

審査の結果の要旨

氏名 金 磊

本論文は、「Saturated Fiber Optical Parametric Amplification and Its Applications (光ファイバパラメトリック飽和増幅とその応用)」と題し6章よりなり、英文で執筆されている。光ファイバパラメトリック増幅(FOPA)は光ファイバ中の3次の非線形現象であるカー効果に基づく四光波混合(FWM)により起こる現象であり、1つもしくは2つの波長の励起光により新たな波長の信号光とアイドラ光を発生・増幅させる現象である。この現象はその超広帯域性、超高速応答、スペクトル反転などの特長を活かし、超広帯域光増幅、波長可変光増幅、位相感応型光増幅、波長変換、光位相共役、光スイッチング、光サンプリングおよび超広帯域増幅・波長可変増幅などに用いられている。本論文では特に FOPA の利得飽和特性に注目し、FOPA の飽和増幅による位相揺らぎのない光信号再生器、および FOPA を利得媒質として用いた光ファイバパラメトリック発振器(FOPO)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、光ファイバ増幅全般および FWM, FOPA についてのこれまでの研究とその応用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、まず FOPA の元となる FWM についての基礎方程式を提示している。励起光が縮退しており光ファイバの損失が無視できる場合には利得飽和領域を含む近似なしの厳密解が解析的に得られることが知られており、その結果を用いて励起光と信号光・アイドラ光との周期的なエネルギー交換により利得飽和状態と非飽和状態が伝搬距離に対して周期的に現れ、またその周期は入射信号光パワーにより決まることを明らかにした。さらにその厳密解は励起光が強い場合にはより簡単な近似解が存在することを示している。

第3章では、FOPA の利得飽和を利用した光信号再生器についての研究成果がまとめられている。これは利得飽和を利用して光信号の振幅雑音を低減するもので、同様の再生器はいくつか報告されているが、振幅雑音は低減できるものの位相雑音が大きくなってしまおうという問題があった。本研究では、第2章で展開した理論に基づき、これが FOPA の利得飽和領域での位相特性が平坦でないことにより起因するものであることを明らかにし、さらに励起光波長のデチューニングにより位相特性を平坦化できて位相雑音の増大を防ぐ方法を提案し、その4値位相変調(QPSK)信号に対する有効性を数値シミュレーションにより確認している。また、高次 FWM が存在する場合には提案手法が有効ではないことも示しており、高次 FWM を抑圧する方法についても議論されている。

第4章は FOPA を利得媒質として用いた FOPO の出力パワーの最適化についての研

究成果がまとめられている。第2章で議論されてように FOPA は他の利得媒質とは大きく異なる利得飽和特性をもつ。FOPO は発振時には利得飽和領域で動作するため、出力パワーの最適化にはその FOPA 独特の利得飽和特性を考慮する必要がある。通常のレーザでは最適出力結合は小さい (~数%) 値となることがよく知られているが、FOPO の場合について第2章での理論に基づいて検討した結果、利得飽和に周期性があるため最適出力結合は大きい (90%以上) 値となることが結論された。これを検証するため FOPO の実験系を構築し、この結論どおりの結果が得られ、最大でピーク出力 2.4W の高出力 FOPO を実現している。

第5章では、狭帯域波長可変 FOPO についての実験的な研究結果がまとめられている。第4章での結果を用いて最適出力結合をもつ高出力 FOPO を設計し、共振器内の光ファイバの波長分散により励起光波長のわずかな変化により発振波長が大きく変化することを理論的に示している。実験の結果、波長 1550nm 帯で 20nm の励起光波長変化に対して 1290-1490nm の 200nm の発振波長変化が可能な高出力かつ狭線幅なスイープ光源を実現している。

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、特に FOPA の利得飽和特性に注目してその理論的な検討を行い、その結果を元にして FOPA の飽和増幅による位相拡がりのない光信号再生器を提案してその有効性を確認し、さらに FOPA を利得媒質として用いた FOPO について最適出力結合を検討して高出力 FOPO および狭帯域波長可変 FOPO を実証したものであり、電子工学、特に光エレクトロニクスの発展への貢献が少なくない。

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。