

計算機合成ホログラムの手法で設計した
任意形状ビーム成形用回折光学素子
A Diffractive Optical Element Designed by the Method of Computer-
Generated Holograms for Arbitrary Pattern Beam Shaping

○ 松島恭治, 森村 隆, 平井隆之*, 布施敬司*, 栗巢賢一*, 江畑恵司*

K. Matsushima, T. Morimura, T. Hirai, K. Fuse, K. Kurisu, K. Ebata

関西大学工学部先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

* 住友電気工業(株) エレクトロニクス・材料研究所

Advanced Material R&D Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd.

A diffractive optical element (DOE) is designed and fabricated for arbitrary pattern beam shaping. This DOE makes it possible to produce a laser beam with any intended transversal pattern of optical intensity from ordinary TEM₀₀ Gaussian beam. The surface profile of the DOE is generated by using a technique based on the bi-directional projection algorithm in computer-generated holograms and fabricated by the reactive ion etching.

1. はじめに

計算機合成ホログラム(CGH)は回折現象を利用して入射光の波面を変換する波面変換素子であり, 回折光学素子(DOE)の一種と考えられる. 特に位相型の CGH は入射光波のエネルギーをほとんど失うことなく波面変換が可能であるため, これを用いて均一な強度分布や単純な形状の強度分布を発生するビームシェーパーと呼ばれる光学素子の研究が行われてきた.

これらの研究の進展, 特に計算機による最適化をベースとした設計アルゴリズムやそれに必要な大規模な計算機能力の実現, さらに反応性イオンエッチングによる表面レリーフ型素子の製造技術の進歩により, 比較的単純なビーム形状への変換や強度分布の均一化だけではなく, 種々の複雑な形状の回折パターンを発生する DOE を実用化する可能性が高まっている.

従来, 特定の形状の光強度パターンが必要な場合には, Fig.1 (a) に示した様に, 振幅型のマスクを透過することによりそれを得た. しかし, この方法で複雑なパターンを形成した場合, 振幅マスクを透過する光エネルギーはマスクに入射するその1%にも満たないことが多い. それに対して Fig.1 (b) の位相型マスクでは入射光の全エネルギーを透過し, 回折像としてパターンを発生するため, 光利用効率は振幅マスクに比べて 1~2 桁高くなる. この様な光学素子が容易に設計・製作できれば, レ

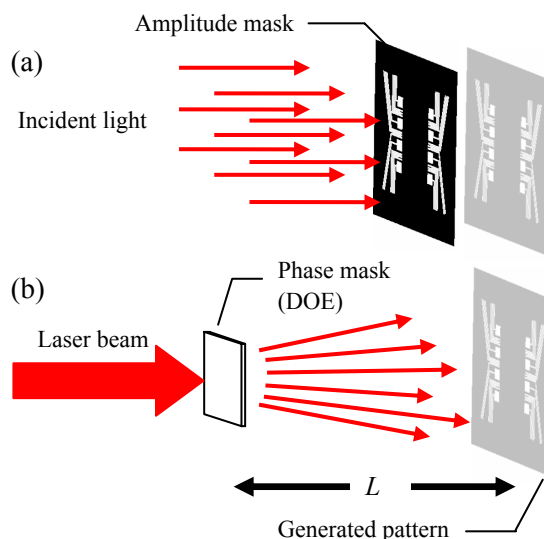


Fig.1 Pattern generation by amplitude mask (a) and DOE beam shaper functioned as phase mask (b).

ーザ加工の現場等において有用な素子になると考えられる. 本研究では, CGH の位相コーディング技術を用いて実際にこのように機能する位相型 DOE を設計・製作した結果について報告する.

2. DOE 位相分布の設計

従来, フーリエ型 CGH のコーディング法としては, シミュレーテッド・アニーリング(SA)や直接探索法[1], 反復フーリエ変換法[2]などが良く知られている. CGH のピクセル数が少ない場合には, 評価関数の極小解を探索

する SA や直接探索法が有効であるが, 本研究で製作したビームシェーパでは多数のピクセルを必要とするため, この種の手法では莫大な計算時間を要する. 一方, 反復フーリエ変換法では評価関数を定義できず, また連続値の解しか得られないが, ピクセル数が多くて現実に時間がかかるとは結果が得られる利点がある.

本研究で設計した DOE はフーリエ型ではないが, この様な点を考慮し, 反復フーリエ変換と同様の考え方で DOE 出射直後の光波とその回折像との間の射影計算を双方向に反復することにより, 必要な回折像を与える DOE の表面形状分布を求めた.

Fig.2 にこの手順を示す. 回折像として得たい光強度分布 (信号関数 $u_{sig}(x, y)$) を逆伝搬して, 入射光で除算した結果の振幅を定数 1 とする. これが初期の DOE 位相分布 $t(x, y)$ である. これに入射光が透過して伝搬した光波の振幅を $u_{sig}(x, y)$ のそれで置換する. これを反復することで DOE 位相分布の設計を行う.

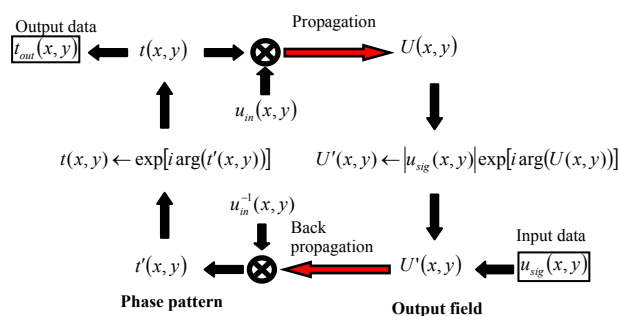


Fig.2 The iterative diffraction method

ここで, 設計目標強度分布を与える信号関数の振幅として, Fig.3(a)に示す 4096×4096 ピクセルの 2 値画像を用いた. この画像は線幅 150 μ m のプリント配線パターンを擬しており, 回転対称性はない. また, 信号関数の位相としてはレンズと同様の 2 次の位相関数を用いた. これにより Phase dislocation の発生を抑制し, 出力パターンの劣化を軽減することができた.

また, 信号関数の振幅分布に急峻なエッジが存在すると収束が進まないため, 実際の設計ではガウス関数との畳み込み積分によりアンチエイリアシング処理を行っている. 設計パラメータを Table I に示す.

Table I Parameters used for design and fabrication

Wavelength	632.8	[μ m]
Pixel size	5 × 5	[μ m ²]
Number of pixels	4096 × 4096	
Working distance	200	[mm]
Diameter of incident beam ($1/e^2$)	10	[mm]

これらのパラメータおよび信号関数を用いて反復回折計算を 150 回行った. この時, 回折計算の折り返しエラーによる誤差をさけるため, サンプルング数を 8192×8192 とした. その結果, 連続値位相分布では回折像の強度分布の信号関数に対する S/N 比として 33 [dB] を, また, 閾値を用いて 16 レベルに量子化を行った位相分布での S/N 比として 17 [dB] を得た. この時, 予想される回折像を Fig. 3(b) に示す.

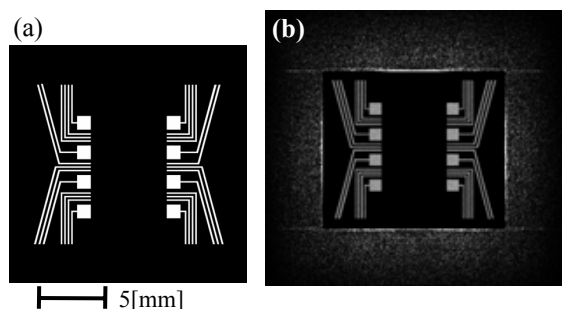


Fig.3 (a) Amplitude pattern of signal function.
(b) Output intensity predicted by simulation.

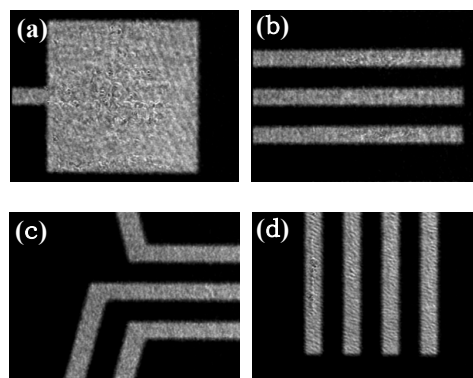


Fig.4 Output intensity of the fabricated DOE

3. DOE の作成と実験結果

この様にして求めた位相分布を表面レリーフの深さ分布に換算し, 4 回のドライエッチングにより熔融石英基板上に 16 レベルの表面レリーフを形成した. 試作した DOE にビーム径 10mm の He-Ne レーザを透過し, 距離 200mm で得られる回折像をビームプロファイラで測定した. 得られた強度分布の各部の拡大図を Fig.4 に示す.

5. まとめ

所定の複雑な強度分布を発生するフレネル型 DOE を反復回折計算により設計し, それを石英基板上に試作することによってこの様な DOE が実際に設計・製作可能であることを確認した.

参考文献

[1] M. A. Seldwitz et al.: Appl. Opt., **26**, 2788 (1987).
[2] F. Wyrowski: J. Opt. Soc. Am., **A5**, 1058(1988).