

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 五十嵐浩司

本論文は「短尺分散平坦化ファイバにおけるサブ 100fs 光ソリトンに関する研究」と題し、サブ 100fs という極めて短い時間幅を有する光ソリトンに対して光ファイバの非線形性の有効活用によってその時間波形およびスペクトル波形をマニピュレートする手法を対象とし、その潜在力を明らかにしつつ超高速光技術における応用時間領域をサブ 100fs 領域へ展開する方策の創出とフェムト秒テクノロジーと称される研究分野に新たな知見を付け加えることを目的とするもので、全 7 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、本論文における研究の背景として位置付けられるフェムト秒テクノロジーに関し、その概念や意義、および歴史的経緯が述べられると共に、研究対象である半導体レーザパルスのソリトン圧縮、サブ 100fs 光ソリトンの物理、そして分散平坦化ファイバ (DFP) について、それぞれの最新の研究動向が概述されている。また、筆者がこれらを研究対象として選択した動機や研究目的も明記されている。

第 2 章は「光ソリトン伝搬における高次効果とそれらの複合的発現」と題し、本論文を理解する上で基礎となる知識、即ち、サブ 100fs 光ソリトンの理論的取り扱い方法やモデル化に関する既報の知識が整理・記述されている。標準的な非線形シュレディンガー方程式を基本としながらも、高次の非線形効果や高次の分散効果に焦点を当て、さらにはそれらが複合的に発現する場合についても着目している。更に、他グループから提案されている高次効果を扱うためのモデルの複数を丁寧に解説すると共に、比較検討を行っている。

第 3 章は「DFP・SDPF を用いる 20fs 半導体レーザパルス圧縮」と題し、簡素化と高性能化に優れた光パルス圧縮器の開発を目標とする立場から、実験的研究を実施した結果が記されている。より具体的には、群速度分散値の異なる複数の光ファイバを縦続接続することによって構成される step-like dispersion profiled fiber (SDPF) 高次ソリトン圧縮器を取り上げ、分散プロファイル設計手法を提示しつつその圧縮性能を実験的に検討している。2 種類の DFP の活用により極めて短尺な圧縮系が構成され得ること、それを用いた半導体レーザパルスの圧縮実験では 20fs 級の圧縮性能が確認されたこと、などが記されている。後者の半導体レーザパルスの 20fs 圧縮実験の結果は光ソリトン時間幅としては世界最短記録に相当することに注目すべきであると思われる。

第 4 章は「サブ 100fs 光ソリトン DFP 伝搬における高次効果の分析」と題し、サブ 100fs 光ソリトンの DFP 伝搬に影響を及ぼすと予想される高次効果を実験的および理論的手法により詳細分析した結果が記されている。30fs 程度以上の時間領域までは高次効果を考慮しない従来型非線形シュレディンガー方程式が、限定された条件下ではあるが、適用可能であるとする一方で、従来は微かな効果として知られていた 4 次分散 (FOD) 効果がスペクトル領域において発現し、その結果として離調度の高い光パラメトリック利得の生成とそれを介する光スペクトル成分の発生が起り得る証左が示されている。

第5章は「高エネルギーパルス注入による 16fs 光ソリトン圧縮と 10fs 圧縮への展望」と題し、より高いエネルギーを有する光パルスを入力として用いてソリトン次数の増大を通じて光パルス圧縮率の増大を図る試みと、それが与え得る諸効果、更には最短光パルス幅を制限する要因について、実験的および理論的な検討を行った結果が述べられている。モード同期ファイバレーザ出力の高エネルギーサブ 100fs パルスを DFF に入力させた場合には、サブ 20fs (16fs) 圧縮が実現されることを示すと共に、その時間幅制限要因の一つは DFF の FOD 値と 2 次分散値から決定される異常分散帯域幅であること、更なる圧縮には DFF の FOD 値抑圧が重要であること、また、サブ 20fs 圧縮には DFF 分散プロファイルの微調整が重要となること、などが議論の結論としてまとめられている。

第6章は「短尺異常 DFF を用いる超平坦化・広帯域スーパーコンティニューム光 (SC) 発生」と題し、超短尺異常 DFF (anomalous-DFF: ADFD) を用いる SC 発生の可能性の検討とその実験的検証について論じられている。そこで発見されたものとして、従来常識とは異なる「超短尺 ADFD における広帯域・超平坦化 SC 発生現象」、発生スペクトルのサブ dB 平坦度、S バンドを含む短波長帯域への光スペクトル延伸特性、などが列挙されている。加えて、SC 発生メカニズムの解明とモデルの検討とを理論的・実験的に行っている。具体的には、FOD 効果が重要な役割を担う広帯域光パラメトリック利得発生機構に着目し、これを SC 発生の主要メカニズムとする仮説を提案、その妥当性を検討しほぼ証明を完遂している。FOD 効果を積極的に活用した初めての報告例と位置付けられる点で、新規性に富む成果と見なせる。

第7章は結論であって、以上の研究結果を総括し、結論を述べている。抜粋すると、フェムト秒テクノロジーの応用時間領域をサブ 100fs 領域へ展開する上で必要不可欠である光ファイバ非線形性の活用に着目し、サブ 20fs 光ソリトンパルスの生成に成功するなどの成果を挙げると共に、サブ 100fs 領域での FOD 効果の著しい発現の例を実験的に証左している。また、FOD 効果はサブ 20fs パルス圧縮の制限要因となる一方で、それを積極的に活用することによってマルチキャリア光源に利用され得る光スペクトル延伸の駆動力ともなり得ることを指摘し、サブ 100fs 領域においては光ファイバの FOD マネージメントが重要となると結論している。

以上本論文は、サブ 100fs という超短時間領域の開拓を目途として行った一連の研究の成果を中心にまとめられ、そのような究極的時間領域における光ソリトンが分散平坦化ファイバを伝搬する際に重要となる性質 (4 次分散効果) の詳細解明に成功すると共にサブ 20fs 光パルス発生や超平坦 SC 発生などの具体例を示すなどの興味深い内容を包含し、サブ 100fs 時間領域を開拓する上で重要となる新たな知見を獲得したことを示すものであって、電子工学の発展に寄与するところを多とする。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。