

### 3次元微細光学素子作製技術の研究開発

3次元微細光学素子研究リーダー  
岩田耕一（大阪府立大学大学院）

#### 1. 研究の目的

描画装置やレーザービーム描画装置による描画により、平面上に微細パターンの描画やそれに基づくエッチングなどの加工に関する研究、開発が幅広く行われている。しかし、曲面上に微細構造を持つ光学素子については、機械加工が多く、微細構造および曲面が点対称であるものに限られる場合が多い。しかし、今後曲面上に微細構造を持つような光学素子を製作する方法が開発されれば、光学素子製作の自由度が大幅に拡大すると考えられる。この研究グループでは、このような光学素子を製作するためのレーザービーム描画装置を製作するとともに、それに伴う製作技術について研究開発を行うことを目的とする。本事業に2次元平面上に微細な構造を持つ光学素子については、電子ビームおけるテラ光情報処理・伝送システムには直接関係するものではないが、将来を見据えた研究である。

#### 2. 研究テーマの内容の概要説明

##### 2.1 フェーズ（平成9年度～平成11年度）

3次元曲面上の微細光学素子は、光ディスク技術においてDVDの開発の初期にCDとDVDのディスクの厚みを補償するための方法として開発されている。また、レンズの色収差補正用にレンズ表面に回折光学素子を作製する技術もある<sup>1)</sup>。しかし、いずれも軸対象な素子であり、また、回折素子のピッチも20 $\mu\text{m}$ 以上で、機械加工により製作されている。そこで、本研究グループでは、自由度が大きいと思われるレーザービーム描画装置を用いた3次元光学素子作製技術の研究開発をすることを目的とした。

図1にこの研究テーマの概要を示す。図にはこの研究グループでの研究の流れをも示している。3次元曲面上微細光学素子の作製のキーとなる技術は、3次元レーザービーム描画装置であるが、現状の2次元描画から3次元描画にするための技術的課題は多い。まず、その設計の方法、3次元曲面の加工方法、レジスト貼付の方法、曲面と回折素子との位置合わせ、描画、エッチングなど微細加工の方法、将来はその成型方法などである。これらの技術も含めた研究開発が望まれる。

3次元曲面上にレーザー描画を行うためには、曲面を持つ部品を固定したステージをx,y,zに移動させるだけでなく、それぞれの軸の周りの回転をも行う必要がある。そのような3次元レーザービーム描画装置の概念図を図2に示す。このようなステージの位置と姿勢の制御のために3次元パラレルメカニズムを用いることを方針とした。パラレルメカニズムは、比較的最近に使われるようになった機構であり、産業用ロボットの位置決めや工作機械には応用されはじめられ、3次元測定器には応用に向けた研究が始められている<sup>2)</sup>。その利点はシリアルメカニズムに比べて軽量で移動が速く行えることである。しかし、レーザービーム描画装置に利用された例はない。微細光学素子を作製するには、1 $\mu\text{m}$ 以下の位置の精度が要求されるもの

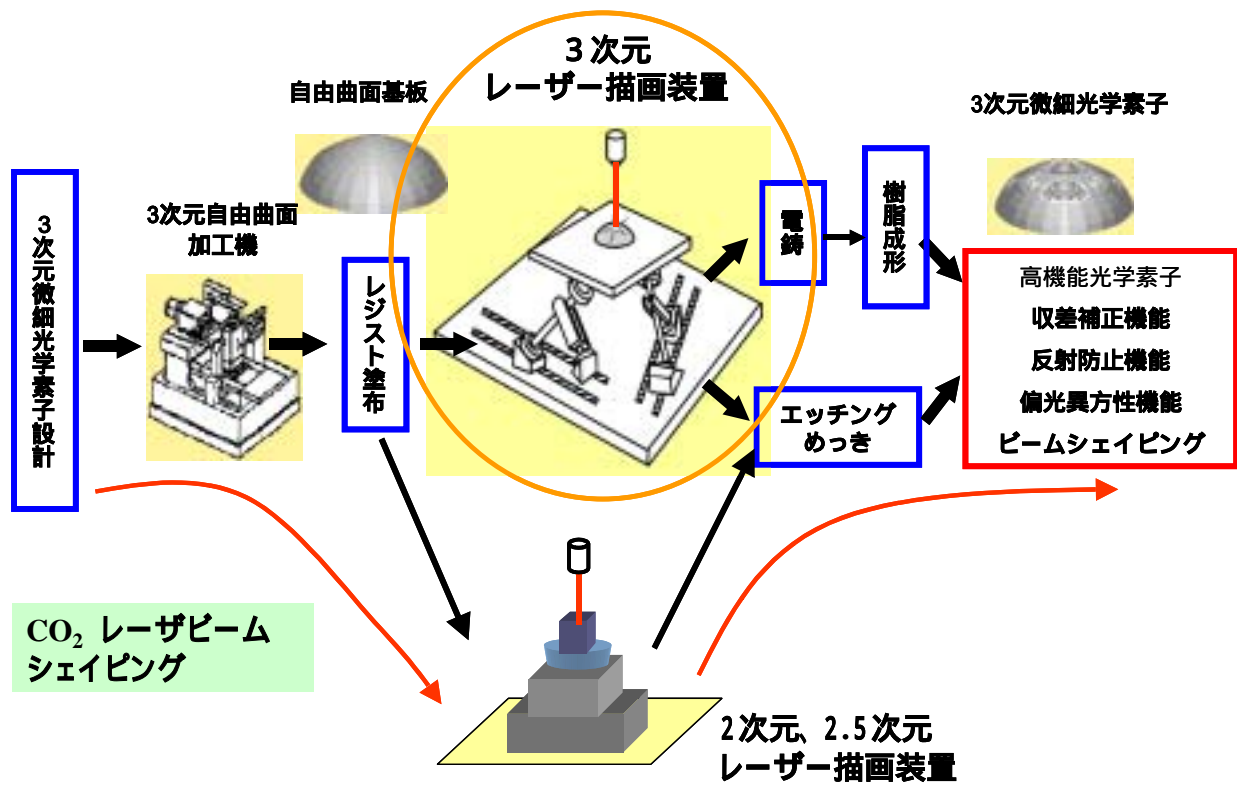


図1 3次元曲面上微細光学素子作成技術の概念図

と思われる。現状の平行メカニズムについてはその精度が得られるかどうかには問題点がある可能性もあるが、将来を見据えて、これを用いることとした。平行メカニズムにもいくつかの種類があるが、現状で精度などの要求を満たしうる可能性のあるものとして、ヒーハイト精工の方式を採用した。市販の製品は期待される光学素子を加工するには十分な移動範囲がなかったため、新たに設計を行い製作した。

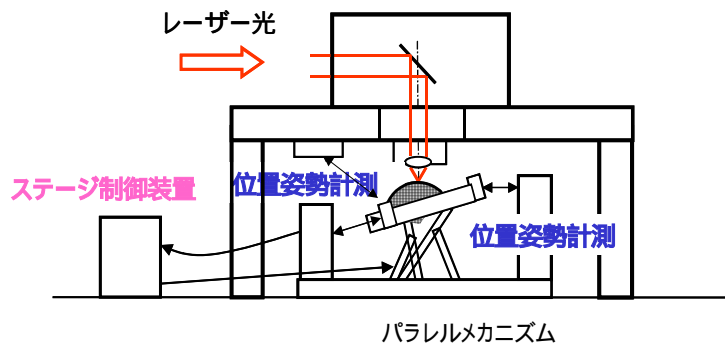


図2 3次元レーザービーム描画装置

描画装置のレーザーについては、He-Cd レーザを用いた。このレーザービームを切り替えて、3次元描画装置と2次元描画装置の両方に利用できる機構とした。これは2次元レーザー描画装置はある程度実用化された技術であり、本プロジェクトの他

のグループが利用できる便宜を考えたためである。

3次元光学素子を製作するためには、描画だけではなく、その前段階、後段階についても技術開発が必要であると考えられる。そこで、大阪府立産業技術総合研究所にある炭酸ガスレーザービーム加工装置用のレーザービームの強度均一化に用いることを想定して、そのための曲面上の微細光学素子(CGH)を実際に製作することにした。図3にその概念図を示す。これによって、光学素子の設計、材料の選択、曲面加工、曲面上へのレジスト塗布、位置合わせ、レーザー描画、エッチングなどによる加工、形状評価、光学的性能評価、実機での応用など3次元微細光学素子の作製に関して一連の技術が蓄積することが期待される。

レーザービームのシェイピングは、屈折や反射の光学系が用いられているが、十分な性能のものではなく、また、回折光学素子の研究も行われているが、実用化までには至っていない<sup>3)</sup>。曲面上の回折光学素子の研究を行った例はない。この意味で、この素子の製作そのものが新しい研究開発につながる。曲面上に製作することにより、ビームシェイピングのための光学素子の部品点数が減少することになる。

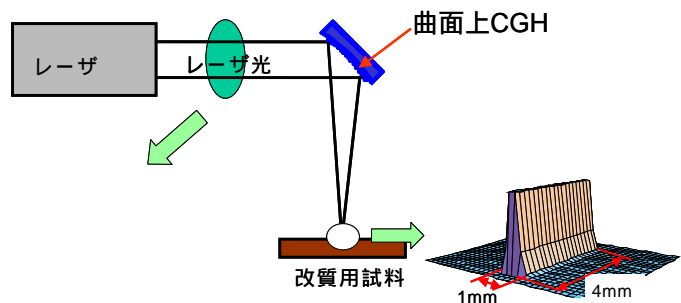


図3 レーザービームシェイピング

3次元微細光学素子の製作には、自由曲面の加工が必要である。そのための加工装置としては、大阪府立産業技術総合研究所にあるCNC超精密加工機を用いることとし、レーザービームシェイピングのための軸はずし放物面鏡を中心に加工の研究を行った。また、将来必要になるとと思われる曲面加工機から取り外さずに形状を計測する方法について研究をした。自由曲面の計測方法としては、オフマシンの方法としては、AFMの原理と干渉計を利用した方法が用いられているが、オンマシン形状計測の方法は、開発途上である。

パラレルメカニズムの位置決めが目標とする精度に十分ではないことが分かったので、ステージの位置と姿勢の精度のよい計測方法を考案することが必要となった。パラレルメカニズムで動く3次元ステージを1 $\mu\text{m}$ 以下の精度で計測する方法は存在しない。3次元の位置のみを測定する方法としては、レーザー干渉計でステージ上に固定した逆反射体を追尾する方法が長年にわたって開発されている<sup>4)</sup>が、測定範囲は20 $\text{cm}^3$ 程度で精度は数 $\mu\text{m}$ 程度である。位置と姿勢を画像センサなどで測定する方法もあるが、その精度は十分ではない。1 $\mu\text{m}$ 以下の精度があり、しかも、数10 $\text{mm}$ 程度の広い範囲で用いられるには、干渉計をもちいる方法が最も可能性が大きい。そこで、ステージ上に固定した複数のコーナーキューブのような逆反射体の位置を干渉計で計測して位置と姿勢を計算するという多方向干渉計を考案した。

## 2.2 フェーズ（平成12年度～14年度）

フェーズ でパラレルメカニズムを用いた3次元レーザービーム描画を行い、描画可能であることは確認されたが、6自由度ステージの駆動モータの運動特性による描画線幅の間隔が周期的に起こるため、より滑らかなステージ運動が必要であることが分かった。また、露光量を一定にするためには、一定の速度で移動することが必要であることが分かった。このため、6自由度ステージの速度制御制御のプログラムを開発を目標とした。また、パラレルメカニズムの位置と姿勢の精度を保つためには、機構のパラメータをキャリブレーションする必要がある。そこで、この方法についての可能性を検討することとした。

2次元レーザービーム描画については、ビットマップのデータに対応する制御プログラムが用意されていなかったため、それに対応する露光量を制御しながら走査する制御プログラムの開発を行った。また、3次元描画装置がこのプロジェクトの年度内に実用化する事が難しいとの見込みを得たので、3次元描画装置の代替として、2次元描画装置にz軸移動を追加して、2.5次元の描画装置とすることとした。これによって、ビームシェイピングの一連の実験が2.5次元描画装置を用いて行えることとなる。試作するCGHの曲面の曲率が小さいので2.5次元の描画が可能であった。

レーザービームシェイピングについては、フェーズ において設計を行っていたが、この2.5次元描画装置を用いて、開発を続けた。素子の素材としては、シリコンを用いたものが発表されている<sup>3)</sup>が、曲面には適さないこと、熱対策が必要なことなどを考慮して、銅を採用することとした。そのため、まず、銅の軸はずし放物面鏡を製作した。銅を用いるために、エッチングでは素子の表面のあれが生じることがあり、製作方法の検討が必要となった。最終的には、実機に搭載できることを目標とした。

位置姿勢計測方法については、フェーズ で考案した方法について、シミュレーションと実験によってその可能性を探ることとした。提案したのは、多方向干渉計でも広範囲の作動距離を持ちうる多方向合致法であったが、この方法は温度などの環境を整える必要があり、最初から試みるには問題点が多いことが分かったため、同じ多方向干渉計でも干渉縞の計数を行う計数法について、2次元の実験をすることによって、この方法の有用性を確かめることとした。この方法では、測定範囲が狭くなる欠点があるが、必要精度で位置・姿勢の計測が行えると期待される。

### 3.5 年間での共同研究の成果報告

#### 3.1 フェーズ (平成9年度～平成11年度)

パラレルメカニズムとHe-Cdレーザーを用いた3次元レーザービーム描画装置を組み立てて、描画を行ったが必要精度を達成することができなかった。レーザービームシェイピングについては、曲面上のCGHの設計が可能になった。ステージの制御と計測の方法、オンマシン形状計測の方法についてそれぞれ提案を行った。

#### 3.2 フェーズ (平成12年度～14年度)

3次元ステージの精度よい位置決めのための制御方法、機構の校正方法および位

置・姿勢の計測方法について、提案した方法のシミュレーションと実験を行い、その妥当性を検証した。

3次元ステージの代替として、2.5次元のステージを製作した。このステージを用いて、炭酸ガスレーザービームシェイピングのためのCGHを製作した。そのために、メッキ法によりマルチレベルCGHを製作する方法を考案した。曲面上には、2レベルCGHを製作できたが、8レベルの素子については、平面上にとどまった。しかし、この素子を実機に搭載し、シェイピングが可能であることを検証した。

#### 4．研究目標に対する達成度

最初の大きな目標は、3次元曲面上に回折光学素子を作製するためのレーザービーム描画装置の試作を行うことであった。この装置は一応組み立てたが、十分な性能を発揮することはできなかった。しかし、制御と計測に関する研究の進展があり、今後、これらの研究が達成されれば、その性能を向上させる可能性がある。

回折光学素子(CGH)の製作に関しては、目標を炭酸ガスレーザービームのビームシェイピングに絞って試作を行った。実用に使えるところまでには至っていないが、一応のビームシェイピングが可能であることを示した。

#### 5．成果活用に関する報告

特許については、個々の研究報告に示しているように、全体として5件の申請を行っている。

#### 6．フェーズ（5年終了後以降）の取り組みの予定

3次元レーザービーム描画装置については、制御方法と計測方法の完成を待って、それらを組み込んだ形の試作装置を製作することが必要であると考え。制御と校正方法については、大阪大学で、計測については、大阪府立大学でそれぞれ引き続いて研究が行われる。

レーザービームシェイピングについては、実機のある大阪府立産業技術総合研究所で引き続き研究が行われ、最終的には表面改質などへ応用し、その効果を検証する予定である。

2次元レーザービーム描画装置については、近畿大学と大阪府立大学と大阪府立産業技術総合研究所で共同研究として、種々の素子作製に活用する予定である。

#### 7．まとめ

3次元曲面上の光学素子の作製技術については、炭酸ガスレーザービームのビームシェイピングに関する技術が蓄積された。実機による効果の検証が期待される。3次元位置決めは今後重要な技術であると考えられ、制御や計測について、提案された方法の実現が望まれる。これらの技術が完成すれば、3次元レーザービーム描画装置の試作が可能となる。

#### 参考文献

1. 監修 (社)応用物理学会 日本光学会 光設計研究グループ、回折光学素子 (オプトロニクス社,1997)
2. パラレルメカニズム特集号、精密工学会誌、Vol.63,No12 (1997).
3. Ch. Haupt et al.: Computer-generated micro-cooled reflection holograms in silicon for material processing, Appl. Opt., 36, 4411-4418(1997).
4. 谷村吉久:計測分野に見る技術開発の連鎖 レーザ干渉追尾式座標計測システムを例として - , 2001 年度精密工学会秋季大会講演会講演論文集,p.479.