

複雑な形状の強度分布パターン発生に最適化された レーザー加工用回折光学素子

森村 隆*, 平田博之*, 松島恭治*†, 平井隆之**, 布施敬司**, 栗巢賢一**, 江畑恵司**

* 関西大学工学部 †関西大学ハイテクリサーチセンター

** 住友電気工業(株)アドバンストマテリアル研究所ナノマテリアル研究部

本報告では、ビーム断面の光強度分布が基本ガウス分布である入射レーザービームを所定の複雑な強度分布パターンに変換する位相型回折光学素子について述べる。このような回折光学素子は透明基材上にミクロンオーダーの表面レリーフを形成することにより作製され、従来用いられているパナリマスクを用いたパターン形成に比較して光エネルギー利用効率の飛躍的な向上が期待される。表面レリーフ形状の設計手法とそれを石英基板上に形成した回折光学素子の試作結果について報告する。

1. はじめに

回折光学素子(Diffractive Optical Element, 以下 DOE)は光の回折現象を利用した光学素子であり、レーザー加工の分野においては、これを用いて基本ガウス形状の強度分布パターンを均一な強度分布や単純な形状の強度分布に変換するビームホモジナイザーやビームシェーパ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計算機能力の発展、さらに表面レリーフ型の位相型回折光学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、プリント配線パターンなど、特定用途の種々の複雑な形状の強度分布を発生する様に最適化された「テーラード回折光学素子」が実用化する可能性が高まっている。従来、マーキング処理等でこのような強度分布が必要な場合には、Fig.1 (a)に示した様に、その形状に応じたマスクを用いていた。しかし、この方法で形状が複雑なパターンを形成した場合、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)の位相型回折光学素子の効率

は1~2桁高く、このような光学素子が容易に設計・作製できれば、レーザー加工の現場においては、「光の金型」とも呼べる素子となると考えられる。

本発表では、実際にこのように作用するフレネル型 DOE を設計し、その実現可能性について報告する。

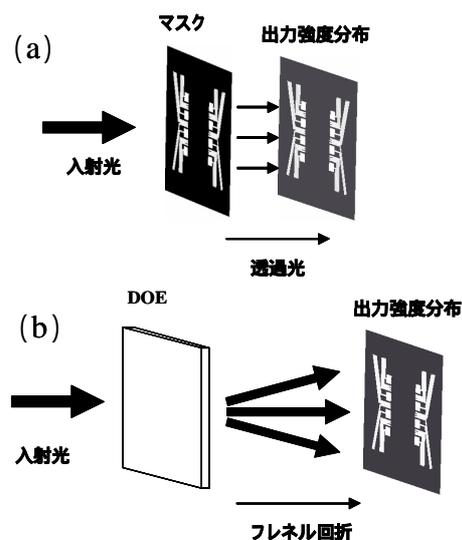


Fig.1 (a) マスクによるパターン形成, (b) DOE ビームシェーパによるパターン形成

2. DOE の設計方法

従来, DOE の最適化設計には, Direct Binary Search や Simulated Annealing, 反復フーリエ変換法 (Iterative Fourier Transform Algorithm, 以下 IFTA) [1]などが知られている. 回折型ビーム成形素子は非常にピクセル数が多いため, 本研究では IFTA と同様の反復法を用いて設計を行った.

本研究ではフレネル型 DOE を試作するため, IFTA と同様に反復的に回折計算をすることによりレリーフ形状 (位相分布) の最適化設計を行う. Fig.2 にこの手順を示す. この手法では結果として得たい像面強度分布 (信号関数 $u_{sig}(x, y)$) を逆回折して, 入射光で除算した結果に対して振幅無変調の制約を課し, それを回折計算して信号関数の強度分布を制約として課す. これを反復することで, DOE 位相分布 $t(x, y)$ の設計を行う.

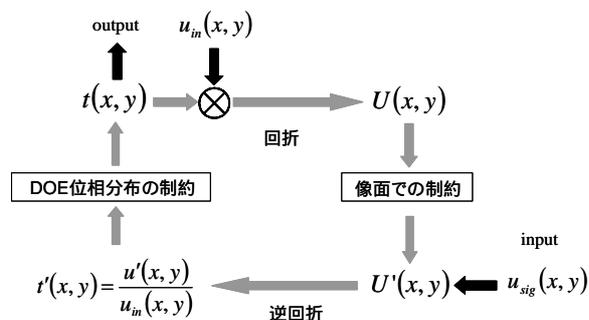


Fig.2 反復回折計算アルゴリズム

3. 信号関数の設定

DOE の設計ではまず信号関数を作成しなければならない. 今回は, Fig.3 に示すような 4096×4096 ピクセルの 2 値のパターンを信号関数の振幅分布として用いた. しかし, このままでは白 (振幅 1) から黒 (振幅 0) に変化する急峻なエッジで最適化が進まないため, 実際の設計では全幅 10 ピクセルのガウス関数とのコンボリューション積分によりエッジをぼかすアンチエイリアシング処理を行った.

一方, 信号関数の初期位相分布は自由パラメータであるので, これを乱数値に設定することもできる. しかし, その場合位相に Phase dislocation と呼ばれる不連続な点が発生し, 最適化後の像面に強度が極端に低くなる点がランダムに発生する. そこで,

$$\phi(x, y) = -k \left(\frac{x^2 + y^2}{2f} \right)$$

で表される連続的な位相分布を初期位相分布として用いた. この関数は一般にレンズの位相を表してお

り, f は焦点距離で k は波数である.

4. DOE 設計結果と試作結果

光の回折限界やガウスビームの集光限界を考慮して決定した設計パラメータを Table.1 に示す.

Table.1 設計に用いたパラメータ

波長	632.8 [nm]	He-Ne laser
サンプリング間隔	5×5 [μm^2]	
サンプル数	4096×4096	
伝播距離	200 [mm]	
入射ビーム径($1/e^2$)	10 [mm]	

Table.1 に示したパラメータを用いて, 反復回折計算を 150 回行った. ここで回折計算には波面展開法を用いた. その結果, 連続値の DOE 位相分布では像面の強度分布の SN 比として 33.1[dB]を得た. この分布に対して閾値を用いた 16 レベルの単純量子化を行ったところ SN 比は 17.2[dB]となった. この時の像面強度分布を Fig. 3 に示す.

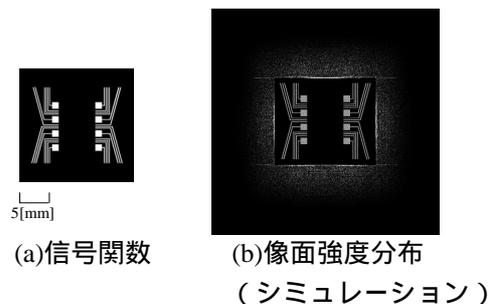


Fig.3 設計した DOE の像面強度分布

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, フォトリソグラフィーとエッチングの技術により石英基板上に表面レリーフを形成した. 試作した DOE の像面強度分布を Fig.4 に示す.



Fig.4 試作した DOE の像面強度分布

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, それを実際に石英基板上に試作することによって複雑な形状の像面強度分布を発生する DOE が製作可能であることを確認した.

6. 参考文献

[1] F. Wyrowski: J. Opt. Soc. Am., **A5**, 1058(1988).