

回折光学素子によるLEDの光強度均一化の検討 Flattening of LED light intensity with diffractive optical element

○前田 重雄¹⁾, 徳田 潤¹⁾, 錦 朋範¹⁾, 後藤 洋臣²⁾, 橋内 雅明²⁾, 西川 瑠美²⁾, 小西 毅²⁾, 伊東 一良²⁾

○Shigeo Maeda¹⁾, Jun Tokuda¹⁾, Tomonori Nishiki¹⁾, Hiroomi Goto²⁾, Kitsunai Masaaki²⁾, Rumi Nishikawa²⁾, Tsuyoshi Konishi²⁾ and Kazuyoshi Itoh²⁾

I D E C株式会社¹⁾, 大阪大学大学院 工学研究科²⁾

IDEAL CORPORATION¹⁾, Graduate School of Engineering, Osaka University²⁾

E-mail: shmaeda@idec.co.jp

LEDs are used in display and illumination applications because of their potential for long life and low power consumption. Although a diffuser is commonly used for flattening of LED light intensity, flattening of a diffuser causes an issue of low transmittance. We studied high-efficiency light intensity flattening using the wavefront transformation by diffractive optical element (DOE).

1. はじめに

LED を用いた表示灯¹⁾や照光式押ボタンスイッチ²⁾は、その表示の見やすさにより、機械の正常や異常などの動作情報を人間工学的な観点から分かりやすく伝えることができる。我々はLED表示灯に関して安全および国際標準化そして使いやすさを考慮して、高輝度化、広視野角化、色彩明確化、長寿命化、そして省エネルギー化を追求してきた。

表示灯の光源として用いられるLED光は強い指向性を持っており、LEDの光強度を均一化するための技術として、例えば導光板を用いる方法が用いられている。この場合には薄型化が可能となる反面、導光板の設計が複雑になる問題や、内部反射により光の利用効率が低下する問題がある。また、拡散板による光強度分布の均一化の場合、光源側や光軸と垂直方向に多くの光が反射されるため、出力強度は光源に比べて大幅に低下する。そのため、十分な光強度を得るために複数のLEDを配置する必要があった。

これに対して回折光学素子(DOE)³⁾による波面変換の場合には出力の制御を任意に行なえるため、光源出力に対する出力光の低下を小さく抑えることが出来る。このようにLEDの光強度均一化にDOEを用いることで以下の利点があげられる。第1に光強度の低下を抑えることが出来るために、光源としてのLEDの個数を少なくすることが可能となる。第2にDOEによる波面変換を用いることで伝播距離を短くすることが出来るため、表示機を小型化することが可能となる。

本稿では、LED表示灯の光利用効率の向上および更なる薄型化のために回折光学素子(DOE)の設計を行ないLEDの光強度均一化の検討を行なった。

2. 最適化法を用いたDOEの設計

本研究ではDOEの設計のために、LED光の伝播をフレネル回折で表し、計算機上でシミュレーションを行なった。一般にフラウンフォーファー回折を表すフーリエ変換を用いて行なわれる最適化法の一つであるGerchberg-Saxton(GS)アルゴリズム⁴⁾に対し、フレネル回折を表すフレネル変換を代用することでDOEの設計を行なった。

設計にはGSアルゴリズムを用い、DOE面での振幅分布と出力面での目標振幅分布をもとに、DOE面と出力面間の未知の伝播状態を最適化してDOEの位相変調分布を求めた。出力面で直径30mmの均一な光強度分布を得ることを目標として図1に示す光学系を条件として伝播距離を10mmに設定した。また、シミュレーションにおける光源の波長は633nmとした。LED光の伝播は球面波で近似し、伝播シミュレーション上での入力をガウシアンに設定した。

GSアルゴリズムによる伝播シミュレーションの一例を図2示す。図2のターゲットを目標出力分布とし、GSア

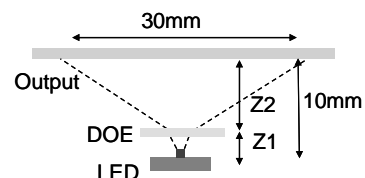


Fig.1 Schematic diagram of optical setup

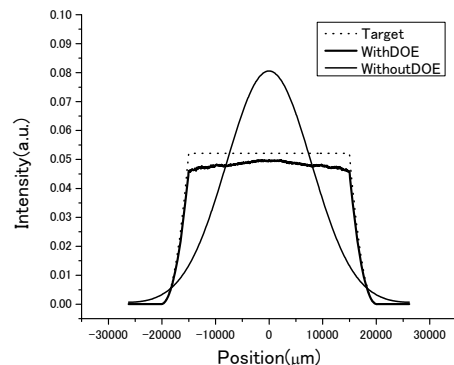


Fig.2 Calculated output profile by using the GS algorithm (Z1=8mm, Z2=2mm)

ルゴリズムの反復計算回数を 100 回として得られた最終出力はターゲットに近いプロファイルとなり、DOE 無しの場合に比べて光強度が均一化されていることがわかる。本設計で得られた DOE の中央部の位相変調を図 3 に示す。本設計で得られた DOE を実現するためには空間分解能の高い位相変調が必要であることがわかる。

GS アルゴリズムを用いた伝搬シミュレーションにより、目標出力強度分布である台形状の強度分布に近い出力となるような最終出力が得られ最適化が十分に行なわれていることが確認できた。

3. 位相変調のバイナリ化の検討

前項で述べたような位相変調が連続的な値を持ち空間分解能が高い DOE の作製は加工が困難という問題点がある。このため DOE の機能を維持しながら作製を簡略化するためには連続した値を離散化した位相変調に置き換える必要がある。図 4 に実際に電子線露光装置を用いて、作製可能なサブ波長構造の分解能を確認するために試作した DOE 素子の SEM 写真を示す。図 4 の結果から、0.3 μm 程度の分解能が得られていることが確認できる。この条件をもとにシミュレーションにおけるバイナリ素子の分解能を 0.3 μm に決定した。

容易に DOE を作製するため 0 と π の 2 値の位相変調で構成されるバイナリ構造による LED 光の強度均一化についてシミュレーションによる検討を行なった。前項で計算した DOE の位相変調を所定の条件で 0 と π に置き換え、DOE 面でこの位相変調を足し合わせることで伝搬シミュレーションを行なった。この結果を図 5 に示す。適切にバイナリ化を行うことにより、バイナリ化した素子においても所望の出力が得られた。本設計で得られた DOE の中央部の位相変調を図 6 に示す。

4. おわりに

本稿において我々は、高効率な LED 光の均一化を目指し DOE の設計を行なった。設計は LED 光の伝播を球面波に近似し、フレネル回折に基づいたシミュレーションおよび最適化アルゴリズムを用いて行なった。DOE の機能を維持しながら作製を簡略化するために、位相変調をバイナリ化した DOE の設計を行なった結果、バイナリ化条件の調節により連続的位相変調の場合と同様の出力分布が得られることが明らかとなった。

本研究を行うにあたり、ご支援をいただきました大阪大学フォトンクス先端融合研究センターに厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 三輪高仁 他, ヒューマンインタフェースシンポジウム (2001)
- 2) 麻議夫 他, ヒューマンインタフェースシンポジウム (2005)
- 3) Di Feng et al., J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 6 (2004) 429
- 4) Graeme Whyte and Johannes Courtial, New Journal of Physics 7 (2005) 117

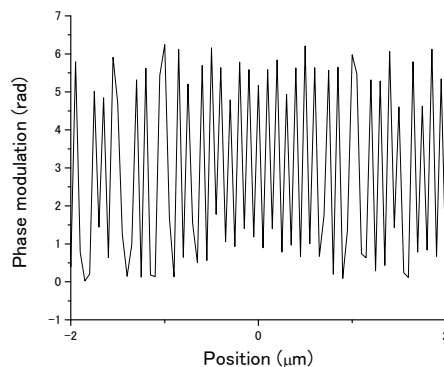


Fig.3 Calculated phase modulation of DOE

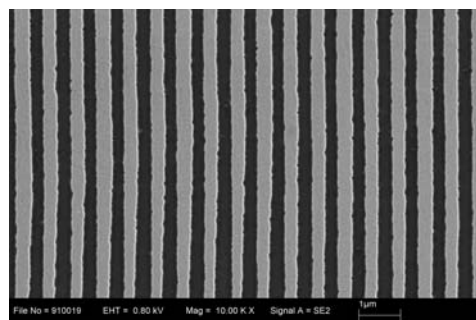


Fig.4 SEM photograph of fabricated binary DOE

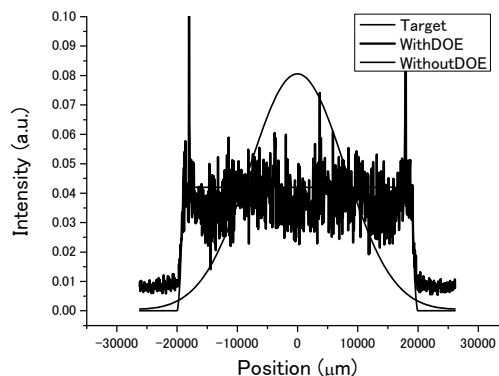


Fig.5 Calculated output profile at binary condition ($Z_1=1\text{mm}$, $Z_2=9\text{mm}$)

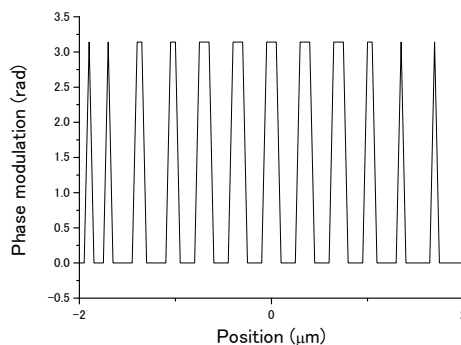


Fig.6 Calculated phase modulation of binary DOE