

## 論文の内容の要旨

博士後期課程 先端融合科学専攻

先端工学システムデザインプログラム氏名 井上 晋宏

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

本論文は、超広帯域ベクトルビームを用いた偏光分光計測の高速化についてまとめたものである。近年、幅広いスペクトルを有する超広帯域光が医療分野や工業分野などに応用されており、主に吸収分光や物質の励起光として期待されている。超広帯域光は、自己位相変調、誘導ラマン散乱、四光波混合などの非線形光学効果によって引き起こされ、超広帯域スペクトル、高輝度、高い空間的および時間的コヒーレンスなどの特徴がある。一方、波長に依存した偏光状態をもつベクトルビームが注目されており、波長と偏光の相関関係を用いて偏光分光計測の分野で使用されている。高機能材料分野においては、ガラス基板やフィルムに成膜された薄膜の複屈折分布や膜厚分布を全面で定量化することが求められており、偏光分光計測の高速化が必要となっている。しかしながら、従来の計測手法では、偏光素子自体を機械的に回転させる必要があるために高速化が難しい。異なる手法として、偏光イメージセンサを用いた手法が提案されているが、従来のイメージセンサを用いているために測定時間がミリ秒オーダーに限定されてしまう。これらの背景を踏まえ、本研究では、超広帯域ベクトルビームを用いることで、偏光分光計測の高速化を図ることを目的とした。

高速化の基本原理は、超広帯域ベクトルビームの偏光とスペクトルを時間と紐付け、光強度の時間変化を測定することにより、偏光とスペクトルの高速測定を実現するものである。はじめに、高繰り返しピコ秒レーザーを開発し、フォトニック結晶ファイバーを伝搬させることで近赤外域から可視域まで広がった高出力な広帯域光を発生した。Yb添加ファイバーを用いた非線形偏波回転による正常分散型モードロックレーザーを種光とし、ダブルクラッド Yb添加ファイバーにより種光を増幅し、繰り返し周波数 40 MHz、平均出力 5 W の出力を得た。オートコリレータにより自己相関波形を観測した結果、パルス幅は 5 ps であった。このレーザーパルスを用いたフォトニック結晶ファイバーに入射し、超広帯域光を発生させ、出力特性を評価した。フォトニック結晶ファイバーを融着接続することで、高出力化に伴う端面の損傷を防ぎ、波長域 500 nm ~ 2200 nm、平均出力 2.5 W の出力を得た。また、非線形シュレーディンガー方程式に基づく超広帯域光の数値シミュレーションを行ない、実験結果とシミュレーション結果とで類似のスペクトル形状を確認し、実験結果の妥当性を検証した。次に、この超広帯域光を長さ 1 km の長尺ファイバーに入射し、ファイバーの波長分散によりパルス幅を 20 ns まで拡張した。これにより、スペクトルが時間に紐付けられ、波長が時間ごとに変化する状態を作り出した。用いた長尺ファイバーの波長

分散をセルマイヤーの分散式にフィッティングし、解析することで波長と時間との相関関係を導いた。その後、偏光子、位相子、アクロマティック 1/4 波長板を介してベクトルビームを生成した。このようなセナルモン構成を利用することで、得られたベクトルビームは直線偏光であり、かつ波長に応じて主軸方位角が変化する。すなわち、偏光が時間に紐付けられ、主軸方位角が時間ごとに変化する状態を作り出した。最終的に、スペクトルと波長が時間に紐づけられ、波長および主軸方位角が時間ごとに変化する状態を作り出した。この超広帯域ベクトルビームをサンプルに照射し、高速フォトディテクタで透過光の時間波形を測定することにより、偏光分光計測の高速化を実現した。測定時間  $2.5 \mu\text{s}$  を達成し、分光器を用いる手法と比較し、従来比 500 倍となる高速偏光分光計測を実現した。

本論文は全 6 章で構成されている。第 1 章では研究背景を述べている。超広帯域光源や偏光分光計測の歴史と現状の問題点について説明している。第 2 章では、本研究の理論を述べている。種々の非線形光学効果や非線形シュレディンガー方程式、偏光の種類や偏光解析法について説明している。第 3 章では、超広帯域光の数値シミュレーション結果を述べている。計算アルゴリズムやパラメータの導出、計算結果を説明している。第 4 章では、超広帯域光の実験を述べている。広帯域化のメカニズムを説明した後、実験系や実験結果を述べている。第 5 章では、超広帯域ベクトルビームを用いた偏光分光計測の実験を述べている。高速化のコンセプトを説明した後、実験系や実験結果について説明している。第 6 章では、まとめと今後の展望について述べている。