

횡방향 전자빔여기 XeCl 엑시머 레이저의 출력특성

류한용 · 이주희

경희대학교 전자공학과

김 용 평

한국표준과학연구원 레이저연구실

(1994년 6월 16일 받음)

XeCl 엑시머 레이저를 횡방향의 전자빔으로 여기하여 이의 출력특성을 조사하였다. 전자빔의 출력은 880 kV, 21 kA(70ns, FWHM) 이며 전자빔의 전류밀도는 다이오드(A-K) 간격과 공진기 외부에 설치한 펄스자계코일(4.7 kG)로 제어하였다. 레이저 매질에 주입되는 전자빔의 축적에너지는 35 J(4기압)이다. 축적에너지는 Radcolor film의 감광면적과 압력상승법에 의해 측정된 가스매질의 상승압력으로부터 환산된 수치이며, 이 때의 여기체적은 320 cm³이었다. 레이저 가스의 혼합비율은 HCl/Xe/Ar=0.2/6.3/93.5 %이고 총압력이 3기압일 때, 최대효율 1.7%를 얻었다. 이 때의 출력에너지, 특성에너지는 각각 0.52 J, 1.7 J/l이었다. 실험결과와 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션코드를 완성하였다. 시뮬레이션 결과는 실험결과와 잘 부합하고 있음을 확인하였고, 그 결과를 이용하여 XeCl*의 형성채널, 완화채널, 308 nm의 흡수채널을 이론적으로 설명하였다.

I. 서 론

고전압의 전자빔 가속기는 대용량의 펄스 파워를 균일하게 발생시키는 것이 가능해 이것을 엑시머 레이저의 펌핑에 사용할 때 엑시머의 형성 키네틱스와 레이저 시스템의 파라메타 연구가 용이하여 엑시머 레이저의 개발초기에 이에 대한 연구가 일부분 이루어 졌다. 특히 Ewing 등의 XeCl 및 KrF 레이저에서 ${}^2\Sigma^+_{1/2} \rightarrow {}^2\Sigma^+_{1/2}$ 천이과정해석,^[1] Moody 등의 XeCl 레이저에서 순수효율 9%의 보고^[2]와 Tisone 등의 KrF 레이저에서 출력 80J의 보고^[3]는 전자빔으로 여기한 엑시머 레이저의 대표적인 연구들이다.

최근들어 방전여기 엑시머 레이저중에서 XeCl 레이저는 광화학과 정밀가공용 등의 파워 드라이버로 실용화되면서, 레이저의 고성능화에 필요한 엑시머 형성 키네틱스 해석과 출력 파라미터의 연구^[4]가 재조명 받고 있다. Fujikawa 등의 Spiker/Sustainer 회로 방식으로써 효율 4%, 출력 2 kW를 갖는 XeCl 레이저 개발^[5]과 Godard 등의 1 kW급(10J×100 Hz)의 X-ray 예비전리 XeCl

레이저 개발^[6]의 연구들은 대용량 XeCl 레이저를 목표로 하고 있다. 또한 Sorkina 등은 방전여기 XeCl 레이저의 컴퓨터 시뮬레이션으로 구체적인 레이저 파라메타의 해석과 대용량의 가능성을 제시하였다.^[7] 국내에서는 전자빔 여기한 KrF 레이저^[8] 및 XeCl 레이저^[9]의 이론해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션과 KrF^[10] 및 XeCl^[11,12] 레이저의 방전시스템을 제작하여 방전파라미터 및 레이저 출력특성의 해석에 대한 연구 등이 발표되었다.

Xenon halide 계열의 XeCl 레이저(308 nm), XeF 레이저(351, 353 nm), XeBr 레이저(282 nm) 등은 기저준위의 최하위 밴드인 X-밴드 상태가 약한 결합상태로 존재하므로 bound-bound 전자천이를 하는 것으로 알려져 있다. 특히 XeCl와 XeF는 X-밴드 상태가 각각 255 cm⁻¹^[13]와 1065 cm⁻¹^[14]의 결합에너지를 갖고 있으므로 하위준위는 비교적 안정되어 몇개의 진동준위를 갖는 분광학적 특성이 알려져 있다. Ku 등^[15]이 보고한 XeCl와 XeF의 B, C-밴드 형성에 대한 키네틱스의 향상 등은 광화학분야에서도 큰 관심이 되고 있다. Nighan 등^[16]과 Litzenger 등^[17]은 B→X 천이를 갖는 XeF 레이저에서 C→A 천이를 유도함으로써 파장가변을 실현한 엑시머 레이저를 보고했다. 이들은 각각 여기밀도 10 MW/cm³와 250 kW/cm³를 갖는 전자빔 장치로서 스펙트럼을 분석

*본 연구는 한국표준과학연구원의 1993년도 연합 협동 연구사업 지원연구비에 의해 수행되었음.

하여 보고하였다. 국내에서도 소형의 전자빔 여기 엑시머 레이저의 발전 실험이 보고^{18,19)}된 바 있으나 구체적인 연구는 보고된 바 없다.

본 연구에서는 Xenon halide 계열의 레이저에 대해 레이저 출력 파라미터와 키네틱스를 조사하기 위한 첫 단계로서, Xe/HCl/Ar의 레이저 가스를 횡방향의 전자빔으로 여기한 XeCl 레이저의 출력 특성을 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 조사한 바를 보고한다.

II. 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 그림 1과 같다. 이것은 전자빔 가속기의 Marx 발생기와 전자빔 다이오드, 레이저 공진기, 외부자계코일, 계측장치의 4부분으로 구성된다. Marx 발생기는 에너지 축적소자로 세라믹 캐패시터를 사용하고 이것을 총 16단의 모듈로 구성하여 ±80 kV까지 충전할 수 있다. 전자빔 다이오드는 길이

360 mm×폭 14 mm의 알루미늄 재질 음극(K)과 두께 50 μm의 Ti 박막의 양극(A)으로 구성하였다. 음극은 직육면체의 카본(10×10×2 mm³) 256개와 두께 50 μm의 Ti 칼날을 8매까지 끼워서 강전계를 형성할 수 있도록 하였다. A-K 간격은 전자빔 다이오드의 임피던스를 결정하므로 21 mm로 조정하여 최적화하였다. 음극의 박막은 전자빔 다이오드(~10⁻⁵ torr)와 레이저챔버(~3기압)의 인터페이스 역할을 하고 있기 때문에 박막 지지용으로 양 압력차이에서 기계적 강도를 유지할 수 있는 Hibachi(개구율 약 85%)를 설치하였다.

따라서 Marx의 출력전압은 전자빔 다이오드를 통해 전자빔을 발생하고 이것을 레이저 챔버에 주입한다. 본 실험에서는 전압 880 kV, 전류 21 kA(70 ns, FWHM)을 사용하였다. 표 1은 전자빔 가속기의 중요 파라미터를 표시한다.

전자빔은 높은 압력의 레이저가스중에 주입되므로 진행하며 원자 및 분자들과의 다중충돌산란으로 전파거리가 짧아지게 되는데, 전파거리를 길게하여 여기단면적을 증가시키기 위해서는 전자빔 집속용 외부자계의 인가는 필수적이다. 표 2는 설계제작한 펄스자계코일의 사양을 나타낸다. 이것은 레이저 챔버구조와 유사한 형태로 제작하였고, 자계코일은 펄스 전압 5 kV에 견딜 수 있도록

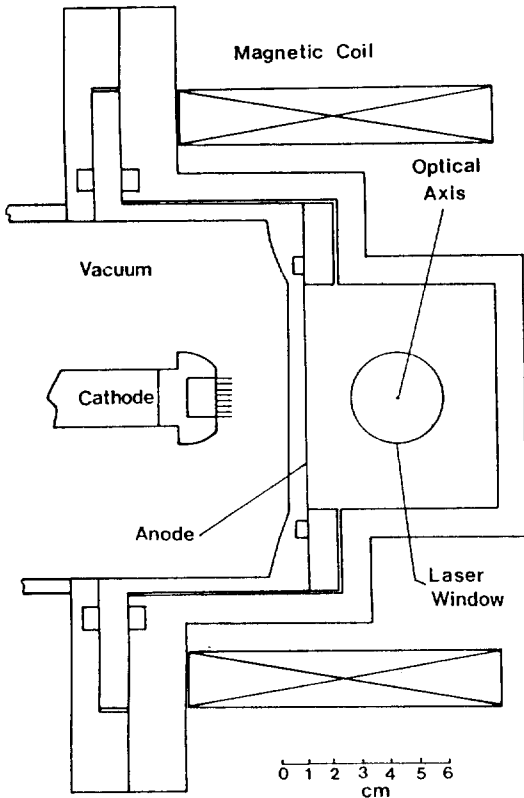


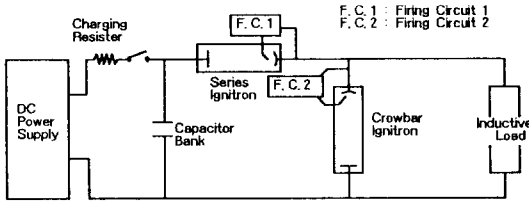
그림 1. Cross sectional view of experimental apparatus with electron-beam diode, laser chamber, and pulsed magnetic coil.

표 1. Major characteristics of an e-beam accerlator.

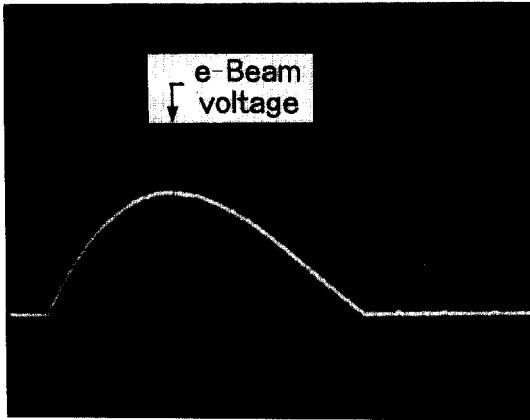
E-Beam Diode	
Output Voltage	880 kV
Output Current	21 kA
Pulse Width (FWHM)	70 ns
Anode (A)	Ti 50 μm
Cathode (K)	L360×W14 mm ²
A-K Gap	21 mm
Marx Circuit	
Total Stage	16
Charging Type	Hybride
Charging Voltage	± 80 kV
Output Capacitance	675 pF

표 2. Specification of pulsed magnetic coil

Magnetic Flux Density	<5 kG
Magnetic Length	120 mm
Cross Section	2040 cm ²
Inductance	1.23 mH
Number of Turns	24
Coil	φ 8 mm Copper



a



b

그림 2. Schematic circuit diagram (a) for pulsed magnetic coil and oscillogram (b). An electron-beam is properly synchronized current signals of pulsed magnetic coil.

직경 8 mm의 KSC3302 전선을 사용하였다. 펄스자계코일의 인덕턴스는 자로(magnetic length) $l=0.12$ m, 단면적 $A=0.204$ m²의 설계값과 투자율(μ_0)을 고려하여 인덕턴스 계산식에 대입하면 권회수 N의 함수로서 식 (1)로 정의된다.

$$L = 2.136 \times 10^{-6} \times N^2 \quad (1)$$

이 때 코일과 전원을 단순한 LC회로로 보면, 자계코일에 흐르는 최대 전류는 식 (2)로 표현된다.

$$I_{max} = V_{max} \sqrt{C_{max} / (2.136 \times 10^{-6} \times N^2)} \quad (2)$$

여기서 최대인가전압 5 kV와 캐패시턴스 3.6 mF를 고려하면 식 (3)으로 간략화 된다.

$$I_{max} = 205 \times 10^3 / N \quad (3)$$

코일은 두께 5 mm의 베이크라이트 판위에 감은 후 에폭시 몰딩으로 고정하여 순간 대전류에 진동하지 않도록

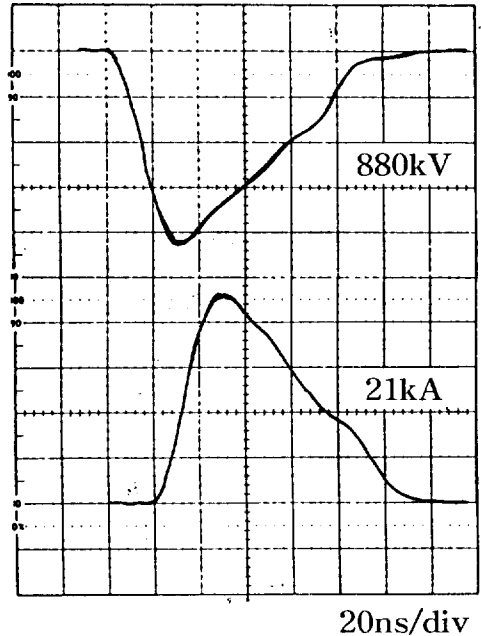


그림 3. Measured time history of typical voltage and current in electron-beam diode.

제작했다.

펄스자계코일의 자계는 전자빔과의 시간 동기화가 필요하므로 코일에 흐르는 전류의 최대값 부근에서 전자빔을 동기 주입하여 전자빔의 집속효과를 최대로 할 수 있다. 그림 2(a)는 펄스자계코일의 구동회로이고 그림 2(b)는 펄스자계코일 전류(펄스폭 12 ms)와 전자빔 전압(70 ns, FWHM)의 동기화상태를 나타낸다.

레이저 챔버는 외부자계의 투과도가 큰 비자성재료(sus-304)로 제작하였고, 이것은 할로겐 혼합가스에도 좋은 내구성을 갖는다. 가스 핸들링시스템은 sus-316 밸브와 테프론관(PTFE)을 사용하였고, 레이저 챔버부의 기밀은 viton O-ring으로 유지하였다. 레이저창은 50 mm×5 mmT의 CaF₂를 AR 코팅하여 사용하였다. 레이저 공진기는 50×10 mmT의 308 nm에서의 전반사와 30% 반사율로 코팅한 평행평판으로 구성하였고 공진기의 길이는 700 mm이다. 레이저 가스는 Xe 99.995%, HCl 99.9%, Ar 99.999%를 혼합하여 사용하였다.

전자빔 다이오드의 출력전압은 CuSO₄ 저항전압분배기와 고전압 probe로 측정하고 전류는 1 ohm의 금속피막저항 100개를 병렬연결하여 전압강하법으로 측정하였다. 그림 3은 대표적인 전자빔의 전압 전류의 파형이다.

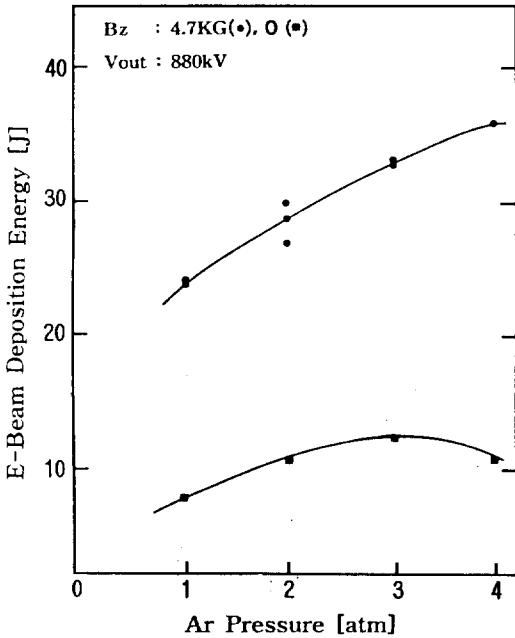


그림 4. Measured electron-beam deposition energy as a function of Ar pressure for the diode voltage of 880 kV. The Bz of 4.7kG and without Bz are depicted by circle and box, respectively.

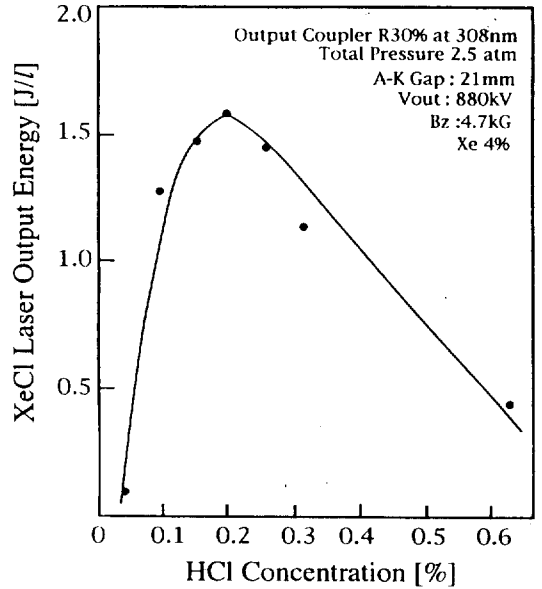


그림 5. Experimental values of XeCl laser output energy as a function of HCl concentration for the Xe 4% and total pressure of 2.5 atm.

III. 출력특성

1. 전자빔 축적에너지

레이저 매질에 축적되는 전자빔 에너지의 측정방법은 압력상승법^[20], 카로리메타법,^[21] Burn-Pattern 측정법^[22] 등이 있다. 본 실험에서는 압력상승법과 Burn-Pattern 법을 혼합한 방법^[23]을 사용하여 레이저 가스의 압력상승값은 고속응답 압력센서(Type-6001, Piezo-Instrumentation KISTLER, Switzzland), Burn-Pattern은 Radcolor film(No. 381, Nitto Electric Co., Japan)을 각각 사용하여 측정하였다. Ar 가스에 축적되는 전자빔 에너지는 식 (4)^[23]로 계산된다.

$$E_{dep} = C_v \cdot T(\Delta P/P)PV_{ext} \times 4.184$$

$$= 159.3 V_{ext} \Delta P \quad (4)$$

여기서, C_v 는 Ar 가스의 정적비열[cal·deg⁻¹·g⁻¹], T 는 가스온도,[K] ΔP 는 상승압력[atm], V_{ext} 는 여기체적[l]이다.

Ar 가스는 XeCl 레이저의 완충가스로 작용하여 전체 혼합가스의 90% 이상을 점유하므로 축적에너지는 Ar

가스를 충전한 상태에서 실험한 후 이것을 Berger-Seltzer^[24] 방법으로 환산하였다. 그림 4는 다이오드 출력전압 880 kV일 때 자계세기를 0과 4.7kG로 하였을 때 Ar 가스의 압력변화에 따른 전자빔 축적에너지의 변화를 나타낸다. 전자빔 축적에너지는 외부자계를 가하지 않았을 때 Ar 가스의 압력증가에 따라 서서히 증가하여 3 atm에서 최대 12 J, 그러나 4.7 kG를 가하였을 때는 Ar 가스의 압력에 따라 급속히 증가하여 4 atm에서 35 J이다. 이것은 전자빔 축적에너지는 외부 자계의 세기에 의해 제어될 수 있음을 나타내고 있다.

2. 레이저 출력의 매질 농도 및 총혼합가스 압력의존성

Xenon halide 엑시머 레이저의 출력은 할로젠 도우너에 대해 매우 민감하게 반응을 한다. 따라서 XeCl 레이저의 출력특성을 조사하기 위하여 먼저 할로젠 도우너로 사용되는 HCl에 대한 최적화가 우선되어야 한다. 그림 5는 혼합가스압력 2.5 atm에서 Xe 농도 4%, 외부자계는 4.7 kG를 각각 고정하였을 때 HCl 농도의 변화에 대한 레이저 출력을 나타낸다. 이때 최대출력은 HCl 0.2% 때 얻어졌다. HCl 0.2% 미만의 경우 레이저출력은 급격한 감소를 하고 있는데 이것은 HCl이 burn-up되어

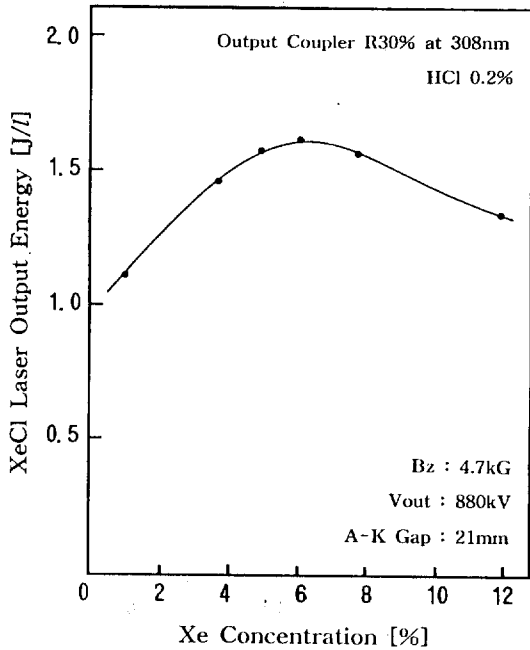


그림 6. Experimental values of XeCl laser output energy as a function of Xe concentration for the HCl 0.2% and total pressure of 2.5 atm.

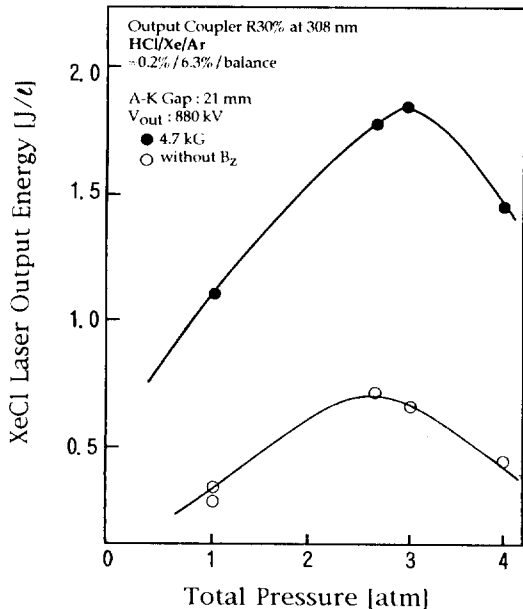


그림 7. Experimental values of XeCl laser output energy as a function of total pressure for the gas mixture HCl/Xe/Ar=0.2/6.3/93.5%.

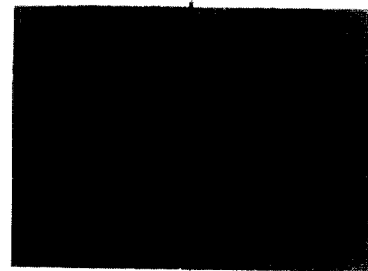
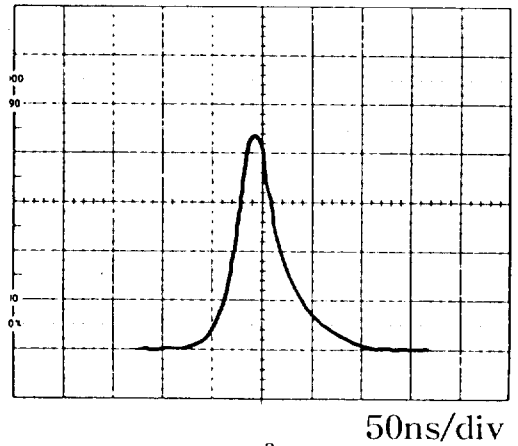


그림 8. Measured temporal waveform and spatial burn pattern of XeCl laser for the gas mixture HCl/Xe/Ar=0.2/6.3/93.5%. P=3 atm.

XeCl* 생성이 어렵고 또한 2차진자는 HCl과의 헤리부 착으로 탈여기에 기인하는 것으로 생각된다.

그림 6은 HCl농도를 0.2%로 고정했을 때 Xe 농도 변화에 대한 레이저 출력을 나타낸다. 외부자계는 그림 5의 조건과 같은 4.7 kG를 가하였고 이때 Xe 6.3%에서 최대출력이 얻어졌다. Xe 6.3%와 HCl 0.2%의 최적화된 농도를 고정하고 Ar을 완충가스로 하여 전체 가스압력 변화에 대한 레이저출력을 얻은 것이 그림 7이다. 외부자계를 가하지 않았을 때(하위 곡선)와 4.7 kG를 가했을 때(상위 곡선)의 차이에서 나타나듯이 최대 레이저특성 에너지는 2.5기압과 3기압에서 각각 약 0.7 J/l와 1.7 J/l이다. 이때 출력은 약 2.4배 증가하였다. 이것은 높은 압력조건에서는 외부자계를 가하므로써 여기밀도가 증가하여 전자빔 축적에너지가 커져 레이저 출력이 상승하는 것으로 나타난다.

그림 8은 그림 7의 최적조건에서 얻은 레이저파형(a)과

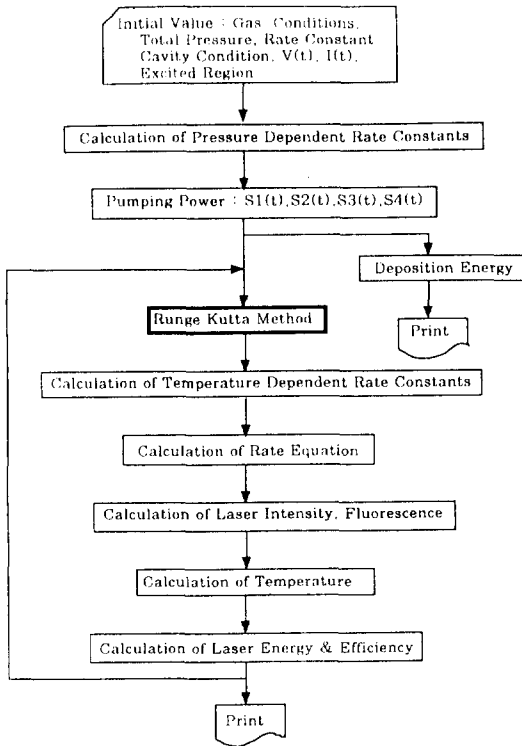


그림 9. Flowchart of computer simulation program for the electron-beam pumped XeCl laser.

레이저 burn-pattern(b)을 각각 나타낸 것이다. 레이저 파형과 레이저 burn-pattern의 측정은 각각 biplanar photo tube (R1193U-02 Hamamatzu, Japan)와 Laser-Card(UV Sensitive Film, SensorPhysics Co.)를 사용하였다. 레이저파형은 약 45 ns(FWHM)의 펄스폭을 갖는 것으로 관측되었으며, 전자빔 전압 70 ns(FWHM)가 인가되는 동안 레이징되고 있는 것을 알 수 있다. 그림 8(b)의 균일한 burn-pattern의 크기는 레이저창의 유효크기(직경 34 mm)와 동일하며, 이것은 전자빔여기의 특징인 대체적 균일여기를 보여주고 있다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 실험데이터의 비교

그림 9는 시뮬레이션에 사용한 프로그램의 흐름도이다. 프로그램의 구성은 문헌^[9]의 보고에 기초하였고, 속도방정식의 속도정수는 이미 보고되어 있는 화학반응정수들을 사용하였다. 시뮬레이션 모델링은 초기값 입력, 전자빔축적에너지 계산, 비율방정식 계산, 레이저에너지 및 효율 계산 등으로 구성된다. 그림 10은 전체 가스압

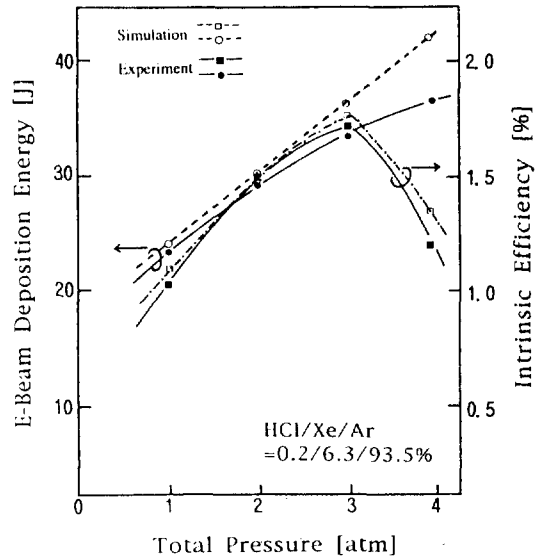


그림 10. Experimental and calculated values of e-beam deposition energy and XeCl laser intrinsic efficiency as a function of total pressure. Non-solid lines are simulation results.

력변화에 대해 XeCl 레이저효율(레이저 에너지/전자빔 축적 에너지 x 100%)과 전자빔 축적에너지를 나타낸 것이다. 여기서 측정값과 시뮬레이션값은 각각 실선과 점선으로 나타났다. 혼합가스 3기압에서 레이저출력에너지는 0.52 J과 0.58 J로 각각 측정값과 시뮬레이션결과로 나타났다. 이 때 최대효율은 측정값의 1.7%와 시뮬레이션의 1.74%이었다. 4기압 조건에서는 전자빔 축적에너지는 증가하나 레이저 출력은 감소하여 오히려 효율은 감소되었다. 이것은 혼합가스의 고압력조건에서 여기밀도가 부족하여 XeCl* 엑시머 분자의 형성이 줄고, HCl과 Ar, 그리고 Xe에 의한 quenching의 증가, 308 nm를 흡수하는 Ar₂⁺와 Xe₂⁺의 증가에 의해 레이저 출력이 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 이때 전자빔 출력전압은 880 kV, 외부자계 4.7 kG, 가스 혼합비는 Xe 6.3%와 HCl 0.2%이다. 시뮬레이션 결과의 효율과 실험데이터의 효율을 비교하면 3기압까지는 매우 근사하게 일치하고 있으나 그 이상의 가스 압력에서는 가스 압력이 높을수록 차이가 크게 나타났다. 이것은 3기압보다 높은 고압력 조건의 경우는 더욱 높은 전자빔 여기밀도를 필요로 하는 것으로 고려된다.

실험데이터와 비교적 좋은 일치를 갖는 시뮬레이션 모델로부터 그림 11의 결과를 얻을 수 있었다. 이것은

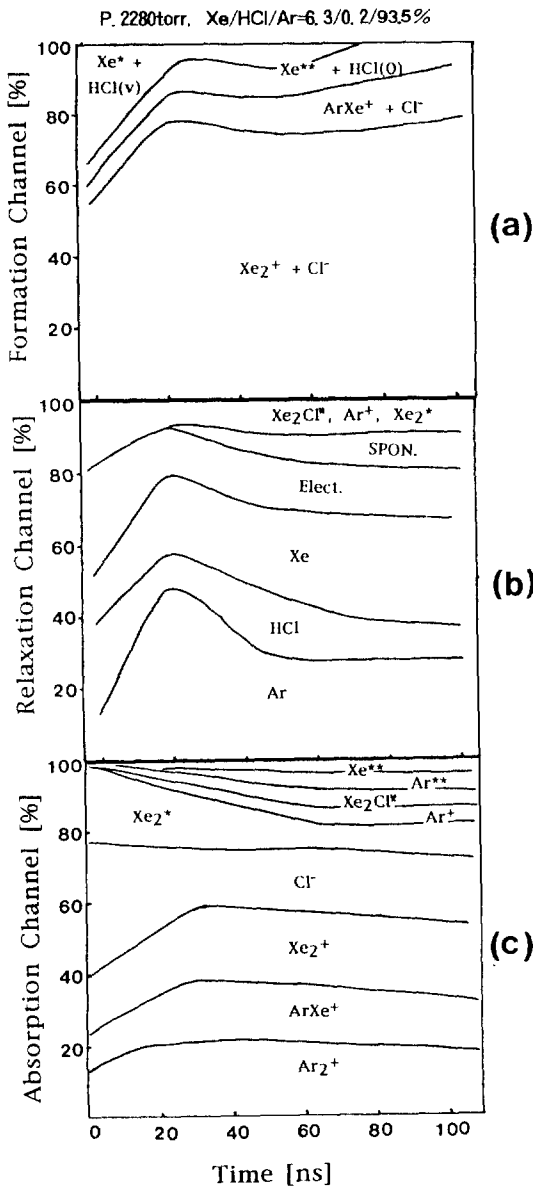


그림 11. Calculated time histories of various species contributed to XeCl* formation channel (a), XeCl* relaxation channel (b), and 308 nm absorption channel (c).

시간변화에 대한 XeCl* 형성채널(a), XeCl* 완화채널(b), 308 nm 흡수채널(c)을 나타낸 것이다.

이것은 다양한 가스의 상태들이 각각의 채널에서 기여하는 양을 백분율로서 표시되었다. 이때 가스 혼합 비율과 총압력, 레이저시스템 파라메타 등의 값은 그림 10의 조건과 동일한 값으로 하여 시뮬레이션의 입력

데이터로 하였다. 그림 11(a)에서 나타나듯이 전자빔 여기 방식에서는 높은 전자 에너지에 의해 생성되는 이온들에 의해 이온-이온결합을 통해 XeCl* 분자는 이온채널을 통해 90% 정도 형성됨을 알 수 있다. 그림 11(b)의 XeCl* 완화는 3기압의 높은 혼합가스압력과 Xe의 높은 농도 때문에 Ar과 Xe이 지배적으로 나타나고 있다. 그림 11(c)의 308 nm를 흡수하는 종류들은 Ar₂⁺, Xe₂⁺, ArXe⁺과 같은 2원자분자 이온들이 지배적이며 대략 비슷한 양으로 나타난다. 컴퓨터 시뮬레이션의 코드는 FORTRAN 77로 프로그래밍하였고 사용한 컴퓨터는 Workstation(HP-9000, Hewlett Packard)이다.

V. 결 론

본 연구에서는 Xenon halide 계열의 엑시머에 대한 레이저 출력 파라메타와 카이네틱스를 조사하기위한 첫 단계로서, 횡방향의 전자빔(880 kV, 21 kA)으로 여기한 XeCl 레이저(B→X: 308 nm)의 출력 특성을 실험적으로 조사했다. 또한 실험을 통해 얻기힘든 XeCl* 분자의 형성과 완화채널, 308 nm의 흡수채널 등을 컴퓨터 시뮬레이션으로 조사하였다. 레이저 매질에 높은 에너지를 축적시키기 위해 전자빔 다이오드부와 레이저 공진기 외부에 자계코일(4.7 kG)을 설치하였다. 최적화된 가스 혼합비, 총압력, 자계코일의 자계는 각각 HCl/Xe/Ar=0.2/6.3/93.5%, 3기압, 4.7 kG이었으며, 이때의 최대출력에너지, 레이저효율, 특성에너지는 각각 0.52 J, 1.7%, 1.7 J/l이다. 이와같은 실험값들은 외부자계를 가하지 않았을 때 보다 약 2.5배 증가한 것이다. 이것은 고밀도 여기를 위해서는 외부자계의 인가가 필수적임을 나타낸다. 또한 본 연구에서는 레이저 burn-pattern을 측정하므로써 출력경 전면에서 파악은 균일한 레이저를 확인할 수 있었다. 이것은 균일한 대체적 여기에 의해 가능하며 전자빔 여기 방식에서 얻을 수 있는 장점이다. 측정된 45 ns (FWHM)의 펄스폭을 갖는 XeCl 레이저 파형은 전자빔 에너지가 주입되는 시간동안 효율 좋게 레이징 되고 있는 것으로 설명된다.

본 연구에서 얻은 전자빔 여기 XeCl 레이저의 실험적 이론적 결과는 전자빔 여기 대용량 XeCl 레이저의 설계 파라메타 및 XeF(C→A, B→X) 레이저의 기초연구 자료로 충분한 활용이 될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Ewing and C. A. Brau, Appl. Phys. Lett., 27, 350(1979).

- [2] S. E. Moody, L. A. Levin, R. E. Center, J. J. Ewing and K. L. Klosterman, *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-17**, 1856(1981).
- [3] G. C. Tisone, E. L. Patterson and J. K. Rice, *Appl. Phys. Lett.*, **35**, 437(1979).
- [4] The laser society of Japan, Current status and future in laser application, II, *Rev. Laser Eng., Japan* **21**, 133(1993).
- [5] S. Fujikawa, M. Inoue, Y. Sato, Y. Saito, K. Haruta, Y. Murai, and H. Nagai, *CLEO'94, Technical Digest* **8**, 423(1994).
- [6] B. Godard, P. Murer, M. Stehle, P. Laborde, J. Bonnet and D. Pigache, *CLEO'94, Technical Digest* **8**, 423(1994).
- [7] R. Sorkina, F. A. Goor and W. J. Witteman, *Appl. Phys.* **B55**, 478(1992).
- [8] 이주희, 전자빔여기 엑시머 레이저 시뮬레이션, 교육부 보고서(1985).
- [9] 류한용, 이주희, 김용평, 경희대학교 레이저공학연구소 레이저공학 **3**, 33(1992).
- [10] B. Y. Choi and C. H. Lee, *Hankook Kwanghak Hoeji*, **1**, 33(1990).
- [11] 김용평, 김규욱, 최종운, *한국물리학회지 응용물리*, **6**, 7(1993).
- [12] H. J. Park, C. H. Lee and B. Y. Choi, *New Physics (Korea Physical Society)* **33**, 49(1993).
- [13] J. Tellinguisen, J. M. Hoffman, G. C. Tisone and A. K. Hays, *J. Chem. Phys.* **64**, 2484(1976).
- [14] P. C. Tellinguisen, J. Tellinguisen, J. A. Coxon, J. E. Velazco and D. W. Setser, *J. Chem. Phys.* **68**, 5187(1978).
- [15] J. K. Ku and D. W. Setser, *Appl. Phys. Lett.* **48**, 689(1986).
- [16] W. L. Nighan, R. A. Sauerbrey, Y. Zhu, F. K. Tittel and W. L. Wilson, Jr., *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-23**, 253(1987).
- [17] L. N. Litzenberger and A. E. Mandl, *SPIE* **1225**, 60(1990).
- [18] 이주희, 최부연, 김 응, *한국물리학회 51회 총회 발표 논문집 광연2-8*(1985).
- [19] 류한용, 정재근, 이주희, 제 2회 파동 및 레이저학술발표회논문집 I-12, 1(1987).
- [20] J. K. Rice, G. C. Tisone and E. L. Patterson, *IEEE Quantum Electron.*, **QE-16**, 1315(1980).
- [21] T. Suzuki, F. Kannari, M. Obara, and T. Fujioka, *Rev. Sci. Instrum.*, **55**, 472(1984).
- [22] G. J. Hirst, C. B. Dane, R. Sauerbrey, W. L. Wilson and F. K. Tittel, *SPIE* **1041**, 149(1989).
- [23] F. Kannari, A. Suda, M. Obara, T. Fujioka, K. Toyoda and S. Namba, *Rev. of Laser Engineering, Japan*, **12**, 11(1983).
- [24] M. J. Berger and S. M. Seltzer, *NASA Report*, **SP-3012**(1964).

Output Characteristics of XeCl Excimer Laser Excited by Transverse-Electron-Beam

Han-Yong Ryu and Choo Hie Lee

Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University, Youngin, Kyungki 449-701

Yong-Pyoung Kim

Laser Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-606

(Received: June 16, 1994)

We have investigated output characteristics of XeCl excimer laser excited by transeverse electron-beam. We used e-beam output of 880 kV, 21 kA (70 ns, FWHM) and controlled current density of e-beam by pulsed magnetic coil (4.7 kG) which was fabricated around an e-beam diode (A-K gap is 21 mm) and laser chamber. We have obtained 35 J (4 atm) of e-beam deposition energy injected into laser media. The deposition energy was converted from an exposure area of Radcolor film and rising pressure of gas media which is measured by pressure jump method. The excited volume of 320 cm³ was calculated. The maximum efficiency of 1.7% was obtained with the mixing ratio of HCl/Xe/Ar=0.2/6.3/93.5% and total pressure of 3 atm. Also laser output energy and specific energy were obtained 0.52 J and 1.7 J/l, respectively. For the analysis of experimental results we have developed computer simulation code. From the good agreements with the results of experiment and simulation we could theoretically explain the XeCl* formation channel, relaxation channel, and absorption channel of 308 nm.