

<연구논문>

자외선 및 진공자외선 광원의 제작에 관한 연구

김태훈 · 이지화

서울대학교 공업화학과
(1995년 7월 19일 접수)

Development of UV and VUV Light Sources

Tae-Hoon Kim and Jihwa Lee

Department of Chemical Technology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received July 19, 1995)

요 약 - 유전장벽 방전(또는 silent 방전)은 조절된 마이크로아크방전 형태로서 비교적 높은 압력(0.1~수 기압)에서도 방전이 안정하므로 엑시머 생성에 의한 진공자외선 및 자외선 광원으로 적합하다. 본 연구에서는 평면형 및 원통형 유전장벽 방전장치를 제작하였고 Ar, Kr, Xe와 3% F₂/He의 혼합기체를 이용하여 ArF*(193 nm), KrF*(248 nm), XeF*(351 nm) 엑시머자외선 생성실험을 수행하였다. 또한 부하전력, 기체압력, 기체조성 등의 방전조건에 대한 KrF*(248 nm) 발광세기의 의존성을 조사하였다.

Abstract - A dielectric barrier discharge is a type of controlled microarc which can be operated at high gas pressures, therefore suitable for VUV light generation based on excimer formation. We have constructed a planar and an annular types of dielectric barrier discharge systems. Using Ar, Kr and Xe mixed with a 3% F₂/He gas, UV emission at 193 nm(ArF*), 248 nm(KrF*) and 351 nm(XeF*) could be obtained. The dependence of KrF*(248 nm) emission intensity on the discharge conditions such as the input power, gas pressure, and the gas composition was investigated.

1. 서 론

근래 반도체소자 제조를 위한 박막의 증착 및 에칭, 웨이퍼 세정(cleaning) 등에 광을 이용하는 광화학공정에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1, 2]. 광화학공정은 자외선 또는 가시광선으로 공정기체를 직접 여기시키거나 기판의 표면에 흡착된 분자가 기판의 광흡수로 생성되는 뜨거운 전자나 정공을 포획하여 여기될 때 생성되는 라디칼이나 전자여기된 분자의 높은 반응성을 이용한다. 따라서 광화학공정은 통상적인 열공정에 비해 낮은 기판온도에서도 가공이 가능하며, 또 적절한 단파장광을 사용할 경우 선택적인 가공이 가능한 장점을 지니고 있어서 응용의 잠재력이 높다 하겠다. 광화학 공정장치의 핵심부분은 광원이라 할 수 있으며, 실용적 공정도구로서 갖추어야 할 광원의 이상적 요건으로는

① 선풍이 좁은 단파장광 및 파장 가변성 ② 높은 광출력 ③ 대면적 조사 능력과 광강도의 공간 균일성 ④ 가공시스템과의 결합 용이성 및 양립성 ⑤ 경제성 등을 꼽을 수 있다. 현재 널리 쓰이고 있는 중·고압의 Xe, Hg, Hg-Xe 기체 아크램프 등은 300 nm 이상의 파장 영역에서 폭넓은 스펙트럼을 갖기 때문에 파장선택성이 없고, 저압 수은 램프(254 nm 및 185 nm)는 광출력이 낮은 단점이 있다. 또한 파장선택성이 좋고 광출력이 높은 엑시머 레이저와 같은 UV 레이저의 경우 대면적조사나 펄스광원이 갖는 공정조절의 어려움이 있다. 최근 Kogelschatz[3~7] 등은 유전체장벽방전(Dielectric Barrier Discharge)을 이용한 VUV 엑시머램프를 제작하여 발광특성을 측정하고, 금속박막증착[5], 반도체박막증착[9], 고분자식각[6, 10] 등의 공정에 적용하여 새로운 VUV 광원에 대한 가능성을 제시하여 많은 관심을 모으

고 있다.

DBD란 Fig. 1(a)에 보인 것처럼 방전전극 사이에 적어도 하나 이상의 유전체장벽을 갖는 방전을 말한다. 0.1~10기압 정도의 비교적 높은 압력하에서 일어나는 비평형 기체방전이기 때문에 많은 유량이 요구되는 오존생성이나[3], 삼중충돌에 의한 엑시머생성[3~10]에 유용하다. 또한 유전체장벽에의 하전효과로 인해 아크방전과는 달리 짧은 수명(수 ns)을 갖는 많은 필라멘트형의 마이크로 방전들이 균일하게 분포하는 성질이 있다. 마이크로 방전은 100 μm 정도의 반경을 갖고 유전체의 장벽 표면에서는 수 mm 정도로 퍼진다[3, 4]. 마이크로 방전은 100~1000 A/cm²의 높은 전류밀도와 10¹⁴/cm³ 정도의 전자밀도를 가지며, 100 ns보다 짧은 수명 때문에

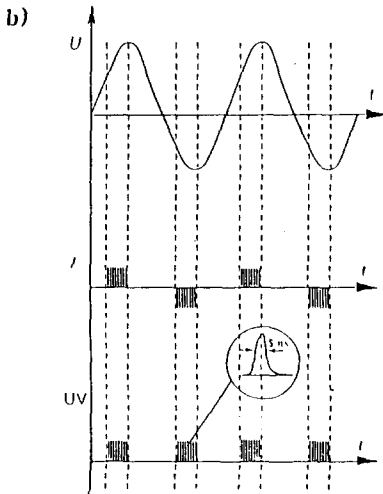
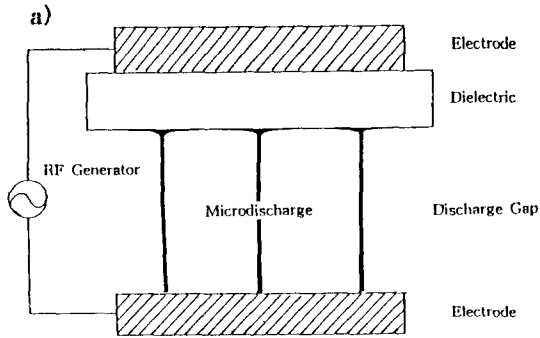


Fig. 1. Schematic representations of a) dielectric barrier discharge configuration with one dielectric barrier and b) microdischarge characteristics of the driving voltage (U), the current pulse (I) and the pulsed excimer emission (UV).

Fig. 1(b)에서처럼 한 번의 전압증가시 많은 전류펄스와 광펄스가 생성된다[3]. 전압증가가 빠른 펄스전원을 공급하면 레이저효과를 얻을 수도 있다[8]. 또 외부변수인 기체밀도(n)와 전극간격(d)의 곱 nd값을 변화시킴으로써 방전 개시전압 및 평균 전자에너지의 조절이 가능하다는 장점을 갖는다.

희유기체와 할로젠기체의 혼합기체에 대한 엑시머 생성반응은 삼중충돌에 의해 일어난다. 마이크로 방전내에서 희유기체(Rg) 원자들은 여기되거나(반응 (1)) 이온화되고(반응 (2)) 동시에 할로젠 분자(X₂)는 dissociative attachment 반응에 의해 해리된다(반응 (3)).

RgX* 엑시머생성 반응기구는 다음과 같다.



희유기체와 할로젠 혼합기체에서는 이러한 이온들간의 재결합(반응 (4))이 가장 중요한 엑시머생성 반응경로이다. 여기서 완충기체(M)는 제 3의 충돌입자로 작용하여 3중충돌에 의한 엑시머생성에 참여하고 반응 (5)와 같

Table 1. Various excimer complexes and their peak emission wavelengths

Excimer	Wavelength (nm)	UV range
Ar ₂ *	126	VUV
Kr ₂ *	146	
F ₂ *	158	
ArBr*	165	
Xe ₂ *	172	
ArCl*	175	
KrI*	190	
ArF*	193	UV C
KrBr*	207	
KrCl*	222	
KrF*	248	
XeI*	253	
Cl ₂ *	259	UV B
XeBr*	283	
Br ₂ *	289	
XeCl*	308	UV A
I ₂ *	342	
XeF*	351	

은 엑시머 전이반응에 의한 엑시머생성에도 기여한다.

위와 같이 생성된 엑시머들은 불안정한 상태이기 때문에 수 ns내에 반발력을 갖는 바닥상태로 전이되면서 여기에너지가 광으로 전환된다(반응 (6)). 여러 엑시머 광원의 종류와 그 발광과장을 Table 1에 나타내었다. 충전기체를 바꿈으로서 선평이 좁은 단파장의 엑시머광원을 쉽게 얻을 수 있다. 특히 200 nm보다 짧은 VUV 영역에 ArF*(193 nm), Xe₂* (172 nm), Kr₂* (146 nm) 등의 많은 엑시머광원이 존재하므로 파장선택성이 좋다. 본 연구에서는 두 가지 형태의(평면형 및 원통형) 유전장벽 방전장치를 제작한 후 입력전력 증대 및 방전의 안정성 향상을 위해 장치를 개선하였고, 충전기체를 달리하여 여러 파장의 자외선, 진공자외선 엑시머광원 생성실험을 수행하였다. 또한 방전기체의 조성, 압력, 입력전력 등의 운용변수에 따른 엑시머 발광세기의 변화를 조사하였다.

2. 실험 장치 및 실험방법

유전장벽방전(DBD)에 의한 엑시머 자외선 생성실험을 위해 평면형 및 원통형 방전장치를 제작하였다(Fig. 2). 평면형 방전장치(Fig. 2(a))에서는 유전체장벽으로 자외선영역에서 광투과성이 큰 suprasil 1 석영판(직경 8 cm, 두께 3 mm, 1 mm)을 사용하였고 석영판 밖으로의 광투과를 위해 스테인레스강 메쉬(#16) 전극을 적용하였다. 접지전극에 냉각수를 흘려주었고 방전간격을 1~3 mm로 하였다. 방전공간의 가장자리는 전극간 거리가 가운데 영역에 비해 가깝기 때문에 불균일한 방전을 유발시킨다. 이 부분에 유리링을 끼워서 전체적으로 균일한 방전을 유지할 수 있었다. 원통형 방전장치(Fig. 2(b))에서는 유전체장벽으로 두께 1 mm인 두 석영판(φ24, φ18 mm)을 사용하였고 방전간격은 2 mm로 하였다. 방전전극으로는 자외선 반사도를 높이기 위해 안쪽의 전력전극으로는 Al판을, 바깥쪽의 접지전극으로는 Al 호일을 사용하였다. 방전영역의 적절한 냉각을 위하여 Al 판 내에는 냉각수를 흘려주었고 Al 호일에 흑화시킨 Al 방열판을 접촉시켰다. Al과 석영의 열팽창계수는 각각 $25 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, $5.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 로 약 50배 차이가 나기 때문에 고전력에서 내부 Al 전극의 열팽창에 의해 석영판이 깨지기 쉽고, 고부하전력에서 Al 전극이 녹을 정도로 가열되고 또한 높은 온도에서는 접촉하고 있는 석영과 반응하기 때문에 기계적인 안정성을 위해 방전영역의

냉각이 필수적이다. 또한 엑시머 생성 속도상수가 T⁻³에 비례하고[11] 기체 온도가 높을수록 생성된 엑시머의 열해리가 잘 일어나므로 엑시머 자외선의 광출력효율을 증가시키기 위해서도 효과적인 냉각이 필요하다.

원통형 방전장치는 평면형에 비해 평판에 대한 균일한 광조사가 어려운 단점이 있으나 평면형에서 발생하기 쉬운 가장자리의 아크방전을 제어하기 쉽고 석영판의 두께가 얇아도 압력차를 균일하게 받기 때문에 기계적인 안정성이 뛰어나며, 반응성이 좋은 불소기체와 금속 등과의 접촉을 없애줌으로써 광세기의 지속성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

본 실험에서 사용한 방전장치는 작은 방전공간과 전극면적으로 인해 작은 전기용량값(C)을 갖는다. 그러므로 이러한 방전계의 임피던스 matching($\omega L = 1/\omega C$)을 위해서는 주파수(ω)를 높이거나, 인덕턴스값(L)을 직렬로 키우거나, 병렬로 전기용량값(C)을 증가시키거나 또는 각각을 적절히 조합하여야 한다. 임피던스 matching 조건에 따라 방전전극 양단에 걸리는 전압이 변화하게 되는데 이는 다음 식과 같다.

$$V_{out} = V_{input} \frac{\left| \frac{1}{\omega C} \right|}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$$

원통형 방전장치의 경우 0.05~2기압의 높은 압력에서 방전을 개시하기 위해서는 1~10 kV 정도의 큰 V_{pp}가 요구된다. 이처럼 큰 방전전압 V_{pp}를 얻기 위해서는 C값을 높이기보다는 방전계의 인덕턴스값을 증가시켜 낮은 주파수에서 공진이 일어나도록 하는 것이 좋다. 그러나 공급전압의 주파수에 따라 전류펄스와 광펄스의 수가 비례하여 증가하므로 방전개시 및 방전유지가 가능한 한 큰 주파수 범위에서의 공진이 입력전력과 광출력의 증가에 유리하다. 본 실험에서는 인덕턴스의 값을 증가시켜 300~460 kHz 범위에서의 공진을 통해 1 kV의 입력전압을 12 kV 정도의 높은 방전전압으로 증폭할 수 있었고 2기압 정도의 높은 압력에서의 방전개시와 전력공급을 용이하게 할 수 있었다. 실제 matching 회로에서 미방전시 방전장치의 전기용량 20 pF과의 공진에 필요한 인덕턴스값은 주파수 450 kHz 조건에서 6.3 mH이다. 그러나 방전시 공진은 약 2.5 mH 정도의 값에서 이루어졌다. 이는 방전공간의 전기용량값이 방전시 약 2.5 배 커진데 기인한다.

실험에 사용한 장치제원과 실험조건은 다음과 같다.

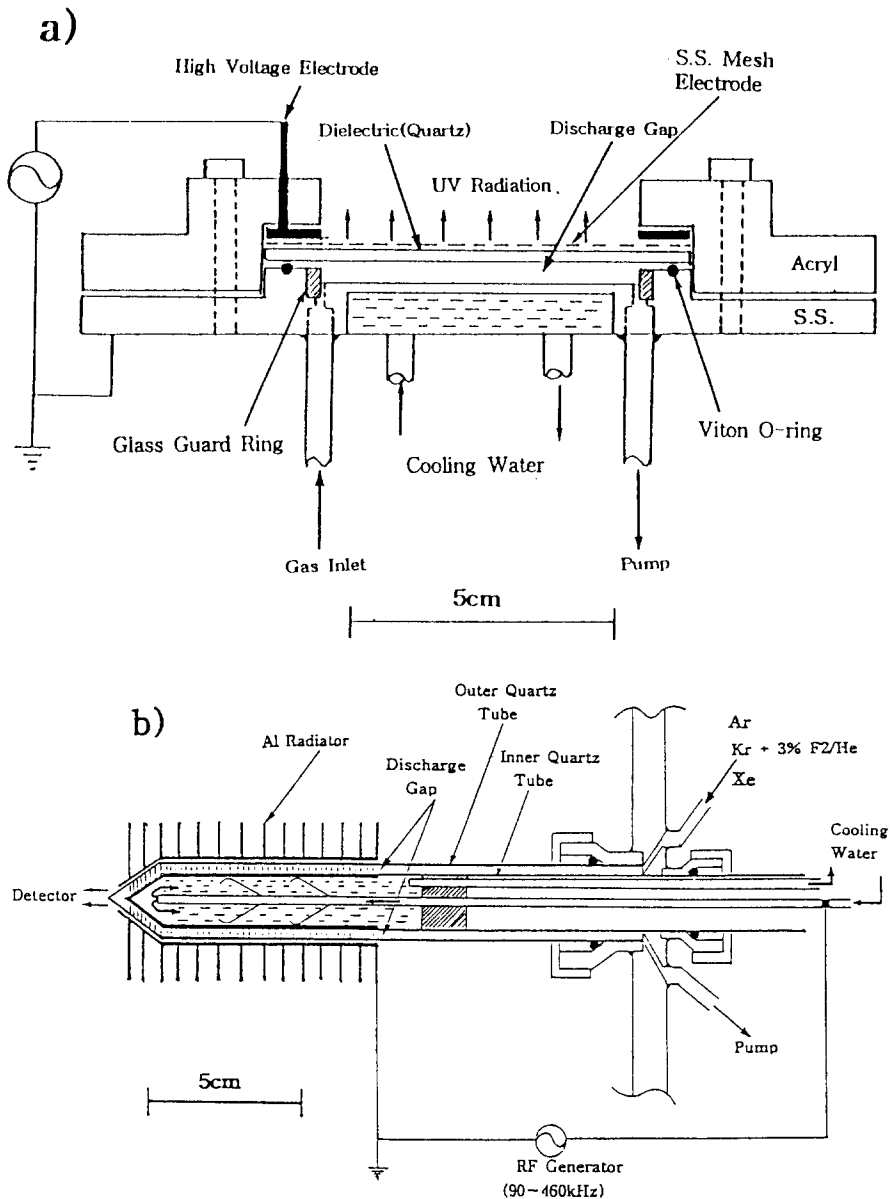


Fig. 2. Schematic diagrams of dielectric barrier discharge systems. a) A planar type apparatus with one or two dielectric barriers. b) An annular type apparatus with two dielectric barriers (quartz tubes).

충전기체로 고순도 Kr, Ar, Xe와 3% F₂/He의 혼합기체를 사용하여 KrF*(248 nm), XeF*(351 nm), ArF*(193 nm)의 엑시머 자외선을 생성하였다. 충전기체 압력 1000 Torr까지는 Okano사 압력계이므로, 그 이상의 압력은 기체 레귤레이터의 압력미터로 측정하였다. RF 전력공급장치는 ENI사의 PL-2HF(90~460 kHz), 분광특

성을 분석하기 위해 Acton Research사 SpectraPro-500 분광기(>185 nm), 방전 전압을 측정하기 위해 Tec-tronix사 고전압용 P6015 프로브를 사용하였다. 방전조건은 주파수 90~460 kHz, 방전기체압력 0.05~2기압, 방전전압 ~12 kV, 방전전력 30~200 W 범위에서 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마이크로방전 특성

유전장벽방전은 0.1기압 이상의 압력에서 뚜렷이 구분되는 필라멘트형의 마이크로방전이 생성되는 외형적인 특징을 갖는다. 평면형장치에 Ar을 사용하여 방전할 때 기체압력, 방전간격 및 입력전력에 따른 마이크로방전 양상의 변화를 석영창을 통하여 위에서 촬영한 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 방전간격 3 mm일 때 0.1기압 이하에서는 얼룩 무늬의 모양을 나타내고 그 이상의 압력에서는 필라멘트형의 모양을 보인다(Fig. 3(a)). 압력이 증가할수록 방전반경이 감소하고[7] 마이크로방전의 수밀도(단위면적당 필라멘트방전 수)는 거의 변화하지 않는다. 또한 필라멘트들의 유동성이 줄어들고 서로간의 간격이 일정하게 유지된다. 방전 간격을 3 mm에서 1 mm로 감소시키면 방전 필라멘트 밀도는 약 3배 증가한다(Fig. 3(b)). 이는 방전간격이 줄어들면 방전공간의 전기장세기가 커지므로 더 많은 영역에서 방전개시가 가능하기 때문이다. 입력전력이 50 W에서 150 W로 변화할 때 필라멘트 밀도도 거의 비례해서 증가하고 필라멘트 각각의 유동성이 줄어들며 균일한 공간분포를 갖는다(Fig. 3(c)). Fig. 4에서 알 수 있듯이 입력전력이 클수록 방전전압이 증가하므로 방전전극 사이의 전기장이 세진다. 이로 인해 방전간격 감소에 의한 결과와 같이 필라멘트 밀도증가 효과를 보인다.

이상의 결과로부터 높은 압력에서의 방전개시와 유지 및 큰 입력전력을 공급하거나 마이크로 방전밀도의 증가 및 보다 균일한 분포를 위해서는 큰 방전전압이 필수적임을 알 수 있다.

3.2. ArF*, KrF*, XeF* 엑시머 발광스펙트럼

Fig. 5는 원통형 방전장치에서 Ar, Kr, Xe의 각각과 3% F₂/He의 혼합기체의 방전으로부터 얻은 ArF*, KrF*, XeF*의 엑시머 발광스펙트럼들이다.

우선 3% F₂/He이나 Kr만으로 방전시킬 때의 발광스펙트럼에서는 자외선 및 가시광선 영역에서 아주 약한 피크만 관찰되지만 Ar만의 방전 스펙트럼에서는 Ar 이온(309 nm) 등에 의한 몇 개의 피크가 관찰되며 Xe 방전 스펙트럼의 경우는 350~450 nm 범위에서 비교적 큰 세기의 폭 넓은 피크가 존재한다. 혼합기체 각각의 방전 스펙트럼에서는 순수 Ar과 Xe 방전스펙트럼에서 존재하는 폭 넓은 피크의 세기가 감소하고 순수기체 방

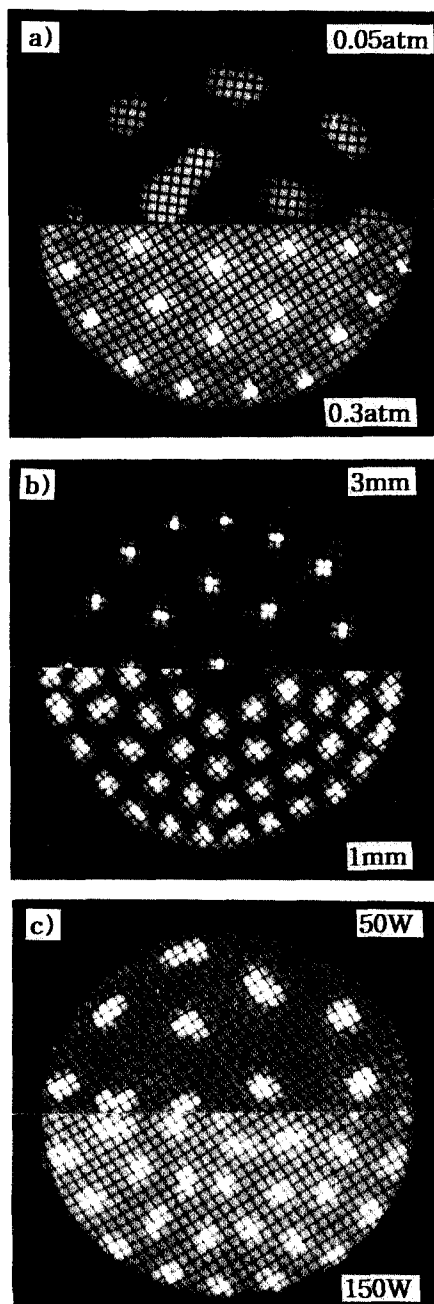


Fig. 3. Top views of the planar type DBD showing the effects of the a) pressure (50 W, 3 mm), b) electrode gap (30 W, 100 Torr) and c) RF input power (76 Torr, 3 mm), respectively.

전스펙트럼에서는 존재하지 않는 엑시머 피크들이 생성된다. 세 종류의 엑시머 피크 중 ArF*(193 nm) 피크는

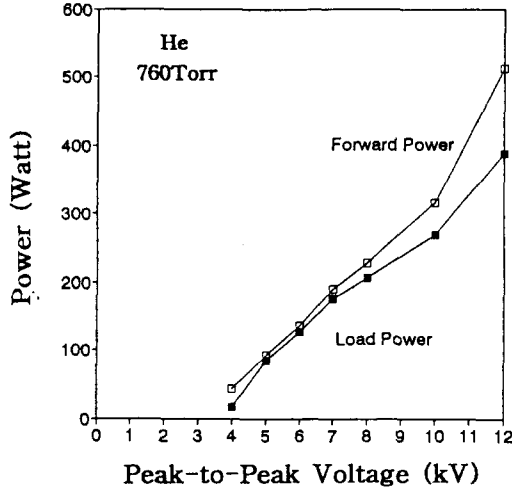


Fig. 4. Peak-to-peak voltage (V_{pp}) vs. RF power for the planar type, He DBD(760 Torr, 3 mm) at max. matching.

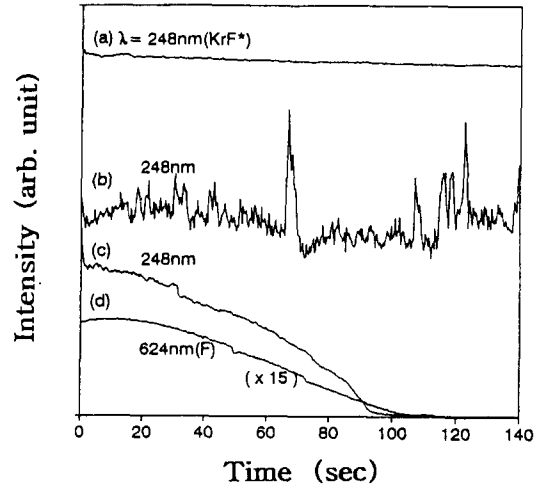


Fig. 6. Temporal stability of the DBD light source. Pressure 500 Torr, (a) annular type, nonflowing, 100 W, (b) planar type, flowing, 30 W, (c) planar type, nonflowing, 30 W, (d) planar type, nonflowing, 3% F_2/He only, 30 W.

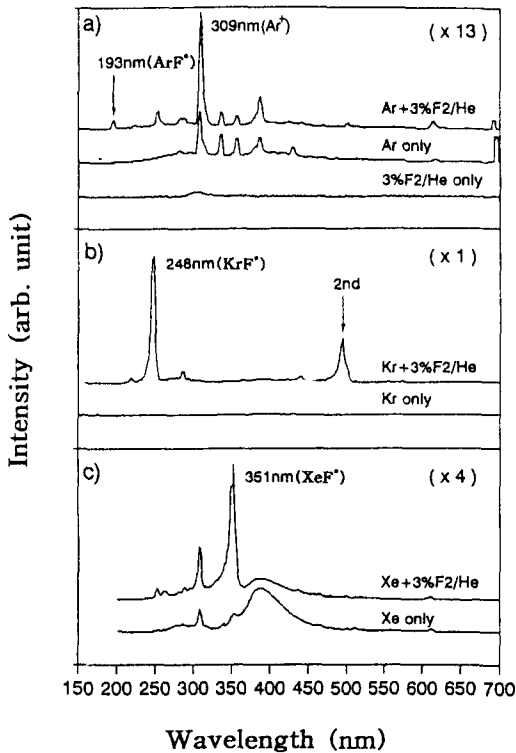
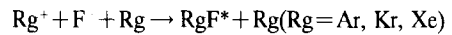


Fig. 5. Emission spectra of the rare gas-fluoride excimer generated by DBD. Total pressure 2 atm, optimized gas mixture ratio (rare gas : 3% $F_2/He=4:1$) and input power 200 W.

매우 작게 관측되고 $KrF^*(248\text{ nm})$ 와 $XeF^*(351\text{ nm})$ 엑시머 피크들은 매우 큰 세기를 갖는다. 특히 KrF^* 의 경우는 자외선과 가시광선 영역에서 유일하게 엑시머 피크(248 nm)만이 관찰된다. 496 nm에서 관측되는 피크는 248 nm 광의 그레이팅에 대한 2차 회절 피크에 해당한다. 엑시머 피크들의 세기가 차이가 나는 것은 다음과 같은 엑시머 생성 반응의 생성속도가 최대값을 갖는 1.2 기압 조건에서 각각 $3.417 \times 10^{-6}(\text{Ar})$,



$2.541 \times 10^{-6}(\text{Kr})$, $2.010 \times 10^{-6}(\text{Xe})$ 으로[12] ArF^* 의 경우가 엑시머 생성속도상수는 가장 크지만 193 nm 영역에서는 석영관 투과도가 약 40%이고 광측정에 사용한 분광기의 그레이팅과 PMT의 적정 파장범위를 벗어났기 때문에 ArF^* 광세기가 작게 측정된다고 사료된다.

3.3. KrF^* 광세기의 시간 안정성 및 수명

실제로 램프로서의 활용을 위해서는 시간안정성 및 긴 수명이 중요하다. 두 방전장치를 이용한 혼합기체 방전시 시간에 따른 $KrF^*(248\text{ nm})$ 광세기변화 및 3% F_2/He 방전시 F(624 nm) 광세기변화를 Fig. 6에 나타내었다. 평면형 방전장치의 경우 충전기체를 계속 흘릴 때는 일정한 광세기를 유지하지만 충전기체를 흘리지 않을 때는 2분 이내에 바닥까지 감소한다(Fig. 6(c)). Fig. 6(b)

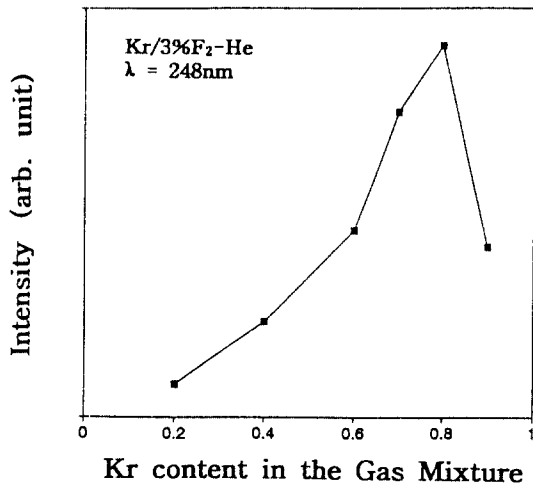


Fig. 7. Effect of the Kr content in the gas mixture on the KrF*(248 nm) emission intensity. Annular type DBD at 500 Torr and 100 W.

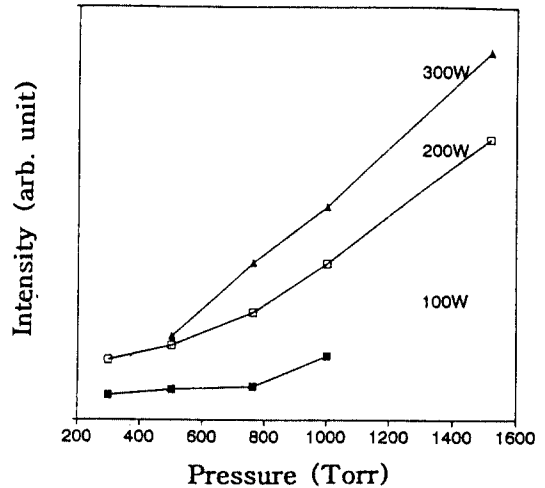


Fig. 8. KrF*(248 nm) emission intensity as a function of the pressure and the power at the optimum gas composition (Kr : 3% F₂/He = 4 : 1).

에서 시간에 따라 광세기의 변화가 큰 이유는 방전기체를 흘릴 경우 마이크로방전의 움직임이 원활해지기 때문이다. 그러나 원통형의 방전장치의 경우는 충전기체를 흘리지 않아도 광세기가 안정하고 수십분동안 지속된다(Fig. 6(a)). 불소기체는 금속과 상온에서는 10 nm, 300°C에서는 약 100 nm의 불화금속을 형성할 정도로 반응성이 좋다[13]. 그러므로 평면형과 같이 금속이 방전영역에 노출되는 구조에서는 금속전극의 passivation이 어렵고 방전 중에 불소의 양이 급속히 감소하므로 긴 발광수명을 얻기 어렵다. 이는 3% F₂/He만을 채운 후 방전시 F 원자 발광선(624 nm) 세기가 같은 감소경향을 보이는 결과(Fig. 5(d))로 쉽게 유추할 수 있다. 광세기 지속성을 위해서는 원통형과 같이 두 개의 유전체장벽을 사용함으로써 금속과의 직접접촉을 피하거나 완전히 차단하는 것이 바람직하다.

3.4. 운용 변수에 따른 KrF*(248 nm) 광세기 변화

다음은 KrF* 엑시머 생성에 대해서 여러 운용변수에 따른 광세기의 변화를 실험한 결과이다. Fig. 7은 혼합기체 조성비에 따른 광세기 의존성을 나타낸 것이다. 전체 압력을 500 Torr, 전력 100 W의 일정한 조건에서 Kr과 3% F₂/He의 혼합비가 4 : 1, 즉 Kr : F₂ : He = 80 : 0.6 : 19.4일 때 최대 발광세기를 갖는다. 그리고 혼합비율이 최적 조건에서 벗어남에 따라 엑시머 생성효율이 급속히

감소함을 알 수 있다. 엑시머 생성효율은 완충기체인 헬륨의 비율보다는 불소의 농도에 매우 민감하게 변한다[14, 15]. 불소의 양이 많아지면 전자부착 해리반응(dissociative electron attachment : F₂+e → F⁻+F)이 원활히 일어나서 Kr 이온화반응(Kr*+e → Kr⁺+2e)에 참여할 전자의 농도가 줄게 되므로 KrF* 생성 효율이 감소한다[14]. 또한 불소의 초기농도가 너무 적으면 방전영역에서 오염원과의 반응 후 엑시머생성에 참여할 F의 양이 부족하기 때문에 생성효율이 낮은 것으로 사료된다. 불소 최적농도 0.6%는 Kr이 풍부한 혼합기체를 이용한 전자빔 여기방식의 엑시머 생성효율 측정실험들에서 보고된[14, 16, 17] 최적농도 0.1~1% 범위에 해당한다.

최적조성하에서 부하전력과 압력에 따른 KrF*(248 nm) 피크 높이의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 각 부하전력 조건에서 압력이 증가할수록 광세기가 비선형적으로 단조롭게 증가하였다. 이는 기체밀도에 따라 엑시머 생성속도가 변화하고(엑시머 생성 속도는 1.2기압에서 최대값을 갖는다[12]), 또한 엑시머생성은 삼중충돌에 의해 일어나므로 활성종들과 제 3의 입자와의 충돌가능성이 커지기 위해서는 높은 압력이 유리하다. 그러나 압력이 지나치게 높으면 전자와 기체간의 빈번한 충돌로 인해 전자의 평균에너지가 줄어들게 되어 방전이 어려울 뿐만 아니라 Kr이나 He에 의한 이온 등과 같은 활성종의 quenching이 활발히 일어나 엑시머 생성효율을

저하시킨다[16]. 약 2기압까지는 엑시머에 의한 광출력 효율이 증가한다는 여러 보고들과 같은 경향을 보인다 [16, 17].

입력전력에 따라 광세기가 증가하지만 고전력에서는 광세기 증가비가 다소 감소한다. 본 실험에서 입력전력 증가는 Fig. 4에서처럼 방전전압에 의해 얻어진다. 그러므로 입력전력이 증가함에 따라 방전전극 사이의 전기장이 커지기 때문에 마이크로 방전의 밀도가 증가하여 (Fig. 3(b)) 단위 면적당 방출되는 photon의 양이 많아진다. 또한 필라멘트 내의 평균 전자에너지가 커지기 때문에 전자충돌에 의한 이온화 등의 여기반응이 촉진되어 엑시머 생성효율이 증가한다. 그러나 공급전력이 커질수록 방전영역의 기체온도가 높아져서 엑시머 생성효율을 떨어뜨려 고전력에서는 광세기 증가비가 감소한다고 생각된다.

4. 결 론

유전장벽 방전(또는 silent 방전)에 의한 ArF*, KrF*, XeF* 엑시머 자외선광원을 제작하여 방전기체 혼합비, 압력, 입력전력 및 방전간격 등의 운용변수에 따른 마이크로방전의 형태변화와 엑시머 생성효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 0.1기압 이상의 압력에서는 특징적인 필라멘트 형태의 마이크로 방전이 관찰되었고 마이크로방전 밀도증가 및 균일한 분포를 위해서는 큰 방전전압이 필수적임을 알 수 있었다. 또한 높은 압력에서의 방전개시 및 큰 입력전력 공급을 위해서도 방전전압을 높이는 것이 가장 효율적인 방법이다. 본 실험에서는 RLC 공진에 의해 ~12 kV 정도의 V_{pp} 를 얻을 수 있었고 엑시머생성이 원활한 2기압의 압력에서 600 W 정도의 부하전력 전달이 용이하였다. 반응성이 매우 큰 불소기체를 사용할 경우 방전영역에서 금속전극이나 O-링 등과의 접촉을 피해야 엑시머 광세기의 지속성을 가질 수 있었다. 희유기체 : 3% F₂/He=4 : 1 혼합비에서 엑시머 광조사 세기의 최대값을 갖고 실험가능한 범위인 2기압까지는 압력이 증가할수록 입력전력이 높을수록 발광세기가 커진다. 원통형 방전장치는 평면형에 비해 기계적, 전기적으로 안정하지만 평면에 대한 균일한 광조사가 어렵다. 또한 방전영역에서 불소기체와 금속 등과의 직접적인 접촉이 없는 원통형의 경우도 엑시머 발광세기가 수 십 분 정도밖에 지속되지 않았다. 금속 등과의 반응성이 없는 비활성 기체만의 엑시머(예로 들면 Xe*(172 nm) 등)

자외선 램프의 경우 보다 긴 수명을 가질 것이라 사료된다. 램프로서의 활용외에도 유전장벽 방전내에 존재하는 높은 밀도의 활성종을 이용하면 큰 유량을 갖는 라디칼이나 원자빔 소스로도 응용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체분야 학술연구조성비(과제번호 : ISRC 93-E-1017, ISRC 94-E-1013)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D. J. Ehrlich and J. Y. Tsao, J. Vac. Sci. Technol. **B** 1, 969 (1983)
2. J. G. Eden, 'Photochemical Vapor Deposition', Chem. Anal. Ser. Vol. 122, (Wiely, New York, 1992).
3. B. Eliasson, M. Hirth, and U. Kogelschatz, J. Phys. D : Appl. Phys. **20**, 1421 (1987)
4. U.Kogelschatz, Pure and Appl. Chem. **62**, 1667 (1990)
5. U. Kogelschatz, Appl. Surf. Sci. **54**, 410 (1992)
6. J. Y. Zhang, H. Esrom, U. Kogelschatz and G. Emig, Appl. Surf. Sci. **69**, 299 (1993)
7. B. Eliasson and U. Kogelschatz, IEEE Trans. Plasma Sci. **19**, 309 (1991)
8. Jurgen Kohler, Applied Optics **33**, 3812 (1994)
9. F. Kessler and G. H. Bauer, Appl. Surf. Sci. **54**, 435 (1992)
10. H. Esrom and U. Kogelschatz, Thin Solid Films **218**, 231 (1992)
11. J. N. Bardsley and J. M. Wadehra, Chem. Phys. Lett. **72**, 447 (1980)
12. M. R. Flannery and T. P. Yang, Appl. Phys. Lett. **32**, 327 (1978)
13. A. L. Cabrera, E. J. Karwacki, and J. F. Kirner, J. Vac. Sci. A **8**, 3988 (1990)
14. H. Kumagai and M. Obara, IEEE Trans. Plasma Sci. **16**, 453 (1988)
15. M. R. Flannery and T. P. Yang, Appl. Phys. Lett. **33**, 574 (1978)
16. A. Suda, M. Obara and A. Noguchi, J. Appl. Phys. **58**, 1129 (1985)
17. A. Suda, M. Obara and T. Fujioka, Appl. Phys. Lett. **45**, 1165 (1984)