

外 97-5

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

回折素子を用いた光波面変調
応用技術の研究

申 請 者

尼子 淳

Jun Amako

1997年 5月

本研究で言う光波面の変調とは、光波の振幅、位相あるいはその両者に空間的に変調を加え、変調点から充分離れた空間における光波の場の分布を制御することをさす。われわれの日常生活においては、光波面変調の技術が様々な場面で使われている。例えば、レンズやミラーには、位相変調により光波を集光、発散させる作用がある。スーパーマーケットで見かけるバーコード読み取り装置の中には、レーザービームを偏向、集光するホログラムディスクが搭載されている。CD再生装置の中には、レーザービームを分岐する回折格子が装備されている。

本研究は、回折素子を用いた光波面変調応用技術に関する。回折素子に着目した理由は、レンズやミラーなどの非回折素子では得難いいくつかの長所を回折素子が有するからである。複数の変調機能を与える構造を薄膜中に集積できるので、回折素子を用いた部品あるいは装置が小さくかつ軽くなる。また、例えば光分岐のように、回折素子を用いると簡便な構成で実現できる変調機能が少なくない。そして何よりも、非回折素子では実現が困難な変調が可能であるという点が大きな魅力である。計算機ホログラフィがその例であり、同技術で光波面の形状を制御することにより、空間の任意の点へ所定量の光エネルギーを供給することができる。

1 章 緒言

本研究でとりあげる光波面変調のための回折手段は、①表面凹凸型2値位相格子(2値位相格子と称す)②液晶空間光変調器(液晶SLMと称す)である。本研究の目的は、①2値位相格子あるいは液晶SLMを実現する基盤技術(設計技術、作製技術)を構築すること、②それぞれの回折手段の用途を想定し、原理検証実験を通じて前記回折手段の実用可能性を検討すること、そして、③前記回折手段を用いた光波面変調技術の実用上の課題をあきらかにすることにある。

2 章 2値位相格子による光波面の変調

2値位相格子は、周期性を有する、断面が矩形状の微細な凹凸パターンである。例えば、透明な石英基板上にフォトリソグラフィにより凹凸パターンを形成する。この凹凸パターンが光波面に対して位相の進みや遅れを与える。凹凸の深さとその並べ方を工夫することにより、種々の光波面変調作用、例えば、ビームの整形、分岐、集光を実現することが可能である。

シミュレーテッドアニーリング法に基づく、2値位相格子の設計ツールを構築した。前記設計ツールを使い、原理検証実験に用いる種々の位相格子を設計した。設計の行方を左右するアニーリング諸条件(初期位相分布、平衡状態、温度降下速度など)の与え方についてのノウハウを蓄積した。フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングを導入し、位相格子の回折特性の再現性に優れた作製条件を求めた。スカラー理論に基づく計算機シミュレーションと光学再生実験から、作製誤差が位

相格子の回折特性に与える影響を明らかにした。2値位相格子の応用に関し、以下の3つの技術を検討した。

(1) 光学的ローパスフィルタリング……周期的な画素構造を有する表示体では、その周期性が視認者に不快感を与える旨が指摘されていた。カラー液晶パネル向けに、2次元2値位相格子型フィルタを設計、作製した。同フィルタを液晶パネルへ搭載し、画素間に存在する遮光部を目立たなくすることができた。その結果、液晶パネルの視認性が向上した。視認性評価を定量化し、位相格子型フィルタの最適点像分布及び最適配置を決定する手法を確立することが今後の課題である。

(2) レーザービーム整形……レーザーリペアやアニーリングなどの加工用途では、ある程度広い領域において強度が均一な光強度分布を実現する簡便な手段が望まれていた。ガウス強度分布を頭部が平坦な強度分布へ変換するための、2値位相格子とスリットから成る簡便なビーム整形器を提案した。レンズ集光面における振幅分布と位相分布を考慮して2値位相格子を設計した。計算機シミュレーションにより、入射ビーム径とスリット幅と格子周期長さの間の最適な関係を求めた。He-Neレーザー($0.633\mu\text{m}$)を用いた実験で、ビーム整形器の機能を確認した。分岐機能と他の光波面変調機能との複合化について今後検討していきたい。

(3) レーザービーム分岐……レーザー精密加工の分野では、生産性に優れた多点同時加工技術に対する期待が大きい。2値位相格子から得られる回折ビームで液晶パネル電極用薄膜の複数部位を同時に切断する技術について検討した。1本のビームを等強度の複数本のビームに分岐する2値位相格子を設計、作製した。Qスイッチ発振Nd:YAGレーザー(第2高調波、 $0.532\mu\text{m}$)のビームを位相格子で最多32本に分岐して、透明電極として用いるITO薄膜を高速に切断加工することができた。加工後のITO薄膜の詳細な評価を行い、加工品質と液晶パネルの表示特性との相関をあきらかにすることがこれからの課題である。

3 章 液晶SLMによる光波面の変調

液晶SLMにおいては、誘電異方性を有する液晶分子の配向を電場で制御することにより、光波の振幅と位相を2次元的に変調することができる。液晶SLMの特徴は、光波面変調のための構造(液晶分子の配向)を容易に書き換えることができるという点にある。このプログラム自在性のゆえに、液晶SLMを用いて能動的あるいは適応的な回折素子を実現できる。

液晶SLMへ表示するデータを計算することと再生波面の品質を推定することを目的に、高速フーリエ変換を活用した計算ツールを構築した。振幅変調型と位相変調型の液晶SLMをそれぞれ試作した。振幅変調及び位相変調を実現するために必要な液晶SLMに固有の条件及び入射偏光条件を明らかにした。振幅変調型と位相変調型のふたつの液晶SLMを光学系で接続し、光波の振幅と位相を同時にかつ独

立に変調（複素振幅変調）できることを実証した。液晶SLMの応用に関し、以下の4つの技術を検討した。

（1）アクティブ回折素子……液晶SLMへいろいろな回折素子関数を表示して、ビーム偏向作用や可変焦点レンズ作用が得られることを確認した。液晶SLMの位相変調特性の非線形性がビーム偏向特性や集光特性を低下させる主要因であることを明らかにした。液晶SLMと屈折型レンズを組み合わせることにより、アクティブな光学素子を実現できることを示唆した。

（2）ホログラムの表示と再生……試作した液晶SLMへ振幅変調型、位相変調型、そして複素振幅変調型の3種類の計算機ホログラムを表示し、2次元及び3次元の像を再生した。明るくかつ原画像に忠実な再生像を得るには位相情報に加えて振幅情報を処理する必要があることを明らかにした。書換可能なホログラム媒体としての液晶SLMの可能性を示した。

（3）スペックルノイズ除去……液晶SLMへ表示したキノフォーム（計算機ホログラムの一種）をレーザー加工へ応用するための基礎検討をおこなった。加工品質を高めるにはキノフォームに特有のスペックルノイズを除くことが必須である。液晶SLMへ表示したキノフォームからの像を再生像面上で加算することによりスペックルノイズを低減させ、加算後に得られる像の品質を大きく向上できることを実証した。液晶SLMの光利用効率を上げることが大きな課題である。

（4）ヌル干渉計測……液晶SLMを位相シフタそしてホログラム原器として機能させたヌル干渉計測の基本技術について検討した。液晶SLMの位相変調特性の入射偏光依存性を利用することにより、参照光路と物体光路が共通なフィゾー型ヌル干渉計を構成した。同干渉計を用いて物体の初期形状及びその後の変形を継続的に計測できることを実証した。液晶SLMの画素密度を高めて扱える収差量を増やすことがこれからの課題である。

4章 結言

計算技術そして製造技術の進歩により、高度な光波面変調機能を有する2値位相格子を設計、作製することが可能になった。2値位相格子を用いたビーム分岐、整形技術は、レーザー精密加工の分野で益々有用になると信じている。本研究でとりあげた液晶パネル電極のパターニングは一例である。

液晶SLMのプログラム自在性が強く求められる用途が必ずあると考えている。本研究で取り組んだスペックルノイズ除去はその好例であろう。能動的あるいは適応的な光波面変調手段としての液晶SLMの用途を開拓するためには、液晶SLMの画素密度、光利用効率、データ転送速度をさらに向上させる必要がある。液晶SLMの応用技術の研究がさらに飛躍するかどうかは、実用性かつ実現性のある目標を設定できるかどうかにかかっている。