



Title	コレステリックブルー相液晶の光学特性解析とナノ構造金属導入による高機能化に関する研究
Author(s)	小川, 康宏
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34486
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (小川康宏)	
論文題名	コレステリックブルー相液晶の光学特性解析とナノ構造金属導入による高機能化に関する研究
<p>論文内容の要旨</p> <p>コレステリックブルー相(Blue phase: BP)は自発的に光の波長程度の3次元螺旋周期構造を形成する液晶相であり、その対称性に起因して光学的に等方的に振る舞うことが知られている。また、電界印加により屈折率が変化することから、配向処理の不要な液晶ディスプレイや偏光に依存しない光制御デバイスへの応用が期待されている。しかしBPの3次元螺旋構造と光学特性との関係は未だ不明瞭であり、詳細な光学特性の解析が求められる。また、BPの屈折率変調量はニトロベンゼンなどと比べ100倍以上であるが、通信波長帯域における可変フィルタ応用などを考えると十分とはいえない。そこで本博士論文では、時間的・空間的に逐次計算することで電磁界の応答を求める時間領域差分法を用い、BPの光学特性の解析を行いBPの構造とその光学特性の関係を明らかにすることを目的とした。また、屈折率変調量の改善手法として液晶にナノ構造金属を導入することを提案し、数値計算によりその効果を検討した。以下に、各章の内容を要約する。</p> <p>第1章では、本論文で着目したBPについて概説し、本論文の背景や研究目的について述べた。第2章ではBPの配向状態を簡易的に表したモデルとBPの配向状態を数値解析により求めたモデルを用い、その光学特性を比較することでモデルの妥当性を評価した。それにより、BPの厳密な配向状態を考慮しなければ、偏光特性など正確な光学特性が得られないことを明らかにした。電界印加によるBPの変歪が光学特性に与える影響について検討し、単位格子の変歪や局所的な液晶の配向変化が透過光の偏光特性やフォトニックバンド構造に与える影響について明らかにした。第3章ではネマチック液晶の光学特性の改善手法として、液晶中に異方性を有する金属構造を導入することを提案した。液晶中に金属ナノロッドを導入することで長波長領域における液晶の実効的な複屈折が増大する可能性を示唆した。複屈折の増大量は導入するナノロッドの形状や濃度、材質によって変化することを明らかとした。第4章ではBPの偏光に無依存な屈折率変調量の改善手法としてBP中にナノサイズの構造金属を導入することを提案した。BP_{II}に金ナノロッドを導入することで、長波長領域におけるBP_{II}の偏光に依存しない屈折率変調量が増大する可能性を示唆した。これはBP_{II}中の配向欠陥部に補足されたナノロッドの配向方向が、電界印加によってその変化し電界に平行に配向することに起因していることを示した。第5章では、第2章から第4章で得られた知見を総括し、本研究の結論とした。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小 川 康 宏)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教 授	尾崎雅則
	副 査	教 授	近藤正彦
	副 査	教 授	宮永憲明
	副 査	教 授	伊藤利道
	副 査	教 授	森 勇介
	副 査	教 授	片山光浩
	副 査	教 授	栖原敏明
	副 査	教 授	大森 裕
	副 査	教 授	八木哲也

論文審査の結果の要旨

本論文は、三次元周期構造を有するコレステリックブルー相 (Blue phase: BP) 液晶の光学特性の解析とナノ構造金属の導入による高機能化に関する研究の成果をまとめたものであり、以下の5章より構成されている。

第1章では、本研究の背景を述べるとともに、本論文の目的と意義を明らかにしている。さらに、本論文で取り上げるコレステリック BP 液晶と解析に用いた時間領域差分法に関する基礎事項を概説している。

第2章では、時間領域差分法を用いて BP 液晶の光学特性の解析を行っている。まず、BP の構造を2つのモデル、すなわち、2重ねじれシリンダーの3次元配列で表した「2重ねじれシリンダーモデル」と、液晶の配向状態を配向テンソルを用いて厳密に記述した「Landau-de Gennes モデル」により表し、その光学特性を時間領域差分法により計算している。その結果、フォトニックバンド構造の端点と透過光特性の円偏光依存性に差異が確認され、2重ねじれシリンダーモデルにおいては入射偏光に依存しない反射バンドが観測されるのに対して、Landau-de Gennes モデルでは円偏光に対する選択反射が確認されることを明らかにするとともに、実験結果との比較により、BP の正確な光学特性を得るためには、液晶の厳密な配向状態を考慮したモデルを用いる必要があることを明らかにした。また、電磁界分布の解析により、BP の円偏光に対する選択反射バンドの発現は、3次元配列した2重ねじれシリンダー内の螺旋構造によるものではなく、光の伝播方向に垂直な面内で平均化された誘電テンソル分布に起因するものであることを明らかにしている。一方、BP 液晶に電界を印加して構造を変歪させた場合の光学特性についても考察を行っており、BP 液晶に電界を印加することにより、格子構造の伸長に比例して反射バンド波長が変化し、液晶分子の再配向による局所的な誘電テンソルの変化により透過光の偏光特性が影響を受けることを明らかにしている。

第3章では、液晶内へのナノ構造金属の導入が光学特性に与える影響を調べる目的で、一様配向したネマチック液晶中に金ナノロッドを導入した系において、時間領域差分法を用いて光学特性の解析を行っている。その結果、可視光領域においては、金ナノロッドの異方的な局在表面プラズモン共鳴により共鳴波長近傍の屈折率の実部と虚部が増大し複屈折が著しく変化し、一方、共鳴波長から離れた長波長領域においては、金ナノロッドに誘起される分極により屈折率の実部のみが増大することにより実効的な複屈折が増大することを明らかにしている。また、複屈折の増大量は、導入する金属構造のアスペクト比や濃度に依存することを見出している。

第4章では、ナノ構造金属を導入した BP 液晶の光学特性の解析を行っている。すなわち、BP 液晶内に導入されたナノ構造金属が液晶の配向欠陥領域に補足されるモデルにおける実効的な屈折率を求め、電界印加による BP の屈折率変化量に及ぼすナノ構造金属の導入効果を明らかにしている。その結果、電界無印加時においては、欠陥領域に補足されたナノロッドの長軸がランダムな方向を向くため、実効的な屈折率は入射偏光方向に依存しないが、ナノロッド内に誘起される分極の効果により長波長領域における屈折率が増大することを明らかにした。一方、電界を印加した

場合においては、ナノロッドの長軸が電界方向、すなわち、光の伝播方向に再配向することにより、ナノロッドの短軸方向の分極のみが屈折率に寄与することから、実効的な屈折率の減少が起こることを明らかにしている。

第5章では、第2章から第4章までで得られた結果を総括して、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は、次世代の液晶デバイスへの応用が期待されるコレステリックブルー相液晶における光学特性を時間領域差分法を用いて詳細に検討することにより、一般に用いられている配向構造モデルの問題点を指摘し、さらに、ナノ構造金属の導入という画期的な手法によりコレステリックブルー相液晶の電界誘起屈折率変調特性が改善できることを明らかにしている。このことは新しい材料を用いることにより液晶デバイスの特性を改善できる可能性を理論的に示唆するものであり、電気電子情報工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。