

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 今宿 亙

本論文は“光ファイバを用いた位相感応縮退パラメトリック光増幅技術の研究”と題し、7章からなる。

位相感応縮退パラメトリック光増幅技術は、光位相に依存した光増幅動作を実現する技術であり、従来の光増幅技術には全く無い機能を提供できる。従来の線形光増幅器では不可能とされる標準量子限界（雑音指数 3 dB）以下の超低雑音光増幅、波形劣化した信号光パルスに対する波形整形機能がその例である。本論文は、このような位相感応縮退パラメトリック光増幅技術の優れた潜在能力に注目し、光伝送システムへの適用効果を把握するとともに、非線形ファイバサニャック干渉計とコヒーレント光検波技術を適用した高利得位相感応縮退パラメトリック光増幅器の実現、標準量子限界以下の超低雑音光増幅及び超高速波形整形動作の実証を報告している。

第1章は“序論”であり、まず光増幅技術がこれまで光ファイバ通信にはたした役割と次世代光増幅技術に課せられる要件について述べている。次に、これに応える新技術としての縮退パラメトリック光増幅技術の可能性について述べ、これを実現するための課題をまとめている。

第2章は“位相感応縮退パラメトリック光増幅器の動作原理と雑音特性”と題し、光位相感応光増幅の原理と実現手段をまとめた後、光位相感応光増幅器の量子雑音特性について論じている。

第3章は“位相感応光増幅多中継光伝送システムの最大再生中継間隔”と題し、位相感応縮退パラメトリック光増幅器を適用した強度変調直接検波 (AM-DD) 多中継光伝送システムの伝送制限について理論解析を行なっている。光伝送システムにおいては、伝送ファイバの分散と非線形屈折率の相互作用により信号光の搬送波成分と側波帯成分の自然放出光がパラメトリック相互作用を起こし、いわゆる変調不安定性が生ずる。位相感応縮退パラメトリック光増幅器はこれを抑圧する機能を有することを理論的に示している。さらに、AM-DD 多中継光伝送システムの信号光パルス伝送特性の数値解析により、位相感応縮退パラメトリック光増幅器は、信号光波形整形機能も有することを明らかにしている。

第4章は“位相感応縮退パラメトリック光増幅の低雑音光増幅条件”と題し、非線形マッシュェンダ干渉計構成の光ファイバを用いた位相感応縮退パラメトリック光増幅器が、標準量子限界以下の超低雑音光増幅動作を実現するのに必要とされる条件を明確にする。光信号の信号対雑音比は、光損失を受けるのに伴い劣化する。つまり、光損失を伴う光ファイバを光増幅媒質に用いることは、位相感応縮退パラメトリック光増幅器の雑音指数劣化を意味する。ところがこれまでの位相感応縮退パ

ラメトリック光増幅器に関する理論研究では、このような現実的な問題に関する検討が行われていない。本研究では、分布光損失のある光ファイバと過剰雑音を有する励起光源を用いた位相感応縮退パラメトリック光増幅器を量子論的にモデル化し、雑音特性を理論的に解析している。光損失を伴う光ファイバを用いても、標準量子限界を下回る低雑音光増幅が実現可能であることを理論的に明確化すると同時に、励起光の強度・位相雑音に対する要求条件も導出している。

第5章は“位相感応縮退パラメトリック光増幅器の製作”と題し、試作した増幅器の構成を詳述している。光ファイバを用いた位相感応縮退パラメトリック光増幅器を実現する上での課題は、主に二つある。第一の課題は、高利得動作を実現する光増幅回路の実現である。第二の課題は、位相感応縮退パラメトリック光増幅器で必須となる励起光と信号光の光位相同期の実現である。本研究では、長さ3 kmの光ファイバを用いた非線形サニャック干渉計と、90度ハイブリッド型光位相同期ループ(OPLL)を融合させ、高利得光位相依存光増幅の連続動作を実現している。さらに本研究では、入力信号光と励起光の光位相同期の安定性を向上させる手段として、光注入(OIL)-OPLL併用構成を提案している。これにより励起光と信号光の光位相同期がより安定化され、デジタル強度変調光信号入力に対してビット誤りの無い位相感応縮退パラメトリック光増幅器の実現に成功した。

第6章は“位相感応パラメトリック光増幅器の動作特性”と題し、試作した位相感応縮退パラメトリック光増幅器の動作特性を評価している。長さ3 km、光損失係数-0.7 dB/km、非線形係数15.8 /W/kmの光ファイバを有する非線形ファイバサニャック干渉計構成を用いて、26 dB (1 W励起光時)の高利得動作を実現した。次に、信号光パルスの超高速波形整形動作の実験的検証を行なうとともに、標準量子雑音限界以下の低雑音光増幅が実現可能であることを実証した。

第7章は“結論”であり、本研究の成果を要約している。

以上のように本研究では、非線形ファイバサニャック干渉計とコヒーレント光検波技術を用いた位相感応縮退パラメトリック光増幅器を設計・試作し、標準量子限界以下の低雑音光増幅と超高速波形整形機能を有する高利得光増幅を実現している。位相感応縮退パラメトリック光増幅器を用いた超高速光伝送システムの構築や、光のコヒーレンスを活用した新しい光信号処理機能の実現の可能性を示すものであり、電子工学への貢献が大きい。

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。