

氏 名	能 勢 とし あき
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 15 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 60 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻前期課程修了
学 位 論 文 題 目	液晶の光学素子への応用に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 内田 龍男 東北大学教授 川上彰二郎 東北大学教授 伊藤 弘昌

論 文 内 容 要 旨

液晶は、低電圧・低電力で大きな電気光学効果が得られる特徴を有し、このような優れた性質を利用して、小型軽量の平板型表示素子としての応用が近年目覚ましく進められている。しかし、このような液晶の性質は、表示素子としてのみならず広く光学素子としての応用を考えた場合にもきわめて有用である。このような考えに基づき、本研究では、光学素子の中で最も基本となるレンズへの応用に着目して研究を行った。通常、レンズには形状がレンズ状のものと屈折率分布型のものがある。液晶を用いてレンズを構成する場合にもこれらに対応する手法が考えられる。本論文では、液晶層をレンズ状に構成することにより実現されるレンズを液晶レンズとして第 3 章で述べている。一方、不均一電界中での分子配向効果を利用して得られる屈折率分布型のレンズを液晶マイクロレンズとしてその基礎特性については第 4 章で、応用については第 5 章において述べている。このような素子の特性評価や設計を行う上で重要となる液晶分子配向の解析を行う場合、不均一電界中での液晶分子配向効果を利用する立場から多次元領域での解析が不可欠となる。この場合、従来行われている解析的手法を適用することは非常に難しくなるため、第 2 章において数値解析法として広く用いられている有限要素法を利用した液晶分子配向の解析手法を提案している。

液晶材料は物性面から多くの種類に分類され精力的な研究が行われているが、現在の液晶表示素子のほぼ全てに用いられており応用の面で最も重要であること、材料の種類が豊富であり物性値の選択の幅が広いこと、配向剤や配向処理等の素子作製技術が確立されていること等から、本研究では特にネマティック液晶に注目して研究を行った。

第 3 章および第 4 章で述べているいずれのタイプのレンズにおいても、印加電圧による焦点可変特性が得られることが液晶を用いたレンズの大きな特徴である。本論文では、液晶をレンズに応用

することにより、受動素子に分類される従来のレンズとは異なる、光制御素子としての新しいタイプのレンズが実現されることを述べている。

第1章 序 論

本研究の背景、これまで行われている液晶光学素子の研究、本研究の目的、意義等を述べている。

第2章 液晶分子配向の解析

液晶素子において得られる大きな電気光学効果は、電界による液晶分子配向状態の変化に起因する現象である。従って、電界中における液晶分子配向状態を知ることは、液晶素子の設計、評価の上で非常に重要である。従来、液晶セルの厚み方向の1次元解析が解析的手法を用いて行われており、液晶表示素子の光学特性の評価等において非常に大きな成果が得られている。本研究では、空間的に分布する不均一電界中での液晶分子配向効果を利用する立場から多次元領域における解析が不可欠となるため、従来用いられている解析的手法を適用することは非常に困難である。そこで、数値解析法として、その汎用性から構造解析の分野で広く用いられている有限要素法を利用した解析手法を提案した。

まずはじめに、従来行われている解析的手法によって得られた結果との比較から、本解析手法の妥当性の確認を行った。また、液晶分子の大きな誘電異方性により、分子配向に伴うセル内の電界分布も大きく変化するため、電界計算と液晶分子配向計算の両者の繰り返しが必要となる。本章では、電界の変化が分子の動きを緩和し、またセル内の屈折率分布を急峻にする方向に影響していることを示した。また、円形パターン電極を有する液晶セルの断面における2次元領域での解析は、主に第4章の液晶マイクロレンズの光学的特性の考察において多くの有用な情報を与えている。

第3章 曲面構造を有するセルによる液晶レンズ

液晶レンズは曲面構造を持つセル基板を用いているが、セル基板表面は通常の表示素子等と同様なラビングによる分子配向処理が行われており、基本的にはホモジニアス配向セルである。ところが、球面状の基板形状に対して直線状の配向処理を組み合わせることになるため、液晶分子配向方向とレンズへの光の入射位置との関係によって焦点距離が異なることが予想される。このような液晶レンズ特有の収差をHe-Neレーザ、ピンホール板、CCDセンサ等で構成した測定システムを用いて実測し、収差補正を行う上で有用なデータが得られた。

また、液晶レンズは印加電圧による焦点距離の可変特性を有することが最大の特徴であり、機械的可動部を必要としない自動焦点、可変倍率システム等の実現が期待される。しかし、焦点距離の変化特性は極めて非線形であり、液晶レンズを実際のシステムに応用することを考えた場合、特性の線形化を行うことは重要と思われる。ここでは、液晶レンズの焦点距離変化特性に類似した特性を有する液晶セルを電子回路に組み込み、その逆関数特性信号を用いて液晶レンズの駆動を行うことによって、間接的にその非線形特性を補償する簡単な駆動システムを用いる手法を提案している。

このとき逆関数特性のもとになる液晶セルの特性として、GH液晶セルの電圧-透過率特性およ

びホモジニアス配向セルの電圧-静電容量特性を利用した2つの方法について検討した。これらの液晶セルをオペアンプを用いた負帰還増幅回路に組み込む簡単な方法により逆関数特性を発生させ、実際に液晶レンズの駆動を行うことによりその有効性を示した。また、用いた液晶セルは液晶レンズと同様な温度依存性を持つため、本手法が温度変化に対する特性補償に対しても有効であることが示された。さらに、非線形性の補償特性の点では静電容量を利用した方法がより有効であり、液晶レンズ自身の容量特性を利用することによりさらに簡単なシステムが構成できる可能性があることを示した。

第4章 不均一電界による液晶マイクロレンズ

表示素子等の通常の液晶素子は、一對の平行平板電極間に生じる均一な電界中での液晶分子配向効果を利用している。しかし、液晶分子は空間的に分布する不均一電界を用いても配向効果が得られると考えられ、このとき得られる分子配向状態を利用した新しいタイプの液晶素子が期待される。このような考えに基づき、一方の基板上に円形の穴形パターン電極を有する（非対称電極構造）液晶セルを用いてその光学特性を測定した。その結果、低電圧で凸レンズとなり高い電圧では凹レンズへ変化するようなレンズ特性、すなわち液晶マイクロレンズが得られることを示した。また、第2章で提案した有限要素法による解析法を用いた液晶セル断面における分子配向状態の解析結果から、このような液晶マイクロレンズの動作原理を明らかにした。

一方、不均一電界に起因するディスクリネーションラインが円形パターン中央部に分子配向方向と垂直に現れ、レンズ特性を劣化させていることが明らかとなった。このような問題を解決するためにハイブリッド配向処理を適用した場合、電界印加時に液晶分子の立ち上がり方向が一方向に規定されるため、ディスクリネーションラインが発生しないことが示された。このとき、非対称電極構造の液晶マイクロレンズに比べて数倍程度の集光特性の改善効果が確認されたが、レンズ中心が電極パターンの中心からずれる問題が残された。

そこで、両基板上に円形穴形パターンを有する対称電極構造を適用することにより、開口部の電界が非常に弱くなることから、液晶分子の立ち上がり方向がラビングによるプレティルト方向に規定されるため、ディスクリネーションラインが発生しないことが明らかとなった。さらに、分子配向状態が対称となるためハイブリッド配向の場合のようなずれが無く、軸対称状の良好な屈折率分布特性が得られることが明らかとなった。この場合、ハイブリッド配向の液晶マイクロレンズに比べて集光ピークがさらに数倍程度大きくなる改善効果が得られた。

第5章 液晶マイクロレンズの応用

本章では、小型軽量で印加電圧によって焦点距離が可変であり、光制御用の微小光学素子として有用と考えられる液晶マイクロレンズについて、光ファイバスイッチおよび光散乱形の表示素子への応用に関する検討を行った。

これまで良好なレンズ特性が確認されている種々の液晶マイクロレンズと光ファイバを組み合わせることにより、印加電圧による光ファイバへの結合光強度の変化特性を調べた。良好な凸レンズ

特性が得られる種々の p 形液晶マイクロレンズを用いることにより、コア径 $10\ \mu\text{m}$ の光ファイバを組み合わせた場合、2桁以上の結合光強度の ON/OFF 比が得られた。直径 $200\sim 300\ \mu\text{m}$ 程度のハイブリッド配向または対称電極構造液晶マイクロレンズとコア径 $10\ \mu\text{m}$ の光ファイバとを組み合わせた場合、光結合効率を概算すると 20% 程度の値が得られた。応答速度の問題も重要であるが、2段階の電圧印加駆動法、2周波駆動法、バイアス電圧印加駆動法により大幅に特性が改善されることが示された。また、応答速度の面では n 形液晶を用いて液晶マイクロレンズが有用であり、ホメオトロピック配向を適用することにより、数 msec 程度の応答速度が得られた。

次に、多数の液晶マイクロレンズを配列した液晶セルを用いて光散乱特性を測定し、光散乱形の表示素子への応用を検討した。この場合、しきい電圧が低く、またしきい特性が急峻であること、透明電極を用いることにより光散乱および非散乱成分の割合が電極パターンで容易に制御できること、電圧無印加時に透明である等の特徴があることが示された。また、n 形液晶によるホメオトロピック配向液晶マイクロレンズを適用することにより、入射光の偏光方向に依存しない光散乱効果が得られることが示された。さらに、光通信において重要である近赤外領域において大きな光散乱特性が得られることが明らかとなった。

第 6 章 結 論

全体の総括を行い、各章で得られた知見を要約し、液晶光学素子の可能性及び残された今後の課題について述べている。

審査結果の要旨

液晶は優れた電気光学効果を有し、光エレクトロニクス材料として高い関心を集めている。しかし現状ではまだ表示素子以外にはほとんど応用されていない。著者は、液晶の高い屈折率異方性とその電界による制御性に着目し、焦点可変レンズを提案すると共に、その特性を詳細に明らかにしてきた。本論文はこれらの成果をとりまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章は、空間的に分布する不均一電界中の液晶分子の配向を解析するために、有限要素法を導入し2次元平面における配向分布の解析手法を確立した。従来の弾性体理論に基づく解析手法では1次元の解析に限られていたが、本研究の2次元解析法の確立によって、液晶レンズで必要とされるような複雑な分子配向の解析が可能となった。

第3章では、曲面構造の基板を用いる液晶レンズについてその基本的な特性を測定し、液晶レンズ特有の収差の問題を明らかにすると共に、収差の補正法について論じている。また、印加電圧に対する焦点距離の変化が著しく非線形性を示すために、液晶の電気光学特性や静電容量の電圧依存性における同様な非線形特性をフィードバックシステムとして駆動回路に導入し、非線形性を大幅に改善している。

第4章では、平面構造の基板上に微小な円形穴型電極を設けた液晶マイクロレンズの提案とそのレンズ特性について述べている。これは、電界によって誘起される液晶の分子配向の空間分布がレンズに必要な屈折率分布を示すことを応用したものである。2枚の基板上の電極構造および分子配向などを工夫し、前述の有限要素法による解析を行っている。これによって、焦点距離の制御性および集光特性などが大幅に変化することを見出し、最適設計条件を明らかにすると共に、実験によってそれを実証した。これは重要な成果である。

第5章では、液晶マイクロレンズの光ファイバースイッチおよび光散乱型の表示素子への応用について述べている。前者については、光結合度のオンオフ比として2桁以上の値を得ている。また、後者については低電圧、急峻なしきい特性、オフ状態における高い透明度などが得られることを明らかにしている。これらは応用上有用な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、液晶を用いた焦点可変レンズを提案し、その特性を明らかにすると共に、設計指針を与えたものであり、光エレクトロニクスおよび液晶工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。