

Analysis on the improvement of Luminous Efficiency by Adding a small amount of Ar Gas in plasma display

閔丙國* · 朴憲建** · 李哲賢***
(Byoung-Kuk Min* · Hun-Gun Park** · Seok-Hyun Lee***)

Abstract - The optimal mixing condition of four components gas(Ne,Xe,He,Ar) in PDPs was caculated by a numerical simulation method. The dominated reactions in which $Xe^*(^3P_1)$ is produced and decays were investigated in three components gas (Ne,Xe,He) and our new components gas (Ne,Xe,He,Ar). A peak point of Xe^* density appears in the range of 0.1% to 2% of Ar mixture ratio. The results of simulation show that the direct exitation of Xe by electrons has the greatest influence on the inceasing Xe^* density in both gas mixtures.

Key Words : PDP(Plasma Display Panel, 플라즈마 디스플레이 패널), Gas Discharge Simulation, Ne-Xe-He(네온-제논-헬륨), Ne-Xe-He-Ar(네온-제논-헬륨-아르곤)

1. 서 론

최근 정보사회가 다양하고 복잡해짐에 따라 인간이 정보를 쉽게 접할 수 있는 디스플레이의 역할이 갈수록 증대되고 있다. 현재 가장 널리 이용되고 있는 Cathode Ray Tube(CRT)는 대형화와 경량화, 평판화등에 대한 한계로 인하여 이를 대체할 만한 새로운 디스플레이 소자에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 그 중 플라즈마 디스플레이 패널(PDP)은 기체 방전시 생기는 플라즈마로부터 나오는 빛을 이용하여 문자 또는 그래픽을 표시하는 소자로서 다른 평판디스플레이 소자에 비해 40~60인치급의 대형화가 용이하고, 고해상도, 넓은 시야각, 장수명, 박형화, 경량화등 여러 가지 이점을 가지고 있어 차세대 평판디스플레이로서 주목을 받고 있다. 현재 일본, 한국등에서 벽걸이형 고선명 TV(HDTV)를 목표로 PDP에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 그러나 기존의 CRT에 비해 발광휘도와 발광효율, 동작수명 등이 떨어져 실용화에 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 이를 개선하기 위하여 방전 가스의 최적화, 구동 방법과 구동 기술, 전극이나 형광체 등의 재료 개발, 셀구조의 최적화등 여러 가지 방법들을 통한 연구가 진행중이다[2][3][4].

본 연구는 이러한 문제점에 대한 효과적인 개선을 위하여 방전기구에 대한 분석이 가능한 영차원 시뮬레이션 모델을 구축하여 PDP에 사용되는 혼합가스(Ne,Xe,He,Ar)에 대한 최적의 혼합비에 대하여 연구하였다. 또한 소량 첨가된 Ar이 효율개선에 어떠한 경로를 통하여 영향을 미치는지에 관한 분석을 실시하였다. 우선 147nm를 발생시키는 $Xe^*(^3P_1)$ 에 대한 생성과 소멸의 관계

를 시뮬레이션을 통하여 분석하였고, $Xe^*(^3P_1)$ 의 생성과 소멸에 지배적인 영향을 미치는 입자인 전자에 관련하여 다시 시뮬레이션을 통한 분석을 실시하여 Ar이 첨가되면서 나타나는 현상을 검토하였다.

2. 시뮬레이션 모델

가스 혼합비 최적화 시뮬레이션은 Ne,Xe,He의 3원가스에 Ar을 첨가한 4원가스에 대하여 실행하였으며, 동일한 조건에서 Ar 첨가에 따른 반응경로에 대하여 분석을 시행하였다. 최적의 혼합비를 구하는 시뮬레이션에서는 He과 Ne의 비는 7:3으로, Xe의 혼합비는 4%로 고정하고 Ar혼합비에 따라 147nm를 발생시키는 $Xe^*(^3P_1)$ 의 밀도가 제일 높게 나타나는 조건을 구하였다. 반응경로에 대한 시뮬레이션에서는 각각의 반응식을 거치면서 변화되는 입자의 밀도를 구하는 방법을 통하여 지배적인 반응들을 조사하였다.

시뮬레이션에는 Ne, Xe, He, Ar 및 전자를 비롯하여 Ne^+ , Ne_2^+ , Ne^{2+} , Ne^* , Ne_2^* , Xe^+ , Xe^{2+} , $Xe_2^{+(1)}$, $Xe_2^{+(3)}$, Xe^* , Xe_2^* , Xe_3^* , Xe_2^{**} , Ar^+ , Ar_2^+ , Ar_2^{2+} , Ar^* , Ar^{**} , He^+ , He_2^+ , He^* , He^{**} , He_2^* , $NeXe^+$, $ArXe^+$, $ArXe^*$ 총 32개의 입자가 적용되었으며, 각 입자간의 반응은 203개의 반응식을 선별하여 적용하였다.

수치해석에 적용된 플라즈마 내의 반응은 전자와 무거운 입자(heavy species)사이의 반응과 무거운 입자(heavy species)사이의 반응으로 구별할 수 있다. 전자와 무거운 입자(heavy species)사이의 주요반응에는 여기화(excitation), 이온화(ionization), 재결합(recombination), 해리(dissociation)등이 있으며, 무거운 입자(heavy species)사이의 반응에는 전하교환(charge transfer), 페닝 이온화(Penning ionization), 발광(chemiluminescence), radical간의 재결합(recombination)등이 있다. 시뮬레이션에서 사용되어진 반응계수 및 이론들은 기존의 논문[1]에서 발표하였다.

* 正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 碩士課程
 ** 正 會 員 : LG電子 PDP研究所 研究員
 *** 正 會 員 : 仁荷大 電子電氣컴퓨터工學部 教授 · 工博
 接受日字 : 1998년 10월 30일
 最終完了 : 1999년 4월 30일

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 1은 4원가스(Ne-Xe-He-Ar)에서 Ar 혼합비에 따른 전자 온도의 변화를 나타내는 그래프이다. Ar의 혼합비가 증가할수록 전자의 온도는 감소하는 것을 알 수 있는데 이것은 Ne이나 He보다 collision cross section이 큰 Ar의 혼합비가 증가하면서 전자의 평균자유행정(mean free path)이 짧아져 전자가 충분히 가속되지 못하기 때문이다.

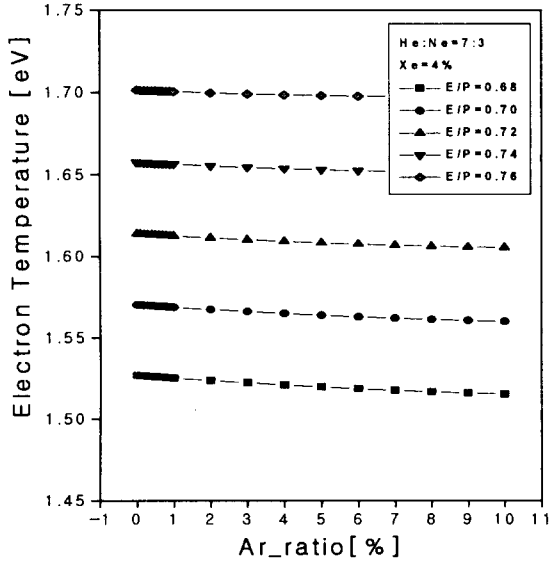


그림 1 Ar 혼합비에 따른 전자온도
Fig. 1 Electron Temperature as a function of Ar concentration
(Xe=4%, P=400torr, E : Electric Field[V/cm])

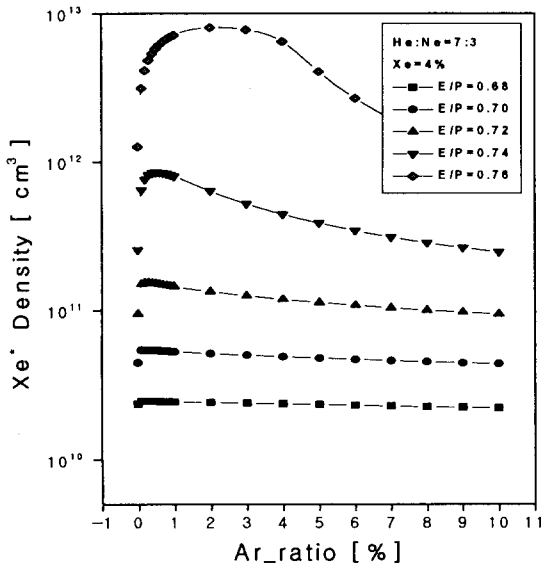


그림 2 Ar 혼합비에 따른 Xe* 밀도
Fig. 2 Xe* Density as a function of Ar concentration
(Xe=4%, P=400torr)

그림 2와 그림3은 Ne-Xe-He-Ar의 혼합가스에서 Ar 혼합비에 따른 Xe*(³P₁)입자와 전자의 밀도이다. Ar 혼합비가 0.1%일 때 전자와 Xe*(³P₁)의 밀도가 급격히 증가하기 시작하여 E/P에 따라 조금씩 차이가 있기는 하지만 대략 2%정도까지 증가한다. 따라서 Ar 혼합비가 0.1%에서 2%사이에서 최적의 혼합비를 갖는 것을 알 수 있다.

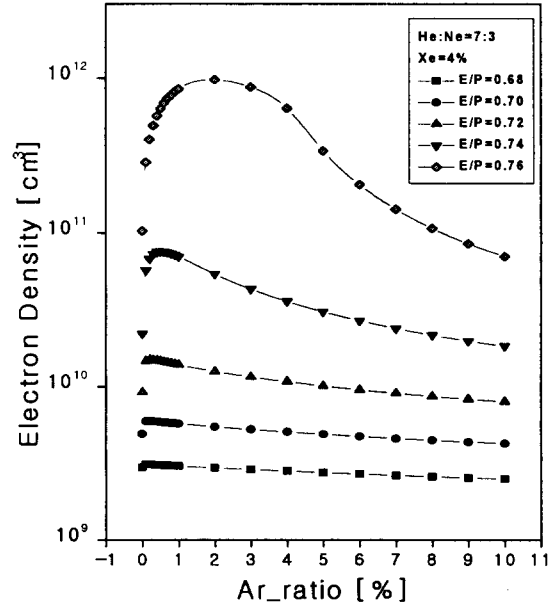


그림 3 Ar 혼합비에 따른 전자밀도
Fig. 3 Electron Density as a function of Ar concentration
(Xe=4%, P=400torr)

다음은 3원가스 (Ne-Xe-He)에서 Xe*의 생성과 소멸에 대한 반응과 Xe*의 생성에 지배적인 영향을 미치는 전자의 생성과 소멸에 대한 반응을 중심으로 반응기구를 분석한 결과이다. 시뮬레이션에서의 E/P값은 0.70으로 고정하였다.

그림 4와 그림 5는 Ne-Xe-He에서 Xe 혼합비에 대하여 각 반응식에서 Xe*(³P₁)이 생성되는 밀도값과 소멸되는 밀도값에 대한 그래프이다. 그래프 밑 부분에 있는 수식은 가장 영향을 많이 미치는 반응에 대한 식들로서 반응식의 번호는 그래프 안의 번호를 나타낸다. 3원가스 (Ne-Xe-He)에서 Xe*의 생성은 전자에 의한 직접여기(Xe + e → Xe* + e)에 의해 생성되는 Xe*의 밀도값의 비율이 전체 생성 비율 중 85% 이상을 차지한다. 따라서 전자의 밀도가 Xe*의 밀도와 직접 관련되어 있음을 알 수 있다. 다음으로 [Xe** → Xe* + hv]의 반응과 [Xe** → Xe* + Xe]의 반응에 의한 Xe*의 생성율이 각각 10%, 3%정도로 큰 비중을 차지하고 있다. 그림4의 Xe4번이 나타내고 있는 [Xe** + e → Xe* + e] 반응에 의해 생성되는 Xe*의 밀도값은 Xe 혼합비가 1%를 넘어 서면서 급격히 감소함을 보이고 있다. 3원가스 (Ne-Xe-He)에서 Xe*는 소멸과정은 대부분이 dimer(Xe₂⁽¹⁾, Xe₂⁽³⁾)로 전이되거나 147nm의 VUV(vacuum ultra violet)를 방사하면서 일어난다. Xe의 혼합비가 증가할수록 147nm를 방사하면서 소멸되는 Xe*의 밀도값은 서서히 줄어들고 dimer(Xe₂⁽¹⁾, Xe₂⁽³⁾)로 전이되는 Xe*의 밀도는 증가하게 되어 Xe의 혼합

비가 4%이상에서는 dimer(Xe₂⁽¹⁾, Xe₂⁽³⁾)로 전이되면서 소멸되는 Xe*의 밀도가 147nm의 VUV를 방사하면서 소멸되는 Xe*의 밀도보다 많아지게 된다. 따라서 Xe의 혼합비가 증가할수록 147nm의 VUV방사는 서서히 줄게 되고 대신 152nm, 173nm의 VUV의 방사가 늘어날 것을 알 수 있다.^[2] 그림 5의 Xe3번 반응인 [Xe* + e → Xe** + e] 반응에 의해 소멸되는 Xe*의 밀도값은 Xe의 혼합비가 1%이하에서는 가장 큰 비중을 차지하지만 그 이상의 혼합비에서는 급격히 감소함을 보인다.

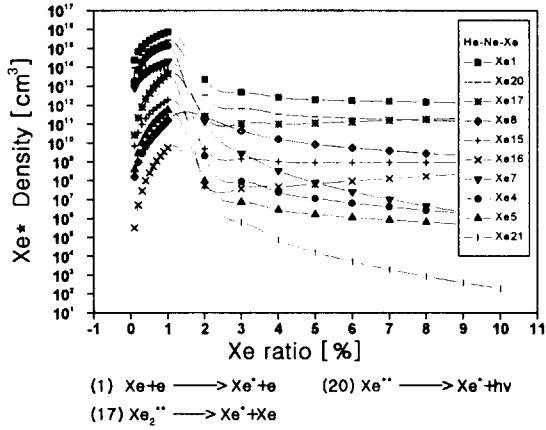


그림 4 Ne-Xe-He 혼합가스의 각 반응식에서 생성되는 Xe*의 밀도

Fig. 4 Xe* density which is produced at each reaction equation in Ne-Xe-He mixture gas (E/P=0.70, P=400torr)

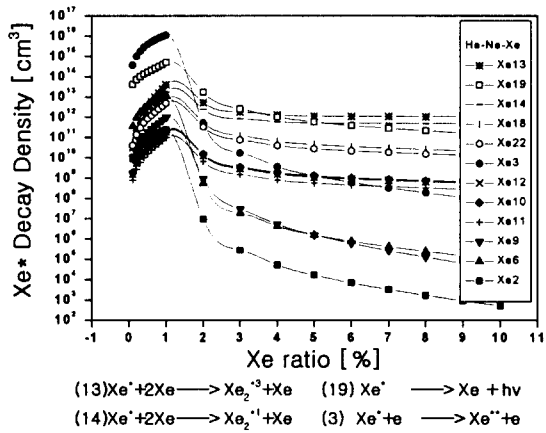


그림 5 Ne-Xe-He 혼합가스의 각 반응식에서 소멸되는 Xe*의 밀도

Fig. 5 Xe* density which decays at each reaction equation in Ne-Xe-He mixture gas (E/P=0.70, P=400torr)

그림 6과 그림 7은 Ne-Xe-He에서 Xe혼합비에 대하여 각 반응식에서 전자가 생성되는 밀도값과 소멸되는 밀도값에 대한 그래프이다. 전자는 Xe의 혼합비가 3%이하에서는 He과 Xe의 페닝이온화에 의한 생성이 지배적이지만 그 이상의 혼

합비에서는 전자와 Xe의 direct ionization에 의한 전자의 생성이 지배적이다. 그 외에도 He과 전자의 direct 이온화와 Ne과 Xe의 페닝이온화에 의한 전자의 생성도 소수를 차지하고 있다. 전자가 소멸되는 반응 기구에 대하여 살펴보면 Xe의 혼합비가 1%이하에서는 [Xe₃^{*} + e → Xe** + 2Xe]에 의한 반응과 [Xe₂^{*} + e → Xe* + Xe]에 의한 반응에 의하여 대부분의 전자가 소멸되나 Xe의 혼합비가 2%이상에서는 Xe₃^{*}와 전자가 재결합하여 Xe*과 두 개의 Xe를 생성하면서 전자의 90% 이상이 소멸된다. 그러나 이 반응에 의하여 생성되는 Xe*의 밀도값은 Xe*의 전체 생성에 비하여 극히 적은 것으로 나타났다(그림 4에서 Xe8번 반응). 따라서 전자의 소멸이 Xe*의 생성에 미치는 영향은 작음을 알 수 있다.

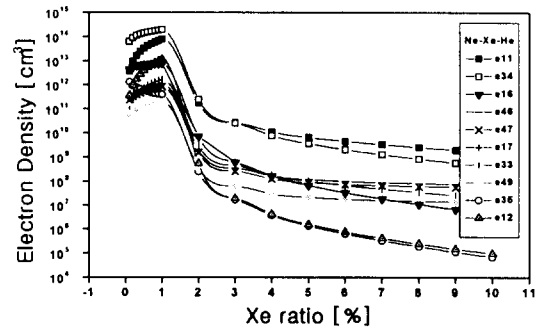


그림 6 Ne-Xe-He 혼합가스의 각 반응식에서 생성되는 전자의 밀도

Fig. 6 Electron density which is produced at each reaction equation in Ne-Xe-He mixture gas (E/P=0.70, P=400torr)

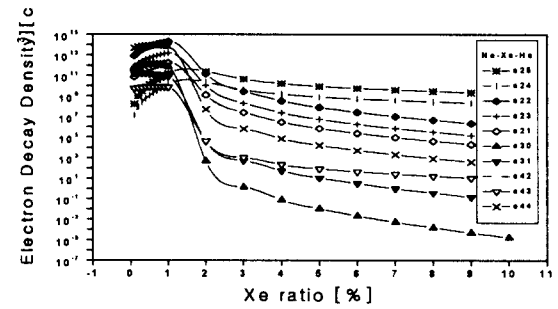


그림 7 Ne-Xe-He 혼합가스의 각 반응식에서 소멸되는 전자의 밀도

Fig. 7 Electron density which decays at each reaction equation in Ne-Xe-He mixture gas (E/P=0.70, P=400torr)

다음은 4원가스 (Ne-Xe-He-Ar)에서 반응 기구에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서의 Xe의 혼합비는 4%로 고정하였고, 그래프에서는 Ar의 혼합비를 0.1%에서부터 표시하였다.

그림 8과 9는 Ne-Xe-He-Ar에서 Ar혼합비에 대한 각 반응식에서 Xe*이 생성되는 밀도값과 소멸되는 밀도값에 대한 그래프이다. 3원가스(Ne-Xe-He)에서와 마찬가지로 Xe*의 생성은 전자에 의한 직접여기가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 전자를 얼마나 많이 생성시킬수 있는가 하는 것이 Xe*의 밀도를 증대시킬수 있느냐와 직접 연관된다. Ar이 직접 Xe* 생성에 관여하는 반응 중에는 [Xe** + Ar → Xe* + Ar]에 의한 반응이 가장 큰 비중을 차지한다. 그러나 전체에서 차지하는 비중은 미미하다. Ar의 혼합비가 증가할수록 그 생성비율도 증가하게 되지만 Ar 혼합비가 증가하면 전자온도 감소로 인하여 전체적으로 밀도가 감소하게 된다. Xe*의 소멸과정은 3원가스(Ne-Xe-He)에서와 동일하다.

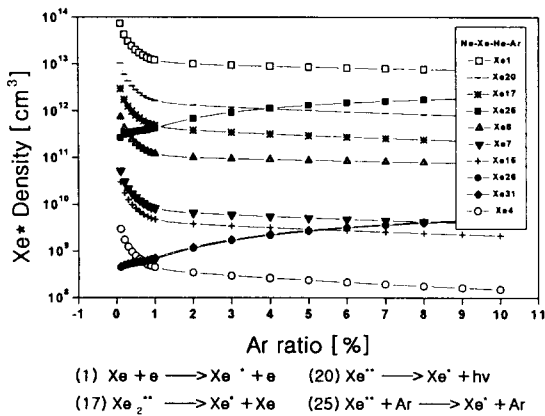


그림 8 Ne-Xe-He-Ar 혼합가스의 각 반응식에서 생성되는 Xe*의 밀도

Fig. 8 Xe* density which is produced at each reaction equation in Ne-Xe-He-Ar mixture gas (Xe=4%, E/P=0.70, P=400torr)

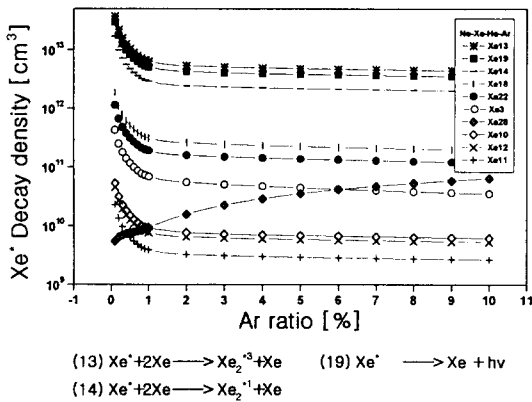


그림 9 Ne-Xe-He-Ar 혼합가스의 각 반응식에서 소멸되는 Xe*의 밀도

Fig. 9 Xe* density which decays at each reaction equation in Ne-Xe-He-Ar mixture gas (Xe=4%, E/P=0.70, P=400torr)

그림 10과 그림 11은 Ne-Xe-He-Ar에서 Ar혼합비에 대하여 각 반응식에서 전자가 생성되는 밀도값과 소멸되는 밀도값에 대한 그래프이다. 3원가스 (Ne-Xe-He)에서와 마찬가지로 전자와 Xe의 direct ionization에 의하여 가장 많은 전자가 생성된다. Ar 소량 첨가시에는 전자온도가 거의 변하지 않는 상태에서 Ar과 Xe사이의 페닝이온화($Ar^{**} + Xe \rightarrow Xe^* + Ar + e$)와 He과 Ar사이의 페닝이온화($He^* + Ar \rightarrow He + Ar^* + e$)에 의하여 상당량의 전자가 생성된다. 이렇게 생성된 전자에 의한 과급효과로 인하여 전자의 밀도가 급격히 증가하게 되고 이에 따라 Xe*의 밀도도 급격히 증가하게 된다. 전자의 소멸적인 측면에 살펴보면 3원가스(Ne-Xe-He)에서와 동일한 경향을 보이고 있다. 다만 다른 점이 있다면 [$Xe_3^+ + e \rightarrow Xe^* + 2Xe$]의 반응에 의하여 소멸되는 전자의 비율이 85%정도로 3원가스와 비교하였을 때 약 5%정도 낮아진 반면 [$Xe_2^+ + e \rightarrow Xe^* + Xe$]의 반

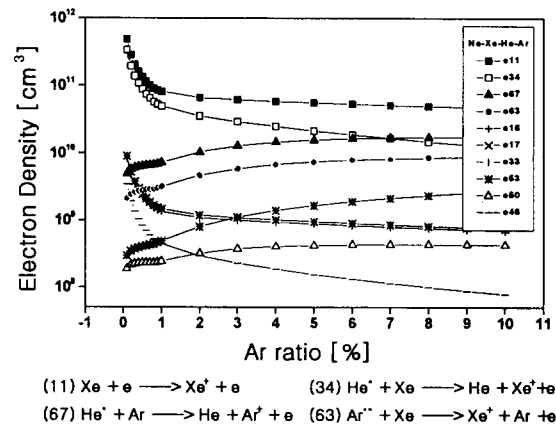


그림 10 Ne-Xe-He-Ar 혼합가스의 각 반응식에서 생성되는 전자의 밀도

Fig. 10 Electron density which is produced at each reaction equation in Ne-Xe-He-Ar mixture gas (Xe=4%, E/P=0.70, P=400torr)

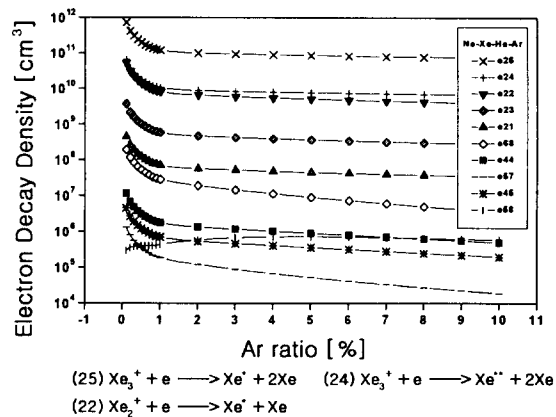


그림 11 Ne-Xe-He-Ar 혼합가스의 각 반응식에서 소멸되는 전자의 밀도

Fig. 11 Electron density which decays at each reaction equation in Ne-Xe-He-Ar mixture gas (Xe=4%, E/P=0.70, P=400torr)

용에 의하여 소멸되는 전자의 비율은 3원가스의 경우 약 3% 였으나 4원가스의 경우에는 6%정도로 높아진 것이다.

4. 결론

영차원 시뮬레이션을 이용하여 얻은 4원가스(Ne-Xe-He-Ar)에 대한 분석결과는 다음과 같다.

첫째, Ar의 혼합비가 증가할수록 전자의 평균자유행정의 감소로 인한 효과로 인하여 전자온도는 감소한다.

둘째, 147nm를 발생하는 Xe*의 밀도는 Ar 혼합비가 0.1% 일 때 급격히 증가하여 E/P값에 따라 다소 차이가 있지만 2%까지 증가한다. 대부분의 경우 Ar의 혼합비가 0.1%에서 0.5%사이에서 그 최대값이 나타난다. 이것은 Ne, Xe, He의 3원가스에 Ar을 소량 첨가하면 전자온도의 변화는 극히 적으나 Ar과 Xe사이의 페닝이온화($Ar^{*+} + Xe \rightarrow Xe^* + Ar + e$)와 He과 Ar사이의 페닝이온화($He^* + Ar \rightarrow He + Ar^* + e$)에 의하여 상당량의 전자가 생성되어 그 영향으로 인하여 전반적으로 전자의 밀도와 전자의 밀도에 직접적으로 영향을 받는 Xe*의 밀도가 급격히 증가하게 되기 때문이다.

셋째, 3원가스(Ne, Xe, He)와 4원가스(Ne, Xe, He, Ar) 두 경우 모두 Xe*의 밀도는 전자에 의한 직접여기에 의하여 가장 많이 형성된다. 또한 dimer(Xe_2^{*+} , Xe_2^{*3})형성과 147nm의 진공자외선을 방사하므로써 대부분이 소멸되어진다.

넷째, 3원가스(Ne, Xe, He)의 경우 전자가 생성되는 주된 반응은 Xe의 혼합비가 3%미만일 경우에는 He과 Xe의 페닝이온화가 전자에 의한 직접 이온화보다 지배적이지만 3%이상에서는 전자와 Xe의 직접 이온화에 의한 전자생성이 더 지배적이다.

다섯째, 4원가스 (Ne, Xe, He, Ar)에서도 역시 전자는 Xe과 전자의 직접이온화 반응에 의하여 가장 많이 형성된다. Ar의 혼합비가 증가할수록 He과 Ar의 페닝이온화에 의한 전자의 생성비율이 증가하며 Ar의 혼합비가 7%를 넘어서면서 He과 Xe의 페닝이온화에 의한 생성비율보다 더 많아져 Xe의 직접이온화에 이어 두 번째로 큰 생성비율을 차지한다.

여섯째, 3원가스(Ne, Xe, He)와 4원가스(Ne, Xe, He, Ar) 모두에서 전자는 Xe의 혼합비가 1%이상에서는 Xe_3^* 와의 재결합으로 Xe*와 Xe를 생성하면서 대부분이 소멸된다. 그러나 이때 생성된 Xe*의 밀도가 전체적인 Xe*의 생성에 미치는 영향은 적다.

147nm를 발생시키는 Xe*의 밀도는 전자에 의한 직접 여기 반응에 의하여 가장 많이 형성되나 Ar을 소량 첨가함으로써 전자온도의 큰 변화없이 페닝이온화에 의하여 보다 많은 전자를 발생시킬수 있다. 따라서 Ar을 첨가하여 증가한 전자에 의하여 Xe*의 밀도값이 증가하게 되는 것이다. 소량 첨가된 Ar에 의하여 전자의 밀도값이 증가한다는 것은 방전이 쉽게 일어나는 것을 의미하므로 낮은 전압에서 방전이 일어남을 예측할 수 있고, Xe*의 밀도값이 증가한다는 것은 147nm의 VUV가 많이 생성됨을 의미하므로 휘도가 좋아짐을 예측할 수 있다. 이 두 가지로부터 Ar을 소량 첨가하였을 때 발광효율이 증가함을 예측할 수 있다.

본 수치해석의 단점은 147nm의 VUV가 기저상태의 다른

Xe에 흡수되어 Xe*로 여기시키는 반응인 self-absorption이 고려되어 있지 않다는 것이다. 앞으로 이 점에 대하여 보완할 예정이며, 플라즈마 형성시 발생하는 모든 과정을 측정하므로써 Ar첨가시 변화하는 각종 현상들을 분석하는 방법을 통하여 이 수치해석 결과를 검증할 예정이다.

본 연구는 1999년도 정보통신부 '정보통신 우수대학원' 지원사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 박헌건, 이석현 "칼라 플라즈마 디스플레이 패널용 가스 최적화 시뮬레이션과 아르곤 첨가에 의한 진공 자외선 발광 효율 개선", Trans. KIEE, Vol.47, No.3, 1998.3, pp372~380
- [2] 정희섭, "교류형 플라즈마 표시기의 진공자외선 측정 및 수치해석을 통한 방전특성 연구", 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1998.8, pp 25~33, 143~149
- [3] Takeo Kamegaya 外 2인, "Basic Study on the Gas-Discharge Panel for Luminescent Color Display", IEEE Trans. on Electron Device, vol.ED-25, 1978.9, pp 1094~1100
- [4] M.Noborio 外 3인, "(He,Ne)-Xe Gas Mixture for High-Luminance Color ac PDP", SID'94 Digest, pp.727~730
- [5] David C. Hinson, Robert A. Bennett, "Xenon-Based Gas Mixtures for AC Plasma Panels with Phosphor", SID'74 Digest, pp118~119
- [6] N.T Ngyuen, 外 4인, "Optical Characteristics of 42-inch Diagonal Color Plasma Display", IDE'96, pp 295~298

저 자 소 개



민 병 국(閔 丙 國)

1974년 2월 28일 생. 1998년도 인하대학교 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 032-860-7402, Fax : 032-863-5822

E-mail : g1891113@inhavision.inha.ac.kr



박헌건(朴憲建)

1966년 4월 21일생. 1992년도 인하대학교 응용물리학과 졸업. 1992~1996년 LG영상 Display연구소 연구원. 1998년 동 대학원 전자전기컴퓨터공학부 대학원 졸업(석사). 1996~현재 LG전자 PDP 연구소 주임연구원

Tel : 0546-460-7328, Fax : 0546-460-7323

E-mail : inhapark@lge.co.kr



이석현(李哲賢)

1963년 2월 3일생. 1985년 서울대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1993년~1995년 현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1995년~현재 인

하대 전자·전기·컴퓨터공학부 부교수

Tel : 032-860-7402, Fax : 032-863-5822

E-mail : plasma@inha.ac.kr