

熱変色性液晶フィルムによる中赤外光の可視化装置の開発

	学部名	学科名	
1年	システム科学技術学部	機械工学科	松下侑馬
1年	システム科学技術学部	機械工学科	橘昂希
職名	学部名	学科名	指導教員
助教	システム科学技術学部	機械工学科	合谷賢治

1. 目的

【目的】液晶技術に興味があり、関連する技術の学習や技術応用を学びたいと思い、指導教員と相談した際に赤外線を可視化するために利用可能であり、実際の実験にも活用できる装置を開発したいと考えたため。実験では、装置を自分たちの手で自作することにより、市販品と比べた際のコスト削減を図る。試作品が完成するまでの過程で、この実験装置の活用法を模索していく。

2. 研究の概要および達成目標

【概要】中赤外光のビーム可視化装置の試作に挑戦する。市販の中赤外光の観察用センサーは高額（装置単価300万円以上）であり、研究活動の妨げとなっている。そこで、廉価品の試作を行い、その実現性の検証と性能評価を行う。性能評価の項目は、検出下限のレーザー出力 (W) と用いるイメージングシステムを基準とした空間分解能を評価する。評価方法は、中赤外ファイバーレーザー発振器から出力されるレーザー光のビームパターンの観察を行う。

【達成目標】赤外線の可視化に伴い、レーザー光を観察できるようにすること。具体的には熱変色性液晶 (TLC) を用いて、赤外線半導体レーザーのビームパターンの可視化原理と光学系の設計の最適条件を調べ、原理実証を達成目標とする。

3. 原理

今回の研究の目的である、熱変色性液晶 (TLC) は温度によって色が変わる特性を有する。この原理としては、液晶が液体と結晶の部分を持ち合わせることで、温度によって性質が異なる[1]。前述した温度によって色が変わるといえるのは、温度によって反射する色を変化させることを意味する。今回使用する液晶は「コレステリック型」と呼ばれる分子構造が螺旋構造を示し、温度によって螺旋幅が変化することで光の色が変わる。これを「選択反射」という。今回はこの性質を利用し、中赤外ファイバーレーザーを透過させることで、画像内における精度を評価することである。

4. 実験装置

- ・ 感光フィルム(エドモンドオプティクス：商品コード #61-161) 数量1
- ・ サファイア基板(シグマ光機：型番 OPSH-25C02-P) 数量2
- ・ 小型アルミ光学ベンチ用キャリア(シグマ光機：型番：CAA-25LS) 数量4
- ・ ロッドスタンド(シグマ光機：型番 RS-12-30) 数量4
- ・ ロッド(シグマ光機：型番 R0-12-30) 数量4
- ・ 固定式レンズホルダー(シグマ光機：型番 LHF-25S) 数量3
- ・ レンズ(シグマ光機：型番 SLB-25-30P) 数量1
- ・ レンズ(シグマ光機：型番 SLB-25-60P) 数量1
- ・ イメージングカメラ(ミスミ：型番 EMVC-CB130C3) 数量1
- ・ マイクロスコープ(サンコー：型番DINOAM3103) 数量1
- ・ L型アルミ板 (3×30×30) (No416) 数量1

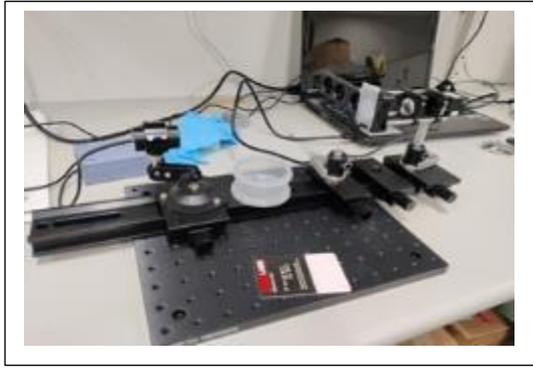


図1. 実験装置1

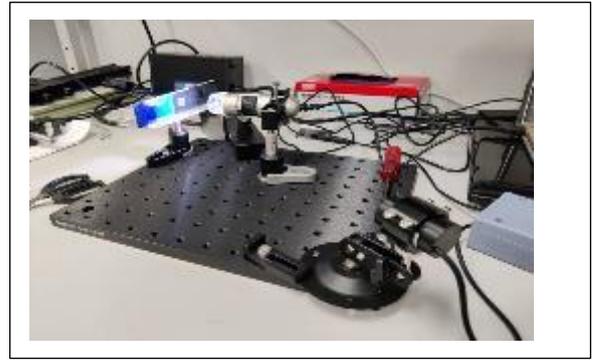


図2. 実験装置2



図3. フィルム1

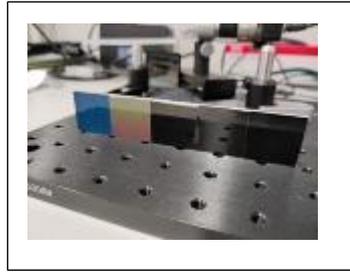


図4. フィルム2

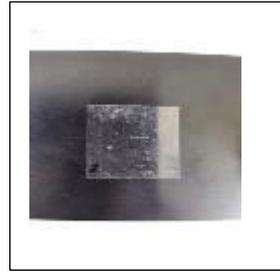


図5. フィルム3



図6. フィルム4

5. 実験方法

実験方法としては、図1の通り、イメージングカメラに直接レーザー光を向け、その間に熱変色性液晶と感光フィルムを用いて観察する方法を採用した。その際には、熱変色性液晶はフィルムのみを使うため、図3のようにフィルムに不随する膜を剥がして使用する。直接観察したサーモグラフをイメージングカメラで確認することで精度と性能を評価する。また、図2のように、イメージングカメラに直接レーザー光を当てずに、熱変色性液晶にレーザー光を当て、間接的に性能を評価する。このときは図4のようにフィルムは膜を剥がさずに使用する、二つのパターンで実験を行った。

6. 実験結果

実験日時	回数	時間(s)	アセトン 使用回数	TLC の 種類	大きさ (cm)	温度(°C)	結果
10月1日	1	3	一回目	R35	2.5×2.5	23.0	綺麗に取れた
10月1日	2	150	二回目	R30	2.5×2.5	23.0	綺麗には出来たが感温の機能は失われていた
10月1日	3	150	一回目	R30	1.0×1.0	23.0	2回目と全く同様
10月8日	4	3	一回目	R30	1.0×1.0	24.0	二回目と同様であるが多少は白膜が残った
10月8日	5	60	一回目	R30	1.0×1.0	24.0	綺麗に剥がれた
10月8日	6	3	二回目	R25	1.0×1.0	24.0	中央部の液晶は剥がれてしまったが綺麗に取れた
10月8日	7	3	三回目	R25	2.5×2.5	24.0	前回と同様
10月8日	8	3	四回目	R35	2.5×2.5	24.0	七回目と同様
10月8日	9	3	一回目	R25	1.0×1.0	24.0	綺麗には出来たが感温の機能は失われていた
10月8日	10	3	二回目	R40	2.5×2.5	24.0	綺麗にはがすことが出来た

表1. フィルムの液晶使用可能条件

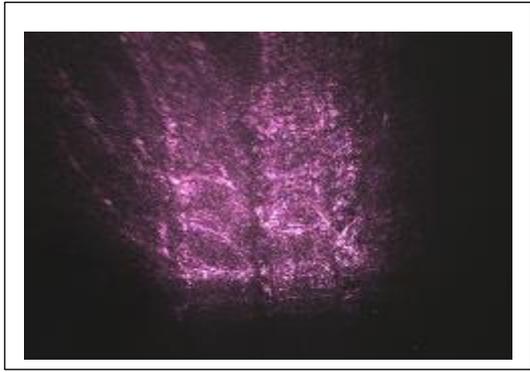


図7. 実験結果1 (R35)

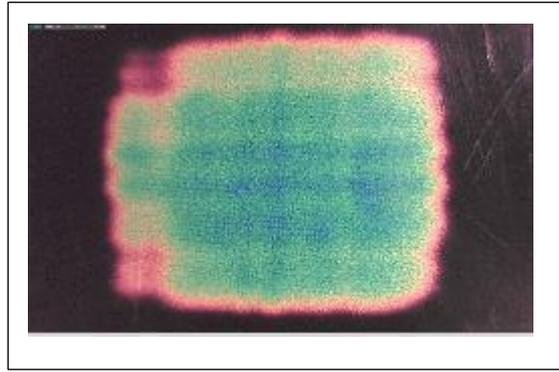


図8. 実験結果2 (R30)

7. 検討及び考察

初めに行った実験では、フィルムの使用可能性について表1のような結果となった。フィルムの感度はR25で高く、温度を感じやすい材質で、R40, 45になると感度は低くなり、温度が感じにくいものとなる。図1の通り綺麗に剥がれたフィルムは液晶部分を残し使用可能な状態となった。感温の効果は図6のように高い感度を示す液晶の場合、構造変化を維持したまま色が残ったままとなった。実験で使用するレーザー光ではR25では感度が非常に良かったためこのような結果になったとされる。一方で、使用不可になったフィルムは図5のように液晶がすべて剥がれ落ちた状態である。また、液晶が残ったフィルムでも、レーザー光を当てた時には変化を及ぼさなかったものもあった。このことから、使用不可になる要因として、液晶が残っているものは、十分に乾燥されていないことが挙げられる。フィルムの液晶を残したまま膜を剥がすにはアセトンを使用する。このアセトンが熱変色性液晶にとっては強い剥離剤であった。液晶の螺旋構造は熱を通じて変化させている。つまり、液晶が残っていたとしてもその構造が維持されないことには変化は生じないことだといえる。こうして得た実験結果は、図7の通りで、空間分解能を評価する2つの地点が明確ではなかった。この実験では思うような結果は得られなかった。本来、熱変色性液晶は膜を剥がさずに使用することが想定されており、この実験では十分な効果がだせなかったと考えられる。しかし、直接的な温度変化を目視で行えたことから、画像を通した可視化が可能であることが伺えた。今回、サファイア基盤を熱効率が良い点から、熱変色性液晶と合わせることで冷却効率上げを前提としたが、感度の良さから使用しなかった。この実験結果を基に、レーザー光の出力によるフィルムの変化と画像による可視化への道筋がたてられた。その結果が次に行った実験である。

2つ目の実験では、図2のような実験装置を組み立てた。図1の実験から直線的な設計から間接的な実験へと切り替えた。感温の度合いが前回の実験で十分な効果を示していたため、フィルムの膜を剥がさずに使用した。フィルムの膜を剥がし使用可能状態に持つていくまでの作業を前回実験の結果から省略することができた。この実験では、図8の実験結果を得た。図7と比べて、画像として微細な認識ができる結果だった。フィルムと膜を乖離する方法では、液晶の分子構造を崩してしまう。そのため、今回の実験は分子構造を維持したままの状態を観測が可能だった。間接的な方法では、顕微鏡による微細な画像を取ることができた。熱変色性液晶を熱効率の度合いが良いアルミに貼ることで、サファイア基盤の効果を代用させた。実験の前段階では、温度制御が可能なペルチェ素子を用いることで冷却効果を高めることで成果を挙げられると考えていた。実験を通していくと、この仮説は逆で、高効率の冷却効果はレーザーによる熱を直ぐに拡散することから、画像が不明瞭になると考えられた。そのため、冷却効果の高くないアルミ材を付与することで熱の拡散を抑えることができたと考えられる。直接的なレーザー光の透過の場合、光透過性が高いサファイア基盤を使用する。この実験はレーザー光の反射により、この透過性を無視している。このことから中赤外レーザー光の可視化という面では成果を挙げたが、実用段階に至るには、さらに改善が必要だと考える。

8. 結論

今回、当初の予定とは異なる実験方法を追加した。1つ目の実験方法の結果については、初めの見解とは異なる結果となった。まず、フィルムを液晶部分のみ使用するために膜を剥がす段階で支障がでた。また、実験可能な液晶は数が限られており、レーザー光を透過したとしても色の変化をカメラに画像として映し出すまでにはいかなかった。その中で、目視による液晶の熱変色性を捉えることができたことから、環境要因、実験道具の正確性といった改善する要素を発見した。

2つ目の実験では、レーザー光の反射を利用した間接的な観測による実験を行った。この実験では、1つ目の実験にて、サファイア基盤の熱効率性が非常に高いことが感温の効果を打ち消していることが判明した。したがって、この特性を低減させ、フィルムによる不確実性を取り除いた実験方法を採用した。結果としては、フィルムの微細な格子形状を画像を通して視認することができ、2つの地点を確認することが可能となった。

9. 参考文献

[1] J. Choi *et al.*, Thermochromic luminescence in dual-dye-doped liquid crystal mixture induced by varying the energy transfer rate, *Dyes and Pigments* 180, 108450 (2020)