

교류 분산형 전계발광소자(EL PLATE)의 기술현황



천병동

대양전기공업(주)기술연구소 EL팀 차장

심만식

대양전기공업(주)기술연구소 EL팀 과장

차영수

대양전기공업(주)기술연구소 연구소장

1. 서 론

현재 산업의 구조가 고도의 정보화에 따라 사람과 기계를 연결시켜 주는 표시 장치는 다양하게 발전되고 있다. 또한 고객은 제품의 경량화, 고체화, 평판화를 요구하고 있다. 따라서 주 광원 또는 보조 광원으로 사용되는 분산형 전계 발광(Electro-luminescence : EL)소자는 개인용 휴대 단말기(PDA)나 핸드폰 등 통신 기기의 수요가 증대되고 있다.

전계 발광(Electro-Luminescence : EL)은 형광체 또는 band gap이 큰 반도체에 전계를 인가할 때 발생하는 고체의 발광 현상이다.

이러한 EL의 개발 역사는 1923년 Lossev가 SiC에서 EL현상을 발견하였으며¹⁾, 1936년 Destriau는 ZnS : Cu 형광체 분말에 교류 전기장을 인가하여 EL현상을 관측하였으며²⁾, 세계 2차 대전 후기에 TV와 RADAR 등의 연구가 활발히 진행되고 브라운관 형광체의 개발에 이어 전계 발광 형광체가 개발되어 종전 후 미국의 실바니아사가 EL연구를 진행하였다. 한편 EL구성에 필요한 투명 전극은 1946년 미국에서 개발되었고, 현재는 EL보다 액정소자, 비디오 카

메라의 촬영관, 항공기의 전면 유리 등에 사용되고 있다.

투명 전극의 개발로 미국의 카이슬러사에서 자동차에 EL을 응용하고자 개발하였으며, 1949년 미국 실바니아사는 형광체를 유전 물질에 분산시켜 투명 전극과 금속 전극의 사이에 삽입시킨 평판 구조의 EL소자를 개발하여 벽면에 부착된 것을 보고 많은 연구자들이 연구를 진행하였으나, 널리 이용되지는 못하였다.

그 후 이중 절연 구조 EL소자는 교류 전압에 의해 발광된다. 이 때 활성 층에는 10^6 V/m정도의 전기장이 인가되고 전류 밀도는 10^{-3} A/cm² 정도이다. 이 소자의 활성 층으로 ZnS : Mn(황색) 또는 ZnS : LnF₃(녹색), ZnS : Cu, Cl(청색), CaS, SrS등이 사용되고 있고, 절연 층으로는 BaTiO₃, PbTiO₃, Si₃N₄, BaTa₂O₆, Al₂O₃등이 사용된다^{3)~13)}.

1980년대에 들어 PLASTIC FILM을 기판으로 투명 전극의 개발로 EL의 형태는 무기형 EL에서 유기형EL로 EL의 형태가 변화하였다. 현재 EL의 주로 유기형EL이며 제품의 수준도 많이 향상되었다. 당사의 제품도 유기 분산형EL이다.

본고에서는 당사가 수년간 EL PLATE를 생산하

면서 발생된 일반적인 사항, EL 발광현상, 발광기구, 제조기술 및 응용 등에 대하여 살펴보고자 한다.

2. EL의 기본 원리

2. 1. 광(Luminescence)의 분류

빛은 크게 나누어 통상 온도방사(thermal radiation)와 발광(luminescence)의 두 종류로 나눌 수 있다.

온도방사(thermal radiation)란 고온의 물체에 서 빛이 방출되는 현상을 말하며, 이것은 백열전구의 필라멘트에 전류가 흐르면, 텅스텐에 열이 발생하고 그 열 방사로 인하여 빛을 형성하는 것을 말한다.

발광(luminescence)은 열 방사 이외의 원인으로 가시광선이 발생하는 현상의 총칭하는 것을 냉광이라 한다. 통상 어떤 자극 에너지원이 광 에너지로 변환 하면서 발광(luminescence)하는 것은 여러 종류가 있으나, 통상 자극의 종류에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다.

발광(luminescence)은 인광(phosphorescence)과 형광(fluorescence, 일반적으로 luminescence도 형광이라 함)으로 분류하고, 발광체 내부의 전자를 여기 시키는 외부 에너지의 주입시간과 잔광시간이 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 초 보다 짧으면 형광, 그보다 길면 인광이라 하며, 같은 물질이라도 빛을 내게 하는 매개물의 종류에 따라 방출되는 luminescence의 종류가 달라질 수 있다^{14), 15)}.

표 1. Several luminescence phenomena.

Luminescence의 명칭	자극의 종류	응 용 예
Photo-Luminescence	자외선	형광등, 광 검출기
X ray-Luminescence	X-선	X-선 변환기
Radio-Luminescence	방사선	방사선 검출기
Cathode-Luminescence	음극선	전자 충격 브라운관
Electro-Luminescenc	전계(방출), Carrier주입	EL Cell, 반도체 Laser
Thermo-Luminescence	온도, 열	백열등, 방사선 선량계

2. 2. EL(Electro Luminescence)발광현상과 발광색
반도체 또는 형광체에서의 발광 현상은 전도 대에서 기저 상태로 천이 하는 band to band transition), 불순물 혹은 결합을 통한 천이 및 가속 전자

(hot carrier)에 의한 발광 중심(localized center)에서의 천이 등을 들 수 있다^{16)~22)}. EL의 발광체 즉 형광체는 유화 아연(ZnS)을 모체로 한다^{23)~27)}.

ZnS형광체는 II-VI화합물 반도체로서 융점이 1830°C 이며, 금지대 폭은 상온에서 3.7eV로 이온결합과 공유결합을 함께 하는 물질이다. ZnS자체에서도 발광 현상은 일어나지만 발광 중심의 농도가 낮아서 발광 효율이 좋지 못하므로 형광체로 사용하기 위해서는 금지대 내에 발광 중심을 형성시키는 Cu, Ag, Au, Mn등의 금속 원소인 활성화제(activator)와 F, Cl, Br, I의 할로겐 원소인 공활성제를 첨가시켜 원자가를 보상하고 발광 중심의 형성을 촉진하여 사용한다. 한편, ZnS 결정 내에는 Frenkel결함 등에 의해 아연 공공이 형성되어 악셉터(acceptor) 준위에 위치하게 됨으로서 외부의 에너지에 의해 비워질 수 있는데, 이때 높은 준위의 전자, 즉 전도대의 자유 전자가 이 준위로 떨어져 재결합하면서 발광 현상이 일어난다.

일반적으로 고휘도의 ZnS계 형광체는 ZnS band 구조내의 금지대의 깊은 트랩 준위에 발광 중심을 만드는 활성화제(activator)를 첨가하여 제조하여야 한다. 이 활성화제 이온에 따라 발광색이 달라진다. 예를 들면 청색 : Cu : Cl, 녹색 : Cu : Al, 등색 : Cu : Mn 백색 : 등색과 청색 형광체를 혼합해서 사용한다.

2. 3. EL의 발광 원리

그림 1 은 형광체와 전극의 관계를 나타내는데 형광체 입자는 $10 \sim 20\mu\text{m}$ 이고 투명전극과 금속전극 사이에 형광체를 분산시킨 고분자 결합재이다. 형광체 내부에는 ZnS와 Cu부분의 표면에는 금속과 반도체의 접합면과 유사한 쇼트키형의 전위 장벽이 생긴다. 이때 전극 사이에 전자가 A에서 B로 이동하도록 전계를 걸어 주면 A부분에 강 전계가 걸려서 발광 중심에 있는 전자들이 에너지를 받아 전도대로 이동하면 발광 중심@에 해당하는 에너지 준위가 비어 있게 된다. 또 C에 의해서 형성된 도나 준위에 있는 전자에 터널 효과(tunnel effect)에 의해 넘어온 전자들이 발광 중심으로 천이 하면서 빛을 내게 되고, 전극은 유리 기판을 ITO 투명 도전 막으로 구성시키고 전극을 알루미늄과 같은 금속 물질로 구성한다면 투명한 전극을 통하여 빛은 외부로 방출된다. 교류의 1 주기 동안에 2회의 빛이 발광하게 되므로, 절연체는 유전체로서 유전율이 클수록 형광체에 강한 전계가 걸려 밝은 빛이 나오게 된다.

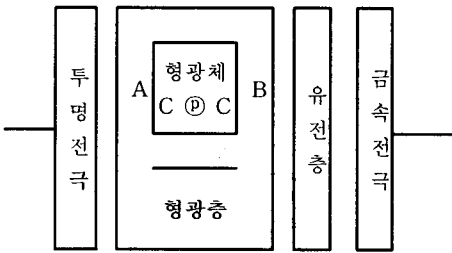


그림 1. Emission mechanism of EL device.

2. 4. EL(Electro Luminescence)분류

EL의 소자는 제조 방법, 구조 및 구동 방법에 따라 표 2와 같이 나누어진다. EL용 형광체를 고분자 결합재(binder)와 혼합된 잉크 상태로 인쇄하는 분산형 EL과 박막 공정을 이용하여 소자를 제작하는 박막형 EL로 구분되며, 또한 전기적인 구동 방법에 따라서 AC형과 DC형으로 나누어진다.

DC구동형 EL은 연구 단계이고 상품화하기 위하여 많은 노력이 필요할 것으로 사료된다. 그래서 AC구동형 분산형 EL은 DISPLAY용으로 사용되는 박막형 소자와 달리 평면 발광의 보조 광원으로 사용된다. 분산형EL중에 무기형EL은 각 종 계기판, 표시등의 특수 용도로 사용하지만 무게가 무겁고 가격이 비싸다. 따라서 액정(LCD) BACK LIGHT생산성과 저가격의 제품을 개발하기 위하여 필름 형태의 유기 분산형이 많이 사용되며 당사의 제품도 이 형태이다.

표 2. EL(Electro Luminescence)분류

EL	박막형 (중착형)	AC구동형, DC구동형
	분산형	무기 분산형- AC구동형, DC구동형 유기 분산형- AC구동형, DC구동형

3. EL의 제조 기술

3. 1. EL의 기본 구조, 등가 회로 및 특성

교류 분산형 EL 기본 구조는 그림과 같이 광을 투과시킬 수 있는 투명전극과 배면 전극 사이에 형광체 분말을 유전성 결합제에 분산시켜 삽입한 샌드위치 형태의 콘덴서와 같은 구조이다. 즉, 양전극에 교류 전압을 인가할 경우에 투명전극 쪽으로 빛이 발광한

다.

교류 분산형 EL 기본 구조는 전기적 등가 회로로 대체해 보면 아래와 같다. 2개의 소재 중에 발광층(ZnS)에 보다 많은 전계가 걸리게 해야 보다 많은 빛이 나온다. 인가 전원으로 DC를 쓰면 저항에 비례해서 전계가 걸리므로 저항 성분을 많이 지닌 절연체에 대부분의 전계가 걸리므로 발광에는 비효율적이다. 이때 절연층에 걸린 전계는 대부분이 열로 소모된다. 이러한 문제점 때문에 정전용량(capacitor)성분의 영향을 주로 받는 교류 전원을 써야 한다. 교류 전원에서는 정전용량의 역수에 비례해서 전계가 인가되므로 가장 작은 용량을 갖는 발광층에 대부분의 전계가 걸린다. ZnS에 걸린 대부분의 전계는 빛으로 발산되고 이상적인 EL에서는 절연체에 인가되는 전계가 미소해서 주울(Joule)열을 얻는다.

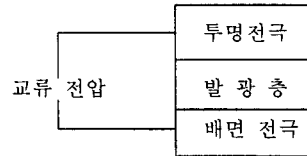


그림 2. EL의 기본 구조

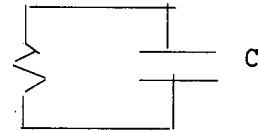


그림 3. EL의 등가회로

3. 2. EL의 구성 재료

표 3. EL의 구성 재료

구분	투명전극	발광층	배면 전극
박막 (중착)형	유리판에 산화인듐증착	ZnS계 형광체를 증착	금속 증착
무기 분산형	발광층에 산화주석을 도포 후에 열처리	ZnS계 형광체를 저용점유리에 매립	금속판
유기 분산형	산화인듐 증착된 필름	ZnS계 형광체를 합성 수지에 매립	도전필름 또는 도전잉크

기본 구조는 일반적으로 재료의 구성도는 표 3과 같이 구성하고 EL의 종류가 정의되었다.

3. 3. 특징

표 4는 각종 EL에 대한 특징이다.

3. 4. 분산형 EL 제작

EL소자의 구조는 그림 4와 같이 보호막, 투명전극, 형광층, 절연층, 배면전극등으로 구성되었다.

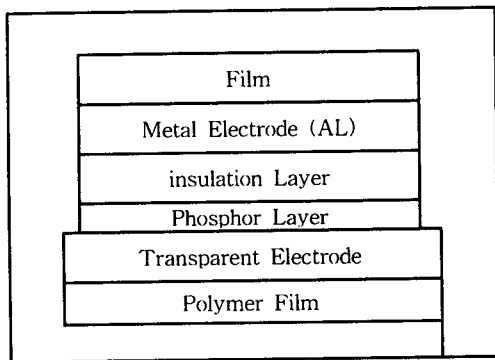


그림 4. Schematic structure of thick film EL device

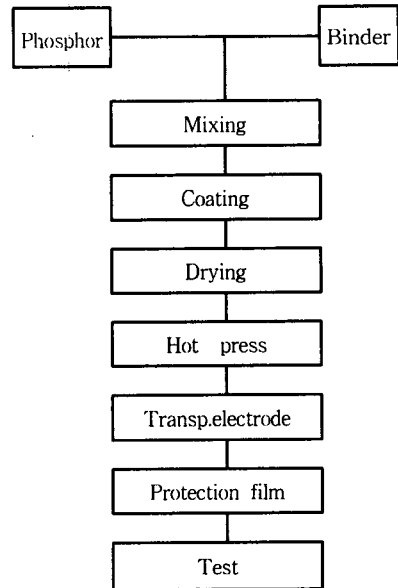


그림 5. The manufacturing process of thick film EL device

일반적으로 후막EL소자의 투명전극은 수직에서 수백 Ω /cm인 Sn-doped In_2O_3 나 Sb-doped SnO_2 가 사용된다. 또 금속전극은 배면으로 방출된 형광

표 4. 각EL의 특징

구분	유기 섬유형	유기 분산형	무기 분산형	박막형
표시 방법	선발광	면발광	면발광	메트릭스발광
구 동 전 원	단일전원	단일전원	단일전원	선순차 주사방식
구 동전압(V)	중(50V)	중(50V)	고(100V이상)	고(100V이상)
발 광 휘 도 (cd/m ²)	30 ~ 150	30 ~ 150	15 ~ 30	100 ~ 2.000
발 광 색	녹, 청색, 청록, 오렌지, 백색	녹, 청색, 청록, 오렌지, 백색	청색, 청록, 오렌지	오렌지
형상의 자유도	곡면가능	곡면가능	평면	평면
두께(mm)	φ5~10	0.1	4~10	4이상
무 게	가벼움	가벼움	무거움	무거움
수명(half time)	5000~10000	5000~10000	5000~10000	20000
응답속도(ms)	0.1	0.1	0.1	0.1
소비전력(lm/W)	3	3	3	1
가격	적합	적합	중가격	고가

을 앞면에 반사시키기 위해 연마경면 혹은 증착전극을 이용한다.

분산형 EL소자는 결합제의 종류에 따라 무기 분산형과 유기 분산형으로 분류한다. 무기 분산형은 저융점 유리를 결합제로 하여 비교적 저온(1000℃이하)에서 소결한 것으로 형광체 입자가 유리 중에 분산되었다. 유기 분산형은 고분자를 결합제로서 사용한 것으로 무기 분산형에 비해 수명이 짧은 단점이 있다.

형광층의 두께는 대략 20 ~ 100 μm정도이고 구동 전압은 100V ~ 200V이다. 구동 전압의 크기는 형광층의 전계가 10² ~ 10⁶ V/cm가 되도록 조절한다. 결합제는 형광체에 고 전계가 인가 될 수 있도록 하기 위하여 유전 상수가 큰 것을 이용하며 금속전극과 형광층 사이에는 절연 내압을 높일 목적으로 Al₂O₃, BaTiO₃와 같은 유전체 층을 형성한다. 결합제의 종류, 형광체의 종류, 형광체의 조성, 형광체 입자의 크기에 따라 휘도가 변화하는데 일반적으로 결합제로는 시아노에틸 셀룰로오즈 등을 사용하고, 형광체 입자의 크기는 5 ~ 30 μm이다.

일반적으로 분산형 EL소자의 제작은 그림 5와 같은 순서로 금속 전극과 형광층 사이에 Ti계 고 유전체와 투명전극 사이에 10 ~ 30 μm입자의 크기로 된 형광체를 유기 용제에 녹인 고분자 결합제(binder)에 분산시켜 Roll Coating, doctor blade, Spray Print, Printing등의 방식으로 20 ~ 100 μm 두께로 도포 하여 건조시킨다.

건조된 필름에 전극을 부착하고 보호할 목적으로 보호막을 형성해 EL소자를 제작한다.

3. 5. 측정장치 및 방법

분산형 EL소자의 발광 spectrum, 휘도 특성의 측정을 구동전원, LCR METER, 휘도 측정기, 전압 전류계 등의 장비로 그림 6과 같이 상온의 암실에서 측정하였다. 특성은 전압, 주파수, 전류, 수명에 따른 변화를 측정하였다.

3. 6. 분산형 EL소자의 특성

분산형 EL소자의 대표적인 특성은 그림 7~11의 곡선과 같다.

가) 최대값

최대전압 : 250 Vrms

동작주파수 : 1KHz(max)

동작온도 : -20℃ ~ +60℃

보존온도 : -40℃ ~ +80℃

나) 일반특성

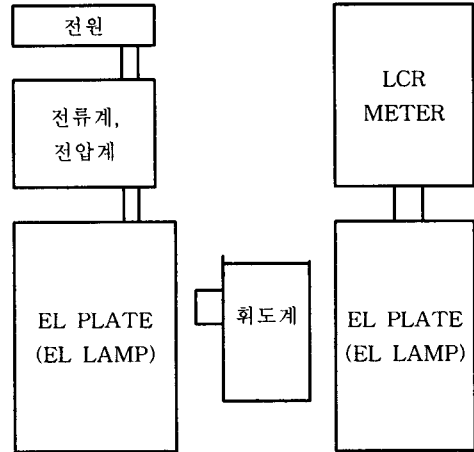


그림 6. Block diagram of brightness measurement system.

정전용량 : 약 300PF/cm²

tangθ : 약 0.2이하

동작주파수 : 50 ~ 1 KHz

동작전압 : 30 ~ 150 Vrms

전류 : 0.01 ~ 1mA/cm²

소비전력 : 0.2 ~ 20mW/cm²

휘도 (100V, 400Hz) : 50cd/m²

(100V, 60Hz) : 10cd/m²

수명 (100V, 60Hz 휘도반감, 70%RH) : 2,000~10,000시간

색상 Color	기호	활성제 및 공활성제	휘도(cd/cm ²) 100V 400Hz Brightness	최대발광과장 (MAX. 1nm) Max. emission peak
청록 (Blue-Green)	B/G	ZnS : Cu, I	60	490
녹색(Green)	G	ZnS : Cu, Al	60	510
황록 (Yellow-Green)	Y/G	ZnS : Cu, Cl	30	530
황색(Yellow)	Y	ZnS : Mn, Cu	24	570
백색(White)	W	ZnS : Mn, Cu, Al	55	480/560

다) 특성

일반적 특성은 그림 7~11과 같다

전압과 휘도의 특성은 그림 8의 결과와 같은 데 주파수를 일정하게 하고 전압을 증가할 때 $B = B_0 \cdot \exp(-c/v^{1/2})$ 식과 같이 ZnS형광체에 임피던스가 증가하여 형광체에 고전계가 인가되어 휘도(B)는 높아진다. 여기서 B_0 는 EL소자의 기하학적 구조에 따르는 정수이다.

주파수와 휘도특성은 그림 9과 같이 교류전압에 인가한 주파수(f)와 휘도(B)와의 관계로 비교적 낮은 주파수의 범위에서는 관계식 $B = B_0 \cdot f^a$ 가 성립한다. 여기서 B_0 와 f는 EL소자에 대한 정수이고 지수(a)는 1에 근접한 값을 갖는다.

따라서 주파수가 증가하면 할수록 휘도는 증가하고 전류도 급격하게 증가한다. 이 현상은 전하의 영향으로 휘도는 포화하고 증가한다.

이것은 전압이 상승하다가 일정전압 이상 시에 절연저항이 작아지고 누설전류가 커져서 휘도의 증가가 서서히 포화하는 것으로 사료된다.

수명 특성은 고정전원을 사용하여 그림 11과 같이 휘도 (60cd/m^2)를 고정하여 전압을 조정해서 얻은 결과이다. EL소자의 수명은 구동 주파수에 의해 다르게 나타났다. 주파수가 높으면 수명이 짧은데 이는 수명은 전압보다 주파수에 의존하기 때문이다. 400Hz 이상에서는 주파수에 반비례하여 급격히 저하한다. 한편 60Hz ~ 400Hz 간에는 수명은 동일하게 떨어져 차이가 적다. 종합적으로 EL소자의 휘도는 제조 조건, 구동 전압 및 주파수에 의존하고, 주위의 온도와 습도에 따라 변한다. 전압과 주파수가 높으면 고휘도의 특성을 보이나, 고 전계에 의한 온도

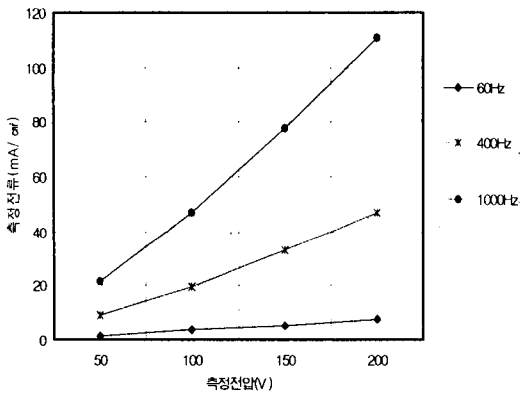


그림 7. 전압변동에 대한 전류값

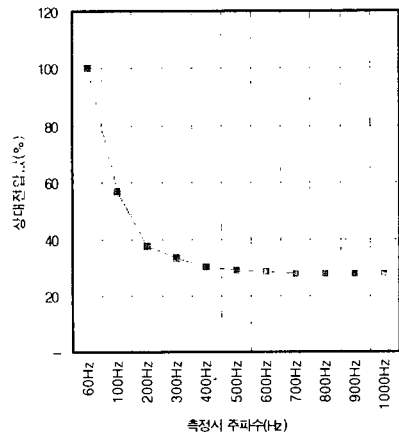


그림 9. 일정휘도에 대한 주파수별 전압특성

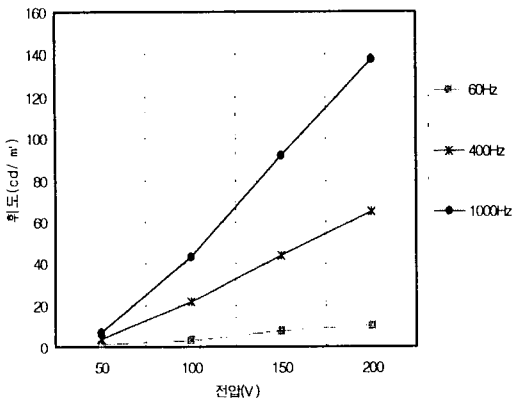


그림 8. 전압변동에 대한 휘도값

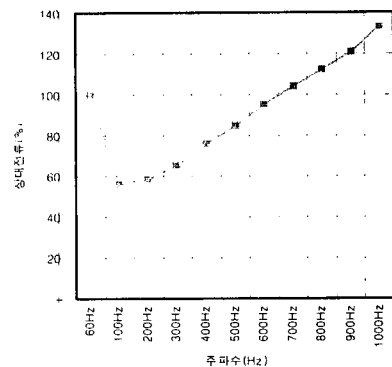


그림 10. 일정휘도에 대한 전류값의 변화특성

상승과 전자 충격 등에 의해 형광체 결합체의 열화가 급격히 진행되어 수명이 단축된다. 특히 구동용 전원(INVERTOR)사용할 경우에는 수명은 고정 전원 사용 할 때와 비교하여 2~3배가 증가됨을 볼 때 EL 사용을 제시하고 구동 전원의 영향을 많이 받는다.

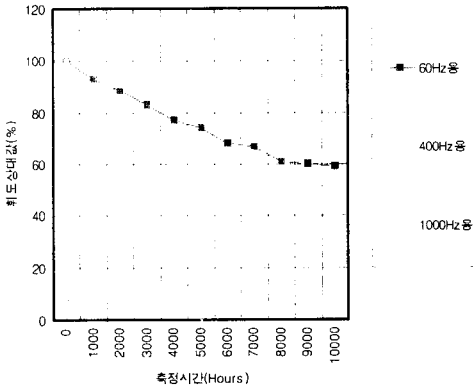


그림 11. 주파수특성별 수명특성

4. 분산형 EL소자의 응용

전구는 점 광원, 형광등은 선 광원에 반해 EL PLATE는 면 광원이다. 또한 LED를 제외한 다른 인공 광원은 전부 유리로 구성되어 있지만, EL PLATE는 유리를 사용하지 않고, 열도 동반하지 않는 장점이 있지만, 다른 광원보다 저 휘도, 습기 및 자외선에 대하여 다른 광원보다 열화가 많다는 결점이 있었으나, 소재의 개발로 많은 부분이 개선되고 있다.

따라서 저 전압 동작, 저 소비 전력, 어두운 곳에서 사용되는 시계, 가전제품, 자동차, 컴퓨터 등의 사무기기, 계측기의 분야에 적용 범위를 확대되고, 야간의 어두운 곳에 조명용 광원이 필요로 한다.

여기에서 앎고 저 소비전력 및 발열이 없는 면광원 EL의 응용 분야는 다음과 같다.

4. 1. 정보전달용 광원

- 표시등
- 표시용 광원

4. 2. 장식용 광원

- 무드 조명

4. 3. 특수조명

- 액정 Backlight 조명

4. 4. 교육기기

- 현미경용 광원



5. 결론 및 향후과제

교류분산형 EL소자를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

대부분의 사람은 다른 소자에 비해 휘도, 단색성, 가격이 비싸서 특수 목적의 제품에만 응용되는 것으로 알고 있었으나, 최근 정보산업의 발달로 EL소자는 저전압 평판의 균일한 면발광, 경량으로 평판 디바이스로 주목을 받기 시작하고 있으며, 특히 빠른 응답성, 고 시인성, 진동 및 충격에 강한 전 고체성 표시장치로서 수요가 증대되고 있다.

현재 소재 기술의 발전으로 많은 부분이 개선되었으나, 또한 다른 소자와 경쟁하기 위해 지속적인 개발이 필요로 한다. 특히, 소자의 저 전류 및 고 휘도를 위한 형광체의 수명과 발광 효율의 향상과 결합체의 유전율, 고 절연 파괴 전압, 내구성 및 내 환경성을 향상시키고 소자의 가격 경쟁력을 갖기 위한 소자

의 보호를 위한 package기술 및 저가격을 위한 EL 구조 개선의 필요로 한다.

참 고 문 헌

1. Lossew, O. W. Teleyratia Telefonica. 18, 961 (1923).
2. Destriau, G. J., Chem. Phys. 33, 587 (1936).
3. Destriau, J, Chim. Phys 34, 117, 462 (1937).
4. Destriau, Trans, Faraday Soc. 35, 227 (1939).
5. D. Kahng, Appl. Phys. Lett. 13, 210 (1968).
6. D. Kahng, Appl. Phys. Tech. 10, 789 (1973).
7. E. W. Chase, J. Appl. Phys. 40, 6, 2512 (1969).
8. T. Inaguch, M. Takada, Y. Kakihara, Y. Vakata and M. Yashida, SID Digest. 84 (1974).
9. Y. Hamagawa, J. Appl. Phys. 47 (1976).
10. A. Vecht et. al. SID 78 Digest, 136 (1978).
11. K. Kamoto, Y. Hamakawa, IEEE Trans, Electron Devi, ED-28, 693 (1981).
12. K. Hirabayashiand H. kozawaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 23, L379 (1986).
13. H. kobayashi, H. sasakura, J. Lumin, 24/25, 897 (1974).
14. Aldert Vander Ziel, Luminescence, Solid State Physical Electronics, 239 (1976).
15. S. M. Sze, Phys. of Semiconductor Devices 2nd ed. (1981).
16. D. G. Thomas, J. Hopfieldand M. Gersherzon, Phys. Rev. Lett. 10, 162 (1963).
17. D. G. Thomas, J. J. Hopfield and M. Gersherzon, Phys. Rev. Lett. 15, 857 (1965).
18. J. I. Pankove and PEN. RCA. Rview. 33, 377 (1975).
19. F. willizs Lliams, J. Lumesc, 7, 35 (1976).
20. H. F. Ivey, "Electroluminescence and related effects", Suppl. IL. Marton, Ed Advanced in electronics and Electron Phys. Academic, New York, 205 (1963).
21. H. F. Ivey, Electroluminescence and Semiconductor Lasers, IEEE J. Quntum Electron QE-2,713 (1966).
22. S. Wang, Solid-State Electronics, Mc Graw-Hill, New York (1966).
23. K. G. Mckey, Phys. Rev. 94, 377 (1954).
24. R. K. Haering, P. A. Barnes, Injection EL, Solid State Electron 7, 879 (1964).
25. C. H. Gooth, "Injection Electroluminescence Devices", Wiley, New York, (1973).
26. A. G Fisher J. Electrochem. SOC., 110(7), 733-47 (1963).
27. A. G Fisher J. Electrochem. SOC., 109(11), 1043-9 (1962).