

機関番号：30118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560332

研究課題名（和文） 記録保存型液晶素子の研究

研究課題名（英文） Studies on storage-type liquid crystal devices

研究代表者

角田 敦（KAKUTA ATSUSHI）

千歳科学技術大学・総合光科学部・教授

研究者番号：90326596

研究成果の概要（和文）：

無電圧下で記録保存の可能な光通信用素子として、スメクチック液晶の熱書き込み方式を用いた液晶素子の開発を目標に研究を実施した。高い消光比、良好な偏波依存損失特性など高性能の特性とともに、高転移温度の新規なスメクチック液晶組成を開発し素子の実用的な使用温度範囲を確保した。熱書き込み方式特有の光全透過の現象をネマチック液晶の光散乱モードを活用することで除去した複合型素子にて新規な可変光減衰器を実現した。

研究成果の概要（英文）：

Studies for developing a new storage-type optical device for telecommunication were performed by employing the thermal recording method for smectic liquid crystals (LCs). Excellent properties such as high attenuation ratio and good polarization-dependent loss (PDL) were achieved by the device. New LC composites with high transition temperatures were synthesized, and their thermal durability was sufficient for practical applications. To prevent unnecessary light transmittance during the thermal process, the light scattering phenomena of nematic LCs was utilized, and a tandem device composed of smectic and nematic LCs was fabricated. This tandem device could be used to develop a new unique storage-type variable optical attenuator (VOA).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総 計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス電子機器

キーワード：光デバイス・光回路

1. 研究開始当初の背景

情報量の著しい拡大に対応する通信網の信頼性の確保は今後一層重要となる。特に災害時における電力系統の遮断への対応策として、無電力で制御系統を一定に保つ機能は殊に有用と考えられる。現在、通信の幹線系

に普及が開始している波長多重光通信システムにおいて、光線および波長の合分波（OADM等）、光量制御（VOA, SLM等）、光路変換（AXC等）などの各種能動的な光制御デバイスが使用されている。これらを制御する機構として、熱および機械的変形（MEMS）、

磁気光学効果、電気光学効果など様々な方式が適用されており、中でも低電力駆動で二次元パネルによる光路の多重並行操作のできる液晶の電気光学効果を利用する方式は優れた可能性を有するものとして注目されている。しかしながら、これら各種の素子はいずれも制御に連続的な通電が不可欠であり、基本的に無電力制御素子の実現は困難であった。

2. 研究の目的

本研究は、これら従来方式に代わる新規な無電力で制御条件の保持可能な記録保存型の光通信用素子を提案するものである。本研究には従来のネマチック液晶に代わり、高粘性のため無電場下で分子配向状態の保持の可能なスメクチック液晶を適用する。これにより、無電力化のみならず、偏光板を使用しない液晶光学系の構築が可能となり、従来を超える良好な光学特性を達成できる。

3. 研究の方法

本研究の前提となった技術について述べる。スメクチック相(Sm)はネマチック相(N)と異なって高粘性で分子配向状態を事実上維持することが可能である。Sm, N 両相を有する液晶を用い、記録を高温のネマチック相で行い記録後室温のスメクチック相に相転移に移行すれば記録の保存が可能となる。この熱書き込み記録方式の概略を図1に示す。

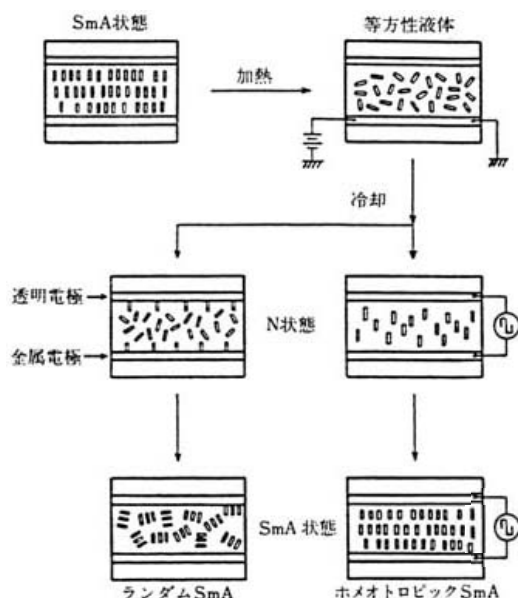


図1 スメクチック液晶熱書き込み記録方式

この熱書き込みスメクチック記録方式は光散乱・光透過による透過光の差を利用するため偏光板が不要で、コントラスト（消光比）の増大も実現できる。本研究はこの方式を利用するが、実用素子とするには従来材料

では温度特性が不十分であった。また記録工程中の等方性液体状態で光が全透過するなど光学特性が変化する点は、用途により素子として不適当となる。本研究により、これら従来技術に残された課題の克服を試みた。

(1) スメクチック液晶組成

本研究のスメクチック液晶としてネマチック相も有し、さらにスメクチック相としてホメオトロピックな配向が可能なスメクチックA相(SmA)が必要である。固相～スメクチック相転移温度(TCS)およびスメクチック相～ネマチック相転移温度(TSN)の間の温度範囲が素子の保存温度域の最大幅となる。しかしながら従来スメクチック液晶は室温より僅かに高温のTSNを示し、かつ温度域の狭い材料系であった。高転移温度で十分広温度範囲の広い新液晶組成の研究を行った。さらに記録特性と関連して材料特性の最適化を図った。

(2) 素子作製方法

素子の消光比を増大するには、光散乱状態のフォーカルコニック配向と光透過性のホメオトロピック配向を適宜任意に選択できることが重要である。過剰な配向規制力を有する垂直配向膜は光散乱状態を妨げ、他方規制力が不足すると光透過性が劣る。このため最適な規制力を示す配向膜の選定を行った。

(3) 素子記録条件

消光比、偏波依存損失(PDL)などの素子特性を最適値とする記録には、抵抗加熱電圧(Vh)と信号記録電圧(Vs)およびこれらの電圧の印加時間幅の制御が必要である。ON/OFFの消光比、PDLに関して最適化の条件を検討した。

(4) 素子性能の向上

相転移を利用する熱書き込み記録の方法は、加熱時の等方性液相状態で光が全透過となり、連続的な透過光量変化を検知する可変光減衰器(VOA)などの用途には不適当である。この瞬間的な透過光変化を補償する付加素子を複合した素子の検討を行った。記録前後で透過光が連続的に変化するためには、加熱時の全透過光を完全遮断することなく、記録前の光量のままに維持することが必要である。さらに記録工程を経過した後は付加素子は無電力の機能が要求される。これに該当する素子の構築を試みた。

4. 研究成果

(1) スメクチック液晶組成

ビフェニルエステル系化合物を複数成分とする新規スメクチック液晶組成を開発した。開発した16種類の組成(C001~C016)および従来液晶(S-1)の相転移温度を図2に示す。従来液晶に比べ、ほぼ-10~70に及ぶ大幅なスメクチック温度範囲(TCS~TSN)の拡大を達成した。C001組成をベース

に更に高転移温度のスメクチック液晶化合物を合成して添加する方法により、図中には記載していないが、TSNとして、100 を超える組成も見出した。

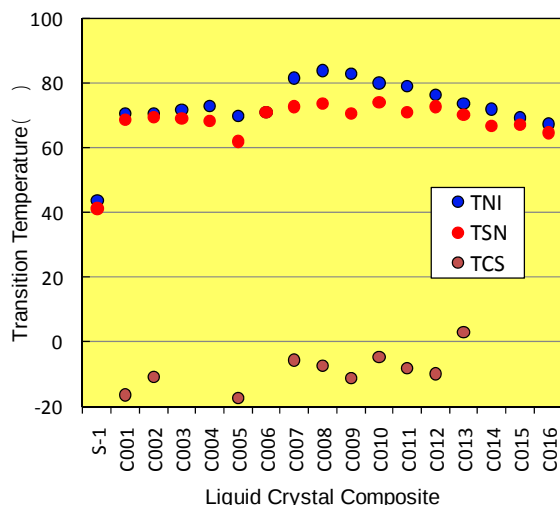


図2 開発した液晶組成の転移温度

本研究のスメクチック液晶開発の派生研究として、新規な2軸性ネマチックおよびディスコチック液晶の開発に結び付く新液晶化合物の開発知見も得ることができた。

(2) 素子作製方法

ホメオトロピック配向膜としてシランカップリング剤として市販の各種化合物約10種類を素子の記録特性を参考に適宜選定した。最適であったのは、図3に示す1H,1H,1H,2H,2H-Perfluoro-octyl-triethoxy-silaneであった。これに対して塗布膜厚、乾燥条件の最適化を行った。

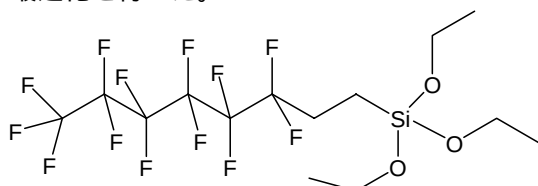


図3 使用した垂直配向膜材料

(3) 素子記録条件

加熱用および記録用可変パルス電源を自作し、最大消光比を得る条件を選定した。記録面積（加熱部面積）を $0.2 \times 2.0 \text{ mm}^2$ とし、面積抵抗 $10 \Omega / \square$ の基板を用いた素子では、加熱電圧 (V_h) は $30 \sim 45 \text{ V}$ 、加熱時間は 40 ms 程度であった。記録には 1 kHz の高周波で記録電圧 (V_s) は $0 \sim 45 \text{ V}$ の範囲で変化して減衰特性を測定した。光源は $1.30 \mu\text{m}$ 又は $1.55 \mu\text{m}$ の光通信用波長の半導体レーザー光を単モード光ファイバーから入射し、入射及び出射光量の強度比から減衰特性及び消光比を求めた。同時に、入射光損失（主に素子の反

射損失）特性、および偏光した入射光の偏光性の変化分から、偏波依存損失（PDL）などの光通信素子の基本特性を求めた。

図4に素子の $1.55 \mu\text{m}$ 波長の減衰特性を示す。使用した組成はC001で液晶膜厚は $25 \mu\text{m}$ である。透明導電性基板としては、通常のITO（インジウム錫酸化物）は使用波長に吸収特性を持つため、ITiO（インジウムチタン酸化物）基板を用いた。

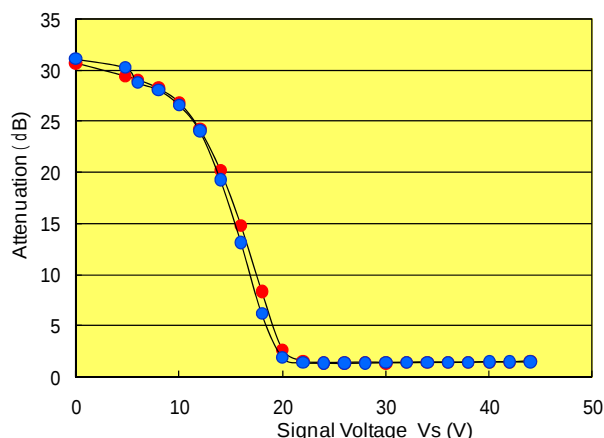


図4 スメクチック液晶素子の光減衰特性

図4のように開発素子は極めて良好な減衰特性を示し、消光比（減衰量の最大幅）は約 30 dB に達し光通信用として十分な特性であった。入射損失は 20 dB 以上であり、PDL特性は V_s 依存性があるものの最大でも 2 dB 以下と同様に十分な特性であった。

上記した特性をもとに4芯（4信号線）の光通信素子を試作した。外観を図5に示す。

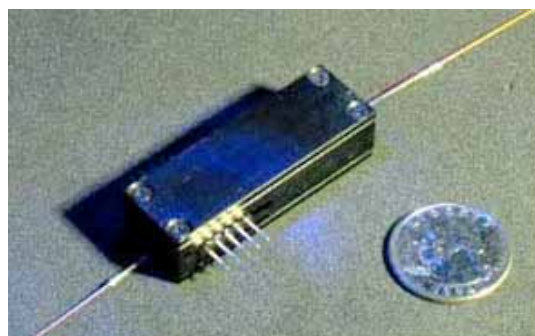


図5 スメクチック液晶試作素子の外観

この試作品は一部市場調査を行い、受入企業を探索した。

(4) 素子性能の向上

前述した記録工程のうち図1に示す等方性液体状態において素子は光透過性となるため、出射光量が瞬間的に増大する現象を生じるが、試作素子の市場調査の中で、この非連続的な特性が利用上課題となると指摘を受けた。より汎用性の高い用途を目指すため、

新たに検討を進めた。

加熱を等方性液体に至らない TNI 以下とする記録方法を検討したが、条件の制御が困難であった。このため、スメクチック液晶素子に瞬間的光透過を相殺する別素子を付属させる複合素子の検討を行った。

a) ネマチック液晶デフレクター

プリズムセルに封入したネマチック液晶に電圧印加で出射光の出射角度を変化できるデフレクターを構成した。これにより出射側のファイバーへの入射光量を制御することで目的に合致した特性が得られた。図 6 にデフレクターで得られた角度変化（遠視野画像）を示す。

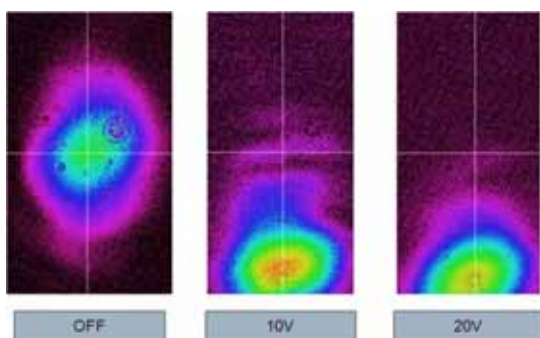


図 6 液晶デフレクターの出射角度変化

スメクチック液晶素子の記録工程にこのデフレクターの動作を同期させることで目的の光透過制御が可能である。しかしながら、プリズムセルで角度変化を生じるのは、異常光のみであり同時に生じる正常光の偏光特性を変換して単一光とするために偏光ビームスプリッター（PBS）などを含む付属光学系が必要となった。

b) ネマチック液晶光散乱モード

ネマチック液晶は電場印加直後に分子配向が変化する過程では分子配列の乱れにより極短時間光散乱状態を生じる。ディスプレイ応用では実用上問題とならない現象で殆ど関心が持たれていない。この現象を図 7 に示す。電圧印加及び消去直後に透過光量に変化する。印加直後の変化は電場の効果に基づくために高速で、消去時は粘弾性のみによる再配向挙動のため遅い。

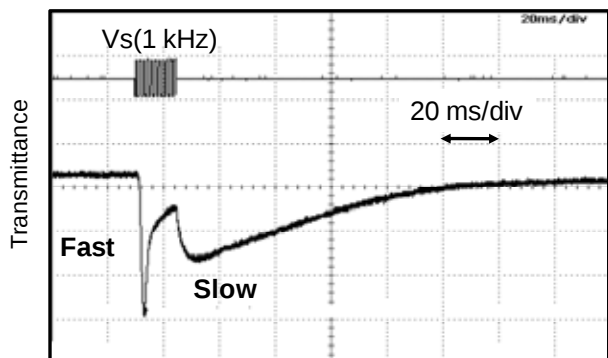


図 7 ネマチック液晶の電場印加の光散乱

この光散乱による透過光の変化は、通常のディスプレイ応用と異なり偏光板を用いないため、素子の PDL 特性の維持が可能である。スメクチック素子の加熱工程時のみ利用されるため、素子として記録保存型の特性は維持できる。更に素子構成は非常に単純で前述のデフレクターの場合に生じた困難性がない、などの長所がある。

図 8 に概念図を示すタンデム型の複合素子を構築し特性を測定した。

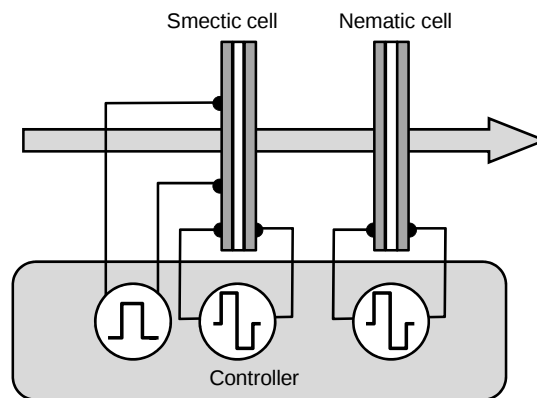


図 8 開発タンデム型液晶光素子の概念図

図 9 (), 図 9 () にスメクチック素子単独の特性とネマチック素子と組み合わせた複合素子の透過光変化の例を対比して示す。図は、素子が ON(透過)状態から OFF(非透過)状態へとスイッチングした時の透過光量の変化である。

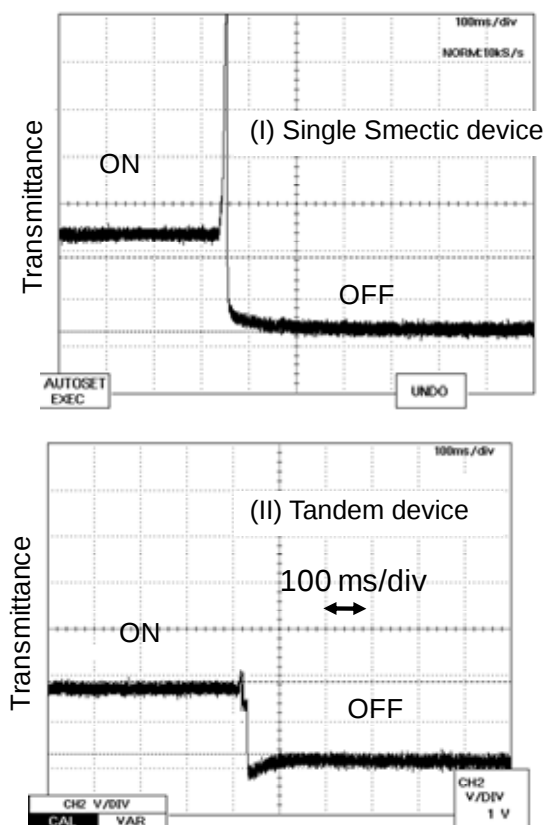


図 9 スメクチック素子と複合素子の光透過

図9のように、複合素子を用いることで、瞬間的な光透過挙動がほぼ完全に消去できることが判る。

上記に詳述したように、本研究により、従来にない広いスメクチック相温度範囲を持つ液晶組成を開発し、熱記録方式で良好な減衰特性を有する光通信用光素子を試作した。更にネマチック液晶素子とタンデム構成に複合した素子により、連続的な光透過性を持つ新規な可変光減衰器を構築した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

M. Komatsu, S. Noka, T. Kitamura, A. Kakuta, and S. Kobayashi, "Tandem-type Variable Optical Attenuator Comprising Both Smectic and Nematic Liquid Crystal Cells", Proc. The 16th International Display Workshops (IDW '09), December 9-11, 2009, Miyazaki, Japan, Vol. 2, pp.663-666 (2009)

K. Fushimi, T. Ikeo, S. Yoshida, K. Hasuda, S. Noka, S. Kobayashi and A. Kakuta, "Liquid Crystal Components for Optical Telecommunication Network", in "Optical Materials and Devices New Stage", Eds. Norihisa. Tanio and Hiroyuki. Sasabe, Proc. 8th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF'8), PWC Publishing, Hokkaido, Japan, pp.161-165 (2008)

[学会発表](計8件)

Y. Shirakawa, S. Yoshida, S. Yoshida, T. Kitamura and A. Kakuta, "Synthesis of New Discotic Liquid Crystals", The 11th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF '11), October 14-15, 2010, Chitose, Japan, P-25

S. Yoshida, S. Yoshida, T. Kitamura and A. Kakuta, "Synthesis of Banana-Shaped Liquid Crystals", The 11th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF '11), October 14-15, 2010, Chitose, Japan, P-24

S. Yoshida, S. Yoshida, T. Kitamura and A. Kakuta, "Synthesis of Biaxial Discotic Liquid Crystals", The 11th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF '11), October 14-15, 2010, Chitose, Japan, P-23

小松正幸, 伏見和紘, 小林壮一, 角田 敦, 「スメクチック液晶を用いた光通信用可変

減衰器の試作(2)」, 第70回応用物理学会学術講演会, 2009年9月8-11日, 富山大学, 富山, 8p-Q-15

小松正幸, 伏見和紘, 小林壮一, 角田敦, 「液晶を用いた通信用光減衰器の検討」日本化学会北海道支部 2009年夏季研究発表会, 2009年7月11日, 苫小牧高専, 北海道, C19

S. Yoshida, S. Yoshida, H. Tanaka, T. Kitamura and A. Kakuta, "Synthesis of New Banana-Shaped Liquid Crystals", CIF 10, November 13-14, 2009, Chitose, Japan, P-23

伏見和紘, 蓮田幸介, 野岡慎吾, 小林壮一, 角田敦, 「スメクチック液晶を用いた光通信用可変減衰器の試作」, 第69回応用物理学会学術講演会, 2008年9月2-5日, 中部大学, 愛知, 5a-ZT-10

M. Komatsu, H. Tanaka, K. Fushimi, S. Noka, S. Kobayashi, and A. Kakuta, "Novel LC Devices for Optical Modulator Application", 20th Korea-Japan Joint Forum on Organic Materials for Electronics and Photonics, Oct.23-25, 2008, Chitose, Japan, P25-044

6. 研究組織

(1)研究代表者

角田 敦 (KAKUTA ATSUSHI)

千歳科学技術大学・総合光科学部・教授
研究者番号: 90326596

(2)研究分担者 無

(3)連携研究者 無