

AC-PDP의 휘도와 효율 향상을 위한 Dichroic Mirror의 응용에 관한 연구

송병무 · 김중균 · 황만수 · 황기웅

서울대학교 전기공학부
(1999년 7월 14일 접수)

A study on the application of dichroic mirror for the improvement of luminance and luminous efficacy in an AC Plasma Display Panel

B.M. Song, J.K. Kim, M.S. Hwang, and K.W. Whang

School of Electrical Engineering, Seoul National University

(Received July 14, 1999)

요 약 - 차세대 평판 디스플레이로서 플라즈마 표시기(Plasma Display Panel, PDP)는 현재 350 cd/m^2 의 휘도와 1 lm/W 정도의 효율을 갖는 AC형 PDP가 개발되어 있으나, 음극선관(CRT)의 피크 휘도가 700 cd/m^2 , 효율이 수 1 m/W 인 것을 감안하면 음극선관을 대체할 수 있는 표시기가 되기 위해서는 PDP의 휘도와 효율을 더욱 개선시킬 필요가 있다. 반사형 AC-PDP 셀 내에서 가스 방전으로 발생된 진공 자외선(Vacuum Ultra-Violet, VUV) 중 배면판 쪽으로 진행되는 부분은 형광체를 여기시켜 가시광을 발생시키게 되지만, 전면판 쪽으로 진행되는 부분은 발광에 사용되지 못하고 있다. 본 연구에서는 PDP 셀 전면판의 유전체와 보호막 사이에 VUV를 반사시킬 수 있는 다이크로익 미러(Dichroic mirror)를 증착함으로써 셀 내의 VUV 이용 효율을 증가시켜 휘도와 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 다이크로익 미러를 정확하게 설계하기 위해서 미러에 사용되는 MgF_2 , LaF_3 , MgO 박막의 VUV 영역에서의 광학 계수(Optical Constant)를 실험과 시뮬레이션에 이용한 광도 측정법(Photometric method)을 통해서 구하였다 [1]. 이 값들을 이용해서 플라즈마 표시기의 패널 방전에서 방출되는 빛의 휘도를 결정짓는 가장 중요한 요소인 147 nm 부근의 진공 자외선을 반사시킬 수 있는 다이크로익 미러를 설계하였다. 다이크로익 미러는 전자빔 증착기(E-beam evaporator)를 이용하여 증착되었고, 박막의 광학 계수 결정을 위한 반사도(Reflectance), 투과도(Transmittance) 측정과 다이크로익 미러의 반사도 측정은 Reflectometer를 이용해 측정하였다. 패널 실험은 동일한 패널 내에 반쪽 면에만 다이크로익 미러를 증착시켜 방전 전압에 따른 휘도와 효율을 미러가 없는 면과 동일 조건하에 비교 측정하였다. 여러 방전 조건하에서 다이크로익 미러를 AC-PDP에 적용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 휘도와 효율이 약 20~30% 정도 증가함을 확인하였다.

Abstract - A new application of dichroic mirror for the improvement of luminance and luminous efficacy in an AC-Plasma Display Panel (PDP) is suggested. Only about half of the Vacuum UltraViolet (VUV) generated in the reflective PDP cell is used for the excitation of the phosphor. We are suggesting an idea of adopting a dichroic mirror which can reflect the VUV toward the phosphor which otherwise is absorbed by the front panel. The optical constants of the thin films of dichroic mirror were determined from the photometric measurements through an iteration process of matching calculated and measured values of the reflectance and transmittance in the VUV wavelength region. From these results, we could design such a filter whose high reflection zone is centered at 147 nm by a computer simulation accurately. The 147 nm VUV is radiated from Xenon 3P1 state which is dominantly used to activate the phosphor in the PDP cell. The dichroic mirror was made with an electron-beam evaporator and its reflectance was measured by a reflectometer. We confirmed the usefulness of the dichroic mirror for the improvement of efficiency with experiments done by test panels. The panel with mirror shows improved luminance and luminous efficacy by 20~30%.

1. 서 론

Plasma Display Panel(PDP)는 가스 방전에 수반되는 발광 현상을 이용한 디스플레이 장치로서, 현재 제안된 다른 평판 표시 소자에 비해 대형화의 구현이 매우 용이하기 때문에 차세대 벽걸이형의 고성능 텔레비전(High Definition Television, HDTV)의 구현을 목표로 활발히 연구가 진행되고 있다. 특히 1980년대 후반 정보 표시 소자의 고성능, 고기능화에 따라서 디스플레이에 대한 대화면 표시에 대한 높은 요구 및 PDP의 대면적 표시 능력과 표시 용량의 독보적인 구현 가능성 때문에 40인치 이상의 대화면 HDTV의 구현을 목표로 급속한 기술 개발이 진행되고 있다. 그러나 최종 목표인 벽걸이형 HDTV로 상품화되기 위해서는 아직 개선해야 할 문제점을 안고 있다. 그 중 해결해야 할 가장 중요한 문제점은 휘도, 효율 향상 및 동작 수명의 향상인데, 이중 휘도와 효율의 향상은 CRT를 대체할 차세대 평판 표시 장치로서 자리잡기 위해서는 무엇보다도 중요한 목표이다.

반사형 AC-PDP 시스템이 영상 정보를 화면에 표시하기까지의 과정은 그림 1에서 보이는 것과 같이 6단계로 간략화 할 수 있다. AC-PDP에서는 유전체로 덮인 전극에 구동 펄스가 인가되며(①), 결과로 기체 방전(②)을 일으키게 된다. Xe를 포함하는 가스의 방전은 147 nm의 파장을 갖는 공명선과 150~173 nm의 파장을 갖는 연속선 VUV를 발생(③)하며, 이 VUV가 격벽과 하판에 도포 되어 있는 형광체를 여기(④)시켜서 가시광을 발광(⑤)하게 된다. 이 빛이 다시 전면을 통하여 밖으로 나와서 PDP를 보는 사람에게 단위 subpixel

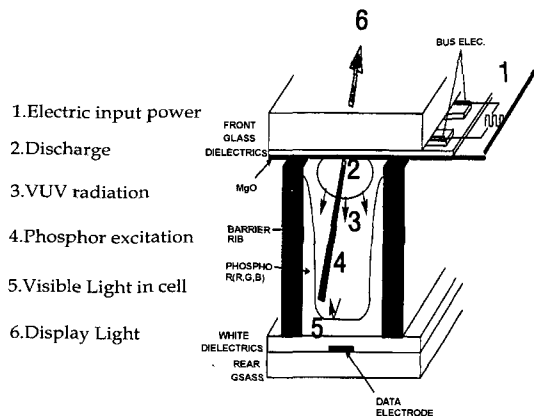


그림 1. AC-PDP에서의 가시광이 나오기까지의 과정.

영상 정보를 전달(⑥)하게 되는 것이다. 이 과정 중, 발생된 VUV에 의한 형광체 여기가 극대화되기 위해서는 형광체의 표면에 VUV가 많이 도달하여야 한다. 본 연구에서는 PDP Cell 내에서 발생하는 VUV를 효율적으로 이용하기 위해서 반사형 구조에서 전면판으로 진행되는 형광체 여기에 이용되지 못하는 VUV를 배면판의 형광체 방향으로 반사시키고 형광체의 여기에 의한 가시광은 손실없이 전면으로 투과시켜서, 결과적으로는 PDP의 휘도와 효율을 개선시킬 수 있는 다이크로의 미러의 채용을 제시하였다.

다이크로의 미러는 박막의 간섭현상을 이용한 다층막 간섭 필터(Multilayer Interference Filter)의 한 종류로서 파장대의 일부분을 반사시키는 특성을 갖는 거울을 지칭한다. 다이크로의 미러는 고 굴절률 박막과 저 굴절률 박막을 교대로 증착해서 제작하고, 각 박막의 두께와 적층막의 수를 제어함으로써 원하는 파장만을 선택적으로 반사시킬 수 있다. 우선 정확한 실험을 위해 다이크로의 미러에 사용되는 두 종류 박막의 굴절률(Refractive Index)과 소광 계수(Extinction Coefficient)를 광도 측정법으로 구하였고, 이 값을 이용해서 파장에 따른 미러의 반사도를 컴퓨터를 이용한 수치해석을 통해 분석하였다. 반사도는 VUV 중 가장 많이 발생되는 147 nm 부근에서 최대가 되도록 최적화 시켰다. 설계된 다이크로의 미러는 두 개의 증발로를 갖는 전자빔 증착장치에 의해 제작되었다. 저 굴절률 물질로는 VUV 영역에서 소광 계수와 굴절률이 가장 작은 MgF_2 가 사용되었고, 고 굴절률 물질로는 굴절률이 높고 소광 계수가 비교적 작은 LaF_3 가 사용되었다. 수치 해석상의 반사도와 실험상의 반사도가 일치함을 확인하고, 직접 다이크로의 미러를 패널에 적용하였다. 패널 실험은 동일 패널 내에서 반쪽면에는 전극, 유전체, 다이크로의 미러, 보호막을 차례로 증착하고 다른 반쪽면에는 미러만을 올리지 않음으로써 동일 조건하에서 양 측면의 휘도와 효율을 측정 비교할 수 있도록 하였다.

2. 실험 장치 및 실험

2.1. 시료 준비

본 실험에서는 박막의 광학 계수 결정을 위한 증착 실험시 직경이 12.7 mm이고 두께가 2 mm인 MgF_2 기판을 사용하였다. 반사도를 측정할 때, 뒷면의 반사영향을 최소화하기 위하여 몇 개의 기판은 3° 바이어스 시

켰다 [1]. 다이크로의 미러를 제작하기 위한 기판은 6×9 cm Corning glass를 사용하였다. 기판에 붙어 있는 먼지 등과 같은 불순물은 그 위에 증착될 박막과의 부착력을 크게 감소시키게 되므로, 본 실험에서는 DI Water로 초기 세척을 한 후에, 초음파 세척기를 이용하여 에탄올로 1분간 세척하고, 질소 가스로 불어서 건조시킨 후 바로 진공조에 장착하였다.

2.2. 증착 실험

본 연구에서는 박막 증착과 다이크로의 미러 제작을 위해 전자빔 증착장치를 사용하였다. 진공조의 진공은 로터리 펌프와 터보 펌프(TG1303, Osaka Vacuum)를 이용하여 4.0×10^{-6} Torr의 기저 압력을 유지하였다. 기판의 온도제어는 thermocouple 온도계, 디지털 온도 조절계 및 전력조정기를 이용하여 thermocouple로 측정된 온도를 PID controller로 자동적으로 유지되도록 하였으며, 대부분의 증착은 300°C에서 이루어졌다. Electron beam gun은 최대 3kW의 전력을 소비하며, 3개의 증발로가 준비되어 있다. 증착된 막의 두께는 quartz crystal rate monitor(Intellimetrix社 제품)와 서터로 정확히 제어하였다. 증착 물질로는 순도 99.5%의 MgO pellet(M-1131,CERAC), MgF₂는 순도 99.9%의 MgF₂ powder(L-1152,CERAC), LaF₃는 순도 99.9%의 LaF₃ powder(M-1128,CERAC)를 이용하였다.

2.3. 반사도(Reflectance)와 투과도(Transmittance) 측정

MgF₂, LaF₃, MgO 박막의 VUV 영역에서 광학 계수를 구하기 위해 MgF₂ 기판 위에 증착된 각 박막의 반사도와 투과도, 다이크로의 미러의 반사도를 Reflectometer(Acton Research Corp.)를 이용해서 구하였다. 그림 2에 이러한 광학 장비의 개략도가 나타나

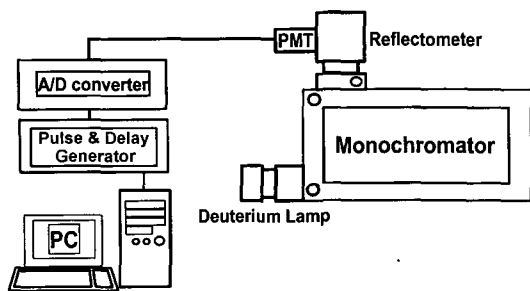


그림 2. 광학 측정 장비의 개략도.

있다. VUV 광원으로는 Deuterium 램프가 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 박막의 광학 계수 결정

다이크로의 미러의 정확한 설계와 제작을 위해서는 사용되는 고 굴절율, 저 굴절율 물질의 굴절율과 소광 계수를 알아야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 박막의 굴절율과 소광 계수를 광도 측정법[1]과 감쇄 최소자승법 [2]을 이용하여 구하였다. 그림 3의 (a)와 (b)에 각 박막의 굴절율과 소광 계수가 각각 나타나 있다. MgO는 180 nm 부근에서 상대적으로 큰 굴절율을 갖으나, 170 nm 이하의 VUV에 대해 소광 계수가 크다. LaF₃와 MgF₂는 VUV 영역에서 각각 고 굴절율 물질과 저 굴절율 물질로 이용되기에 적절한 굴절율과 작은 계수를 갖고 있다 [3-11].

3.2. 다이크로의 미러의 설계와 제작

앞서 구한 각 박막의 굴절율과 소광 계수를 이용해 다이크로의 미러를 컴퓨터를 이용한 수치해석으로 설계하였다 [12-13]. 그림 4에 설계된 다이크로의 미러의 단

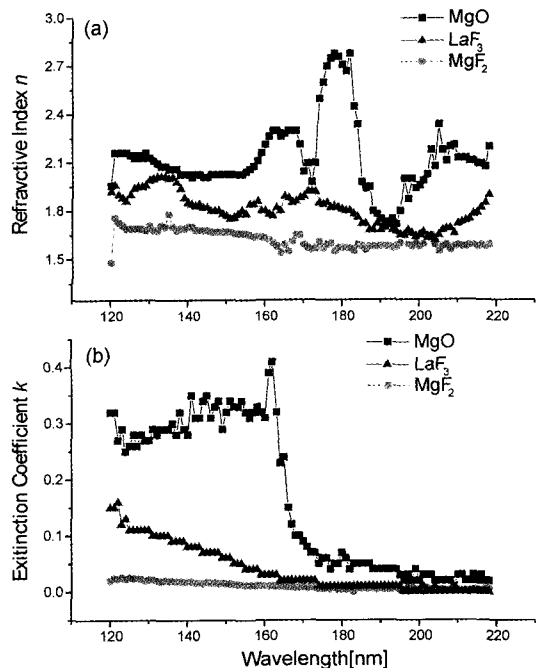


그림 3. 각 박막의 광학 계수. (a) 각 박막의 굴절율, (b) 각 박막의 소광 계수.

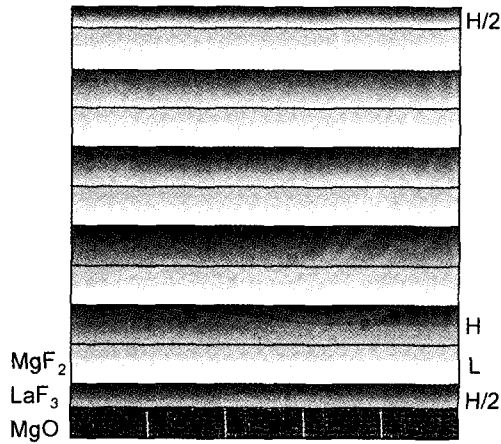


그림 4. 다이크로익 미러의 단면도.

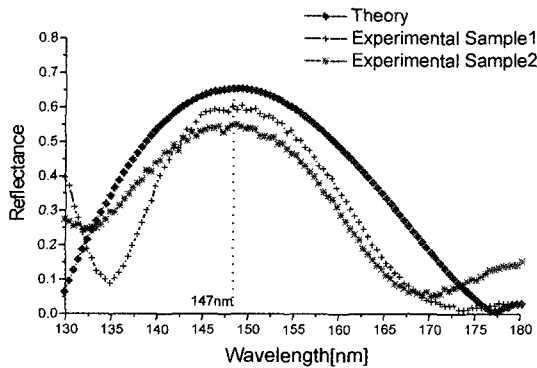


그림 5. 이론적 반사도와 실제 제작된 미러의 반사도 비교.

면 구조가 나타나 있다 기본적으로(H/2 L H/2)를 5번 적층하는 구조를 사용하였고, 맨 마지막 층으로 MgO가 보호막으로 들어가도록 설계하였다. 여기서 H와 L은 고 굴절율인 LaF₃와 저 굴절율인 MgF₂층이며, 광학적 막두께 $\lambda_0/4$ 를 갖는다. 여기서 λ_0 는 미러의 비투과대 중심파장이다. MgO 보호막은 앞서 살펴본 바와 같이 VUV 영역에서 소광계수가 크기 때문에 투과도가 떨어져 400 Å 이상 증착할 수 없다 [14]. 따라서 본 연구에서는 MgO 보호막의 두께를 200Å으로 하였다.

그림 5에는 설계된 미러의 이론적 반사도와 이에 따라 실제 제작된 미러의 반사도를 비교한 값이 나타나 있다. 실제 실험치와 이론치의 차이가 나는 것은 제작 시 각 박막의 두께, 비등방성 등이 설계치와 다르기 때문에 생긴다고 사료된다. 제작된 미러의 147nm 반사도가 50% 이상으로 AC-PDP에서의 응용 가능성을 보여주고 있다.

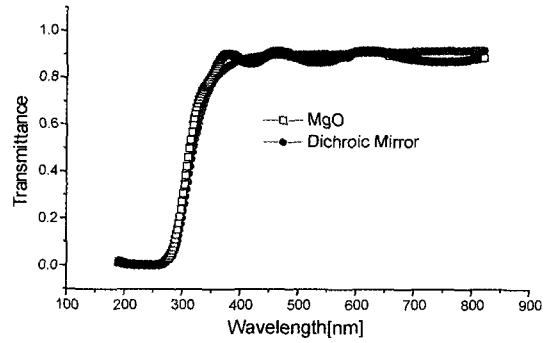


그림 6. 다이크로익 미러와 MgO의 가시광에서의 투과도 비교.

그림 6에 다이크로익 미러와 MgO의 가시광 영역에서의 투과도를 비교한 값이 나타나 있다. 다이크로익 미러의 투과도는 모든 가시 파장에서 약 90% 정도의 높은 값을 보여주고 있으며, 반사형 구조의 채용에 문제가 없음을 보여준다.

3.3. 패널 실험

반사형 패널 실험을 하기에 앞서, 제작이 간단한 투과형 패널 실험을 수행하였다. 압력은 300 Torr로 유지하였고, He-Xe(1%) 가스를 사용하였다. 그림 7에 sustain 전압에 따른 휘도와 효율의 변화를 측정된 결과가 나와 있다. 예상한 대로 다이크로익 미러를 적용시킨 면이 보호막만을 적용한 면보다 높은 휘도와 효율을 보여주고 있다. 휘도의 경우 약 20%, 효율의 경우 약 23%의 향상을 얻을 수 있었다.

그림 8(a)~(c)에 반사형 패널 실험 결과가 나타나 있다. 그림 8(a)와 (b)를 비교해 보면, 가스의 압력이 증가함에 따라 다이크로익 미러의 효과가 다소 감소함을

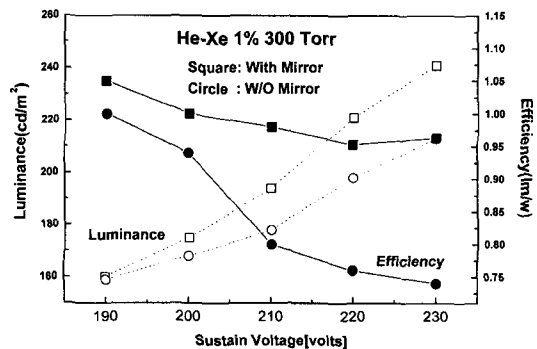


그림 7. 투과형 패널실험: He-Xe(1%)/300 Torr에서 휘도와 효율.

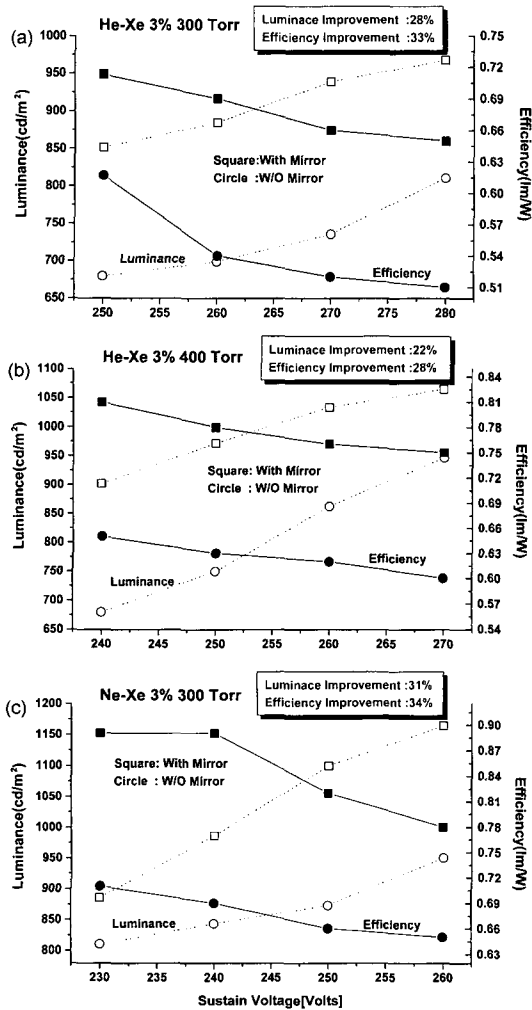


그림 8. 반사형 패널 실험. (a) He-Xe (3%)/300 Torr에서 휘도와 효율, (b) He-Xe (3%)/400 Torr에서 휘도와 효율, (c) Ne-Xe (3%)/300Torr에서 휘도와 효율.

알 수 있다. 일반적으로 He-Xe 가스의 경우, 압력이 증가하면 147 nm 진공 자외선 비가 줄어들고 173 nm 진공 자외선 비가 증가하는 경향이 있기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다 [15]. 그림 8(a)와 (c)를 비교해 보면, 가스의 종류가 변함에 따라 다이크로익 미러의 효과가 바뀌는 것을 알 수 있다. 일반적으로 같은 방전 조건에서 He-Xe 가스에 비해 Ne-Xe 가스에서 발생하는 VUV에서 147 nm의 비가 크기 때문에 [16], (c) 경우의 미러에 의한 휘도와 효율 개선 정도가 더 큰 것으로 사료된다. 전체적으로 휘도는 21~31%, 효율은 20~34%까지 증가하였다.

4. 결 론

교류형 플라즈마 표시기의 휘도와 효율을 개선하고자 다이크로익 미러 채용 가능성을 연구하였다. 실제 제작에 앞서 다이크로익 미러의 정확한 설계가 필요하며, 이를 위해 사용되는 박막의 광학 계수를 감쇄 최소 자승법을 이용하여 MgO, MgF₂, LaF₃ 박막의 진공 자외선 영역에서의 굴절율과 소광 계수를 구하였다. 다이크로익 미러의 반치 파장을 조절하여 peak 반사도가 147 nm가 되도록 하였으며, 유리 기판을 사용하였을 경우 이 값은 50% 정도 되었다. 투과형과 반사형 패널 실험에서 다이크로익 미러의 효과가 검증되었다. 투과형에서는 휘도가 약 20%, 효율이 약 23% 증가하였고, 반사형에서는 가스의 혼합비, 가스 종류, 압력에 따른 실험에서 휘도가 약 21~31%, 효율이 약 20~34% 까지 증가하였다.

참고문헌

- [1] Muamer Zukic, Douglas G. Torr *et al.*, "Vacuum ultraviolet thin films. 1: Optical constants of BaF₂, CaF₂, LaF₃, MgF₂, Al₂O₃, HfO₂, and SiO₂ thin films," *J. Appl. Optics*. Vol. 29, No. 28, pp. 4284-4292, 1990.
- [2] M. Zukic, "Damped Least Square Technique for the Design of Optical Multilayer filters," M.S. Thesis, Imperial College, London (1984).
- [3] E. T. Hutcheeson, G. Hass, and J. T. Cox, "Effect of Deposition Rate and Substrate Temperature on the vacuum Ultraviolet Reflectance Of MgF₂- and LiF-Overcoated Aluminum Mirrors," *Appl. Opt.* 11, 2245-2248 (1972).
- [4] T. T. Cole and F. Oppenheimer, "Polarization by Reflection and Some Optical Constants in the Extreme Ultraviolet," *Appl. Opt.* 1, 709-710 (1962).
- [5] G. Stephan, Y. Le Calvez, J. C. Lemonier, et Mme S. Robin, "Proprieties optiques et spectre electronique du MgF₂ et du CaF₂ de 10 a 48 eV," *J. Phys. Chem. Solids* 30, 601-608 (1969).
- [6] A. S. Barriere and A. Lachter, "Optical Transitions in Disordered Thin Film of the Ionic Compounds MgF₂ and AlF₃ as a Function of Their conditions of Preparation," *Appl. Opt.* 16, 2865-2871 (1977).
- [7] B. vodar, "Absorption spectra Of Gases and Absorption and Reflection spectra of Solids" (A review of work at Bellevue), *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 2, 393-412 (1962).
- [8] M. W. Williams, R. A. MacRae, and E. TT. Arakawa, "Optical Properties of Magnesium Fluoride in the Vac-

- uum Ultraviolet," J. Appl. Phys. 38, 1701-1705 (1967).
- [9] O. R. Wood II, H. G. Craighead, J. E. Sweeney, and P. J. Maloney, "Vacuum Ultraviolet Loss in Magnesium Fluoride Films," Appl. Opt. No. 23, pp. 3644-3649, 1984
- [10] A. Bideau-Mehu, Y. Guern, and R. Abjean, "Influence of the Optical Constants on Fabry-Perot Coatings Characteristics in the vacuum Ultraviolet Wavelength Range," in American Institute of Physics Handbook, D. E. Gray, Ed. (Mcgraw-Hill, New York, 1984), pp. 265-267.
- [11] E. Spiller, "Interference filter for the Ultraviolet and the Surface Plasmon of Aluminum," Appl. Opt. 13, 1209-1225 (1974).
- [12] O. S. Heavens, Optical Properties of Thin Solid Films, Dover Publications, Inc., New York, 1954.
- [13] Muamer Zukic, Douglas G. Torr *et al.*, "Vacuum ultraviolet thin films. 2: Vacuum ultraviolet all-dielectric narrowband filters," J. Appl. Optics. Vol. 29, No. 28, pp. 4293-4302, 1990.
- [14] T. Sasaki, Y. Harano *et al.*, "Improvement of Luminance Efficiency in Barrier-Electrode Color ac Plasma Displays by Using a Double Protecting Layer," SID 96 DIGEST., pp. 283-286, 1996.
- [15] Takeo Kamegaya, Basic Study on the Gas-Discharge Panel for Luminescent Color Display, IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-25, Sep., 1094-1100 (1978).
- [16] JeongHyun Seo, HeuiSeob Jeng, *et al.*, Analysis of Vacuum Ultra Violet Spectra from Plasma Display Panel with He-Ne-Xe Mixture, SID Intl Symp Digest Tech Papers, 293-296 (1997).