

論文99-36T-9-1

청녹색 발광 분산형 전계 발광 소자의 전기적 및 광학적 특성에 미치는 주파수 효과

(Frequency Effect on Electrical and Optical
Characteristics in Blue-Green Emitting P-ELD)

權 純 錫 * , 柳 章 烈 ** , 韓 相 莞 ***

(Soon-Suk Gweon, Jang-Ryeol Ryu, and Sang-Wan Han)

요 약

청녹색 발광을 하는 분산형 전계 발광 소자의 제작, 전기적 및 광학적 특성에 관하여 검토하였다. 전기적 및 광학적 특성에서 전류와 휘도는 전압과 주파수에 따라 증가하였으며, 휘도는 20 kHz, 150 V의 구동 조건에서 840 cd/m²를 보였다. 그리고 그 결과를 등가회로화에 의해서 설명하였다.

Abstract

The preparation and electrical or optical characteristics of blue-green emitting powder type electroluminescent device(P-ELD) are described. In V-I and V-L characteristics, current and luminance are increased with increasing frequency and voltage. Luminance was shown 840 cd/m² at operating condition of 20 kHz, 150 V. It can be explained by equivalent circuit of P-ELD.

I. 서 론

P-ELD는 고휘도화를 위한 지속적인 연구가 진행되어 ZnS계 형광체를 이용하여 실현한 청색 발광 P-ELD는 200 V, 400 Hz의 동작 조건에서 100 cd/m²의 휘도를 얻은 보고가 있다^[5]. 또한, 1994년 B. Yoshihide 등은 P-ELD의 다색화를 위하여 CaS계 및 SrS 형광체를 이용하여 적색, 녹색, 청색 발광 소자를 실현하였다. 적색 휘도는 CaS계 형광체를 이용하여

400 V, 1 kHz의 동작 조건에서 110 cd/m²의 값을 얻었으며 SrS계 형광체를 이용하여 실현한 녹색 발광 P-ELD는 1 kHz, 390 V의 동작 조건에서 110 cd/m², CaS계 형광체를 이용하여 1 kHz, 400 V에서 5 cd/m²의 매우 낮은 청색 발광 P-ELD를 실현한 연구 결과를 보고하였다^[6]. 위에서 기술한 P-ELD에 대한 연구를 검토하면 조명용 및 LCD 후면 광원으로 사용하기에는 매우 낮은 휘도를 보였다. 한편, 발광 메카니즘은 가속 전자가 발광 중심과 충돌하여 이온화 시키고 다시 전자가 이온화된 발광 중심과 재결합하면서 광을 방사하게 되는 충돌 전리설과 전자가 Cu₂S와 ZnS 접합의 쇼트키 장벽을 통해서 주입되는 것으로 생각하는 등의 이론적 고찰^[7-9]은 휘도의 전압 의존성에 대한 것이 주된 내용이다. 그러나 청녹색 발광 현상의 주파수 의존성에 대한 설명은 극히 제한적이다. 또한, 분산형 전계 발광 소자의 제법은 인쇄법, 스펀코팅법 및 닥터블레이드법 등의 후막 기술^[4-8]이 제시되고 있으며, 이들 제법에 의해서 균일한 휘도를 얻을 수 있는 면광원, 1 mm

* 正會員, 忠北大學校 電氣工學科

(Dept. of Elec. Eng., Chungbuk National University)

** 正會員, 天安工業大學 電子科

(Dept. of Elec. Eng., Chonan National Technical College)

*** 正會員, 淸陽大學 電子科

(Dept. of Elec. Eng., Cheong yang College)

接受日字:1999年6月3日, 수정완료일:1999년6월25일

이하의 두께로 만들 수 있다.

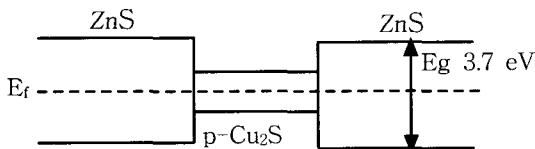
본 연구에서는 대면적화가 가능하고 제작 방법이 단순한 인쇄법을 이용하여 분산형 전계 발광 소자를 제작하고 현재까지 불명확한 청녹색 발광 메커니즘을 규명하기 위하여 전압-전류 특성을 측정하고, 그 결과를 등가회로화하여 전류 및 휘도의 전압 의존성과 주파수 의존성에 대하여 분석하였다.

II. 본 론

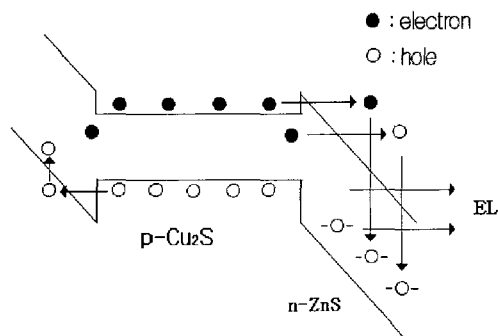
P-ELD의 기본 구조는 투명 도전막을 갖는 필름 또는 글라스 층, 절연층(절연체+바인더), 형광층(형광체+바인더)과 배면 전극으로 구성된다^[2,3]. 형광체에 인가되는 전계를 강화시키기 위해서 형광층을 구성하는 바인더의 유전율은 높은 것을 사용하는 것이 바람직하다. 인가 전압에 대한 휘도는 다음과 같이 주어진다^[7].

$$L = L_0 \exp\left(-\left(\frac{V_0}{V}\right)^{1/2}\right) \quad (1)$$

여기서, L_0 , V_0 는 정수이고, 이 값은 형광체의 입도, 활성체 농도, 발광층 두께, 유기 결합체 유전율 등에 의존한다. 특히, 형광체 입자의 크기는 비선형성 등의 특성을 좌우한다.



(a) 전압을 인가하지 않았을 때



(b) 전압을 인가하였을 때

그림 1. Fisher의 발광 메커니즘 모델

Fig. 1. Emission mechanism model proposed by Fisher.

그림 1은 Fisher가 제시한 발광 메커니즘 모델^[7,8]이다. 그림에서 왼쪽 방향으로 전계가 인가되면 전자는 Cu_xS 로부터 ZnS 로 주입되어 포획되고 왼쪽의 ZnS 는 정공이 포획된다. 다음의 반주기 동안 전자와 정공은 각기 반대 방향으로 이동하여 재결합하면서 광을 방출하게 된다. 이것은 미시적으로 관측되는 comet 형상이 잘 설명된다. 발광 스펙트럼은 형광체를 구성하는 활성체, 공활성체 이온의 종류에 따라서 여러 가지의 발광 파장을 나타낼 수 있다. 이상과 같은 Fisher가 제시한 모델이 분산형 전계 발광 소자의 발광 기구를 설명하는데 현재까지 일반적으로 사용되고 있다. 그러나, 광 방출 현상과 불순물 종류에 따른 발광 파장의 이동 등의 설명은 하였지만, 주파수 변화에 대한 휘도의 변화 및 발광 피크 파장의 변화에 대한 설명은 이루지 못하였다.

또한, 분산형 전계 발광 소자의 열화 특성은 주위 환경과 동작 조건에 의존한다. 예를 들어 습기가 침투하면 암점(killer center)으로 작용하여 성능 열화의 원인이 된다. 분산형 전계 발광 소자를 설계하기 위해서는 형광층 두께와 휘도 관계, 형광체 농도와 휘도 관계, 절연층 두께, 발광 효율 등을 고려해야한다. 특성이 우수한 분산형 전계 발광 소자를 실현하기 위하여 위와 같은 설계 요소 이외에 형광층을 구성하는 물리적, 전기적 특성이 우수한 바인더의 선택이다. 물리적 특성에는 점도, 기계적 특성, 반사율이 있고, 전기적 특성에는 비유전율, 유전손, 절연파괴 강도, 주파수 특성이 있다^[4,6].

III. 실험

1. 소자 제작 및 특성 측정

P-ELD는 인쇄 기법을 이용하여 다음과 같은 공정에 의해서 제작하였다. 고휘도 청색 발광 P-ELD를 실현하기 위하여 기초 설계를 한 후 ITO 필름 위에 Ag 페이스트(paste)를 인쇄하였다. 그 위에 형광체 페이스트를 $50 \mu m$ 의 두께로 인쇄하였다. 형광체 페이스트를 만들 때 시아노 결합제와 형광체 비율을 1.5:1의 비율로 혼합하여 입자가 고르게 분포되도록 하기 위하여 3시간 이상 혼합기(mixer)로 저었다. 또한, 절연체 페이스트를 $20 \mu m$ 의 두께로 인쇄한 후, 그 위에 반사 전극으로 사용하기 위하여 Ag 전극을 인쇄하였다. 한편, 인쇄시 스크린은 200 메시를 사용하였다. 이상과 같은 과

정을 통하여 제조된 구조는 본 연구팀에서 발표한 구조와 같다^[4].

P-ELD의 주파수에 따른 전압-전류 특성을 조사하기 위하여 그림 2와 같이 측정 장비를 구성하였다. 측정은 주파수 범위는 0.4 kHz~20 kHz, 전압은 0~150 V의 범위로 하였다.

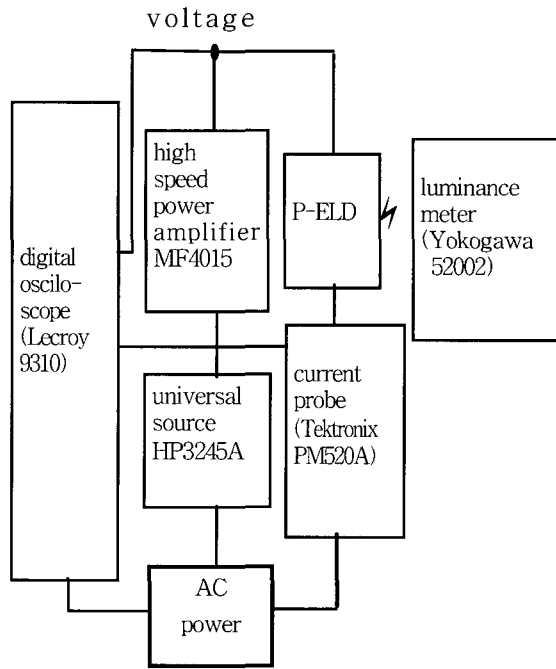


그림 2. P-ELD에 관한 전기적 및 광학적 특성 측정도
Fig. 2. Block Diagram for the measurement of electrical and optical characteristics on P-ELD.

2. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 여러 가지 주파수에서 전압에 따른 전류 밀도 곡선으로 전류 밀도의 주파수, 전압에 따른 변화 경향을 보여주고 있다. P-ELD의 전극 사이에는 절연 층과 형광층이 직렬로 배치되어 있고 등가적으로 저항과 커패시터가 병렬로 연결된 것으로 볼 수 있다. 그림 2에 의하면 전류 밀도는 실험 범위 내에서 10⁻¹~100 mA/cm²의 오더인데 이 전류 크기는 병렬 등가 저항(사용된 재료의 비저항 및 기하학적 치수에 의해서 산출할 때 ~10-11 Ω 정도임)에만 흐른다고 가정했을 때의 전류에 비하여 106배가 큰 전류이고 등가 병렬 커패시터에만 흐른다고 가정했을 때의 전류와 같은 오더이다. 따라서 관측된 전류는 주로 용량성 전류라고 할 수 있다.

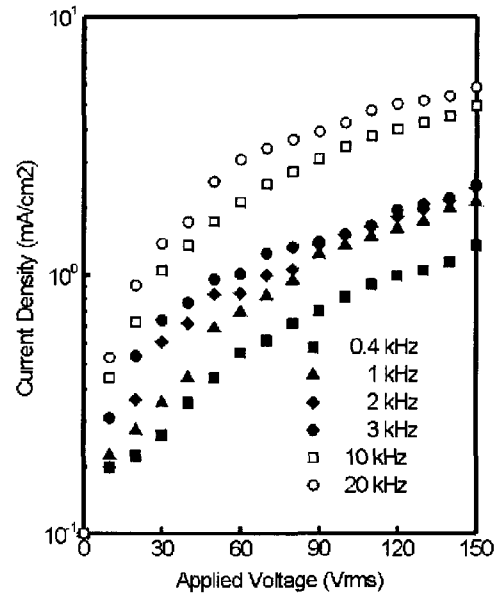


그림 3. P-ELD의 전압-전류 밀도 특성
Fig. 3. Voltage-current density characteristics of P-ELD.

전류의 전압, 주파수 의존성을 식(2)와 같이 표현하고 변화 경향을 살펴보고자 한다.

$$J(\omega, V) = f(\omega)g(V) \tag{2}$$

여기서 J는 전류 밀도, $f(\omega)$ 는 전류 밀도 주파수 의존성 함수, $g(V)$ 는 전류 밀도의 전압 의존성 함수이다. 일정 주파수($\omega = \text{const.}$)에서 $g(V)$ 를 그림 3에서 도출하여 보면 A, n은 상수, V를 전압이라 할 때

$$g(V) = AV^n \tag{3}$$

으로 표현할 수 있으며, 저전압에서는 $n=1$, 고전압에서는 $n>1$ 로서 전류 밀도는 저전압 영역에서는 선형적으로 증가하다가 고전압에서는 급증된다. 이것은 저항과 커패시터 병렬 등가회로에서 전압의 증가에 따라 저항이 감소되거나 커패시터의 정전 용량이 증가됨을 의미할 것이다.

다음으로 일정 전압에서 $f(\omega)$ 를 다음 식 (4)로 정의할 수 있다. 여기서 B, m은 상수, ω 는 각주파수이다.

$$f(\omega) = B\omega^m \tag{4}$$

그림 3에서 m을 산출하기 위하여 인가 전압이 30,

90, 150 V일 때 $\ln J:f$ 로 나타난 것이 그림 3이다. 이 그림에서 기울기는 m 을 나타낸다. 그림 4에서 보면 $0 < m \leq 1$ 로서 고주파 영역으로 갈수록 m 의 값은 적어지고 있으며 전압이 높을수록 m 이 1보다 적어지는 주파수는 낮아지고 있다. 이것은 병렬 등가회로에서 주파수의 증가에 따라 정전 용량이 감소됨을 의미한다.

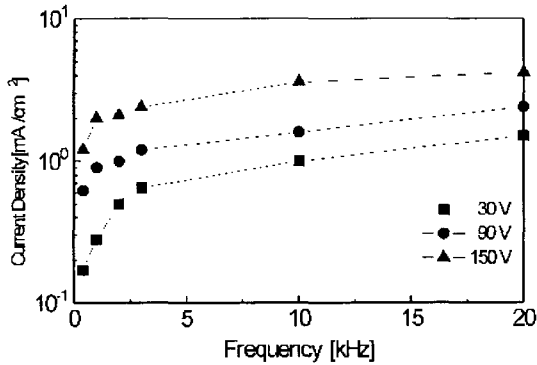


그림 4. 그림 3으로부터 재구성한 전류 밀도-주파수 특성

Fig. 4. $\ln J - f$ properties replotted from the results of Fig. 3.

이상의 현상에 대한 분석을 토대로 전압 및 주파수에 따른 전류 밀도의 변화 경향을 검토해보면 다음과 같다.

앞에서 서술된 바와 같이 P-ELD는 전극 사이에 절연층과 형광층이 직렬 배치되어 있는데 절연층은 고유 전율, 고절연내력을 갖는 재료로 구성되어 있고 형광층은 반도체성 입자가 유기 절연물에 분산되어 있다. 전압을 인가하면 두 층간에 각각 걸리는 전압은 주로 용량성 배분이 되어 형광층에 상대적으로 높은 전압이 인가될 것이다. 인가 전압의 증가에 따라 형광층은 구성 재료의 특성 때문에 용량성 소자에서 저항성 소자로 전환되며 저항은 전압의 증가에 따라 감소될 것이다. 이 과정을 등가회로로 표시하면 그림 5와 같다. 그림 5에서 (a)는 전압이 인가되지 않았을 때와 저전압 인가시의 등가회로이다. 고전압 영역이 되면 형광층에서는 변위 전류보다 전도 전류(누설 전류)가 증가되어 그림 (b)와 같은 회로가 된다. (c)는 (b)를 단순화시킨 병렬 등가 회로이다. 전압의 증가에 따른 전류의 증가는 그림 5에서 R_p 의 감소 즉, 형광층의 누설 전류 증가와 그림(c)의 C 가 전압 증가 그림(b) → 그림(c)로 전환됨에 따른 용량성 전류의 증가에 기인된 것으로 볼 수 있다.

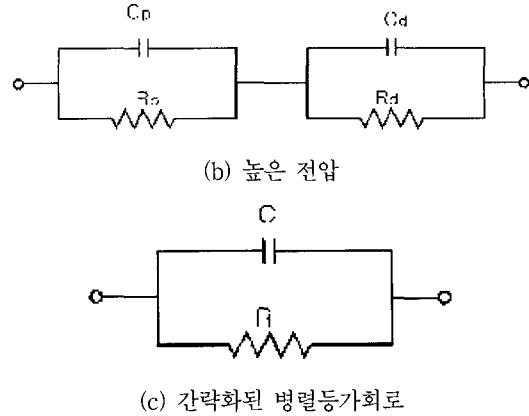


그림 5. P-ELD의 등가회로

Fig. 5. Equivalent circuits of P-ELD.

한편, 주파수에 따른 전류 변화 경향은 다음과 같이 생각된다. 그림 4에서 보듯이 저주파 영역에서는 주파수에 따른 전류 증가는 선형적($m=1$)이다가 고주파로 되면서 m 의 값은 점점 작아지고 있다. 이것은 전술한 바와 같이 주파수 증가에 따른 용량의 감소를 의미하는 것이다. 즉, 캐리어가 전극에서 형광층을 이동하여 절연층에 이르면 형광층과 절연층에서 캐리어의 이동도 차이로 인하여 캐리어는 절연층의 표면에 축적될 것이고, 다음 반주기 동안에는 절연층과 형광층 계면에 축적된 전하는 반대 방향으로 형광층을 통하여 이동하여 전극에 이르게 될 것이다. 저주파 영역에서는 반주기 사이가 상대적으로 길기 때문에 계면에 축적된 전하가 형광층을 충분히 이동해 갈 것이고 이 때의 전류는 주파수에 선형적으로 비례하여 증가된다. 그러나, 고주파로 되면서 반주기 사이의 시간이 계면에 축적된 전하가 형광층을 이동해가는 시간에 비하여 짧다면 계면 근처에는 미처 이동 못한 전하가 축적되고 축적된 전하량은 주파수의 증가에 따라 늘어나게 된다. 이 계면 전하는 다음의 반주기에 절연층 표면의 전극에 충전되는 전하량을 감소시키고 결국 정전 용량이 감소되는 결과를 가져온다. 또한, 전압의 증가에 따라 정전 용량의 감소($m < 1$)는 더욱 낮은 주파수에서 시작되고 있는데, 이것은 같은 주파수에서 계면에 축적되는 전하는 전압이 증가할수록 많아질 것이기 때문에 고전압에서는 낮은 주파수에서 정전 용량의 감소를 야기할 것이기 때문이다. 이러한 전류 밀도의 주파수 의존성 관찰 결과를 토대로 전압 의존성을 살펴보면 전압 증가에 따른 전류의 증가는 전압에 따른 용량의 증가로 인한

용량성 증가 가능성은 배제되고 형광층의 누설 전류의 증가로 이해되어야 한다.

그림 6은 P-ELD의 휘도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전압 및 주파수의 증가에 따라 휘도는 증가되고 있다. 휘도의 전압 및 주파수의 의존성은 그림 3의 전압-전류 밀도 특성 곡선에서 나타난 전압 및 주파수가 증가함에 따라 전류 밀도가 증가하는 것으로 이해가 가능하다. 분산형 P-ELD의 발광 기구는 전도대의 전자가 Cu 트랩 준위와 재결합에 의해서 광을 방출시키는 것으로 생각하면 전압 및 주파수의 증가에 따라 휘도가 증가한 것은 재결합 캐리어의 수가 증가한 것에 기인된 것으로 볼 수 있으며, 재결합 캐리어의 증가는 그림 3의 전압-전류밀도 특성의 분석에서 살펴 본 바와 같이 정전용량의 변화에 기인된 것으로 볼 수 있다.

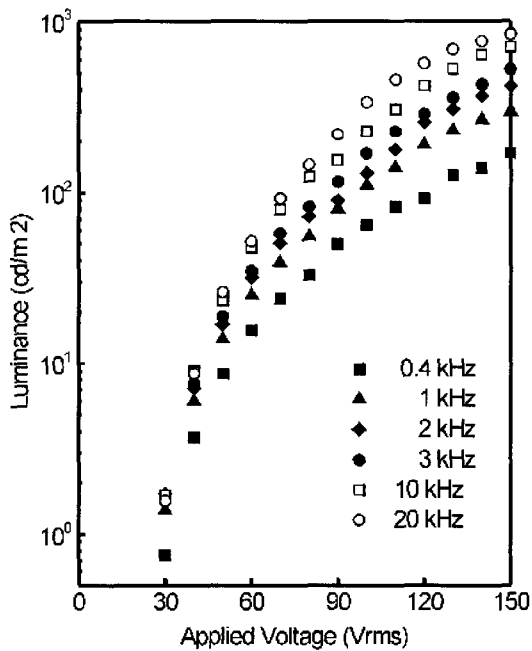


그림 6. P-ELD의 휘도특성
Fig. 6. Luminance-voltage characteristics of P-ELD.

그림 7은 전압 변화에 대한 휘도 특성을 고찰하기 위하여 그림 6을 다시 구성하여 주파수에 따른 $L(V)/L(V/3)$ 를 나타 낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 $L(V)/L(V/3)$ 가 0.4 kHz에서 19로 낮은 값을 보였으며 3 kHz까지는 급격한 증가를 보였다. 그러나 10 kHz 이상에서 포화되는 경향을 보였으며, 20 kHz에서는 32의 값을 보였다.

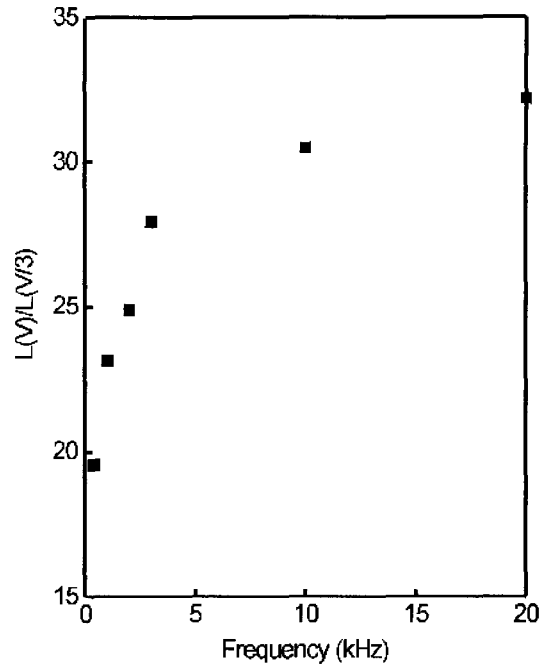


그림 7. 주파수에 따른 $L(V)/L(V/3)$ 특성
Fig. 7 $L(V)/L(V/3)$ characteristics with frequency.

IV. 결 론

LCD의 후면 광원으로 주목 받아온 P-ELD는 청색 발광 휘도가 낮기 때문에 다색화 및 백색광의 실현에 장애가 되어왔으며, 보다 높은 청색 발광 휘도를 얻기 위한 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 발광 기구에 대한 연구는 제한적으로 보고 되고 있으며 불명한 점이 많다. 따라서 본 연구에서는 인쇄 기법에 의해서 제작된 P-ELD의 발광 메커니즘을 규명하기 위하여 전압-전류 특성을 주파수를 변화시키면서 측정하였다. 측정 결과를 등가회로화하여 전류와 휘도의 전압 및 주파수 의존성을 고찰한 결과 다음과 같다.

전류의 전압 의존성은 저전압 영역과 고전압 영역으로 구분하여 해석하였다. 저전압 영역에서 형광층은 저항과 커패시터가 병렬로 되어 있는 것으로 등가회로화하였다. 전압이 증가하여 고전압 영역이 되면 전류는 변위 전류보다는 전도 전류가 우세하여 전류는 증가하는 것으로 해석하였다. 한편, 일정 전압에서 주파수가 증가함에 따른 전류의 증가는 정전 용량의 변화에 기인된 것이다. 그리고 휘도 특성은 전압-전류밀도 특성과 일치하는 경향을 보였다. 주파수에 따른 휘도의 기울기 $L(V)/L(V/3)$ 의 값이 32로 높게 나타난 것은 대용량

표시기로 응용할 때 특성이 양호한 것으로 판단된다.

분산형 전계 발광 소자에 관한 본 연구 내용은 LCD의 후면 광원, 항공 표시장치, 광고 관련 디스플레이, 계측기의 각종 표시 장치 등에 응용이 가능할 것으로 사려된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Destriau and H.F. Ivey, I.R.E., 43, p.1911, 1955
- [2] 中村孔治, "ルミネセンス層の電氣的特性", JIEE, vol. 81. pp. 85-88, 1961
- [3] P.Zalm, "Electroluminescence of ZnS Type Phosphors", Philips Res. Rep. Rep 11, pp.353-399, 1956
- [4] 권순석외 4인, "분산형 전계 발광 소자의 발광 특성" 전기전자재료학회, vol.10, No.2 pp. 150-155, 1997
- [5] H.Ohinishi and K.Abe, "Color Phosphors for Electroluminescent Display", Proc. 6th Int'l Workshop on EL, 1992
- [6] Bando Yoshihide, Utani Yoshitaka and Ohnishi Hideome, "Coloring of Powder Type Electroluminescent Devices", Display and Imaging., vol. 3, pp. 225-231, 1994
- [7] A.G. Fisher, "Electroluminescence in II-VI Compounds", J. Electrochem. Soc. 109, 1962
- [8] H.F. Ivey, Electroluminescence and Related Effects, Academic Press, New York and London, 1963

저 자 소 개



權 純 錫(正會員)

1991년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 충북대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 충북대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 8월~1999년 9월 현재 대전산업대 전자공학과, 충북대 전기공학과, 청양대 전자과, 우송공대 전자과 강사.
주관심분야 : 평판디스플레이, 반도체 재료, 유전재료



柳 章 烈(正會員)

1982년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 2월 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 8월 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987년 7월~1990년 3월 충남대학교 조교
1990년 4월~현재 국립 천안공업대학 전자과 부교수.
주관심분야 : 반도체 재료, 실리콘 소자구조 및 VLSI설계



韓 相 莞(正會員)

1961년 1월 25일생. 1988년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 8월 아주대 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 아주대 전자공학과 졸업(공학박사). 1999년 3월~현재 청양대학 전자과 전임강사.
주관심분야 : 자동제어, 로봇틱스, 전력전자.