

発光半導体素子の寿命予測法の確立と選別装置の開発 (第2報)

萩原 茂・阿部 治

Establishment of an estimating method and development of an automatic sorting machine for Light Emitting Diode's operation life time (2nd report)

Shigeru HAGIHARA and Osamu ABE

要 約

白色LED (GaN系), 高輝度赤色LED (InGaAlP系 中心波長700nm), 赤色LED (GaAlAs系 中心波長660nm) および黄緑色LED (GaP系 中心波長570nm) の光出力の経時変化を自動計測するシステムを作製し, 計測を行った. その結果, 各LEDの光出力は時間の経過とともに低下していくことがわかった. また光出力の低下を, 初期値を100%とした変化率で表した場合, 黄緑色LED, 高輝度赤色LEDおよび白色LEDの変化率と発光時間の平方根がほぼ比例関係にあることがわかった. また赤色LEDの光出力の変化率は, 発光時間とほぼ比例関係にあることがわかった. これらの関係から, LEDの発光開始から数百時間程度の光出力特性を, エージング処理と同時に計測することにより, LEDの寿命予測が可能となった.

Abstract

We developed an automatic measuring system for temporal optical output variations of white(GaN-based), bright red (InGaAlP-based, wavelength 700nm), red (GaAlAs-based, wavelength 660nm) and yellow green (GaP-based, wavelength 570nm) LEDs. As the measuring result, we found that temporal variations of optical output of all LEDs decreased gradually. We also found that relative optical output of yellow green, bright red and white LEDs were nearly proportional to square root of hour. We also found that relative optical output of red LEDs were nearly proportional to hour. So we can estimate LED's operation life time by measuring temporal variations of optical output of LEDs simultaneously with aging LEDs.

1. 緒 言

少ない電気エネルギーの供給によって発光する半導体素子は, 電子機器の電照表示や音楽CDなどの読み取りに広く用いられている. 近年では, インターネット需要に対処する高速光通信用半導体レーザーの需要が急増している他, 白色発光や紫外線発光が可能な発光ダイオードが開発されたことで携帯電話や液晶パネルのバックライト, 植物育成用の光源, 微量分析装置の光源などに使われている¹⁾. また, 交通信号機や自動車のストップランプなどの高輝度用途にも用いられ, 発光半導体素子の需要はここ数年間増加し続けている.

発光半導体素子は, 電球などに比べて小型, 長寿命であるが, 生産時の品質のばらつきによって, 発光特性や寿命が大きく異なる欠点がある. 人工衛星や光通信, 分析機器に使用される半導体レーザー (LD) や, 信号機, 画像表示装置などに用いられる発光ダイオード (LED) では, 高い信頼性が要求され, 性能と寿命のばらつきが問題となっている.

本研究では, 発光半導体素子の寿命を予測する手法を開発し, 生産される発光半導体素子を予測寿命の長さによ

って分類する選別装置を開発することを目的とした. 発光半導体素子の光出力は, 使用開始から約200時間までの間に急激な低下が見られる²⁾. それ故, 精密な用途では出力が安定するまで連続発光 (エージング処理) を行っている. そこで, エージング処理を行いながら, 光出力を計測し, 素子の劣化の進行度合いを見極めることによって寿命予測法の確立を目指す.

昨年度は, 発光半導体素子の光出力特性を計測し, 発光半導体素子の劣化の進行度を予測する手法を評価検討した³⁾.

本年度は, 発光半導体素子の光出力特性を自動計測するシステムを開発し, 計測した光出力特性をもとにした発光半導体素子の寿命予測法について評価検討した.

2. 実験方法

2-1 試験素子

実験に使用した発光半導体素子は, 白色, 高輝度赤色, 赤色および黄緑色の4種類の表面実装型の上面発光LEDである. 各LEDの特性を表1に示す.

表1 各LEDの特性

	白色	高輝度赤色	赤色	黄緑色
組成	GaN	InGaAlP	GaAlAs	GaP
中心波長	—	700nm	660nm	570nm
最大定格電流	30mA	20mA	25mA	20mA
標準順電圧 (20mA通電時)	3.7V	2.2V	1.7V	2.2V

2-2 光出力の自動計測システム

各LEDに最大定格電流を流して発光させ、その光出力の経時変化を自動計測するシステムを作製した。概要図を図1に示す。LEDに通電するための回路は、ガラスエポキシ基板上に作製した。各LEDを並列に接続し、それぞれに決められた最大定格電流を流すために定電流ダイオード(E-103/E-153 石塚電子株式会社製)を接続した。また各LEDに流れる電流をモニターするために、各LEDに接続した抵抗にかかる電圧も合わせて計測した。電圧の計測には、デジタルマルチメータ(アドバンテスト社製R6551)を使用し、マルチプレクサに制御信号を入力することで計測箇所の切り換えを行った。光出力の計測にはアドバンテスト社製光パワーメータTQ8215を使用し、XYZステージに取り付けた受光ユニットを移動させることで各LEDの光出力を計測した。また電源には、松定プレジジョン社製直流電源PLE-36-3を使用し、定電圧をかけた。本自動計測システムによる実験は、暗幕を張り外部から光が入らないようにした場所で、温度を25℃一定に保った。またアクリルケースで装置全体を覆うことで、空調設備からの風の影響や、埃の堆積によるLEDの輝度の低下を防ぐようにした。自動計測システムの全景を図2に、自動計測の様子を図3に示す。

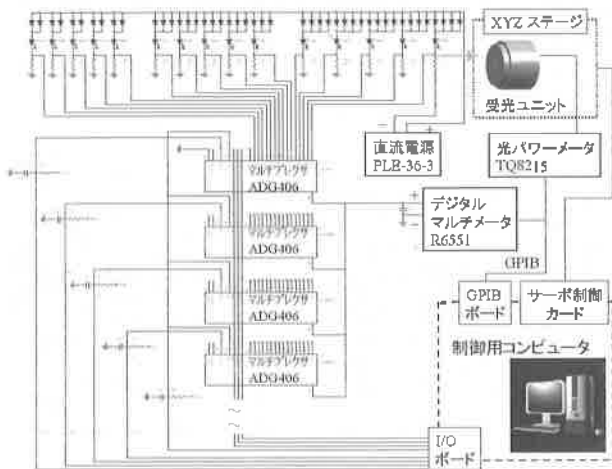


図1 自動計測システムの概要図

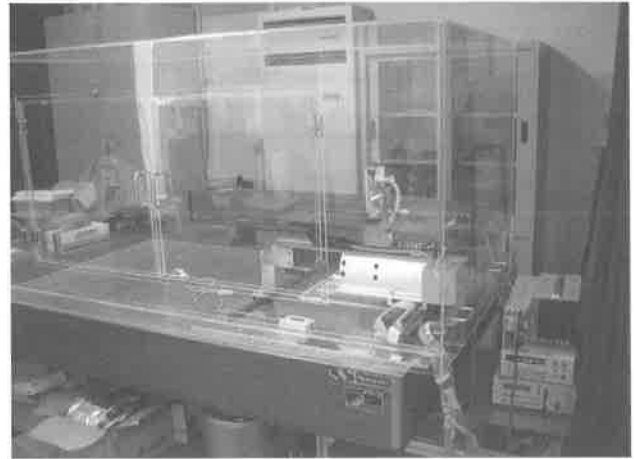


図2 自動計測システムの全景

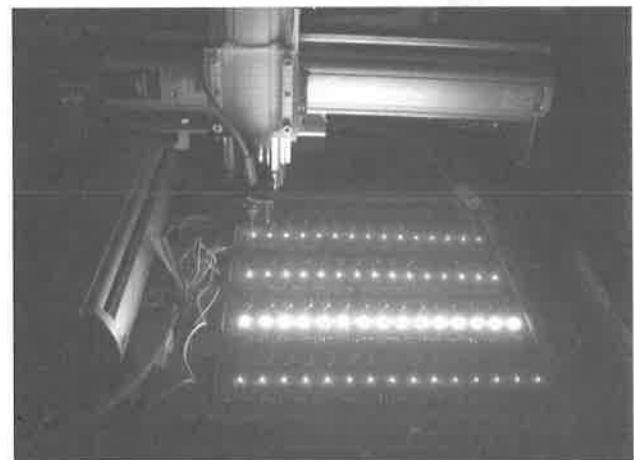


図3 自動計測の様子

3. 結果および考察

3-1 黄緑色LEDの光出力特性

図4に黄緑色LEDの光出力経時変化を示す。発光開始から860時間までのデータであり、温度も合わせて示している。4個のサンプルのデータをYG1からYG4として表示している。全てのサンプルで、発光開始初期に光出力の著しい低下が見られ、その後は緩やかに低下していることがわかる。図5は黄緑色LEDの光出力の初期値を100%とした変化率を、時間の平方根でプロットしたものである。光出力の変化率と時間の平方根が、ほぼ比例関係にあることがわかる。なお各LEDに接続した抵抗にかかる電圧は、時間に依存することなくほぼ一定であった。また温度にも大きな変動は見られなかった。ゆえに、光出力の低下は、各LEDに供給される電圧や温度の変化によるものではなく、LED自体の劣化によるものだと考えられる。そこで、変化率のグラフから近似直線を求め、寿命を予測した。図5には、光出力の低下が最も緩やかなYG4の変化率の近似直線を併せてプロットしている。LEDの寿命は、その光出力が50%となる時間とし、その時間を近似直線から予測した。黄緑色LEDの予測寿命を表2に示す。

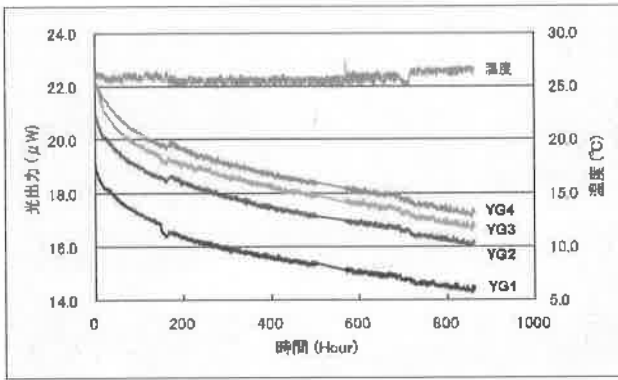


図4 黄緑色LEDの光出力経時変化

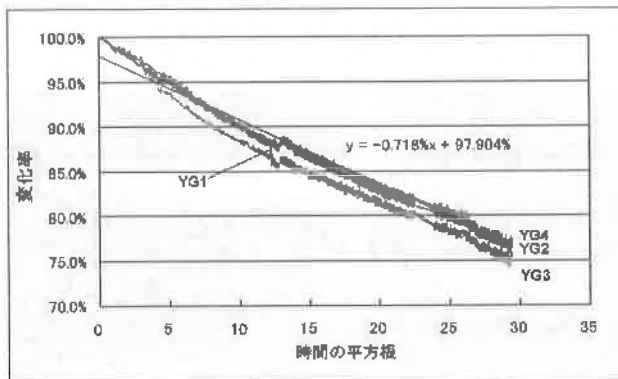


図5 黄緑色LEDの光出力変化率

表2 黄緑色LEDの予測寿命

	YG1	YG2	YG3	YG4
予測寿命 (時間)	3688	4245	4003	4448

3-2 赤色LEDの光出力特性

図6に赤色LEDの光出力経時変化を示す。発光開始から860時間までのデータであり、温度も合わせて示している。3個のサンプルのデータをR1からR3として表示している。黄緑色LEDとは異なり、発光開始初期の光出力の著しい低下は見られず、光出力が直線的に低下していることがわかる。図7は赤色LEDの光出力の初期値を100%とした変化率の経時変化である。なお黄緑色LEDと同様に、各LEDに接続した抵抗にかかる電圧は、時間に依存することなくほぼ一定であった。また温度にも大きな変動は見られなかった。ゆえに、黄緑色LEDの場合と同様に、光出力の低下は、各LEDに供給される電圧や温度の変化によるものではなく、LED自体の劣化によるものだと考えられる。そこで、変化率のグラフから近似直線を求め、寿命を予測した。図7には、光出力の減少が最も緩やかなR3と、減少が最も大きいR1について、近似直線を併せてプロットしている。LEDの寿命は、その光出力が50%となる時間とし、その時間を近似直線から予測した。赤色LEDの予測寿命を表3に示す。

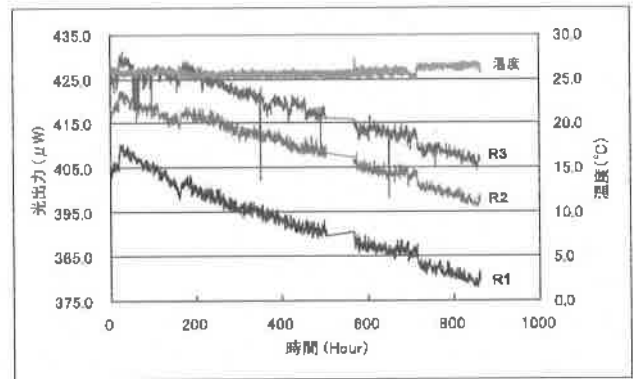


図6 赤色LEDの光出力経時変化

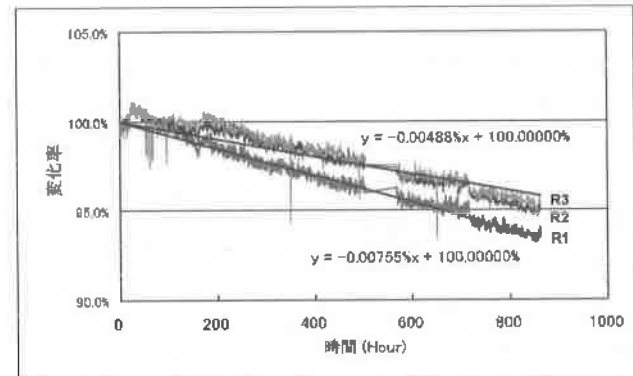


図7 赤色LEDの光出力変化率

表3 赤色LEDの予測寿命

	R1	R2	R3
予測寿命 (時間)	6623	9499	10242

3-3 高輝度赤色および白色LEDの光出力特性

図8に、高輝度赤色LEDの光出力経時変化を示す。発光開始から930時間までのデータであり、温度も合わせて示している。5個のサンプルのデータをBR1からBR5として表示している。また図9は高輝度赤色LEDの光出力の初期値を100%とした変化率を、時間の平方根でプロットしたものである。

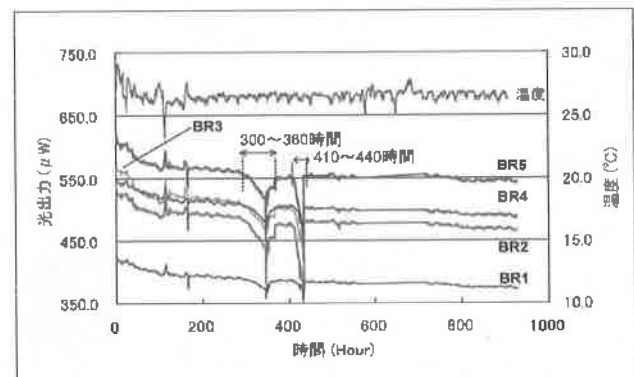


図8 高輝度赤色LEDの光出力経時変化

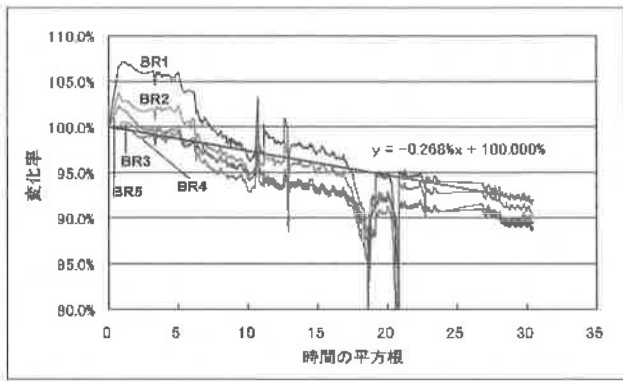


図9 高輝度赤色LEDの光出力変化率

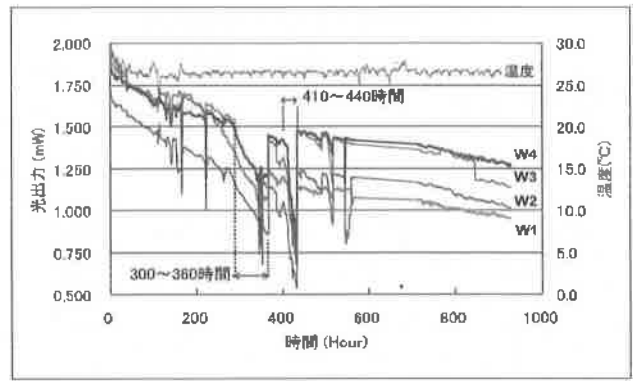


図10 白色LEDの光出力経時変化

図10に、白色LEDの光出力経時変化を示す。高輝度赤色LEDと同じく、発光開始から930時間までのデータであり、温度も合わせて示している。4個のサンプルのデータをW1からW4として表示している。また図11は白色LEDの光出力の初期値を100%とした変化率を、時間の平方根でプロットしたものである。

高輝度赤色および白色LEDの全てのサンプルに共通して、発光開始から約300~360時間および約410~440時間において、急激な光出力の低下が見られた。図12に示す高輝度赤色LEDに接続した抵抗にかかる順電圧の経時変化を見ると、サンプルBR5では、約150~360時間と約410時間以降において電圧が上昇している。この順電圧の上昇と、急激な光出力の低下には関連があるように見えるが、原因の特定には至っていない。

また、図8および図10に示す温度データから、発光開始直後から約50時間までの間、実験環境の温度が比較的高かったことがわかった。温度の上昇により、各LEDに流れる電流値は大きくなるため、この時間の光出力も大きくなっている。

しかし、計測データの変動が大きいものの、全体的な傾向としては、光出力の変化率と時間の平方根が、ほぼ比例関係にあるように考えられる。そこで、変化率のグラフから近似直線を求め、寿命を予測した。図9および図11には、光出力の減少が最も緩やかなBR1およびW1について、それぞれ近似直線を併せてプロットしている。LEDの寿命は、その光出力が50%となる時間とし、その時間を近似的直線から予測した。高輝度赤色および白色LEDの予測寿命を表4および表5にそれぞれ示す。

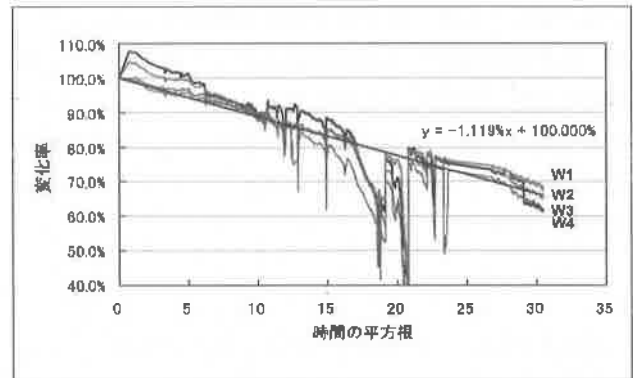


図11 白色LEDの光出力変化率

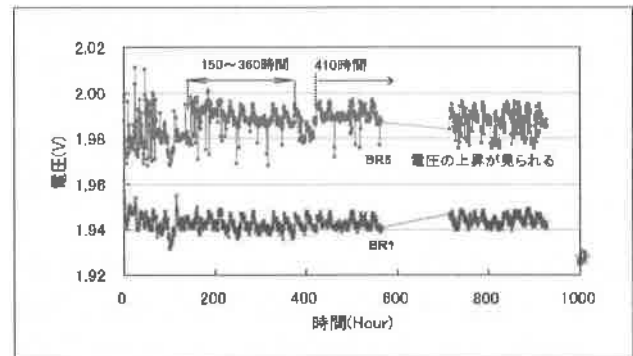


図11 白色LEDの光出力変化率

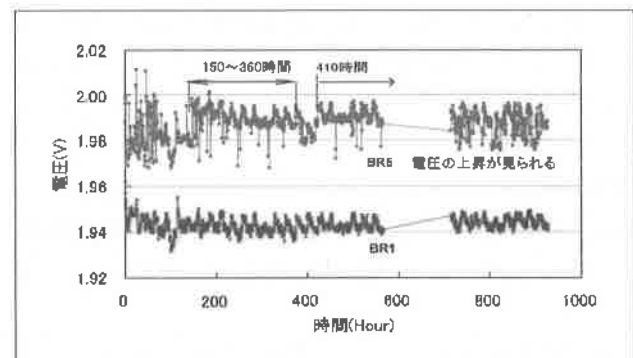


図12 高輝度赤色LEDに接続した抵抗にかかる順電圧の経時変化

表4 高輝度赤色LEDの予測寿命

	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5
予測寿命 (時間)	34923	20770	15850	15595	14357

表5 白色LEDの予測寿命

	W1	W2	W3	W4
予測寿命 (時間)	1998	1646	1807	1306

3-4 LEDの寿命予測法

これまで見てきたように、いずれのLEDにおいても、発光を開始した後、時間もしくは時間の平方根に比例して、光出力が減少する結果が得られた。発光開始から数百時間程度の光出力特性を計測することにより、LEDの寿命予測が可能となった。この作業はエージング処理と同時に進めるため、作業時間を増やすことなく寿命予測が可能となる。

4. 結 言

発光半導体素子の光出力特性を自動計測するシステムを開発し、計測した光出力特性から発光半導体素子の予測寿命を検討し、以下の成果を得た。

- 1) 黄緑色LEDの光出力の初期値を100%とした場合の変化率は、発光時間の平方根とほぼ比例関係にあることがわかった。この関係から寿命を予測した。
- 2) 赤色LEDの光出力の初期値を100%とした場合の変化率は、発光時間とほぼ比例関係にあることがわかった。この関係から寿命を予測した。
- 3) 高輝度赤色および白色LEDの光出力の初期値を100%とした場合の変化率は、発光時間の平方根とほぼ比例関係にあると思われるが、計測データの変動が大きかった。電源系の実験環境を整え、精度の良いデータを得ることが今後の課題である。
- 4) LEDの発光開始から数百時間程度の光出力特性を、エージング処理と同時に計測することにより、LEDの寿命予測が可能となった。

参考文献

- 1) 奥野保男：発光ダイオード，産業図書，P.159 (2003)
- 2) 庄野弘晃：信学技報，Vol.99，No.454，P.13-18 (1999)
- 3) 萩原茂，阿部治，今津千竹：山梨県工業技術センター研究報告，No.19，P.97-100 (2005)