

## 기판스테이지 온도에 관한 연구

김선기<sup>†</sup> · 이우영\* · 강흥석\*\*

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 기계공학과, \*한국기술교육대학교 기계정보공학부, \*\*오에프티주

### A Study on Substrate Stage Temperature

Sun Ki Kim<sup>†</sup>, Woo Young Lee\* and Heung Suk Kang\*\*

<sup>†</sup>School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

\*School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

\*\*O.F.T Co., Ltd.

#### ABSTRACT

This paper shows that the effect of exposing on the top area and a solution which using a water circulation system. Semiconductor substrate stage is made from Aluminum and is repeated the sequence of exposing (150), turning OFF shutter, taking 30 sec. interval at the top area of stage. So the temperature of substrate temperature rises continuously. On this, we made a waterway at the inner part of the substrate stage and operated a water circulation system. We measured the temperature of a substrate stage surface with a thermocouple attached to the substrate stage. To analyze the top area's temperature, we used Analysis Program ANSYS for analysis and 3D CAD program Solid-Works for modeling.

**Key Words :** Exposing, Water circulation system, Semi-conductor, Substrate stage, Thermocouple.

#### 1. 서 론

“대면적 Lithography 장비 mask holder part의 경량화 구조해석”에 의하면 국내 디스플레이 산업은 향후의 시장 상황을 볼 때 굉장한 부가가치가 생성될 것으로 보이며, 현재 디스플레이 반도체 기판에 패턴(Pattern)을 형성하는 노광(lithography)장비 기술의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다[4]. 본 연구는 노광 과정에서 패턴이 새겨진 마스크(mask) 위에 빛 에너지가 지속적으로 작용할 때 이로 마스크 및 스테이지의 온도 상승으로 인해 열 변형이 생기게 되었다. 이를 해결하기 위해 기존에는 에어컨디셔너(air conditioner)를 통해 나오는 냉풍(23°C)을 마스크 위에 작용시켜 마스크 부의 문제는 해결하였으나 마스크 밑에 위치한 스테이지(stage)부는 노광 과정 중 윗부분에 위치한 마스크의 의해 냉풍이 도달하지 못하므로 지속적으로 온도가 상승하는 문제가 발생하게 되어 일정 시간 이상 가동하

기 어렵게 되었다. 이를 해결하기 위하여 스테이지 내부에 수로를 형성하고 냉각수 순환시스템(water circulation system)을 가동하여 열에 의한 변형을 방지하는 시스템(system)을 고안하게 되었다. 기판스테이지의 온도 측정에는 써머커플(thermocouple)을 이용하였고 빛이 지속적으로 가해졌을 때와 냉각수 순환 시스템을 가동하였을 시의 온도를 측정하였다. 형상 모델링(modeling)은 “Solid-works 2000 Training Guide”를 참조하여 3D CAD 프로그램인 Solid-Works를 이용하여 기본 형상 및 냉각수 통로와 패턴 형성 시 기판을 잡아주는 공압 통로를 모델링 하였으며, 기판의 온도 분포 해석은 “유한 요소 해석입문과 선형해석 제 4판” 중 온도분포와 변형에 대한 부분에 대한 학습을 토대로 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 해석하였다[1], [3]. 기판 스테이지 윗면에 작용하는 빛 에너지와 냉각수 순환 통로를 통해 물이 흐를 때의 온도 데이터(data)를 얻는 방식으로 해석온도와 실 측정 온도를 비교하였다.

<sup>†</sup>E-mail : j7312@kut.ac.kr

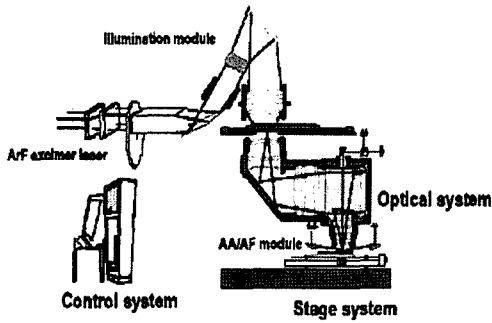


Fig. 1. Lithography equipment.

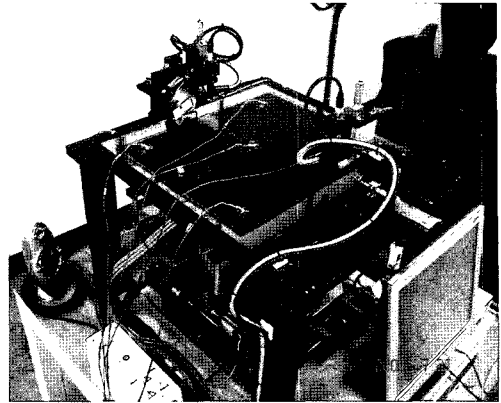


Fig. 4. Stage part of lithography equipment.

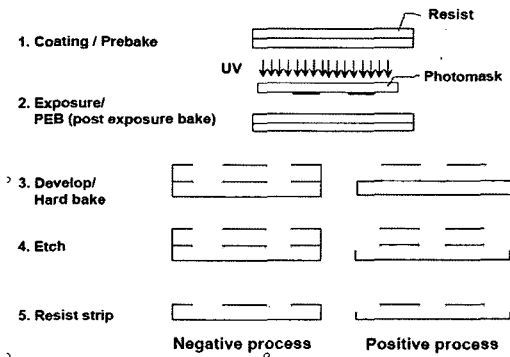


Fig. 2. Photolithography process.

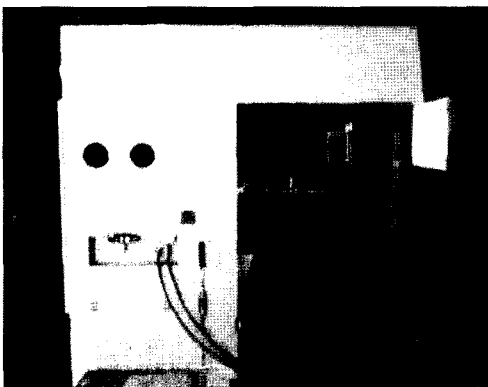


Fig. 3. Illumination part of lithography equipment.

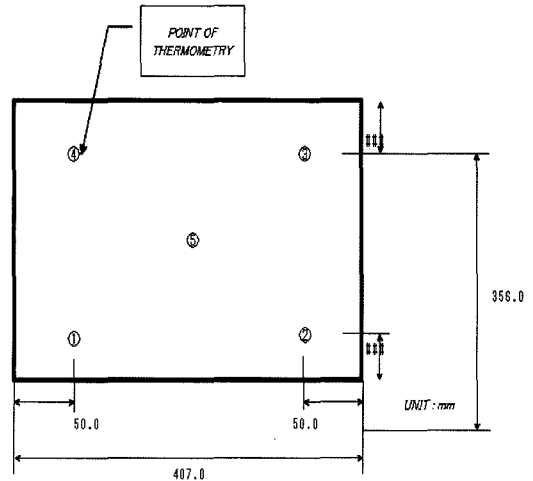


Fig. 5. Drawing of the Stage part.

## 2. Lithography 장비의 개요

Lithography란 광을 이용하여 기판 위에 원하는 Pattern을 구현하는 기술로서 반도체 및 디스플레이 생산에서 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있으며 광원으로는 일반적으로 U.V가 주로 사용되어 지고 있다. Fig. 1은 lithography 장비의 기본 개념을 보이고 있다.

Lithography 과정은 Fig. 2에서 보는 기판 위에 감광제를 도포하고 그 위에 마스크(mask)를 올린 후 빛의

노출에 의한 패터닝(patterning) 과정과 에칭(etching)과정을 반복하면서 기관 회로를 형성한다.

Fig. 3은 노광 과정에 쓰이는 광원부로 광학시스템을 통한 빛을 스테이지부에 노출시키는 역할을 하고 Fig. 4는 그 빛을 받아 패턴을 형성시키는 스테이지부의 실물이다.

Optical System의 경우 Lithography방식에 따라 Contact, Proximity의 두 가지 형태로 나뉜다. Contact은 Mask와 Panel을 밀착하여 Exposure하는 방식으로 Mask와 Panel을 강제로 진공 밀착하는 방식이다. 이러한 접촉식 Exposure방식은 Pattern이 Mask에 밀착되어 있어서 빛의 회절을 줄이게 되므로 Mask Pattern을 비교적 정확히 전달하는 것이 가능한 장점을 가지고 있다. 본 연구는 접촉식 방식에 대한 연구이다.

### 3. 해석을 위한 기본 방정식

#### 3.1. 내부 유동의 이론

“A Study on Optimization of Air Cooling and Ventilation Control System for Semiconductor Processes”에서 발췌한 냉수 시스템의 내부 유동에 대한 지배방정식은 질량보존법칙과 에너지방정식은 다음과 같다 [7]. 유체가 물이므로 비압축성으로 가정하며 정상 상태에서의 입구와 출구가 하나인 경우에 대해 연속 방정식은 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$Q = U_1 A_1 = U_2 A_2 \tag{1}$$

여기서 Q는 유량, A는 직경, U는 유속을 나타내며 임의의 직경과 속도를 가지는 유체가 입구를 통해 들어가고 출구를 통해 나오는 양은 같다는 것을 나타낸다. 즉 질량이 보존 됨을 나타낸다. 또한 비압축성 정상상태에서의 입구와 출구의 개수가 다를 경우에 대해 질량 보존 법칙을 적용하면

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \tag{2}$$

로 표현 할 수 있다.

유체 유동에 대한 에너지 방정식은 베르누이 방정식으로 알려져 있으며 에너지에 대한 방정식은 식(3)과 같다.

$$E = gz + \frac{p}{\rho} + \frac{U^2}{2} \tag{3}$$

여기서, E 는 에너지, g는 중력가속도, z는 높이, p 는 압력, ρ는 밀도, U는 속도를 나타낸다.

식(3)을 중력가속도 g로 나누어 주면 수두에 대한 방정식이 된다.

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \tag{4}$$

또한, 식 (3)에 ρ를 곱하면 압력에 관한 방정식으로 표현 된다.

$$P = \rho gz + p + \frac{\rho U^2}{2} \tag{5}$$

위의 식(4)와 식(5)에 의해 수두차에 대한 식은

$$\Delta H = \left( z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right)_1 - \left( z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right)_2 \tag{6}$$

로 나타내어진다.

손실계수 K는 식(8)처럼 표현된다.

$$K = \frac{\Delta H}{U^2/2g} \tag{7}$$

관 내부의 흐름은 완전히 둘러싸인 채로 진행되므로, 유체는 일정한 흐름율로 운동하며, 대류 열전달이 안쪽 표면에서 일어난다. 전형적으로 축 방향의 전도에 의한 에너지 전달뿐만 아니라, 유체의 운동에너지 및 위치에너지는 무시할 수 있다. 따라서 유체가 관을 통해 운동할 때 열에너지의 변화와 흐름일에 관한 것들만이 중요한 영향을 미친다. 따라서 관 내부의 열 전달율은 다음과 같다.

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) \tag{8}$$

여기서 m은 질량, Cp는 비열, T는 온도이다.

(8)을 사용하여 스테이지 내부에서 발생하는 열량을 냉각수가 흡수하는 과정을 계산하였다.

### 4. 온도변화측정

실험과정은 레이저 시스템과 광학 시스템을 거친 빛이 기판 스테이지 위에 150 mj/cm<sup>2</sup>의 빛 에너지가 30s의 interval을 가지고 노출될 때 스테이지 윗면에 기판을 놓고 Fig. 5와 같이 각 지점에 써머커플을 붙여서 각 지점에서 발생하는 온도의 변화 데이터를 측정하는 방식을 취했다. 측정은 20s 단위로 실시하였다.

#### 4.1. 비 냉각 시 온도 분포

기판에 Fig. 4에서 보는 바와 같은 위치에 써머커플

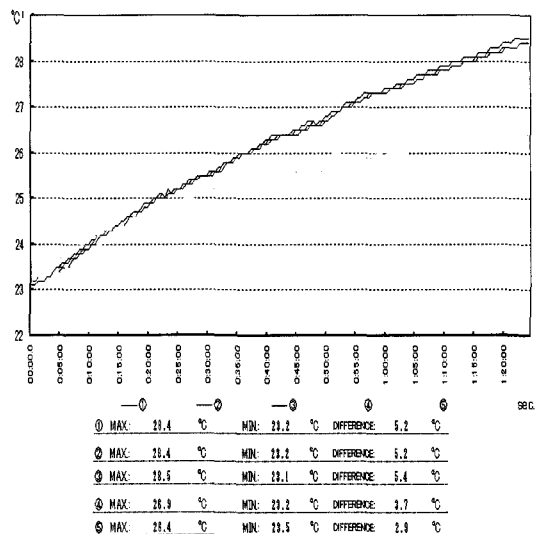


Fig. 6. Temperature at uncooled condition.

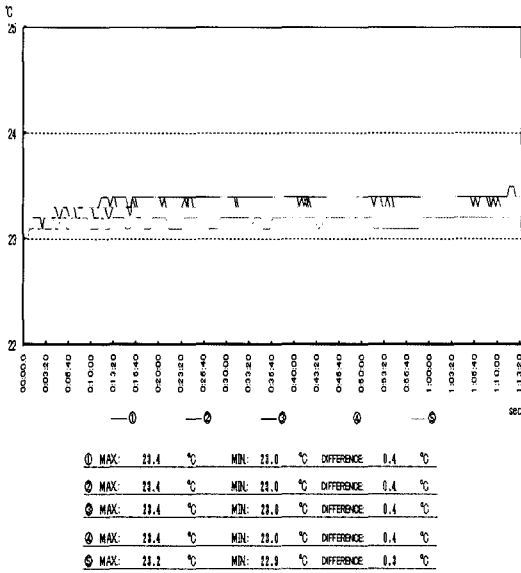


Fig. 7. Temperature at cooling condition.

을 붙이고 각 지점에서 발생하는 열 데이터를 읽어 들였다. 스테이지 위에 빛 에너지가 지속적으로 가해질 때 알루미늄 재질로 만들어진 스테이지는 열량을 방출할 방법이 없어 Fig. 6에서 보는 바와 같이 시간이 흘러감에 따라 지속적으로 온도가 상승한다. 이러한 온도의 증가는 기판 스테이지의 열 변형을 일으키고 특히 lithography 방식 중 Contact방식은 기판과 스테이지가 붙어있는 시간에 pattern을 형성하므로 열 변형이 발생할 시 pattern이 어긋나게 되고 불량 발생하게 되므로 이를 해결할 방법을 강구하게 되었다.

4.2. 냉각 시 온도 분포

냉각을 위한 방법으로 스테이지 내에 냉각수를 순환시키는 방법을 고안해냈다. 냉각수를 순환시키는 순환 시스템(circulation system)은 냉각수의 온도를 일정한 온도(23°C)로 온도를 조절하는 시스템을 갖추고 있어 냉각수가 항상 일정한 온도를 유지한다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 냉각수 순환 하였을 시 시간이 흘러도 스테이지의 온도가 23~24°C 내를 오가며 안정적인 상태를 보인다.

5. 해석과정

해석을 위한 모델링은 3DCAD프로그램인 Solid-Works를 이용하여 기판스테이지 외형과 내부 공압(진공)로와 냉각수로를 형성 내부에 모델링하였다.

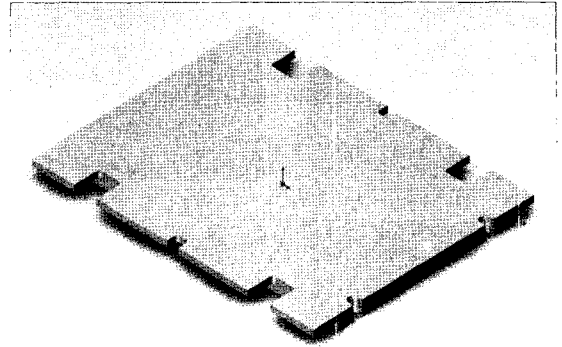


Fig. 8. 3D solid-works modeling.

Table 1. Used data for thermal analysis

| Element Type | Thermal-Solid Brick 8node 70 |
|--------------|------------------------------|
| 열전달율         | 204 W/m°C                    |
| Heat flux    | 1.5 mj/mm <sup>2</sup>       |
| 냉각수온도        | 23°C                         |
| Mesh Size    | Smart Mesh 5                 |

해석 프로그램인 ANSYS에서 위의 형상을 불러들이고 Table 1과 같이 데이터를 부여하고 mesh를 나눈 후 기판 윗면에 150 mj/cm<sup>2</sup>의 에너지를 부여하고 그림과 같이 냉각수가 흐를 때의 온도변화를 얻어내는 과정을 통하여 결과값을 얻어냈다.

Fig. 9와 같이 Mesh를 부여한 후 Fig. 5와 같은 지점의 열 데이터를 얻어 비교하기 위해 Fig. 10과 같이 스테이지 윗면의 node를 활성화한 후 각 지점을 확대하여 node 번호를 알아내는 방식을 취하였다. 위의 과정을 통하여 측정한 5개 지점의 node 번호를 알아낸 후

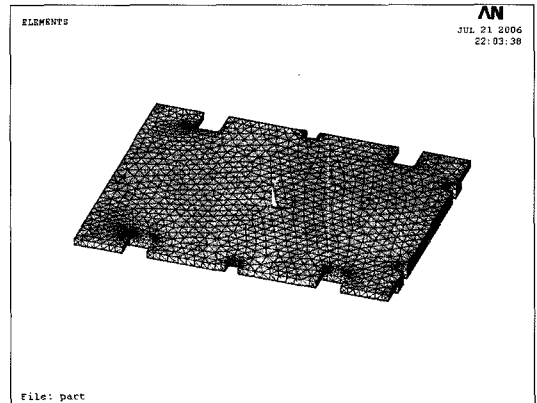


Fig. 9. Meshed modeling shape.

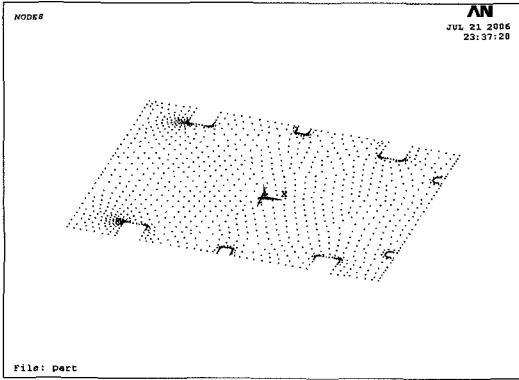


Fig. 10. Node at top area of stage.

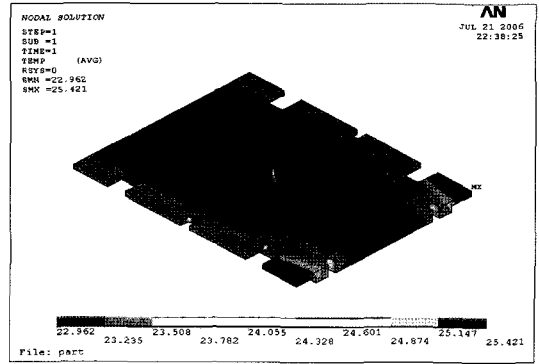


Fig. 13. Result of thermal analysis.

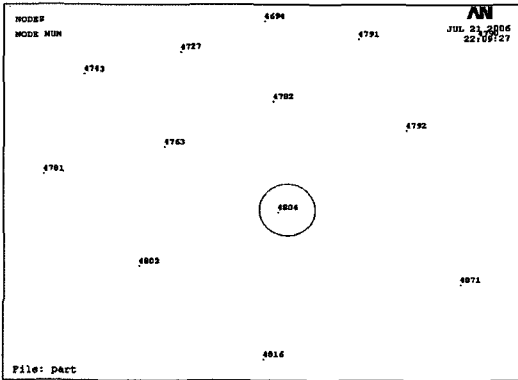


Fig. 11. Finding node number.

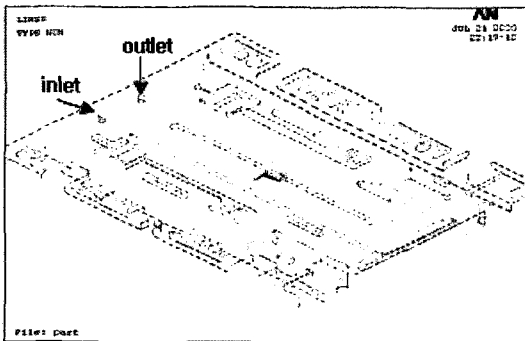


Fig. 12. Inner modeling of stage part.

Fig. 12와 같이 inlet으로 냉각수가 들어가고 열량을 흡수하여 outlet으로 나올 때의 해석결과가 Fig. 13에 나타난 바와 같은 온도 분포이다. Table 2는 써머커플로 실 측정된 온도와 열 해석을 통해 얻어진 온도의 비교이다.

Table 2. Comparison of measured temp. & analysis temp.

| 지점 | Node number | 측정온도(°C) | 해석온도(°C) |
|----|-------------|----------|----------|
| 1  | 4776        | 23.4     | 23.3     |
| 2  | 4972        | 23.4     | 23.4     |
| 3  | 4966        | 23.4     | 23.3     |
| 4  | 4804        | 23.4     | 23.3     |
| 5  | 5493        | 23.2     | 23.2     |

## 6. 결 론

빛에 의한 lithography과정 중 기판 스테이지는 받은 열량을 배출하지 못하여 온도가 급격히 상승하게 되었다. 이로 인한 변형이 생기고 패턴(pattern)을 형성하는 과정에서 패턴이 어그러지는 문제를 해결하기 위해서 스테이지 내에 냉각수 통로를 형성시키고 23°C의 냉각수를 순환 시켜보았다. 스테이지의 온도는 5개 지점에서 유사하게 측정되었고 이를 통해 온도상승의 문제를 해결하게 되었다. ANSYS를 통해 해석한 온도 데이터와 스테이지 5개 부에 써머커플을 붙이고 얻은 실제 온도 데이터가 유사하게 나타나 차후에 제작 전 해석을 통해 내부 냉각수로를 설계할 수 있는 신뢰를 얻었다. 현재 반도체 디스플레이(display)시장은 지속적으로 성장하게 되면서 기판이 대형화 되고 이로 인해 노광 장비도 대형화 되고 있다. 장비가 대형화되면서 더 크게 문제가 되는 스테이지의 열량 배출문제를 해결하기 위한 해결책으로 냉각수 순환 방식이 추천되어진다. Contact방식의 스테이지를 설계하기 위해서는 기판을 잡아주는 공압(진공)로와 냉각수로를 동시에 설계해야 하는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위한 다각적인 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02)지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. “유한 요소 해석입문과 선형해석 제 4판” (주) 태성엔스엔이 FEA사업부, 2005.
2. 구남서, 권영두, 김위대, 박훈철, 조맹효, 박정선 공역, “알기 쉬운 유한요소 해석”, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2001.
3. 이미란, “Solid-works 2000 Training Guide”, 2001.
4. 정준영, 이우영, 강홍석, “대면적 Lithography 장비 mask holder part의 경량화 구조해석,” 한국반도체및 디스플레이장비학회춘계학회, pp.244-250.
5. Louis, C. Burmeister, “Element of Thermal Fluid System Design”, Prentice Hall, 1998.
6. Miller, D. S., “Internal Flow System”, BHRA(information service), 1986.
7. Ki-Won Kim, “A Study on Optimization of Air Cooling and Ventilation Control System for Semiconductor Processes”, K.U.T., 2004.