



Title	コレステリックブルー相液晶の配向制御と強誘電性付与による高性能化に関する研究
Author(s)	仲嶋, 一真
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101670
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

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 (仲嶋 一真)	
論文題名	コレステリックブルー相液晶の配向制御と強誘電性付与による高性能化に関する研究
論文内容の要旨	
<p>コレステリックブルー相 (BP) は三次元らせん周期構造を自己組織するキラル液晶相であり、高速応答デバイスや光制御デバイスへの応用が期待される一方、配向制御や電気光学応答の向上が課題とされている。本博士論文では、BP液晶の配向機構を解明し、新たな配向制御技術を開発すること、さらに強誘電性を付与して電気光学応答を向上させることを目的とした。以下に各章における内容の要約を示す。</p> <p>第1章では、本研究を行うに至った背景について述べ、本研究で着目したBP液晶や強誘電性ネマティック液晶 (NFLC) について概説した。</p> <p>第2章では、BPIIのドメイン境界での相互作用が配向挙動に及ぼす影響を解明することを目的として、ストライプ状の配向パターンにおけるBPIIの配向挙動を検討した。パターン周期が大きい場合には各ドメインがパターンに沿って配向するが、周期が小さくなるとドメインがパターンに沿って配向しなくなり、格子配向が変化することが示された。特に、隣接パターン領域の容易軸の方位差が小さい場合は(110)面、方位差が大きい場合は(100)面が支配的となることが分かった。</p> <p>第3章では、正弦波パターンを用いてBPIIの回折素子を作製し、その際の格子配向状態について検討した。正弦波パターンセルに配向したBPIIに対して、セル法線方向から光を入射することで、回折素子として機能することを見出した。また、透過スペクトルとKossel像による光学解析、透過電子顕微鏡による直接観察、配向類似度計算によりBPII格子配列を調査し、BPIIは(001)面が基板に平行な状態から[010]軸周りに回転することでパターンの周期性とBPII格子の周期性とを整合していることを明らかにした。</p> <p>第4章では、グランジャン欠陥を起点としたコレステリック (Ch) -BPI相転移について調査し、そのメカニズムを自由エネルギーの観点から検討した。欠陥の有無によって相転移温度が有意に異なり、その温度差はセル厚が小さいほど大きくなることが確認された。また、配向シミュレーションによる自由エネルギーの計算により、セル厚が小さいほど欠陥周りでの自由エネルギーが大きいことが明らかとなり、自由エネルギーの大きな領域が相転移の起点となっていることが示唆された。さらに、グランジャン欠陥を高密度に作製することで特定の領域でのみBPIを配向させる技術を開発した。</p> <p>第5章では、欠陥がなく均質に配向したCh相からのCh-BPI相転移を調査した。BPIはその材料に関わらず、結晶成長速度に異方性があり、BPI結晶は菱形12面体に成長することを明らかにした。また、相転移は配向膜近傍で生じること、BPIの結晶方位は配向膜の影響を受けて[011]軸が容易軸に沿って配向することを明らかにした。さらに、光配向パターンニングにより局所的にChの配向方向を変えて弾性エネルギーを増加させることで核生成位置を制御する技術を開発し、100 μm以上のBPI単結晶の作製を実証した。</p> <p>第6章では、BPポリマーネットワークにNFLCを注入することでBPポリマーテンプレートNFLC (BPPT-NFLC) を開発し、その特性を評価した。BPPT-NFLCは50℃から150℃の極めて広い温度範囲でBP構造を形成し、特に80℃以下では強誘電性を有することが示された。強誘電相のBPPT-NFLCは、高速な応答速度を維持しつつ、電気光学Kerr定数をNFLC注入前の15倍以上に増大させることが明らかになり、BP液晶の強誘電化は電気光学応答の向上に効果的であることが示された。</p> <p>第7章では、BPPT-NFLCの電気光学応答を調査するとともに、高速なスイッチングを実証した。強誘電相では印加電圧の極性によってNFLC分子の配向方向が反転するため、逆電圧が印加された際に急激に複屈折が変化することを見出した。この性質を利用することで、従来のBP液晶よりもはるかに高速な2 μs以下の応答を実現した。</p> <p>第8章では、第2章から第5章までで得られたBP液晶の配向制御に関する研究成果と第6章と第7章のBP液晶の強誘電化に関する研究成果を総括し、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 (仲 嶋 一 真)				
論文審査担当者		(職)	氏 名	
	主 査	教 授	尾崎 雅則	
	副 査	教 授	森 勇介	
	副 査	教 授	森 伸也	
	副 査	招へい教授	光井 將一	
	副 査	特任教授	菰田 卓哉	(エマージングサイエンスデザイン R3 センター)
論文審査の結果の要旨				
<p>本博士論文では、パターン配向を利用したブルー相 (BP) 液晶の配向制御と強誘電性を付与した BP 液晶の電気光学効果について研究を行い、新しい格子配列制御手法の提案と高速高性能複屈折変調技術の実現を検討している。以下に各章における内容を要約する。</p> <p>第 1 章では、本研究を行うに至った背景について述べ、当該分野における本研究の位置づけならびに本博士論文の目的および構成について述べている。また、本論文の扱うブルー相液晶および強誘電性ネマティック液晶について概説している。</p> <p>第 2 章では、微小サイズで配向容易軸方向の異なるパターン配向処理を施した基板上のブルー相 II (BP_{II}) において、パターン境界における相互作用が格子の配向挙動に及ぼす影響を調べるため、ストライプ状の配向パターンにおける BP_{II} の格子配向挙動を検討している。パターンの周期が 10 μm より大きい場合には BP_{II} は(110)面が基板に平行となるが、10 μm より小さい場合には異なる格子配向が確認された。すなわち、隣接するパターン領域の容易軸方位の差が小さい場合には、(110)面が基板に平行であるが巨視的に平均容易軸方位に一樣配向するのに対して、方位差が大きい場合には(100)面が基板に平行となることを見出している。</p> <p>第 3 章では、BP_{II} 液晶を一次元周期 (正弦波) パターン配向させた場合の格子配列状態を明らかにするとともに、それが回折素子として機能することを確認している。透過スペクトルと Kossel 像の光学解析ならびに透過電子顕微鏡による直接観察により、BP_{II} は(001)面が[010]軸周りに回転した傾斜格子構造を形成し、その傾き角は配向パターンの周期毎に格子が 1 つ分シフトする角度であることを明らかにしている。また、配向計算により、実験で明らかとなった格子配列状態が最も安定な構造であることを示している。</p> <p>第 4 章では、コレステリック (Ch) 相からブルー相 I (BP_I) への相転移が Ch 相のグランジャン欠陥から生じることを見出し、その機構を自由エネルギーの観点から検討している。基板表面の配向パターンニングにより、通常くさび形セルで観測されていたグランジャン欠陥を平行セルにおいて実現する技術を開発し、それを用いた Ch-BP_I 相転移挙動の詳細観察と自由エネルギー計算により、欠陥近傍の自由エネルギー増大が相転移に重要な役割を果たし、セル厚が小さいほどそれが顕著であることを示している。得られた知見を応用して、BP_I の選択的配向制御に成功している。</p> <p>第 5 章では、欠陥を含まない均質に配向した Ch 相から BP_I への相転移の詳細を調べることにより、BP 格子の成長速度に異方性があり、菱形 12 面体に成長することを明らかにしている。また、BP_I の格子[011]軸が配向容易軸に沿って配向することを明らかにし、光配向パターンニングを用いて Ch 相の弾性エネルギーを局所的に増加させることにより相転移核生成位置を制御する技術を開発している。この技術を用いて、大きさ 100 μm 以上の BP_I 単結晶の作製に成功している。</p> <p>第 6 章では、BP 液晶の電気光学効果の特性向上を目的として、BP 液晶への強誘電性の付与を提案している。具体的に、BP 液晶を模った高分子ネットワークに強誘電性ネマティック液晶 (NFLC) を注入することで、BP 高分子テンプレート強誘電性ネマチック液晶 (BPPT-NFLC)を開発し、強誘電性 BP の実現に成功している。さらに、BPPT-NFLC の電気光学 Kerr 定数が、常誘電 BP の 15 倍以上に増大すること示している。</p>				

第7章では、BPPT-NFLCの電気光学応答において、印加電圧の極性を反転時に高速な複屈折変調が起こることを見出し、それを利用することで、応答時間 $2\mu\text{s}$ 以下の高速オフスイッチングを実現している。この技術を用いて、正弦波電圧を印加に対して100kHzの高周波で大きさ0.05以上の複屈折変調に成功している。

第8章では、第2章から第7章までで得られた研究成果を総括し、本学位論文の結論としている。

以上のように、本論文は、ブルー相液晶に空間的に配向方位を変調したパターン配向手法を導入することにより、選択的相転移や大面積格子構造実現などの新たな展開の可能性を示唆するとともに、強誘電性の導入により従来の電気光学効果の特性を飛躍的に改善する手法を提案、実証している。これは、液晶光学素子の新しい可能性を示すものであり、電気電子情報通信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。