그레이스케일 포토리소그래피를 이용한 회절광학소자의 제작

Fabrication of Diffractive Optical Elements with Grayscale Photolithography

김완진*, 이명복**, 손진승**, 조은형**, 윤찬영*, 박노철*, 박영필*
*연세대학교 정보저장기기 연구센터, **삼성종합기술원 Storage Lab
email: wckim97@empal.com

초소형 광 저장 장치에서는 광부품의 수를 줄이고 고 개구수를 갖는 굴절광학계를 필요로 하므로 단면 비구면 또는 양면 비구면 렌즈 등의 광 부품만으로 원하는 광학성능을 얻고자 한다. 그러나 이러한 비구면 렌즈의 사용은 구면렌즈를 사용할 때의 구면수차를 보상할 수 있는 반면에, 청자색 레이저를 사용하는 파장대(405nm~415nm)에서 파장의 미소한 변화에 따른 색수차의 양이 크게 증가하여, 광 정보의 재생 또는 기록 시 측정 노이즈로 작용하게 된다. 따라서 이러한 색수차를 최소한의 광 부품으로 제거하기 위하여 회절광학소자의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구에서는, 개선된 회절광학소자 제작 방식인 HEBS(High Energy Beam Sensitive)글래스를 이용한 그레이스케일 리소그래피를 이용하였다. HEBS 글래스는 고 에너지 빔이 조사되었을 때 원자크기 만큼의 다중 은이온 중합체를 형성하게 되는데, 이 때 고 에너지빔의 조사량의 차이에 따라 다중 은이온 중합체의 밀도가 달라지며 이러한 밀도를 조절하여 그레이스케일 포토마스크를 제작하게 된다[1]. 포토마스크의 제작을 위하여 고 에너지 빔을 조사하기 위한 회절광학소자의 각 레벨에 대한 은 이온 중합체의 밀도(optical density)를 정해야 하는데, 이러한 optical density의 선정은 그레이스케일 보정용 포토마스크를 사용한 보정공정을 통하여 얻게 된다. 보정공정을 위하여 회절광학소자의 설계 조건을 이용하여 형상정보를 추출해야만 한다.

색수차 보정을 위한 피 보정용 비구면 광학계는 405nm의 기준 파장으로 설계되어 있으며, 회절광학소자 또한 이 파장 대에서의 파장변화에 의한 색수차를 저감하도록 설계되었다. 설계된 회절광학소자는 34개의 피치를 가지며, 최소피치의 폭이 5.97um를 갖도록 설계되어 있다. 또한 제작공정을 통하여 얻어야 하는 회절광학소자의 높이는 8 레벨을 갖는 회절광학소자의 제작을 고려하여 595nm로 설정하였다. 아래의 식은 광학계 설계를 통하여 얻은 광 경로 방정식이다. 이 방정식을 통하여 각 피치의 각 레벨에 대한 반지름 정보를 추출하였다.

$$-0.0843r^2-0.0986r^4+0.776r^6+0.0182r^8-24.627r^{10}+80.562r^{12}+\frac{2\pi nN}{8}=0 \qquad (1)$$

설계된 회절광학소자의 높이를 7등분 하여 각 레벨에 해당하는 8개의 높이 정보를 얻고, 8개의 높이를 얻을 수 있는 optical density를 보정공정을 통하여 정하였다. optical density의 선정 시에는 선폭의 변화 따라 optical density를 다르게 선정해야 한다. 본 보정공정을 통하여 리소그래피 공정 후 동일한 높이를 얻는 선폭의 구간을 3구간으로 정하였으며, 이 구간에 대하여 각기 다른 optical density를 선정하였다. 또한 이 보정공정은의 공정 Recipe는 최종 회절광학소자 제작공정에 그대로 적용되게 된다.

보정공정을 통하여 정한 optical density 값을 이용하여 grayscale photomask를 제작하였고, 회절광학

소자 제작공정을 수행하였다. 표 1의 노광시간 변화에 따른 각 레벨의 높이와 최소 피치에서의 높이를 나타내었다. 그림 1에 제작된 회절광학소자의 형상을 나타내었다.

표 1. 노광시간의 변화에 따른 각 레벨의 높이변화

Level	Height(nm)		
	Designed	Measured	
		2sec	3sec
1st	0	0	0
2nd	85	100	110
3rd	170	140	190
4th	255	180	270
5th	340	300	350
6th	425	360	440
7th	510	430	530
8th	595	480	610
Height of outermost pitch	595	350	420

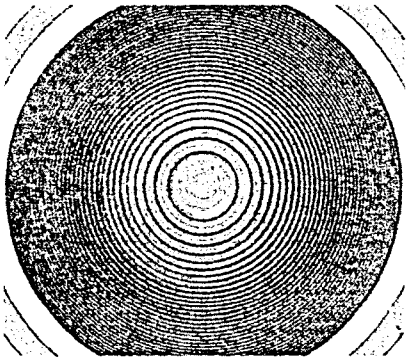

그림 1. 제작된 8레벨을 갖는 회절광학소자의 형상

회절광학소자의 효율은 1차 회절광의 광 intensity로 나타내어지므로, 그림2의 측정 장치를 이용하여 1차 회절광의 광 intensity를 측정하였다. 표 2에 측정된 회절효율결과를 나타내었다.

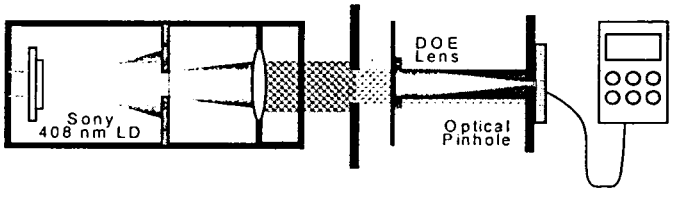

그림 2. 회절효율 측정 장치

표 2. 노광시간과 레벨 수에 따른 효율의 변화

Exposure Time (sec)	Level	Efficiency (%)
2	4	51.3
2	8	58.0
3	4	77.5
3	8	81.5

측정결과, 동일한 UV 노광 조건에서 8레벨인 경우 높은 효율을 나타내었다. 이러한 이유는 레벨 수가 많을수록 회절광학소자의 형상을 결정짓는 광경로함수의 아날로그 형상을 추종하기 때문이며, 적은 노광시간을 갖는 경우 효율이 낮은 이유는 마스크의 패턴을 감광제에 전사하기에 불충분한 노광량이었기 때문이라 추측된다.

감사의 글

본 연구는 삼성종합기술원과 공동연구과제 지원으로 수행되었음

참고문헌

[1] C. Wu, "Method of making high energy beam sensitive glasses", U.S Patent 5,078 (1992)