

## 審査の結果の要旨

氏名 徐博

本論文は、「Nano-carbon-based Wavelength Conversion and Fiber Lasers at Novel Mode-Locked Regimes (ナノカーボンを用いた波長変換および新規モード同期領域光ファイバレーザ)」と題し6章よりなり、英文で執筆されている。カーボンナノチューブ(CNT)やグラフェンという1次元および2次元のナノカーボンは新規な電氣的・光学的・機械的・化学的特性を有しており種々の応用が期待されている。本論文ではナノカーボンの非線形特性、特に可飽和光吸収性および三次光非線形性に注目し、その光ファイバ型デバイス化と新規なモード同期光ファイバレーザと波長変換への応用についての研究成果についてまとめたものである。

第1章は序論であり、受動モード同期レーザとそこで必須な可飽和光吸収素子、さらに波長変換とそこで求められる三次光非線形素子についてまとめられており、本研究の目的と論文の構成を明らかにしている。

第2章では、本研究で注目しているナノカーボンであるグラフェンおよびCNTについて、それらのバンド構造・電子特性・光吸収などの基礎的な物性がまとめられており、さらに高速な可飽和光吸収性および高い三次光非線形性の理由が説明されている。

第3章では、グラフェンおよびCNTの光デバイス化に関する研究成果がまとめられている。可飽和光吸収・三次光非線形素子としてのグラフェン/CNT光デバイスとして必要な条件とその実現方法が議論されている。グラフェン/CNT光デバイスの実現方法としては、グラフェン/CNT分散溶液のスプレー法、光ファイバ端面への光堆積法、グラフェン/CNT分散ポリマー被覆テーパ光ファイバを用いる方法、グラファイトからのテープによるグラフェンの機械的剥離法、が示されており、それぞれの方法の利害得失と実現方法の詳細が明らかにされている。特に波長変換への応用に重要なグラフェン/CNT分散ポリマー被覆テーパ光ファイバについてはテーパ光ファイバ作製システムを設計・試作し、デバイスの最適化を行なっている。

第4章では、第3章でのグラフェン/CNT光デバイスを可飽和光吸収素子として用いた新規モード同期領域光ファイバレーザについての研究成果がまとめられている。最初に従来のソリトンモード同期と最近注目されている新規なモード同期であるシミュラリトンモード同期、散逸ソリトンモード同期について説明がされている。まず第3章での光堆積CNT光デバイスおよび機械的剥離グラフェン光デバイスを用いて平均分散が異常分散のリングレーザ構成でソリトンモード同期を実現しており、さらにスプリットステップ法でのシミュレーションとも良い一致をみている。さらに、平均分散が正常分散の8の字ファイバレーザ(F8L)構成に光堆積CNTデバイスを加えることで、セルスタートかつモード同期閾値の低い散逸ソリトンモード同期ファイバレーザ

を初めて実現している。さらに、同じ F8L 構成において偏波状態を調整することで広帯域なスペクトルをもつノイズライクパルス発生とその OCT 応用についても報告しているとともに、F8L ファイバレーザの偏波維持化についても試みており、ソリトンモード同期を実現している。

第 5 章では、第 3 章でのグラフェン/CNT 光デバイスを三次光非線形素子として用いた 4 光波混合(FWM)波長変換器についての研究成果がまとめられている。まず光堆積 CNT/グラフェン光デバイスでの波長変換の実験結果についてまとめられており、その結果から CNT およびグラフェンの非線形定数  $n_2$  を推定しており、理論的に予測されていたものと近い値を得ている。ただし、このデバイスの問題点としては高強度のポンプ光を入射するとサンプルが燃えてしまうという光ダメージの問題があることが問題である。機械的剥離グラフェン光デバイスで同様の波長変換の実験を行い、同様に波長変換が可能であること、さらに光ダメージ閾値が光堆積のものと比較して 15dB 以上高いことを見出しており、10Gb/s 光信号の波長変換も実証できている。この波長変換器としての特性は CNT 分散ポリマー被覆テーパー光ファイバを用いることでさらに良い変換効率と高い光ダメージ閾値が実現できることが示され、同様に 10Gb/s 光信号の波長変換も実現している。最後に波長変換器としてのグラフェン/CNT 光デバイスの比較が述べられている。

第 6 章は総括であり、本研究の成果をまとめるとともに、今後の課題を展望している。

以上のように本論文は、CNT およびグラフェンの可飽和光吸収性および三次光非線形性を活用できる光ファイバ型デバイスを実現し、これらのデバイスの可飽和光吸収性を用いた散逸ソリトン光ファイバレーザなどの新規なモード同期光ファイバレーザ、および三次光非線形性を用いた FWM 波長変換器、を提案し実現したものであり、電子工学、特に光エレクトロニクスの発展に貢献するところ大である。

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。