

Design and Analysis of a Laser Lift-Off System using an Excimer Laser

Bo Young Kim¹, Joon Ha Kim¹, Jin A Byeon¹, Jun Ho Lee^{1†}, Jong Hyun Seo², and Jong Moo Lee³

¹Geometrical Optics Lab, Kongju National University, Kong-ju 314-701, Korea

²Laser Total Solution co., Ltd., Ojeon-dong, Uiwang 437-817, Korea

³Electronics and Telecommunications Research Institute, Yuseong-gu, Daejeon 305-700, Korea

(Received July 31, 2013; Revised manuscript September 23, 2013; Accepted September 24, 2013)

Laser Lift-Off (LLO) is a process that removes a GaN or AlN thin layer from a sapphire wafer to manufacture vertical-type LEDs. It consists of a light source, an attenuator, a mask, a projection lens and a beam homogenizer. In this paper, we design an attenuator and a projection lens. We use the 'ZEMAX' optical design software for analysis of depth of focus and for a projection lens design which makes 7×7 mm² beam size by projecting a beam on a wafer. Using the 'LightTools' lighting design software, we analyze the size and uniformity of the beam projected by the projection lens on the wafer. The performance analysis found that the size of the square-shaped beam is 6.97×6.96 mm², with 91.8 % uniformity and ±30 μm focus depth. In addition, this study performs dielectric coating using the 'Essential Macleod' to increase the transmittance of an attenuator. As a result, for 23 layers of thin films, the transmittance total has 10-96% at angle of incidence 45-60° in S-polarization.

Keywords: Projection lens, Depth of focus, Attenuator, Laser lift-off

OCIS codes: (220.0220) optical design and fabrication; (080.3620) lens system design

엑시머 레이저를 사용한 LLO 시스템 설계 및 분석

김보영¹ · 김준하¹ · 변진아¹ · 이준호^{1†} · 서종현² · 이종무³

¹국립 공주대학교 대학원 광공학과
☎ 314-701 충청남도 공주시 신관동 182

²(주)엘티에스 전략제품기술부
☎ 437-817 경기도 의왕시 오전동 38-13

³한국전자통신연구원
☎ 305-700 대전광역시 유성구 가정로 218

(2013년 7월 31일 받음, 2013년 9월 23일 수정본 받음, 2013년 9월 24일 게재 확정)

레이저 리프트 오프(Laser Lift-Off: LLO)는 수직형 LED 제조를 위하여 GaN 또는 AlN 박막을 사파이어 웨어퍼로부터 레이저를 이용하여 제거하는 공정으로 광원, 레이저의 출력 파워를 조절해주는 감쇠기, 빔의 형태를 잡아주는 빔 성형 광학계, 원하는 빔 사이즈를 만들어 주고 빔을 균일하게 섞어주는 빔 균일 광학계, 기판에 투사 이전에 빔을 한번 잘라주는 조리개 부분과 마스크 단에서 잘린 빔을 기판에 투사해주는 투사렌즈 부분으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 LLO 시스템을 구성하고 있는 광학계 중 감쇠기와 투사렌즈 부분의 설계 및 분석을 진행하였다. 투사렌즈의 7×7 mm² 빔 사이즈 구현을 위하여 광학 설계 프로그램인 지맥스를 통해 설계 및 초점심도를 분석하였으며, 조명 설계 프로그램인 라이트 툴을 사용하여 빔 사이즈 및 균일도를 분석하였다. 성능 분석 결과 사각형 빔의 크기 6.97×6.96 mm², 균일도 91.8 %, 초점심도 ±30 μm를 확인하였다. 또한 고출력의 엑시머 레이저의 빔 강도를 감쇠시키기 위한 장치인 감쇠기의 투과율을 높이기 위하여 에센셜 맥클라우드 코팅 프로그램을 사용하여 유전체 코팅을 실시한 결과 총 23층의 박막과 s 편광의 입사각도 45~60°에서 10-95%의 투과율을 확인 할 수 있었다.

Keywords: 투사렌즈, 초점심도, 감쇠기, 레이저 리프트 오프

OCIS codes: (220.0220) optical design and fabrication; (080.3620) lens system design

[†]E-mail: jhlsat@kongju.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

I. 서론

최근 반도체 산업에서 높은 효율과 정밀도를 요구하는 분야에 레이저를 이용한 광학계의 수요가 늘어나고 있다. 다른 광원에 비해 레이저의 높은 에너지 및 작은 발산으로 인해 미세 가공처리 또는 열처리, 리소그래피등 다양한 분야에서 사용되고 있다.^[1] 이때 레이저 빔의 형태 또는 에너지 분포를 원하는 형태로 바꿔주는 빔 성형 기술이 각광받고 있다.

특히 LED는 에너지 절감 효과가 큰 친환경적인 광원으로 가격을 낮추고 효율을 높이기 위해 노력해왔다. 기존의 LED는 수평형 발광구조를 사용하고 있으나 수직형 LED의 뛰어난 광효율, 고휘도, 발열성으로 인하여 기존의 수평형 발광구조를 갖는 LED에서 빠르게 대체될 것으로 예상된다. 수직형 LED의 경우 열 전달이 좋지 않은 기판을 제거하는 것이 필수적인데, 기존의 Chemical Lift-Off(CLO)는 공정수율 및 재현성 확보가 어려워 엑시머 레이저를 이용하여 사파이어 기판을 제거하는 레이저 리프트 오프(Laser Lift-Off: LLO) 공정이 각광을 받고 있다.^[2] 엑시머 레이저는 정밀 가공 및 이종 접합체의 분리과 다양한 물질 가공을 위한 용도로 사용되고 최근에는 빔의 안전성과 출력이 향상되어 반도체 물질을 가공하는 공정, 특히 소자 형성을 하기 위해 웨이퍼 기판 위에 박막을 분리하는 공정(LLO)으로 사용범위가 넓어지고 있다. 본 연구에서는 LLO 공정에서 기판에 원하는 빔 사이즈를 투사하기 위한 투사렌즈와 그에 따른 초점심도, 고출력 레이저인 엑시머 레이저의 빔 투과율을 조절하기 위한 감쇠기의 연구를 진행하였다.^[3]

II. 레이저 리프트 오프 시스템

2.1. 레이저 리프트 오프 시스템

레이저 리프트 오프는 수직형 LED 제조 과정 중 엑시머 레이저를 이용하여 기판을 분리해 주는 공정으로 불균일한 빔이 조사될 경우 단위 조사 영역의 결함이 발생하여 수율에 악 영향을 줄 수 있다.

에피 구조 성장 시 사파이어 기판과 GaN 박막을 분리하기 위하여 사용되는 LLO 공정은 물질이 기판의 밴드갭 보다 낮은 에너지를 갖는 광을 투과시키지만 그보다 높은 에너지를 갖는 광은 흡수한다는 원리를 이용한다. 따라서 LLO 공정은 물질의 밴드갭 에너지 차이에 의해 이루어지므로 GaN 박막의 약 3.3 eV 밴드 갭과 사파이어 기판 사이의 약 10.0eV 밴드갭 사이의 에너지를 갖는 엑시머 레이저를 광원으로 사용한다. 248 nm 파장대의 KrF 엑시머 레이저 빔은 사파이어 기판은 통과하지만 GaN 계열의 에피층에서 흡수된다. 이때 사파이어 기판과 GaN 버퍼층의 격자 상수 및 열팽창계수 차이에서 발생하는 결정결함을 최소화 하기 위해 매우 균일한 사각형 형태의 빔이 필수적으로 요구된다.

GaN 버퍼층의 두께가 약 50 nm로 매우 얇기 때문에 필요 이상의 높은 에너지가 공급될 경우 LED 칩에 열적 손상이 발생할 수 있으며, 반대로 에너지가 부족할 경우 사파이어

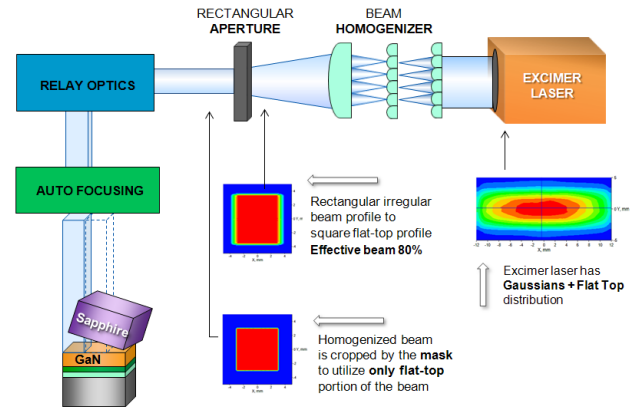


FIG. 1. Schematic diagram of laser lift-off system.

기판의 분리가 완전히 이루어지지 않는 문제점이 발생할 수 있다.^[4] 따라서 LLO 공정에서 레이저 빔을 정밀하게 제어하여 높은 생산성과 수율을 동시에 만족해야 한다. 광원으로 사용되는 엑시머 레이저 빔은 가우시안 분포를 가지며 가로축(X축)과 세로축(Y축)의 비율이 다른 직사각형 형태이다. 이러한 레이저 빔을 빔 호모나이저(Homonizer)를 이용하여 호모나이징(Homogenizing) 한 후에 정사각형 조리개를 이용하여 에너지의 세기가 상대적으로 낮은 빔의 가장자리 부분을 잘라 내어준다. 이 때 통상적으로 유효 빔을 약 80%로 사용하며 LLO 공정 장비의 구조 및 크기 등을 고려하여 릴레이 광학계를 구성한다.

2.2. 빔 균질 광학계

레이저 빔 성형 기술은 레이저를 광원으로 사용하는 광학계에서 레이저의 중앙부로 집중되는 에너지 분포를 사용자의 요구 조건에 맞는 분포로 바꾸어 주는 것이다. 레이저 빔 성형기는 주로 레이저 재료 처리, 레이저 측정 및 분석에서 사용되며 산업용, 군사용, 의료용, 연구 개발용 등 다양한 분야에 적용하여 사용된다.

빔 성형 방법은 크게 굴절 광학계 타입과 회절 광학계 타입으로 나뉜다. 굴절 광학계 타입에는 조리개를 사용한 방법, 빔 인테그레이터(Beam Integrator)를 사용한 방법, 광 도파로 및 광 파이버를 사용한 방법 등이 있다.^[5] 조리개를 사용한 방법은 가장 단순한 방식으로 적절한 구멍 형상을 가진 조리개를 광원 앞에 설치하여 원하는 출력 빔 형상을 만드는 방식이다. 빔 인테그레이터를 사용한 방식은 렌즈들이 2차원적으로 배열되어 기존의 한 점에서 결상하던 것을 2차원적인 초점 면에 결상하는 것이다.^[6] 빔 인테그레이터는 굴절광학계 타입 중 가장 높은 균일도를 얻을 수 있는 방법이며 입사되는 레이저의 모드와 분포 경향에 크게 영향을 받지 않으며 성능이 좋은 장점에 반해 제작 및 광학적 정렬이 어려우며 가격이 높다는 단점이 있다. 광 도파로와 광 파이버를 사용한 방법은 빔이 전반사를 일으키며 광선이 쪼개지고 위상이 흐트러져 최종적으로 에너지 분포가 고르게 섞이는 원리를 이용한다. 이때 빔이 빔렛(Beamlet)으로 많이 분할 될수록 균

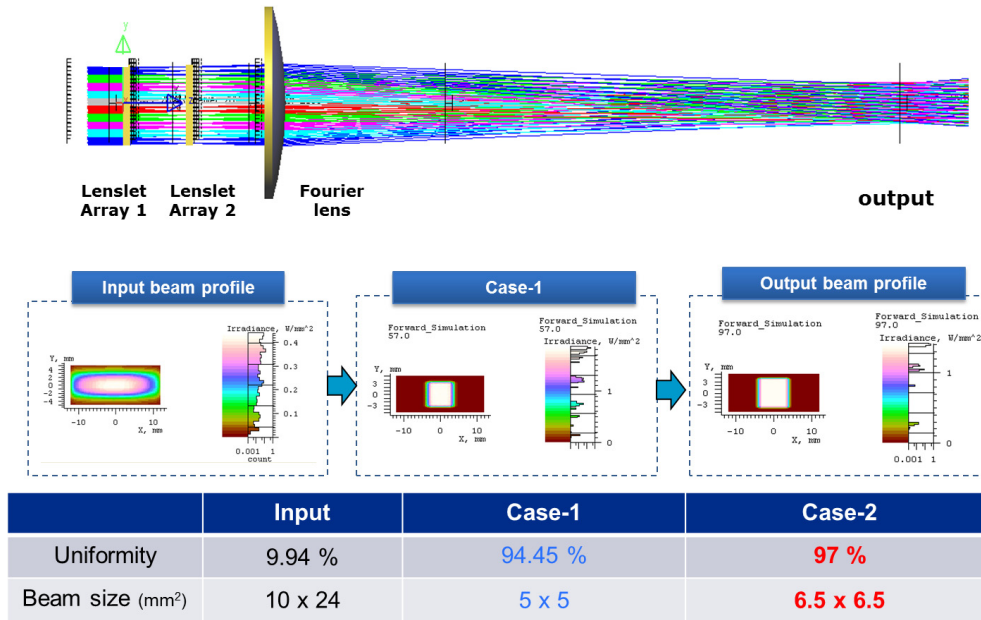


FIG. 2. Beam homogenizer design by Kongju university.

일도가 증가하기 때문에 균일도를 높이기 위해서 광학계가 길어지는 단점이 있으며 높은 균일도를 기대하기 어렵다.^[7]

회절 광학계 타입에는 프레넬 렌즈 배열 법과 랜덤 위상판 방법 등이 있다. 프레넬 렌즈 배열 방법은 프레넬 렌즈를 미세렌즈 배열과 같이 2차원적으로 배열시키는 방법으로 프레넬의 패턴에 의해 회절광학 효과를 갖는다. 프레넬 렌즈의 집광 기능과 회절에 의한 위상 불균형으로 균일한 광을 만들어 준다. 랜덤 위상판 방법은 레이저를 이용한 광학계의 초점을 맺을 때 발생하는 레이저 스팩클을 제거하는 데 유용한 방법으로 위상판을 이용하여 위상을 흐트리고 균일한 에너지 분포를 갖게 하는 광학소자이다.^[4]

이들 방법 중 균일한 레이저 빔 프로파일을 요구하는 분야에서는 빔 호모나이저가 사용 되는데, 대표적으로 가공처리, 열처리, 리소그래피, 레이저 리프트 오프 등 반도체 산업에서 주로 사용된다.^[9] 대부분 레이저 빔 호모나이저는 이미지 마스크 패턴을 working piece에 위치시키는 것으로 전체 마스크 영역과 가공할 면에서 균일한 에너지 분포를 요구한다. 그 예로 포토리소그래피는 반도체에 광을 노출시키거나 선택적으로 제거하는 멀티 어레이 시스템으로 프린터에 사용되는 마이크로캐비티와 함께 매우 균일한 빔을 요구한다. 통상적으로 이용되는 빔의 균일도는 레이저 가공 분야에서 ±5% (rms), 포토리소그래피에서 ±2%(rms) 정도가 기준이 된다.^[6]

III. 감쇠기

3.1. 감쇠기 원리

감쇠는 전자기파 등이 물질을 통과할 때 흡수나 산란이 일어나 에너지 혹은 입자의 수가 줄어드는 현상을 말하며, 감쇠기는 빛의 강도를 감쇠하기 위한 광학 소자 또는 장치를

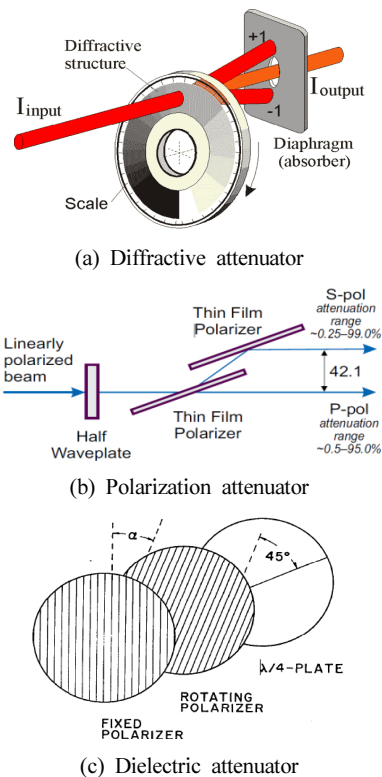


FIG. 3. Type of attenuator.

말한다. 엑시머 레이저, Nd-YAG 레이저와 같은 고출력 레이저 응용 프로그램은 에너지 수준의 정밀한 제어를 필요로 하며, 감쇠기 모듈은 정확하게 에너지 전달을 설정하는 도구로 사용되며, 농도 필터 등 물질에 의한 빛의 흡수를 이용하는 것 외에 산란을 이용하는 것, 빛의 편광을 이용하는 것 등

여러 종류가 있다.

회절 감쇠기(Diffractive attenuator)는 회절격자를 사용하여 레이저의 강도를 제어한다. 위상 회절 격자는 빛을 흡수하지 않으므로 고출력 레이저에서도 사용이 가능하고 출력 강도는 입력 빔의 격자 디자인과 파장에 따라서 달라진다. 매개 변수를 변경하면 출력 전력의 제어가 가능하다. 편광 감쇠기(Polarized attenuator)는 편광판과 반파장판의 복굴절 현상을 이용하는 장비이다. 레이저 빔은 편광효과에 따라 감쇠가 일어나는데, 이때 S-편광과 P-편광의 빔 감쇠량이 서로 같지 않음을 이용한다. 두 광선의 강도 비율은 파장 판을 회전하여 변경이 가능하다. 유전체 감쇠기(Dielectric attenuator)는 유전체로 코팅된 두 개의 판을 이용하여 빛의 반사, 투과, 흡수를 이용하여 빛의 세기를 조절하는 도구이다. 입사광의 입사각에 따라 빛의 반사량과 투과량을 결정할수 있으며 이로 광세기의 제어가 가능하다.^[9]

현재 사용하고 있는 장비는 Coherent 사의 유전체 방식의 감쇠기로 셔터, 감쇠판, 보상판, 흡수체로 구성되어 있다. 유

전체 감쇠기의 작동원리는 개폐를 설정 할 수 있는 셔터를 통하여 감쇠기 모듈로 레이저 빔이 입사하게 된다. 그 후 유전체 코팅 감쇠판에 입사하게 되며 그 중 빛의 일부는 반사되고 일부는 투과하게 된다. 이때의 투과 광 및 반사 광의 비율은 입사각에 따라 결정된다. 감쇠판과 보상판의 두께는 서로 같으나, 감쇠판은 95%의 빛을 투과시키게 되며 보상판은 AR(Anti-Reflection) 코팅으로 되어 있어 감쇠판에 의해 반사된 광의 보상자 역할로 작동한다. 보상판은 빔 변위를 제거하기 위하여 감쇠판과 동시에 회전하게 되며 감쇠판에서 반사되는 빛은 하우징에 흡수된다.

이러한 감쇠기는 모터와 프로그램을 이용하여 투과율의 변경이 가능하다. 즉 모터 스텝 값을 조절함에 따라 회전판의 회전 속도의 변화를 줌으로써 감쇠 값의 제어가 가능하다. 모터 스텝 값이 증가하면 감쇠기 판으로부터 투과된 값은 작아지고, 반사된 값은 커지게 된다. 반사된 값은 감쇠기의 하우징에 의해 흡수되고 결국 감쇠 값이 증가하게 되며, 이를 이용하여 광세기 조절이 가능하게 된다.

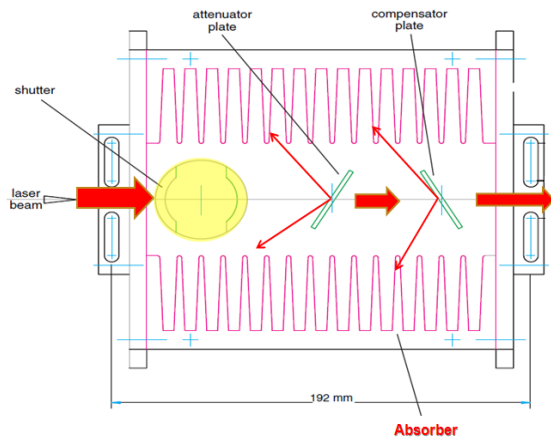


FIG. 4. Dielectric attenuator.

3.2. 엑시머 레이저 모델링

감쇠기의 빔 세기 강도의 비교를 위하여 현재 레이저 리프트 오프 장비에서 사용하고 있는 KrF 레이저(LPXpro 210)의

TABLE 1. Specification of Coherent co. excimer laser model

Specification	LPXpro 210
Maximum Pulse Energy	800 mJ
Maximum Repetition Rate	100 Hz
Maximum Average Power	80 W
Energy Stability	≤ 2 %
Beam Dimensions	10×24 mm ²
Beam Divergence	1×3 mrad ²
Pulse Duration	20 ns

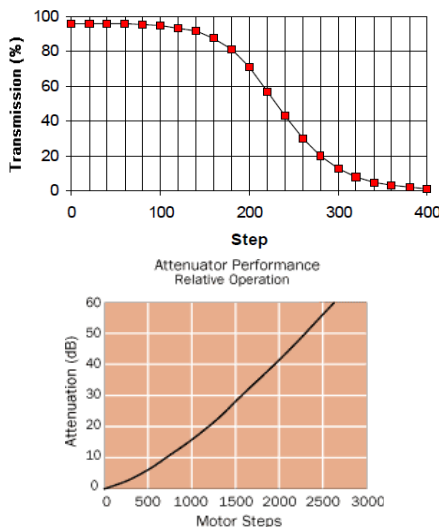


FIG. 5. Motor attenuator transmittance and attenuator.

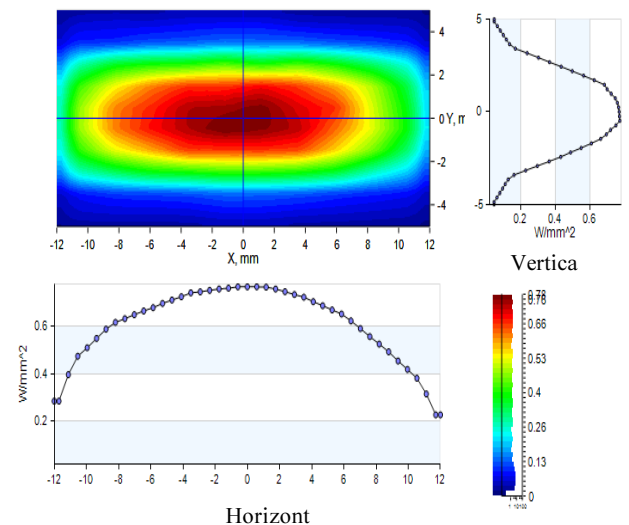


FIG. 6. Irradiance distribution chart: Excimer laser modeling.

모델링을 진행 하였다. 이 레이저는 248 nm의 파장대를 가지는 펄스 레이저로 1×3 mrad²의 발산각과 10×24 mm²의 빔사이즈를 가지고 있다. 라이트툴 프로그램을 사용하여 모델링을 실시하였으며, 빔 프로파일은 배광데이터를 입력하여 가우시안과 사각형 형태가 조합된 분포를 가지고 있다.^[1]

TABLE 2. Dielectric attenuator of optical thin film

Design	Context	Notes			
Incident Angle (deg)		0.00			
Reference Wavelength (nm)		248.00			
Layer	Material	Refractive Index	Extinction Coefficient	Optical Thickness (FwOT)	Physical Thickness (nm)
Medium	Air	1.00000	0.00000		
1	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.17643064	32.41
2	Al2O3	1.73310	0.00000	0.27805919	39.79
3	ZrO2	2.15300	0.00216	0.60612899	69.62
4	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.69649348	127.76
5	Al2O3	1.73310	0.00000	0.96593724	80.93
6	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.99292679	108.92
7	Al2O3	1.73310	0.00000	0.41578938	59.50
8	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.25145437	46.19
9	SiO2	1.50857	0.00000	0.13396580	22.02
10	ZrO2	2.15300	0.00216	0.29171484	33.60
11	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.47685112	87.60
12	ZrO2	2.15300	0.00216	0.62039743	71.46
13	ZrO2	2.15300	0.00216	0.13710143	15.79
14	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.31596978	58.04
15	SiO2	1.50857	0.00000	0.10688856	17.57
16	ZrO2	2.15300	0.00216	0.50009482	57.60
17	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.52894207	97.17
18	ZrO2	2.15300	0.00216	0.23695669	27.28
19	ZrO2	2.15300	0.00216	0.12008104	13.83
20	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.40170378	73.79
21	SiO2	1.50857	0.00000	0.12181522	20.03
22	Al2O3	1.73310	0.00000	0.24905617	36.64
23	Na3AlF6	1.35000	0.00000	0.48575996	89.24
Substrate	Material1	1.45800	0.00000	8.30907879	1286.01

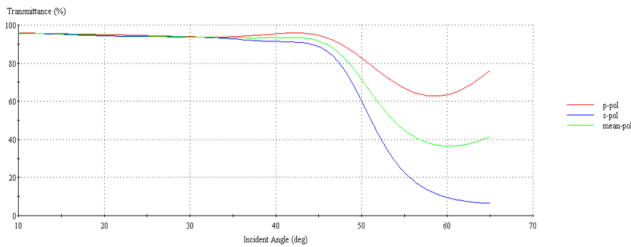


FIG. 7. The Transmittance change of dielectric attenuator for angle of incidence.

3.3. 감쇠기 설계

기존의 장비보다 더 큰 투과율의 범위를 가질 수 있거나, 투과율 변화 폭이 적은 감쇠기 설계를 위하여 광학 코팅 프로그램인 에센셜 맥클라우드를 이용하여 코팅 설계를 진행 하였다. 감쇠기의 투과율 변화는 감쇠판의 코팅으로 조절이 가능함에 따라 감쇠판의 유전체 코팅을 진행하였다. 고출력의 엑시머 레이저로부터 감쇠판을 보호하기 위하여 판의 재질은 LLO 장비에 들어가는 렌즈의 재질과 같은 Fused_Silica (n=1.458)를 사용하였으며, 감쇠판 코팅재료 또한 엑시머 레이저의 파장 248 nm 에서 사용 가능한 여러 재료 중 Na₃AlF₆, Al₂O₃, ZrO₂, SiO₂ 를 사용하였다.^[10-11] 시뮬레이션 결과 총 23층의 박막 코팅을 설계하였으며, 그래프에서 S-pol AOI 45~60°에서 투과율 10~95%을 확인 할 수 있었다. 추후 효율 향상 및 제작이 유리한 시뮬레이션을 통하여 코팅 설계의 결과 확인 및 성능 검증을 실시할 예정이다.

IV. 투사 렌즈

4.1. 투사렌즈 설계

구성한 레이저 리프트 오프는 원하는 빔의 형태를 잡아주는 빔 성형 광학계와 원하는 빔의 사이즈를 만들어주고 빔을 균일하게 섞어주는 빔 균질 광학계, 기판에 투사하기 이전에 빔을 한번 잘라주는 조리개 부분과 마스크 단에서 잘린 빔을 기판에 투사해주는 투사렌즈 부분으로 구성되어 있다. 현재 국내 기술의 5×5 mm² 에서 수율 향상을 위한 7×7 mm²의 빔 사이즈를 갖는 투사렌즈를 설계해 보았다.

투사렌즈 설계에 앞서 시제품들의 조합을 통하여 빔 사이즈 7×7 mm²를 구현하고자 하였으나, 시제품의 조합을 통해서 빔 사이즈는 만족하나 왜곡 등의 수차의 발생으로 사용이 불가능함에 따라 광학 설계 프로그램인 지맥스를 통하여 투사렌즈의 설계를 실시하였다.

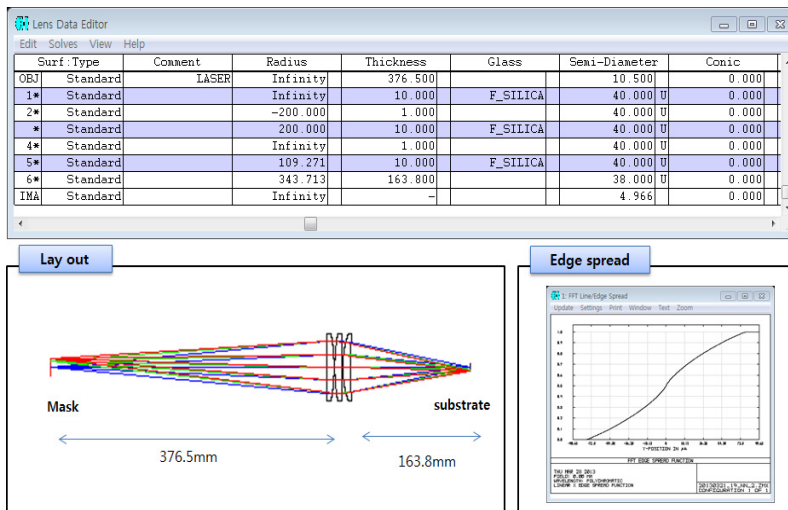


FIG. 8. Design specification of projection lens and edge response function.

이는 앞 단의 광학계 통과 후 마스크 단에 N.A 0.08의 값을 가지고 15×15 mm²로 입사하는 빔을 최종 기판에 7×7 mm²로 축소하기 위하여 0.46x 투사렌즈 설계를 진행하였다. 설계 결과 한 장의 렌즈와 200 mm의 곡률 값을 갖는 평 볼록 렌즈가 서로 마주는 형식의 총 3장의 렌즈로 구성되어 있으

며, 154.7 μm의 Edge spread, 163.8 mm의 작동 거리를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 설계된 투사렌즈를 전체 광학계에 적용시켜본 결과 6.97×6.96 mm²의 빔 사이즈를 확인 할 수 있었다.

또한 라이트 툴 프로그램을 사용하여 빔 사이즈 구현 여부

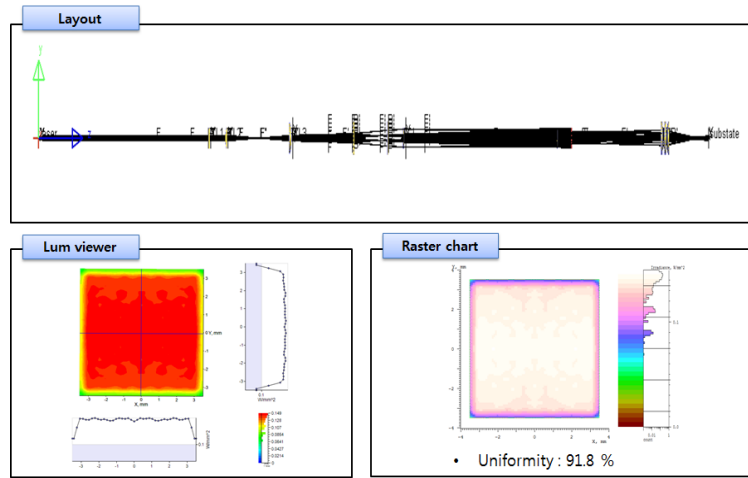


FIG. 9. Optical layout of LLO system and the illuminance distribution on the image space.

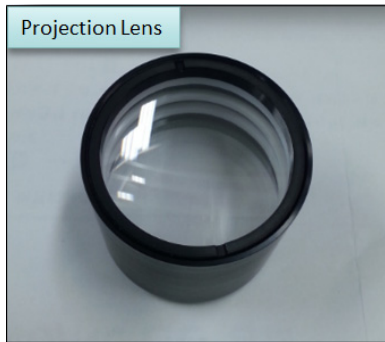


FIG. 10. Designed projection lens.

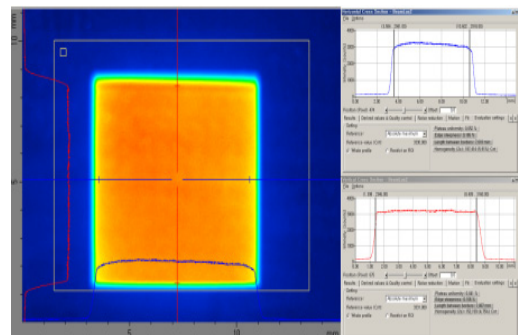


FIG. 11. Beam profile (7×7 mm²).

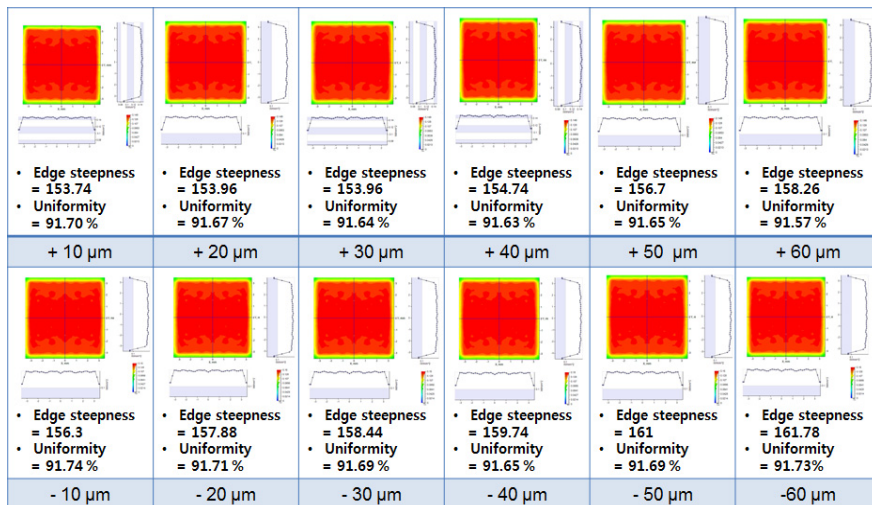


FIG. 12. Illuminance change of image space for depth of focus.

와 균일도를 확인한 결과 $7 \times 7 \text{ mm}^2$ 의 빔 사이즈와 91.8%의 균일도를 확인 할 수 있었으며, 추후 투과율 향상을 위한 렌즈의 코팅과 빔 셰이핑을 실시할 예정이다.

4.2. 초점심도(DOF) 분석

설계된 $7 \times 7 \text{ mm}^2$ 투사렌즈를 적용한 전체 광학계의 오정렬에 의한 성능 저하를 예측하기 위한 초점 면의 이동이 허용되는 오차 범위인 초점심도의 분석을 실시하였다. 설계된 파일의 기관을 전후로 $\pm 10 \text{ }\mu\text{m}$ 씩 이동시키면서 균일도와 edge spread 값의 변화를 통하여 초점심도 값을 추정하였다. 시뮬레이션 결과 균일도의 값은 전반적으로 큰 변화가 없었으나, $\pm 30 \text{ }\mu\text{m}$ 이후로 edge spread 값의 변화율이 큰 경향을 나타내었으며, 따라서 이 광학계의 초점심도는 $\pm 30 \text{ }\mu\text{m}$ 값임을 확인하였다

V. 결 론

기존의 LED는 수평형 발광구조를 사용하고 있으나 수직형LED의 뛰어난 광효율, 고휘도, 발열성으로 인하여 기존의 수평형 발광 구조를 갖는 LED 에서 빠르게 대체될 것으로 예상된다. 수직형 LED의 경우 열 전달이 좋지 않은 기관을 제거하는 것이 필수적인데, 기존의 Chemical Lift-Off(CLO)은 공정수율 및 재현성 확보가 어려워 엑시머 레이저를 이용하여 사파이어 기관을 제거하는 레이저 리프트 오프(Laser Lift-Off: LLO) 공정이 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 엑시머 레이저를 이용한 LLO 시스템에서 고출력의 엑시머 레이저의 빔 강도를 감쇠시키기 위한 장치인 감쇠기와 빔을 기관에 투사시켜주는 역할을 하는 투사렌즈의 설계를 진행하였다. 또한 설계된 투사렌즈를 라이트 툴 프로그램을 사용하여 flat-top 형태 및 사이즈, 균일도 등을 분석하였으며, 광학 정렬 오차를 위한 초점심도도 진행하였다.

설계된 투사렌즈는 총 3장으로 구성되어 있으며, Edge spread $154.7 \text{ }\mu\text{m}$, 작동거리, 163.8 mm , 91.8% 균일도를 확인 하였다. 또한 설계된 투사렌즈를 최종 광학계에 적용시켜 $6.97 \times 6.96 \text{ mm}^2$ 의 빔 사이즈를 확인 하였고, 추후 투과율 향상을 위한 렌즈의 코팅과 빔 셰이핑을 실시할 예정이다. 광학계의 오정렬에 의한 성능 저하 요인을 고려하여 초점심도를 분석해 본 결과 초점 면이 $\pm 30 \text{ }\mu\text{m}$ 까지 이동했을 때 성능에 영향을 주지 않는 것으로 분석 되었다.

고출력의 레이저의 빔 세기를 조절하기 위하여 에센셜 맥클라우드 프로그램을 이용하여 감쇠기의 코팅설계를 진행하였다. 기존에 사용하고 있는 장비는 유전체 타입으로 코팅된 두 개의 판을 이용하여 빛의 반사, 투과, 흡수를 이용하여 빛의 세기를 조절하는 장비이다. 엑시머 레이저의 세기는 너무

강하므로 판의 재질은 LLO 장비에 들어가는 렌즈 재질과 같은 Fused_Silica, 코팅 물질은 248 nm 에서 사용 가능한 Na_3AlF_6 , Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 을 사용하여 설계를 실시한 결과 총 23층의 박막과 S-pol AOI $45\text{--}60^\circ$ 에서 10~95%를 확인할 수 있었다. 추후 효율 향상 및 제작이 유리한 시뮬레이션을 통하여 코팅 설계의 결과 확인 및 성능 검증을 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

1. Y. J. Kim, "Design of an excimer laser beam homogenizer for vertical LED manufacturing equipment," Kongju National University, Master's Degree (2011).
2. C. F. Chu and F. I. Lai, "Study of GaN light-emitting diodes fabricated by laser lift-off technique," Appl. Phys. **95**, 3916 (2004).
3. C. L. S. Lewis, I. Weaver, and L. A. Doyle, "Use of a random phase plate as a KrF laser beam homogenizer for thin film deposition applications," SCI **70**, 2116 (1999).
4. Z. Guoxing and D. Chunlei, "A fluctuation-intensitive diffractive optical homogenizer for excimer beam-shaping," Proc. SPIE **5636**, 499-504 (2005).
5. Y. S. Kim, "Resolution-enhancing techniques based on the modification of source and mask, and their optimization methods in optical lithography," Inha University, Master's Degree (2010).
6. M. Zimmermann, "Micro lens laser beam homogenizer-from theory to application," SPIE, Optics and Photonics **6663**, 1-2 (2007).
7. Y. J. Matsuura, D. Akiyama, and M. Miyagi, "Beam homogenizer for hollow-fiber delivery system of excimer laser light," Appl. Opt. **42**, 3505-3508 (2003).
8. QMC, "Method of laser beam delivery system and laser lift-off," Patent 10-0724540 (2007).
9. P. Gregorcic, A. Babnik, and J. Mozina, "Interference effects at a dielectric plate applied as a high-power-laser attenuator," Opt. Express **18**, 3871-3882 (2010).
10. N. Kaiser, H. Uhlig, U. B. Schallenger, B. Anton, U. Kaiser, K. Mann, and E. Eva, "High damage threshold $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ Dielectric coatings for excimer lasers," Thin Solid Films **260**, 86-92 (1995).
11. H. A. Ahmed and A. J. Jalil, "Non-polarizing beam splitter and antireflection coating design," JEEER **2**, 154-164 (2010).