

FPGA 모듈을 이용한 Long Range AFM 용 다축 제어 프로그램 개발

이재윤, 엠태봉, 김재완, 강주식, 김종안* (한국표준과학연구원 길이/시간그룹)

Development of Multi-Axis Control Program for Long Range AFM Using an FPGA Module

J. Y. Lee, T. B. Eom, J. W. Kim, C.-S., Kang, J.-A. Kim* (Length/Time Group, KRISS)

ABSTRACT

In general, atomic force microscope (AFM) used for metrological purpose has measuring range less than a few hundred micrometers. We design and fabricate an AFM with long measuring range of 200 mm × 200 mm in X and Y axes. The whole stage system is composed of surface plate, global stage, microstage. By combining global stage and microstage, the fine and long movement can be provided. We measure the position of the stage and angular motions of the stage by laser interferometer. A piezoresistive type cantilever is used for compact and long term stability and a flexure structure with PZT and capacitive sensor is used for Z axis feedback control. Since the system is composed of various actuators and sensors, a real time control program is required for the implementation of AFM. Therefore, in this work, we designed a multi-axis control program using a FPGA module, which has various functions such as interferometer signal converting, PID control and data acquisition with triggering. The control program achieves a loop rate more than 500 kHz and will be applied for the measurement of grating pitch and step height.

Key Words : Atomic Force Microscope (원자간력 현미경), Multi-Axis Control (다축 제어), FPGA Module (FPGA 모듈)

1. 서론

AFM은 구조물의 표면 형상을 관찰하는데 사용되어 왔다. 기술이 발전함에 따라 더 작은 구조물의 치수나 형상을 측정하고자 하는 요구가 증가하게 되었고, 이를 위해 Metrological AFM이 몇몇 국가 연구소에서 개발되었다. 대부분의 이런 시스템들은 정밀한 flexure 스테이지와 정전용량 센서나 레이저 interferometer와 같은 변위 측정 시스템으로 구성되어 있다. Metrological AFM은 주로 critical dimension, 구조물의 pitch나 step-height를 측정하는데 사용된다. 그러나 이러한 시스템은 측정 범위가 수십 μm 로 제한된다는 단점을 가지고 있다. NIST와 PTB 등에서는 이와 같은 측정 영역의 한계를 극복하기 위한 연구가 진행되어 왔고, KRISS에서도 200 mm × 200 mm × 20 μm 의 측정 영역을 갖는 LR AFM을 구성하였다. 이러한 측정 시스템들은 여러 종류의 구동기와 측정기로 구성되기 때문에, 각 구성 요소들의 유기적이고 효율적인 실시간 제어가 가능한 제어기의 구성과 제어 프로그램의 개발이 매우 중요하다.

본 논문에서는 KRISS에서 개발된 LR AFM의 구성을 서술하고, FPGA 모듈을 이용한 다축 제어 프로그램의 구성에 대하여 설명한다. 개발된 제어 프로그램의 성능과 향후 과제를 제시한다.

2. Long Range Atomic Force Microscope

Fig. 1은 Metrological AFM의 모습이다. 스테이지는 surface 플레이트, global 스테이지와 micro 스테이지로 구성되어 있다. DC 모터와 리드 스크류, PZT에 의해 구동하도록 설계하였다. 헤드에는 piezoresistive 타입의 캔틸레버를 사용하여 시스템을 간소화 하였고 안정성을 높였다.

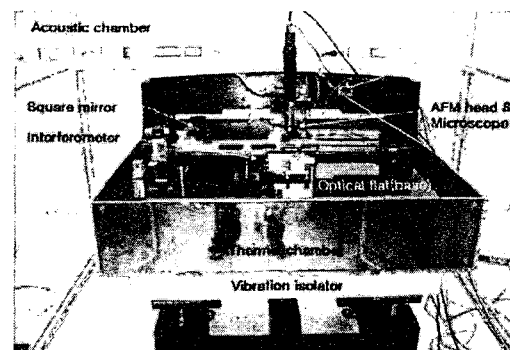


Fig. 1 Picture of Long Range Metrological Atomic Force Microscope

X-Y 방향의 변위를 측정하기 위해 헤테로다인 형의 간섭계를 사용하였다. X 축은 1 축의 평면거울 간섭계를 사용하였고 Y 축에는 3 개의 간섭계를 사

용하여 1 축의 이동거리와 2 축 각도운동을 측정할 수 있다.

3. FPGA 를 이용한 다축 제어 프로그램

시스템 구동을 위한 다축 제어기는 40 MHz 의 clock speed 를 갖는 National Instrument 사의 FPGA 모듈을 이용하여 구성하였다. 이 모듈은 아날로그 I/O, 및 디지털 I/O 을 가지고 있고, 프로그램 작성자가 FPGA 를 이용하여 용이하게 logic 을 재구성할 수 있어 제어기 구성의 융통성을 크게 향상시킬 수 있다. Fig. 2 는 제어 프로그램에 필요한 I/O 구성을 나타낸 다이어그램이다.

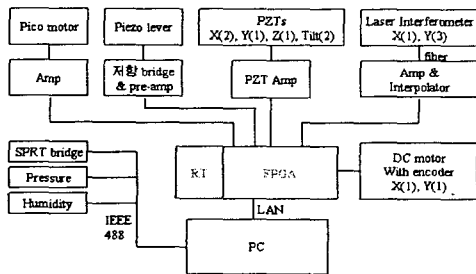


Fig. 2 Schematic diagram of control program

제어 프로그램은 FPGA 프로그램과 Host 프로그램으로 나누어 작성하였다. FPGA 를 사용하여 구성한 프로그램의 구성 요소는 다음과 같다.

카운터 모듈에서는 디지털 I/O 를 사용해 4 축 간섭계 신호 A/B 상 신호를 변환하여 현재 위치를 카운팅하여 표시하도록 하였다. 스테이지 구동을 위한 출력은 DC 모터 2 축(X, Y), PZT 4 축(X, Y, yaw, roll)으로 구성되어 있고 목표 위치를 추종하도록 각각 PID 루프를 구성하였다. 목표 위치를 생성하는 path 생성 모듈을 구성하여 시간에 따른 목표 위치 값을 PID 루프의 set point 입력이 되도록 구성하였다. 또한 path 생성 모듈의 루프 타임을 통해 move 나 scan 속도를 조절하도록 하였다. Tip approach 는 펄스 구동 방식의 피코 모터와 PZT 를 사용하여 구현하였고 Z 축 레버 제어를 위한 별도의 PID 루프를 구성하였다. 데이터 acquisition 모듈에서는 스캔 동작 시 해당 위치에 도달하였는지를 판단하여 데이터를 버퍼에 기록하고 다음 기록할 위치를 생성하도록 하였다. FPGA target 에서 호스트 PC 로 데이터 전송은 high-speed 데이터 acquisition 이 가능하도록 Direct Memory Access(DMA) 전송을 사용하였다. DMA 전송은 FIFO 구조를 사용한다. FIFO 는 두 부분으로 구성되는데 하나는 FPGA 디바이스에 다른 하나는 Host 의 메모리를 사용하여 구성된다. DMA

는 자동으로 FPGA 디바이스 RAM 으로부터 Host machine 메모리로 데이터를 전송한다. Fig. 3 은 DMA FIFO 를 사용하여 작성한 target 및 host 프로그램의 일부이다.

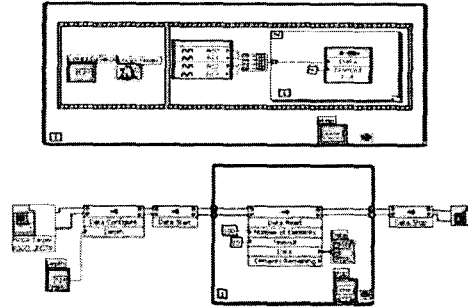


Fig. 3 Target and host program using DMA FIFO

4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 FPGA 모듈을 이용하여 long range AFM 구동을 위한 다축 제어 프로그램을 개발하였다. 개발된 다축 제어 프로그램은 PID 루프를 포함한 target 프로그램 구동 시 500 kHz 이상의 루프타임으로 동작이 가능하다. 또한 FPGA target 과 Host 사이의 데이터 전송에 DMA 전송을 사용하여 high-speed data acquisition 이 가능하도록 하였고 기존의 FPGA Host Interface VI 를 사용하는 것보다 전송 속도를 20 배 이상 향상시킬 수 있었다. 앞으로 레이저 간섭계와 환경 측정장치등과 연결하여 실제 샘플의 pitch, step height 의 측정에 활용할 계획이다.

후기

본 연구는 한국표준과학연구원 길이표준확립 및 유지향상 과제의 일부로 수행되었음.

참고문헌

1. T. V. Vorburger, et al., "Industrial uses of STM and AFM", Annals of the CIRPS, vol.46, 1997, 597-620.
2. G. B. Picotto and M. Pisani, "A metrological SPM for dimensional surface measurement", Proceedings of the EUSPEN, 2001, 402-405.
3. E. C. Teague, Nanometrology, Scanning Probe Microscopy, NIST, Gaithersburg, 1991.
4. W. Häbeler-Grohne and H. Bosse, "An electron optical metrology system for pattern placement measurements", Meas. Sci. Technol., Vol.9, 1998, 1120-1127.
5. T. B. Eom, H. S. Choi and S. K. Lee, "Long range stage for the metrological atomic force microscope", Proceedings of the ASPE, 2001.