

# 制御機器における新しいLED応用デバイスの紹介

白田 昭司\*<sup>1)</sup>・北山 英幸\*<sup>2)</sup>・高木 俊和\*<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

一昨年、東京晴海で開催されたエレクトロニクスショー'88 (Japan Electronics Show) において、当社出展ブースの中に“New Technology”コーナーを設け、発光ダイオード、太陽電池アレイ及び光学機能材料などを使って用途開発したニュー制御デバイス6種（有機ガラスモールドLED、青色LED式小形表示灯、高速アクティブホトカプラ、MOSFETプロテクタ、光パワーリレー、全天候ノイズサプレッサ）を参考出展した（図1）。

これらのデバイスの開発は、当社制御機器の中にあつて表示用及びディスプレイ用LEDランプの高機能化ならびに負荷ON/OFF制御の無接点スマート化などを目的としており、今回新たにこれまでのデバイス素子レベルにおける研究成果と当社固有のアッセンブリ技術を効果的に組合せて当社独自の新しい制御デバイスを開発した。

ここではLEDデバイスとしての応用を考えた3種類のデバイス、すなわち有機ガラスモールドLED、青色LEDランプ、アクティブホトカプラを中心にその概要を述べる。また、これらデバイスに使用したLEDチップの開発現況と現在開発中の全くユニークな次世代LED（ワイヤボンダレスLED）について紹介する。

## 2. LEDチップの開発現況

ここでは以下に紹介する4種類のLED応用デバイス（有機ガラスモールドLED、青色LEDランプ、アクティブホトカプラ及びワイヤボンダレスLED）に使用している可視光、特に赤色と青色LEDチップについて開発現況を紹介する。

### 2.1 赤色LEDチップ

高輝度赤色LEDチップの結晶構成例を図2に示す。図3はカソード電極側からみたチップ顕微鏡写真（SEM写真）の例である。ダブルヘテロ構造（DH構造）のAlGaAs系LEDチップの特長は発光層であるAl<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As活性

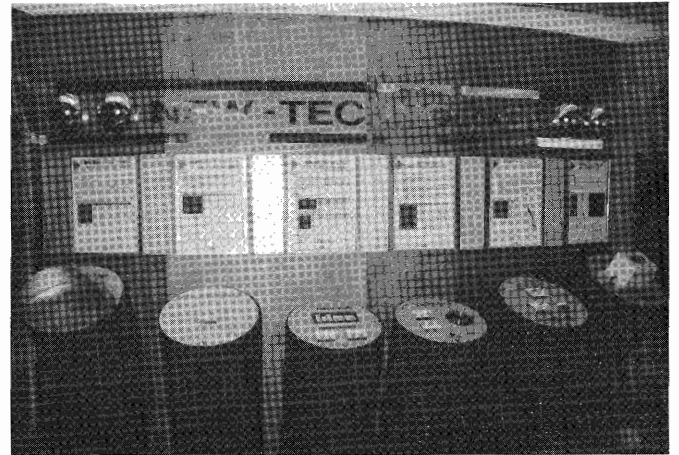


図1. エレクトロニクスショー'88に出展した“New Technology”

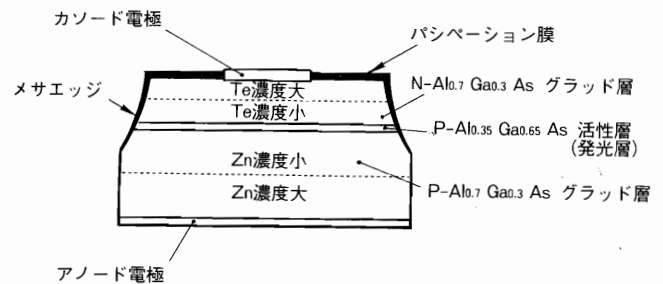


図2. 高輝度赤色LEDチップ

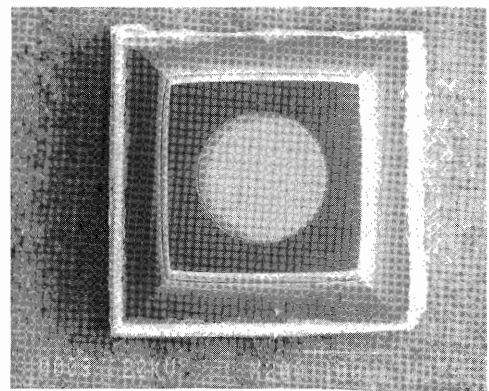


図3. 高輝度赤色LEDチップの顕微鏡写真（200倍）

\*1) 研究部 デバイス研究グループ 担当部長  
\*2) 研究部 デバイス研究グループ 主任  
\*3) 生産技術研究センター 技術開発課 研究グループ

層をそれより屈折率の高い(高いAl混晶比を有する) P及びN型の $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ クラッド層で、サンドイッチされた構造をもっていることである。より高輝度発光を実現させるためにそれぞれ結晶成長に工夫がこらされている。また、これらのクラッド層の表面はカソード及びアノード電極に対して良好なオーミック接触を得るために両クラッド層の不純物濃度 (P型, N型に対してそれぞれZnとTe) の最適化を行っており、デバイス化したときの順方向電圧降下 $V_F$ の低減化と、 $V_F$ に起因する素子温度上昇の抑制化を計っている。

LEDの結晶成長の方法としては液相成長法 (LPE法) が知られている。この方法は結晶成長の種 (Seed) である、Zn (P型, アクセプタ) 及びTe (N型, ドナー) の不純物を混入したAlGaAs溶液 (Al, 多結晶GaAs, 主成分のGaなどから成る) に、結晶板 (Substrate) であるN型GaAs基板を接触させて温度除冷しながらGaAs基板の上にAlGaAs結晶薄膜を順次成長させていく方法である。温度徐冷の制御には従来よりPID制御方法が用いられてきているが、温度徐冷の際のいわゆるオーバーシュート (Over shoot), アンダーシュート (Under shoot) 及び階段状徐冷などの不具合が結晶成長の際の結晶良質化の妨げになっていた。これらに関して、"結晶良質化のためのファジィ制御方式を用いた結晶成長のスマート化 (Fuzzy-Smart Control, 略してFSC法) の提案" を業界に先駆けて発表した。<sup>(1)</sup> 図4は戸貝博士\*と共同開発したLPE専用のファジィシステム装置である。

最近になって、カソード電極を除いたチップ表面とメサエッジ部に露出している活性層を自然酸化膜、酸化シリコン膜 ( $SiO_2$ ), チタニウムシリコン膜 ( $Si_3N_4$ など) の何れかの方法で前面保護付けした、いわゆるパシベーション処理した新しいLED (パシベーションLED) が製品化され、高輝度化と合わせて応用範囲が拡大しつつある。このLEDは耐環境性を考慮した、いわゆる"ruggedness"なLEDとして期待されている。図5にパシベーション処理したLEDの耐湿度効果の一例を示す。以下に紹介する屋外用用途の有機ガラスモールドLEDにもこの種LEDチップを採用している。

2.2 青色LEDチップ

PN接合を有するSiC青色LEDチップの構成を図6に示す。青色LED式小形表示灯にはこの種のLEDチップを複数個使用した。P型SiC基板の上にP型, N型のSiC薄膜層を順次エピタキシャル成長させたもので、P型エピ層にはAlを、N型エピ層には $N_2$ をそれぞれドーピングして所定の発光波長と輝度が得られるよう結晶成長させた構造

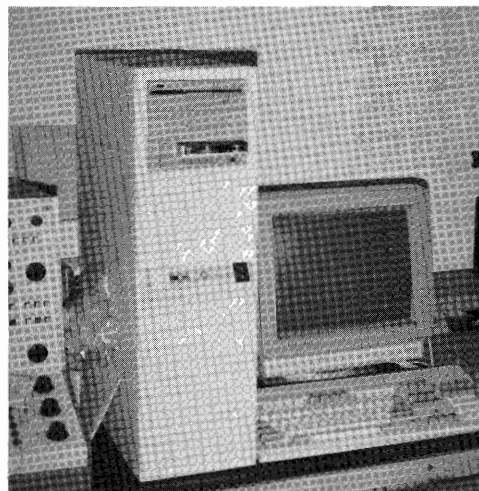


図4. LPE用ファジィシステム装置

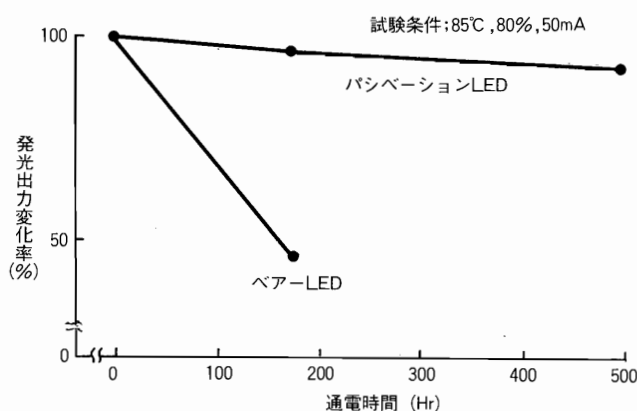


図5. パシベーションLEDの耐湿度効果の例

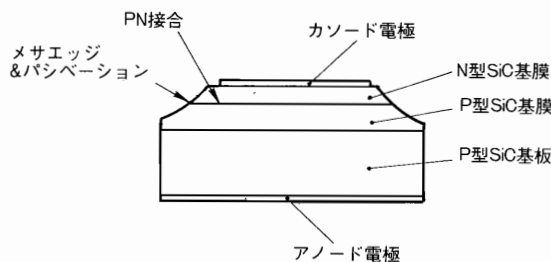


図6. SiC青色LEDチップの構成

のものである。図7は、測定温度100~300 K (ケルビン), rate window  $5.86 \times 10^{-5}$  sec で測定したDLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) スペクトルの例で、200 K 付近に単一のピークが生じ、これを解析したアレニウスプロットにより活性化エネルギー (トラップ深さ) 0.34eV の値が求められる。SiC系については間接遷移発光型の結晶材料ではあるものの、他の青色発光材料 (ZnSe, GaN, 何れも直接遷移発光型) に比べ、基礎研究の段階

\* Togai InfraLogic Inc. 社長 Ph.D  
北米ファジィ学会理事他

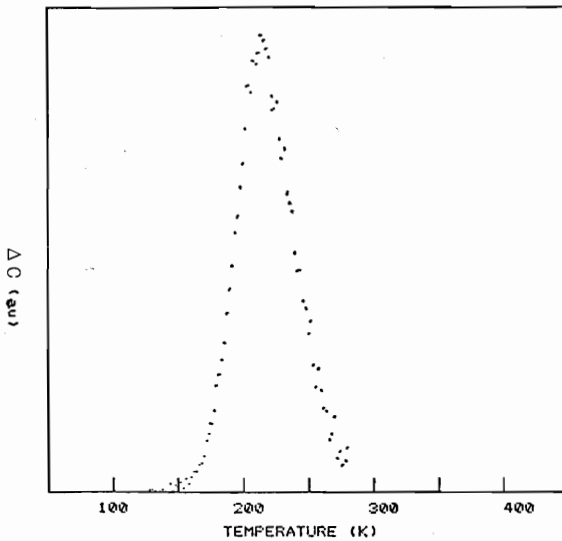


図 7. DLTSスペクトルの例

から量産化に向けた実用レベルに入ってきており、今後の応用展開が大変有望視されている。

現在, SiCを使ったLED化の研究は高輝度化と劣化現象 (Degradation現象, 発光波長が "pure-Blue" から "greenish-Blue" 帯へ遷移すること) の技術改善など製造技術研究の段階に入ってきているといえる。小形表示

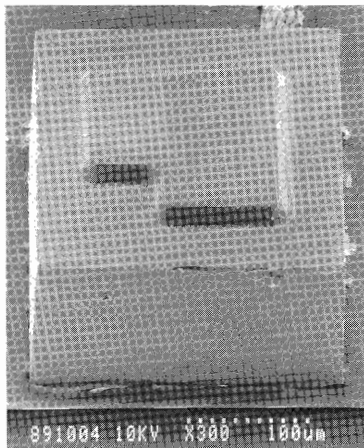


図 8. SiC青色LEDチップの顕微鏡写真(300倍)

灯に使用した青色LEDチップにおける輝度アップの改善については、図 8 (SEM写真) のようにカソード電極形状をかえて発光面積を極力大きくとれる工夫をしている。また劣化現象の改善策の一つとしては良好なメサエッジを作ることで、メサエッジ部に露出しているPN接合を含むチップ表面全体をパシベーション処理をしていることなどが上げられる。この構造のレーアチップの状態で光軸上Near Field輝度として平均70μcd (順電流10mA) を

得ている。青色LEDランプとしての電気・光学特性については以下の章で述べる。

### 3. 有機ガラスモールドLED (スーパーラジッドLED)

LEDの高輝度化開発が進むなか、屋外用途の需要も増加してきている。しかし、現状のLEDはエポキシ樹脂で封止されており、屋外で長時間使用すると表面の荒れにより樹脂が黄変し、これにより輝度が低下したり、黄変がさらに進んで樹脂クラック等が発生し、LEDの不点灯といった不具合を生じたりしている。今回開発したLEDは、三井石油化学工業/エニケム社が保有する耐水性・耐熱性・耐薬品性に優れた性能をもつ「有機ガラス材料 (RAV7)」を用いて封止した耐候性LEDである。

#### 3.1 仕様

図 9 に今回開発した 5 φ モールドタイプLEDを示す。屋外での発光認識 ("Sun-Lōading" capability) を得るためLEDチップについてはさきに述べたGaAlAsダブルヘテロ構造を持つ発光ピーク波長660nmの赤色超高輝度タイプを使用した。LEDデバイス化についてはこのチップをリフレクタ構造を持つリードフレームに実装し、固有の封止技術を用いて有機ガラス材料で一体封止した。軸上光度として1000~3000mcd (順電流20mA) ランクLEDが製作可能である。表 1 に 5 φ モールドタイプLEDの仕様概略を示す。

表 1. 有機ガラスモールドLEDの仕様例

#### 1. 絶対最大定格

項目	記号	定格値	単位	条件
直流順電流	$I_F$	50	mA	$T_a=25^\circ\text{C}$
パルス順電流	$I_{FP}$	300	mA	$t_w=100\mu\text{s}$ , $Duty=0.1$
逆方向電圧	$V_R$	5	V	$T_a=25^\circ\text{C}$
許容損失	$P_d$	125	mW	$T_a=25^\circ\text{C}$
動作保存温度範囲	T	-30~+85	$^\circ\text{C}$	

#### 2. 特性・性能 ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )

項目	記号	特性・性能	単位	条件
発光光度 (光軸)	$I_v$	1000~3000	mcd	$I_F=20\text{mA}$
順方向電圧	$V_F$	1.8 (TYP)	V	$I_F=20\text{mA}$
逆方向電流	$I_R$	100 (MAX)	$\mu\text{A}$	$V_R=5\text{V}$
発光ピーク波長	$\lambda_p$	660 (TYP)	nm	$I_F=20\text{mA}$
指向角	$2\theta_{1/2}$	10 (TYP)	deg	
高温保存		1000	Hr	$T_a=85^\circ\text{C}$
低温保存		1000	Hr	$T_a=-30^\circ\text{C}$
高温高温保存		1000	Hr	$T_a=60^\circ\text{C}$ , $RH=90\%$
温度サイクル		100	サイクル	$-30^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ; 各30min
連続動作		1000	Hr	$T_a=25^\circ\text{C}$ , $I_F=50\text{mA}$
耐候性 (サンシャイン)		900	Hr	60分間照射中にシャワー9分間

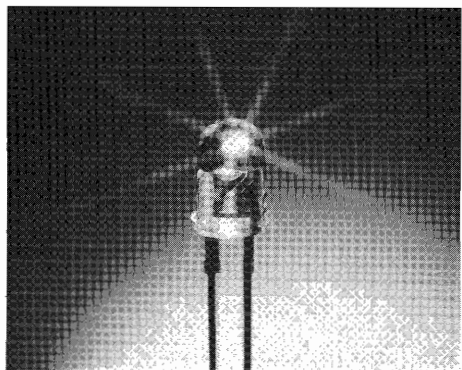


図9. 有機ガラスモールドLED  
(スーパーラジッドLED)

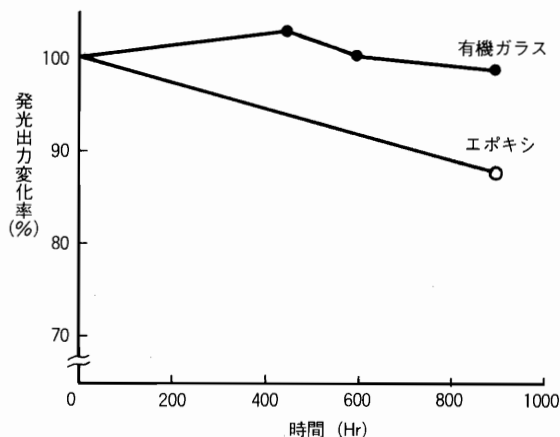


図10. 発光出力耐候性試験

### 3.2 耐候性試験

屋外用LEDとして環境性能を重視し、特にLEDの受ける自然環境のうち日光、オゾン、雨雪、温度及び湿度に対する劣化を調べるため促進耐候性試験を行った。屋外暴露による耐候性試験に対し加速性のある促進耐候性試験として、サンシャインカーボン耐性試験、キセノンランプ耐候性試験、スーパーUV耐候性試験の3種類の試験を行なった。ここでは太陽光のスペクトル波形に近いサンシャインカーボン耐候性試験の結果について主に述べる。キセノンランプとスーパーUV耐候性試験については、サンシャインカーボンの場合と大略同様の結果を得ているので省略する。

#### 3.2.1 発光出力の変化

図10は、サンシャインカーボン耐候性試験を900Hrまで暴露した試験結果を示す。LEDの発光出力変化は有機ガラス品には変化は認められず、エポキシ品については約10%の発光出力が低下するという顕著な劣化がみられた。

#### 3.2.2 光線透過率の変化

図11は、サンシャインカーボン耐候性試験を900Hrまで暴露した試験結果で、有機ガラス品は初期値に対し90%の変化であるが、エポキシ品については60%という大きな変化を示した。なお、有機ガラス材料(RAV7)自体の光線透過率は93%、一般のエポキシ樹脂の場合で90%となっている。

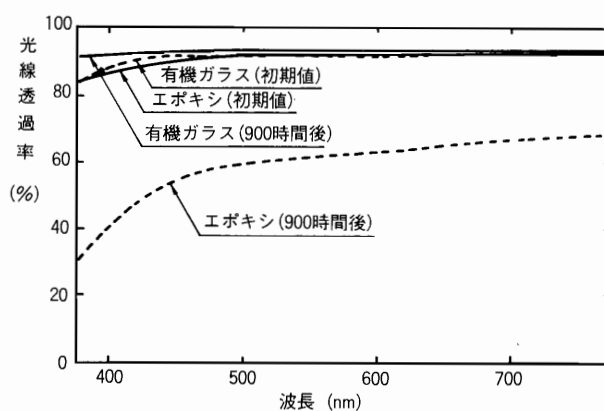


図11. 光線透過率耐候性試験

#### 3.2.3 黄色度の変化

耐候性試験による樹脂黄変を定量的に黄色度 (Yellow Index) として表す。サンシャイン耐候性試験を900Hrまで暴露した結果、有機ガラス品は、初期値 (1~2) に対して試験後3~4となるが、エポキシ品では、初期値に対して15と大きく黄変している (図12)

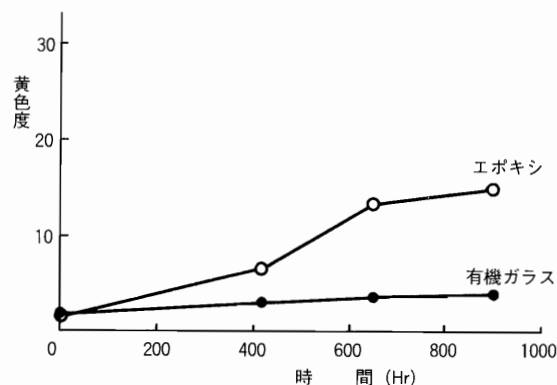


図12. 黄色度耐候性試験

### 3.3 その他の試験

高温保存 (Ta=85°C)、低温保存 (Ta=-30°C)、連続通電試験 (Ta=室温, If=50mA)、高温高湿保存試験 (Ta=60°C, RH=90%) などの環境試験を行ったがエポキシ品と同等の性能を持つ。また、耐ガソリン性能試験の例として、有機ガラス品をガソリンに10日間連続して浸漬し

たときの光出力の変化はほとんど認められず、外観についても変色など異常な変化は全くみられなかった。これに対してエポキシ品は表面が白濁化して光出力の著しい低下が認められた。

このような耐候性に優れた有機ガラスLEDは、従来LEDの高輝度化と併せて今後屋外用途という新市場をさらに拡大していく引金になるものと大きく期待している。なお、5φLEDなどのディスクリートのみならずディスプレイパネル化(図13)についても開発を進めている。

#### 4. 青色発光LED式小形表示灯

先に紹介した青色LEDチップを使用し、かつ光学設計された収光レンズを含む専用ハウジングに組み込んだ青色発光の小形表示灯を試作した。

今回試作した青色発光表示灯は従来の単一チップのLEDデバイスと異なりLEDランプとしての光学、電気及び機構設計を行ない、さらにこれによるトータル輝度アップをねらった。以下に設計の主要ポイントをまとめる。

- ① 複数個チップ実装可能なステム電極を試作すること。
- ② 複数個のチップから放射された光を効率よくランプ前面に取り出せるようなリフレクタ構造を有するハウジング形状とすること。リフレクタ部に反射率の高いメッキ材料を選択すること。
- ③ チップ実装された専用ステムからの光を効率よく集光するレンズを設計すること。

試作した青色表示灯を図14に示す。表2は表示灯としての仕様例である。

今後はチップレベルでの青色発光の輝度向上が望まれることはいうまでもないが、今回試作したような小形表示灯においても、さらにチップの配置などの実装技術の改善、反射効率をより高めたりリフレクタ構造及び集光効率をさらに増したレンズなどを考慮した専用ハウジングの改良を進めていく必要があると考えている。

#### 5. 高速アクティブフォトカプラ<sup>(4)</sup>

従来のバイポーラ素子にない多くの優れた特徴をもったスイッチング素子であるパワーMOSFETが高速スイッチング性能、電圧駆動(低電圧駆動)能力などの特長を生かし、一般産業機械・OA機器・家電製品等の幅広い分野で採用され始めている。パワーMOSFETのあつかうAC・DC系の負荷回路とDC系のドライブ回路間の絶縁インタフェースが必要となる。この要求にマッチした 1)高速

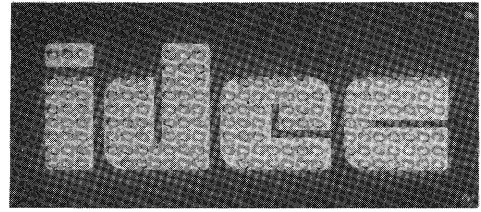


図13. 有機ガラスLEDを使用したディスプレイパネル

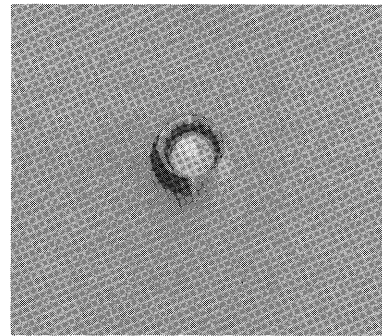


図14. 青色LED式小形表示灯

表2. 青色LED式小形表示灯の仕様例

電氣的・光学的特性 (T<sub>a</sub> = 25℃)

項目	記号	特性	単位	条件
発光光度(光軸)	I <sub>v</sub>	24 (TYP)	mcd	I <sub>F</sub> = 10mA
順方向電圧	V <sub>F</sub>	12 (TYP)	V	I <sub>F</sub> = 10mA
逆方向電流	I <sub>R</sub>	10 (MAX)	μA	V <sub>R</sub> = 1V
発光ピーク波長	λ <sub>p</sub>	480 (TYP)	nm	I <sub>F</sub> = 10mA
半値幅	λ	90 (TYP)	nm	I <sub>F</sub> = 10mA
指向角	2θ <sub>1/2</sub>	±20	deg	

ドライブ、2)直接ドライブ、3)入出力間高絶縁(AC4KV)の特長をもつ高速アクティブフォトカプラの構造・特性・仕様について述べる。

##### 5.1 構造

図15は高速アクティブフォトカプラの外観を示す。内部構造については、入力側リードフレームに4個シリーズ接続されたAlGaAs高出力赤色発光LEDチップを、出力側リードフレームには今回専用に開発されたアモルファスシリコン太陽電池(a-SiC)アレイをそれぞれ取り付けて、これらを透明樹脂を介して対向配置し入出力間が光結合により電気絶縁されている構造になっている。なお、

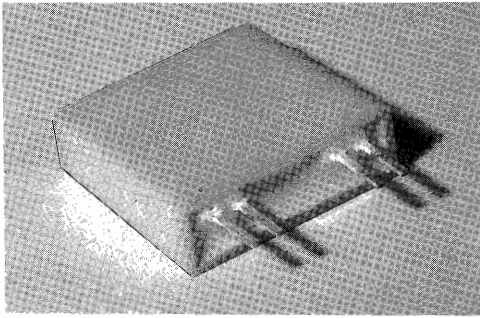


図15. 高速アクティブフォトカブラ

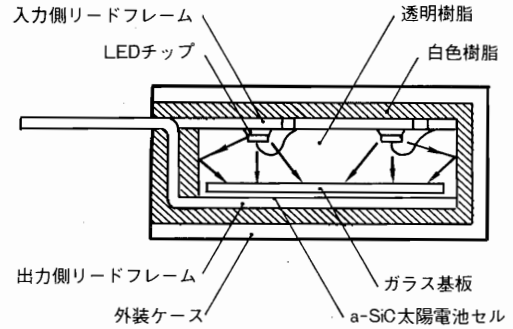


図16. 高速アクティブフォトカブラ構造図

入出力間はAC4KV以上の高絶縁能力を有する。また、LEDチップの配置については4個のLEDからの放射光が16個シリーズ接続された太陽電池アレイの各セルに均一に入るように相互の配置が工夫されている。さらに光結合効率を上げるため、透明樹脂の外側を特殊白色樹脂で覆い外装ケースに収めている(図16)。

この構造により、LEDからの発光ピーク波長660nmの光を16個のセル(面積16mm<sup>2</sup>)からなる太陽電池アレイに当て起電力を発生させる。これをパワーMOSFETのゲート回路に直接接続することで、他のドライブ電源なしで直接MOSFETをドライブすることが可能となる。市販のパワーMOSFETはゲート入力容量が、数100pF~数1,000pFの範囲にあるため高速ドライブするためには、太陽電池からの大きな出力電流(短絡電流を大きくすることに相当)、すなわち太陽電池セルの大面积化と高出力LEDとのカップリング最適化が必要である。これらの背景から、太陽電池として高効率化がローコストで実現でき、かつ可視光領域で高感度特性をもつアモルファスシリコン太陽電池を採用し、この太陽電池と高輝度赤色LEDとを組み合わせて業界最高速のレスポンスを可能としたMOSFETドライブ専用のフォトカブラを開発した。

5.2 特性

図17は高速アクティブフォトカブラの出力電圧-電流特性( $V_{FD}-I_{FD}$ )の例を示す。入力側LEDドライブ電流 $I_F=20mA$ で出力側の太陽電池アレイの短絡電流が $I_{SC}=195\mu A$ と大きな出力が得られている。また、この特性より $V_{FD}=6V$ 付近までは定電流源として近似できる。図18のスイッチング時間測定回路で $I_F=20mA$ 、 $C_L=470pF\sim 10,000pF$ 、 $R_{SH}=33K\Omega$ の条件で測定したスイッチング時間特性を図19に示す。 $C_L=2,200pF$ でON時間 $170\mu s$ 、OFF時間 $180\mu s$ の高速スイッチング性能を可能にした。なお、主な仕様を表3に示す。

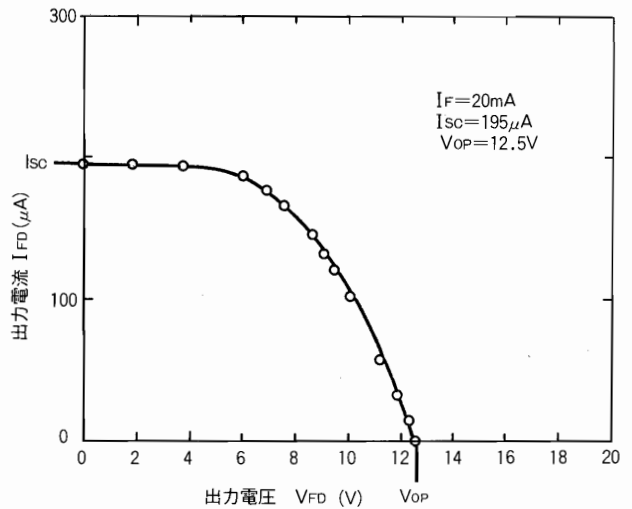


図17. アクティブフォトカブラの出力電圧-電流特性

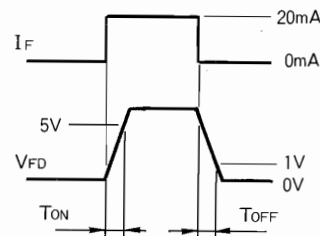
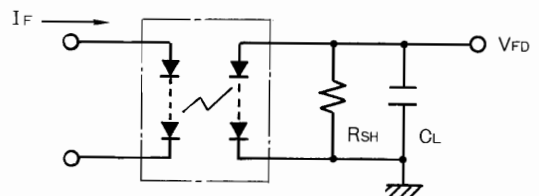


図18. アクティブフォトカブラのスイッチング時間測定回路

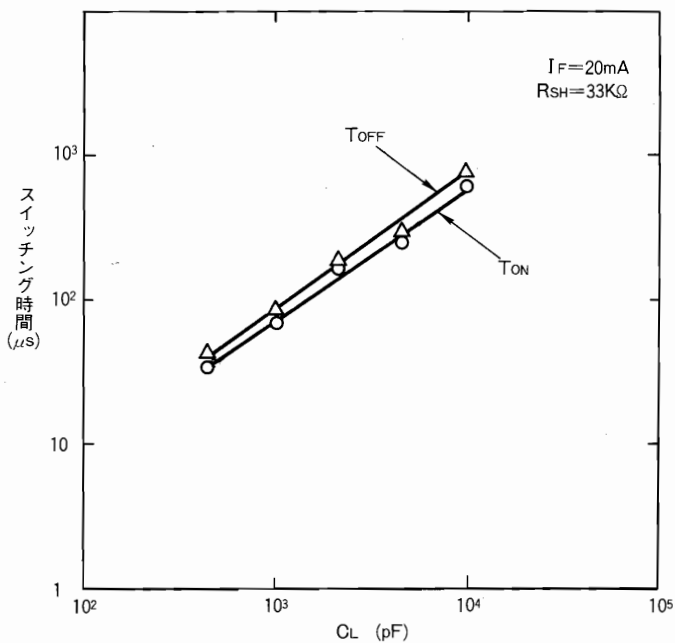


図19. アクティブフォトカプラのスイッチング時間特性

高出力赤色LEDとアモルファス太陽電池アレイを用いて、パワーMOSFETを直接ドライブすることができる高速、高絶縁のアクティブフォトカプラを開発した。

本技術の応用として、3mm×4mmの超小型太陽電池を組み込んだアクティブフォトカプラ及びこれとパワーMOSFETを組み合わせた光パワーリレー（スイッチング高速；数ms）の応用展開を推進している（図20）

## 6. ワイヤボンダレスLED

従来の複数個のLEDチップを使ったデバイスの組み立てについては、基板の導電パターン上にLEDチップをエポキシ系の銀ペーストなどの焼き付けによりダイボンディングしたのち、金細線（数10μmφ）によりLEDチップの電極パッド（発光面側）から基板のパターンへワイヤボンディングされ、仕上げはクリアエポキシなどで封止してデバイスとして完成させていた。金細線のワイヤボンディングは高価な専用ボンディングマシンを必要とし、さらにワイヤボンダビリティ、ボンディングマシンのメンテナンスなどといった高度な製造ノウハウの確立が必要であった。また、このことが製造コストのアップを余儀なくしていた。さらに、基板パターン上にはワイヤボンディングのためのパッド面積が必要となるため、複数個のLEDチップを高密度実装するデバイス設計においてはパターン寸法上に限界があった。これらのことを改善

表3. アクティブフォトカプラの仕様例

1) 発光側絶対最大定格（ $T_a = 25^\circ\text{C}$ ）

項目	記号	定格値	単位	条件
直流順電流	$I_F$	50	mA	
パルス順電流	$I_{FP}$	300	mA	$t_w=100\mu\text{s}, \text{Duty}=0.1$
許容損失	$P_d$	500	mW	
順電流低減率	$\Delta I_F/\text{C}$	0.67	mA/C	

2) 定格・性能（ $T_a = 25^\circ\text{C}$ ）

項目	記号	定格・性能	単位	条件
発光側順電流	$V_F$	7.2 (Typ.)	V	$I_F = 20 \text{ mA}$
受光側順電圧	$V_{FD}$	6.1 (Typ.)	V	$I_F = 20 \text{ mA}$
受光側順電流	$I_{FD}$	185 (Typ.)	$\mu\text{A}$	$R_{SH} = 33 \text{ K}\Omega$
ON 時間	$T_{ON}$	170 (Typ.)	$\mu\text{s}$	$I_F = 20 \text{ mA}$ $R_{SH} = 33 \text{ K}\Omega$ $C_L = 2,200 \text{ pF}$
OFF 時間	$T_{OFF}$	180 (Typ.)	$\mu\text{s}$	
保存温度範囲	$T_{STG}$	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$	
動作温度範囲	$T_{OPR}$	-20 ~ +80	$^\circ\text{C}$	
耐電圧		AC 4,000 V		
外形寸法		21.2 × 22.6 × 6.3 mm		
重量		6.5 g		

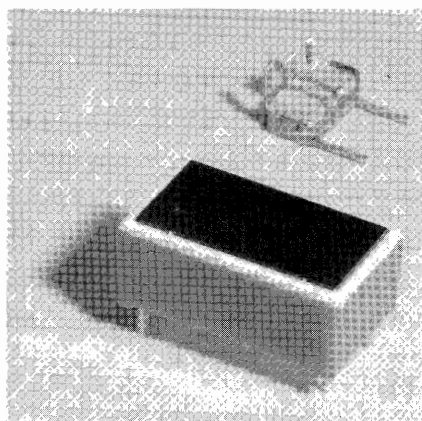


図20. 光パワーリレーと専用アクティブフォトカプラ

するための新しいLED実装方法の具体例として、新たにガラス透明電極を用いて従来のワイヤボンディング工程を一切なくした次世代LED（ワイヤボンダレスLED）を開発した（図21）

写真のモデル試作のものは赤色LEDチップのセラミックスシステムにダイボンディングしたのち、LEDチップの発

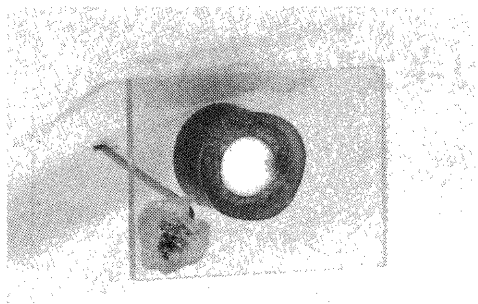


図21. ワイヤボンダレスLEDの例

光面側の電極パッドを、ガラス基板上の透明導電薄膜(数 $\mu\text{m}$ 厚の $\text{SnO}_2$ 膜)側に銀ペーストの焼き付けにより接続した構造としている。これにより、高価で運転ノウハウの必要なワイヤボンディングマシンを使用とせず、複雑かつ高密度なLEDチップの実装が実現できることが確認できた。

現在、高密度・小型ドットマトリクス表示デバイスや均一面発光表示デバイス、さらに青色を含むフルカラーディスプレイデバイスなどへの応用展開を進めている。

## 7. おわりに

これまで、当社で独自に研究開発を進めてきた新しい制御デバイスについて、一昨年のエレクトロニクスショーに出展した3種類のLED応用デバイスを中心にその概要を紹介した。この種デバイスは今後の制御機器の耐環境性能と高機能及びインテリジェント化などと共に必要不可欠なものとなってきており、以後の開発競争の中においてその性能が益々レベルアップされていくであろう。さらにデバイスのアッセンブリについてもディスプレイ対応から1チップで高機能性をもたせたIC化技術指向への開発展開と、これらデバイスと新しい機能材料との組合せによって生まれてくる全くユニークな新デバイスの開発へと展開していくであろうと考えている。

### 参考文献

- (1) S.Usuda, M.Aono, M.Togai: Sessions in the International Workshop Fuzzy System Applications (Iizuka Japan August 20-24, 1988)
- (2) 高木, 北山, 白田: 平成元年電気学会全国大会講演予稿集 428, 1989
- (3) S.Usuda, M.Hirabayashi, T.Ono: International Conference on Opto-Electronic Science and Engineering '89 (Beijing China July 4-8, 1989)
- (4) 北山, 白田: 平成元年電気学会全国大会講演予稿集 427, 1989