

< 1 > 超高密度光子利用実証レーザーシステムの開発

< 1 - 1 > LD を用いた高強度フェムト秒レーザーの開発

サブテーマリーダー：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 岡田康光

< 1 - 1 - c > 高性能化の研究

小テーマ： フォトニック結晶の評価

研究従事者：浜松ホトニクス株式会社 酒井 博

光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 松岡伸一、中野文彦

1. はじめに

TWレーザーを構築するには、いくつかの重要な光学手法の採用が必要である。レーザーの増幅を安定に行なうためには、一般的にチャープ増幅技術が用いられる。種光となるフェムト秒レーザー主発振器の光を一端時間的に広げ、これを増幅させて十分な光ゲインを得た後に、パルス圧縮を行なうパルス整形と組み合わせた増幅方法である。これらのパルス整形のための素子は、レーザーのピーク出力が上昇するたびに、その光損傷を避けるために大型化し、高価となる。また、系で主に用いられる大型の回折格子は海外製造者に依存しているのが現状である。

この現状に対して、共同研究先である浜松ホトニクス株式会社は、3次元フォトニック結晶を用いることで、チャープ増幅を可能とする新しいアイデアを提案し、そのための結晶の準備をしていた。そこで、本事業では、この概念を用いたTWレーザーを構築すべく検討を行なった。フォトニック結晶のフォトニック・バンド・エッジにおける、大きな波長分散特性を用いる手法である。本研究のベースとなる基礎概念はおよそ10年前に明らかにされているが、これTWレーザーのパルス波形整形に用いようとする動きは皆無である。よって、フォトニック結晶を用いて、TWレーザーの小型化、軽量化が達成できれば、世界初の装置になると考える。

2. 波長分散特性

平成16年度より浜松ホトニクス株式会社との共同により開始された研究であるフォトニック結晶を用いたレーザー制御では、最終的には、フェムト秒光パルスの波形をフォトニック結晶を用いて展延あるいは圧縮することで、小型の高輝度レーザーに組み上げることを目的としている。

まずは、厚さ100ミクロンの薄型フォトニック結晶の分光特性を評価し、これが波長800nmのチタンサファイアレーザーに使用可能であるかの評価を進めた。

分光光度計を用いて、フォトニック結晶の透過分光特性を計測し、その際、フォトニッ

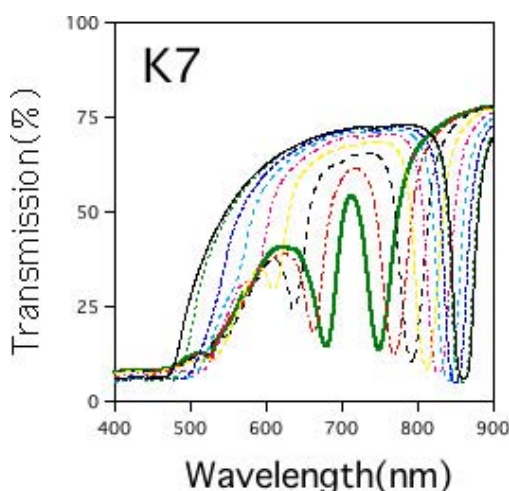


図1 透過スペクトルの角度依存性

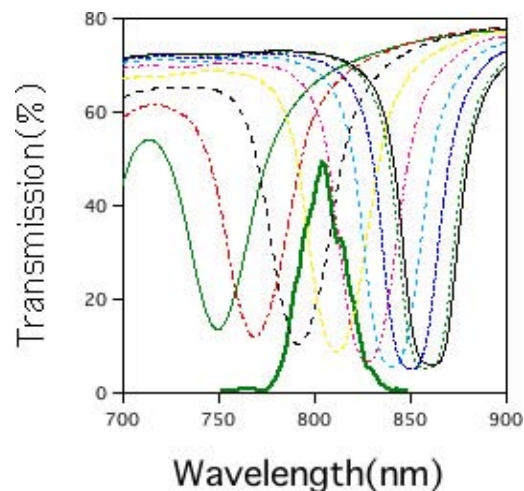


図2 チタンサファイアレーザーのスペクトルとフォトニック結晶のバンド

ク結晶と入射光ビームのなす角度を徐々に変えたときの分光スペクトルの変化を観測した。

図1に400nmから900nmまでの分光透過スペクトルを、各角度ごとに同時に表示したデータを示す。このフォトニック結晶では、フォトニック結晶のバンド構造に起因した反射波長が、角度に応じて順次変化していくことが明らかである。図2には、本研究で用いるチタンサファイアレーザーの波形を実線で示し、それにフォトニック結晶の反射スペクトルの角度依存性を波長範囲を変えて重ねてプロットした。この実験に用いたフォトニック結晶が、チタンサファイアレーザーの波長領域にそのフォトニックバンド構造が設計通りに得られていることがわかる。

このフォトニック結晶の反射波長と角度の関係(分散関係)をプロットしたのが図3であり、800nmにおける反射スペクトルが、フォトニック結晶の(111)面におけるブラッグ反射に起因していることが明らかとなっている。

以上のことから、今回用いた100ミクロン厚のフォトニック結晶が、当初の目的であるチタンサファイアの波形制御のために用いることにおいて、波長特性からはその可能性が十分あることがわかった。

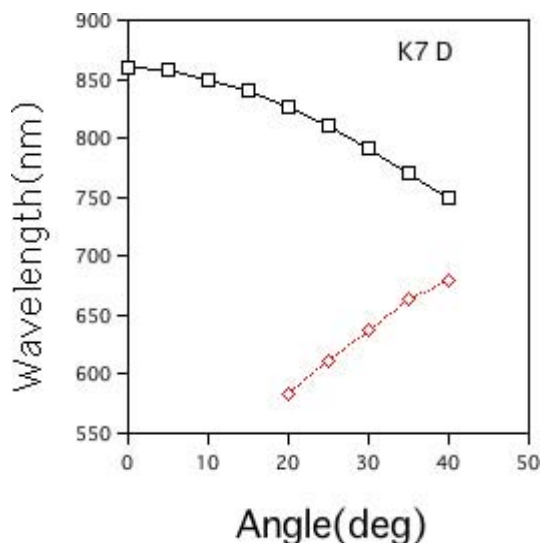


図3 フォトニック結晶の分散特性

3. フォトニック結晶の容器への封入

本研究で用いるフォトニック結晶は、ゲル状の媒質内に固定されている。そしてそのゲルを保持するのが水である。このような柔らかな材料を高輝度レーザーに用いるために、ゲル化したフォトニック結晶を安定した容器に封入し、長期に渡り機械的、光学的な安定構造にする必要がある。そこで、本研究では、図4に示したように、微結晶からなるフォトニック結晶をBK7の光学窓板を取り付けたステンレス容器に封入することをもちろみ、それに成功した。フォトニック結晶は、溶液中で長時間保持する必要があり、すでに2500時間以上の長期に渡って、安定に保持されることを確認した。



図4 ステンレス容器に内蔵したフォトニック結晶

4. 時間応答計測

本素子の波長分散特性とその時間応答を評価するために、高輝度フェムト秒レーザーを用いた白色フェムト秒コンティニュームを発生させ、これを本素子に導入して、波長分散特性の評価を、超高速ストリークカメラを用いて計測評価を行った。(図5参照)

フェムト秒の白色光は、フェムト秒レーザーと物質の間で発生する高次の非線形効果によって発生する高輝度の白色フェムト秒光パルスである。

これをフォトニック結晶に導入し、その透過光の波長分散特性を、分光器とストリークカメラを接続



図5 フォトニック結晶の波長分散評価実験装置の写真

した図5に示した装置を用いて解析を行った。その結果のひとつの例を図6に示した。これは透過したコンティニュームの時間分解分光像である。横軸が波長、縦軸が時間で、赤の光強度が強く、緑、青、黒となるに従って、輝度が低くなる。

図では、波長500nmあたりに分散の不連続点を確認しており、フォトニック結晶の反射波長域と対応して分散であるものとする。

現在、より精度の高い評価を進めている。

5. 今後の展開と課題

現在、共同研究先の浜松ホトニクス株式会社にて開発を進めているフォトニック結晶の大型単結晶の成長がなかなかできず、実際に本実験であるTWレーザーに内包させた評価にたどり着けるか課題であった。しかしながら、現時点で、分散特性が均一な大型単結晶が得られておらず、目標とする波長分散値を達成することができていない。理論解析により、完全な単結晶が作製できれば、この目標値を達成することを明らかとすることが確信されている。原理としては達成可能と予測されるが、それを長期に安定した、安価な光学素子として作り上げるためには、今後も、より多くの努力が不可欠である。

大型の単結晶の成長がなされるのを待って、実際のレーザー破壊閾値の評価と波長分散および、波長のチューナビリティと減衰特性を正確に評価し、産業応用可能な素子としての確固たるものにしたいと考える。

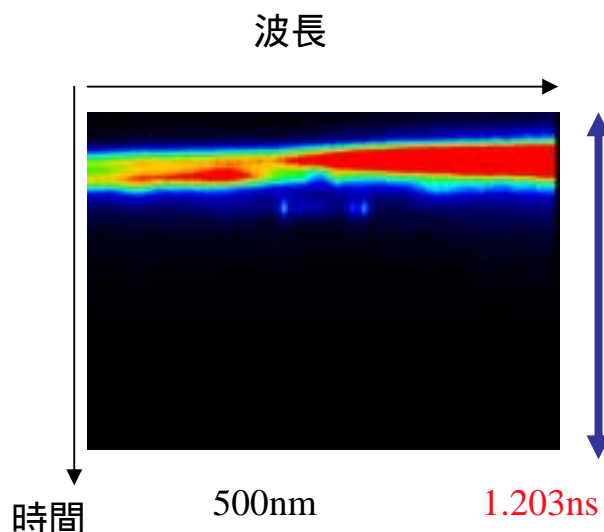


図6 フォトニック結晶を透過したフェムト秒白色コンティニュームの時間分解分光像例