

ツイステッド・ネマティック型液晶素子を用いた空間光位相変調の理論と応用に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山内, 真 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1183

氏名・(本籍)	山 内 真 (茨城県) 123
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 102 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	ツイステッド・ネマティック型液晶素子を用いた空間光位相変調の理論と応用に関する研究
論文審査委員	(委員長) 教授 大 坪 順 次 教授 篠 原 茂 信 教授 皆 方 誠 教授 中 島 伸 治 助教授 江 上 力

論 文 内 容 の 要 旨

光は高速かつ空間的に並列に、大容量の情報を伝達することができる。通常この伝達は光の強度を用いてなされるが、レーザーは位相の揃った光波を発生するので、位相を用いた情報の伝達が可能となる。ホログラフィー、光干渉計等ではまさに、光の位相情報を干渉縞という形で記録、あるいは検出し、3次元像の観察や、高精度の計測を可能としている。しかしながらこれらの応用は現状では、ややフレキシビリティに欠けていると言わざるを得ない。

光波の位相を自在に操ることが可能な素子、すなわち実時間動作の空間光位相変調素子ができれば、応用面に格段の進歩をもたらすことが期待される。液晶素子は、空間的に高解像度でかつ実時間の動作が可能である。特にディスプレイ用のツイステッド・ネマティック(TN)型液晶素子は、安価で入手可能であると共に、ビデオ信号によって容易にフレキシビリティの高い駆動が可能である。したがって、TN型液晶素子を空間光位相変調素子として用いることができれば、広範な利用が期待される。しかしながら、ディスプレイ用の素子は明暗のコントラストを最大にするよう設計されており、その光学系をそのまま位相変調用に用いることはできない。本論文では、入出力光の偏光状態を変更することで、TN型液晶素子を用いて位相変調を可能とする方法を述べる。

TN型液晶素子内の光波は、その偏光状態を変化させながら伝搬する。そして出射光は一般に、入射光とは偏光状態が異なる。そのため出射光の位相遅れは、入射光と出射光の偏光状態を規定して初めて定義される量となる。見方を変えれば、入射光と出射光の偏光状態を変化させると、TN型液晶素子自体の動作は同じでも、光学系全体としての位相変調特性は変化するということになる。ディスプレイ用の光学設計では、入射面における液晶分子ダイレクタ(液晶分子の長手方向)と平行な直

線偏光をTN型液晶素子に入射する。そして出射光のうち、出射面での液晶分子ダイレクタ(あるいはそれと垂直な方向)に平行な直線偏光成分のみを検出することにより、高コントラストの動作を可能としている。我々は逆に、TN型液晶素子をビデオ信号で駆動した時、透過率の変化が少なく、かつ位相遅れの変化が大きくなるような入射光、出射光の偏光状態を見つけ出すことを考える。

TN型液晶素子を透過する光線の偏光状態を調べるには、ジョーンズベクトルを用いた計算が便利である。本論文では、これまで用いられていた線型ジョーンズ行列モデルを発展させ、多層モデルを構築した。これまでも、液晶分子と素子基板との境界面における相互作用によって生じるエッジ効果をとりこんだ3層モデルが提案されているが、我々はこれを、一般的な多層モデルの特殊な場合と位置付け、両者が一致することを示した。多層モデルの層の厚さを0に近づけると同時に、層の数を無限大にすると、ジョーンズ行列の各要素と、液晶分子配向の間に成り立つ微分方程式が得られる。我々はそれを微分モデルとして定式化すると共に、新たにジョーンズ行列要素を極座標表示で表す角パラメーターを導入した。

TN型液晶素子の透過率測定から、各ジョーンズ行列モデルでのパラメーターを計算する方法について検討した。その結果、TN型液晶素子の物理パラメーターである全ツイスト角、全複屈折量、及び入射面ダイレクタが、透過率の測定結果のみからでは一意に得られないことが分かった。ただし、物理パラメーターのおおよその値が推定される場合については、数学的に得られた多数の解から、物理的に正しい唯一の解を決定できる場合があることを示した。また、多波長で透過率測定を行うことが、解をただ一つに絞るために有効であることを示した。TN型液晶素子のパラメーター測定の結果に基づいて、位相変調を行うための光学系を吟味した。まず、入出力光として直線偏光のみを考えてシミュレーションを行い、偏光方向の最適化を行った。そして光干渉計を用いて位相遅れを測定した。その結果、微分モデルが最も良く位相遅れをシミュレーションできることが明らかとなった。次に往復光路での位相遅れの計算及び実験を行い、それらが一致することを確認した。最後にTN型液晶素子の固有偏光の概念を取り入れ、負の固有偏光を用いれば、良好な位相変調特性が得られることを計算及び実験で示した。

TN型液晶素子を空間光位相変調素子として用いて、動画ホログラフィーを達成する方法、及び移動テーブルの直線性を測定する方法を提案し、それぞれ空間光変調素子を用いるメリット、問題点等を整理して示した。

以上のように本論文では、TN型液晶素子を空間光位相変調素子として用いるため、ジョーンズ行列モデルの構築、モデルで使用されるパラメーター測定方法、最適光学系の設計と実験的な検証、応用分野への取り組みという一連の研究結果を示した。本研究の成果に基づき、TN型液晶素子が様々な分野で、空間光位相変調素子として用いられるようになることが期待される。

論文審査結果の要旨

光は、高速かつ空間的に並列に、大容量の情報を伝達、処理することができる。ホログラフィー、光干渉計等では光の位相情報を有効に使い、三次元像の観察や高精度の計測を可能としている。しかしながら、これらの応用において、従来のホログラム記録素子はフレキシビリティに欠ける点がある。そのため、光波の位相を自在に操ることができる実時間動作する空間光位相変調素子を使うことができれば、応用面において格段の進歩をもたらすことが期待される。

本研究においては、ディスプレイ用に使われている空間的に高解像度でかつ実時間の動作が可能であるツイステッド・ネマティック(TN)型液晶素子に注目し、これを位相ホログラム記録素子として用いるための特性解析法と、効率的な位相素子としての使い方を可能にする方法について理論と実験により論じた。

本論文、第2章においては、液晶素子の偏光、位相変化特性を解析するためのジョーンズベクトル解析の方法について述べ、申請者が提案した液晶素子の多層モデル、微分モデルに基づく液晶素子解析法について論じている。その結果、微分モデルを用いることにより、実際の液晶素子特性をよりうまく表現することができることを示した。

第3章においては、使われている液晶素子の複屈折量やジョーンズ行列要素などを精密に計算する方法について述べ、実際の液晶ディスプレイパネルに適用し、これらのパラメータ決定を行う方法を確立することができた。

第4章においては、与えられた液晶空間光変調素子に対し、入出力側に置く偏光板の組合せを適当に選ぶことにより、強度変調変化を最小として、位相変化が最大となる偏光子の組合せを最適化する方法について述べた。このことにより、位相変化を最大にして効率的に使用する方法が確立できた。

第5章において、前章までの結果をもとに、液晶空間光変調素子を位相ホログラフィックアニメーションへ応用する方法と、位相グレーティングとして直線形に応用した例を示し、前章までの検討の有効性を示した。

以上、本論文においては、液晶空間位相光変調素子の厳密な理論解析と特性測定の方法を提案し、それらの有効性を示した。これらの結果は、ディスプレイ用液晶空間位相光変調素子を、新しく光情報処理、光計測に応用する道を拓くものである。よって、本論文は、博士(工学)の学位を授与するに値するものであると認める。