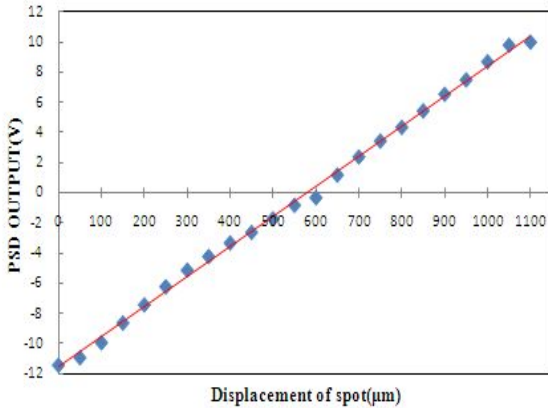


Fig.8 Characteristics of the PSD OUTPUT

한 증폭비 값을 정리하였다.

3.2 실험결과

본 실험의 첫 번째 단계로 정밀 스테이지를 기준

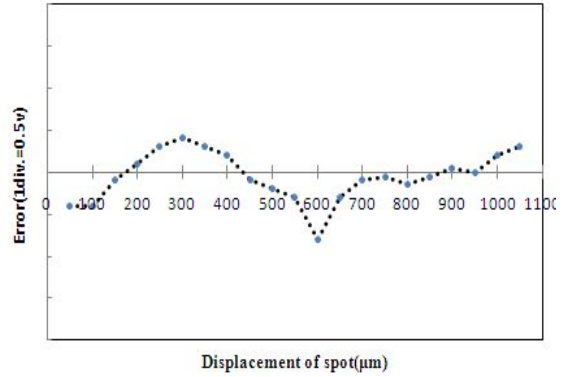


Fig.9 Displacement Error of light on the PSD

점에 맞추어 기준 전압을 측정된 후, 상하 스테이지를 이용 변위를 이동시켜 출력변화를 측정하였다. 이때, 반사경의 각도를 0으로 하여 각도 스테이지를 이용 각의 변화를 주어 상하 작동을 함으로써 단위 길이 당 변화하는 출력 값을 측정하였다.

Fig. 7은 PSD의 출력의 기준이 되는 드리프트(drift)특성을 나타낸 결과이다. 약 30초 동안 20mv의 출력특성결과를 얻을 수 있었으며, 이것은 본 연구의 출력특성 치의 오차 값과 비교해 볼 때, 충분히 이용될 수 있는 값을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 상하스테이지의 변화에 따른 출력특성결과이고, Fig.9은 실제 이론적인 출력특성 값과의 비교 값을 나타낸다. 이 결과로부터, 이론적인 값과 실제 값의 오차를 보면 600 μm 전후에서 오차 범위가 정점에 다다른 것을 알 수가 있으며, 300 μm에서 600 μm 사이의 그래프에서는 평균적으로 1 μm당 0.016V가 증가하였고 600 μm이후에서는 0.021V의 증가량을 보였다. 이는 Position Detection Error로 0V전후로 서로 다른 증폭률을 보이는 특징을 갖는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 각도에 따른 단위 길이 당 전압의 증폭률로 각의 변화가 커짐에 따라 전압의 증폭변위가 커지는 현상을 보였다. 본 실험의 증폭의 가장 큰 특징은 기존의 출력을 증폭하는 방식에서는 출력 전압과 함께 노이즈가 같이 증폭이 되는 현상을 보였으나 물리적으로 광을 제어하였기 때문에 동일한 노이즈를 보이면서 전압이 증폭이 된다.

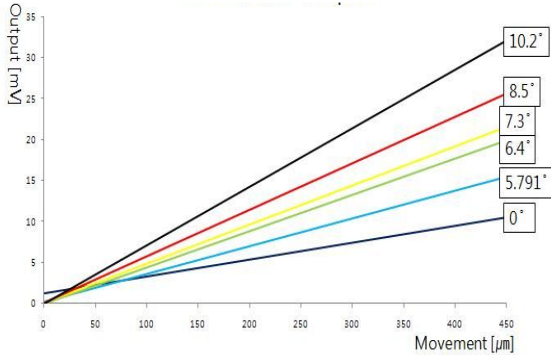


Fig. 10 Output Results by Mirror Angle

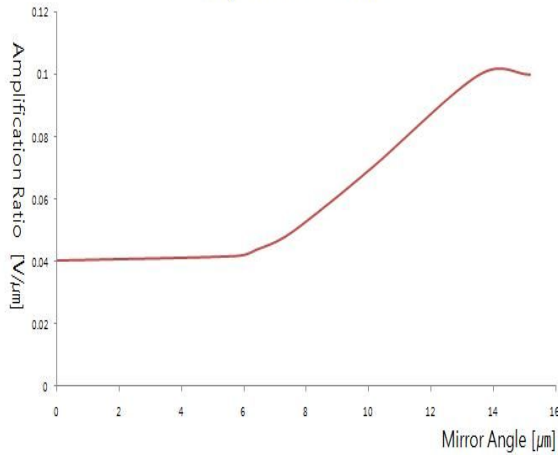


Fig. 11 Result of Amplification by Mirror Angle

Fig. 11은 보간법으로 얻은 각 변위에 따른 전압의 증폭률을 구한 곡선으로써 전압에 따른 증폭률과의 관계를 나타낸 결과이다. 전압 증폭이 비선형적으로 보이는 특성을 갖게 되는데 이는 PSD의 분해능과 연관이 깊은 것으로 입사각의 변화가 클수록 광의 손실이 크고 결국 기기의 분해능이 완곡한 곡선의 그래프를 그리게 되었다. 반사경의 각도가 약 10도가 넘어가면서 곡선의 변화가 급격히 변화하였는데 이는 광의 입사각이 변화하면서 PSD상 변화로 인하여 측정영역(Measurable Area)이 PSD의 계측 영역을 넘어서면서 곡선의 변화를 가져왔다.

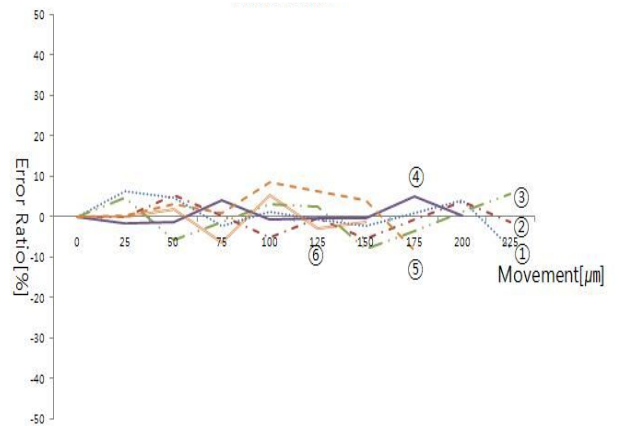


Fig. 12 Error Ratio

결과적으로 이 영역을 넘어서면 측정정도가 저하됨을 확인할 수 있었다. 이상의 결과로부터, 13.5도와 15도 부근에서 1 μ m당 0.1V의 증가량을 보이는 것을 확인할 수 있었으나 실험 장치 구조상 10V를 넘어가면 신뢰성을 보장 받기 힘들다. 그러므로 13.5도에서 가장 이상적인 증폭률을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

Fig.12는 오차율을 나타낸 결과로서 선형성(Linearity)을 보여주는 척도가 된다. 이 결과에서 ①은 Mirror의 각도가 0도일 경우의 Error Ratio를 나타낸 선도이다. ②는 5.791도, ③은 6.4도, ④는 7.3도, ⑤은 8.5도, ⑥번은 10.2도를 나타낸 선도이다. 이 결과로부터, 증폭이 되면서 출력의 선형성이 이동거리에 비례해서 증가함을 확인할 수 있었으며, 반사경의 각도가 0도였을 때 평균 오차의 경우 0.017mV이고, 6.4도에서 0.0018mV로 가장 안정적이였다. 나머지의 경우도 0도였을 때와 유사한 선형성을 보였다.

또한, Fig. 13에 도시된 것과 같이, 각도에 따른 PSD 상의 광량의 변화량은 입사각이 증가함에 따라 타원형에 가깝게 변화하게 되며, 그에 따라, PSD상의 중심점의 위치 또한 변화하게 된다. 그러나 마지막 60도의 그림에서와 같은 타원형이 되면 가장자리 부분은 광량손실을 받게 되어, 중심위치가 45도에서의 결과로부터 그 선형성이 손실되게 된다.

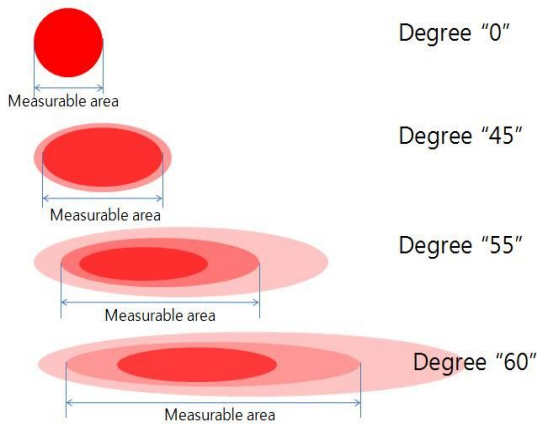


Fig. 13 Changing phase of spot on PSD by degree

본 실험에서는 사용되어진 PSD의 실험결과가 6도 부근에서 식 (3)과 동일한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였고, 그 이상에서는 Fig.12의 영향으로 손실이 많음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 정밀계측 방식에서 광의 입사각을 변화하여 증폭하는 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PSD 광센서의 출력특성 향상을 위한 방법으로 광입사각의 각도 제어에 의한 증폭방법을 제안하였고, 실험을 통한 각도에 증가에 따른 증폭률을 확인할 수가 있었다.
2. PSD 상에서 입사광의 각도와 반사경의 각도에 따라 광의 변위량에 관련된 식에 대해 고찰하였다.
3. 본 실험결과를 통해 LD의 광입사각을 변화함으로써 증폭률의 변화는 확인할 수 있었으나, Linearity에는 큰 영향을 주지 못했다.
4. 입사각을 변화함으로써 증폭률을 보았을때 LD의 입사각의 변화가 자유롭다면 무한한 증폭률을 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 금오공과대학교 교내학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. 정보통신연구진흥원 “나노 계측 기술” 학술정보 - 주간기술동향 1166호
2. 김승우 “나노테크놀로지와 정밀 공학” 한국정밀 공학회 학술발표대회 논문집, (2002)
3. Yoshikazu. Arai, etc., Scanning in situ self-calibration method of measurement, Int. J. of surface science and engineering, 3-3, (2009), pp. 195-207.
4. W. Gao, etc., An Improved Three-probe Method for Precision Measurement of straightness, Technisches Messen, 76-5, (2007), pp. 259-265.
5. E. Teague, Generating and measuring displacements up to 0.1m to an accuracy of 0.1nm : Is it possible?, SPIE Handbook- The Technology of Proximal Probe Lithography, Edited by C.Marran, 199.
6. S. Kiyono, W. Gao, I. Ogra and H. Seino, In situ self-calibration of metrological sensors, to appear in Proc. of IMEKO 13 World Congress, Tampere, Finland, (1997).
7. S. Kiyono, X. Shan, and H. Sato, Development of an atomic force microscope using a critical angular sensor, Int. J. of JSPE, 27-4, (1993), pp. 373-378.
8. P. S. Huang, S. Kiyono and O. Kamada, Angle measurement based on the internal-reflection effect: a new method, Applied Optics, 21-28, (1992), pp.6047-6055