

微光增幅素子の 設計 및 製作에 關하여 (The Design and Construction of Light Transducer at Low Level)

田 龜 濟* · 洪 昌 憲**
(Chun, Koo Chae and Hong, Chang Hi)

要 約

먼저 ZnS 粉末을 空氣中에서 燒成하는 方法을 研究하여 EL을 製造하여 만들어진 EL의 電氣光學的 實驗을 하였다. 다음에 CdS를 이용하여 光導電素子를 만들고 그 電氣光學的 性質을 調査하였다. 위의 두가지를 利用하여 하나의 微光增幅素子를 만들어 그 原理를 理論的으로 규명하였고 실험적으로 확인하였다. 결론적으로 우리가 세운 이론식이 2%이내의 오차한계에서 정확하였고 미광증폭기의 설계와 제작에 도움이 됨을 알았다.

Abstract

This paper was studied as the following steps.

- 1) The relation between the brightness and the AC voltage on the EL cell made from ZnS powder was investigated.
- 2) The relation among the photocurrent, the applied AC voltage and the illumination on the photoconductive cell which was made of CdS powder, was examined.
- 3) From the above relations approximate equations were made. Also the theoretical gain equation of the light amplifier was derived.
- 4) Comparing the theoretical gain value to the experimental gain value of the light amplifier which was composed of EL and PC cells, it was come to the conclusion that the gain equation was correct within 2% errors and was useful to comprehensibility of the light amplifier and to design of it.

1. 序 論

微光增幅器의 構造는 光Energy를 電氣Energy로 또 電氣Energy를 光Energy로 變換하는 장치 두 가지를 함께 가지고 있다. 電氣Energy를 光Energy로 바꾸는 方法에는 여러가지 原理가 있으나 여기에서는 電界發光原理를 利用한다.

電界發光是 일찍부터 發見되었으나, 오늘날 쓰이고 있는 AC發光是 "Destriau"⁽¹⁾氏로부터이다. 그 이후 여러 학자들에 의해서 物性論的으로 규명된 바 있다.⁽²⁾⁽³⁾ 따라서 本 論文에서는 物性を 규명하는 것은 가급적 피하면서 微光增幅器에 使用하기에 보다 편리하고 좋은 電界發光 재료를 開發하도록 노력했다. 한편 光Energy를 電氣Energy로 바꾸는 方法에는 CdS를 燒結法을 利用하여 製造해서 使用했다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 이와같은 固體素子들을 利用해서 光을 增幅시키는 原理는 1955년 [RCA Age]誌上에 처음으로 發表되었고 '그 후 數年間에 걸쳐 여러가지 모양의 光增幅器에 관한 研究가 있었다.'⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

*, ** 正會員, 東亞大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Dong-A University
接受日 1974年 11月 4日

특히 "Orthuber" "Ullery" 兩氏는 設計의 基準을 定하기 위하여 近似式을 利用한 理論式을 發表한 바 있고⁽⁶⁾ 또 RCA의 "Kazan" "Nicoll" 兩水는 等價回路로부터 光增幅器를 理論的으로 解析하는 方法을 發表한 바 있다.⁽⁵⁾ 本 論文에서도 前者와 같이 근사式을 利用하여 理論式으로 풀이하기로 하였다. 그러나 "Ullery" 氏들은 導電率을 照度단의 函數로 表示한 反面本論文에서는 導電率이 照度和 印加電壓의 函數로 보았다는 점이 다르다.

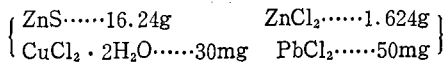
微光增幅器의 性能은 밝은 電界發光材料의 開發과 직접결되므로 本 實驗에서는 優秀한 電界發光螢光物質을 만들기 위해 材料의 組成比와 燒成條件을 實驗으로 確定하였다. 만들어진 材料의 電氣光學的 性質을 調查하였고 이를 바탕으로 하여 理論的으로 設計方法을 論하였다.

또 sample의 增幅率을 測定한 결과 理論값과 잘 一致하고 있었으며 어떤 제한된 범위내의 入力만 增幅시켰고 그 범위내에서는 밝은 光의 增幅率이 어두운 光의 增幅率보다 크다는 것을 알았다. 또 우리가 展開한 理論式이 상당히 正確함을 알았다.

2. 實驗方法 및 實驗裝置

[2-1] 電氣→光變換器의 製作.

電界發光 原理를 써서 電氣Energy를 光으로 變換하는 方法을 利用하기로 하고 그 材料를 開發하기 위해 몇가지 實驗을 하였다. 먼저 純粹한 ZnS粉末에 銅이나 鉛 等の 不純物을 添加시켜 燒結한 것을 使用한다. 燒成은 空氣中에서 하였다. 空氣中에서 燒成하기 爲해서 ZnCl₂를 添加시켰고 activator로서 銅의 鹽化物을 co-activator로서 Pb Cl₂를 使用했다. 化學試藥은 모두 一級品을 使用했다. 最初에 使用한 試藥의 組成比는 다음과 같다.



이들 試약을 다음과 같은 實驗을 거쳐서 發光材料를 얻었다.

① 그림1과 같이 燒成溫度를 變化시켜 가며 1시간 燒成한다. 이 실험에서 알 수 있는 것은 燒成溫度가 950~1000°C정도가 되어야 燒結된 物質이 發光한다는 것이며 950°C일때 더욱 좋은 것이 얻어졌다.

② 그림2에서는 ZnCl₂의 함유량을 바꾸어 가며 950°C에서 한시간 燒成시킨 것을 圖示한 것이다. ZnCl₂가 포함되지 않을 때는 發光되지 않는 것으로 보아서 空氣中에서 燒成할때는 ZnCl₂를 添加시키는 것이 좋다. 그 添加量은 5%정도가 가장 理想의 임을 알 수 있다.

③ 그림3은 CuCl₂ · 2H₂O의 添加量을 變化시켜 가며

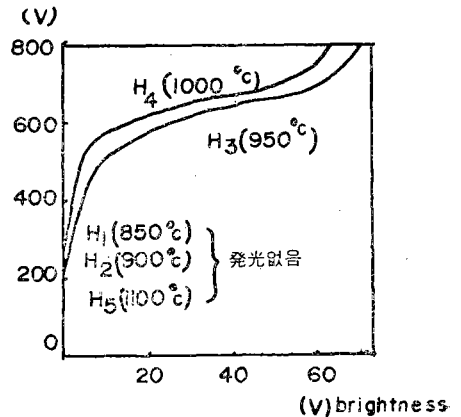


Fig.1. Applied voltage vs brightness of EL with firing temperature as parameter

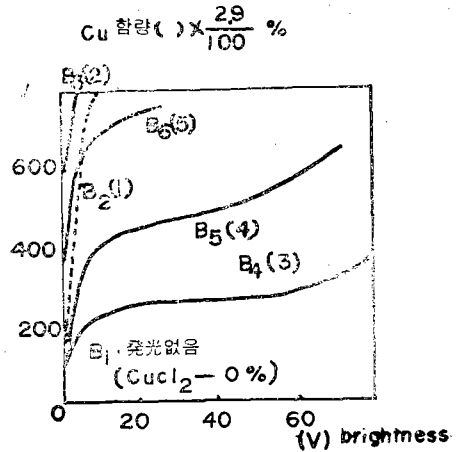


Fig.2. Applied voltage vs brightness of EL with ZnCl₂ as parameter

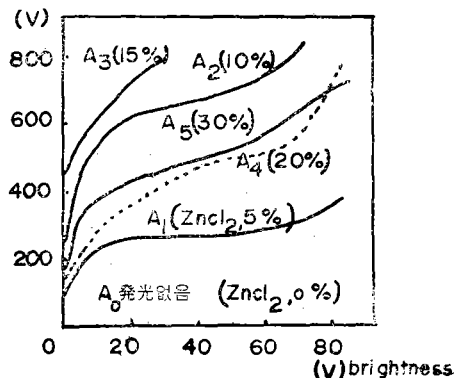


Fig.3. Applied voltage vs brightness of EL with activator Cu as parameter

그 發光을 調査한 曲線이다. 이 曲線에서 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 含量은 $3 \times \frac{2.9}{100}$ -%일때가 가장 理想的이며 0%를 포함한 것은 發光이 없는 것으로 보아서 Cu의 량을 適當히 添加시킨다는 것이 重要하며 이 Cu가 activator로서 重要하다는 것을 안다. 너무 많아도 効果는 오히려 떨어져지고 있었다.

④ 그림4는 coactivator의 量을 變數로 하여 燒成한 材料들의 性能을 나타낸 그림이다. 그림에서 Pb의

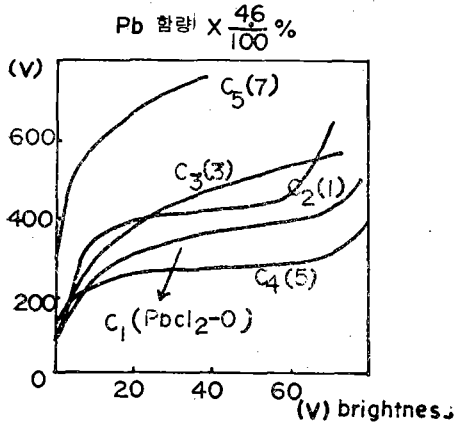


Fig.4. Applied voltage vs brightness of EL with coactivator Pb as parameter

含量이 너무 많으면 오히려 없는 것보다 못하다는 것을 알 수 있다. 또 너무 적어도 그 效果가 뚜렷하지 못하다. 본 실험에서는 $5 \times \frac{4.6}{100}$ -%일때가 가장 效果가 좋았다.

⑤ 燒成時間의 길고 짧음이 밝기에 어떤 影響을 미치는가를 調査해 왔다. 그림5는 그 結果를 나타내고 있다. 그림에서 볼 때 30分間 燒成했을때는 아직 완전한 結晶을 얻지 못했으므로 發光이 극히 약했으며 1시

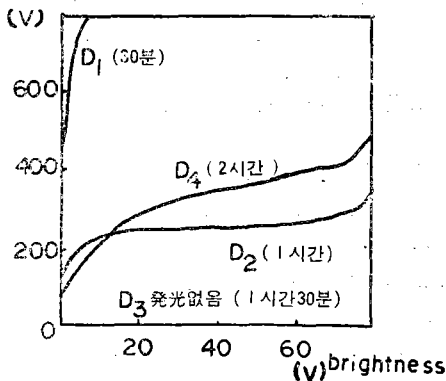


Fig.5. Applied voltage vs brightness of EL with heating hour as parameter

간 燒成時 發光이 좋았고 1시간30分 燒成時 發光이 없었으며 2시간 燒成時 다시 發光이 나타난것은 結晶의 形態가 1시간 燒成했을때 생긴것과 2시간 燒結시 생긴 것과는 다른 形態의 것이라 생각되며 그 中間시간에는 發光이 나타나지 않은 제1결정 形態에서 제2결정 형태로 옮겨가는 과도적인 상태가 아닌가 생각된다. 따라서 燒成時間의 길고 짧음이 發光材料를 燒成하는데 극히 重要하다는 것을 알 수 있다.

⑥ 끝으로 이제까지의 發光色은 靑색이었으나, 이 光은 눈에 어둡게 감지되므로 이를 시정하기 위해 MnCl_2 를 미량 첨가하여 그 빛깔을 옐빛깔로 바꾸었다. 이때 바꾸기 전의 특성 A와 바꾸후의 특성 K와를 그림6에 圖示하였다. 두 曲線의 특성은 거의 같으나 A시로는 직선성이 나타나는 범위에서 인가전압의 가변폭이 극히 적은 반면 K시료에서는 그 가변폭이 크므로 微光增幅器에 應用하는데에 오히려 K시료가 좋다는 것을 알 수 있다.

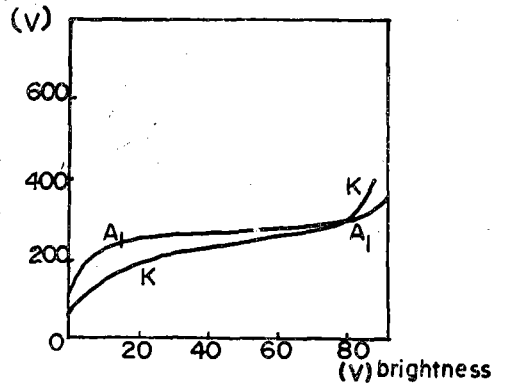


Fig.6. Comparing curve sample A with sample K

이상과 같은 實驗을 거쳐 確定된 最適組成比와 燒成時間 및 燒成溫度로 Sample을 燒成한다. 이때 燒成한 것을 空氣中에서 自然冷却시키고 冷却된 燒結體를 粉碎하여 260mesh 以下로 하여 使用한다. 燒成粉碎한 ZnS 粉末을 重量比 1/20程度 water glass와 溫潤하여 투명한 導電性 유리위에 塗布한 後 乾燥시킨 것을 다시 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 로 노속에서 20~30分間 乾燥하여 附着시켜 E.L素子로 만든다. E.L의 두께는 0.3mm程度의 것을 만들어 使用하였다 發光開始電壓은 80V程度이었고 350V程度에서 18Lux의 peak를 보였고 그 이상에서는 약간 밝아지나 飽和現象을 나타냈다.

[2-2] 光→電氣Energy 變換器의 製作

光을 電氣로 바꾸는 方法에는 여러가지가 있겠으나 비교적 만들기 쉽고 製作이 용이한 CdS光導電 cell을 利用하기로 하였다. CdS cell의 製作方法에도 單結晶

型, 燒結型 蒸着型 等이 있고 各各 그 특징이 있다. 本 論文에서는 제법이 비교적 간단하고 넓은 面積의 受光面이 容易하게 얻어지며 電極의 形狀을 마음대로 바꿀 수 있고 대폭적으로 감도를 가변시킬 수 있는 등의 이점이 있으므로 燒結型을 만들어 使用했다.

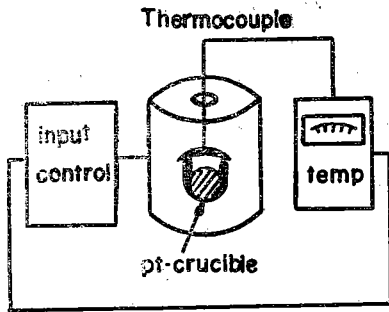
순도가 높은 CdS 粉末을 물에 현탁시켜 重量比 10%의 CdCl₂를 넣고 500PPM의 鹽化銅을 加한 것을 導電性 유리위에 塗布하여 乾燥한 것을 다시 200~300°C로 급히 건조하고 均열이 있거나 두께가 얇으면 200~300°C를 유지하며 2~3회 반복 塗布하여 급히 건조시킨 후 550°C의 溫度로 空氣中에서 약 5분동안 燒結시킨다. 이와같이 하여 만든 板狀導電素子는 두께를 임의로 두껍게 하기가 힘들었으나 空氣中에서 쉽게 만들 수 있는 이점이 있으므로 그대로 使用했다.

한편 이미 使用한 투명導電性유리는 깨끗이 洗滌한 平面板유리위에 SnO₂膜을 입힌 것을 使用한다. 먼저 SnCl₄용액에 CuCl₂, SbCl₃, Cr₂O₃를 소량 添加시켜 잘 混濁시킨 다음, 600~700°C로 加熱된 유리板 위에 10초간 噴霧하여 SnO₂膜을 만든다. 만들어진 透明電極은 實驗에 使用한 領域內에서 80% 이상의 光을 투과시켰고 抵抗率은 50Ω/cm²程度였다.

微光增幅器는 그림 7에 基本原理圖를 圖示하고 있다.

[2-3] 測定裝置

E.L의 밝기는 光電子倍增管(Dumont 6292)을 使用하여 增幅되어 나오는 電流로서 測定하였다. 또 標準



Equipment 1. The schema of firing furnace

光源으로부터 Monochrometer를 통해 나오는 光을 CdS cell에 받아 分光感度を 測定한다.

이 밖에도 Lux Meter, Recorder, DC-Amp, 可聽周波高電壓 Amp, DC高壓電源 等을 使用했다. 光電子倍增管을 使用할 때는 밝기가 電壓으로 測定되므로 Lux 單位로 환산할 必要가 있다.

장치(1)은 Sample을 소성하는데 使用한 소성로이며 장치(2)는 그림 (1)에서부터 (6)까지를 측정하는데 사

용한 기기의 배치도이다 EL의 밝기는 VTVM의 전압 단위로 측정된다. 장치(3)은 CdS 광도전소자의 교류 광전특성을 측정하는데 사용한 장치도이다. 이 장치로부터 그림(10)과 (11)등을 얻었다.

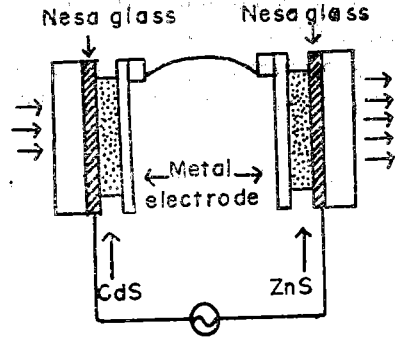
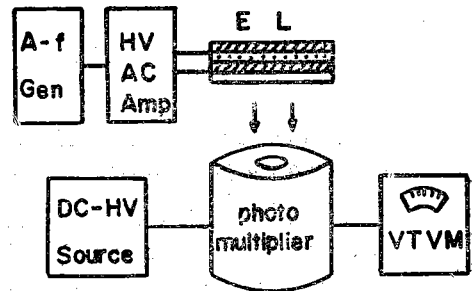


Fig. 7. The Principle Schema of light Amplifier



Equipment 2 The block diagram of Measuring apparatus of EL Characteristics

3. 結果와 考察

CdS에 不純物로서 Cu와 Ag를 添加한 것에 對한 分光感度を 調査한 結果 그림(8)을 얻었다. 이 그림에서 Ag를 添加시킨 것은 局部波長에 對하여 sharp한데 比하여 Cu를 添加한 것은 波長에 對하여 敏感하지가 않다.

光增幅器에서는 光抵抗對 暗抵抗比가 큰것도 要求되지만 分光感도가 波長에 對하여 어느 程度 可變인 것이 要求된다. 따라서 Cu를 添加시킨 것이 훨씬 優秀한 것을 알 수 있다. 照度を 常數로 하고 周波數를 可變시킬 때 光導電素子의 電流와의 關係를 그림(9)에 圖示한다. 이 그림에서 周波數가 높으면 Impedance가 적어지므로 電流는 많이 흐르지만 어두운 光과 밝은 光의 差에 따른 電流變化를 볼 수가 없다. 따라서 낮은 周波數 되도록이면 直流를 使用하는 것이 바람직하

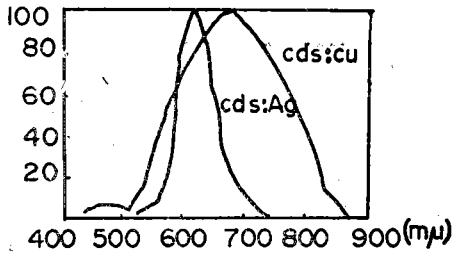
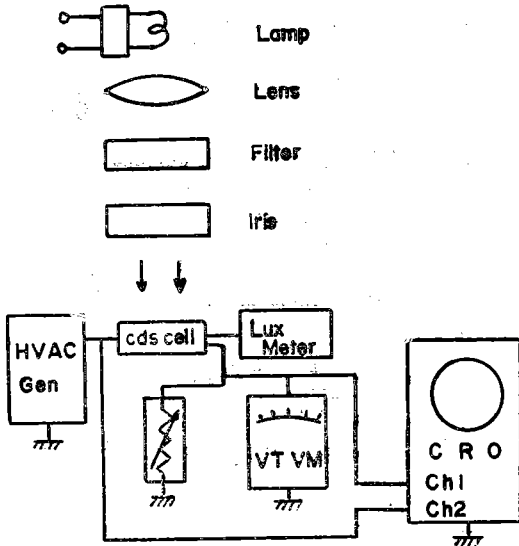


Fig. 8. Spectral photoconductive intensity vs light wavelength



Equipment 3 Set up measuring photo conductivity

다. 그러나 EL와 直列로 連結하여 使用하므로 交流를 받드시 使用해야 하고 또 優秀한 것이 要望된다. 그림(9)에서 볼 때 使用周波數는 1kHz 가 좋다.

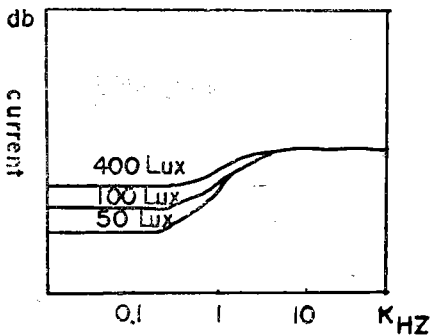


Fig. 9. Frequency response in CdS cell for different in put light

그림(10)은 光導電素子에 正弦波 電壓을 印加할 때 흐르는 電流를 보여 주고 있다. 이 電流는 高周波分이 많이 包含되어 이그러짐이 보인다. 이것으로 보아 光

導電素子는 電壓과 電流 사이의 관계가 非線型的임을 알 수 있다.

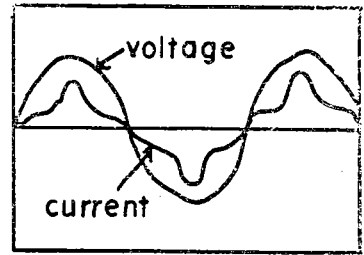


Fig.10. The waveform of photo conductive current

그림(11)은 交流定電壓에서 照度를 증가시킬 때 光電流가 증가되는 것을 圖示한 것이다. 이 그림에서 보면 電流는 電壓과 照度の 函數라 볼 수 있다.

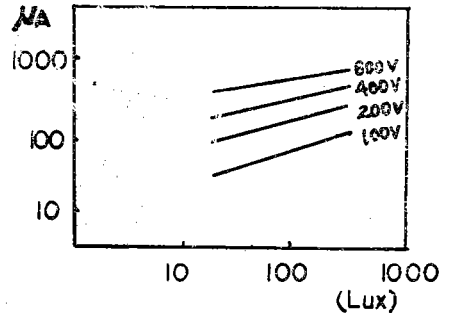


Fig.11. A-C photocurrent vs input illuminations for different voltage value

이를 數式化하면 다음과 같다.

$$I = K_1 V_1^\alpha B_1^\gamma \dots (1)$$

I : 光電流, 單位는 (μA)

V_1 : 光導電素子の 端子電壓, 單位는 (V)

B_1 : 入射光照度, 單位는 (Lux)

K_1, α, γ : 素子에 따른 定數

그림(11)에서 K_1, α, γ 의 값을 求하면 다음과 같다.

$$\alpha = 1.0458 \quad \gamma = 0.182 \quad K_1 = 0.265$$

EL素子の 밝기와 印加電壓 사이의 관계를 그림(12)에 圖示하고 있다.

이를 數式化하면 다음과 같은 관계를 얻는다.

$$B_2 = B_0 \exp\left\{\frac{-C}{\sqrt{V_2}}\right\} \dots (2)$$

B_2 : $E \cdot L$ 의 휘도(arbit unit)

V_2 : $E \cdot L$ 의 端子電壓 單位는 (V)

C, B_0 : 定數로서 試料의 燒成條件에 따라서 變化한다.

그림(12)에서는 C 는 600程度이다. C 의 値가 相當히 큰 것은 ZnS 의 結晶이 너무 잘게 粉碎된 때문인 것 같다.

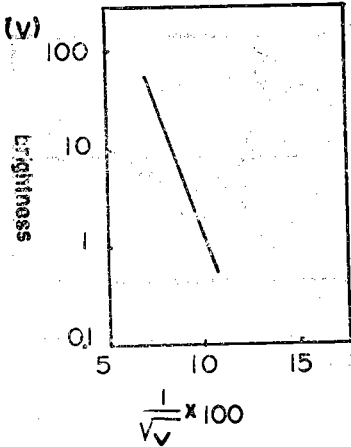


Fig.12. Brightness vs the square root of inverse voltage

EL素子에서 周波數를 可變化할 때 EL에 흐르는 電流와의 關係를 圖示한 것이 그림(13)이다.

이 그림에서 周波數가 높아지면 Impedance가 적어 지므로 電流가 더 많이 흐를 수 있으므로 消耗電力도 커지고 밝기도 더 밝아져야 한다. 이런 現狀은 2kHz 以上에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 그러나 앞서

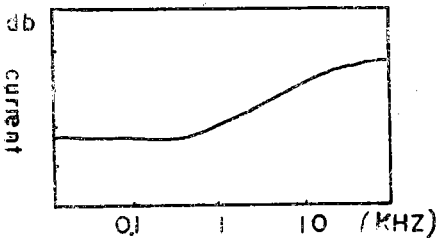


Fig.13. Frequency response of EL

光導電素子에서 볼 때 1kHz 以下라야 하므로 便利上 200Hz를 使用했다. 한편 EL素子の 電流와 輝度 사이의 關係를 그림(14)에 도시했다. 이 그림에서 比較的 直線에 가까운 曲線部分이 光增幅에 利用되므로 이 部分을 數式化하면 近似的으로 다음과 같다.

$$B_2 = K_2 I^\delta \dots \dots \dots (3)$$

B_2 : E.L의 輝度, 單位는 [Lux]

I : E,L에 흐르는 電流, 單位는 [μA]

K_2, δ : 材料固有의 定數로서 그림(14)에서 求한 값은 $\delta = 12.9088$ $K_2 = 2.6418 \times 10^{-33}$ 이다.

式(1)과 式(3)에서 電流의 값이 같으므로 두 式에서 光의 增幅利得 G 를 求해 본다.

$$G = \frac{B_2}{B_1} = K_1^\delta K_2 V_1^\delta B_1^{(\delta-1)} \dots \dots \dots (4)$$

이 식에서 V_1 은 光導電素子の 端子電壓이므로 光增幅器의 端子電壓 V 로 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

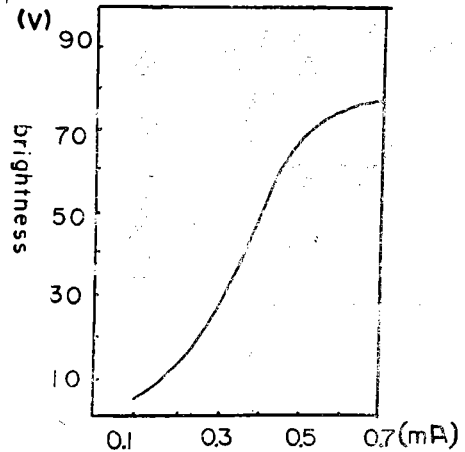


Fig.14. Brightness vs applied current in EL

$$V_1 = \frac{Z_L}{Z_L + Z_e} V \dots \dots \dots (5)$$

Z_L : 光導電素子の Impedance.

Z_e : EL素子の Impedance.

式(4)와 式(5)에서

$$G = K_1^\delta K_2 \left(\frac{Z_L}{Z_L + Z_e} \right)^{\delta^2} V^{\alpha \delta} B_1^{\alpha \delta - 1} \dots \dots \dots (6)$$

이 된다. 그리고 $\alpha \approx 1$ 이므로

$$\frac{1}{Z_L} = K_1 V^{\alpha-1} B_1 r \approx K_1 B_1 r (10^6 \Omega) \dots \dots \dots (7)$$

라 볼 수 있다.

또 그림(15)는 EL電流와 電壓사이의 關係를 圖示한 것이다.

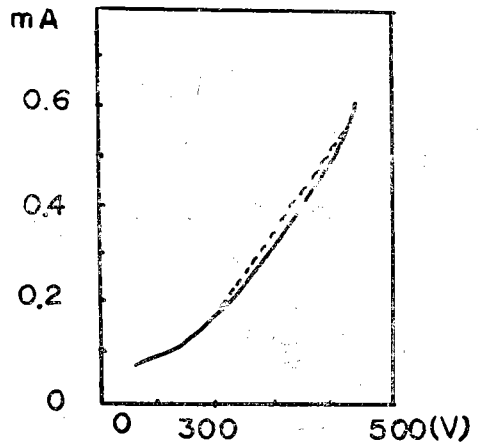


Fig.15. Voltage current characteristic curve of EL

이 그림에서 電壓과 電流 사이는 線型에서 약간 벗어나지만 光增幅器에 應用하는 범위에서 近似的으로 直線이라 본다(그림의 點線).

따라서

$$\frac{1}{Z_e} \approx j\omega c(U) \dots (8)$$

이 된다. 式 (6), (7), (8)에서

$$G = \frac{K_1^2 K_2 (\omega c)^{\alpha\delta} V^{\alpha\delta} B_1^{\delta-1}}{(\omega^2 c^2 + K_1^2 B_1^{2\gamma} 10^{-12})^{-\frac{\alpha\delta}{2}}} \dots (9)$$

을 얻게 된다. 이 式에서

$$\omega c \gg K_1 B_1^{2\gamma} 10^{-12} \text{이므로}$$

$$G = K_1^2 K_2 V^{\alpha\delta} B_1^{\delta-1} \dots (9)'$$

를 얻게 된다. 즉 이득은 印加電壓과 入力光의 照度에 依해서 決定된다. 以上을 綜合해 볼 때 그림(14)에서 光增幅器에 應用되는 部分은 150 μ A~400 μ A까지이며 이 部分에서는 傾斜가 急增하므로 微小한 光電流가 增加하여도 밝기가 크게 增加한다. 따라서 入力光의 增加보다 出力光의 增加가 크게 되고 增幅이 된다. 그림(11)에서도 使用하는 電流 범위가 150~400 μ A 사이의 값이 約 10Lux以下에서 얻어져야 하므로 相當히 높은 電壓이 要求됨을 알 수 있다. 實際로 使用電壓은 2000V를 光增幅器에 印加했다. 光導電層이 EL層보다 Impedance가 數倍 혹은 數十倍 크므로 光導電層의 絕緣耐力이 2000V를 견딜 수 있을 만큼 充分히 두껍게 만들어야 함을 알 수 있다. 印加電壓 2000V일 때 [9] 式은 다음과 같다.

$$\log G = 3.5368 + 1.3492 \log B_1 \dots (10)$$

또 그림(14)에서 B_2 는 max 18 Lux이므로 入力光이 이 보다 밝아서는 意味가 없으므로 다음과 같이 制限된다.

$$18 \geq B_1 G \dots (11)$$

(10) 式, (11) 式에서

$$\log B_1 \leq \bar{1}.0289$$

$$\therefore B_1 \leq 1.0688 \times 10^{-1} (\text{Lux}) \text{을 얻는다.}$$

이 때 利得은 $G = 168.41$ 이다. 이 값은 本增幅器로서 增幅할 수 있는 最大增幅利得이다. 또 增幅器의 原理上 G 는 1보다 클 때만 意味가 있으므로 이를 (10) 式에 適用한다.

$$0 \leq 3.5368 + 1.3492 \ln B_1$$

$$\therefore B_1 \geq 2.3911 \times 10^{-3} \text{Lux} \dots (13)$$

즉 B_1 이 式(13) 값을 벗어나면 때는 增幅은 減된다. 따라서 入力光照度에는 限界가 생긴다.

$$2.3911 \times 10^{-3} \leq B_1 \leq 1.0688 \times 10^{-1} (\text{Lux}) \dots (14)$$

印加電壓을 2000V以上으로 했을 경우는 (14) 式의 범위를 벗어나서 增幅率은 커지고 入力光의 下限과 上限의 값은 적어진다. 그러나 光導電素子의 絕緣限界와 暗電流가 使用범위의 電流값을 벗어나는 곳에서 制限을 받는다.

이러한 制限은 式(10)에만 加해지는 것이고 式(14)의 限界를 벗어나서 더 큰 入力光이 들어와도 되며 式

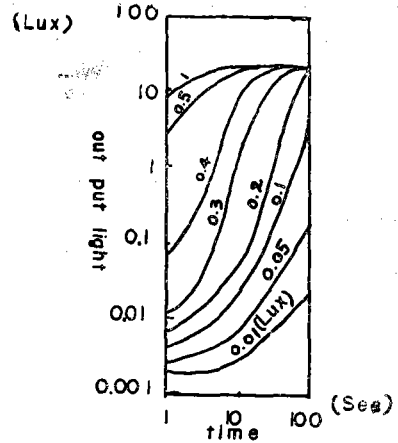


Fig.16. Amplifier output vs time for different input light levels

(11)에서 보면 增幅利得은 오히려 減少함을 안다.

그림(16)에서는 入力光을 파라미터로 하고 出力光은 時間과의 關係를 도시한 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 理論과 잘 一致하고 있음을 안다. 實際로 그림에는 立上效果를 檢하고 있다. 增幅器는 最初부터 3 $\times 10^{-3}$ Lux까지 勵起시켜 놓는다. 그리고 曲線은 出力에 飽和特性을 보이고 있으며 큰 入力이든 적은 入力이든 어느 時間후에는 飽和點에 到達한다. 이는 入力光에 따른 光導電素子의 導電率이 어느 時間이 經過한 後에 最終值에 達하기 때문이다. 적은 入力光에서 最大利得을 얻는 入力光까지 즉 式(14)의 範圍內에서는 어두운 光보다 밝은 光이 더욱 밝아지는 效果를 나타내고 있다. 그리고 最大利得을 얻는 入力光照度보다 더 큰 照度에서의 出力光의 輝度는 모두가 같아서 明暗의 區別이 없어진다. 이 때도 入力光이 클 수록 增幅값은 적어진다.

4. 結 論

以上 本論文에서 光增幅電子素子의 製作方法和 그 特性을 考察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 電界發光螢光物質을 空氣中에서 燒成할 때는 燒成溫度 950°C에서 燒成時間 一時間일때 $ZnCl_2$ 를 5% 程度 添加시키는 것이 가장 좋았다.

② 光增幅電子素子의 增幅利得은 印加電壓의 $\alpha\gamma$ 乘에 比例하고 入力光의 $(\gamma\delta-1)$ 乘에 比例하였다.

③ 增幅利得은 入力光에 따라서 다르고 式(14)와 같은 範圍內에서 使用함이 바람직하다. 그러나 낮은 入力光에 對한 增幅값은 적고 높은 入力光에 對한 增幅값은 커져서 明暗의 差가 深化된다. 이에 대한 調節方法이 困難하다는 短點이 있다.

④ 入力光의 波長은 光導電素子가 感度를 나타낼 수 있는 範圍에 있어야 한다. 現在 本 論文에서는 CdS—Cu로써 만든 材料를 使用했으나 단일 赤外線에 感度를 가진 것으로 材料를 바꾸면 우리 눈에 보이지 않는 것을 光增幅器를 通하여 눈에 볼 수 있는 것으로 바꿀 수도 있다. 이 밖에 TV나 X-Ray裝置等 여러 産業分野에서 그 應用이 期待된다.

參考文獻

1. G.Destriau: J.Chem. Phys.33 pp.620(1936)
2. M.Furuk ba shi: Rev. Elce. Commun. Lab. (G 404), Jap 12 pp. 675—681(1964)
3. W.Uchiba: Jap. J.Appl. Phys. vol. 11 pp.387—385(1968)
4. RH. Bube and LA. Barton: RCA Rev. vol xx. pp.564(1959)
5. F.H Nicoll and B.Kazan: J.Opt. Soc. Amer. vol. 45. pp.647—650 (1950—8)
6. RK Orthuber and L.R Ullery: PJ.O.S.A.44, pp. 297(1955—4)
7. B.Kazan and F.H.Nicoll: I.R.E. vol 43pp.1888 (1955)
8. G.Diemer and H.I.lasens: Phillips Res.10. (1955—12)