

超短パルス超広帯域白色光に利用可能な液晶空間変調器の開発

米田研究室 鈴木知基

1. 序論

超広帯域光と呼ばれる光はその名の通り、スペクトルが広帯域に広がるレーザー光である。この光は比較的容易に生成できるが、周波数ごとの位相がバラバラになってしまう。

周波数ごとの位相を微細に制御することは一般には難しいが空間液晶変調器(SLM)を用いれば可能である。分光した光を SLM に通過させることによって、液晶アレーが周波数ごとに位相差を与えることにより、自在に光の位相を操ることができる。



図 2.1-1 開発中の SLM

しかし、従来の液晶では紫外域に吸収があるために 450nm 以上という波長領域に制限があった。近年では技術革新によって 300nm~1050nm で透過率をもつ液晶が登場してきたため、この新しい液晶材料を用いた SLM を作成することでより広帯域に用いることのできる SLM を開発することが本研究の目的である。

新しい液晶材料を用いるため、その液晶材料の応答性能評価、空間液晶変調素子のダメージテストを通じて液晶材料の評価を行った。また、実際にパルスの圧縮実験を行った。

2. 液晶空間変調器の応答性能評価

2.1. 高速度カメラによる液晶応答観察

2.1.1. 実験方法

図 2.1-1 に実験セットアップを示す。

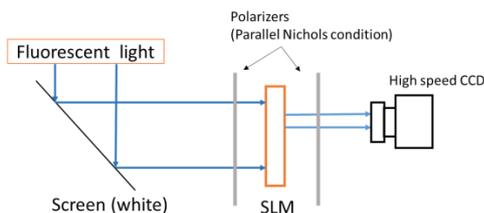


図 2.1-1 実験セットアップ

蛍光灯の光を SLM に 45 度傾けた偏光板ではさみ、パラレルニコル条件にした。SLM の印加階調を変化させ、その様子を高速度カメラで測定した。

2.1.2. 結果・考察

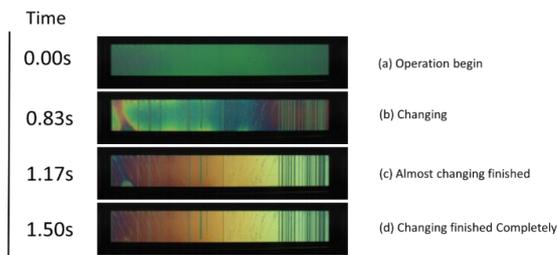


図 2.1-2 SLM の応答

結果は図 2.2-2 のようになった。全体の応答変化は階調値 0 から 255 に変化させるのに 1.2 秒かかることがわかった。このとき、一部のむらのように見えるところでは反応速度が遅く、1.5 秒を要した。

応答速度は比較的遅いが、頻繁に変化させるものではないことを考えると十分といえる。

2.2. 単色による変調性能評価

2.2.1. 実験方法

実験セットアップを以下に示す。

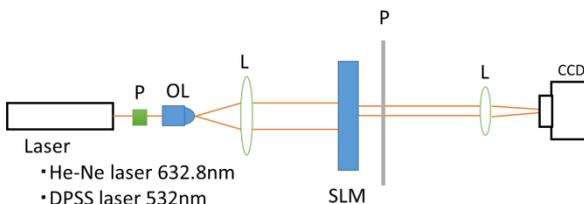


図 2.2-1 実験セットアップ

波長が 633nm, 532nm レーザーをエキスパンドして用い、2.1 と同様なセットアップを構成した。

2.2.2. 結果・考察

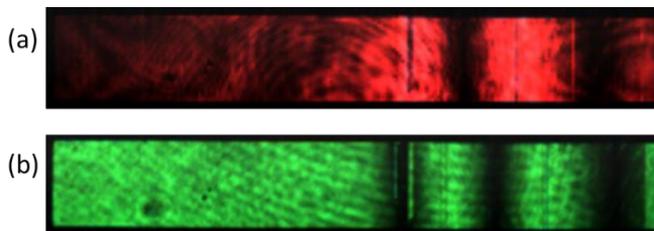


図 2.2-2 単色変調度観測

結果は図 2.2-2 のようになった。この階調は線形にかけている。左側が 0、右側が 255(MAX)である。532nm の方が 1 階調値あたりの変調量が大きいのがわかる。また 126 階調以下では変調に関与していないのがわかる。これは 126 では十分な電圧が得られていないためと理解できた。

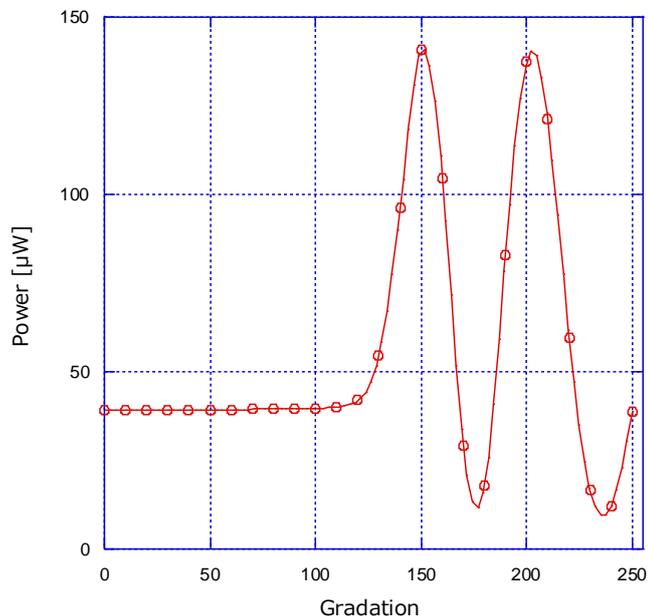


図 2.2-3 階調値と変調量の関係

図 2.2-3 には CCD の代わりにパワーメータを置いた時の 633nm のレーザーの結果である。この結果より 633nm に対しては 4π 程度のダイナミックレンジを持っていることがわかる。

3. 液晶空間変調素子のダメージテスト

3.1. 超短パルス赤外光によるダメージテスト

3.1.1. 実験方法

実験セットアップは以下の通りである。ダメージソースとしてアンプした Ti:sapphire レーザー集光したものを用いた。

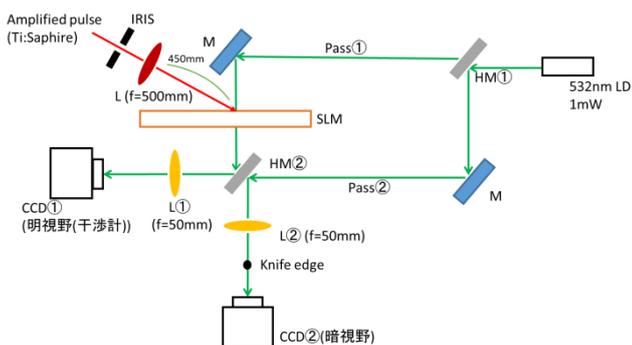


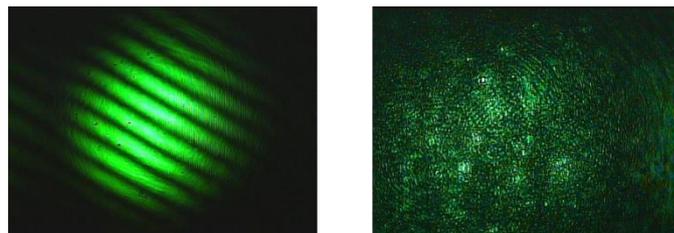
図 3.1-1 実験セットアップ

この光学系では 2 つのことをモニターしている。1

つはマッハツェンダー型干渉計である。これによって SLM 上で位相が異なっている所の縞は歪んで見えることになる。もう 1 つはシュリーレン法による暗視野計測である。ダメージが発生し散乱光がでるとその光だけをピックアップして試みる事ができる。

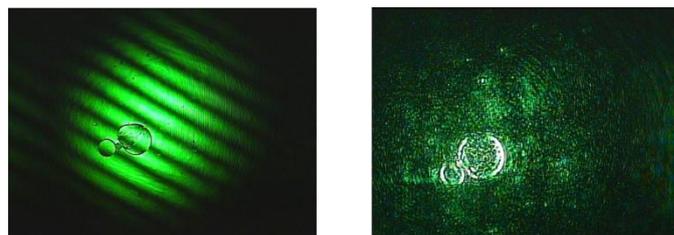
3.1.2. 結果・考察

図 3.1-2、図 3.1-3 に明視野(干渉計)、暗視野のモニターの様子を示す。図 3.1-2 はダメージの入る前、図 3.1-3 はダメージの入った後である。



(a) 明視野 (b) 暗視野

図 3.1-2 ダメージ前のモニター



(a) 明視野 (b) 暗視野

図 3.1-3 ダメージ後のモニター

図 3.1-3 から、ダメージが入った際には気泡のようなものが表れることが判明した。これは、図 3.1-4 に示すように液晶を挟んでいる透明電極の ITO 膜に穴が開いてしまっていると考えられる。

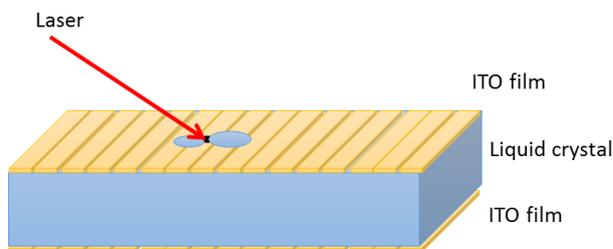


図 3.1-4 ダメージ予想図

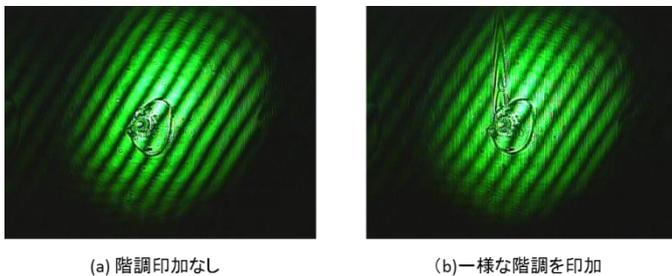
また、レーザーの強度を掃引して損傷閾値を測定した。この結果を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 赤外超短パルスによるダメージ

Ave. Power	Fluence	Damage
50mW	59mJ/cm ²	a few sec
40mW	47mJ/cm ²	25 min
33mW	39mJ/cm ²	48 min
25mW	30mJ/cm ²	no damage (1hour)

表 3.1-1 より損傷閾値は35mJ/cm²であると言える。この値はミラーに比べると3ケタほど低く、高強度レーザーを扱う際には改善する必要がある可能性がある。

図 3.1-5 には大きくダメージを与えた時に SLM に階調を印加した時の様子である。



(a) 階調印加なし (b) 一様な階調を印加

図 3.1-5 大きいダメージの時の干渉計

この図からダメージ上部の階調に変調不可となっている所が発生していることがわかる。これは、図 3.1-6 で示すように ITO 膜が断線されたために起こる現象であるといえる。そのため、現在の損傷閾値を定めているのは ITO 膜であると言える。そのため、この ITO 膜を改善する必要がある。

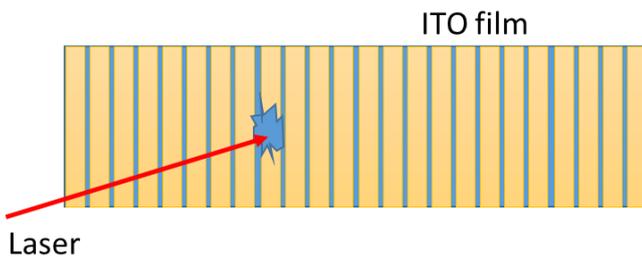


図 3.1-6 ダメージ予想図

3.2. 超短パルス紫外光によるダメージテスト

3.2.1. 実験方法

3.1.1 の実験のダメージソースを BBO による第二次高調波を用いたものを使用した。

3.2.2. 結果・考察

表 3.2-1 にレーザー強度を変化させて測定した結果を示す。

表 3.2-1 紫外超短パルスによるダメージ

Ave. Power	Fluence	Damage
1.3mW	9.2mJ/cm ²	30sec
1.1mW	7.6mJ/cm ²	2min
0.55mW	3.8mJ/cm ²	20min
0.15mW	1mJ/cm ²	no damage (1hour)

表 3.2-1 より赤外に比べ紫外領域では1桁小さい損傷閾値となっていることがわかる。これは高強度レーザー応用においてボトルネックになる可能性が高いため、ITO 膜単体での評価を行う必要があることがわかる。

4. 超広帯域光のパルス圧縮

4.1. 目的

広帯域なレーザー光の位相を完全にそろえることができれば理論的に最短のパルス幅を持つパルスを生成することができる。そのため、この実験では広帯域なレーザー光を用いて、実際に SLM でパルスを圧縮することによって性能を試験するものである。

4.2. 実験方法

図 4.2-1 のセットアップで実験を行った。

アンプした Ti:sapphire レーザーを Kr ガスチャンバー中で集光することによって超広帯域光を発生させた。その光を回折格子を用いて分光し、円筒ミラーによってコリメートするそして SLM を通過した光は逆手順で1つのビームに復元される。このシステムによって SLM が波長ごとの位相差をコントロールし、位相をフラットにし、短いパルスをつくる実験を行った。

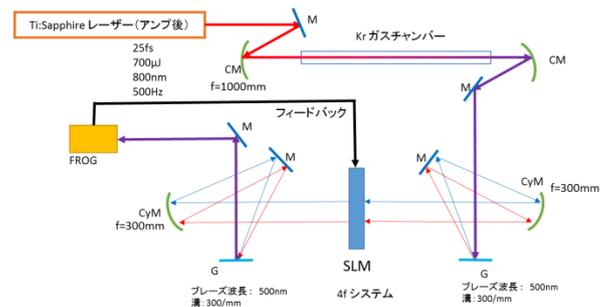


図 4.2-1 実験セットアップ

4.3. 結果・考察

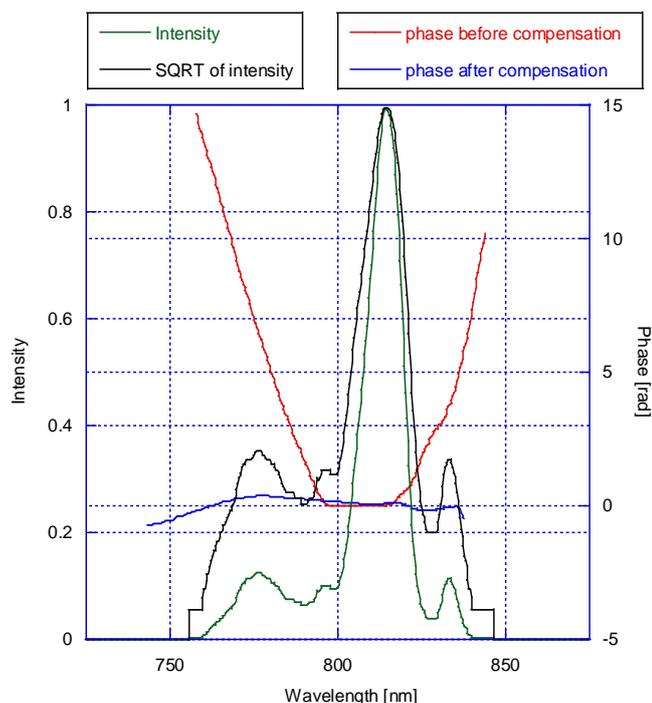


図 4.3-1 補償前後の強度・位相スペクトル

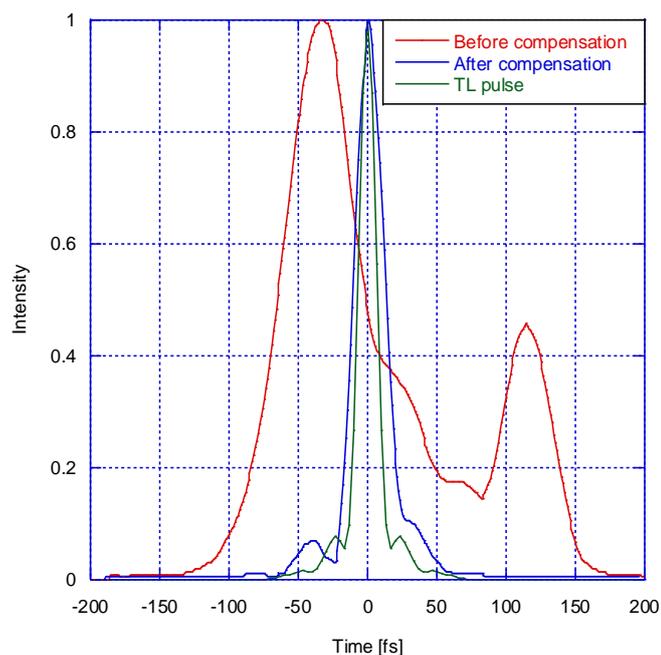


図 4.3-2 補償前後のパルス波形と TL パルス

図 4.3-1 の黒線は今回使用した超広帯域光の強度スペクトルを表している。赤線は補償前、青線は補償後の位相スペクトルを表している。

この図から赤線の大きく歪んだ位相が青線で示されるようにほぼフラットまでに位相がそろっていることがわかる。この青線の位相ずれは $\pm 0.7\text{rad}$ となった。

図 4.3-2 の赤線は補償前、青線は補償後、緑線はフ

ーリエ限界パルスのパルス波形を示している。

この図から赤線のダブルパルスになっているパルスが青線のようなシングルパルスに整形できていることが理解できる。緑線のフーリエ限界パルスと比べても 1.7 倍まで圧縮できた。

今回、1.7 倍までにとどまった理由としては FROG の S/N や波長、印可電圧の離散化誤差が考えられる。

しかしながら、1.7 倍までの圧縮を達成したことから、この SLM が既存の製品と同等のことができることが示すことができた。

5. まとめ・展望

5.1. まとめ

本研究では、液晶空間位相変調器の性能試験およびダメージテストを行い、共同で開発を行っている会社に対し有意義な情報を与えることができた。

また、広帯域化 Ti:sapphire レーザーの分散補償に成功し、ダブルパルスのような崩れたパルスであっても分散補償によりパルス整形が SLM を用いて可能なことを示すことができた。

SLM が既存の製品と同等の性能は持ち合わせていることを証明することができた。

5.2. 展望

開発している SLM が持つ最大の特徴である深紫外までの透過率を活かした超広帯域超短パルス光の分散補償によるパルス整形に取り組み、既存の製品と異なるこの SLM の有用性を示したいと考えている。そのために必要な、安定な超広帯域超短パルス光の発生、FROG よりも高感度なパルス測定システムである M-SPIDER の構築、そして、それらを統合したアクティブ分散補償システムの構築を目指す。

参考文献

- [1]光エレクトロニクス基礎編Amnon Yariv, Povhi Yeh著丸善
- [2]光エレクトロニクス展開編Amnon Yariv, Povhi Yeh著丸善
- [3] Femtosecond Laser Pulses Claude RullièreSpringer
- [4] Eiichi Matsubara, Keisaku Yamane, Taro Sekikawa, Mikio Yamashita “Generation of 2.6fs optical pulses using induced-phase modulation in a gas-filled hollow fiber” Vol. 24, Issue 4, pp. 985-989 (2007) ・doi: 10.1364/JOSAB.24.000985