

반도체 제조 장비용 Stage 정밀제어 기술개발

전정우, 강도현, 김지원, 전진홍, 전영환

* 한국전기연구소 Mechatronics연구그룹 ** 한국전기연구소 Facts & PQ 연구그룹

Developments of Precision Control Technologies of Stage for Semiconductor Fabrication Devices

°J. W. JEON, D. H. KANG, J. W. KIM, J. H. JEON, Y. W. JEON

* Mechatronics Research Group of KERI ** Facts & PQ Research Group of KERI

Abstract - Precision control technologies are required for Lithography devices. The Linear BLDC Motor is used for operations of the stage. The stage is installed in Lithography devices. The stage is basically controlled though three directions (x, y, z axes). This paper presents precision control technologies of the Linear BLDC Motor (only one axes) by using computer simulations. We will plan that real systems is made and tested

1. 서론

반도체 제조를 위한 공정은 매우 복잡하고 다양한 공정들로 구성되어진다. 그 중에서도 반도체 제조에서 상당히 중요한 공정이 바로 Lithography 기술이다. 이것은 웨이퍼 상에 회로를 구성하기 위해 미리 준비된 패턴을 웨이퍼 상에 기입하는 공정으로 매우 높은 정밀도를 요구하게 된다. Lithography 장비의 중요핵심은 웨이퍼가 놓이게 되는 Stage와 필름이 장착되는 Reticle의 움직임이 일치해야 하는 것으로 아주 정밀하게 제어되어야 한다. Reticle의 경우 1축의 선형제어만 하면 되지만, Stage는 웨이퍼 상에 정밀하게 패턴이 기입될 수 있도록 X, Y, Z축은 물론 각 세축의 회전까지 제어되어야 한다. 본 논문에서는 Stage 및 Reticle 정밀제어 기반 기술로서 1축의 리니어 모터를 정밀하게 제어하기 위한 전체 시스템의 구성 및 고려되어야 할 Factor들을 Simulation을 통해 구현하고, 그 결과를 나타내었다.

2. 본론

2.1 Motor 구조 및 모델링

Lithography를 위한 Stage 및 Reticle용 모터는 정밀하게 제어되어야 하며, 고속운전이 가능해야 하며, 소형화 및 장시간 사용이 가능하여야만 한다. 이와 같은 조건에 따라 BLDC 모터를 선정하였다. 그림 1은 선정된 3상 Linear BLDC 모터에 대한 대략적인 구조를 나타낸다. BLDC 모터의 특성식은 일반 DC모터와 동일하게 표현되며, 식(1)에 BLDC 모터의 상태방정식을 나타내었다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/(L-M) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(L-M) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(L-M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 역기전력 $e_{x(x=a,b,c)}$ 은

$$e_x = K_f \dot{x} \quad (2)$$

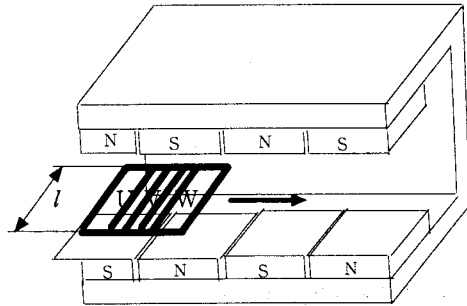


그림 1. 사용된 Linear BLDC Motor의 기본구조

$$K_f = PINB_m \quad (3)$$

x = 이동거리, \dot{x} = 속도, P = 극수

l = x 와 직교한 코일 길이, B_m = 자속밀도

R = 저항, L = 자기인덕턴스, M = 상호인덕턴스

또한 Linear BLDC 모터의 운동방정식은 식 (4)와 같다.

$$M_A \ddot{x} = F - F_L - C_d \dot{x} \quad (4)$$

$$F = K_f \cdot i \quad (5)$$

M_A = Stage 질량, \ddot{x} = 가속도, F = 추력

F_L = 부하, C_d = 마찰계수

2.2 System 구성

Linear BLDC 모터 제어를 위한 기본적인 구성을 그림 2에 나타내었다. 크게 세부분으로 되어 있으며, 첫 번째 부분은 앞에서 제시한 모델링식을 이용하여 모터를 구성하고, 두 번째인 driver 부분은 실제 스위칭과 동일하게 동작하도록 하였다. 마지막으로 제어부분은 PWM 방식의 전류제어와 속도제어 그리고 위치제어로 구성하였다.

2.2.1 Linear BLDC 모터 부분

본 연구에 사용된 모터의 전기적인 회로 구성을 그림 3에 나타내었으며, 3상 단전원방식으로 중성점을 접지하지 않고 제어하는 것을 고려하였다. 모터의 각종 파라미

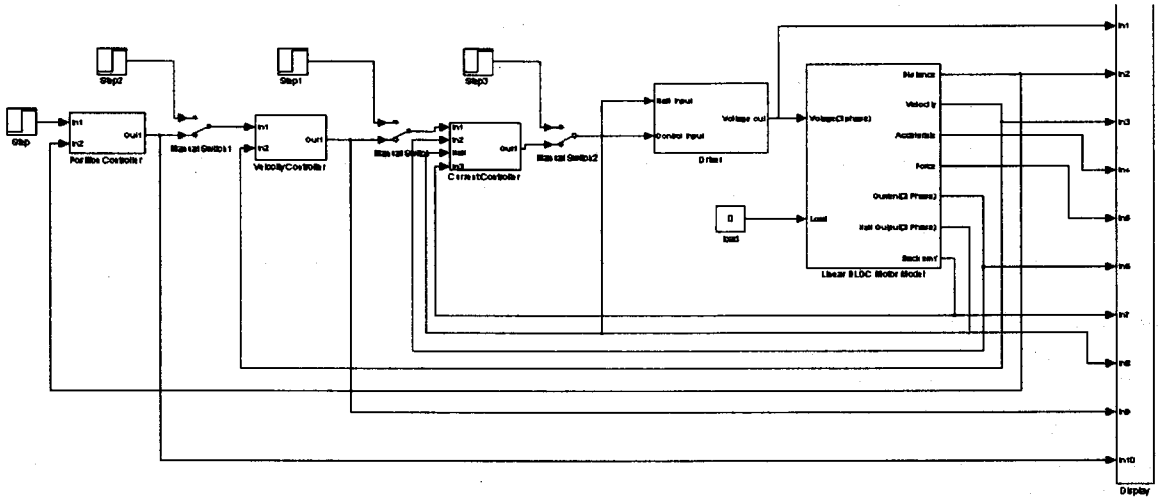


그림 2. Linear BLDC 모터 제어 System 기본구성

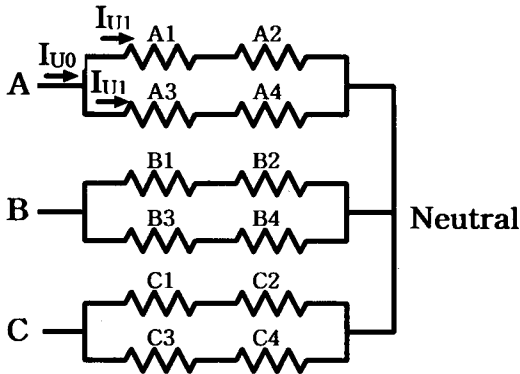


그림 3. 전기적인 회로 구성

표 1. Linear BLDC 모터 파라미터

파라미터	값	파라미터	값
저항(R)	12.1 [Ω]	x와 직교한 코일길이(l)	0.07 [m]
인덕턴스(L)	5.81 [mH]	코일턴수(N)	195
상호인덕턴스(M)	0.285 [mH]	Stage 질량(M _A)	0.93 [Kg]
극수(P)	1	마찰계수(C _d)	0.012
공극	0.001 [m]	영구자석 자속밀도	1.2 [T]

터들은 표1에 나타내었다. 그리고 실제 시스템에 좀더 접근하기 위해 그림 4와 같이 모델링 한 후 직접 FEM 해석을 통하여 자속밀도(B_m)를 구하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

2.2.2 Driver 부분

본 연구에서는 3상 전파방식으로 각상의 전기자 코일을 구동하였으며, 홀 센서 출력에 따른 스위칭 신호는 그림 6과 같이 인가하였다.

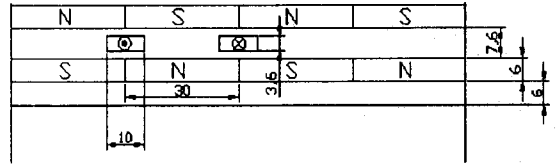


그림 4. FEM 해석 모델링

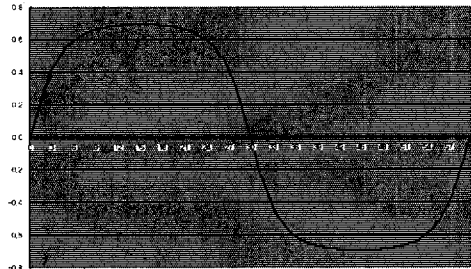


그림 5. FEM으로 해석한 자속밀도(B_m)

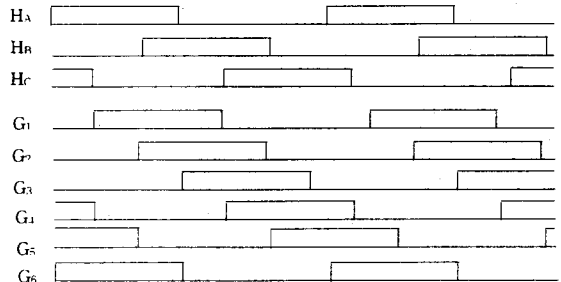


그림 6. Hall 센서 출력에 따른 스위칭 신호

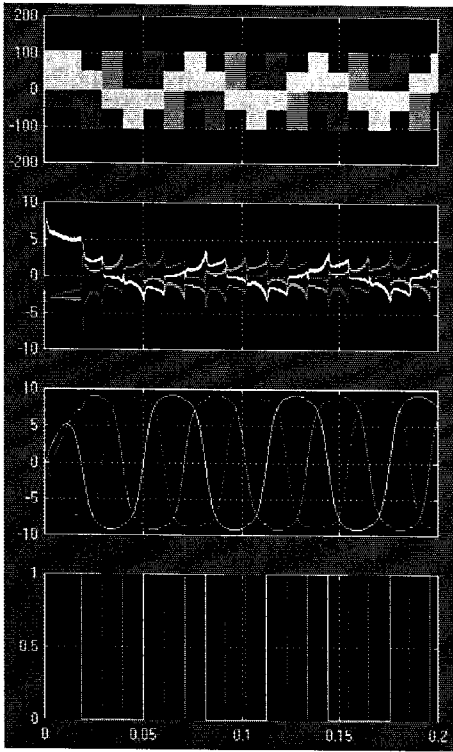


그림 7. 전압, 전류, 역기전력 그리고 홀 센서 신호

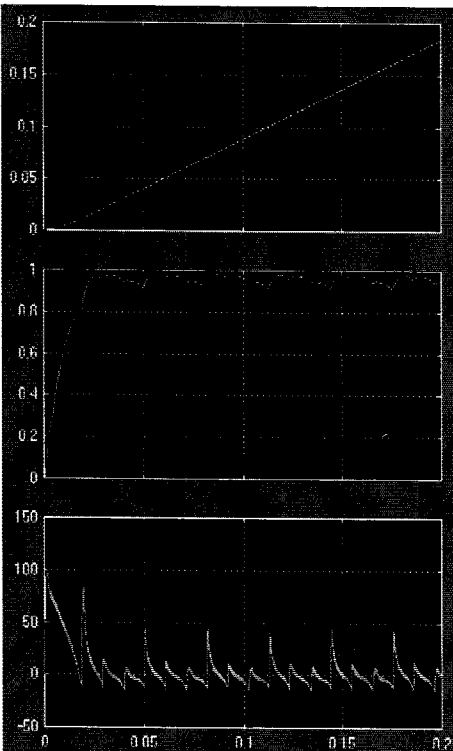


그림 8. 거리, 속도, 힘

2.3 Simulations

실제 시스템에서 약 $\pm 6[A]$ 의 전류를 측정할 경우 8 bit A/D를 사용하는 것을 고려하면 약 $0.046[A]$ 의 정밀도로 측정이 된다. 그러므로 제어되는 전류변화(ΔI)는 $0.046[A]$ 보다 작아야 한다. 시뮬레이션을 한 결과 스위칭 주파수가 50 KHz 일 때 $\Delta I=0.025[A]$ 로 측정되었다. 이때 전압은 $110\sqrt{2}[VDC]$ 를 인가하였다. 그림 7은 3상의 전압, 전류, 역기전력 그리고 홀 센서의 신호를 각각 나타내었다. 역기전력에 대해 전류파형이 많이 왜곡됨을 알 수 있다. 그림 8은 속도기준을 $1[m/s^2]$ 하였을 경우에 대한 거리, 속도, 힘을 각각 나타내었다. 전류파형의 왜곡에 따라 발생하는 힘에 영향을 주게되어 최종적으로 속도기준 근처에서 진동이 생김을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 반도체 제조장비 중 Lithography 장비에 사용되는 stage의 정밀제어를 위한 기반 기술로서 1축 Linear BLDC 모터의 정밀제어를 위한 전체 시스템을 모델링 하였으며, 좀 더 실제 시스템과 유사하게 하기 위해 직접 FEM을 통하여 해석한 자속밀도를 Simulation에 적용하여 전류 및 속도 그리고 거리를 제어하는 시스템을 구성하였다. 향후 좀더 정밀한 제어를 위하여 3상 제어 및 각상 독립제어를 혼합한 형태에 대하여 연구할 예정이며, 실제 시스템을 구성하여 시험할 계획이다.

(참 고 문 헌)

- [1] PRAGASEN PILLAY, RAMU KRISHNAN, "Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II: The Brushless DC Motor Drive", IEEE Transaction on Industry Applications, VOL.25, NO.2, pp.274-279, MARCH/APRIL 1989.
- [2] S.J.Park, H.W.Park, M.H.Lee, Fumio Harashima, "A New Approach for Minimum-Torque-Ripple Maximun-Efficiency Control of BLDC Motor", IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL.47 NO.1, pp.109-113, FEB. 2000.
- [3] S.J.Park, H.W.Park, M.H.Lee, Fumio Harashima, "A New Approach for Minimum-Torque-Ripple Maximun-Efficiency Control of BLDC Motor", IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL.47 NO.1, pp.109-113, FEB. 2000.