

創造フォトリクスラボ (Creative Photonics Lab.)

研究項目及び 研究期間

量子相関フォトリクスに関する研究 (平成11年～15年)

光周波数計測用デバイスの研究 (平成10年～14年)

はじめに

インターネットの発展に伴う通信需要の急増により、光通信ネットワークの大容量化・高速化に対する期待が高まっている。1本の光ファイバで多数のチャンネルを同時に伝送できる高密度光波長分割多重 (DWDM) 伝送方式の研究開発が世界的に進められ、まさに実用化を迎えようとしているが、本格的なマルチメディア社会の到来により、今後一層のトラフィック増加が予想されている。このような通信容量増大の要求に応えるためには、伝送容量・速度の向上と、スイッチングやルーティングなどの交換機能を光で処理できる技術の開発が必要である。また、インターネットの急速な普及とともに、パスワードや暗証番号を暗号化して送信することが必須となり、情報通信の秘匿性や安全性に対する重要度も増大している。現在使用されている暗号は、盗聴されても解読に時間を要することで安全性を確保しているが、急速な技術革新を考えればその根拠は必ずしも絶対的なものではなく、よりセキュリティの高い暗号技術が要求される。

創造フォトリクスラボは平成8年度のラボ制試行とともに発足し、光の量子状態制御、レーザー制御、および光応用計測に関する研究開発を進めてきた。この間に、雑音抑圧が世界最高の振幅スクイズド光の発生、高効率青色コヒーレント光の発生、周波数シフト帰還型半導体レーザーの開発と計測応用など、優れた成果を上げている。平成10年度以降は、上記の社会状況を鑑み、21世紀の情報通信技術に資することをめざして、将来の暗号通信の基盤となる量子干渉計測技術、およびDWDM光通信ネットワークに関わる計測技術の開発を行っている。このため、従来は波長800nm帯の研究を中心に進めてきたが、光増幅器、光変調器などのデバイスや、分散の制御された光ファイバが利用でき

る波長1500nm帯に特化した研究開発を進めている。以下にラボで取り上げている二つの研究課題を紹介する。

1. 量子相関フォトリクスに関する研究

情報通信・処理、光計測などの分野において、量子力学の原理を工学的に利用し、古典的光学だけでは実現できない高度な性能・機能を実現するための研究が活発化している。その中でも量子暗号通信は最も研究が進展している分野である。解読に要する時間でセキュリティを保証する現代暗号とは異なり、量子暗号の盗聴不可能性は量子力学の原理により保証されるため、絶対的なセキュリティが保証される。現在までに種々の通信プロトコルが提案され、ヨーロッパの大学などを中心として、原理確認実験が行われている。しかしながら、ほとんどの実験は光ファイバ通信で利用される1500nm帯とは異なる波長域で行われている。これは暗号伝送に用いる光源や光検出器が1500nm帯では未成熟であるためである。したがって、量子暗号通信が現状の基礎研究から産業応用に向けた段階に進展するためには、光子の高効率発生、高精度制御、高感度検出技術など基盤技術の開発が必要不可欠である。

本研究では、コヒーレント光では実現できない次世代の情報通信・処理、光計測の基礎を確立することを目的として、波長1500nm帯における量子相関光子対の高効率発生技術、高感度・低雑音単一光子検出技術、量子相関を利用した高精度光干渉計測技術の開発を行っている。

量子相関光子対の発生には、二オブ酸リチウムのような2次の非線形感受率を有する結晶によるパラメトリック自然放出過程が利用される。発生する相関光子対の性質は位相整合の方式により異なる。タイプ1位相整合ではエネルギーに、タイプ2位相整合ではエネ

ルギーと偏光のように複数の自由度に量子相関を持つ光子対を発生することが可能である。さらに、複数の結晶から発生した光子対を合成・制御することにより、量子相関の状態を操作することも可能である。一方、光子検出には光電子増倍管やアバランシェフォトダイオード (APD) が利用され、Si-APDを用いた単一光子検出器が製品化され、波長1000nm以下の領域で単一光子検出が可能になっている。しかしながら、光ファイバ通信の波長である1300-1500nmにおける光子検出技術が確立していないため、ほとんどの実験は波長1000nm以下の領域で行われている。したがって、光ファイバを利用して量子暗号通信を行うためには、波長1500nm帯における基盤技術の確立が必要不可欠である。

本研究は平成11年度から開始され、これまでにパラメトリック波長変換装置、および単一光子検出器の設計・試作を行った。Fig.1に示すように、光子対発生の高効率化を図るため、非線形光学定数の大きい有機結晶AANP(2-adamantylamino-5-nitropyridine)を採用し、タイプ2位相整合のパラメトリック波長変換装置を開発した。励起光源に波長775nmの外部共振器型半導体レーザーを用いることにより、装置の小型化が可能になった。一方、検出器の高感度化と低雑音化を図るため、室温付近で動作可能なInGaAs系APDを用いてゲート動作の単一光子検出器を試作した。今後は単一光子検出器の特性評価、量子相関光子対の発生頻度評価を行った後、干渉計を構成して量子干渉実験を行う予定である。さらに、これらの技術を用いた光デバイス評価や量子暗号通信の基本原理の確認を行う予定である。

II. 光周波数計測用デバイスの研究

高密度光波長分割多重 (DWDM) 伝送方式はまさに実用化を迎えようとしており、実験室レベルではあるが20Gbit/s、160波長多重、1500km伝送が報告されている。国連の専門機関の一つで、電気通信および放送分野における国際的な標準化機関であるITU-T (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union)では、波長1500nm帯において、周波数193.1THzをアンカーチャンネルとし、50GHzを最小間隔とする光周波数グリッドを用いるWDM伝送方式を勧告している。このような高密度に多重化されたネットワークを適切に運用・保守するためには、各チャンネルの光周波数を精密に計測できる技術の開発が急務となっている。

光周波数計測の研究は、レーザー周波数安定化の研究とともに、1960年代から開始されている。代表的な手法はビートダウン法で、周波数が既知の光と被測定光を混合して、その差周波数(ビート)から光周波数を計測する方法である。しかしながら、測定できるビート周波数の範囲は、光検出器や電子回路の帯域幅により制限され、現状では60GHz程度が限界である。このような限界を克服するために提案された手法が光周波数コム発生で、周波数軸上で等間隔に配置された櫛状の線スペクトルを広帯域に渡り発生し、ビート周波数が測定できる周波数範囲を著しく拡大するものである。すなわち、光周波数コムは周波数軸上でのグリッドとして機能する。

光周波数コムの発生法として、モード同期レーザー

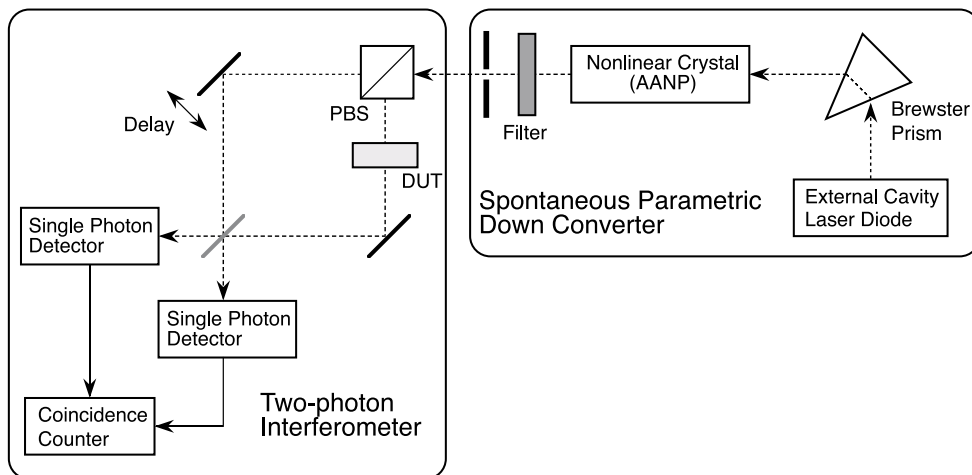


Fig.1 Schematic diagram of a two-photon interferometer.

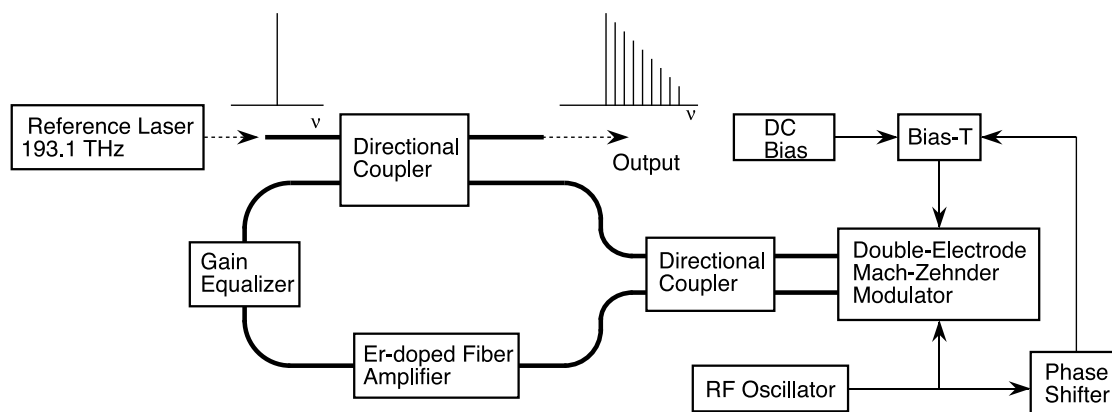


Fig.2 Schematic diagram of an optical frequency comb generator employing single-sideband a suppressed-carrier modulator.

の縦モードを利用する方式や、ファブリペロー共振器中に配置された電気光学変調器を利用する方式が提案されている。これらの手法は主として、レーザー光の絶対周波数をCs原子時計を基準として精密測定するために採用されている。本研究では、光ファイバ通信への応用に特化して、光ファイバループ中に光変調器と光増幅器を配置して、キャリアの片側にのみコムを発生する単一サイドバンド光周波数コム発生の研究を行っている。従来方式と比較すると、単一サイドバンドであるため高効率、分散の影響を受けないなどの特徴を有している。

光周波数コム発生装置の構成をFig.2に示す。基準光源はアセチレンの吸収線(193.1THz)に安定化されたレーザーである。光ファイバループ内に導波路型光変調器、光ファイバ増幅器、利得等化器を配置し、基準光源から入射した光がループを周回しながら高周波側、または低周波側にのみ光周波数コムを形成する。2電極型変調器により単一サイドバンド変調を与え、さらにキャリアを抑圧するため変調器は方向性結合器を介してループに接続する。キャリア抑圧により、光変調器は周波数シフタとして動作し、干渉による動作不安定を除くことができる。

現在までに光周波数コム発生理論解析と装置の設計を行い、基本的な動作確認を行った。Fig.3は典型的な実験結果で、キャリアの抑圧と光増幅器利得の等化は行わず、干渉効果を抑えるためにスペクトル線幅が50MHzの入射光を用いた。この図からわかるように、コムは入射光の低周波(長波長)側にのみ現れてお

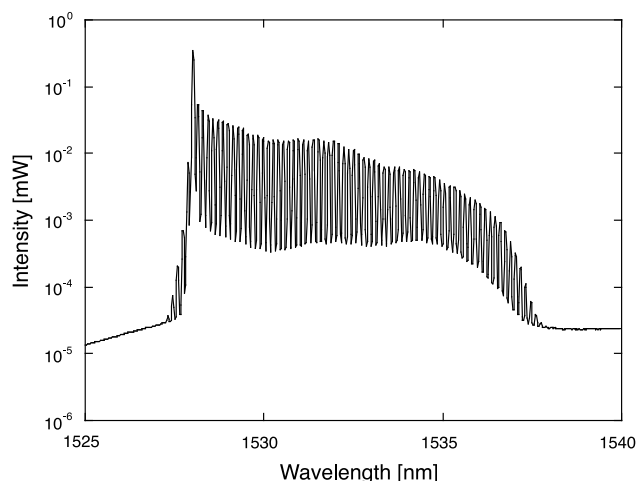


Fig.3 Spectrum of an optical frequency comb.

り、片側のみのコム発生が確認できた。変調周波数18GHzに対して68本のコムが観測され、帯域幅は1.2THzである。今後は変調におけるキャリアの抑圧、光増幅器利得の平坦化により、帯域幅の拡大と動作の安定化を図り、さらに光周波数計測への応用へと展開する予定である。

当該研究担当者等

ラボ構成員(総数3名)

職員(3名) 土田英実*、遠藤道幸、吉澤明男(光技術部)

*ラボリーダ