

Chapter 1

μ -LED の基本解説

1. μ -LEDとは

μ -LEDは、LED(発光ダイオード; Light Emitting Diode)の1種である。LEDは、照明灯やバックライト等の光源として広く普及している光半導体であり、その発光機構を図1-1に示す。LEDは紫外・可視・赤外の幅広い領域の光線を発することができる(図1-2)。

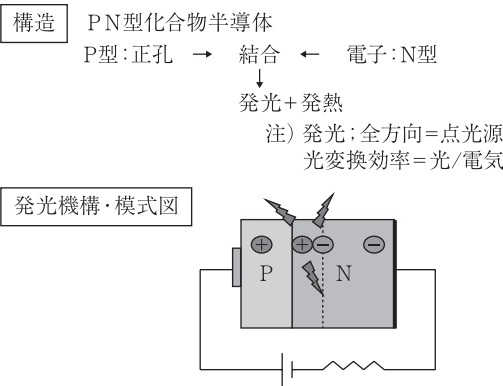


図1-1 LEDの発光原理

化合物と発光波長

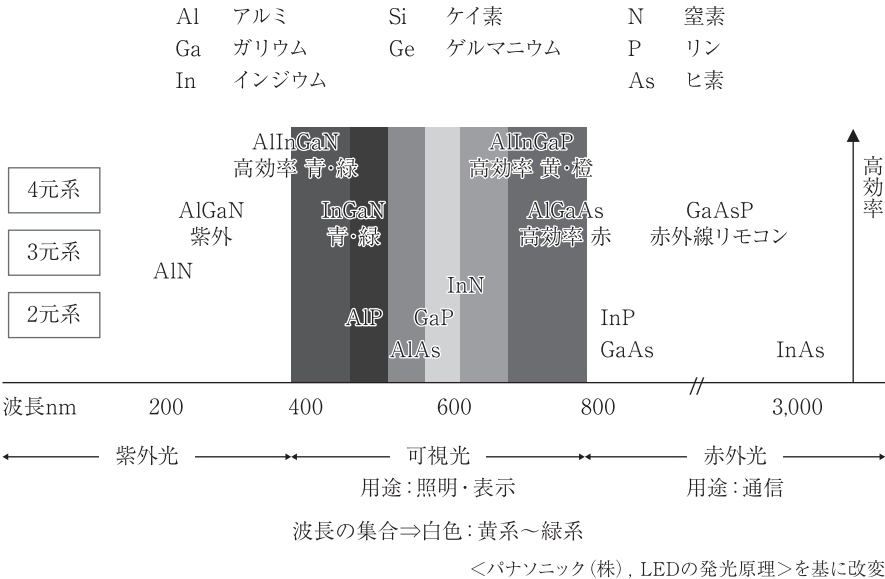


図1-2 LEDの発光波長領域(カラーの図は巻頭ページに掲載)

μ -LEDは名称の通り「微小LED」=マイクロLEDを意味し、技術的には「画素化LED」と称することができる。これと対比すると、通常のLED(汎用LED)は「巨大LED」=マクロLEDと呼ぶことができる。発光素子個片(チップ)一つの大きさを比較すると、汎用LEDはmm領域の寸法、 μ -LEDは μ m領域の寸法を有する。汎用LEDは、電球や蛍光灯の代わりに照明用光源として用いられている⁸⁾。一方、 μ -LEDは、主にディスプレイの自発光型光源を想定して開発されている(図1-3)。このため、 μ -LEDは、数万個以上のチップを集合体(ユニット)にした製品を想定し、ディスプレイへの搭載を想定している(図1-4)。こうしたことから、 μ -LEDは「集積LED」、汎用LEDは「個別LED」と表現することもできる。 μ -LEDを集積化=ユニット化する技術(特に、工業的製法)の難度は非常に高く、現在まで難航しているのが実状である。これに関しては、次章以降で詳しく説明する。

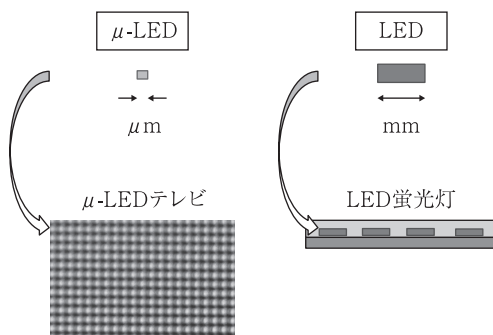
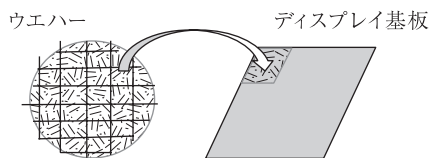


図1-3 μ -LEDの大きさ

μ -LED: チップ集合体を基板に搭載



LED: 個々のチップを基板に搭載

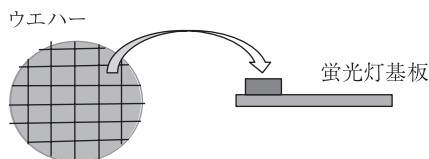


図1-4 μ -LEDの取り扱い(例; 基板搭載)

Chapter 2



μ -LED および μ -LED ディスプレイ 製造技術と
量産化の課題

本章では、 μ -LEDの量産技術に関する開発動向を解説する。現在のところ、 μ -LEDは開発途中であり、疑似 μ -LEDが試作または特殊用途で発表されている段階である³³⁾。技術面およびコスト面でのハードルが非常に高く、「真の μ -LED」の実用化には至っていない状況である。そこで、LEDの小型化および集積化に関連する技術および情報をまとめ、真の μ -LEDを開発するための課題を整理する。

1. LEDおよび集積回路の製法

LEDは個別素子(ディスクリート; Discrete)と呼ばれる単機能型の半導体に属しており、光を発する機能を有するため光半導体にも分類される。一般的には、LED = 発光ダイオードは「小さな電球」と表現するのがわかりやすい。Chapter 1で、 μ -LEDはチップの集合体 = 集積LEDとして取り扱うことの必要性を説明した。半導体分野では、この集合体と類似の表現として集積回路(IC; Integrated Circuit)という用語が知られている。本項では、LEDおよびICの製法を概説し、 μ -LED実用化の要因である「マイクロ集積化」および「マイクロ回路形成」の製法を理解するための参考とする。

1.1 LEDの製法

LEDは、基板の上に化合物を積層し、次に電極を形成し、そしてチップに切断し製造する³⁴⁾(図2-1)。つまり、LEDは製造の最終工程の切断により絶縁分離され独立した発光体になる。また、基板の種類によりLEDの電極構造が異なる。GaN基板を使用する場合は対面型LED、サファイア基板を用いる場合は同面型LEDの構造になる(図2-2)。いずれも、LEDの主たる用途は照明であり、光を幅広く照射する必要がある。LEDは光を全方向に出射する。対面型

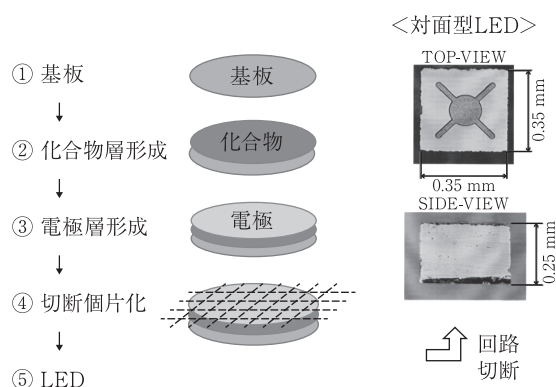


図2-1 LEDの製造方法

2. μ -LED 製造技術の課題と実状

本項では、「真の μ -LED」を実用化するための諸問題を説明する。LED の小型化、 μ -LED への各種アプローチを取り上げ、 μ -LED 製造技術の課題を明確にする。

2.1 LED の小型化技術：CSP-LED/MJT LED

現在、LED は日常生活で使用される汎用商品となっている。また、今後も各種用途でさらなる成長が期待されている⁴¹⁾。大きな市場が見込まれると、技術開発は加速する。例えば、LED の小型化の動き = 「CSP-LED」(Chip Scale Package type LED) の開発である⁴²⁾。CSP は半導体では一般的な語句であり、チップ寸法まで極小化を進めたPKG の呼称である。

日本では、(株) 東芝がCSP-LED の技術発表を行っている⁴³⁾(図2-10)。Si 基板の上に同面型青色LED および電極を形成し、LED 部分を物理的に切断した後に一括封止方法 = MAP (Molding Array Package) 成形法³⁷⁾にて樹脂封止する。その後、Si 基板を剥がし、LED 裏面に黄色蛍光体を形成、個別に切断し0.65 mm 角の白色LED を製品化する製造方法である(図2-11)。同社は、Si 基板を用いることから「GaN on Si」、ウエハー状でPKG 化することから「WLP」(Wafer Level Package) の技術を応用するとしている。同社の発表したCSP-LED 製法

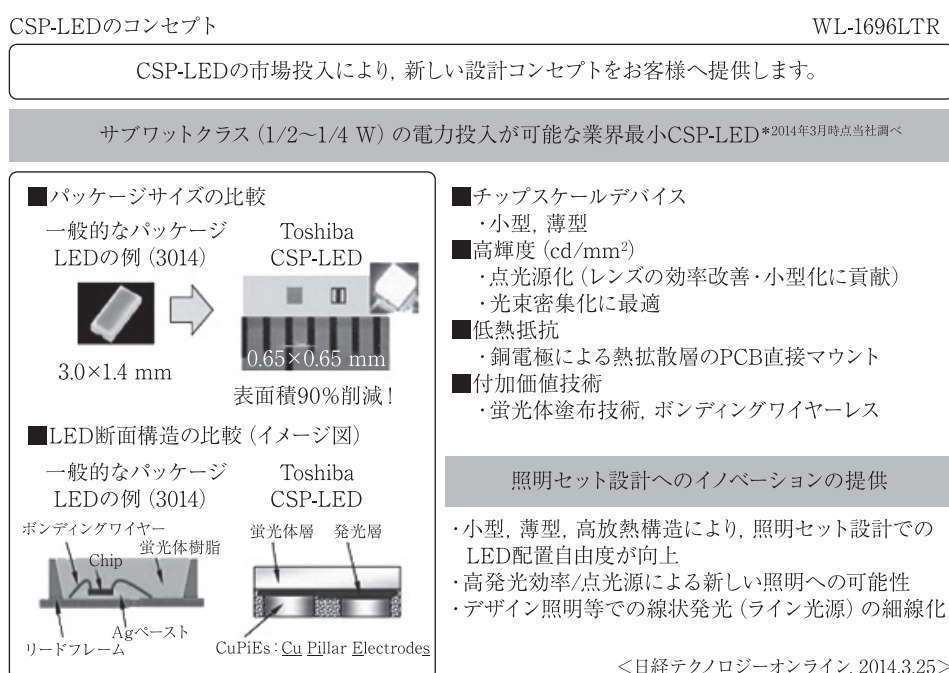


図2-10 CSP-LED の構想

Chapter 3

ディスプレイ分野以外への μ -LED応用の展望

本章では、 μ -LEDが実用化した場合におけるディスプレイ用途以外への応用展開の可能性について述べる。本章で取り上げる用途は、ディスプレイ光源用途より高付加価値で技術難度も低いと考えられる。よって、 μ -LED開発のビジネス目標として検討する価値は大いにあると思われる。

1. 光伝送用途

これまで、電子機器は情報伝送の「高速化」を重要な目標として開発を進めてきた³⁷⁾。これには、電子機器の心臓部である半導体間を高速で情報伝達することが必要である。しかし、半導体は電力で動作するので、情報伝達には伝送速度の遅い電気信号を用いることが強いられてきた。このため、情報伝送時間を速めるには半導体間の距離を短縮し高速化する方法で対処した。例えば、半導体を並列するMCM(Multi-Chip Module)が開発され、次に半導体を積層するCoC(Chip on Chip)やPoP(PKG on PKG)といった3DP(3 Dimensional PKG)が開発されてきた(図3-1)。しかし、電気信号による高速化手法に限界が見えてきたため、信号を電気から光に代えて伝送速度の向上を図る試みが模索されている⁹²⁾。この短距離情報伝送光信号の発光用光源として、 μ -LEDユニットが期待されている。従来の発光用光源(RCLED, VCSEL, LD)は主に通信装置間の光伝送で使用されている。例えば、長距離(大陸間、都市間等)光通信の光源としてLDが普及している(図3-2)。また、赤外線通信用光源としてLEDが使用されている。しかし、これらの光源は寸法が大きすぎて、小さな半導体チップ内に組み込み、チップ間の光伝送を行う光源としては採用できない。そこで、 μ -LEDを光伝送用光源として使用することが考えられる。例えば、 μ -LEDユニットと受光ICユニット(CMOSセンサー)の画素を1対1で対向配置した光伝送型3DPを想定する(図3-3)。この場合、 μ -LEDの発光色は光伝送用信号として用いる単色(例：青色)だけでよい。また、受発光ユニットの寸法を画素50 μ mそしてユニット1 mmと仮定すると、 μ -LEDの信号伝送は4万か所となる。従来の電気信号による接続箇所(<300)に比べて桁違いに多くなり、多点での高速伝送が可能となる。さらに、光伝送方式は半導体の電気接続端子数を大幅に削減することもできる。現在、半導体は情報伝送高速化のため電気信号をデジタル化(1/0信号化)している。電気信号をアナログ波からデジタル波にするためにはグランド配線＝電気信号以外の電気接続が必要となる(図3-4)。光伝送方式では、このグランド配線が不要となる。

なお、電子機器の電気回路を光回路＝短距離光伝送に進化させ、情報伝達の高速化を図る検討も行われている⁹³⁾(図3-5)。ただし、現状では回路基板に光伝送回路を組み込むには時間が必要と思われる。これまで、電子機器の設計は、光伝送の知識に乏しい電気・電子分野の技術者が担っている。また、光信号の検討は古典的な長距離光通信分野で行われている。つまり、短距離の光伝送は新規の開発案件であり、これから開始される状況＝開拓段階にある。光通信

分野では信号の暗号化(プロトコル)⁹⁴⁾は常識である(図3-6)。ところが、短距離光通信では第1層(物理層)の制御チップですら新規開発が必要となる。Chapter 2の2.4項で述べたように、日本ではソニー(株)や(株)東芝が短距光通信に挑戦したが途中で断念した経緯がある。また、米国・インテル社も同様な開発計画(Light Peak)を発表した⁹⁵⁾(図3-7)。しかし、計画はいつの間にか電気信号(Thunderbolt)にすり替わった(図3-8)。即ち、光通信の常識で開発すると短距離光伝送は実用化しない。光信号をそのままデジタル信号(1/0信号)として用いる光伝送技術の開発が必須となる。このためには光通信から光伝送への発想の転換が必要である。まず、チップ間の光伝送型3DPで実用化検討を行い、その技術知見を応用して基板間の光伝送へと開発を進めるのが妥当だと思われる。

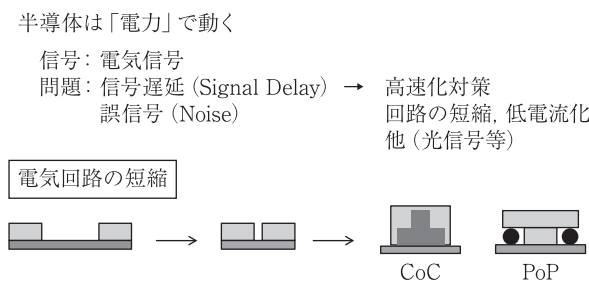
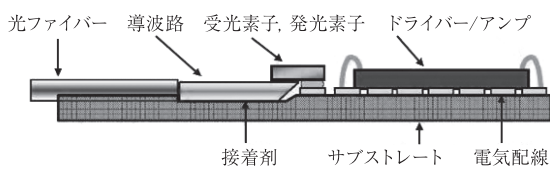


図3-1 半導体の高速化検討

通信方法

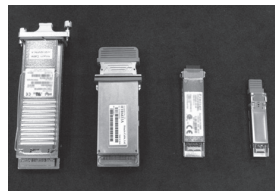
	発信機	受信機
波長	1,300または1,500 nm	
光半導体	LD	PD
制御部品	Driver	Amp.
光ファイバー	石英製	
送受信法	1芯双方向, 2芯単方向	
通信距離	(10~50 km) × n	

長距離光通信用送受信機



<日経エレクトロニクス, 2001.12.3>

製品



<ASCII×TECH, 2009.6.30>

図3-2 長距離光通信の方法

Chapter 4

汎用の光半導体およびディスプレイの情報

本章では、汎用光源として定着している「LED」および「OLED」について、その開発経緯および開発動向について説明する。また、これら光源を利用した自発光型およびLCD型のディスプレイの開発状況についても解説する。 μ -LEDが普及するための課題が、本章を読めば浮き彫りとなる。新規技術は、常に既存技術との戦いである。新規技術は、既存技術と比べて「性能」および「コスト」の両面で互角以上の立場となっており、初めて実用化＝商品化の動きが出てくる。

1. LEDの歴史と今後の進化予想

最近、LEDは性能が向上すると共に価格も低下し急速に普及している。この歴史およびこれからの進化予想について説明する。

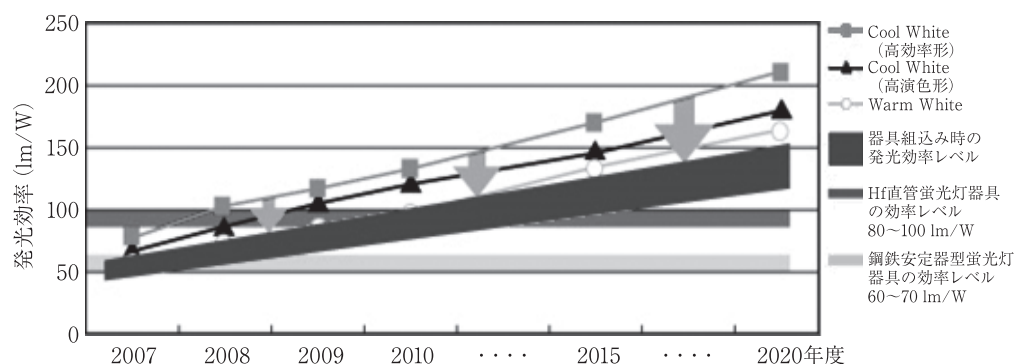
1.1 開発経緯

LEDは、1960年代に赤色および黄緑色、1970年代に黄色、そして1990年代に青色および緑色が製品化された。また、LEDは小型で省電力という特徴を活かし、様々な用途で使用され普及してきた。この原動力は、3原色光源(赤、緑、青)によるカラー表示および白色化技術

年代	製品開発
1960s	赤色LED
1993	青色LED (1989年に最初の学術発表)
1995	緑色LED (これにより光の3原色: RGBによるカラー表示・白色化技術が可能に)
1996	白色化LED: 青色+色変換 (黄色)
1997	国際採択: CO ₂ 排出量規制～省エネ光源?
2003	効率 40 lm/W⇒照明用途の可能性

注) 照明の要因: 発光効率, 輝度, 寿命

発光効率 (白色LED) のロードマップ



< (特非) LED照明推進協議会, HP >

図4-1 LEDの開発経緯

による照明への用途展開である(図4-1)。最近は、実用性だけでなく嗜好性(ファッション性、デザイン性等)を加えることにより新規用途で採用されている。例えば、自動車用照明等(図4-2)を挙げることができる。今後も、高性能化により市場をさらに拡大していくと予想されている¹¹⁰⁾(図4-3)。



図4-2 LED照明の用途拡大

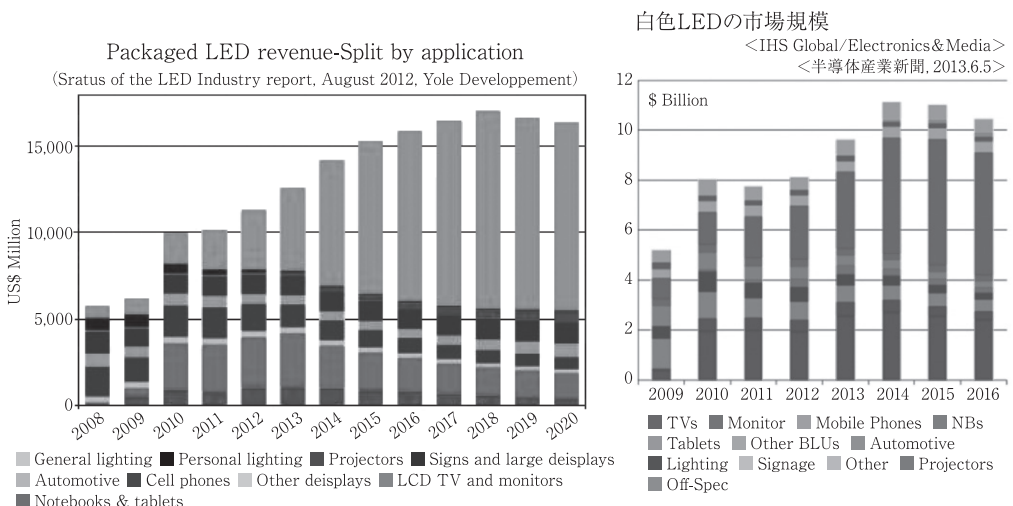


図4-3 LEDの市場予測(カラーの図は巻頭ページに掲載)

Chapter 5

最新情報

本書の執筆を開始して2～3か月になるが、 μ -LEDのようなトピックスは、情報がどんどん更新されていく。そこで、ディスプレイ関連の最新情報をピックアップした。

1. CES2018情報

1.1 μ -LEDディスプレイ

サムスン社が、4K146型 μ -LEDディスプレイ「The Wall」を発表した¹²³⁾。同社は、LG社のOLEDディスプレイ(W-OLED光源+CF)に対抗し「ノーバックライト、ノーフィルター」構造で高鮮明と宣伝している。しかし、LED寸法は $100\mu\text{m}$ 角程度でLEDモジュールを組み合わせる構造とみられる(図5-1)。これは μ' -LEDディスプレイの範疇に入り、ソニー(株)の「CLEDIS」と同程度の技術と思われる。



<サムスン社>

図5-1 サムスン社の μ -LEDユニット(左)と μ -LEDディスプレイ(右)¹²³⁾

1.2 QDレーザディスプレイ

「CES Unveiled」で、(株)QDレーザ¹²⁴⁾がレーザ投射型HMD「RETISSA Display」を発表した¹²⁵⁾。3原色量子ドットレーザ光を1本にまとめ、メガネ(鏡)に投射させ、網膜上に映像を映す装置である(図5-2)。これは、自動車用HUD(図5-3)と原理は同じであるが、QD光源を採用している点が異なる。市販のLCDおよびOLEDディスプレイ、開発中の μ -LEDの画素発光型ディスプレイとは発想の異なるアプローチである。



図5-2 メガネ型QDレーザディスプレイ「Retissa Display」(網膜投影方式ディスプレイ)¹²⁵⁾

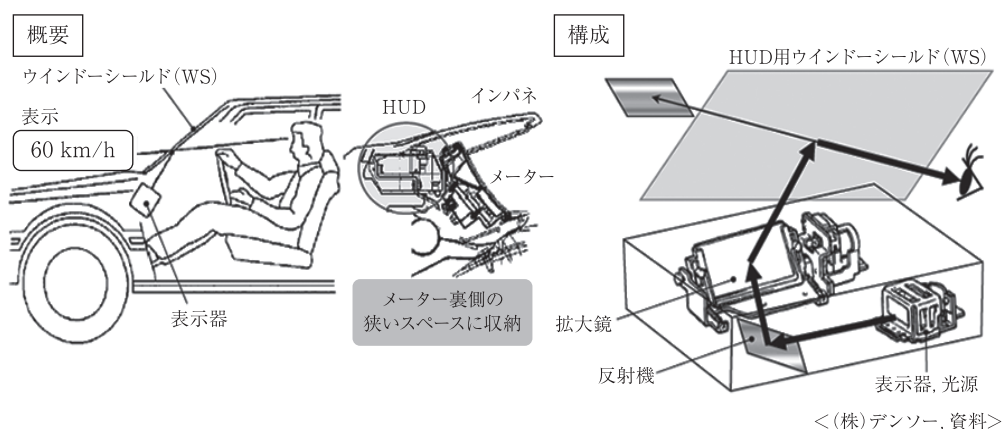


図5-3 自動車用HUD

2. 台湾の情報(アップル社)

台湾報道によると、台湾電子業界はOLEDの技術開発を事実上中断している。競合である韓国LED業界(サムスン社, LG社)に敗れ、淘汰された状態である(Chapter 1の2項で記述した状況が進行している)。即ち、台湾(アップル社)は、今後もOLEDディスプレイを競合の韓国に依存せざるを得ない窮地に追い込まれている。このため、台湾電子業界は、 μ -LEDの開発に再注力し、さらに加速している。量産化への課題である μ -LEDの回路基板への転写(搭載)速度(Chapter 1の1項参照)は、2,500個/回の水準となり、本年中に10,000個/回達成を目標に検討を行っている。しかし、歩留率(良品率)および製造コストが商品化基準に遠く及ばない状況である。また、この転写速度の壁を乗り越えても、 μ -LEDの検査および保守点検交換といった課題が山積している。今後、 μ -LED開発に関して、台湾電子業界の真価が問われることになる。