오프트 일렉트로닉스의 新展開

—光情報處理裝置에의 應用—

80年代는 일렉트로닉스, 바이오테크놀로지와 함께 오프트 일렉트로닉스의 時代가 될 것이다. 1960年에 美國의 휴즈研究所와 벨研究所에서 레이저의 發振에 성공한 이래 오프트에렉스는 이 레이저技術을 핵심으로 하여 光通信, 光情報處理, 光計測, 레이저加工 등 다양한 분야에서 실용화되어 마침내는 高度 情報化 사회를 지탱하는 尖端技術로서 기대가 높아지고 있다. 오프트 일렉트로닉스에 의한 技術的 혁명의 임팩트는 매우 광범위하게 미치고 있으나 그 가운데에도 발전이 뚜렷한 通信과 情報機器의 두가지 분야에서 관심이 커지고 있어 이에 관한 해설을 옮겨 싣는다.

1. 오프트 일렉트로닉스의 現狀

1) 半導體 레이저와 光화이버

오프트 일렉트로닉스라 불리는 새로운 技術分野의 형성과정에서 최대의 전환점은 1970年에 들어서 동시에 發表된 두가지 실험의 성공에 있다. 그중 하나는 GaAs/AlGaAs 더블헤데로 構造를 가진 半導體 레이저의 室温連續 發振의 성공에 있다. 그다음 하나는 20dB/km라는 低損失 光화이버의 실현에 있다. 半導體 레이저를 光源으로한 光화이버 通信은 新世代의 커뮤니케이숀 技術로서 구체화에의 第一步를 걸은 년도였다. 이런 의미에서 1970年은 오프트 일렉트로닉스 時代의 元年이라 할 수 있다. 半導體 레이저는 오프트 일렉트로닉스의 中心部品이라 할 수 있기 때문에 지금까지 半導體 레이저에 관한 原理를 설명하고자 한다.

2) 레이저 發振의 原理

레이저의 기본적인 구성은 圖1에서 보는 바와 같이 活性媒質과 이것에 光增幅作用을 갖게 하기 위한 励起機構와 增幅된 光의 일부를 活性媒質에 휘드 백하기 위한 光共振器로 되어 있다. 圖1에 단순한 光共振器는 후아브리페로 共振器라 불리며 鏡面에 수직으로 진행할 平面波는 鏡에 따라 반사되는 活性媒質에 휘드 백되어 다시 돌아와 增幅된다. 共振器長을 L, 活性媒質의 단위길이當의 增幅係數를 g, 反射鏡의 反射率을 各己 R_1, R_2로 하고 鏡面에 수직으로 傳搬할 光의 강도는 共振器를 1往復할 때에 $M = \exp(2gL) \cdot R_1 \cdot R_2$倍가 된다. $M = 1$이 된 상태에서 레이저는 정상적인 發振狀態가 된다. 1970年 이전의 半導體 레이저는 圖2에서 보는 바와 같이 GaAs結晶中에 Pn接合을 형성한 단순한 구조가 된다.

이 結晶에 順方向으로 電流가 흐르면 주로 n領域으로부터 P領域에 소수 캐리어(電子)가 注入된다. 注入된 소수 캐리어는 P領域의 다소수 캐리어(홀)와 재결합되어 이때 에너지를 光으로서 放出하는 것에 따라 光의 增幅이 행하여진다. 光共振器는 劈開面이 쓰여지게 된다. 이와 같이 Pn 호모接合을 쓴 半導體 레이저에는

注入된 電子가 P領域에 깊이(數 μm) 擴散되기 위하여 레이저 發振에 必要한 高密度励起의 실현에는 과대한 電流密度가 필요하며 液體窒素温度까지 냉각없이는 發振이 곤란하게 된다.

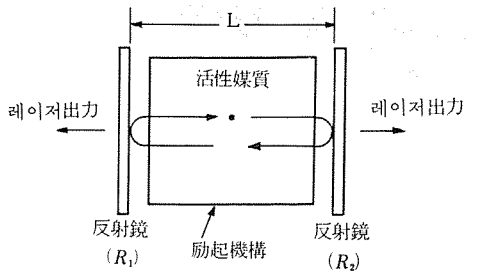

圖 1 레이저의 構成

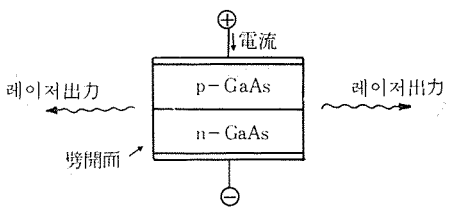

圖 2 pn 호모接合을 쓴 半導體 레이저의 構造

캡프層	p-GaAs	
p形 크라트層	p-AlGaAs	더블헤데로構造
活性層	GaAs	
n形 크라트層	n-AlGaAs	
基板	n-GaAs	

圖 3 GaAs/AlGaAs DH 레이저의 斷面圖

이 障害가 1970年에 더블헤데로構造(DH) 의 발명에 따라 극복되어 室温連續 發振이 실현되었기 때문이다. DH構造는 圖3에서 보는 바와 같이 GaAs 活性層을 活性層의 핸드캡 에너지(Eg)에 따라 크나큰 Eg를 갖는 AlxGa—xAs 크라트層으로 샌드위치하는 것에 따라 形成된다. n形 크라크層과 活性層, P形 크라크層과 活性層의 접합부가 GaAs와 AlGaAs라는 異種의 재료로 접합됨에 따라 더블헤데로 構造로 불린다. 이 構造에 順方向으로 通電을 행하면 P形 크라트層으로부터 홀이 n形 크라트層으로부터 電子가 活性層에 注入된다. 注入된 電子는 活性層과 P形 크라트層間의 핸드캡 에너지의 差에 따라 형성된 포텐샬障壁에 따라 P形 크라트層에의 확산이 阻止된다.

같은 모양으로 P形 크라트層으로부터 注入된 홀은 n形 크라트層에의 擴散을 阻止한다. 이를 위하여 電子와 홀의 共在領域은 活性層에 한정되며 活性層의 두께를 0.1 μm~0.2 μm정도로 얇게 한다면 비교적 低電流密度의 通電에 따라 活性層에 1×10^{18}/cm³ 정도의 高密度의 電子 및 홀을 勵起할 수 있게 된다. 그래도 活性層의 屈折率은 크라트層의 屈折率보다 커지기 위하여는 活性層의 界面에 따라 傳搬하는 光은 界面에서 全反射되어 얇은 活性層內에 막혀 버려 光增幅이 효율좋게 행하여질 수 있다. 이와 같은 것을 圖4에 나타낸다.

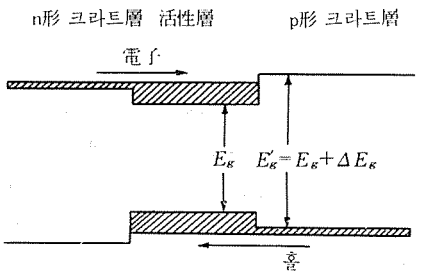

圖 4 DH 레이저의 핸드다이야그램

最近에는 圖5의 예에서 보는 바와 같이 각종의 방법으로 電流의 흐르는 領域을 폭 10μm 이하 스트라이프(帶)狀部分에 제한된 스트라이프形 레이저가 主流로 된다. 이 스트라이프 구조의 고안에 따라 레이저 發振에 필요한 電流値(閾値電流)는 100mA 정도에 까지 低減된다.

스트라이프形 半導體 레이저를 光화이버 通信用 光源에 적용할 때 최초로 문제가 된 것은 光出力-電流特性에 나타나는 非直線上에 있다. 이것은 光빔이 出射端面內에서 變形, 變動을 일으킬 때 생기는 현상으로서 화이버와 레이저 빔의 결합 效率에 변동을 주어 펄스應答特性에 緩和振動을 가져오게 된다. 低速傳送의 경우는 安定高次모드에도 사용될 수 있으며 高速傳送의 경우는 横基本모드 發振이 요구된다. 横모드의 불안정이 光出力-電流特性의 非直線上의 원인이 된다. 横모드制御의 수단으로서는 기본적으로 2종류의 구조가 쓰여지고 있다.

第1의 構造는 레이저의 活性層에 局所的으로 전류를 모아 집중시킨 게인가이드形 레이저

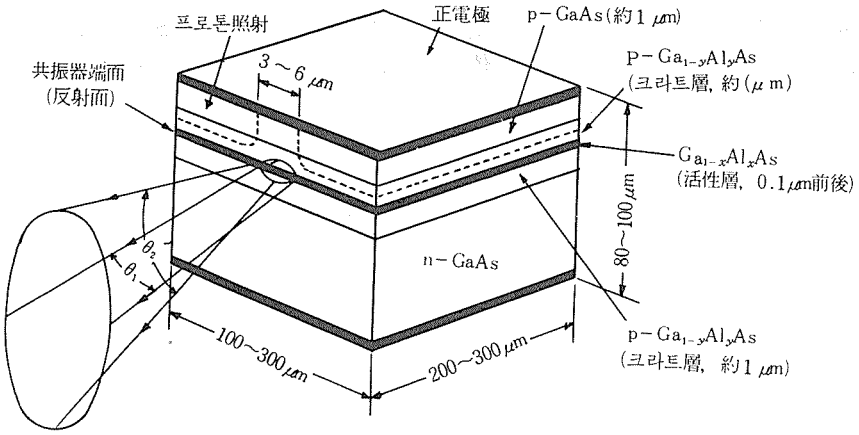

圖5 프로톤照射 스트라이프形 DH 레이저

에 있다. 대표적인 구조를 圖6에 나타낸다. 이 形의 레이저는 非點收差가 커지게 되며 非가우즈形의 遠視野像을 가지고 있는 것 縱멀티모드에서 動作하는 것이 특징으로 되어 있으나 反射잡음, 화이버 모드 잡음에 강한 것이 注目된다.

第2構造로서는 橫모드의 안정화를 위하여 橫方向에 이차원적인 굴절율차를 가져 導波路를 형성할 구조이다. 이 레이저는 屈折率가이드形 레이저라 불리는 導波路의 구성법에 따라 圖7~10에 보이는 여러가지의 구조의 것이 開發된다. 圖7은 헤데로接合에 따라 埋込된 (BH)레이저, 圖8은 活性領域外의 光의 吸收損失에 의한 CSP레이저, 圖9는 不純物濃度差에 의한 TJS레이저, 圖10은 리프가이드에 의한 TS 레이저이다. 이形의 레이저는 가우스形의 遠視野像을 가져 軸單 모드 發振이 가능하다. 이상의 橫모드 制御의 手法은 InGaAsP/InP系의 1.3 μm帶의 長波長 레이저에도 적용되어 圖11에 나타난 構造의 掘折率 가이드形 레이저가 개발된 것이다.

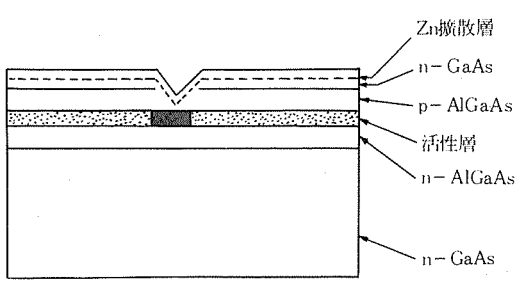

圖6 V溝 레이저

이와 같이 半導體 레이저의 발전은 낮은 傳送損失의 유리화이버 성과를 나타내어 매우 넓은 分野에 영향을 미치고 있다.

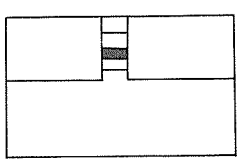

圖7 BH 레이저

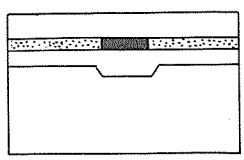

圖8 CSP 레이저

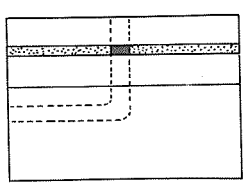

圖9 TJS 레이저

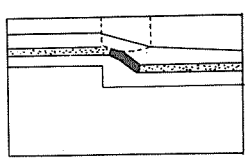

圖10 TS 레이저

3) 오프트 일렉트로닉스의 各分野에의 利用

光通信의 分野에는 화이버가 경량으로 가는 것, 廣帶域으로 되어 있는 것, 電磁誘導를 받자 않는 것으로부터 公衆通信에 있어서는電力業에 있어서 專用通信線, 빌딩內 通信線, 컴퓨터 시스템의 중요한 테마 傳送線으로서 널리 이용이 늘어 나고 있다. 오프트 일렉트로닉스는 計測의 分野에 있어서도 크나큰 영향을 미치고 있다. 各種의 센서에 光의 일차원적 성질이 응용되고 있다. $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_{12}GeO_2$, $LiNbO_3$ 등의 電氣光學效果를 응용한 光화이버電界, 電壓센서(圖12), 鉛유리, $Y_3Fe_5O_{12}$,

PIG/GGG가 네트 에피탁시알膜, ZnSe 結晶 등의 프라디效果를 이용한 光화이버形 磁界센서(圖13), 화이버의 코아徑, 屈折率의 温度 依存性을 이용한 光화이버 温度센서 등 多種類의 센서가 고안되고 있다. 그밖에 속도, 가속도, 압력의 計測에 光을 쓰는 특징이 생기게 된다.

畵像情報處理에는 光의 이차원적 성질이 응용되고 있다. 光메모리는 非接触記録再生, 高記録密度, 高操作性, 값싼 점 등 우월한 장점을 가지고 있어 비디오 디스크의 研究로부터 光디스크 메모리가 생겨 將來 크나큰 市場으로 成長할 것이 확실시되고 있다.

호로그라피는 光의 3차원적 성질을 이용한다. 호로그람의 원리는 光의 干涉縞를 記録할 수 있으며 物體의 立體像의 記録, 微小變位의 計測, 立體TV 등에 응용되고 있다. 그밖에 레이저光의 에너지를 이용할 분야가 있다. 그중에

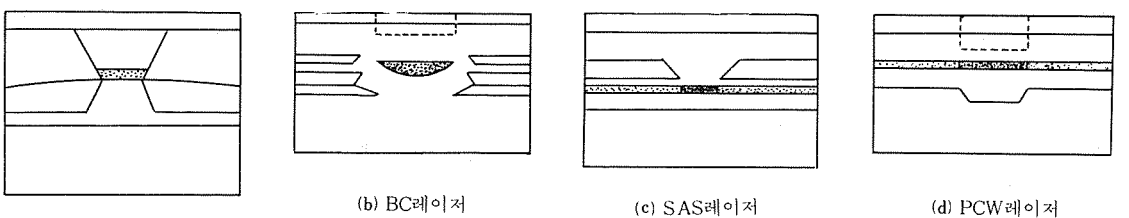

圖11 InGaAsP 掘折率 가이드形 레이저의 構造

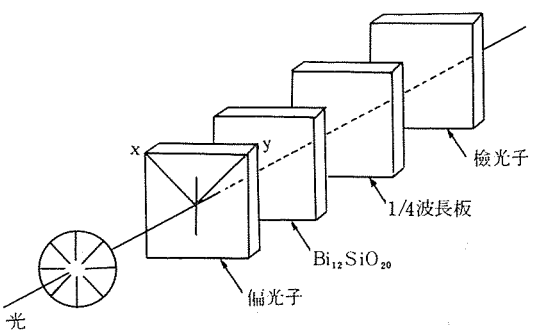

圖12 光應用電界 센서의 構造

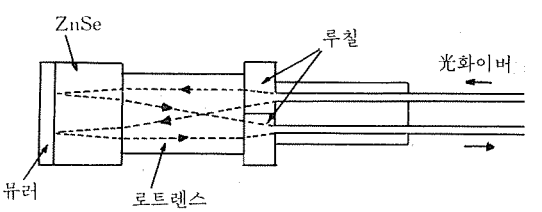

圖13 光화이버形 磁界센서의 構造

하나가 레이저核融合에 있다. CO_2 레이저 등의 巨大 펄스光을 集束해 H^3의 粒子에 맞는 超高温狀態를 만들어 核融合反應을 일으키게 하는 것이다. 다른 레이저 에너지 이용장치로서는 레이저 加工機가 있다. CO_2 레이저를 쓰는 것은 6 mm 두께까지의 鋼板의 切斷, 溶接, 人體의 切開, 燒却 등의 의료용 메스로서도 쓰여지고 있다. YAG 레이저를 쓴 加工機는 IC 등의 微小回路의 加工, 修正, 혹은 寶石 등의 融着 加工에 쓰여지고 있다.

이상 말한 것과 같이 오프트 일렉트로닉스는 레이저技術과 화이버 기술을 核心으로 하여 모든 사회 분야에 변혁을 가져오고 있다. 光이 관여하는 분야를 보면 이미 기술한 것과 같이 不可能이 없으며 오프트 일렉트로닉스는 LSI 기술과 함께 우리 生活形態를 확실히 變化시키고 있는 것은 틀림없다.

2. 發光다이오드(LED) 프린터

프린터는 컴퓨터 등으로부터 電氣信號를 用紙上에 기록하는 장치이다. 프린터는 그 동작원리로부터 두가지로 大別된다. 그 가운데 하나는 임팩트式으로서 色材의 놋타리폰에 母型活字, 다이야 등으로서 충격을 주어 用紙上의 리본위에 色材를 轉移시켜 기록하는 것이다. 임팩트式 이외를 總稱하여 논임팩트式이라 한다. 논임팩트式의 주된 것은 서말式, 인젯트式, 静電式, 電

子寫眞式이 있다. 그 가운데 光을 응용한 電子寫眞式은 記錄速度가 크며 記錄品質이 좋은 것으로 장점이 있어 장래 유망한 것으로 연구개발이 성행하고 있다. 여기에서는 光을 쓴 電子寫眞方式 프린터 가운데에서 LED어레이를 光書込의 光源으로 하는 發光다이오드(LED) 프린터를 중심으로 記述한다.

1) 光프린터

최근의 情報處理技術의 발전에 따라 그 出力機器로 되어 있는 프린터에도 한자와 도형등 다양한 出力을 할 수 있으며 高速性이 강하게 요구되기도 한다. 電子寫眞技術과 光으로 글자 써넣는 기술이 組合된 光프린터는 普通紙에 高速으로 高品質의 印字가 될 수 있는 위에 原理的으로 문자와 도형 등을 자유로이 出力할 수 있는 것이기 때문에 이제부터 중요한 기록기술로서 주목을 받고 있다. 그렇더라도 지금까지 발표된 많은 光프린터는 거의 모두가 대형 컴퓨터의 周邊裝置로서 밖에 사용되지 않았다는 것이다.

이와 같이 光프린터는 성능적으로는 기대를 集中하고 있으나 그 普及이 극히 한정되고 있는 것은 장치가 크고 고가인 점이라고 생각된다.光프린터는 光으로 글써넣기의 光源으로서 레이저를 쓰고 있는 타이프와 光화이버管(OFT) 을 타이프가 있다. 前者는 레이저光과 光變調器로서 ON/OFF할 수 있음과 同時에 回轉鏡으로서 그것을 偏光시켜 感光面을 走査하는 방식으로 高速, 高分解能의 印字를 행하는 것이 적합함에 따라 현재 최고로 많은 타이프이다. 每分 1萬5,000行의 인쇄를 행하는 超高速의 장치도 가지고 있어 대형컴퓨터의 周邊裝置로서 쓰여지고 있다. 後者는 印字幅에 상당하는 길이의 OFT를 쓰는 感光面을 최종으로 走査하는 방식이다. 레이저 方式에는 일반으로 사용되는 것이 깨스레이저 대신 半導體 레이저를 쓰는 小型의 光프린터도 발표되었으므로 OFT도 이전보다 小型化되고 있다. 그러나 어떠한 것도 小型化에는 原理的으로는 限界가 있어 裝置 全體에 點하는 光글써넣기系의 비율은 극히 크며 장치 소형화의 장애가 되고 있다. 이러한 것에 대신하는 光글써넣기 방식의 실현이 光프린터 小型化, 光프린터 普及의 관건이 되고 있다. LED 프린터는 光글씨써넣기系의 高密度 發光다이오드(LED) 어레이를 사용한 光프린터로서 이 기록 방식의 장점이 있는 高速, 高印字 품질을 가지고 있음에 따라 超小型 경량으로 操作性·保守性·經濟性이 우월한 것으로 되어 있다.

2) LED 프린터의 構成

LED 프린터의 印字機構 原理를 圖1에 나타내었다. LED 프린터의 印字機構部는 感光體드럼, 帶電유니트, LED光글써넣기 유니트, 現像유니트, 轉寫剝離유니트, 定着유니트, 크리닝유니트 등으로 구성된다. 感光體는 暗所에서 絶緣性, 明所에서 導電性을 나타내는 재료이다.暗所에 있어서는 크로나放電에 의하여 荷電된 感光 드럼은 一樣에 電荷를 보유한다. 여기에 印字情報에 대응하는 光을 照射하면 光이 照射된 부분의 表面電荷의 것이 소실되어 靜電的인 潛像이 형성된다. 이 靜電潛像은 전기적인 極性을 가진 투나에 따라 可視化(現像)된 후 普通紙에 轉寫·定着된 永久像이 된다. LED 프린터는 光書込 光源으로서 高密度 LED 어레이를 사용하고 있다.

表1에 따른 光書込 방식과의 비교를 나타낸다. LED 어레이를 쓴 光書込 方式에는 印字幅에 상당하는 LED 어레이를 一列로 配列하지 않으면 안되기 때문에 레이저方式과 OFT 方式과 같은 偏向空間을 필요로 하지 않아 原理的으로는 평면이 되며 소형화에 쓰인다. 또한 레이저方式에 있어서 回轉뮤러와 같은 可動部分이 없어 기구가 매우 간소하기 때문에 信賴性이 높고 保守도 불필요하다.

또한 半導體部品의 量産效果에 따라 低價格化로 기대된다. 그러나, LED의 發光出力, 感光體의 波長感度와의 整合性 LED의 어레이化 技術, 혹은 光傳達 方式 등의 문제가 있어 LED 프린터의 실현에는 이르지 못하고 있다. LED 프린터 實現을 위한 최대의 과제는 印刷速度와 解像度에 있다. LED 프린터의 印刷速度는 光源의 出力W, 光學系의 光傳達效率n_T 및 光源波長에 있어서 感光體感度 npc와 다음 式의 關

係에 있다.

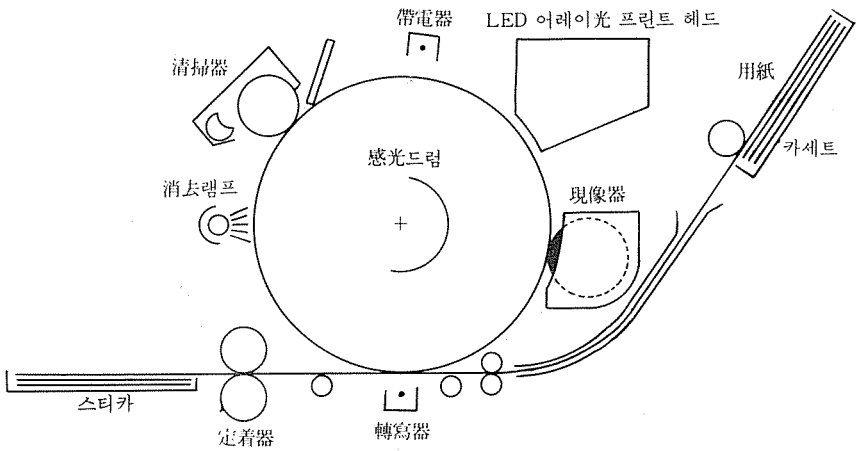

圖 1　電子寫眞式 프린터의 原理

表 1. 光書込 方式의 比較

方式	容　積	保守性	低価格化
LED어레이方式	小	○	○
레이저方式	大	×	×
OFT方式	大	×	×

表 2. 高密度 LED 어레이에 대한 要求條件

項　　目	數　値	單　位
發光파크波長	660	nm
發光部間隔	106	μm
最低發光出力	8	μW

印刷速度≦K・n_T・n_{PC}・W……(1)

여기에서 K는 定數이다. n_T는 光傳達方式과 장치로서 필요한 解像度가 설정되면 거의 결정되는 값어치이다. 高解像度의 설계에 따르면 n_T는 적은 값이 된다. 그렇더라도 (1)式은 光源의 出力W와 光源波長에 있어서 感光體感度 n_{PC}와의 곱이 커지면 高解像度로서 그것도 印刷速度를 향상시키게 되는 것을 의미한다.

3) LED 어레이의 性能條件

LED 프린터의 印刷速度는 感光體의 感度, 光學系의 光傳達効率을 고정한 경우, LED의 發光出力에 비례하기 위하여 일정한 印刷速度를 실현하기 위하여는 LED의 光出力에 최저의 閾値가 요구된다. LED의 光出力은 LED에 주입되는 順方向電流値(IF)와 外部發光効率(n_{ex})의 증가와 함께 증대하였으나 LED의 동작수명이 駆動電流密度에 의존하기 위하여는 最大許容値 이하에서 사용하는 것이 조건으로 된다. 그렇더라도 LED 프린터의 高速印刷 특성을 실현하기 위하여는 이와 같은 外部條件下에서 高密度 LED 어레이의 外部 發生効率을 最適化하던가 設計上의 가장 중요한 과제가 된다. LED 어레이를 光源으로 하는 電子寫眞 기록방식 프린터의 주요 성능목표는 印刷速度 3秒/A4版, 解像度 9.4本/mm에 있다. 이 목표성능을 실현하기 위하여는 사용하는 感光體의 波長感度特性, 光學系의 光傳達効率을 고려하여 LED 어레이에 대한 요구조건은 表2와 같이 결정하였다.

4) LED 어레이의 設計

①LED 어레이用 材料

現在 660mm의 發光이 가능한 것으로 入手가 용이한 LED 재료로서는 GaAsP 氣相에피탁샬(VPE) 웨이퍼와 AlGaAs液相 에피탁샬(LPE)

웨이퍼가 있으나 下記의 點을 考慮하여 $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ VPE 웨이퍼를 採用하였다.

a) PSU型 構造(P jsde up)으로 660nm에 있어서 外部發光效率(n_{ex})이 0.1% 이상 기대되며 그것도 장기의 素子 수명이 기대할 수 있는 것.

b) 印字品質에 惡影響을 주어 素子間의 光漏話가 적은 것. 即, 發光特長에 대한 재료의 光吸收係數의 큰 直接遷移形 半導體로 되어 있을 것.

c) 經濟性 실현에 필요한 프레나 集積化가 가능할 것.

d) 輝度의 흩어짐이 적은 LED 어레이를 구성하기 위하여는 大面積에서도 結晶 品質이 균일하게 되어 있는 것.

表3은 실험에 사용된 에피탁샬 웨이퍼의 仕樣을 정리한 것이다.

② 電極패턴과 接合 깊이의 設計

일반으로 PSU形 LED의 外部 發光效率은 內部量子效率, 注入電流 가운데 非發光表面 재결합 電流成分이 점하는 比率, 電極金屬이 發光面을 被覆할 것 등에 따라 光取出 效率, P_n 接合으로 發生한 光이 結晶表面에 달하기까지 받는 光學的 吸收損失, 全反射 損失 등의 면적에서 나타난다. 外部 發光效率의 接合, 깊이, 依存性에 있어서는 종래의 표시용 LED는 接合面積이 크며(~500$\mu m^{\square}$), 驅動電流密度가 낮기(~5 A/㎠)위해 接合面內에 있어서는 電流密度 분포도 거의 균일에 가깝다. P層에 있어서 光學的 吸收損失과 表面再結合 電流成分의 비율과의 合에 따라 最適接合 깊이는 P層에 있어서 少數캐리어(電子)의 擴散長의 1.5倍 정도가 눈에 띄며 실험치와 잘 일치한다. 어떻든 LED 프린터의 光源에 사용되는 LED 어레이의 接合面積은 高解像度 印字品質을 실현하기 위하여 100$\mu m\phi$ 이하의 微小面積에 設計하는 것이 요구되며 그것도 高速印字 특성을 확보하기 위해 高電流密度(60A/㎠이상) 驅動이 피할 수 없다.

이와 같은 조건하에서 接合面內에 있어서 電流密度 分布가 불균일하게 되어 그 結果 接合面內에 있어서 輝度 分布에 불균일이 생긴다. 한편 P側의 오뮤크電極이 光取出面에 점하는 비율(電極被覆率)은 發光面積이 미소하지 않으면 커지지 않는다.

接合面內에 電極直下의 부분에 있어서는 電流密度가 최대 즉, 그부분에서 輝度가 최대로 되기 위하여는 동일의 전극피복율의 조건하에서도 전류밀도 분포가 불균일하게 되는 것 등光取出 효율은 저하한다. 接合面內에 있어서 전류밀도 분포의 불균일한 P層의 쉬트抗抵, 즉 接合깊이에 의존한다. 高電流密度, 驅動의 微小發生面積 LED의 外部發光 效率의 接合 깊이 의존성의 검토에는 종래의 光學的 吸收損失, 表面再結合 효과에 덧붙여 電極複覆에 의한 光取出 效率을 고려하지 않으면 안된다.

LED 어레이의 驅動 電流密度의 하한은 3秒/A4版의 目標 印刷速度를 확보하기 위한 光出力 조건으로 규정하였으나 上限은 素子의 動作壽命을 5,000hr이상 보증하기 위하여는 格子缺陷 劣化모드를 일으키지 않는 값으로 制限된다. 이것으로부터 LED의 驅動 電流密度를 65A/㎠로 설정했다. 이 驅動電流 密度條件에 있어서 解像度 9.4도트/mm의 微小發光面積 LED의 外部 發光效率을 최대로 하는 接合 깊이를 결정하기 위하여 圖2에 보인 接合面積 70×110$\mu m^{\square}$, 電極被覆率 23%의 샘플을 試作해 接合 깊이를 바라메터로서 外部 發光效率과 發光의 니어휠드 패턴의 測定을 행하였다. 圖3은 外部 發光效率의 接合 깊이 依存性, 圖4는 接合 깊이 4μm, 7μm에 對한 니어휠드 패턴이다.

表3. 에피탁샬 웨이퍼의 仕樣

項 目	數 値
基 板	(100) GaAs
테 파層	$GaAs_{1-x}P_x$ ($0<x<0.4$)
테 파層두께	20μm
콘스탄트層	$GaAs_{0.6}P_{0.4}$
콘스탄트層두께	20μm
캐리어濃度	$7\times10^{16}/cm^3$

圖3은 最適 接合 깊이가 7μm로 되어 있는 것을 보여준다. 이 實驗에서 사용한 LED 어레이 샘플과 같은 에피탁샬 웨이퍼를 써서 製作한 종래의 500$\mu m^{\square}$ LED를 4 A/㎠의 電流密度 條件에서 구동한 경우의 最適合 깊이는 約 4μm이

다. 圖4의 니어휠드 패턴特性에 의한 예상과 같이 $X_t = 7\,\mu m$에는 電流 密度分布가 균일화되어 光取出 効率이 개선되고 있다.

5) LED 어레이의 製作

基板웨이퍼는 表2에 나타난 규격의 $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ 에피탁샬 웨이퍼를 사용하였다. 이 基板 웨이퍼에 SiO_2膜을 가진 Zn의 選擇熱 확산을 행할 수 없으며 接合面積 70×110㎛, LED 密度 9.4도트/㎜의 高密度 LED 어레이를 形成하였다. P側 電極은 Al을 써서 n側 電極은 Au-Ge-Ni를 썼다. 칩규격은 幅 2㎜, 길이 14㎜, 集積度는 128素子/칩의 LED 어레이 구조를 작성했다. 素子 構造는 圖2와 같게 된다.

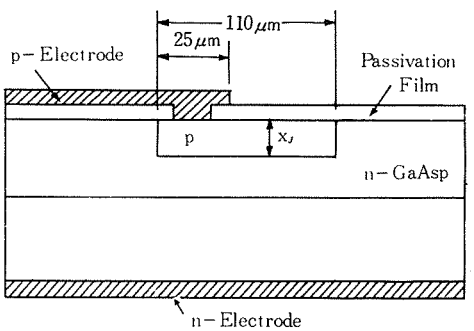

圖2 LED 構造斷面圖

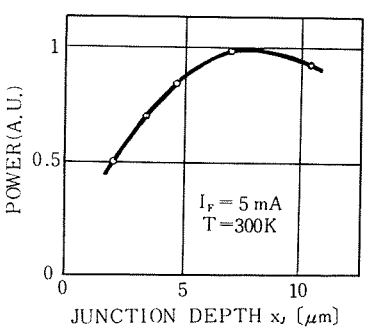

圖3 接合깊이와 光出力의 關係

6) LED 어레이의 特性

①發光스펙틀 特性

앞에 말한 방법으로 작성한 LED 어레이의 대표적인 發光스펙틀을 圖5에 나타내었다. 發光피크 波長이 도트間(單位 LED 素子間) 및 칩間에 균형이 되면 各 도트의 發光出力이 일정한 경우에도 도트의 것에 發光出力과 感光體의 感度面積과 균형이 된다. 이 面積의 값어치

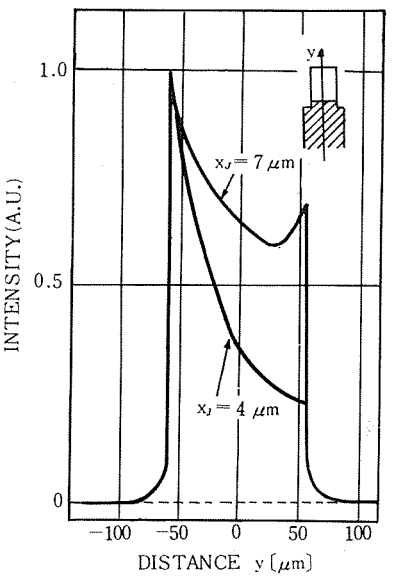

圖4 니어휠드 패턴

균형이 커지게 되면 印字品質에 惡影響을 미친다. 그렇더라도 發光피크 波長의 도트間 및 칩間의 均衡은 적은 것이 바람직하다. 發光 피크 波長은 $GaAs_{1-x}Px$ 基板웨이퍼의 P몰 分率 x, 불순물 농도, 접합온도, 구동전류 등으로 결정되는 것은 이 가운데 가장 기본적인 요인은 몰 分率 x로 된다.

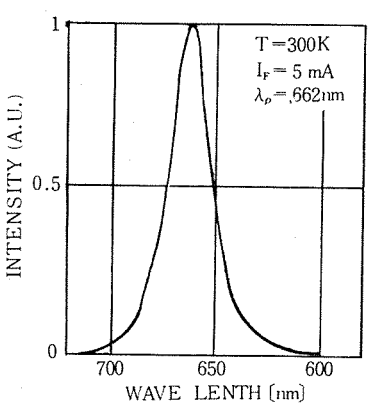

圖5 發光 스펙틀

몰分率 x는 VPE 프로세스에 있어서 0.386±0.003에 억제된다. 얻어진 LED 어레이 칩間 및 칩內의 피크波長의 均衡은 驅動電流 5 mA

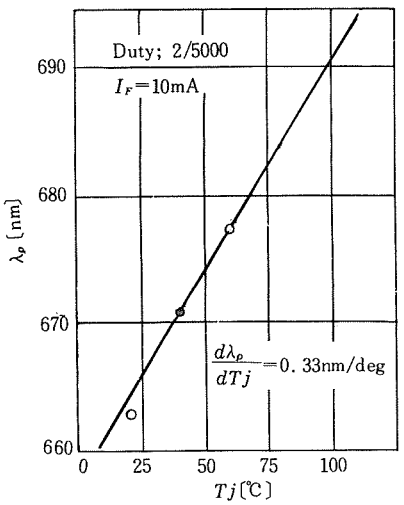

圖 6　發光피크 波長의 温度依存性

時 λ_P=660nm±10nm 이하로 된다. 發光 피크 波長의 接合温度 Ti依存性을 圖 6에 나타낸다.

測定은 펄스電流에 따라 행한다. 그 조건은 테디 2/5,000 펄스幅 2μs, 피크電流 10mA 이다. 이 조건에는 LED의 接合温度 上昇을 모두 무시한 것이기 때문에 周囲温度를 LED의 接合

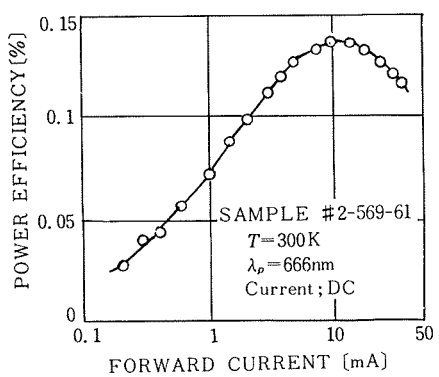

圖 7　外部 發生効率과 順方向電流

温度로서 가깝게 한다. 이 實驗結果로부터 發光피크 波長의 温度係數를 求하면 0.33nm/deg로 되어 있다. 이 값은 通常의 표시용으로서 쓰여지고 있다. $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ 赤色 LED의 값은 거의 같게 된다.

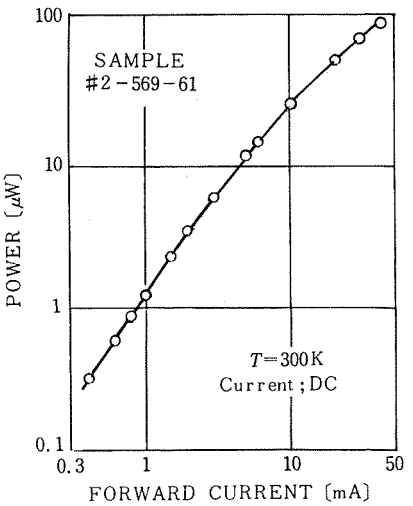

圖 8　光出力과 順方向電流

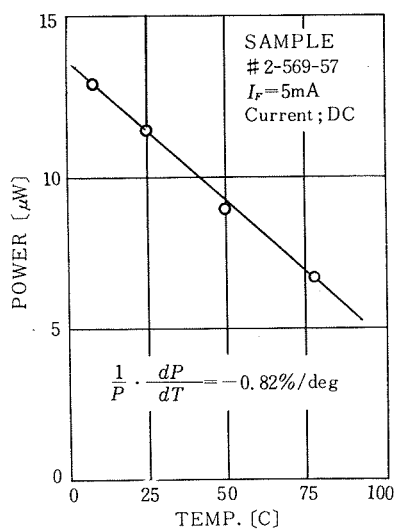

圖 9　光出力의 温度依存性

② 發光効率, 發光出力 特性

驅動電流에 대한 외부 發光電率 및 光出力의

관계를 圖7, 8에 나타내었다. 外部 發光效率은 구동전류와 함께 증가하여 구동전류 10mA에서 최대로 되며 그 값은 約 0.14%로 된다. 10

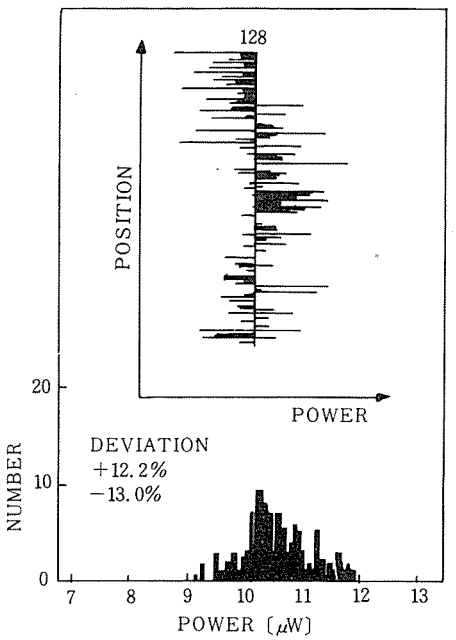

圖10 發光出力 分布

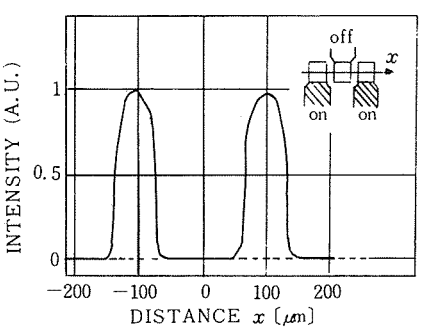

圖11 漏話特性

mA 이상의 전류영역에 있어서는 LED의 발열에 따라 發光效率이 저하된다. 圖9는 周囲温度에 대한 發光出力의 의존성을 푸로트한 것이다. 이 직선의 勾配로부터 얻어진 주위온도에 대하여 發光出力의 변화율은 −0.82%/deg 로 되어 있다.

대표적인 LED 어레이의 發光出力·均衡을 圖10에 나타내었다. 균형의 표시의 하나는 칩 內 128素子의 發光出力의 빈도로서 나타내며 다

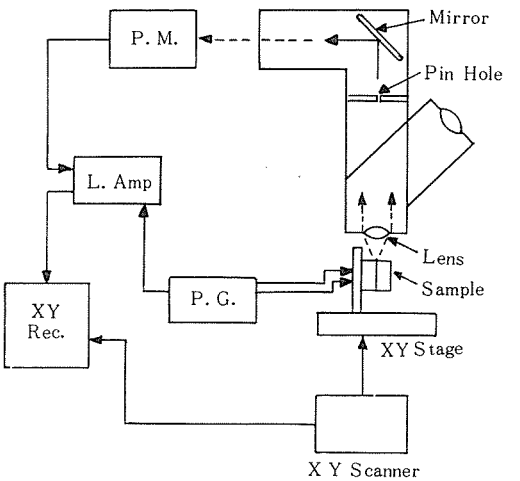

圖12 니어휠드패턴 測定系

른 하나는 各素子의 發光出力을 1～128의 번호순으로 표시하였다.

③ 光漏話 特性

圖11에 LED를 1도트로 놓고 점등할 때 니어휠드 패턴이 있다. 측정은 圖12에 나타난 測定系에 따라 행한다. 驅動電流는 5mA로 되며 系의 分解能은 7μmφ로 된다. 측정의 결과 점등하지 않은 도트의 중심으로부터 光은 觀測되며 光漏話는 모두 문제가 없지 않다고 생각한다 630nm LED에 비교하면 660nm LED의 光漏話量이 적어지는 것은 發光波長의 結晶內部 에서 吸收效果가 660nm에 있어서는 뚜렷하기 때문이다.

② 印字 特性

感光드럼상의 光像은 光프린터의 印字性能을 좌우할 最大要素의 하나이다. 即 개개의 LED像의 光強度 패턴이 샤프로 되어 있을 필요가 있다. 이것은 LED의 發光패턴 및 光學系에 支配된다. 또한 感光體에 따라서는 인접한 LED로부터 光漏話에 敏感한 특성을 가지고 있는 것도 있어 LED 도트間의 光漏話가 없는 것이 바람직하다.

660nm GaAsP LED 어레이는 光漏話가 대단히 적고 프린터 光源으로서도 適合하다. 圖13에서 보는 바와 같이 高印字 品質의 印字 샘플을 얻을 수 있음에 따라 光書込系로서 충분한 성능을 갖추고 있다고 생각한다.

本 프린터는 電子写真記録方式을 쓴 인테리젼트·코피어의 實現試作한 것입니다. 코스트 성능을 높히고 超小形·輕量化를 圖密度의 發光다이오드(LED) 어레이 및 長波長帶高感度感光體를 開發

포토 프린터 PHOTO PRINTER
포토 프린터 PHOTO PRINTER
포토 프린터 PHOTO PRINTER
포토 프린터 PHOTO PRI

圖13. 高印字 品質의 印字 샘플

⑧LED 어레이의 信賴性

포토 프린터의 高分解能과 高速性을 실현하려면 發光單位 도트의 發光領域의 미소화와 高電流密度 驅動이 LED에 요구된다. 이것은 지금까지의 單體 LED에 비교하여 過酷한 驅動條件을 課하게 되므로 이를 위하여 高電流密度 驅動에 의한 光出力의 劣化特性과 그 温度 依存性을 아는 것도 특히 중요한 것이다.

여기에서는 포토 프린터의 光書込 光源으로 되어 있는 어레이密度 9.4도트/mm, 集積度 128도트/칩의 모노릭 LED 어레이의 光出力의 變化를 中心으로 한 信賴性 試驗의 결과에 관하여 기술한다.

(8－1) 信賴性 試驗에 쓰는 샘플

VPE－GaAsP 웨이퍼에 캐리어 濃度制御 와 擴散時의 結晶 表面 보호를 목적으로하여 SiO_2를 介在한 Zn의 선택열 확산에 의하여 Pn 接合을 형성하였다. 接合面積은 포토 프린터의 仕様으로 되어 있는 9.4도트/mm의 分解能을 만족할 것 및 P側 電極被覆率을 고려하여 70μm×110μm로 되었다. P側의 오뮤크 電極取出 구조와 電極의 發光領域에 점하는 비율, 即, 電極被覆率은 發光領域에 있어서 電流密度 분포를 결정하는 요인으로서 光取出 효율에 크나큰 영향을 주었다. 그러나 Pn接合 깊이는 이 電流密度 분포를 고려하여 결정하지 않으면 안된다. 圖14에 LED構造圖를 나타낸 것과 같이 P側電極은 片側取出로서 接合面積에 대한 電極被覆率은 23%로 되었다. 이 電極形狀에 있어서 發光出力이 최대로 되는 Pn接合 깊이를 구하면 接合 깊이는 x_i=7μm로 된다. P側 오뮤크 電極材料는 Al, n側은 Au－Ge－Ni를 쓴다.

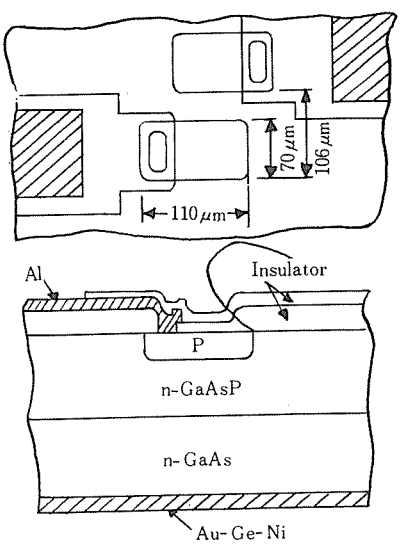

圖14 LED 構造

또한 LED의 파쓰헨숀膜으로서 PSG膜을 써서 Au 와이어에 의한 와이어본딩後, 表面에 실리콘 와니스를 塗布했다. 최후로 투명프라스틱 캡을 붙인 것을 시험샘플로 하였다. 이와 같은 構造를 가진 LED 어레이의 도트의 대표적인

光學的, 電氣的 특성을 表4에 나타내었다. LED의 驅動電流 密度의 下限은 프린터가 결정한 印字 스피드를 실현하는데 필요한 光出力에 따

表 4. 光電特性

項 目	条 件	特性値 (typ.)	單 位
順方向電圧	I_F=5 mA	1.70	V
逆電流	V_R=3 V	<10	μA
光出力	I_F=5mA	10	μW
發光피크波長	I_F=5mA	660	nm
스펙틀半値幅	I_F=5mA	30	nm
應答時間	I_F=5mA	30	ns

라 결정되어 上限은 急速劣化를 가진 格子缺陷 劣化 모드를 발생함이 없이 電流密度로서 규제된다. 프린터의 印字 스피드를 3秒/A4 로서 이 速度를 실현하는데 필요한 光出力을 P=8μW로 하며 이값은 驅動電流 IF= 5 mA(驅動 電流密度 J=65A/cm²)로서 충분히 달성할 수 있다.

(8 - 2) 直流電流 動作試驗

動作電流水準을 I_F= 5 mA, 10mA의 2水準, 으로 설정해 動作時間과 光出力의 변화량의 관계를 구하였다. 試驗 샘플數는 各水準과 함께 4샘플로서 샘플間 및 비트間의 光出力의 變化量 균형도 고려하여 4샘플의 平均變化率 即 128비트×4 =512비트의 變化率 평균을 1측정점으

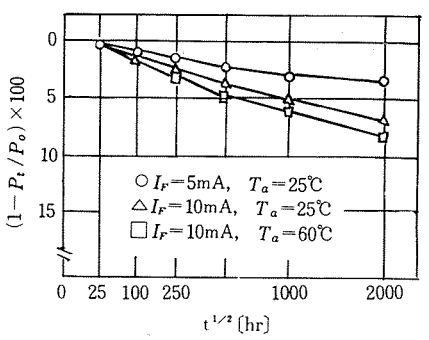

圖15 通電時間 依存性

로서 표시하였다.

圖15에 各水準 動作時間의 $\sqrt{t}$ 와 劣化率 〔(I $-P_t/P_o)\times100$〕의 관계를 나타내었다. 여기에 P_t는 동작시간, t시간후의 光出力, P_o는 初期 光出力이다. 이 결과로 光出力의 劣化率과 $\sqrt{t}$ 의 사이에는 線形關係가 있다는 것을 알게 된다. 光出力의 劣化量을 F(t), 劣化된 反應速度 定數를 K로 하여 劣化量을 다음 식으로 나타내었다.

$$F(t)=Kt^m \quad \cdots\cdots(2)$$

圖16에 나타난 동작시간 $\sqrt{t}$ 와 劣化率의 線形關係로부터 m=½로서

$$F(t)=Kt^{1/2} \quad \cdots\cdots(3)$$

의 표현이 전체로서 타당한 것이다.

또한 動作時間 t=500hr를 한계로 하여 劣化率의 동작시간에 대한 변화량의 비율이 다른 경향을 나타내었다. 이것은 이 LED 어레이의 劣化 모드가 이 時間의 전후에서 달라지는 것을 의미한다. 圖16으로부터 t=500hr를 한계로 하

$$K=A(I_F)^{\alpha}\cdot e^{\frac{EO}{KT}} \quad \cdots\cdots(4)$$

여 前半部分의 劣化는 周囲温度, 即 素子温度와 동작전류에 의존할 경향을 보여 後半部分은 온도의존성이 약하며 動作電流에 依存하는 것이 이해된다. 이 現像을 劣化의 반응속도로부터 생각할 때 다음과 같은 표현이 된다.

여기에서 A는 定數, I_F는 動作電流(스트레스 電流) E_a는 活性化 에너지, K는 볼스만定數, a는 스트레스 加速定數이다. 上式으로부터 前半部分의 反應速度 定數 K′는 동작전류가 일정하면

$$K'=B_e^{-\frac{ED}{KT}} \quad \cdots\cdots(5)$$

後半部分의 反應速度 定數 K″는

$$K''=C(I_F)^{\alpha} \quad \cdots\cdots(6)$$

이 된다.

거기에 電流水準 I_F=10mA의 温度水準 Ta=25℃, 60℃로부터 구하면 K′과 1/T의 어레니우스 프로트로부터 活性化 에너지를 구한 것을 보면 Ea=0.14eV로 된다. 구하여진 이 活性化 에너지의 값은 종래의 低電流 密度動作 $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ LED의 열화에 이루어진 活性化 에너지에 비교하면 극히 적다. 또한 後述한 것과 같이 高温高濕 斷續通信試驗의 Ta=60℃와 85℃ 사이에 光出力의 劣化率에 差가 없다는 것을 생각할 수 있으며 이 試驗温度 水準에서 光出力 劣化의 温度依存性은 무시할 수 있다고 推定된다. 이

와 같이 温度水準 Ta=25℃의 電流水準 I_F=5 mA, 10mA로부터 구하여진 反應速度 定數 K″와 동작전류 I_F의 프로트로부터 스트레스 加速定數 α=2.2가 구하여 졌다. 이 값과 活性化에너지를 비교하면 本LED 어레이의 光出力 劣化는 動作電流 依存性이 커지는 것으로 이해된다.

다음 劣化率 1칩內 128비트 사이의 균형이 동작시간과 함께 어떻게 변화하는가를 劣化率의 표준편차로부터 구하였다. 이 結果 시간과 함께 표준편차는 커지게 되는 경향을 가지고 있다는 것을 인정할 수 있다. 특히, 動作電流値 依存性이 커지며 I_F=5 mA와 10mA 사이에 현저한 차가 존재한다.

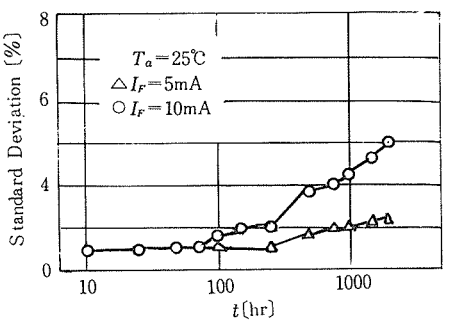

圖16 通電時間對 標準偏差

周囲温度 依存性에 있어서는 큰 변화는 인정되지 않는다. 또한 I_F=5 mA, 동작시간 t=2000 hr에 있어서 劣化率의 標準偏差가 約 2%로 대단히 적은 값이며 128비트間의 劣化 균형이 적고 균일 劣化를 나타내고 있다.

圖16에 I_F=5 mA, 10mA, Ta=25℃의 대표적인 시간대 표준편차의 관계를 나타내었다. LED의 劣化는 素子温度에 依存한다. 이 LED 어레이에 있어서는 어레이의 비트 位置에 따라 放熱特性이 다르며 특히 中心部와 兩端部의 비트에는 光出力의 劣化特性에 차가 생길 것으로 예상된다. 거기에 비트位置에 의한 光出力의 劣化率의 相關關係를 시험하였다.

어레이위의 中央位置로부터 10비트와 兩端部로부터 5비트 計 10비트를 선택해 어레이는 位置에 있어서 變化率의 差를 連數檢定에 의하여 평가하였다. 그 結果 中央部의 곳은 端部로부터 光出力의 劣化가 큰 경향이 관측되었다. 이것은 端部에 비교하여 중심부의 熱放散이 나빠지는데 기인하는 것으로 생각된다. 또한 試驗에 제공되는 全샘플과 함께 I_F=5 mA 및 10mA 에 있어서 V_F의 經時變化를 관측하면 I_F의 실용레벨에서는 어떠한 지장도 없다는 것이 확인되었다. 圖15로부터 動作電流 I_F=5 mA, 周囲温度 Ta=25℃에 있어서 動作時間 t=5,000hr 後의 光出力의 劣化量은 10% 이하로 추정된다.

(8-3) 펄스 電流 動作試驗

실제의 포토 프린터의 LED 어레이 驅動은 펄스驅動에 따라 행한다. 거기에 實驅動時에 문제로 된 펄스驅動에 의한 光出力 變化率의 테디 依存性에 관하여 검토하였다.

테디는 1/10, 1/2, 4/5의 3水準을 설정하였다. 시험 조건을 表5에 나타낸다.

測定샘플은 各水準과 함께 동일 웨이퍼로부터 작성된 어레이에 관하여 행하면 光出力은 128비트 全數 측정하였다. 이 結果 光出力의 劣化率은 테디에 依存해 테디의 증가와 함께 劣化率도 增大했다. 圖17은 이 光出力의 劣化率 $[(1-P_t/P_o)\times 100]$의 通電時間과 테디의 곱으로 累積通電 時間 의존성을 나타낸 것도 있다. 이 圖에 있어서 累積通電時間은 $t^{1/2}$로서 프로트되어 各 측정점은 劣化率의 128비트 平均으로 되었다. 이 圖로부터 이해되는 것과 같이 直流動作에 있어서 光出力의 劣化率의 時間 의존성과 마찬가지로 I_F=10mA, Ta=60℃의 펄스동작에 있어서도 光出力의 劣化率은 $t^{1/2}$과의 사이에 線形關係가 성립되며 累積 通電時間에 대한 劣化率의 크기는 I_F=10mA, Ta=60℃의 直流電流 동작시와 거의 같은 정도가 된다. 또한 累積通電時間 t=500hr 가까이를 한계로 累積 通電時間에 대한 劣化率의 비율이 다르므로 이 前後로서 劣化 모드가 변화한다고 추정된다.

表 5. 펄스電流動作条件

펄스電流値	I_F=10mA
周囲温度	T_a=60℃
Duty	1/10, 1/2, 4/5
펄스幅	1 ms
動作時間	2000hr

(8－4) 패케이징의 信賴性 評價

지금까지 LED 어레이의 光量의 劣化에 관하여는 포토 프린터로서의 驅動電流 領域이 된다.

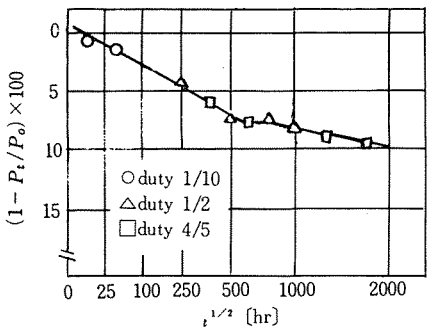

圖17 累積時間 依存性

I_F＝5～10mA의 범위에 있어서 直流驅動, 펄스驅動에 있어서는 충분히 신뢰성이 있다는 것을 기술하였다.

한편 LED의 토틀 신뢰성은 패케이지에 강하게 의존한다. 거기에 光出力의 劣化, 와이야 본딩外에 電極腐食 등의 패케이징에 관계되는 신뢰성을 평가할 목적으로 表6에 나타난 항목에 관하여도 신뢰성 시험을 실시하였다. 通電은 언제나 ON5分←→OFF5分의 斷續通電으로 된다. 결과의 평가는 光出力, 順方向電壓 V_F(I_F＝5 mA), 逆方向耐壓 V_R(I_R＝10μA) 및 현미경에 의한 外觀觀察에 따라 행하여진다. 圖18에 常温通電의 圖19에 高温·高濕通電의 光出力 劣化 특성을 나타내었다. 各 측정점은 시험 샘플 20個의 평균 光出力으로 나타 내었다.

이 결과 지금까지의 通電試驗 결과와 마찬가지로 光出力 劣化率은 動作電流에 강하게 의존함에 따라 劣化率의 단속통전의 ON시간을 합계한 累積 通電時間 의존성의 결과도 直流通電 동작시험에 거의 일치한다. 어떠한 시험결과에 있어서도 특이한 劣化모드는 관측되지 않았다. 이러한 신뢰성 시험으로 평가되는 限 패케이징 의 光出力 劣化에 미치는 영향은 거의 없다고 생각된다.

V_F(I_F＝5 mA), V_R(I_R＝10μA)의 값과 試驗前後로서 변화가 없어 매크로한 전기적 특성변화는 없게 된다. 이러한 결과는 또한 와이어 본딩과 電極部分의 不良의 發生이 전혀 없다는 것을 나타낸다. 현미경에 의한 관찰에 있어서도 電極部分의 腐食, 와이어 본딩 不良은 관측되지 않으며 패케이징의 신뢰성이 확인되었다. 이상의 검토에 따라 GaAsP LED 어레이의 신뢰성에 관하여는 下記의 결론이 된다.

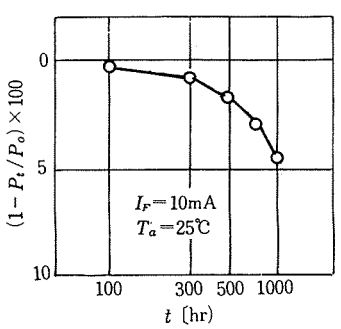

圖18 斷續通電 (Ⅰ)

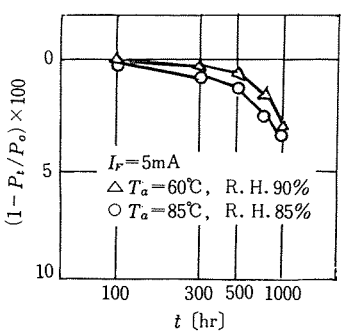

圖19 斷續通電 (Ⅱ)

表6. 試驗項目

試驗項目	試驗條件		試驗時間	試料數
	環境条件	通電条件		
常温通電	T_a=25℃	I_F=10mA(ON5分↔OFF5分)	1000hr	20
高温高濕通電(1)	T_a=60℃, R.H.90%	I_F=5mA(ON5分↔OFF5分)		20
高温高濕通電(2)	T_a=85℃, R.H.85%	I_F=5mA(ON5分↔OFF5分)		20

(1) 直流動作試驗 및 펄스 동작 시험으로부터 포토 프린터의 3秒/A4의 印字速度를 실현하기에 필요한 LED 어레이의 동작전류 영역에서 LED 어레이의 光出力에 충분한 신뢰성이 있다는 것이 확인되었다.

(2) 패케이징의 信賴性을 高温·高濕斷續 通電에 따라 光出力의 劣化 및 전기적 특성에 따라 평가한 결과 패케이징의 신뢰성에 관하여도 확인할 수 있었다.

(3) 光出力의 劣化量은 동작시간 $\sqrt{t}$ 와 線形關係가 있으며 驅動電流 의존성이 강하다.

(4) 펄스 電流動作의 光出力 劣化는 累積 通電時間律速이 성립한다.

9) 現像·定着

현재 실용의 영역에 있는 現像法으로서는 2成分 磁氣브러시 現像法, 液體現像法, 1成分磁性 트나現像法이 있다.

이러한 現像法을 비교하면 表7에 보는 바와 같이 分解能에는 液體現像法이 가장 우월하나 1成分磁性 트나현상에도 10本/mm의 分解能은 충분히 있다.

또한 小型化 적성에 관하여는 1成分磁性 트나 현상이 가장 우월하며 保守性에 관하여도 溶媒가 불필요한 점과 캐리아교환의 필요가 없는 점때문에 1成分磁性 트나 現像法이 가장 우수하다.

表7. 各種現像法의 比較

比較項目 / 現像方式	小形化適性	分解能	保守容易性
2成分系磁気브러시現像	△	○	△
液体現像	△	◎	△
1成分磁性트나現像	◎	○	◎

LED 프린터의 목표가 장치의 小型化에 있다는 것이기 때문에 LED 프린터에는 1成分磁性 트나에 의한 反轉現像法을 채용하였다. 定着에 관하여는 壓力定着法을 채용하였다. 壓力定着法은 프레히트가 불필요하기 때문에 電源投入과 同時에 사용 가능한 것이라는 장점을 갖추었다.

이것은 LED 프린터를 端末機로 하여 사용하는 경우, 중요한 구비조건이 된다. 종래의 光프린터는 熱定着法이 쓰여지기 위하여는 裝置 전체로 1KVA 이상의 消費電力을 필요로 하였으나 本 장치는 壓力定着의 채용에 따라 0.3KVA 이하에서 할 수 있으며 또한 熱을 쓰지 않기 때문에 發火 등의 위험이 없으며 定着部와 다른 기구부를 密着하여 實裝할 수 있기 때문에 장치의 소형화에도 적합하다. 本 프린터의 小型化를 목표로 한 高密度 LED 어레이를 光源으로한 印字方式을 검토해 高輝度, 電高密 LED 어레이 및 長波長 高感度 感光體의 開發과 1成分磁性 트나 現像法, 壓力定着의 실용화에 의하여 超小型·경량의 LED 프린터가 실현할 수 있다는 것을 보여 주었다.

LED 프린터의 특징으로서는

(1) 超小型·輕量
(2) 高速印字
(3) 高解像
(4) 低消費電力
(5) 保守·操作의 容易性
(6) 高信賴性
(7) 低騷音

를 들 수 있으며 이 프린터는 디스 플레이의 하드 카피장치, 漢字/圖形프린터, 超高速 픽스 등 다양한 시스템에 적용할 수 있는 柔軟性을 가지고 있으므로 지금부터 오피스 가운데 다양한 요구에 따른 出力裝置가 된다는 것을 생각할 수 있다.