

반도체 공정용 3 자유도 미진동 해석

Analysis of 3DOF Micro Vibration for Semiconductor Manufacturing

김형태† · 김철호* · 이강원* · 이규섭**
 Kim Hyung Tae, Kim Cheol Ho, Lee Kang Won and Lee Kyu Seop

1. 서론

반도체 공정의 미세화 및 집적화에 따른 제조 환경의 수준도 점진적으로 높아지고 있다. 일반적으로 반도체 공정에서 진동이 문제가 되는 경우는 노광기 같이 고정밀도가 요구되는 고가의 설비를 활용하는 경우이다. 노광기 같은 설비에서 진동 절연을 하기 위하여는 하부 구조물로 공기 스프링을 사용한다. 설비를 지지하는 공기 스프링은 고하중에 견디기 위하여 탄성복합 소재로 챔버를 구성하고 내부에 공기를 채워 사용한다. 공기 스프링은 수백 kg ~ 1ton의 하중을 지지할 수 있으며, 하나의 설비에 다수의 공기 스프링을 사용한다. 공기 스프링은 바닥 진동을 잘 차단하며, 설비에서 발생한 진동도 잘 흡수한다. 공기 스프링의 탄성력에 비하여 부하 하중이 매우 크므로, 일반적으로 공진 주파수가 수 Hz 근방에 형성된다. 따라서, 저주파 노이즈 성분에 대단히 취약하며, 진동을 제거하는 과정에서 저주파 성분에 의하여 진동이 소거되는 시점까지 많은 시간이 발생하기도 한다. 이러한 문제를 해결하고자 최근에는 MR 및 전자기를 이용한 진동 제어 방법이 연구되고 있다. 본 연구에서는 반도체 공정의 고하중 공기 스프링에서 발생하는 진동을 active 하게 제어하는 시스템을 대상으로 3 자유도 진동을 측정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 3 자유도 미진동 모델

2.1 제진 시스템 구조

공기 스프링을 이용한 제진 시스템은 고하중의 설비 하단에 다수의 공기 스프링이 지지되어 있다. 상부 설비에는 이송 기구가 움직이고 있어서 진동 발생 및 무게 중심의 변화가 나타난다. 이러한 효과를

† 교신저자; 한국생산기술연구원 생산시스템연구부
 E-mail : htkim@kitech.re.kr
 Tel : (041) 589-8478, Fax : (041) 589-8460
 * 한국생산기술연구원
 ** RMS 테크놀로지

모사하기 위하여 Fig. 1 과 같은 시스템을 구성하였다. 3ton 석정반으로 고하중을 가하고, 상부에 리니어 모터와 100kg 의 mass 를 가하여 가상 동하중을 모사할 수 있다. 각 공기 스프링 측면에는 공기 스프링의 변화를 측정하기 위하여 3 μ m 정밀도의 변위 센서(sentec, LS-500)를 설치하였다.

2.2 진동 해석

Fig. 1 의 제진 시스템은 Fig. 2 와 같이 이상화할 수 있다. 각 공기 스프링의 변위 x 는 진동이 없는 안정된 상태를 기준으로 발생한 상대 변위로 정의한다. z 는 정반의 중심의 변위, ϕ 와 θ 는 각각 정반의 roll 과 pitch 각도를 의미하며, 5 도 이내의 작은 각도로 가정한다.



Fig. 1 Layout of active vibration control system

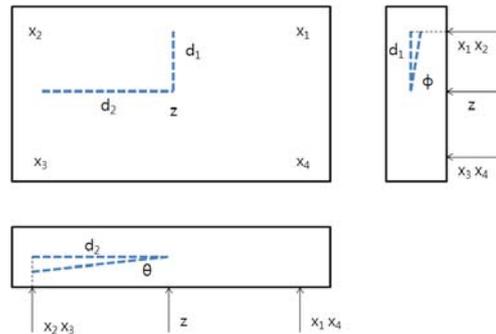


Fig. 2 Notation of active vibration control system

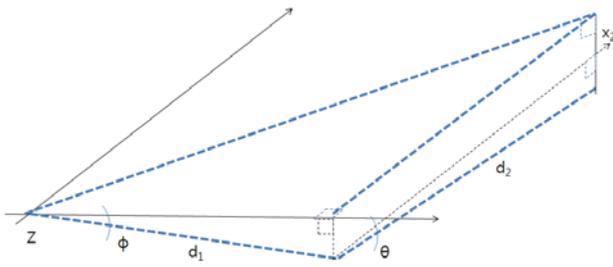


Fig. 3 Coordinate system and geometric relation

따라서, z 는 각 변위의 평균으로 계산할 수 있다.

$$z = \frac{1}{4}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \quad (1)$$

또한, 수식의 검산을 위한 계수로 c 를 정의하고, c 는 이상적으로는 0 이지만, 실험에서는 0 에 가까운 값을 가져야 한다. 따라서, 대각선 방향에 위치한 점들의 조합으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1 - z &= d_1 \sin \phi - d_2 \sin \theta \\ x_2 - z &= d_1 \sin \phi + d_2 \sin \theta \\ x_3 - z &= -d_1 \sin \phi + d_2 \sin \theta \\ x_4 - z &= -d_1 \sin \phi - d_2 \sin \theta \end{aligned} \quad (2)$$

Fig. 3 과 같이 기울어짐에 의하여 x_2 가 양의 방향의 값을 갖는다는 가정하에 각 지점의 변위와 roll, pitch 각과의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c = \frac{1}{4}(x_1 + x_3 - x_2 - x_4) \quad (3)$$

수식 (1)-(3)을 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} z \\ \phi \\ \theta \\ c \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{-2}{d_1} & \frac{-2}{d_1} & \frac{2}{d_1} & \frac{2}{d_1} \\ \frac{2}{d_2} & \frac{-2}{d_2} & \frac{-2}{d_2} & \frac{2}{d_2} \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\phi \dot{\phi}^2 \ll \ddot{\phi} \quad \theta \dot{\theta}^2 \ll \ddot{\theta} \quad (5)$$

또한, 수식 (3)을 두 번 미분하고, 식(5)의 가정을 적용하여 정리하면, 식 (6)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{c} \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{2}{d_1} & \frac{2}{d_1} & \frac{-2}{d_1} & \frac{-2}{d_1} \\ \frac{-2}{d_2} & \frac{2}{d_2} & \frac{2}{d_2} & \frac{-2}{d_2} \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \end{pmatrix} \quad (6)$$

3. 실험 및 결과

Fig. 1 과 같은 제진 시스템을 구축하고 각 공기 스프링마다 변위센서와 3 축 가속도 센서를 설치하였다. 실험시 중앙을 impact 하고 TMS C6713 DSP 로 AD 16 채널로 센서를 1kHz 로 모니터링하였다.

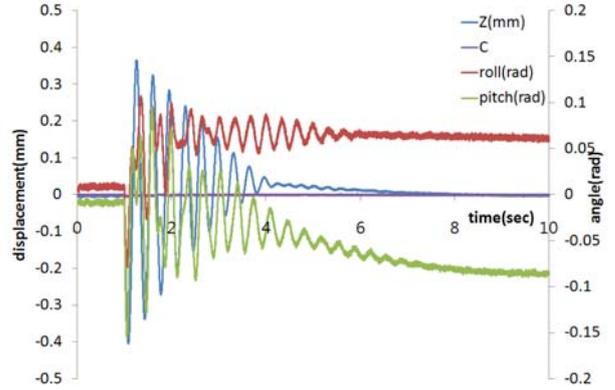


Fig. 4 Result from displacement sensors

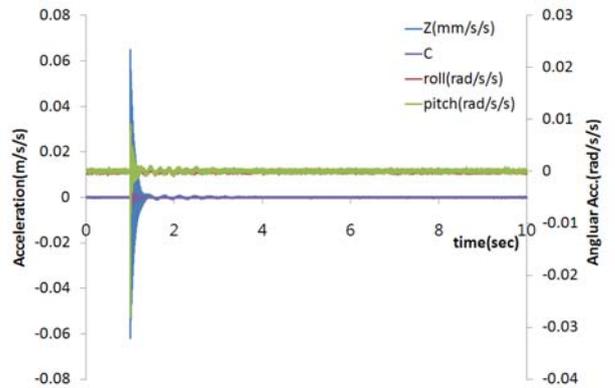


Fig. 5 Result from acceleration sensors

실험시 정반이 안정화된 상태를 기준으로 각 센서의 reference 를 잡고 이에 대한 변화를 관측하였다.

Fig. 4 는 변위 센서에서 취득한 신호를 연산한 결과이다. 정반의 중심, roll, pitch 각도가 산출됨을 알 수 있다. 검증 계수는 거의 변화 없이 0 에 가까운 값을 갖는다. Fig. 5 는 가속도 센서에서 취득한 신호를 연산한 결과이다. 정반의 중심, roll, pitch 가속도가 산출됨을 알 수 있다. 다만, impact 시 발생하는 고주파는 정반 자체의 고체 진동에 의한 것으로 motion 과는 별개이다. 검증 계수도 거의 0 에 가까운 값을 갖으나, impact 시 약간의 변화가 발생한다. 이 역시 고체 진동에 의한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 반도체 생산 공정에서 발생하는 진동을 억제하고자 사용되는 공기 스프링 기반의 시스템에 대한 3 자유도 미진동 모델을 제시하였다. 각 공기 스프링의 변위와 가속도로부터 정반의 중심, roll, pitch 운동을 모델링할 수 있고, 계산의 신뢰도를 검증하는 계수까지 포함한 4x4 행렬을 수식화하였다. 제안된 수식은 실험을 통하여 유효성을 검증하였다.