

리소그래피 장비 마스크 홀더부의 경량화를 위한 최적 설계

정준영*, 이우영**, 강흥석**

*한국기술교육대학교, ***(주)오에프티

Abstract

The need for technological developments of lithography equipment is urgent for the stable production in response to the rapid growth of the recent display industry. As an example, the products currently in the market face alteration problems resulting from excessive weight of the mask holder part. This is one of obstacle for the automation of the equipment. In response, the mask holder part problem has been minimized through FEM and design of experiments in order to optimize the situation with minimized Deflection and reduced mass for satisfactory replacement of the mask holder part.

1. 서론

최근 디스플레이 산업의 폭발적인 성장과 더불어 보다 안정적인 생산을 위해서는 리소그래피(Lithography) 장비의 국산화 기술개발이 시급한 상황이다. 국내에서 가장 폭발적으로 성장하고 있는 디스플레이 산업은 향후의 시장 상황을 볼 때 굉장한 부가가치가 생성될 것으로 보이며 조만간 반도체 메모리시장의 크기를 능가할 것으로 예측되는 대형 성장 산업으로 국가의 몇몇 주력 산업중의 하나가 될 가능성이 크다. 이러한 디스플레이 산업을 현재와 같은 시장 주도 상황으로 지속적으로 유지하기 위해서는 시장요구에 맞추어서 대형사이즈의 디스플레이를 생산 해야 하고 이를 위해서는 디스플레이 생산 장비에 대한 전략적 투자가 필요하다. 그러나 이러한 디스플레이 장비들은 거의 60% 이상이 국외에서 수입하여 오고 있는 실정이며, 핵심장비의 경우 주로 일본 장비 업체들로부터 수입하고 있어서 현재의 국가간의 문제라든가 하는 이유로 국가적으로 국내에 판매되는 장비의 수출을 조절 및 제한 할 경우 디스플레이 산업 자체에 지대한 영향이 올 것으로 보이며, 이러한 것은 현재 현실로 나타나고 있다. 특히 핵심 개발 장비의 경우 아예 국내에 판매하지 않는 장비가 있으며, 향후 개발 관련된 핵심 장비의 경우 일정 기간 동안 판매를 하지 않으려는 움직임이 일어나고 있다.^[1]

과거 일본에서는 반도체에서의 빠져런 경험과 LCD 대형 패널(Panel)의 경험에 의하여 더욱더 보수적인 경향으로 나아 가려고 하고 있다. 이에 국가는 정책적으로 디스플레이 장비 산업에 대한 연구 개발 및 투자지원을 하고 있는 상황이나 아직 일본이나 외국 선진기술의 수준에는 못 미치는 실정이다. 이러한 디스플레이 제조 장치 중 4대 핵심 장비인 코팅(Coating) 장비, 증착(Deposition:CVD) 장비, 식각(Etching) 장비, 리소그래피(Lithography)장비 중 아직 인프라가 성숙되지 않아 국산화 초기 단계에도 진입하지 못한 리소그래피(Lithography)장비를 개발하는 것은 향후 디스플레이 시장의 주도를 위해 꼭 필요한 일이다.^[2]

리소그래피(Lithography)란 광을 이용하여 기판 위에 원하는 패턴(Pattern)을 구현하는 기술로서 반도체 및 디스플레이 생산에서 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있으며 광원으로는 일반적으로 극자외선(U.V)이 주로 사용되어 지고있다. 리소그래피(Lithography)장비는 반도체 및 디스플레이공정 중 정렬(Align)과 노광(Exposure)를 실행하는 장비를 말하며 Fig 1에서 보는 바와 같이 크게 광원부(Optical System)와 스테이지부(Stage System) 그리고 컨트롤부(Control System)로 구성되어 있다. 그 중 광원부(Optical System)의 경우 리소그래피(Lithography)방식에 따라 접촉식(Contact), 근접식(Proximity)두 가지 형태가 있다.

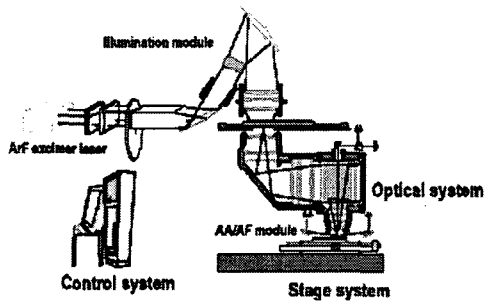


Fig. 1. Lithography장비 개념도

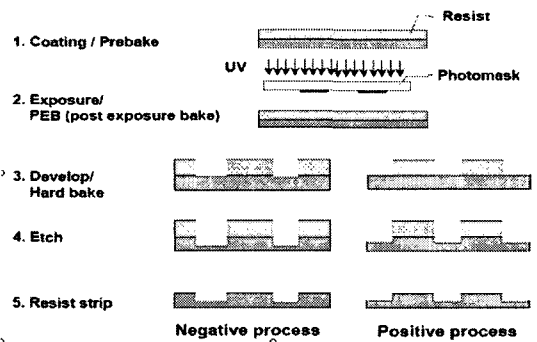


Fig. 2. Photolithography process

사용되는 장비는 근접방식(Proximity)을 사용하는 장비로서 위해 Mask의 처짐량이 패턴(Pattern)에 영향을 주지 않는 크기를 가지도록 마이크로 단위의 변화량을 고려하였다.

2. 최적화 해석

2.1. 반응표면 설계

요인 실험은 반응값에 유의한 요인을 선별하는 것이 주목적이라 하겠다. 그러나 좀 더 적극적인 활용방법으로 반응값이 어떠한 최적값(optimal value; 최대값, 최소값 혹은 목적값)에 도달하는 요인들의 수준들(처리조합)을 찾는 것이 중요한 과제일 수 있다. 이러한 요구는 특히 품질향상을 위한 생산현장에서 자주 일어난다. 이 경우 최적값이 존재하리라 예상되는 처리조합 근처에서 실험점들의 반응값들에 대한 함수식, 이른바 반응표면(response surface)을 구하고 이를 이용하여 반응값이 최적값을 갖는 처리 조합을 찾는다. 이러한 일련의 과정을 반응 표면 설계라 한다^[3]

ANSYS workbench에서는 이를 위해 필요한 변수의 개수와 값을 중심 합성법을 이용하여 추출하고 추출점에서의 유한 요소 해석이 모두 끝나면 하드 포인트를 연결하여 반응 표면을 생성하고, 이 곡면을 이용하여 최적 설계가 이루어진다.

2.2 해석 조건

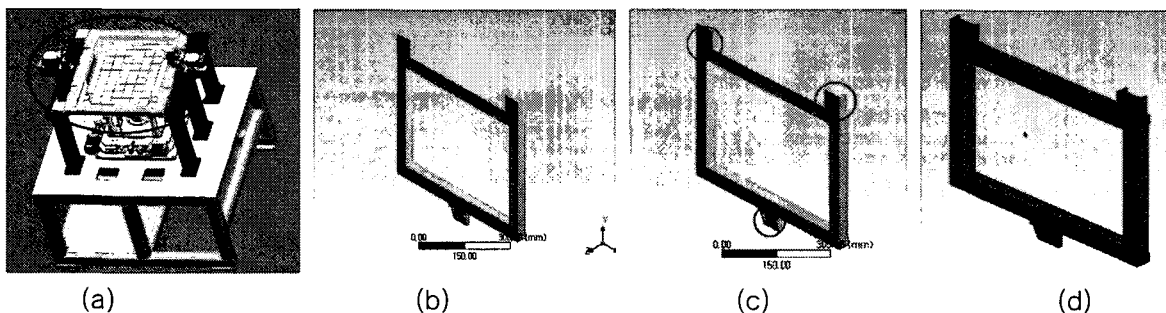


Fig. 3. (a) Stage part of lithography equipment (b) Mask holder part (c) Boundary condition (d) Mesh

마스킹 홀더부(Mask holder part)에 대한 해석을 위해 스테이지부(Stage part) 전체에 대한 해석은 불필요하므로 Fig.3(a)에 나와있는 장비의 마스크홀더(mask holder part)만을 따로 분리 하여 해석을 실시 하였다. 구조해석을 위해서는 ANSYS workbench를 해석Tool로 사용하였으며 Fig.3(c)에서 보여지는 좌와 같이 3점에 대해 면에 수직방향 고정 조건을 주고 -Z방향으로 9.8m/s²의 표준 중력 가속도를 가하였다. 재질적인 부분의 경량화를 위해 기존 재질인 강(S45C)대신에 알루미늄(6061A)를 사용하였고 Table 1에서 표기된 데이터를 채용하여 해석에 적용하였다.

Table 1. "s45c" Constant Properties & "6061a" Constant Properties

	"s45c" Constant Properties	"6061a" Constant Properties
Name	Value	Value
Density	7,850.0 kg/m ³	2,700.0 kg/m ³
Poisson's Ratio	0.29	0.33
Young's Modulus	2.05×10 ¹¹ Pa	6.89×10 ¹⁰ Pa

ANSYS workbench의 경우 요소를 직접 선택하는 방식이 아니라 사용자의 편의를 위해 필요한 옵션을 선택하면 그에 적합한 요소를 적용하는 방식이다. 그래서 따로 요소(Element Type)을 설정하지 않는다.

2.3 해석

2.1 형상 최적화

제거 되는 재료의 위치 및 형상에 따라 모델의 처짐량이 다를 것으로 예상되어 마스크 홀더부의 앞 뒤 그리고 양사이드에 각각 다른 형태의 가공을 하여 경량화 및 처짐량에 대하여 비교 하여 보았다.

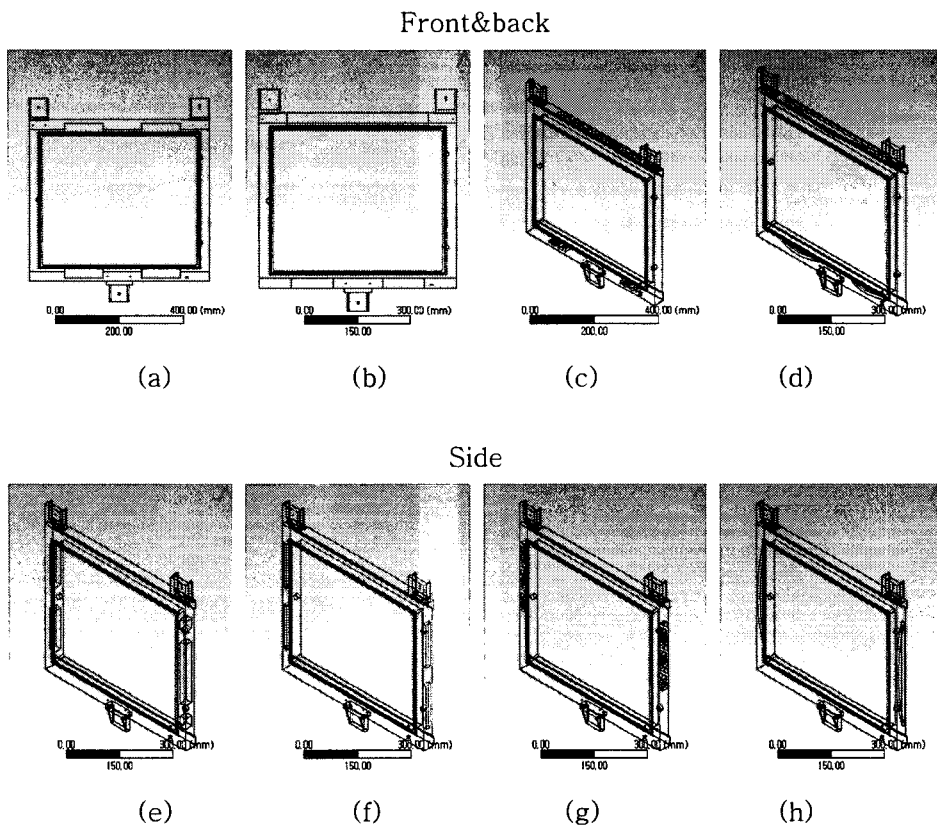


Fig. 5. Analysis model for Shape comparison

경량화에 따른 처짐량이 최소가 되는 모델을 찾기 위해 Fig.10에서 처럼 8개의 모델을 통해 해석한 결과를 비교 분석하였다.

(a)는 앞과 뒤의 바닥면에 직사각형 홈, (b)는 앞과 뒤의 측면에 직사각형 홈, (c)는 앞과 뒤의 측면에 트러스트형의 홈을 가공, (d)는 앞과 뒤의 측면에 아치형의 홈, (e)는 양 사이드의 바닥 면에 직사각형 홈, (f)는 양 사이드의 측면에 직사각형 홈, (g)는 양 사이드의 측면에 트러스트형의 홈, (h)는 양 사이드의 측면에 아치형의 홈을 각각 가공하여 경량화를 하였고 각각의 모델에 대해 반응 표면법을 활용한 최적화 해석을 실행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

각각의 모델들의 형상에 따른 해석 데이터를 정리하여 2중축으로 그래프화하여 비교하였다.

각각의 데이터를 백분위로 표기하고 해석 결과에 있어서 중요도를 100%로 하고 그 중 70%를 질량 개선 30%를 처짐량 개선의 비율로 데이터를 비교 분석한 결과 Front&back과 Side 모두 각각 f,b 모델의 형상에서 가장 좋은 값을 갖는 것을 볼 수 있었다.

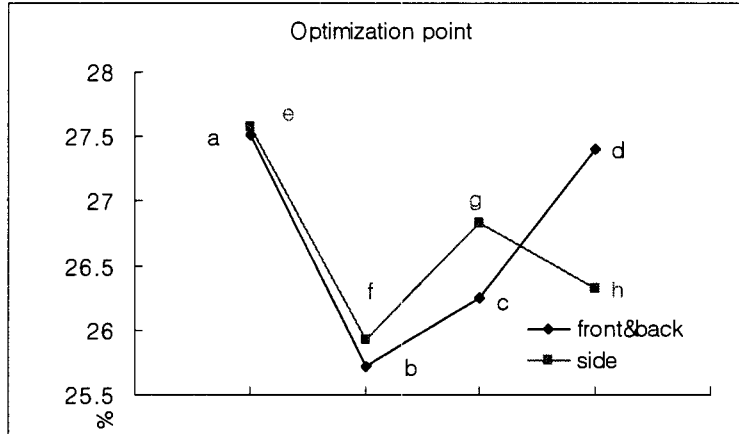


Fig. 6. Optimization point

이 두 가지 경량화 가공 형상을 모델에 적용하여 해석을 실행 반응표면을 통해 두 가지 경우가 조합되었을 때의 최적점을 찾았다.

Table. 15. Measurement point data

no	기존모델		개선모델	
	측정처짐량	해석데이터	측정처짐량	해석데이터
1	0.007	0.01	0.012	0.011
2	0.007	0.011	0.014	0.012
3	0.009	0.011	0.017	0.013
4	0.009	0.011	0.017	0.013
5	0.007	0.011	0.014	0.012
6	0.005	0.009	0.012	0.011
7	0.005	0.008	0.009	0.009
8	0.008	0.01	0.013	0.012
9	0.009	0.011	0.017	0.013
10	0.011	0.012	0.02	0.014
11	0.011	0.012	0.019	0.014
12	0.01	0.011	0.016	0.013
13	0.007	0.01	0.013	0.012
14	0.005	0.008	0.01	0.009

4. 결론

본 논문은 마스크 홀더부의 교체에 따른 작업의 편리성을 위해 경량화에 목적을 두고 최적화 설계를 하여 기존에 개발되어 사용되고 있는 제품과 비교 분석을 하여 보았다.

1차적으로 홀더부의 경량화를 위해 재료의 교체를 하였다. Ansys를 통한 해석 결과를 비교해 보면 기존모델에 비해 처짐은2.4% 발생하지만 기존모델에 비해 65.6%의 경량화가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

재료를 통한 경량화 이후 2차적으로 실시한 것은 가공형상의 변형을 통한 경량화 였다. 실제 마스크 홀더의 기능에 필요한 부분만을 남기고 가공 형상을 채택하여 가공할 경우 일반 상용화 제품의 처짐량 기준을 초과 할 것으로 예상되어 처짐량과 경량화의 비중을 3:7의 비율로 놓고 최적점을 찾도록 하였고 형상 변형 모델 중 측면상의 홈 가공을 통해 경량화를 하였던 모델의 최적점에 따른 값이 가장 좋은 것을 추출된 데이터를 통해 확인하였다.

이를 통해 앞뒤 그리고 측면의 형상을 결정하여 4개면에 각각 형상의 설계 인자를 적용하여 모델링 하고 Ansys를 통해 반응 표면법을 사용하여 자중에 의한 처짐이 고려된 경량화의 최적점을 찾았다. 최적 설계인자를 통해 해석을 실시한 결과 최적화 모델의 경우 79.9%의 경량화가 이루어 지고 처짐량 또한2.4%감소 하여 재료만을 통한 경량화보다 14.3%의 경량화 효과4.8%의 처짐량 증가를 보였다. 이렇게 구해진 최적점의 데이터를 사용하여 실제 제작을 하였고 제작된 모델을 측정 비교하도록 하였다.

제작된 모델의 측정에는 비접촉식 변위측정이 필요하여 레이저 인터페로미터를 사용한 측정을 하였고 측정된 데이터를 통해 해석 결과와 비교 검토하였고 기존 모델에 비해 80% 감소된 질량을 확인하였고 이는 이론상의 데이터와 일치한다. 처짐량의 경우에는80.2%의 처짐량 증가를 보였다 이는 해석 데이터에 비해 매우 큰 처짐량이나 상용 모델의 처짐량 기준인 40um(263%)보다 작은 값이다. 해석 상에서 기존 steel재질(s45c)의 경우 해석데이터에 비해 낮은 값을 갖는 반면 개선된 모델의 경우 해석데이터에 비해 높은 값을 갖고 있으나 처짐 변형의 경향은 비슷하게 나타남을 확인했다. 또 한 측정 치상에서의 처짐량은 상용화제품의 처짐량 기준을 초과하지 않으므로써 처짐량을 고려된 상태에서 80%의 질량 감소라는 결과를 도출 하였다.

참고문헌

- [1] 산업자원부, 2002,“나노급 반도체용 EUV Lithography 핵심기술 개발에 관한 산업분석”
- [2] 한국과학기술정보연구원, 2002,“초정밀 시스템의 나노 위치제어기술 기술동향보고서”
- [3] 한국전자통신연구원, 2001,“리소그래피와 광학계”
- [4] Riley,Sturges,Morris,“재료역학”,p513~570
- [5] 태성 에스엔이 FEA사업부,“유한요소해석 입문과 선형해석“
- [6] 이승호, 2001,“품질개선을 위한 실험계획 방법들의 비교연구”, 서경대학교, p31-38,
- [7] 이우선,“ 최신실험설계“, 317p
- [8] 태성 에스엔이,“ANSYS Workbench[DesignModeler]“
- [9] 태성 에스엔이,“ANSYS Workbench[Desinsimulation]“