

# KrF 레이저의 현대역 시스템 개발

慶熙大.工大.李柱熙

## 1. 서론

엑사이머 레이저에 대한 연구개발을 처음으로 공개보통하여 과학계에 입대 선봉을 일으킨바 있는 『Topical Meeting on Excimer Lasers』 국제회의(1979년 9월, 미국 Charleston, South Carolina)가 개최된 이후 금년이 10년째 된다. 당초의 예상되듯 엑사이머 레이저는 VUV-UV 영역에서 대출력·고효율을 실현하였으며 또한 과학기술의 각 분야에서 응용될 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 특히 반도체공학, 화학, 의학, 에너지공학, 분광 및 계측공학등의 각 분야에서 응용연구는 매우 활발하고 급격히 발전하여 21세기의 광산업을 주도할 것으로 기대된다. 더욱이 반도체공학에서 엑사이머 레이저의 응용연구는 현재 연구실 규모에서 실용화 연구단계로 옮겨지고 있다[1~3].

본고에서는 16/64 M DRAM 반도체를 실현하기 위한 UV 광원으로써 엑사이머 레이저의 전망과, 현재 경희대에서 연구중에 있는 『대출력 엑사이머 레이저 및 스펙트럼의 현대역회 시스템 개발』에 대하여 개략적으로 보고한다.

## 2. 16/64 M DRAM 을 위한 엑사이머 레이저 시스템의 전망

### 가. 엑사이머 레이저의 출력

반도체공학에 응용되는 엑사이머 레이저의 대부분은 방전여기 방식을 선택하고 있다. 이의 기본 구성은 <그림-1> 과 같이 (1). 방전기 본체, (2).전원장치, (3).광학계, (4).가

스 조작반으로 구성된다. 엑사이머 레이저를 실용화 하기위해서 필수적으로 요구되는 개발요소는 첫째 고압력 가스의 고전압 방전에서 안정화, 둘째 화학적 부식에 대한 내식소재 및 구조, 셋째 대출력의 UV 광에 견디는 광학부품의 개발등을 들 수 있다.

현재 EUROLASER 계획 또는 AMMIRA 계획으로 추진하는 초정밀 가공용의 엑사이머 레이저 개발은 수 kW-kHz,  $10^9$  Shot 볼 목표도 하고 있다. 이와같은 대형 프로젝트의 개발과제는 한결같이 (1). 장수명화, (2).대출력화, (3).고반복화에 주목하고 있다[4,5].

엑사이머 레이저에 대하여 현재 개발중에 있거나, 기존상품의 대부분은 자외선 예비전리 방식을 사용하고 있다. <그림-2> 와 같이 먼저 주방전 이전에 예비전리 핀에 의하여 예비방전을 하고, 이때 방광되는 자외선은 주방전의 공간을 저전리도의 상태에 놓이게 한다. 연이어서 주방전은 터지고 또한 에너지는 레이저 매질에 주입되어 레이징에 이르게 하는 방식이다.

일반적으로 알려져 있는 제품들의 엑사이머 레이저 성능은 <표-1,2> 와 같다[8]. <표-2> 는 엑사이머 레이저에 대한 일반적인 제원들이다. 대체로 ArF 레이저는 출력 > 50 W, 효율 > 1%, KrF 레이저는 출력 > 100 W, 효율 > 2%, XeCl 레이저는 출력 > 150 W, 효율 > 2.5% 이다. 또한 가스수명은 ArF 레이저의 경우  $10^4 \sim 10^6$  Shot, KrF 및 XeCl 레이저는  $10^4 \sim 10^7$  Shot 이다. Beam divergence 는 구형 beam 에서 2~6 mrad 이다.

대출력 엑사이머 레이저는 흔히 방전여기 방식을 선택하고 있다. 이것은 전자빔 여기 방식에 비하여 높은 증합효율과 고반복 펄

스출력을 쉽게 얻을 수 있는 장점 때문이다. 그러나 방전어기 방식의 대출력 엑사이머 레이저는 대구경 방전을 균일하게 얻을 수 있는 전극형상의 개발과 동시에 일정한 예비전리를 얻어야 하는 문제가 가장 현안의 과제로 제시되고 있다[6]. 대구경의 경우 레이저관의 구조적인 인덕턴스 즉 Head inductance 는 이의 면적에 비례하여 증가하므로 방전전류의 상승시간은 지연되어 방전전력의 주입량은 저하된다.

Head inductance를 적게하면 방전관 내의 연면방전의 문제가 있고, 또한 정방향의 방전단면 구조로 할때 방전전압을 상승시켜야 하는 문제가 있으므로 Head inductance 를 적게하는 대구경의 구조를 개발하는 것이 대출력 레이저의 주요 과제이다.

대출력화의 다른 방법으로 레이저 펄스를 장펄스화 하는 연구가 있다. 기술적으로는 가장 간단하게 레이저 에너지를 융확대하는 방법이지만 방전의 불안정성의 문제가 있다[6,7].

대체로 알려져 있는 방전어기 방식의 대구경 엑사이머 레이저 출력특성은 <표-3> 과 같다[9]. <표-2> 에서 ETL ( 日本 電糖研 )은 비교적 짧은 펄스강여기를 하여 HCl/Xe/Ne=4/20/4476(torr) 의 혼합가스에서 50 J/pulse 를 보고하고 있다[7].

#### 나. 엑사이머 레이저 스펙트럼의 대역폭

엑사이머 레이저는 aperture 가 수 cm 로 매우 크고, 짧은 파장이므로 Fresnel 수  $a^2/L\lambda$  ( 여기서 a 는 aperture 의 반경, L 은 공진기 길이,  $\lambda$  는 파장 ) 는 크다. 따라서 무수히 많은 횡 mode 가 허용되고 공간 coherence는 나쁘다. 또한 펄스폭은 20~30 ns 의 짧은 값이므로 공진기에서 레이저 광의 반복회수는 수회 정도로 적다. 이와같은 이유때문에 레이저 광은 ASE와 같이 매우 넓은 divergence  $ang/\lambda$  을 가지므로 출력을 반도체공학에 그대로 사용하기에는 부적합하다. 레이저 광의 집광성 또는 간섭성을 이용할 때에는 레이저 광의 협대역화 시스템을 추가해야 한다. 일반적으로 KrF 레이저의 경우 free running 때 divergence angle 은 수 mrad 로 측정되는데 회절 한계에서 diver-

gence angle 은  $2.44\lambda/2a$  로 계산하여 수십 urad 가 된다.

엑사이머 레이저스펙트럼 폭의 기준값은 bound-free 천이를 하는 레이저의 경우 KrF 는 3.3 Å, ArF 는 5 Å 의 분 값을 갖는다. 그러나 bound-bound 천이를 하는 XeCl과 XeF는 1 Å 정도가 된다. 자연광의 스펙트럼 폭은 20~30 Å 이므로 엑사이머 레이저는 1/10 정도가 된다. 만약 Lithography 광원으로 사용하면 노광용 축소렌즈 시스템의 설계에서 색수차에 대한 제한을 받게 된다. 만약 스펙트럼폭 3 Å을 사용할 때 <그림-3> 과 같이 OTF 는 매우 저하된다. 단순계산으로 스펙트럼폭 0.08 Å 에서 0 Å에 근사한 값에 접근된다. 따라서 스펙트럼폭을 1/100 으로 축소하는 것이 Lithography의 노광용 축소렌즈 시스템의 색수차를 최소로 하기위한 목표가 된다.

#### 다. 스펙트럼 협대역화 시스템

스펙트럼폭 자체를 좁게하기 위하여 prism, grating, etalon등의 본산소자를 공진기에 삽입하면 레이저 출력은 희생된다. 이와같은 출력감도를 해결하기 위하여 협대역 공진기의 외부에 제2 공진기를 설치한다 제2 공진기는 발진하기 전에 제1 공진기의 출력이 주입되면 제2 공진기의 동작조건은 주입된 입력에 의해서 결정된다. 이와같은 방법을 주파수 영역에서의 주입공기 방법이라 한다. 제2 공진기의 출력 mode 를 제어하기 위한 주입입력은 수십 uJ 정도로 충분하므로 단순한 증폭방법보다 매우 높은 효율을 얻을 수 있다.

협대역화 하기위한 기술의 예는 <그림-4> 와 같다. 그림 a) 에서 회절격자법은 1800~3600 개/mm 의 고본산 회절격자를 고차의 회절각으로 설치하고, 반사경의 각도를 조절함으로써 파장가변을 한다. KrF 의 경우 스펙트럼폭  $5 \times 10^{-3}$  nm, 가변폭 130 cm<sup>-1</sup>, 110 mJ 의 출력을 얻고 있다[10]. 그림 b) 에서 etalon 법은 몇개의 etalon 을 삽입하고 각도를 조절함으로써 단일 증모드의 발진을 유도하는 방법이다. etalon간격 25 um, 1 mm, 15 mm 로 설치했을때 XeCl 의 경우 펄스폭 30

ns 에 대하여 스펙트럼폭 30 MHz 의 Fourier 한계폭에서 단일 증모드의 발진을 가능하게 하였다[11]. 그림 c) 에서의 방법은 회절격자와 반사경을 평행으로한 MGI(Multi-pass Grating Interferometer) 를 설치하여 MGI 내에서 다중반사에 의한 간섭을 이용한다 [12]. 이 방법으로 XeF의 경우 선폭 40 MHz 가변폭 0.7 mm, 출력 10 W, 펄스폭 11 ns의 단일 모드로 Fourier 한계폭의 발진광을 얻고 있다. 이와같은 방법들은 모두 방전관의 양단에 aperture 를 삽입하여 beam diameter를 0.5 ~2 mm 정도로 적게하고 있다.

대표적인 주파수 영역의 주입용기 시스템의 배치도는 <그림-6> 과 같다[13]. 구성은 발진기, grating, 불안정공진기 등이다. 불안정공진기의 M은 10~20의 큰 값을 선택한다[13]

### 3. 대출력 엑사이머 레이저 개발

#### 가. KrF 엑사이머 레이저 장치개발[14]

개발된 엑사이머 레이저는 용량이행형 UV 예비전리 방식의 KrF 레이저이다. 제작된 장치의 외형사진과 단면도는 <사진-1><그림-7> 과 같고, 이의 제원은 다음과 같다.

#### (i). 레이저 Chamber

내부용적 ; 120 mm (W) x 75 mm (H) x 700 mm (L)  
 재 료 ; 내불소성 아르릴판 25 mm 두께  
 내압기밀 ; Oring ( Teflon 재 )

#### (ii). 주전극

형상 및 면적 ; 준 Chang type  
 20 mm (W) x 600 mm(L)  
 전극 간격 ; 20 mm (H)  
 재 료 ; Brass 에 Ni 도금

#### (iii). 예비전리 핀

현상 및 갯수 ; Pin-Pin (2 mm), 31 조  
 x 2 열  
 재 료 ; SUS-316

#### (iv). Capacitor 재료

C1 = C2 ; 2.7 nF x 42 개, BaTiO<sub>3</sub>계  
 정격 전압 ; 40 kV, Sprague Co.

#### (v). 광학계 ( Window 및 Mirror )

Window ; CaF<sub>2</sub> , 2 inch  
 Mirror ; MgF<sub>2</sub> , I/R = 99 % , P/R = 30 %

레이저의 어기회로는 <그림-8> 과 같다. 1 차속 콘덴서 C1 과 2 차속 콘덴서 C2 는 같은 용량 113.4 nF 이고, 회로의 인덕턴스를 줄이기 위하여 BaTiO<sub>3</sub> 계의 Ceramic Capacitor 를 사용하였다. 예비전리는 콘덴서 C1 의 전하가 콘덴서 C2 에 이행될때 전극의 좌우에 배열되어 있는 예비전리용 Pin-Pin ( Pin 간격 2 mm ) 의 Arc 방전에 의하여 형성된다. 이때 Arc 방전에서 나오는 자외선광은 주전극 간의 레이저 매질을 자동적으로 예비전리하고 이어서 주전극 간에 glow 방전을 지속시킨다.

주전극은 균일한 전계분포를 달성하기 위하여 의사 Chang 형으로 가공 하였으며 주전극 간의 유효 방전체적은 170 cm<sup>3</sup> 이며, 양극 (A) 과 음극 (K) 의 폭비 A/K = 1 로 설계 하였으므로 출력 면에서는 불리한 조건이다.

예비전리 Pin 은 전계의 수직 방향에 20 mm 간격으로 전극의 양쪽에 각각 31 조를 배열 하였으며 Pin gap 의 중심 위치는 음극 표면에서 5 mm 기리에 있다. 만약 전계의 수직 방향에서 불균일한 예비전리를 하는경우 주방전의 균일성에 크게 영향을 준다. 이때 전자의 수밀도가 큰 영역에서 avalanche 는 먼저 진행되므로 부분방전의 개시와 동시에 전극의 일부분 임피던스는 저하되므로 다른 영역에서 방전을 억제하는 결점이 있다. 그러나 구조적으로 균일 배열 하면 매우 유리한 예비전리원을 얻을 수 있는 장점때문에 본 연구에서 채택되었다.

예비전리와 주방전 간의 시간 지연을 위한 특별회로는 설계되어 있지 않다. 일반적으로 엑사이머의 경우 지연 시간에 대한 출력의 변화는 완만하고, 지연시간 10 ns ~ 20 ns 까지의 범위에서 출력은 감소되고

있다. 이것은 할로겐 가스의 전자 부착 효과 때문에 할로겐 가스는 일종의 전자 reserver 의 역할을 하여 장시간 전자를 갖고 있기 때문이다.

레이저 공진기의 광학계는 Cavity window : 2 inch  $\phi$   $\text{CaF}_2$ , Mirror : 2 inch  $\phi$  의  $\text{MgF}_2$  를 사용하여 유전체 다층막의 전반사경과 출력경 (R =  $\infty$ , 반사율 30%) 으로 구성되어 있다.

#### 나. KrF 레이저의 출력특성

레이저 발진 실험을 하기위한 실험회로의 구성과 레이저 매질의 배관계통은 <그림-9> 와 같다.  $\text{F}_2$  를 포함하는 불화물의 배기는 Soda-line trap 을 거쳐서 되어있고, 가스 배관계통의 Pipe 및 valve류의 재료는 SUS-316 을 사용하였다.

본 실험에서 사용된 계측기기는 <표-4> 와 같고 대표적인 방전전압 파형과 KrF 레이저 펄스파형은 <사진-2> 와 같다. C2 콘덴서에서 전하의 이송과 배출의 상태를 나타내는 바의 방전전압 파형에서 전압 상승 시간은 110 ns, 전압 강하 시간은 70 ns 이다. 전압 강하 시간은 70 ns 는 방전전류의 상승 시간에 해당되므로 방전 전류의 펄스폭은 70 ns [FWHM] 로 추정된다. 이때 레이저의 펄스폭은 40 ns [FWHM] 이다.

KrF 레이저 출력에 대한 레이저 가스상태의 의존성은 <그림-10, 11> 과 같다. <그림-10> 은 가스 혼합비  $\text{Kr}/\text{F}_2/\text{He} = 4/0.2/95.8\%$ , C1 콘덴서의 충전전압 27 kV 를 일정하게 하고, 가스의 전압력을 1 ~ 3 atm 으로 변화시킬때 레이저 출력과의 의존 관계를 표시한다. 레이저의 최대출력은 가스전압 2.2 atm 에서 80 mJ 이고, 이것은 방전 유효체적  $0.17 \ell$  에서  $0.2 \text{ J} \ell^{-1} \text{ atm}^{-1}$  이다. 레이저 출력의  $\text{F}_2$  농도 의존성은 <그림-11> 에 표시한 바와 같이 충전전압 27 kV 와 가스전압 2.2 atm 을 일정히 할때  $\text{F}_2$  농도 0.2% 에서 최대출력 80 mJ 이다.  $\text{F}_2$  농도 0.2% 이하에서 출력증가는 급격한 것에 비하면 F 농도 0.2% 이상에서 출력은 완만하게 감소한다 <그림-12> 는 가스 전압 2 atm 과 가스 혼합비  $\text{F}_2/\text{Kr}/\text{He} = 0.2/4/95.8\%$  를 일정히 할때 C1 콘덴서의 충전전압에 대한 레이저 출

력과 증합효율의 의존 관계를 표시한다. 최대효율은 충전전압 19 kV 일때 0.21% 이며 이때 출력은 40 mJ 이다. 그런데 효율은 C2 콘덴서의 충전전압을 기준으로 해야한다. C1 - C2 전송의 효율을 60% 로 정하면 40 mJ 에서 증합 효율은 0.32% 가 되므로 일반 상용의 KrF 레이저 효율에 비하여 1/10 정도이다.

KrF 레이저의 출력특성은 레이저가스의 혼합비, 복잡한 Kinetics 방전의 전기적 특성등에 의하여 영향을 받는다.

속 C1, C2, C1/C2, 전극거리, 충전전압, 가스 혼합비 및 희석가스, 가스전압등의 Parameter 는 레이저 출력에 대하여 독립적은 아니고 상호의 관계에 있다. 더욱이 C1, C2, C1/C2 는 전기 에너지와 함께 전극간의 전압 상승 시간과 최대값을 결정한다.

따라서 레이저 출력의 증가는 이와같은 파라메타를 조정하므로써 가능하다. 본 연구에서는 레이저의 고성능화에 필요한 파라메타를 결정하는데 목적을 두고 있으므로, 레이저의 최대출력을 무시한 표준 파라메타에서 실험되었다. 즉 (i).  $C1=C2$ , (ii). 양극폭 = 음극폭, (iii). 일정한 전극간격, (iv). 희석가스 He 사용용이다.

#### 다. 자기스위치 시스템의 개발[15]

##### 1). 펄스압속의 원리

3 단 자기스위치 시스템의 등가회로는 <그림-13> 과 같이 펄스전원의 콘덴서 및 인덕터  $C_0, L_0$  와 각단의 콘덴서 및 포화인덕터  $C_1, C_2, C_3, SI_1, SI_2, SI_3$  로 구성된다. 각단의 콘덴서 간에서 에너지 전송은 포화인덕터의 스위칭 동작으로 가능하게 된다. 따라서 최종단에서 펄스의 폭은 좁고, 펄스 상승시간이 빠른 전류 펄스를 얻게 된다.

<그림-13> 에서  $C_0$  를 충전한 후 트리거 스위칭을하면  $\tau = \frac{L}{R}$  시간 경과후에  $C_0$  의 전하는  $C_1$  에 이송된다. 이때,  $SI_1$  은 미포화 상태에 있다면  $C_0$  의 전하는 효율중계  $C_1$  에 이송된다. 같은 방법으로  $\tau$  시간 경과후  $SI_1$  이 포화되면  $C_1$  의 전하는  $C_2$  에 이송된다. 이러한 과정에서  $SI_1$  의 포화 인덕턴스  $L_{sat}$  가  $L_0$  에 비해서 충분히 작으면  $I_1$  의 펄스폭은  $I_0$  의 펄스폭 보다 좁게되어 펄스압속이 이루어진다.

$I_0$ 와  $I_1$ 의 각각의 펄스폭  $T_0$ 와  $T_1$ 이 (1)식과 같다면  $T_0$ 와  $T_1$ 의 비로 정의하는 펄스 압축비 CR (Compression ratio)은 (2)식과 같다.

$$T_0 = \pi \sqrt{L_0 \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 + C_1}}, \quad T_1 = \pi \sqrt{L_{sat} \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} \quad \text{-----}(1)$$

$$CR = \frac{T_0}{T_1} = \sqrt{\frac{L_0}{L_{sat}}} \quad \text{-----}(2)$$

또한 전류 최대값  $I_0$ 와  $I_1$ 의 비로 정의되는 최대전류이득은 (3)식과 같다.

$$\frac{I_1 \max}{I_0 \max} = \sqrt{\frac{L_0}{L_{sat}}} \quad \text{-----}(3)$$

효율있게 에너지를 이송하기 위한 조건으로 (4)식을 만족하면 (2), (3)식에 의해 전류 펄스폭을 압축하고 전류 최대치를 증가시킬 수 있다.

$$L_{sat} \ll L_0 \ll L_{unsat} \quad \text{-----}(4)$$

2단 및 3단에서도 같은 원리로 펄스를 압축할 수 있다.

## 2). 시스템의 파라메타 설계

<그림-13>에서 포와인덕터의 단면적은 포와인덕터의 포와시간에 의해 결정된다. 1단에서는  $C_1$ 의 충전시간  $T_0$ 의 동안에  $SI_1$ 이 미포와 상태 이어야 하므로  $SI_1$ 이 포와에 이르기까지의 시간은  $T_0$ 와 같다.  $T_0$  경과후 미포와에서 포와상태에 이르기 위해서는 (5)식을 만족해야 하고[12], 이때의 포와 인덕턴스는 (6)식과 같게 된다.

$$\int_0^{T_0} V dt = Nt At \Delta B \quad \text{-----}(5)$$

$$L = \frac{u_0 \mu_{rsat} At Nt^2}{\lambda} \quad \text{-----}(6)$$

여기서  $At$ 는 자성체의 단면적,  $Nt$ 는 도선의 권회수,  $V$ 는 포와인덕터에 인가되는 전압,  $\Delta B$ 는 자속밀도의 변화량,  $\lambda$ 은 자로의 길이  $U_{rsat}$ 은 자성체의포와시 투자율이다. 강자성체의 포와자속밀도증  $B_s$  이하면  $\Delta B = 2B_s$ 로 근사된다.

(2), (6)식에서 알 수 있듯이 높은 압축비의 실험은 포와인덕턴스 값을 작게하여 이룰 수 있다. 따라서 포와 자속밀도  $B_s$ 가 큰 자성체료를 사용하여 자심 단면적을 작게해야 한다. 본 실험에서 사용한 포와인덕터의 단면 모아는 폭 2.5 cm 두께 22  $\mu m$ 인 Metglas 2605 S-2 [13]를 내경 5 cm 외경 9 cm의 토로이드 형태로 제작하였다. 포와인덕터는 포와시간과 인덕턴스를 용이하게 조정할 수 있도록 몇개의 단면 모아를 연결하여 사용하였다[11,14]. <표-5>은 각 단의 포와인덕터에 대한 파라메타의 설계값을 나타낸다.

본문서는 시스템내의 인덕턴스에 영향을 주지 않는  $BaTiO_3$  계의 무인덕턴스 세라믹 콘덴서를 5개 병렬로 연결하여 사용하였고, 부하는 10 $\Omega$ 의 무유도 저항과 레이저관을 사용하여 전압과 전류 특성을 측정하였다. 실험에 사용한 방전관은 아르빌재로서 방전관의 체적은 7 cm(w) x 4 cm(h) x 56 cm(l)이다.

각단의 전류는 Person Electronic INC.,의 Current transformer, 전압은 무유도저항을 각각 사용하여 측정하였고 Tektronix 468로 관측하였다.

## 3). 시스템의 파라메타 최적화

포와인덕터의 파라메타를 최적화 하기위해 우선  $SI$ 의 모아 단면적과 도선 권회수를 변화시켜 최대 전류값과 빠른 상승시간을 나타내는 조건에서  $SI_1$ 을 고정한 다음  $SI_2$ 의 최적 조건을 찾아서 고정한다. 최종단은  $SI_1$ 과  $SI_2$ 의 일정 조건에서  $SI_3$ 의 최적조건을 찾게 된다.

실험결과 <그림-14>와 같이  $SI_1, SI_2, SI_3$ 는 각각 30 cm<sup>2</sup> 19회, 25 cm<sup>2</sup> 5회, 25 cm<sup>2</sup> 2회에서 최적조건을 나타내었다. 이와같이 파라메타를 최적화 하였을때 각 단의 전류 파형과 실험 결과는 <그림-15>과 <표-6>에 각각 나타내었다.

<그림-15>에서와 같이 초단 96 A, 6.8us [FWHM]의 펄스가 최종단에서 1.61 kA, 0.4 us [FWHM]의 펄스로 압축되므로 이때의 최대 전류 이득과 펄스 압축비는 각각 16.8, 17이다.

## 4). 리셋전류에 의한 시스템출력 안정화

<그림-16>은 Shot 수에 대한 전류 최대값의 변화를 나타낸다. <그림-17>와 같이 B가 포와

치에 도달한 다음 H를 감소시켜 0으로 하여도 B는 0이 되지않고 Br의 양만큼 남게된다. 이러한 잔류자속밀도로 인하여 전류 최대값의 변화가 나타난다. 따라서 잔류자속밀도를 0으로 하기 위해서는 역방향으로 자계를 인가하여야 하는데 본 실험에서는 최대값 6A, 펄스폭 200us의 전류를 포와인덕터에 역방향으로 인가하였다. 이때의 전류 최대값 변화는 <그림-18>과 같다.

그림에 나타난 바와같이 역방향으로 자계를 인가하였을 때는 전류 최대값이 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서 시스템의 슬러율을 안정화하기 위해서는 포와인덕터에 사용한 강자성체에 맞는 보자력( Coercive force )을 인가해 주어야 함을 알 수 있다.

라. KrF 레이저의 스펙트럼 협대역화를 위한 시스템 설계

설계된 시스템의 block diagram 과 이의 설계 파라메타는 <그림-19>와 같다.

참고문헌

1. J. Reid et al; Excimer Lasers: Current trends and Future Directions, SPIE O-E/LASE '89( Jan.1989),1041-29

2. T.A. Znotins and B.Norris: Industrial excimer lasers:Issues and answers, SPIE O-E/LASE '88( Jan.1988),894-02  
 3. T.A. Znotins; Excimer Lasers: New Vistas in Semiconductors Processing, Lasers & Applications, May 1986, 71  
 4. Laser & Optronics; 16(12),38(1987)  
 5. H.Shimizu et al; Appl. Phys. Soc.of Japan Oyo-Buturi, 57(4),552(1988)  
 6. L.F. champagne, A.J.Dudas and N.W.Harris: J. Appl. phys. 62,1576(1987)  
 7. 扶間 et al; L-#<sup>II</sup> 研究, 15,795 (1978 )  
 8. Laser & Optronics - 1989 Buying Guide, page 210  
 9. 小原; L-#<sup>II</sup> 研究,16,150(1989)  
 10. T.J. Mackee et al; IEEE J.Quant.Elect. Qe-15,332(1979)  
 11. T.J. Pacala et al;Appl.Phys. Lett. 45, 507(1984)  
 12. E. Armandillo et al; Opt. Lett. 9,327 ( 1984)  
 13. 渡邊 ; L-#<sup>II</sup>의 開發と其의 應用 技術, p.51(1987)  
 14. 이주의 ;대출력 KrF 엑사이머 레이저의 개발, 최종보고서(1989.6)  
 15. 전상영, 이주의 ; 89 대한전기학회 하계 종합학술대회 논문집(1989.7) p.637

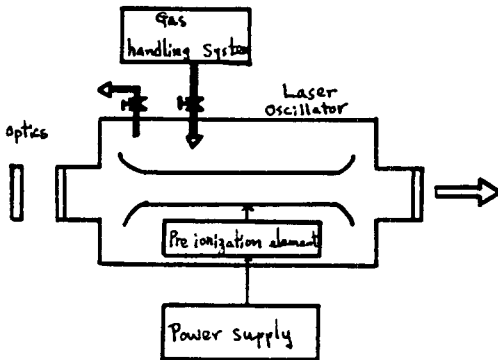


Fig 1. Block diagram of Excimer Laser System

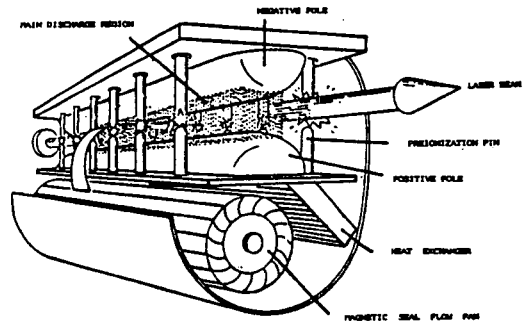


Fig.2 CROSS SECTION VIEW OF EXCIMER LASER

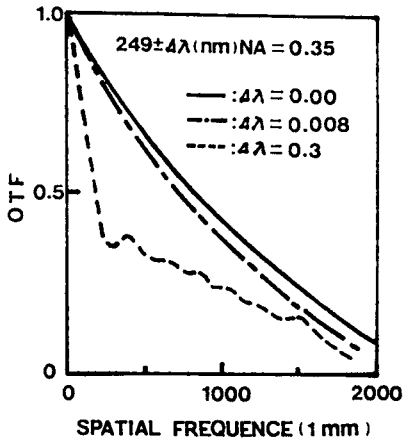


Fig 3. OTF characteristics [13]

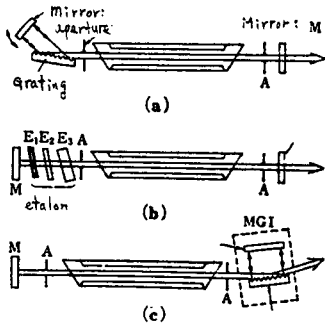


Fig.4 Narrowing techniques of spectral width

- a) Diffraction grating method
- b) etalon method
- c) MGI method

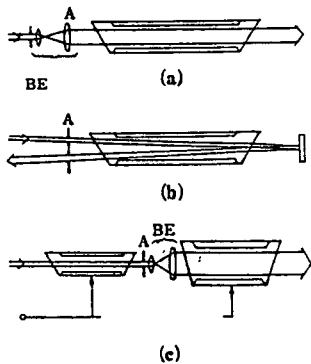


Fig.5 Amplification of Excimer Laser

- a) Single optical method
- b) Multiple optical method
- c) Two step amplification method

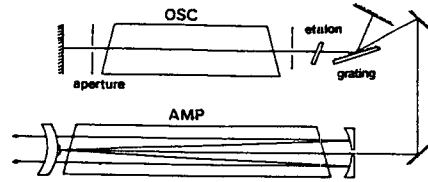


Fig.6 Schematic diagram of injection locking excimer laser

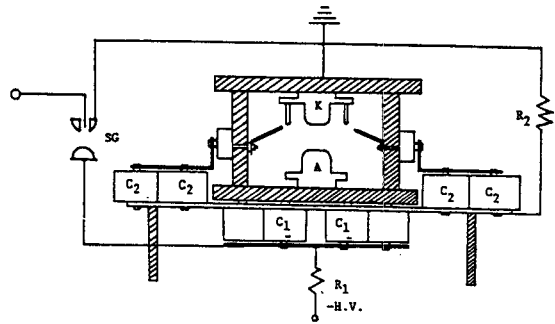
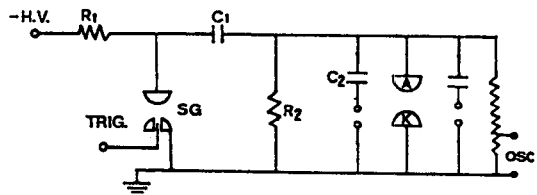


Fig.7 Schematic diagram showing a cross-sectional view of the laser geometry, SG; spark gap switch,  $C_1=C_2=113.4\text{ nF}$ , active volume,  $2\text{ cm}(h) \times 1\text{ cm}(w) \times 0.05\text{ cm}(l)$



$C_1=C_2 : 113.4 \text{ nF}$   
 $R_2 = 500 \text{ k}\Omega$   
 $L_1 = 150 \text{ nH}$   
 $L_2 = 15 \text{ nH}$

Fig. 8 Schematic diagram of discharge-pumped Krf laser with charge transfer type.

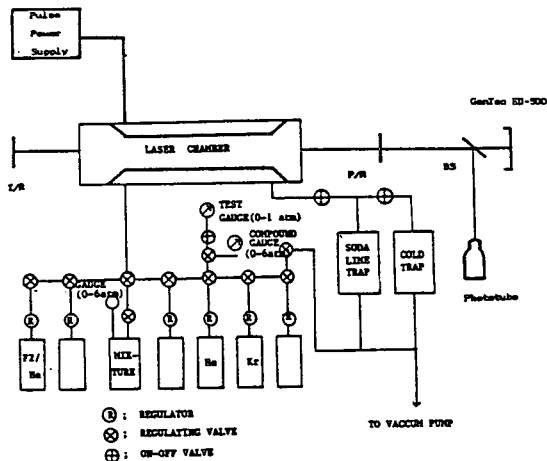


Fig. 9 Gas handling system and measurement system of laser output power.

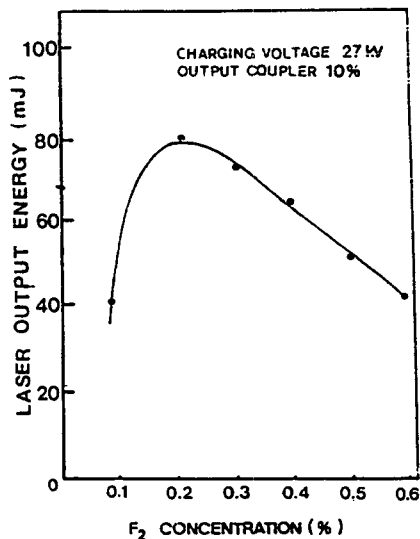


Fig. 10 Laser output energy as a function of F<sub>2</sub> concentration.

The gas mixture is F<sub>2</sub>/Kr/He = 0.2/4/95.8 (%) at 2.2 atm

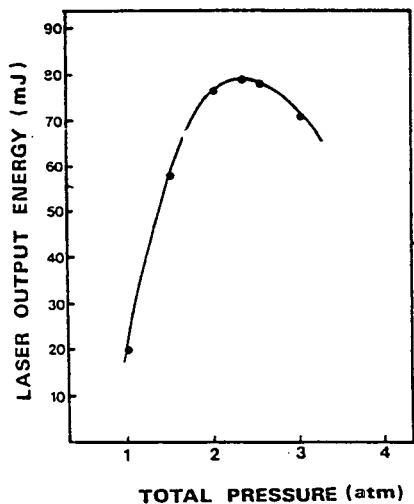


Fig. 11 Laser output energy as a function of total pressure.

The gas mixture is F<sub>2</sub>/Kr/He = 0.2/4/95.8 (%) at 27 kV.

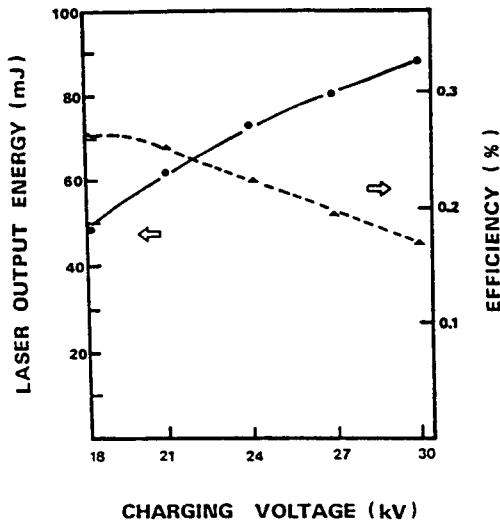


Fig. 12 Laser output energy and overall efficiency as a function of charging voltage

Total pressure : 2 atm F<sub>2</sub> / Kr / He = 0.2 / 4 / 95.8 %



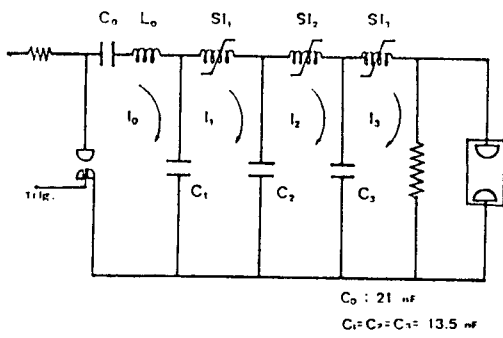


Fig. 13. Schematic diagram of Magnetic Switch System.

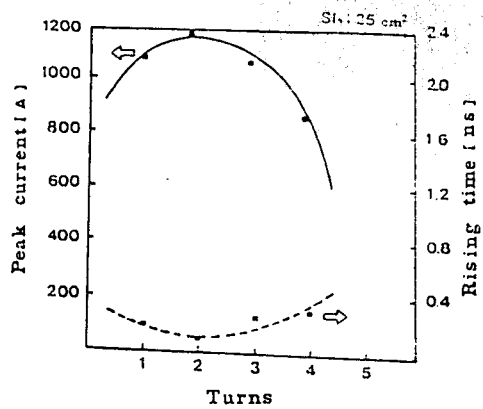
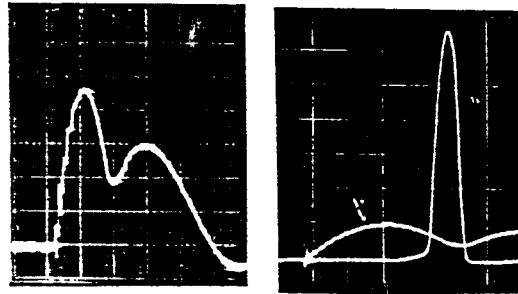
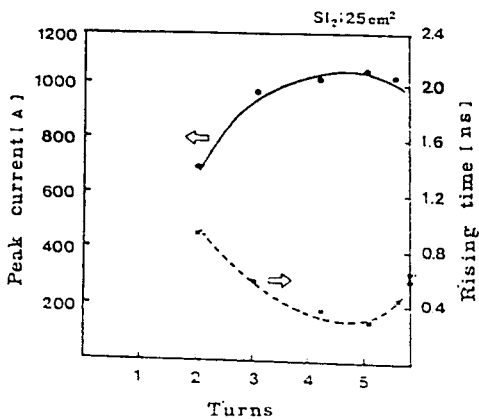
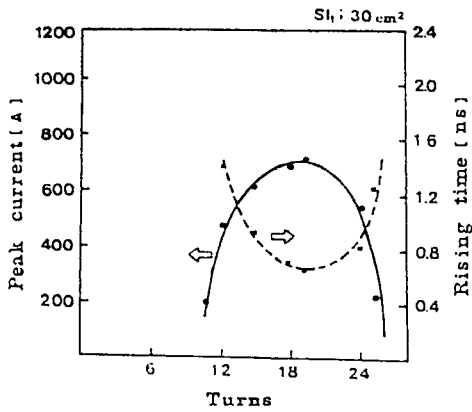


Fig. 14. Dependence of rising time & peak current as a function of number of turns.



$I_0$  20 A/div

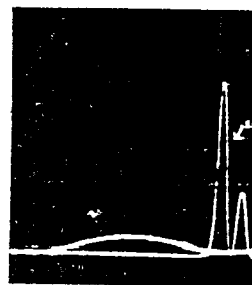
$I_1$  100 A/div

5 us/div

2 us/div

Compression ratio;  $\tau_{T1} = 4.9$

Current gain ;  $I_1/I_0 = 5.7$

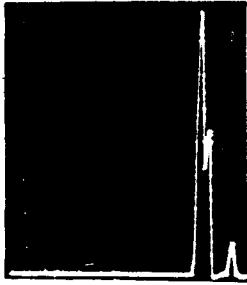


$I_2$  200 A/div

2 us/div

Compression ratio ;  $\tau_{T2} = 12.6$

Current gain ;  $I_2/I_0 = 8.9$



$I_3$  200 A/div  
2 us/div

Compression ratio;  $\tau_2/\tau_3 = 17$

Current gain;  $I_3/I_0 = 16.8$

Fig.15. Waveform of each stage.

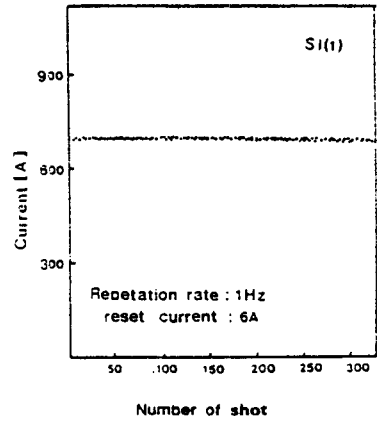


Fig.18. Variation of peak current as a function of shut numbers ( with reset current ).

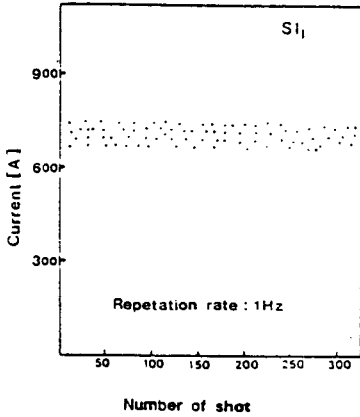


Fig.16. Variation of peak current as a function of shut numbers ( without reset current )

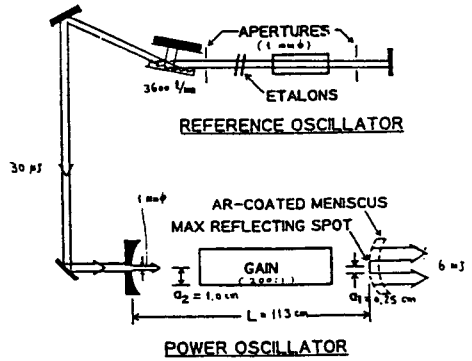


Fig.19 Schematic of an experimental setup for the injection locking of positive-branch confocal unstable resonator excimer laser

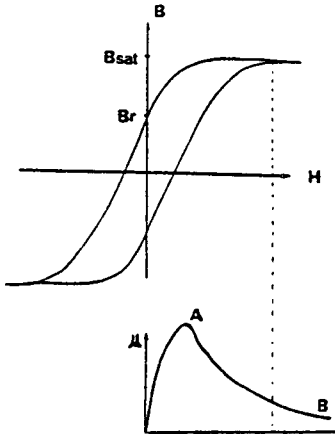


Fig.17. B-H and M curve of ferromagnetic material.

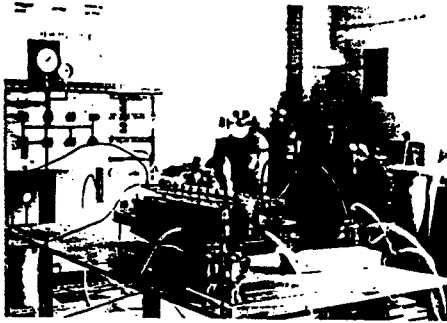


Photo.-1. Photograph of overall viewing of the discharge excited KrF laser system and array of preionizing spark pin.

Table-4. Instrument of detector and display in the experiment.

Item	Detector	Display
Energy	Gentec ED-500 calorimeter	Tektronix 2665 oscilloscope
Laser pulse waveform	Hamamatsu photo tube R1193U-02	Tektronix 7904 oscilloscope
Voltage waveform	CuSO <sub>4</sub> solution voltage divider	Tektronix 7904 oscilloscope

Table-5. Parameter of each stage saturable inductor.

	$N_t$	$N_c$	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	$V_c$ (cm <sup>3</sup> )
SI <sub>1</sub>	2.5	6	3.0	6.60
SI <sub>2</sub>	5	5	2.5	5.50
SI <sub>3</sub>	1	4	2.0	4.40

$N_t$ : conductor turns  
 $N_c$ : number of core  
 $A_c$ : cross-section of core  
 $V_c$ : volume of core

Table.6. Experimental results of each stage.

	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
Peak current (A)	96	550	850	1610
Pulse width (us)	6.8	1.4	0.54	0.4
Current gain	.	$I_1/I_0 = 5.7$	$I_2/I_0 = 8.9$	$I_3/I_0 = 16.8$
Compression ratio	.	$T_2/T_1 = 4.9$	$T_3/T_2 = 12.6$	$T_3/T_1 = 17$
$dI/dt$ (A $\mu$ s)	$1.4 \times 10^7$	$3.9 \times 10^8$	$1.6 \times 10^9$	$3.5 \times 10^9$

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	Load
Charging voltage (kV)	30	23.2	19.6	18.8
Stored energy (J)	6.1	3.6	2.6	2.4
Efficiency (%)		59	42.6	39.3

Table-1. Characteristics of Excimer laser on typical commercial type [ 8 ]

Maker	Model	Type	Output		PPS	Pulse Duration(ns)
			mJ	W		
Lambda physics	EMG 160 - MCS	ArF	240	40	250	17
Lambda physics	EMG 160 -MCS	KrF	500	100	250	17
Lambda physics	EMG 160 -MCS	XeCl	240	45	250	17
Lumonics	Excimer 600	ArF	225	55	600	13
Lumonics	Excimer 600	KrF	400	100	600	13
Lumonics	Excimer 600	XeCl	300	70	600	13
Questek	2660	ArF	400	30	125	20
Questek	2660	KrF	600	65	125	20
Questek	2660	XeCl	300	35	125	20
XMR Inc	5110	ArF		150	300	40
XMR Inc	5110	KrF		150	300	40
XMR Inc	5110	XeCl		150	300	40
Technolas	EX1-2/EXH-1	ArF	240	15	200	20
Technolas	EX1-2/EXH-1	KrF	500	100	200	20
Technolas	EX1-2/EXH-1	XeCl	220	35	200	20

Table - 2. Application matrix of Excimer Laser [8]

Type of Laser	Wavelength	Power	Nature of Output	Price	Efficiency	Weight	Lifetime	Beam Diameter	Beam Divergence	Typical Applications
Excimer: Argon Fluoride	193 nm	Up to 50 W avg.	5-25 ns pulses, to 500 mJ at 1-1000 Hz	\$30,000 to \$200,000	Up to 1%	50-500 kg	$10^4$ to $5 \times 10^6$ shots per gas fill	2 x 4 to 25 x 30 mm	2 to 6 mrad in rectangular beam	R&D, spectroscopy, photochemistry, medicine
Krypton Fluoride	248 nm	Up to 100 W avg	2-50 ns pulses, to 1 J at 1-500 Hz	\$30,000 to \$200,000	Up to 2%	50-500 kg	$10^4$ to $10^7$ shots per gas fill	Similar to ArF	Similar to ArF	R&D, spectroscopy, photochemistry, medicine
Xenon Chloride	308 nm	Up to 150 W avg.	1-80 ns pulses, to 1.5 J at 1-500 Hz	\$30,000 to \$200,000	Up to 2.5%	50-1000 kg	$10^3$ to $2 \times 10^7$ shots per gas fill	Similar to ArF	Similar to ArF	R&D, spectroscopy, photochemistry, eye pumping, medicine
Xenon Fluoride	351 nm	Up to 30 W avg.	1-30 ns pulses, to 500 mJ at 1-500 Hz	\$30,000 to \$200,000	Up to 2%	50-500 kg	$10^4$ to $10^7$ shots per gas fill	Similar to ArF	Similar to ArF	R&D, spectroscopy, photochemistry, eye pumping, medicine

Table-3. Output characteristics of large-aperture discharge pumped XeCl Excimer lasers.[9]

Laboratory	Laser medium/preionization	Energy[J]	Pulse Duration(ns)	Beam cross section(cm )	Efficiency
NRL	XeCl/X-ray	66(3 J/1)	180	15 x 15	0.8
		60	~ 200	20 x 15	
Northrop	XeCl/X-ray	62(3 J/1)		10 x 10	2.4
U. Toyko	XeCl/UV	13.8	80	7 x 7	
ETL	XeCl/X-ray	50(5 J/1)	85	10 x 10	3.1