

멀티패스를 이용한 고분해능 간섭계 High resolution interferometer using multi-pass optical configuration

*안정호¹, 김수현¹, 김종안², 강주식², 김재완²
*J. H. Ahn¹, S. H. Kim¹, J.-A. Kim², C.-S. Kang², J. W. Kim(jaewan@kriss.re.kr)²
¹ 한국과학기술원(KAIST), ² 한국표준과학연구원(KRISS)

Key words : high resolution, multi-pass, interferometer

1. 서론

지난 40년 동안 실리콘 칩(silicon ship)의 직접도는 무어의 법칙(Moore's Law)을 따르는 듯 하며 2년마다 두 배의 속도로 증가하였다. 하지만 사실 1975년 이후로는 1.5년마다 30%의 집적도의 증가를 보이며 무어의 예상을 뛰어 넘었다. 또한 2000년 경에는 실리콘 칩(silicon chip)의 집적도(integration density)는 DRAM(dynamic random-access memories)의 경우 50%, 마이크로프로세서(microprocessor)의 경우는 35%씩 매년 증가하였다.[1] 따라서 나노미터 영역의 길이 측정은 반도체 공정과 관련된 여러 가지 임계 치수(critical dimension) 측정과 서브 마이크로미터(sub-um) 크기를 갖는 피치나 단면의 높이 측정에 있어서 매우 중요하며, 근래 들어 관심이 집중되고 있는 나노기술에 있어서도 이와 같은 미소 길이 측정에 대한 필요성은 더욱 증가되고 있다.[2]

레이저 간섭계는 정밀 변위를 측정하는데 있어서 매우 뛰어나므로, 지난 수십 년 동안 정밀 변위 센서로서의 역할을 수행해 왔다. 앞서 설명한 바와 같이 나노기술(nanotechnology)의 빠른 발전에 따라 이러한 정밀 변위 측정 센서에 대한 요구는 더욱 더 확대되며, 그 활용 분야도 다양화 되어가고 있다. 따라서 높은 분해능(resolution)의 실시간 위치 제어(real-time positioning control), 높은 주파수의 기계 구동의 제어가 가능한 변위 측정용 레이저 간섭계를 이용한 정밀 변위 측정 기술은 핵심적인 기술로서 자리 매김을 하고 있다.

2. 멀티 패스(multi-pass)를 이용한 고분해능 간섭계

멀티 패스(multi-pass)를 갖는 광학계를 구성하기 위해 Fig. 1과 같은 코너 큐브 어레이(corner-cube array)를 사용하였다. 입사된 빛은 움직이는 코너 큐브 어레이로 입사된 후 반사되어 고정된 코너 큐브 어레이로 입사되어 재반사된다. 이는 순차적으로 계속 반복되며 코너 큐브에서 반사되는 회수가 증가할 때마다, 간섭계의 패스(pass)는 증가하게 된다. 일반적인 싱글 패스(single pass) 간섭계의 경우 위상을 구하는 방법은 식 (1)과 같다. k는 파수(wave number)이다. 하지만 멀티 패스 간섭계의 경우는 식 (2)와 같이 위상을 계산할 수 있으며, 따라서 분해능이 패스의 수, n에 비례하여 증가하게 된다.

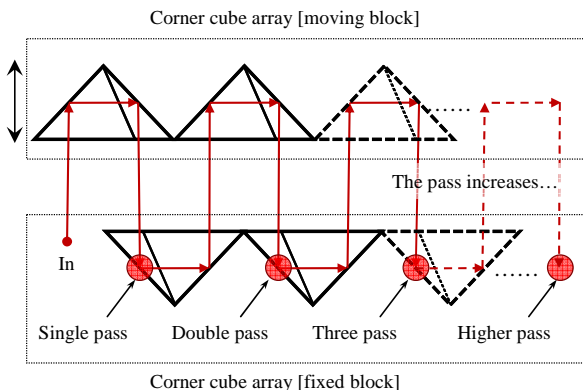


Fig. 1 Simple diagram of multi-pass optical configuration

$$\Delta x = \frac{\phi}{2k} \tag{1}$$

$$\Delta x = \frac{\phi}{2nk} \tag{2}$$

본 연구에서 채택한 간섭계의 경우 14 패스의 광경로를 가지므로 싱글패스간섭계의 경우보다 14배의 높은 분해능(resolution)을 가진다.

3. 광학계 구성(optical configuration) 및 광경로

Fig. 2에서는 멀티 패스 고분해능 간섭계의 간섭계 부분의 광학계 구성을 3D 모델링을 통해 보여주고 있다. 기준 경로(reference arm)와 측정 경로(target arm) 중 측정 경로를 나타낸다. 코너 큐브 어레이는 고정된 블록과 움직이는 블록이 있으며, 각각의 블록은 7개의 코너 큐브가 존재한다. 기준 경로의 경우는 싱글 패스로 구성되며, 그림에서는 생략되었다. 코너 큐브에서 반사되어 멀티 패스를 구성하는 빛의 경로는 Fig. 3와 Fig. 4에서 잘 표현되고 있다. Fig. 3는 입사된 빛이 반시계 방향을 따라 돌며 코너큐브에서 반사되어 거울(mirror)에서 반사되기 전까지 7 패스를 형성한다. 그리고 거울에서 반사된 후에는 Fig. 4와 같이 시계 방향을 따라 코너 큐브에서 반사되어 다시 7 패스를 형성한다. Fig. 4에서 간섭계 부분을 빠져나온 빛은 광검출기 부분으로 진행한다. 편광 광선 분할기(Polarizing beam splitter)는 기준 경로로 광선을 유도하기 위함이다.

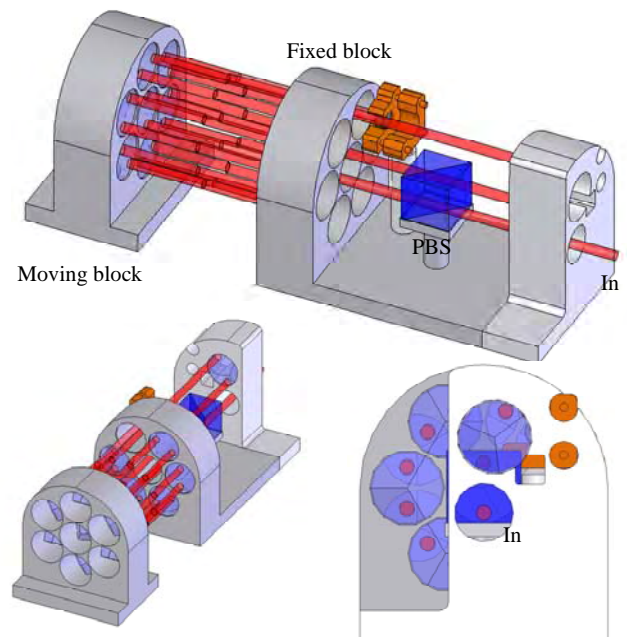


Fig. 2 3D modeling of high resolution interferometer which has a multi-pass optical configuration.

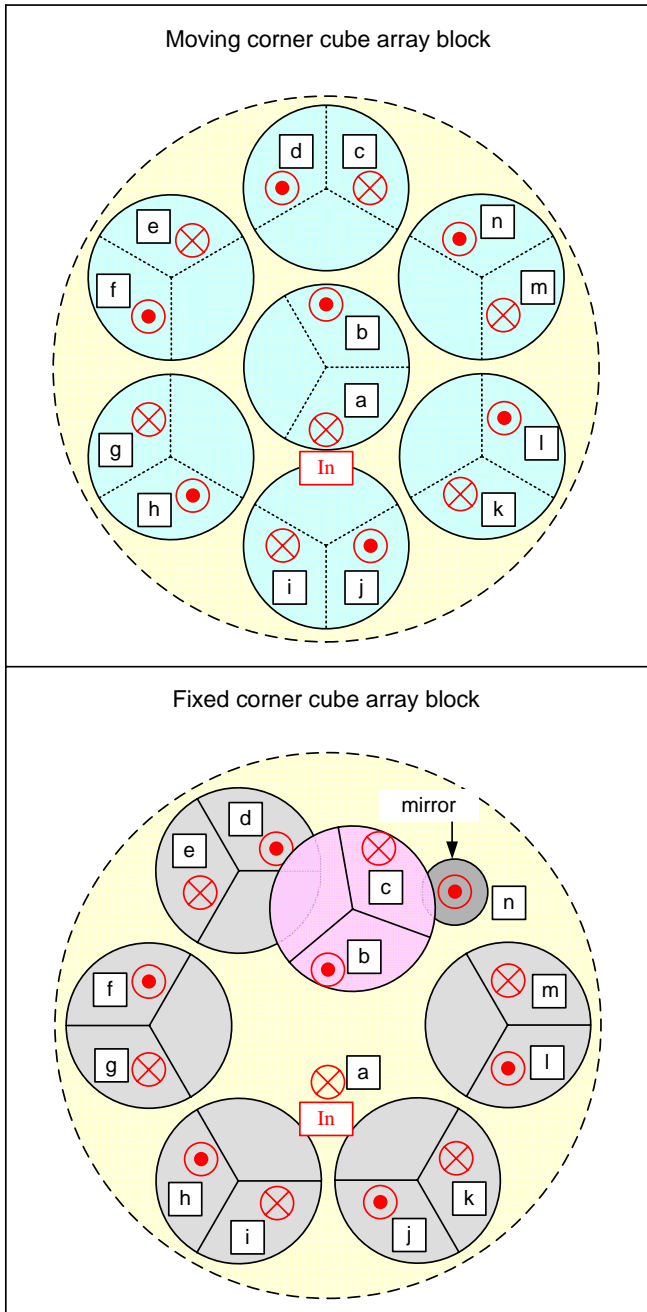


Fig. 3 Optical path of multi-pass interferometer (first seven pass)
 [a → b → c → d → e → f → g → h → i → j → k → l → m → n]

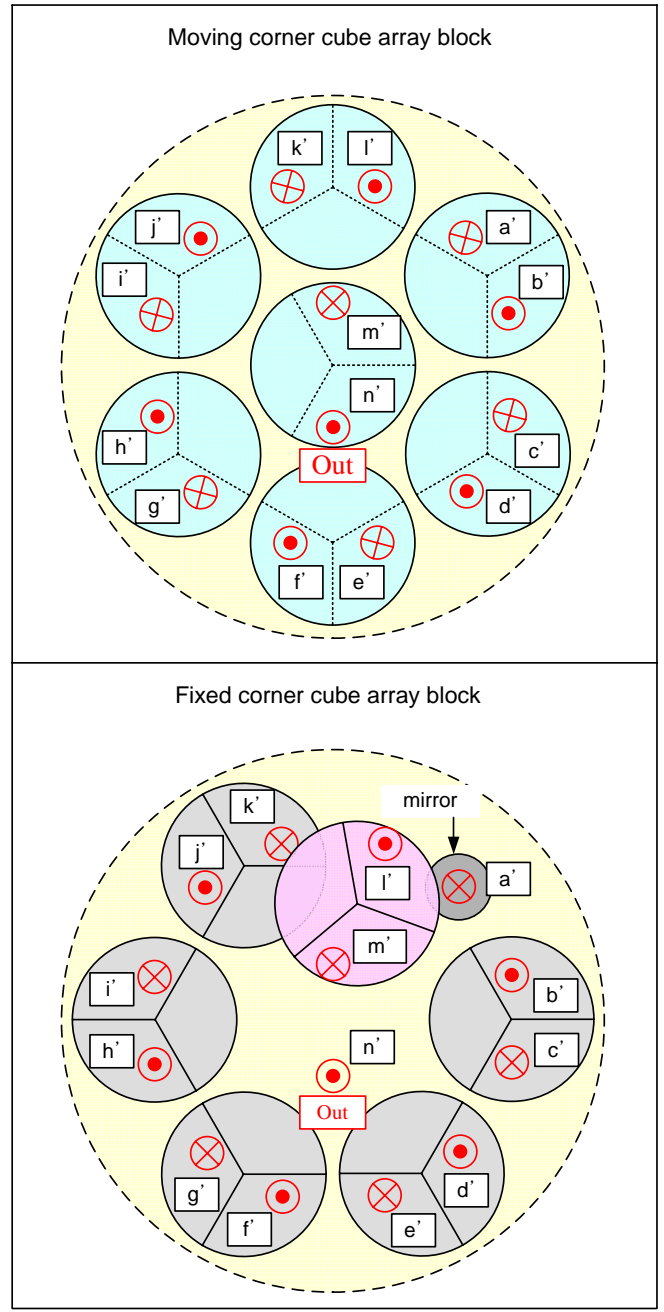


Fig. 4 Optical path of multi-pass interferometer (second seven pass)
 [a' → b' → c' → d' → e' → f' → g' → h' → i' → j' → k' → l' → m' → n']

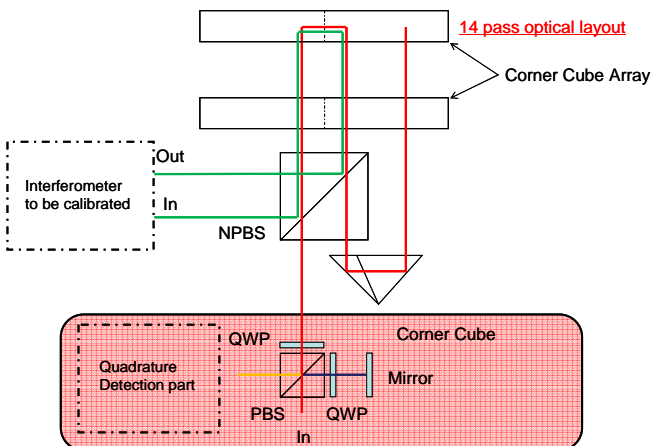


Fig. 5 Simple diagram of high resolution interferometer set up to calibrate other interferometer

4. 결론

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서 사용되는 고분해능 간섭계(high resolution interferometer)는 서브 나노미터(sub nanometer) 길이 측정에서 중요한 역할을 할 수 있으며, 또한 Fig. 5 에서와 같이 다른 간섭계의 교정을 위해서도 사용 가능하다.

참고문헌

1. Ito, T. and S. Okazaki, Pushing the limits of lithography. Nature, 406(6799), 1027-1031, 2000
2. Jong-Ahn Kim, J.W.K., Tae Bong Eom, Development of a Metrological Atomic Force Microscope for the Length Measurements of Nanometer Range. Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 21(11), 75-82, 2004.