

## 論文

## 紫外線効果用 LED 照射駆動装置の開発

原本欽朗\* 小林丈士\* 五十嵐美穂子\* 石束真典\*

## Development of Irradiation Drive device for Ultraviolet Ray LED

Yoshiaki Haramoto\* Takeshi Kobayashi\*, Mihoko Igarashi\*, Ishiduka.masanori\*

Ultraviolet ray LEDs of short wavelength have been developed, and recently also sold, though blue LEDs had been sold before. Therefore, their application to various industries such as a medical treatment, biotechnology, clean air, and resin stiffening is expected, and there are growing needs to make devices for trial purposes using ultraviolet rays LED and to evaluate their performance. Thus we aimed to examine the characteristics, longevity, drive system etc. for marketed ultraviolet ray LEDs, and to make a drive circuit for basic research and evaluation for trial purposes that aids commercialization. Then, we report on our research which benefits research and products which apply ultraviolet ray LEDs.

キーワード：紫外線LED, 駆動方式, ナノインプリント

Keywords: Ultraviolet ray LED, Drive method, Nanoimprint

## 1. はじめに

以前から青色LEDが販売されていたが、最近さらに短波長の紫外線LEDも開発、販売されるようになってきている。そのため、医療、バイオ、空気清浄、樹脂硬化といった様々な産業への応用が期待され、紫外線LEDを用いた装置を開発したいとの要望が増えてきている。

そこで、本研究では、市販されている紫外線LEDの特性評価および駆動方式等を検討し、企業の製品化への手助けとなる基礎研究、評価用駆動回路の試作を行なうことを目的としている。

本報告では、紫外線LEDを応用した製品開発を支援するために、以下の項目について研究を行った。

1.1 応用へ向けた紫外線LEDの評価 紫外線LEDを光触媒及び樹脂硬化へ応用するためには、素子単体の電気的特性、光学的特性及びバラツキ等を評価する必要がある。そこで、紫外線LEDの選定及び各種特性測定を行った。

1.2 光触媒への応用 光触媒への応用を目指し、光触媒向け紫外線LEDパネルの設計・試作を行い、パネルの評価を行った。

1.3 専用装置の設計・試作 1.2の測定結果及び、シミュレーションを行い、樹脂硬化(ナノインプリント)用専用駆動回路の設計、試作及び評価を行なった。この装置を用いて実際にナノインプリントを行い評価した。

## 2. 実験と結果

## 2.1 紫外線LEDの選定、電気特性測定及び光学的特性測定

研究開始当初(H18年4月)、市販されていた紫外線LEDに

ついて調査を行い、仕様書を基に4種類のLEDの特性を比較した。その結果、ピーク発光波長が光触媒及び樹脂硬化に一番効率的(365nm)な砲弾型の紫外線LEDを選定した。

今回用いた紫外線LEDの光波長特性を測定したものを図1に示す。図1で横軸は、波長(nm)、縦軸が光量(相対値)である。この結果から、紫外線LEDのピーク発光波長が368nmであることが確認できる。

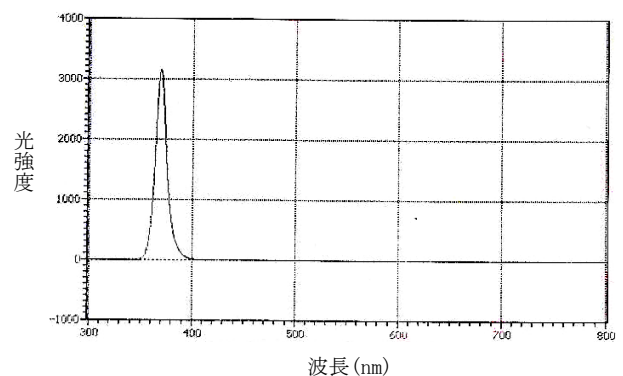


図1. 紫外線LEDの光波長特性

次に電気的及び光学的特性測定として、順電流(If)－順電圧(Vf)特性及び順電流(If)－光出力(輝度)の測定を行った。測定結果を図2及び図3に示す。なお、この測定では温度による影響は検討せず、室温にて行なった。

\*エレクトロニクスグループ

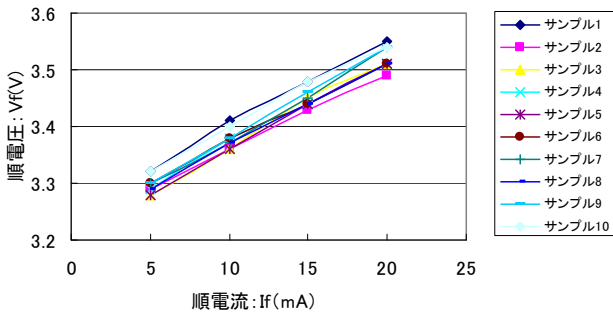


図2. 順電流－順電圧特性

図2の特性では、紫外線LED100個のうち、無作為に選んだ10個をサンプルとした。また、測定では定電流源を用いて5,10,15,20mAと可変し、紫外線LED両端の電圧をマルチメータで測定したものである。この結果から、LEDの使用範囲では順電流 (If) に順電圧 (Vf) がほぼ比例する。また、その変化量は0.2～0.3V程度であることがわかる。

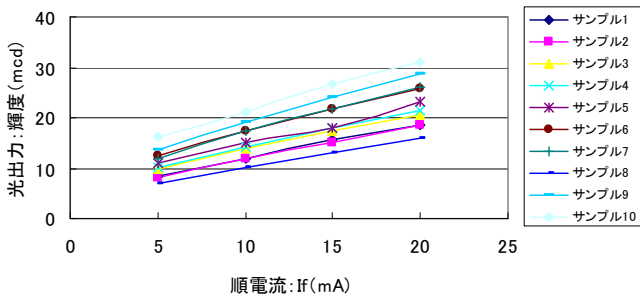


図3. 順電流－光出力特性

図3の特性では、図1と同一のサンプルで、定電流源を用いて5,10,15,20mAと可変し、紫外線LEDの光出力を輝度計で測定した。この結果から、LEDの使用範囲では順電流 (If) に輝度がほぼ比例する。ただし、素子によって輝度がばらついていることがわかった。

素子の光量 (輝度) のバラツキが大きい場合、LEDを多数用いるパネルや駆動回路を設計するときに、どの程度ばらつくかを知る必要がある。そこで、紫外線LED100個を一定電流 (20mA) で駆動したときの順電圧 (Vf) 及び光量 (輝度) の測定を行った。結果を図4に示す。なお、この測定においても温度による影響は検討せず、室温にて行なった。

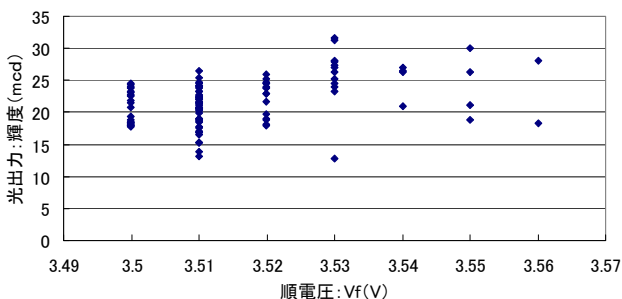


図4. 順電圧－光出力特性

図4の特性では、定電流源を用いて20mAとし、紫外線LED両端の電圧をマルチメータで、同時に紫外線LEDの光出力を輝度計で測定した。この結果から、LEDの光出力：輝度のバラツキが15～30mcdと非常に大きいことがわかった。なお、順電圧：Vfのバラツキは、0.1V以下であった。

2. 2 光触媒用紫外LEDパネルの試作と評価

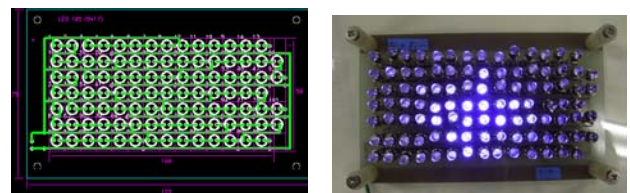
2. 2. 1 光触媒用紫外LEDパネルの設計・試作 光触媒の実験に必要と思われる仕様について、調査、検討を行った。その結果を以下に示す。

<パネルの仕様>

- ・照射面積：5cm×10cm
- ・光量：1000uW/cm2 (パネルから10cmはなれた場所)

この仕様、紫外線 LED 仕様及び上記実験の結果からパネルの設計を行った。

その結果、パネルに用いた紫外線 LED は 102 個、直列 6 個並列 17 個となるように配置し、駆動は 24V 電源を用いて点灯する方式とした。試作した光触媒用紫外線 LED パネルのレイアウト図と試作パネルを図5に示す。



(a) レイアウト図 (b) 試作パネル

図5. 光触媒用紫外 LED パネル

2. 2. 2 光触媒用紫外 LED パネルの評価

このパネルの試作では、紫外線 LED を選別せずに、抵抗を用いた定電圧駆動方式を用いた。これは、素子単体でのバラツキがパネルにしたときにどれくらい影響があるかも含め検討するためである。

まず、電気的特性を測定した結果を図6に示す。これはLED6 個に 1 個直列に接続されている抵抗の両端電圧を測定し、抵抗値で除算し電流値を求めたものである。

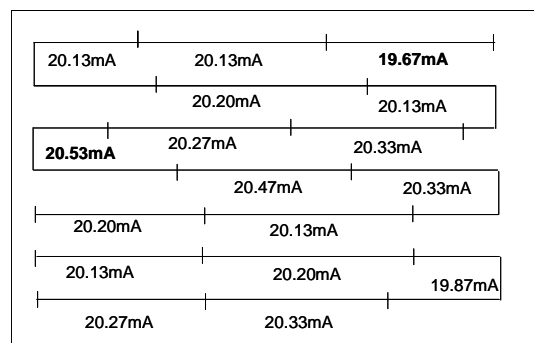


図6. 電気的特性 (電流値)

図6の結果から、最小値 19.67mA、最大値 20.53mA の電流が流れていることがわかった。このことから、順電流の

バラツキは最大で1割程度を推測される。

次に、光量はセンサを直近に置いた場合、センサを10cmはなした場合について、7箇所を測定した。結果を図7に示す。

センサを直近			センサを10cmはなした点		
5000	4920	4300	3500	2500	2000
	4400			3000	
4000	4250	4250	2600	3500	2500
平均値 4400uW/cm <sup>2</sup>			2800uW/cm <sup>2</sup>		

図7. 光量の測定結果

図7の結果から、センサを直近に置き測定した場合、単位平方cmあたり、最小値4000μW、最大値5000μW、平均値4400μW、センサを10cmはなした場合、最小値2000μW、最大値3500μW、平均値2800μWであった。センサを直近に置き測定した場合のほうがバラツキが少ない。これは、今回使用した紫外線LEDには指向特性があり、放射角度が非常に狭いため、試作時のわずかな素子の傾きが、距離を離して測定した場合、影響を受けると推測される。

なお、仕様である光量：1000uW/cm<sup>2</sup>（パネルから10cmはなれた場所）を満たしていることが確認できた。

### 2.3 専用（ナノインプリント用）装置の設計・試作

2.3.1 専用（ナノインプリント用）装置の仕様 ナノインプリントの露光装置として必要と思われる仕様について、調査、検討を行った。その結果を以下に示す。

<ナノインプリント用露光装置の仕様>

- ・照射面積：5cm×5cm
- ・光量：1mW/cm<sup>2</sup>
- ・露光面との距離：10cm
- ・LEDの個数：49個
- ・LED駆動方式：20mA定電流、PWM制御
- ・紫外線センサ：9個

露光面の光量を均一にするため、露光部に紫外線センサを配置し、センサの出力を基に10回路のLED直列回路をPWM制御し、均一面を出すこととした。

2.3.2 シミュレーション 露光装置の試作の前に、仕様のおおりに設計したときの露光面の光量のバラツキを、事前にシミュレーションによって確認した。シミュレーションの条件は以下のとおりとした。

- ・指向特性：半値幅10°、その他は正規分布近似
- ・LED出力：1.2~1.7mW（ランダム）
- ・LEDの角度のバラツキ：±5°以内、±2°以内
- ・PWMの制御の有無

LEDの角度のバラツキは、個々の紫外線LEDが露光面に対して、どれだけランダムに傾いているかを示すパラメータである。

シミュレーション結果を表1と図8に示す。

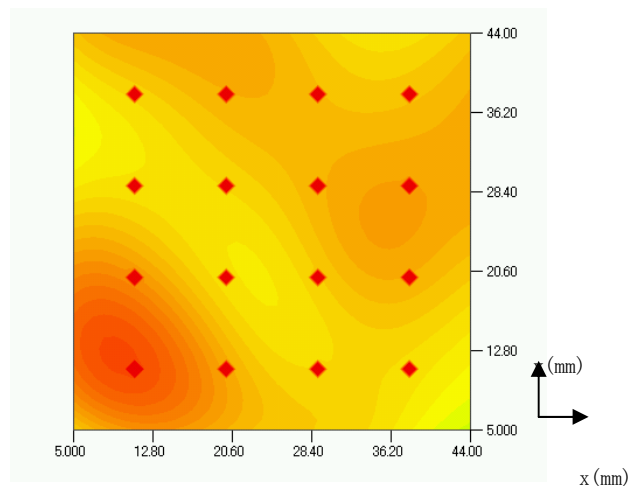
表1では、LEDの角度のバラツキとPWM制御の有無

を比較している。標準偏差は、露光面の光量のバラツキを示している。表からLEDの傾きが小さいほど露光面の光量が均一になることがわかる。さらに、PWM制御を行うことにより、露光面の平均光量は落ちるものの均一度が向上することがわかる。

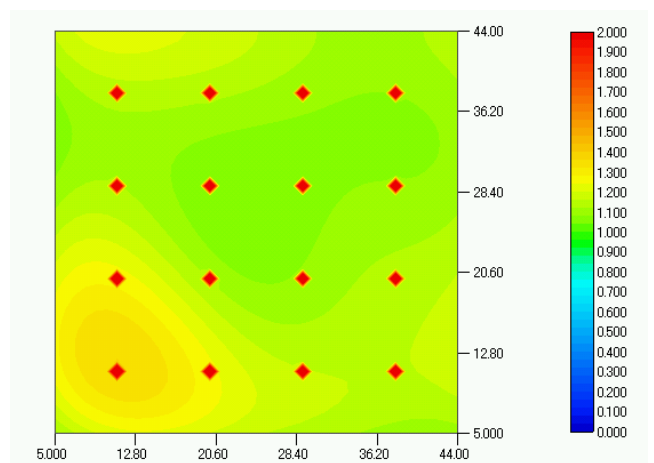
図8のシミュレーション結果は、露光面の光量の分布を表している。図中の点は、紫外線センサの位置を表している。(a)と(b)の図を比較しても、光量の分布の均一度が向上していることがわかる。

表1. 露光面の光量シミュレーション結果

	PWM制御なし		PWMあり
	$\theta \leq \pm 5^\circ$	$\theta \leq \pm 2^\circ$	$\theta \leq \pm 2^\circ$
最大光量	0.97mW/cm <sup>2</sup>	1.09mW/cm <sup>2</sup>	1.01mW/cm <sup>2</sup>
最小光量	1.95mW/cm <sup>2</sup>	1.88mW/cm <sup>2</sup>	1.30mW/cm <sup>2</sup>
平均光量	1.46mW/cm <sup>2</sup>	1.47mW/cm <sup>2</sup>	1.15mW/cm <sup>2</sup>
標準偏差	0.21	0.16	0.06



(a)  $\theta \leq 5^\circ$ 、PWM制御なしのときの露光面分布



(b)  $\theta \leq 2^\circ$ 、PWM制御ありのときの露光面分布W/cm<sup>2</sup>

図8. 露光面分布のシミュレーション結果

以上の結果から、配置するLEDは露光面にできるだけ垂直に向けなければならないこと、そしてPWM制御の効

果が期待できることがわかった。

### 2. 3. 3 専用（ナノインプリント用）装置の設計・試作

設計・試作したナノインプリント用の露光装置のブロック図と写真を図9、10に示す。以下試作した露光装置の各ブロックについて説明する。

#### ・センサ回路

紫外線露光部分には、紫外線センサ9個を含むセンサ回路がある。この回路基板の設置場所を変えることで36ポイントの測定位置を可能にした。

#### ・制御回路部

制御回路部は、H8マイコンを使用し、表示用LCDと入力用キーパッドを接続した。制御回路部では、センサ回路からの入力により、LEDドライブ回路に、どのLEDの出力を調整するか指令を出す。

#### ・LEDドライブ回路

LEDドライブ回路は、PICマイコンにより10回路並列のPWM信号を発生し、その信号を定電流回路のON/OFFに用いることにより、紫外線LEDをPWM制御する。また、紫外線LEDは露光面に対して垂直になるようにガイドを設けた。

LEDの出力のフィードバックのアルゴリズムは以下の手順に従って行った。

- (1) 1列目のLEDを100%出力で点灯させ、残りの9列を消灯させる。このときのセンサの値を記憶する。
- (2) (1)をすべての列について行う。
- (3) マイコン内で、すべての列を点灯させたときの、センサの入力を仮想的に計算し、センサの入力のバラツキを計算する。
- (4) LED1列だけ出力を落としたときに、センサの入力のバラツキを再計算する。
- (5) (4)の計算をすべての列について行い、一番バラツキが小さくなる列の出力を下げる。
- (6) (3)~(5)の手順を全体の出力が80%になるまで繰り返す。出力を小さくすればバラツキが小さくなるが、露光時間が長くなるため、出力は80%とした。

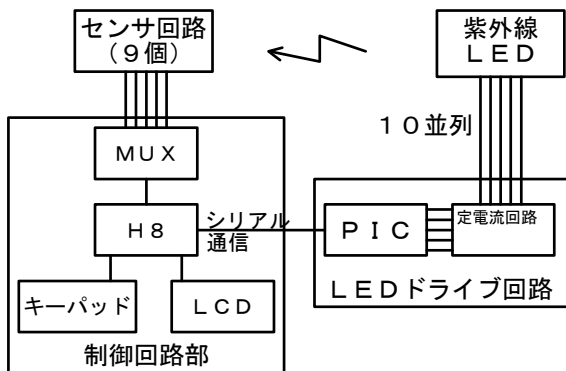


図9. 試作した露光装置のブロック図

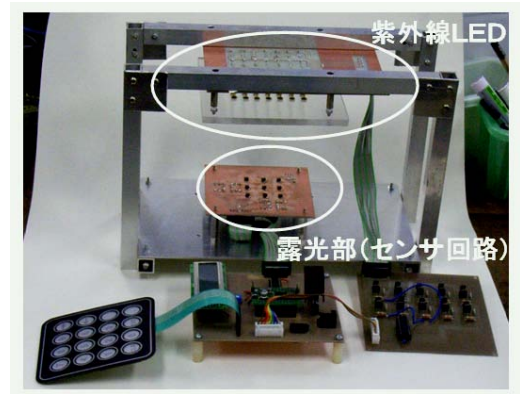
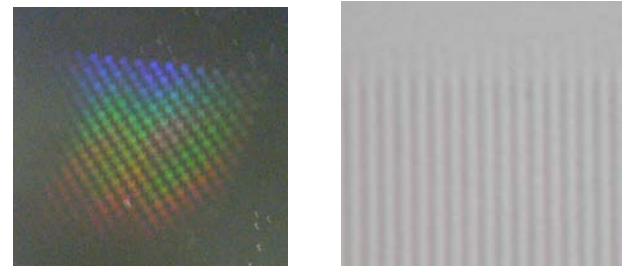


図10. 試作した露光装置の写真

### 2. 3. 4 専用（ナノインプリント用）装置の評価

試作した露光装置により、紫外線硬化樹脂のナノインプリントを行った。ナノインプリントの鋳型には、1 $\mu$ mのラインアンドスペースのものを使用した。なお、鋳型の素材には、ポリジメチルシロキサンを使用した。本装置により露光し、転写を行ったものを図11に示す。図11の(a)の写真では、転写物の干渉縞が確認できる。(b)は転写物の光学顕微鏡写真であり、ラインアンドスペースが転写されていることが確認できる。本装置による転写には約2分要した。



(a) 転写物

(b) 転写物の顕微鏡写真

図11. ナノインプリント露光結果

## 3. まとめ

本研究では、紫外線LEDの電気的特性および光特性を測定し、バラツキが大きい等がわかった。また、光触媒用紫外LEDパネルの試作と評価を行うことにより、紫外線LEDを多数用いたときの問題点を把握した。さらに、紫外線LEDを用いた紫外線露光装置を試作し、露光面の光均一度を得るための駆動方式(PWM制御)の検討および評価を行った。本研究で得た基礎データや技術を用いることで、紫外線LEDを用いた製品開発へ応用が可能となった。

(平成20年7月3日受付, 平成20年8月28日再受付)

## 文 献

- (1) 日亜科学工業株式会社: 「LED標準仕様書 紫外線LED NUHU590B」, Cat.No.040423
- (2) 工藤寛之, 加沢エリト, 渡邊耕士: 「微細モールドを用いたソフトリソグラフィ技術の開発」, 東京都立産業技術研究所研究報告, No7, pp. 85-86 (2004)