

LEDプリントヘッド開発の話

安孫子 一松

光源にLEDアレイを採用した電子写真プリンタは、沖電気にとって独自性の強い商品である。このプリンタを開発してすでに25年になり、現在光プリンタ市場での地位も確保された。LEDプリントヘッドは開発当初、LEDアレイの歩留まり、光伝達手段、実装技術など不安材料も多かったが逐次解決されてきた。本稿では主にLEDプリントヘッド開発初期の状況と、これまでの経緯を紹介する。

光プリンタにLEDアレイ全固体化光源

1977年頃の沖電気は「端末装置の沖」といわれ、とりわけプリンタ市場では確固たる地位を築いていた。当時インパクトプリンタが真っ盛りだったが、10年後に到来するであろう光プリンタ時代への準備が始まっていた。そのころ光プリンタといえば、光源にレーザを使うのが常識だった。これは、レーザ光源としてヘリウムネオンガスレーザ、光走査に回転鏡、そしてレーザ光投影レンズで構成される。しかしどれ一つとして自製できるものはなく、レーザ方式は諦めざるを得なかった。しかし沖には目指す光プリンタが実現可能なLED技術があった。

デバイス開発者の当時の夢は「全固体化」だった。光源の固体化、光走査機構の固体化そしてヘッド全体の固体化である。レーザプリンタのような回転鏡による光走査に対して、LEDアレイの1ライン一斉発光方式はこの夢をかなえてくれる好適なデバイスであった。

LEDヘッドの基礎技術はあった

LEDヘッドを実現するための基礎技術開発は、さかのぼること12年前1965年に、LED技術習得のため一人の研究者が東北大学電気通信研究所の西澤潤一教授のもとに派遣されたときから始まる。筆者は当時西澤研究室の学生であり、まさかこの研究者と同じ会社でLEDヘッドを永きにわたって開発するとは思ってもよらなかった。LEDの研究開発は実を結び事業化され、LEDランプやLEDアレイが製造されることになる。またこの技術は、光通信のキーデバイスである半導体レーザの基礎ともなる重要

な技術となった。LEDヘッドのもう一つの基礎技術はサーマルプリンタである。沖はサーマルプリンタを装着したファクシミリ装置を世界に先駆けて開発しており、この市場ではスタンダード商品であった。このように沖はプリントヘッドの技術は得意としていた。

LEDアレイ開発への挑戦

LEDプリンタの研究開発は、当時の電信電話公社（現NTT）横須賀電気通信研究所殿との共同研究として出発した。沖の総指揮者はまだ40歳そこそこの部長クラスの方々だった。また、LEDアレイを光源にする考えは、横須賀電気通信研究所の若き研究員によって提案された。

当時のLEDのアレイ化技術は揺籃期にあり未熟だった。その例として、架間伝送光通信の光源に10素子/チップのLEDアレイを開発していたが、1チップの発光出力バラツキを±15%以内に収めようとする、チップ製造歩留まりはわずか1%であった。このチップをプリンタの光源として128素子/チップに拡張し、チップ製造歩留まりを30%以上確保しようとするれば、桁違いの改善が必要であり、遠い世界のように思われた。しかしそれは2年後、LED技術者によって実現できたのである。

結晶品質を悪くする研究に成功

LEDアレイのパワーがいくら大きくともバラツキが大きければプリンタの光源として使えないが、パワーがある程度小さくても均一であれば可能性は出てくる。初期のLEDアレイはパワーの大きいドットと小さいドットの差が激しかった。LEDパワー差の原因は、発光部の結晶欠陥密度の差にあった。1枚のウェハ内で結晶欠陥の多いところと少ないところが混在していたのである。ウェハ全面で欠陥を無くすのが理想であるがそれは不可能だった。それよりある程度の欠陥があっても均一に散らばっていれば、発光ばらつきの少ないLEDアレイができるはず、と考えた。以後均一な欠陥を生成する研究となった。

LEDは、ガリウム砒素（GaAs）基板の上にガリウム砒素燐（GaAsP）をエピタキシャル成長技術で積層した構

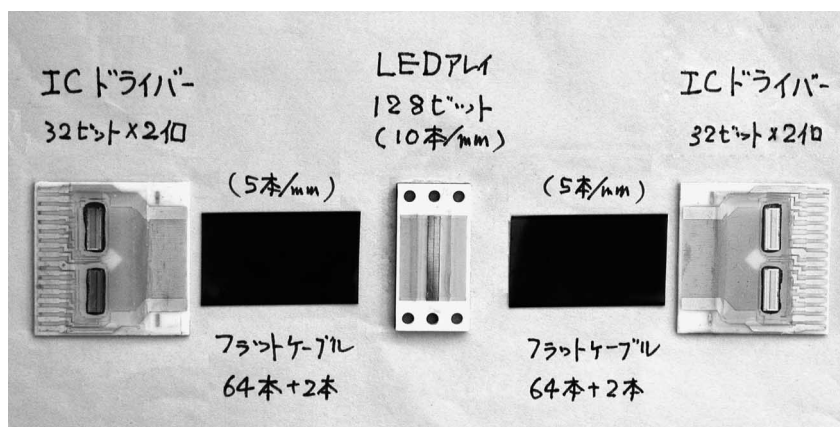


図1 128素子LEDアレイとICドライバセット

造となっており、発光部はGaAsP層に形成される。このときGaAs結晶の格子ピッチとGaAsP結晶の格子ピッチがわずかに異なるために（格子不整合）GaAsP内部に結晶の乱れ、すなわち結晶欠陥が発生する。試行錯誤の末、GaAsP結晶の新しい構造とそれを可能にする結晶成長プログラムを考案し、欠陥をウェハ全面均一に生成できた。この結果、欠陥密度は100倍に増えパワーは10分の1に減少したものの、パワー均一度が±15%以内に収まるLEDチップの歩留まりが30%以上実現できた。そして欠陥によるパワー劣化現象もなく十分な信頼性も確保できた。この時点で、LEDのアレイ化技術方針と、LEDアレイを光プリンタの光源に使うことの妥当性が確信できた^{1) 2)}。

図1は128素子/チップ、10素子/mmのLEDアレイであり、両側にICドライバがフラットケーブルで接続される。

レンズはどうする

LED像を感光ドラムに写しこむ方法として、まず光ファイバプレート光学系の開発に着手した。内視鏡に使われる光ファイバスコープを短くしたようなものである。すなわち光ファイバプレート的一端にLEDアレイを近接して配置し、他端を感光ドラムに配置してLEDの像を写しこむ方法である。図2は図1のLEDアレイと光ファイバプレートを用いて初めて印字したサンプルである。

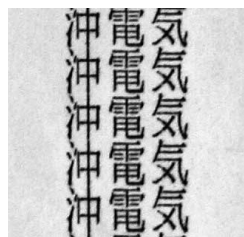


図2 LEDアレイと光ファイバプレートを用いた初の印字サンプル

しかしこの光学系には問題があった。光ファイバプレートと感光ドラムとの距離は近いほど像は鮮明になるが、感光ドラムは回転するので接触しない程度の間隔が必要である。しかし間隔が狭いためトナーが光ファイバプレート面に付着したまま離れず、光が遮られて印刷不可能になった。諸対策は

講じたが、この方法は放棄せざるを得なかった。

おりしも、光通信の伝送路に使われる屈折率変化型光ファイバの応用として、結像機能を持つロッドレンズアレイが登場した。このレンズはガラスの屈折率変化による光の蛇行を巧みに応用しており、等倍率で正立実像を結像する性質を持つ。これまでの光ファイバプレートのように端面にLEDの像を結ぶのではなく、カメラレンズのように空間に像を結ぶ。このため、

レンズとLED間およびレンズと感光ドラム間とも数ミリメートル離して配置できるので、前述トナー付着問題は解消された。しかもLEDアレイと感光ドラムとの距離はせいぜい数センチメートルであり、LEDヘッドの小型化を発揮するにはまさに打って付けのレンズだった。当時、解像度や耐湿度性など十分ではなかったが、現在1200dpiまでの解像度を持つまでになった。また耐湿度性もまったく問題ない。

残るは実装技術

LEDアレイと駆動ICの実装形態は、すでにサーマルプリンタのお手本があり、LEDアレイを1列に配置し、それと並列に駆動ドライバを置き、ワイヤボンディングすれば良いことは分かっていたが、そう簡単ではなかった。サーマルプリンタの発熱部は全面一括で形成されるが、LEDチップの長さはせいぜい10mm程度であった。これは、当時のLEDウェハの大きさは直径2インチ程度であり、またLEDアレイの歩留りも考慮に入れると10mmあたりが限界であった。したがってA4判にするには基板上に約20チップを一直線状に正確に整列しなくてはならない。まず、隣接チップの最端部の発光素子間隔を印字ピッチに合わせるためには、発光セルぎりぎりの位置でダイシングし、しかもチップ内部にクラックなどの欠陥を入れてはならない。さらにLEDチップを数ミクロンの位置精度でダイスボンディングする必要がある。当時はこのような技術はなかった。

そこで図3のように、LEDアレイが空間的にぶつからないよう千鳥足状2列に配置し、ロッドレンズアレイを各列に対置させる構成とした。これにより、LED像は感光ドラム上で連続かつ一直線状に投影できる。製品化はひとまずこの形でスタートしたが、その後LEDチップに破損を与えないダイシング技術と高精度位置ダイスボンディング技術の開発により、LEDアレイは1列配置された現在の形態になっている。

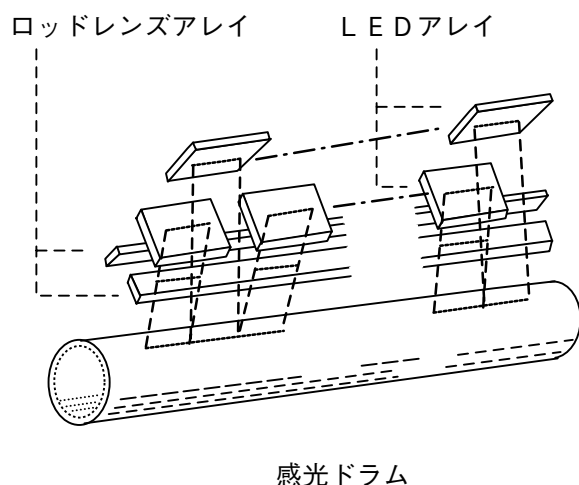


図3 ロッドレンズアレイを2本使ったLEDヘッド

LEDアレイ光源プリンタ誕生

LEDの発光パワーと並んで、感光ドラムの高感度化が印字速度を支配する。セレン系感光ドラムの高感度化とLED発光パワーの向上によって、光感度・光出力積で10倍以上の性能改善が達成できた。

1979年LEDアレイ光源の電子写真プリンタとして、印字密度10dot/mm、A4判で毎分20枚の卓上プリンタを発表^{3) 4) 5) 6)}した。その後1981年からプリンタ事業が開始された。

LEDヘッド技術の進展

LEDプリントヘッドはLED素子、駆動回路、光学技術、実装技術による総合技術からなり⁷⁾、各々技術進展は著しいものがあつた。ここではLEDアレイの高密度化とパワーの高出力化を紹介する。

(1) ドット密度1200dpi達成

まず印字の高密度化では300dpiから600dpi、そして卓上型では世界で初めて1200dpiを実現した。LEDの発光部、すなわちPN接合部を形成するこれまでの方法は、気相拡散方式といい、気体状の不純物を結晶表面に導き、加熱によって結晶内部に拡散する。この方法によれば、不純物を高濃度で染み込ませるために長時間加熱を要する。このとき不純物は深さ方向と同時に横方向にも進み、ドット間隔が近いと隣同士がくっつくことになる。1200dpiでは発光セルのピッチが20ミクロン、発光素子の大きさが10ミクロンと不純物拡散距離に近く、この拡

散技術では制御が困難であつた。これは不純物が低濃度な気体であることに起因している。

これに替え、浅くとも高い不純物濃度で拡散できる独自技術を開発した。これは不純物の高濃度な固体物質を、拡散する場所に直接成膜し、その後短時間で加熱する技術である。これを固相拡散技術^{8) 9)}という。これにより1200dpiはもとより、さらなる超高密度ヘッドの可能性を示した。

1200dpi印字密度は、ライバルのレーザープリンタでは難しい領域である。すなわちレーザー方式では光スポットを小さく絞るのに特殊な工夫が必要となる。まずレーザーの発光波長を短く、すなわち現在の赤外波長を青色波長にすることが要求される。これはいずれ高密度光ディスクの到来とともに実現されるであろうが現在ではまだまだ高価である。また光学レンズも課題がある。すなわち現在の低コストな射出形成プラスチックレンズでは解像度に限界があり、研磨が必要なガラスレンズと併用せざるをえず高コストとなる。これにも増して困難なのは、高密度化に伴い走査鏡の鏡を大きくし、かつ回転速度を上げなければならないことであり、鏡の破壊やモータの大型化、騒音などが問題になる。LED方式では電氣的発光制御によるのでこのような制限は全くない。

(2) 発光パワー10倍

技術的進展の他のひとつは、従来の10倍以上の発光パワーが得られたことである。この高パワーLEDの構造はダブルヘテロ接合として知られているが、この構造を基本としてさらに電極構造の工夫と、固相拡散方式を取り入れた技術を開発することで目標が達成できた¹⁰⁾。

同時に、LEDプロセスの簡易化を目的として、GaAsPからAlGaAs材料への転換に成功した。

これによりまず、印字速度ではレーザープリンタを凌ぐ超高速印字が可能となった。とりわけ、駆動ICの電流負荷が軽くなり、チップの小型化によって低コストに大きな効果があつた。

(3) これからの可能性

全固体で超小型、そして高密度・高速印字などLEDヘッドは多くの特徴を持ち、これを如何なく発揮できる高速カラープリンタや超高速大型プリンタ領域での躍進が大きいと思われる¹¹⁾。またこれを機会にLEDプリンタの仲間が増えれば幸いである。LEDヘッド技術は未だ発展途上にあり、さらなる可能性が出現すると考えられる。これによるLEDプリンタおよびLEDヘッド市場の拡大を期待したい。

表1 LEDヘッド開発経緯

年次	トピックス
1965	東北大学西沢潤一教授御指導によりLED技術修得 1996年より沖でのLEDデバイスの研究開始
1977	光プリンタ共同研究開始 －LEDアレイ光源電子写真プリンタ構想－
1979	10dot/mm 128dot/チップ、 光出力7uW、バラッキ±15%以内のLED アレイの試作に成功 －LEDのアレイ化技術方針の妥当性を確認－
1979	感光ドラムとLEDの、光感度・光出力積で12 倍の性能改善。光ファイバプレート光学系を 用いて最初の印字。集束性ロッドレンズアレイを 用いての印字に成功
1979	LEDアレイ光源プリンタとして、解像度 10本/mm、A4判、印字速度20PPMを達成。 －世界初－
1981	LEDアレイ光源プリンタ製品化開始 OPP6100(240dpi) 1986年300dpiプリンタ製品化 1988年LED印字方式普通紙FAX製品化 1991年600dpiプリンタ製品化
1996	1200dpi LEDアレイ開発 1997年1200dpiプリンタ製品化
1998	超高パワーLEDアレイ開発
1998	600dpiカラープリンタ製品化

- 5) “第3の光プリンタとして登場する発光ダイオード・プリンタ”, 日経エレクトロニクス, 1981年5月25日号, pp.114-128
- 6) K.Tateishi, Y.Ikeda, S.Kotani and S.Nakaya: “Optical Printer Using LED Array”, SID 81 Digest, pp.66-67
- 7) 安孫子: “LEDアレイプリンタ記録・記憶技術ハンドブック” 丸善株式会社, pp.293-298
- 8) M.Ogihara, M.Taninaka and Y.Nakamura: “Open tube zinc diffusion into GaAs0.8P0.2 using AlN and SiNx cap films”, J. Appl. Phys. Vol. 79, pp.2995-3002, 1996
- 9) T. Shimizu, M. Ogihara, M. Taninaka and Y. Nakamura: “1200dpi LED Printhead”, Proceedings of Japan Hard Copy, pp.125-128, 1996
- 10) M.Ogihara, H.Hamano, M.Taninaka, H.Kikuchi and Y. Nakamura: “High Speed 1200 dpi LED Print-head” Proceedings of PPIC/JP, pp.257-260, 1998
- 11) 安孫子: “タンデムカラープリンタ用LEDの基礎と動向”, 第51回日本画像学会講習会, 平成13年7月18-19日

● 筆者紹介

安孫子一松: Ichimatsu Abiko.株式会社イー・イー・ジイ

あ と が き

表1にLEDプリントヘッド開発経緯をまとめた。本稿では主にLEDプリントヘッド開発初期の状況を紹介してきた。困難は多々あったが勢いでここまでこられた、というのが実感である。特筆したいのは、この事業の創始者である当時のミドルエイジ指導者のリーダーシップと、それにも増してLED技術に対する先見の明であり、この技術を受け継いだ一人として深く敬意を表したい。

またここまでこられたのは、LEDプリンタに将来性を託して事業を継続してきた方々と、LEDヘッド技術に強い思いを入れて育ててきた多くの技術者による。◆◆

■ 参考文献

- 1) “新しいプリンタ用発光ダイオード・アレイ開発”, 日経エレクトロニクス, 1979年9月17日号, pp.61-64
- 2) 立石, 仲矢: “光プリンタ用LEDアレイ光源の検討”, 昭和55年度電子通信学会通信部門全国大会公園論文集, 592, p.1-211, 1980年9月
- 3) 立石, 池田, 小谷: “LED プリンタ”, 電子通信学会技術研究報告(画像工学), IE80-71, 1980年10月
- 4) 立石, 星野, 安孫子: “LEDアレイを光源とする光プリントヘッド”, 電子通信学会技術研究報告(画像工学), IE81-4, 1981年4月