

전자빔 여기 KrF 및 XeCl 레이저의
반응기구 해석

ANALYSIS OF REACTION KINETICS FOR E-BEAM EXCITED KrF AND XeCl LASERS

○ 최 부 언*, 이 주 의
(BOO-YEON CHOI*, CHOO-HIE LEE)

경희대학교 전자공학과
(DEPT. OF ELECTRONIC ENGINEERING, KYUNG HEE UNIV.)

I. 서 론

의가스 할라이드 계통의 레이저가 1975년 Velazco 와 Setser[1]에 의해 방사 스펙트럼이 관측된 이후로, 대출력과 고효율을 목표로 하는 의가스 할라이드 계통의 엑사이머 레이저들은 자외선의 단파장 레이저(193~353nm)로서 방진 특성을 가지며 플라즈마 진단, UV Microlithography, 레이저 아닝팅, 광화학 및 관성 핵융합[2] 등의 source로서 연구가 활발히 진행되어 왔다. 의가스 할라이드 계통의 레이저들의 여기방식으로는 전자빔 여기방식과 전기방전방식으로 크게 나눌 수 있는데, 이 중에서 전자빔 여기방식은 대출력, 고효율화의 면에서 다른 여기방식에 비해서 매우 큰 에너지를 큰 채적의 레이저 매질에 균일하고 효율 높게 주입할 수 있을 뿐만 아니라 레이저 펄스의 단펄스화에 큰 장점을 가지고 있다.

본 보고에서는 전자빔 펄스 320keV, 전류 2.5kA인 전자빔 장치를 여기원으로 사용하여 Ar/Kr/F2, Ar/Xe/HCl 혼합가스에 대한 실험적 이론적인 파라메타 해석뿐만 아니라 Ar/Kr/F2 혼합가스에서 Kr rich 효과에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

II. 시뮬레이션 코드

KrF, XeCl 레이저는 레이저 발진의 하위 준위가 해리상태로 있으므로 1 준위 레이저로 볼 수 있으므로 모델화가 매우 용이하다. 전체 레이저 출력에너지, power 밀도 및 효율의 계산에는 0차 모델 즉, point source 모델을 사용할 수 있다.

본 시뮬레이션 코드[3]에서는 전자빔 에너지 축적의 불균일에 따른 여기밀도, 흡수 소신호 이득 불균일 또는 공진기내의 불균일 파라메타들을 무시하고 Feby-Perot 공진기를 가정하고 0 차 모델로 시뮬레이션 코드를 구성하였다.

시뮬레이션 코드를 구성하는데 있어서 먼저 전자빔의 전압, 전류 파형으로부터 가스에 전자빔 에너지의 축적을 저지능(stopping power)을 사용하여 pumping rate를 계산하고, Johnson 과 Hunter[4]의 공식을 사용하여 Kr+, Ar+, Kr*, Ar* 및 2차 전자의 생성률을 결정하였다.

본 코드에서 사용한 여기반응은 전 가스압에 의존하는 반응, 온도 의존성이 큰 반응, F2의 전자 해리 부착반응 및 전자에 대한 엑사이머의 탈여기 반응이다.

마지막으로 KrF*의 비율 방정식으로 광자의 비율 방정식을 계산하여 레이저의 출력과 효율을 계산하였다.

III. 결과 및 검토

KrF, XeCl 는 상외준위에서 본자상태로서 수명이 10E-6 ns ~ 10E-9 ns이고, 하외준위에서의 수명이 10E-12 ns 이므로 밀도반전이 용이하여 고효율, 대출력에 적합하며, 하외의 레이저 준위에서 매우 작은 population을 가지고 상외의 레이저 준위에서는 여러개의 작용채널을 가지는 본자라고 할 수 있다.

레이저 매질 속에 전자빔의 에너지가 축적되면 중성입자와 이온입자를 만들어 이들에 의해서 KrF*가 생성되는데 Ar/Kr/F2의 혼합물에서 지배적인 반응은 다음과 같다.

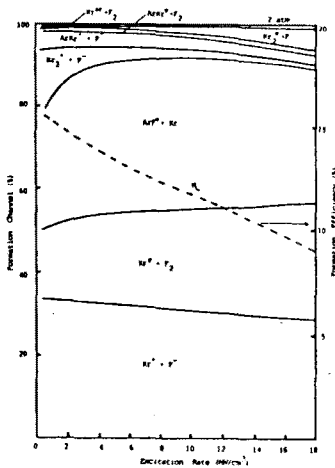
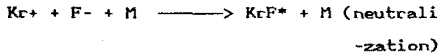
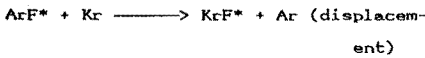
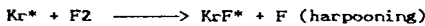


Fig. 1. Percent contribution of the KrF formation channels and the formation efficiency as a function of excitation rate at a total pressure of 2 atm.



위의 반응기구들에 의해 KrF*가 형성되는 것은 전자빔의 전류밀도와 관계가 깊으므로 KrF* 형성채널과 여기율의 관계를 해석해 보면 그림.1. 과 같다.

그림.1. 에서 압력은 2 atm 으로 일정하다. 주된 반응기구는 ArF* + Kr, Kr* + F2 및 Kr+ + F-이며 여기율이 증가함에 따라 Ar* + Kr와 Kr* + F2의 생성은 증가하는 반면 Kr+ + F-의 반응기구는 감소한다.

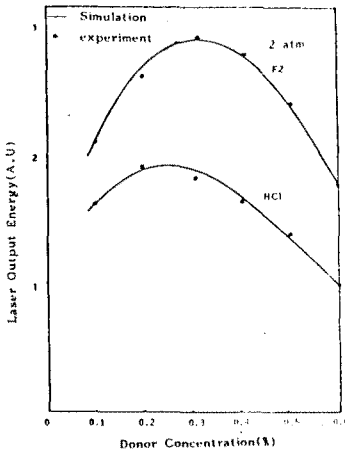


Fig. 2. Laser Output Energy as a Function of Donor Concentration

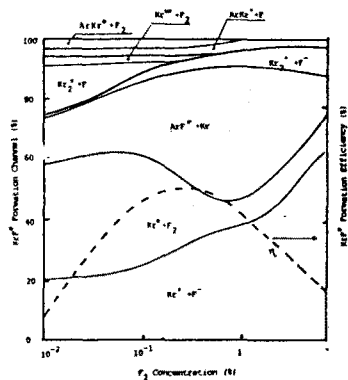


Fig. 3. Percent contribution of the KrF* formation channels as a function of initial F2 concentration at 2 atm and at an excitation rate of 6 MW/cm².

이것은 여기율의 증가에 따른 전자의 증가와 F2의 증가에 관계가 있음을 알 수 있다.

그림도 여기의 영역에서 Kr rich의 경우[5] Ar/Kr/F2의 혼합물에서 보다 생성효율과 추출효율이 높으므로 높은 효율이 기대된다. XeCl 레이저의 경우, XeCl* 생성은 주로 Xe+ + Cl- + Ar → XeCl* + Ar에 의해서 이루어지는 것을 아래의 그림.2. 에서 알 수 있다. Xe+는 주로 charge transfer과정으로 생성되는 것으로 판단되는데 전자빔 에너지가 입력되면 diluent 가스인 Ar을 Ar+로 만들고 Ar+이 각각 Ar2+, ArXe+을 생성하여 이러한 Ar2+와 ArXe+가 Xe과 반응하여 Xe+를 생성한다. 그러나 KrF 레이저의 경우와는 달리 ArCl*에서 XeCl*로의 displacement 반응이 없으므로 Xe rich 연구에서 높은 효율을 기대할 수 없다. 또한 액사이머 레이저에서 도우너의 영향이 크므로 도우너 농도의 최적화가 중요한 문제이다.

그러므로 본 연구에서는 F2 농도에 대한 KrF* 생성, 탈어기, 흡수의 주된 반응기구 및 변화에 대해서 조사하여 보았다.

그림.3. 은 KrF* 생성 반응기구를 F2 농도에 대한 변화로 표시하였다. F2 농도의 증가에 따라 F-는 증가하고 전자밀도는 감소하므로 Kr2+ + e → Kr2*의 생성반응기구의 비율은 감소하고 Kr+ + F-, ArF* + Kr의 반응기구는 증가하고 있다

그림.4. 은 탈어기 반응기구의 F2 농도에 대한 변화를 표시한다. 전자에 의한 탈어기와 F2에 의한 탈어기의 경계는 F2의 0.2% 근처에서 교차되고 유도방출 효율 역시 이 부근에서 최대가 된다.

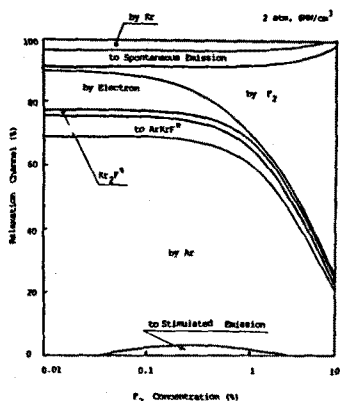


Fig. 4. Percent contribution of the KrF* relaxation channels as a function of initial F₂ concentration at 2 atm and 6MW/cm³.

그림.5. 은 KrF* 레이저의 248 nm의 파장을 흡수하는 반응기구를 나타낸다.

전자빔도가 높을 때에는 지배적인 흡수가 Kr²⁺이지만 F₂ 농도가 증가함에 따라 F₂에 의한 흡수는 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이때 최대 추출효율은 F₂ 농도 0.15 ~ 0.6 사이에 있는 것을 알 수 있다. KrF* 생성효율의 피크치 근처에서 레이저 공진기 내의 소신호 이득과 레이저 강도가 매우 크므로 추출효율은 큰 값을 갖는다. 그러므로 순수효율과 추출효율의 피크의 위치는 큰 차이가 없다. 그래서 이론적, 실험적으로 도우너 농도를 최적화하여 본 결과 F₂ 농도 0.3% 근처에서 일치하는 것을 볼 수 있다.

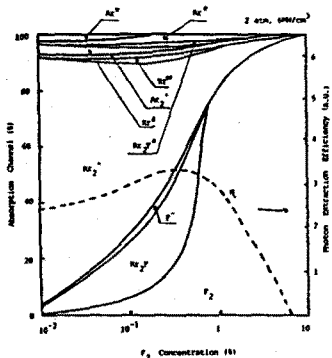


Fig. 5. Percent contribution of the 248nm absorption channels and the photon extraction efficiency as a function of the initial F₂ concentration at 2 atm and 6MW/cm³.

IV. 결론

단펄스 전자빔으로 여기된 KrF 및 XeCl 레이저의 특성을 해석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 모드를 개발하였으며 실험치의 비교한 결과 잘 일치하였다. 이때 가스 혼합비는 F₂/Kr/Ar = 0.3/4/95.7(X), HCl/Xe/Ar = 0.2/6/93.8(X) [6] 이고, 전체 압력은 2 atm 이다. 그러므로 컴퓨터 시뮬레이션 모드를 이용하여 KrF 및 XeCl 레이저의 여러 반응기구와 물성적인 특성을 여기율 또는 도우너 농도의 의존성으로 상세하게 해석하므로써 레이저 장치의 규모설정에 적합한 것으로 판단된다.

* 본 연구는 1984년 하반기 한국과학재단 연구과제 지원으로 시행되었음.

***** 참고문헌 *****

- [1] J.E.Velazco and Setser; IEEE J.Quantum Electron. QE-11, 708 (1975)
- [2] D.D.Lowental et al; IEEE J.Quantum Electron. QE-17, (1981)
- [3] 최 부연; 석사학위 논문집 경희대학교 (1982)
- [4] T.H.Johnson and A.M.Hunter; J. Appl. Phys. 51(5),2406(1980)
- [5] M.Obara, T.Fujioka, F.Kannari, and A.Suda; SPIE vol.476(1984)
- [6] 이 주의, 최 부연, 류 한승; 제 1회 광통신 레이저 학술 발표회 2-1(1986)