

KrF* 형성의 완충기체 영향에 대한 이론적 해석

Theoretical analysis of the buffer
gas effects in a KrF* formation

최 부 언* , 이 주 희

(Boo Yeon Choi, Choo Hie Lee)

경희대학교 전자공학과

(Department of Electronic Engineering,
Kyung Hee University)

요 약

방전여기 방식의 KrF 엑사이머 레이저의 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 방전 중의 KrF* 형성, 탈여기 및 흡수체널에서 완충가스의 영향을 이론적으로 해석하였다. 생성효율은 Ne 완충가스에서 He보다 2.2배 정도 높았으며, KrF*의 탈여기는 He 과 Ne 완충가스에서 각각 50%, 30% 정도의 비율을 차지하였다. 그러나 흡수 과정에서는 완충가스의 영향이 크지 않은 것을 알 수 있었다.

있으나 Maeda 등[3]은 KrF 레이저의 He/Kr/F₂와 Ne/Kr/F₂의 완충가스의 이론적 모델을 개발하고 실험결과와 비교하여 Ne 혼합가스가 2배 정도 생성효율이 높은 것으로 보고한 바 있다.

본 연구에서는 레이저의 고효율화 및 대출력화를 달성하기 위하여 He/Kr/F₂계와 Ne/Kr/F₂계의 혼합가스에서 방전중의 KrF* 형성, 탈여기, 흡수과정 및 이에 기여하는 제반 카이네틱스들의 점유비율에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였다.

2. 모델 설정

1. 서론

1976년 D.G.Sutton[1] 등에 의해 He/Kr/NF₃ 혼합가스에서 방전여기 방식으로 KrF 레이저 발진에 최초로 성공한 이후 장치가 간단하고 고효율 및 고반복의 레이저를 용이하게 얻을 수 있는 장점으로 인해 반도체 리소그래피, 광화학, 동위원소 분리 등의 다양한 응용분야에서 주목을 받고 있다.

방전여기 엑사이머 레이저의 경우 혼합가스가 전기적 부하로 직접 작용을 하므로 레이저 특성의 이론적 해석은 방전중에 형성되는 프타즈마 dynamics와 엑사이머의 형성, 탈여기 및 흡수과정을 종합적으로 취급하여야 한다. 이와 같은 이론적 해석의 최초의 시도는 Greene과 Brau[2]이며, 이후로 많은 보고가

본 연구에서 사용한 모델의 흐름도는 <그림-1>과 같으며 기본적으로 Mizunami 등[4]의 시뮬레이션과 유사하다. 본 모델은 E/N의 변화를 계산하기 위한 회로 방정식, 전자충돌에 의한 이온화, 여기, 탈여기 등의 반응정수를 계산하기 위한 볼츠만 방정식, 카이네틱스 방정식 및 광자 수출 방정식으로 구성하였다. 각각의 방정식에 대한 설명과 초기값들은 참고 문헌[5][6]과 같다.

모델에 사용한 방전여기 KrF 레이저의 등가 회로는 <그림-2>와 같다. 등가회로에서 L₁과 R₁은 C₁에 충전된 전하가 C₂로 이송할 때, 루프의 인덕턴스 및 저항으로 각각 200nH, 0.17Ω이다. L₂와 R₀는 C₂에 충전된 전하가 방전관을 통하여 방전할 때 루프의 인덕턴스

및 비선형 저항으로 $L_2=3nH$ 이며, R_0 는 시간의 함수이다.

모델의 정확도는 모델에서 사용한 반응정수 및 흡수 단면적의 값에 크게 좌우된다. 그러므로 지금까지 보고된 반응정수를 엄선하여 사용하였으며, 전자와 희가스와의 충돌에 의한 반응정수는 볼츠만 방정식을 사용하여 계산하였다. <그림-3>과 <그림-4>는 각각 He/Kr/F₂계와 Ne/Kr/F₂계의 주된 반응경로이다.

3. 결과 및 검토

3-1. 방전 특성

본 연구에서 사용한 혼합가스의 비율과 압력은 각각 He/Kr/F₂ = Ne/Kr/F₂ = 98.3/1.6/0.1 (X), 4 atm이다. <그림-5>는 충전전압 32 KV, Ne Buffer와 He Buffer일 때의 방전전압, 여기 밀도 및 레이저 출력을 나타낸다. 그림에서 방전전압은 Ne 버퍼일 때보다 He 버퍼일 때 높은 반면에, 방전전류는 Ne 버퍼일 때가 높은 것을 알 수 있다. 또한, 여기밀도는 Ne 버퍼에서 3 MW/cm³, He 버퍼에서 5.7 MW/cm³로 2배 정도 큰 것을 알 수 있다. <그림-6>은 충전전압에 따른 C₁에서 C₂로의 에너지 전송효율과 축적 에너지를 나타낸다. 충전전압 20 KV 이하에서 에너지 전송효율은 높지만 방전관에 축적되는 에너지는 충전전압 36 KV일 때의 절반 수준임을 알 수 있다. 그러므로 레이저 효율은 20 KV 근처에서 최대가 됨을 확인할 수 있었다. 이는 방전관의 견연파괴 전압이 충전전압에 따라 선형적으로 증가하지 않고, 같은 압력에서 거의 포화되는 형태를 나타내기 때문이다.

3-2. KrF*의 생성, 탈여기 및 흡수반응기구
방전여기 KrF 레이저의 에너지 흐름을 파악하기 위한 KrF*의 생성 채널은 He/Kr/F₂, Ne/Kr/F₂ 혼합 가스에서 <그림-7>과 같다. 그림에서 He 버퍼인 경우 Kr* + F₂, Kr* + F⁻의 반응기구에 의한 KrF* 생성이 주된 것이며, 충전전압이 증가함에 따라 이온반응에

의한 Kr* + F⁻의 반응기구의 비율이 커지는 것을 알 수 있다. 이 때의 여기밀도는 4 MW/cm³ — 6.3 MW/cm³이다. 그러나 Ne 버퍼의 경우 Kr* + F₂, Kr* + F⁻, NeKr* + F⁻의 반응기구에 의해 주로 KrF*가 생성되는 것을 알 수 있으며, 여기밀도는 1.5 MW/cm³ — 3 MW/cm³이다. 위의 그림에서 생성효율(전체 KrF* 생성밀도수 / 축적에너지 x 100)은 Ne일 때가 He일 때보다 2배 정도 크게 형성되는 것을 알 수 있다. 또한 KrF*형성의 전단계인 희가스 여기 및 이온의 생성 채널은 <그림-8>과 같다.

전자에너지가 희가스의 내부에너지로 가스에 흡수되는 과정을 나타내는 Precursor의 생성 채널은 전자에너지 분포에 크게 좌우되며, 희가스의 여기 및 이온화에 필요한 에너지와 전자에너지의 함수로서 반응정수가 결정된다. Kr → Kr*, Kr → Kr⁺, Ne → Ne*, Ne → Ne⁺, He → He*, He → He⁺에 필요한 에너지는 각각 9.9 eV, 14eV, 16.6 eV, 21.6 eV, 19.8 eV, 24 eV이다. 그림에서 KrF*생성에 기여하는 반응기구는 주로 Kr + e → Kr* + e, Kr + e → Kr⁺ + 2e, Kr* + e → Kr⁺ + 2e 임을 알 수 있다.

<그림-9>는 충전전압의 변화에 의한 KrF*의 탈여기 반응정수를 표시한다. 그림에서 주된 탈여기는 전자에 의한 것이며, 충전전압이 증가함에 따라 전자수 밀도의 증가에 의해 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 또한 He 버퍼에서는 50 %정도가 He 가스에 의해, Ne 버퍼에서는 30 %정도가 Ne 가스에 의해 탈여기되는 것을 알 수 있다.

<그림-10>은 충전전압의 변화에 대한 KrF 레이저의 파장을 흡수하는 반응정수의 변화를 나타냈다. 방전여기 KrF 레이저에서 버퍼가스에 의한 흡수는 상당히 작은 반면에 도우너 가스로 사용한 F₂ 및 F⁻에 의한 흡수가 지배적인 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구실에서는 UV 예비 진리 방전여기

He/Kr/F₂계 및 Ne/Kr/F₂계의 KrF 레이저의 모델을 이용하여 KrF 레이저에서 버퍼 가스 로 사용되는 He, Ne이 KrF* 생성, 탈여기 및 흡수 과정에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

KrF* 생성의 주된 반응기구는 He과 Ne버퍼 에서 각각 Kr* + F⁻, Kr* + F₂ 와 Kr* + F⁻, Kr* + F₂, NeKr* + F⁻ 였으며, KrF* 생성효 율은 He 버퍼일 때보다 Ne 버퍼일 때가 2.3 배 정도 높은 것을 알 수 있었다. KrF* 탈 여기에 있어서는 He 버퍼에서 50 %정도가 He 에 의해, Ne 버퍼에서 30 %정도가 Ne에 의해 탈여기되는 것을 알 수 있었다. 그러나 KrF 레이저 파장의 흡수에는 별 영향이 없음을 알 수 있었다.

결과적으로 KrF 레이저에서 버퍼 가스로서 He 보다 Ne쪽이 고효율, 대출력에 유리하며, He 보다 낮은 여기밀도인 1.5 MW/cm³ — 3 MW/cm³에서 2 % 이상의 효율이 얻어짐을 확인 할 수 있었다.

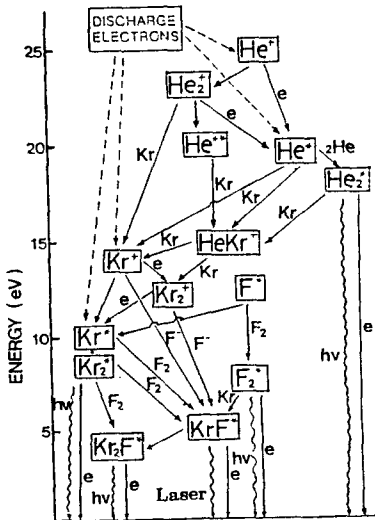


Fig.3 Diagram of KrF laser reaction channels in a mixture of He/Kr/F₂.

참 고 문 헌

- [1] D.G.Sutton, S.N.Suchard, O.L.Gibb, and C.P.Wang, Appl.Phys.Lett., 28, 522 - 523 (1976)
- [2] A.E.Green and C.A.Brace, IEEE J. Quantum Electron, QE-14, 951 - 957 (1978)
- [3] M.Maeda, A.Takahashi, T.Mizunami, and Y.Miyazoe, Jpn.J.Appl.Phys., 21, 1161 (1982)
- [4] T.Mizunami, M.Maeda, O.Shimomura, and Y.Miyazoe, The Laser Society of Japan, 9, 52 (1981)
- [5] B.Y.Chol, J.K.Jeong, and C.H.Lee, Trans. KIEE, 38(10), 788 - 794 (1989)
- [6] B.Y.Chol, J.K.Jeong, and C.H.Lee, 88 KIEE Annual conference international sessions, 298 - 301 (1988)

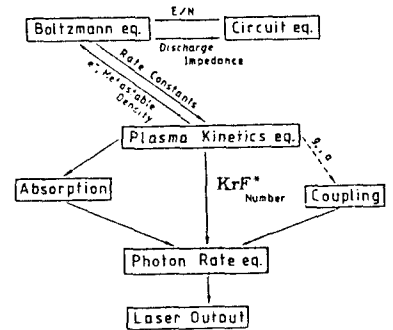
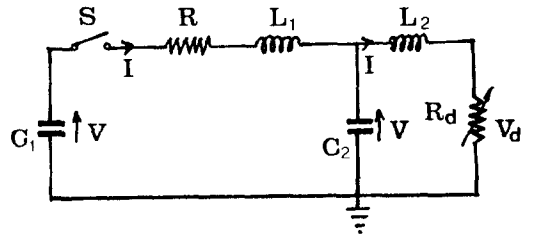


Fig.1 Schematic diagram of UV-preionized discharge KrF laser simulation



C₁ = 59.4 nF , L₁ = 200 nH
 R = 0.17 Ω
 C₂ = 54 nF , L₂ = 3 nH
 Discharge volume ; 116 cm³
 1.8(H) x 1.2(W) x 54(L)

Fig.2 Equivalent circuit of UV-preionized discharge KrF laser simulated in this study. Parameters are shown in this figure.

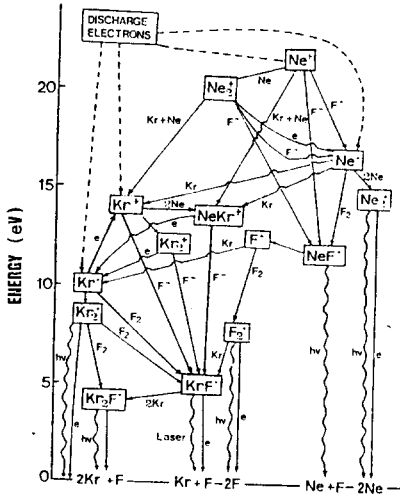


Fig.4 Diagram of KrF laser reaction channels in a mixture of Ne/Kr/F₂.

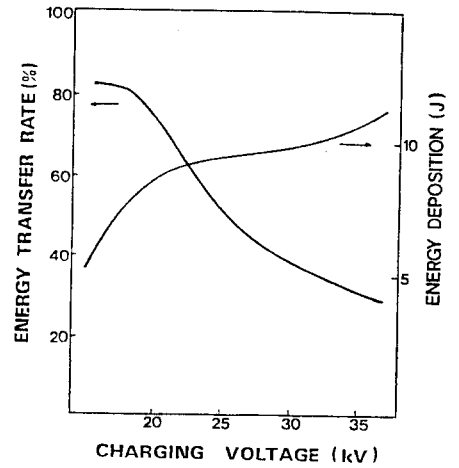


Fig.6 Variations of the energy transfer rate and the deposition energy with the charging voltage.

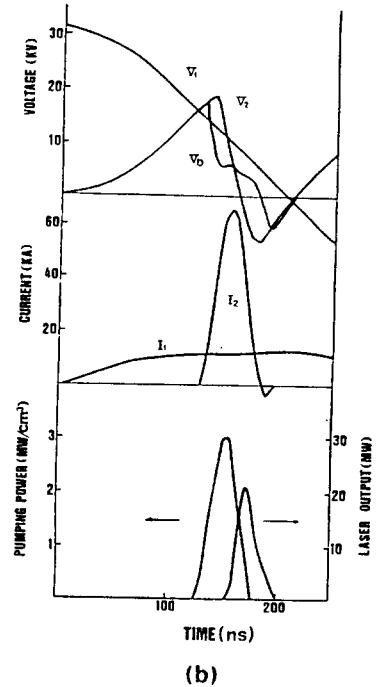
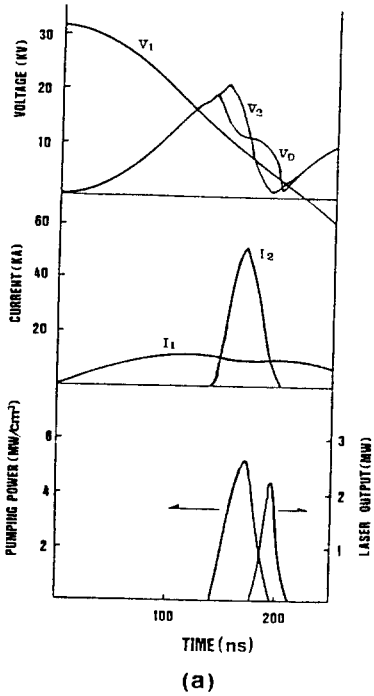
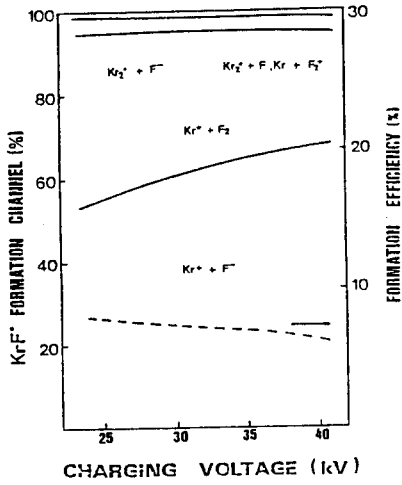
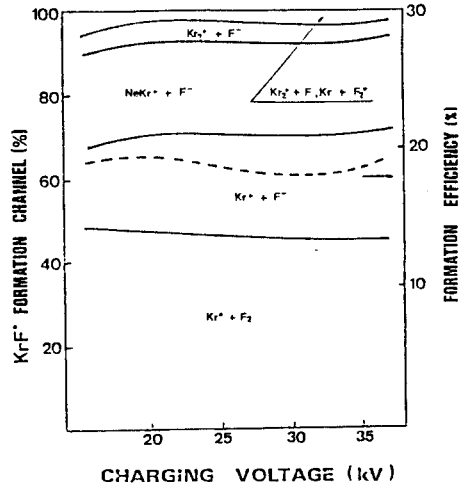


Fig.5 Calculated temporal histories of the voltage, current, pumping density, and KrF laser output at a charging voltage of 32kV (a) for the He diluent and (b) for the Ne diluent. All parameters are the same as those in Fig.2

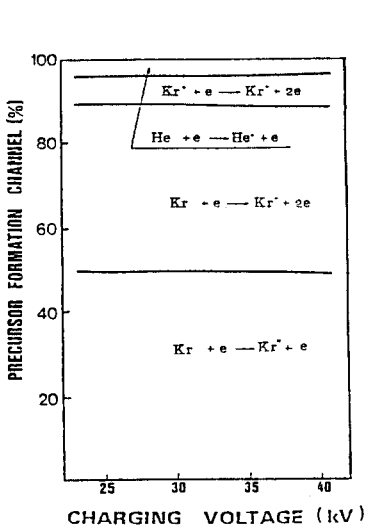


(a)

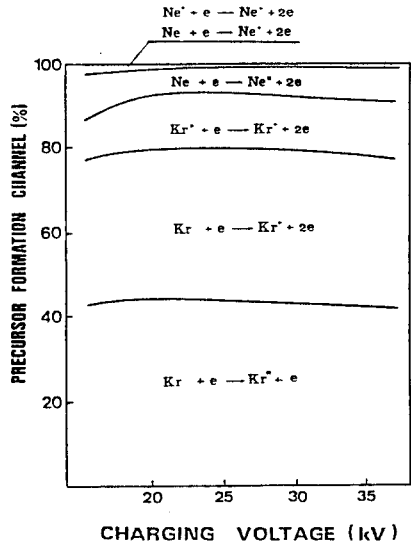


(b)

Fig.7 Variations of the KrF^m formation efficiency and the percent contribution of the KrF^m formation channels with the charging voltage (a) for the He diluent and (b) for the Ne diluent.

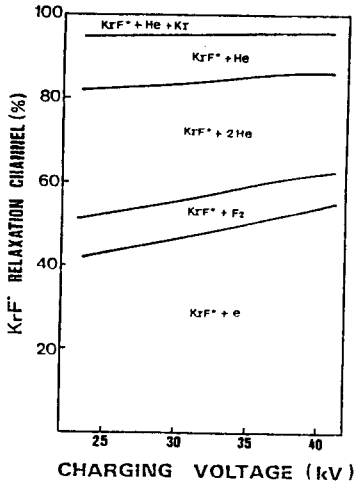


(a)

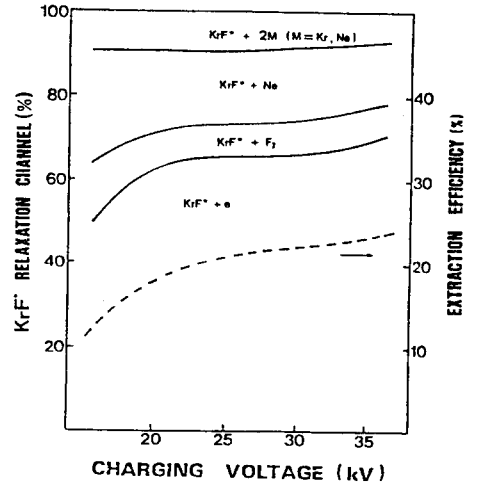


(b)

Fig.8 Variations of the percent contribution of the precursor formation channels with the charging voltage (a) for the He diluent and (b) for the Ne diluent.

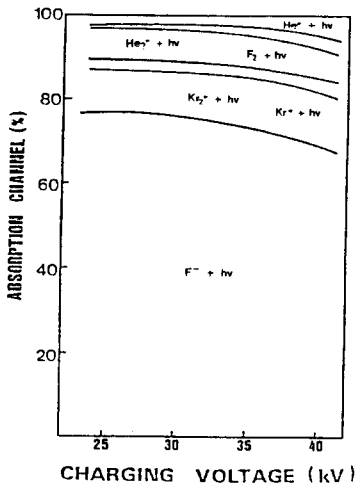


(a)

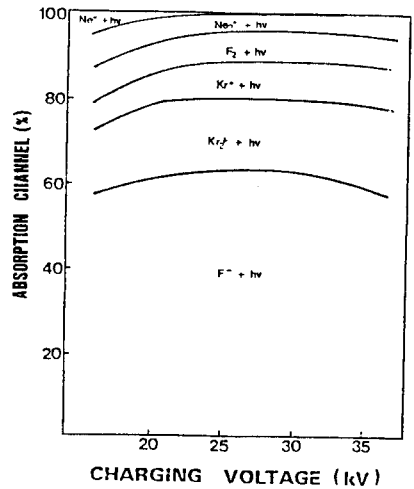


(b)

Fig.9 Variations of the percent contribution of the KrF*relaxation channels with the charging voltage (a)for the He diluent and (b)for the Ne diluent.



(a)



(b)

Fig.10. Variations of the percent contribution of the absorption channels with the charging voltage (a)for the He diluent and (b)for the Ne diluent.