

論文審査の結果の要旨

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

(1,500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関する研究」と題し、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。近年、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利用されるようになった。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である。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り、高速化は難しい。それとは異なる手法として、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測定時間が10ms程度に限定される。最新の研究では、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実現している例もあるが、分光器を用いているため、従来のイメージセンサの手法と同様に測定時間が1ms程度に限定されている。そこで、本研究では、時間的にエンコードされた超広帯域ベクトルビームを用いることを提案し、偏光分光計測の高速化を図ることを目的とし、原理実証実験を行った。

本研究で得られた具体的成果は以下の通りである。

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に入射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。このレーザーパルスを用いて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500nm～2200nm、平均出力2.5Wの出力を得た。非線形シュレディンガー方程式に基づく超広帯域光の数値解析により、レーザースペクトルを再現することで実験結果の妥当性を検証した。

超広帯域光を長さ1kmの長尺ファイバーに入射し、波長分散によりパルス幅を20nsに拡張した。これにより、スペクトルが時間に紐付け、波長が時間ごとに変化する状態を生成した。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、超広帯域ベクトルビームに変換した。得られたベクトルビームは直線偏光であり、波長に応じて主軸方位角が変化する。これにより、偏光が波長に紐

付けられ、主軸方位角が波長ごとに変化する状態を生成した。スペクトルと偏光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。これをサンプルに照射し、高速ダイオード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。測定時間は $2.5 \mu\text{s}$ であり、現行の手法に対し、約 5 万倍、分光器を用いる手法に対して約 500 倍の高速偏光分光計測を実現した。

これらの成果は、それぞれ学・協会誌論文および国際会議発表論文としてもまとめられている。

本論文に関しては、2024 年 1 月 31 日に本学陽東キャンパス 4 号館 1 階のイベントスペースにおいて、審査委員全員および学内外の関連分野の研究者などの出席のもとに公聴会が開催され、その研究内容の発表と質疑応答が行われた。公聴会の後に、審査委員全員による学位審査委員会が開催され、論文内容を詳細に検討した。その結果、本研究により、レーザー工学分野、物性科学および半導体関連分野で先進的な知見が得られたことが認められ、本論文は工学的に価値が高く、研究内容の学術レベルならびに研究としての独創性および有用性において優れたものと判断した。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。