
방전여기 엑시머 레이저의 고효율화 방안

이영우*

*목원대학교 정보전자영상공학부

Improving the efficiency in discharge pumped excimer laser

Young-Woo Lee*

*Division of Information Electronics and Imaging Engineering, Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

자외선영역에서 발진하는 엑시머 레이저 장치의 가스 장수명화에 의한 고효율화 방안을 제안하였다. 가스수명에 대하여 불소(F₂)의 감소와 불순물 발생에 의한 출력 변화의 이론적 해석 결과를 보고한다.

키워드

Excimer laser, Discharge pumping, High efficiency, Gas reaction equation

I. 서 론

엑시머 레이저는 자외선(UV) 영역은 물론이고 진공 자외(VUV)영역까지 고출력으로 발진 가능한 레이저로 현재 광범위한 산업분야에 응용되고 있다. 과학연구를 필두로 안과의 의료용 레이저, 재료가공 및 반도체산업 등에 시장이 형성되어 있고, 최근 에너지 위기와 더불어 관성핵융합과 같은 대형 엑시머 레이저 장치에 관한 연구가 구미 선진 각국에서 또 다시 주목 받기 시작하였다.

최근, 가스 및 출력제어와 광학재료 등의 질 향상으로 신뢰성 높은 레이저 장치로 발전하였다. 품질 높은 UV 광의 필요성이 증대됨에 따라 세계시장도 점차 확대 되어가고 있는 실정이다. 그러나 국내에서의 UV 레이저 시스템은 아직 연구실 단계의 수준에 머물러 있고 엑시머 레이저에서만 고출력의 UV광을 얻을 수 있으므로 이 분야에 대한 연구의 필요성이 증대

되고 있다.

본 연구에서는 반도체 공정에 사용되는 스테퍼용 엑시머 레이저의 개발을 목적으로 장치의 고성능화를 위한 가스의 수명설계를 행하였다.

II. 가스 수명의 설계

엑시머레이저는 희가스(rare-gas)와 반응성이 매우 활발한 할로젠 가스(F/Cl/Br), 대기압 이상의 버퍼가스(He/Ne) 등을 포함한 기체를 고전압의 펄스로 방전하기 때문에 방전회로 소자의 내구성이 문제가 될 수 있으며 특히 할로젠 가스는 레이저 발진관 내부의 장치(mirror, 콘덴서)들과 반응하여 가스농도의 변화 및 출력 저하를 야기 시킨다. 엑시머 레이저의 수명은 최소한 $\sim 10^9$ 정도의 shot이 가능하여야 한다.

1. 가스반응 방정식

KrF 엑시머 레이저(발진파장: 248 nm)가 반도체 공정의 레이저 리소그라피용 산업 레이저로 실용화 하기 위해서는 레이저 가스 수명의 향상이 필요 불가결하다. 지금까지 KrF 엑시머 레이저 출력저하의 최대 원인은 레이저 내부의 할로젠 반응에 기인한다.

최근 할로젠 가스 농도 및 발생 불순물을 실험적으로 측정하여 반응과정을 해명하는 연구 보고가 있다. KrF 엑시머 레이저의 출력저하는 레이저관 내부의 수지재료와 레이저 매질의 하나인 불화물가스와의 반응에 기인한다. CF₄, HF, SiF₄ 등의 불소화합물이 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 그러나 이를 정량적으로 규명한 보고가 없으며 레이저 장치내의 불순물 발생 현상을 이해하는 것이 레이저의 장수명화 및 고성능화에 매우 중요하다고 생각되어진다. 현재 특별히 가스의 장수명화를 행하지 않은 시스템에서 KrF 엑시머 레이저는 약 5x10⁶ pulse를 기록하고 있으며 이는 XeCl(308 nm)에 비해 1/10 정도의 값을 기록한다. 사용재료의 선택과 방전장치의 개선 등을 통해 반응을 저감하는 연구도 진행되어 왔으나 아직 뚜렷한 개선은 보이지 않고 있다. 콘덴서의 용량과 방전전압을 낮추어 ~10⁷까지 달성하였다는 보고는 있다[1].

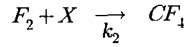
따라서 본 논문에서는 다음과 같이 가스반응의 이론적 기초방정식을 세워 이론적으로 레이저 관내의 화합물 반응 프로세스를 규명하고자 한다.

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

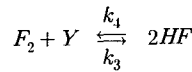
$$\begin{aligned} \frac{dV_{F_2}}{dt} &= Q_{in}[F_{2,bottle}] - Q_{out}[F_2] \\ &\quad - (R_n \cdot k_{11} \cdot S_{11} + k_{12} \cdot S_{12})[F_2]V \\ &\quad - 1 \cdot \frac{dV_{CF_4}}{dt} - \frac{1}{2} \cdot \frac{dV_{HF}}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{dV_{Kr}}{dt} = Q_{out}[Kr] \quad (3)$$

$$\frac{dV_{CF_4}}{dt} = -Q_{out}[CF_4] + R \cdot 1 \cdot S_2 \cdot R_2[F_2]V \quad (4)$$



$$\begin{aligned} \frac{dV_{HF}}{dt} &= -Q_{out}[HF] + 2 \cdot S_3 \cdot R_3[F_2]V \\ &\quad - 2 \cdot k_4[HF]V \end{aligned} \quad (5)$$



윗 식에서 V는 체적을 나타내며, []는 각 요소의 농도를 뜻한다. R_n은 펄스 수를 의미하며 S는 반응표면적, k는 반응속도정수를 의미한다. 본 이론해석에 사용한 레이저 챔버의 형상을 그림 1에 보인다.

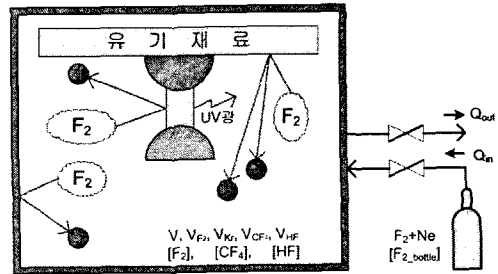


그림 4 KrF 레이저의 이론 모델용 챔버

2. 이론해석 결과

그림 2에서는 발생된 가스농도가 출력에 미치는 영향을 보인다. 레이저 출력은 다음과 같이 계산된다.

$$P = P_0 \times R_{CF_4} \times R_{F_2} \times R_{HF} \times R_{Kr} \quad (6)$$

윗 식에서 P₀는 초기출력을 의미한다. 유기재료와 선전리(preionization)판 및 주방전판에 의해 발생되는 CF₄의 농도와 유기재료와 F₂에

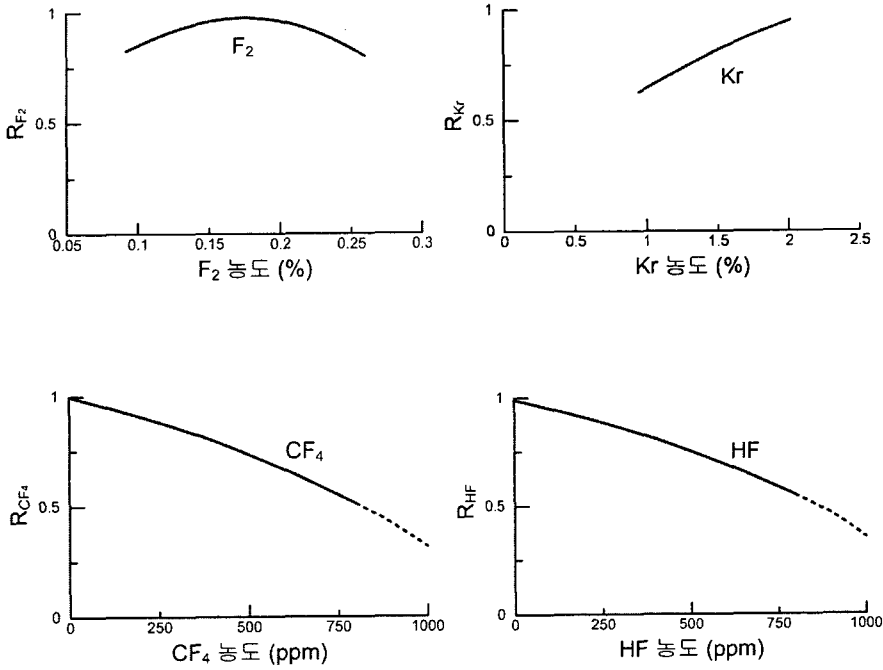


그림 2 레이저출력의 가스농도 의존성

의해 주로 발생되는 HF는 농도가 증가 할수록 레이저 출력 저하에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

III. 결 론

가스 반응 방정식에 의한 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 점을 밝혔다.

1) 출력에 영향을 미치는 불순물 농도의 의

존성을 정량화 하였다.

2) 레이저 설계 단계에서 유기재료의 총 표면적을 계산, 가스수명의 추정이 가능하다.

3) 불순물의 발생 속도가 F_2 농도에 크게 의존하므로 가스조성의 최적화가 가스수명 및 출력에 영향을 미친다.

참고문헌

[1] <http://www.cymer.com>, Cymer INC., USA