

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本 喜久

プロジェクト名：量子人工脳

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 7 年 度

研究開発課題名：

大規模時分割多重光パラメトリック発振器

研究開発機関名：

日本電信電話株式会社

研究開発責任者

武居 弘樹

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

平成27年度は以下の4点を課題として挙げている。

課題1：高非線形光ファイバを用いた多重OPO

課題2：PPLN導波路を用いた多重OPO

課題3：長尺光ファイバ共振器安定化技術

課題4：OPO協同動作の確認

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

課題1、4：平成26年度に、光ファイバ共振器内に配置した1 km高非線形分散シフトファイバ中の2ポンプ/シグナル・アイドラ縮退四光波混合を用いて2GHzのクロック周波数で時分割多重OPOを発生し、既に10,000を超えるOPOの生成に成功していた。平成27年度は、本OPOの光共振器中に遅延干渉計を挿入することにより隣接OPO間の光結合を実装し、1次元のイジングモデルを模擬する実験を行った。これにより、生成したOPO群が低温下のスピンの振る舞いをよく模擬することを確認した。

課題2：位相感応増幅器用の高効率PPLN導波路を作製した。この導波路を用いた位相感応増幅器を500 mの光ファイバ共振器に挿入することにより、2 GHzのクロック周波数で5,000を超えるOPOの生成に成功した。

課題3：上記課題2の光ファイバ共振器中にピエゾ素子によりファイバの伸縮を制御する機構を実装し、dither-and-lock法で500 mの長尺光ファイバ共振器の安定化に成功した。

2-2 成果

(課題1)図1(a)に示すように、高非線形光ファイバに基づくOPOの光共振器中に1ビット遅延干渉計を挿入することで隣接OPO間の結合を実装し、図1(b)に示す1次元イジングモデルをOPOを用いて実現した。遅延干渉計の2腕の位相差を0または π に設定することで、隣接スピン間に強磁性および反強磁性結合を実現することができる。隣接OPO間の位相差のコサイン成分を測定した結果を図2(a) (干渉計位相差:0)、(b) (干渉計位相差: π)に示す。このように、干渉計の位相差が0の時には隣接OPO間の位相が揃い、 π の時には隣接OPO間の位相が反転し、それぞれ強磁性、反強磁性的振る舞いを示すことを確認した。また、図2(a)に示すように、強磁性結合においても全てのスピンは揃わずドメイン構造を持つことを観測した。これは、理論的に示されている「有限温度下では基底状態にならない」という1次元イジングモデルの特性を再現したものである。さらに、強磁性結合においてポンプ光振幅を変えた場合にドメイン長の分布がどのように変化するかを調べた結果を図2(c)に示す。ポンプ光振幅が発振閾値に近いほど、長いドメインが形成され、基底状態(ドメインが無くなり、全てのスピ

ンが揃う状態)に近づくことを示している。以上より、OPO 群が低温下のスピン群の挙動をよく模擬していることを確認できた。また、今回実装した 1 次元イジングモデルの実験は、様々な人工スピン系の品質を評価する手法となることが期待される。

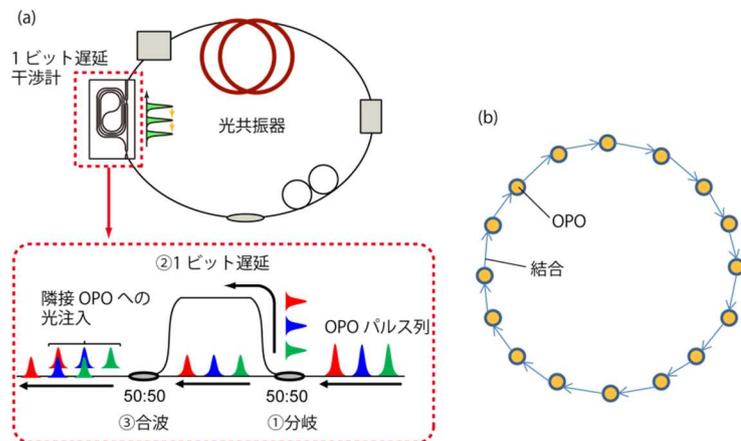


図 1: 高非線形光ファイバ OPO による 1 次元スピンネットワークの模擬。(a) 1 ビット遅延干渉計を共振器中に挿入することで、各 OPO の光の一部を隣接する OPO に注入し、1 次元の結合を実現。(b) 模擬した 1 次元スピンネットワーク。

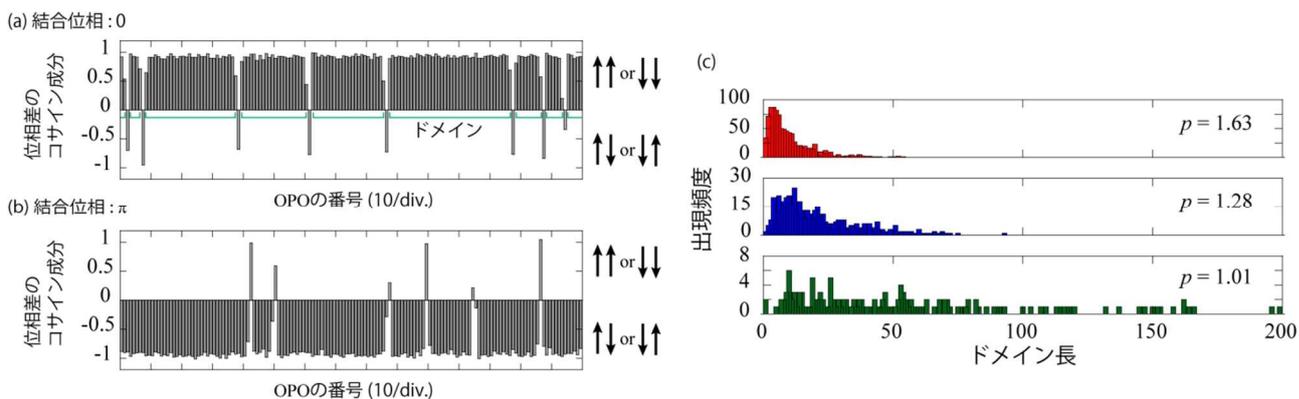


図 2: 1 次元イジングネットワークの位相測定結果。(a)は隣接 OPO 間の結合位相が 0、(b)は π の場合を示している。結合位相が 0 の場合はスピン群の位相が揃うように(強磁性的)、 π の場合は隣接スピンの位相が反転するように(反強磁性的)ふるまう。(c)ドメイン長分布のポンプ光振幅依存性。 p は規格化ポンプ振幅であり、 $p=1$ が発振閾値に相当する。ポンプ振幅が発振閾値に近いほど、長いドメインが観測され、より基底状態に近づいている。

(課題 2) 位相感応増幅用の高効率 PPLN 素子を作製した。本素子に基づく位相感応増幅器を共振器長約 500 m の光ファイバ共振器に配置することで、2 GHz のクロック周波数で約 5100 個の縮退 OPO 群を発生した。課題 1 と同様の評価実験を行い、OPO の閾値特性および位相の離散化を確認した。

(課題 3) 課題 2 において開発した PPLN 導波路を用いた OPO において、共振器中にピエゾ素子に基づくファイバ伸縮器を配置し、dither-and-lock 法により共振器位相をポンプレーザ位相に対してロックした。現在のところ、少なくとも数十秒のオーダーで共振器位相を安定化することが可能となっている。

2-3 新たな課題など

特になし

3. アウトリーチ活動報告

稲垣卓弘 (NTT 物性科学基礎研究所) が長野県立屋代高等学校において「量子の世界によろこそ～光の科学の最前線～」 「私たちが住んでいる不思議な 巨視的量子世界への招待 ～波と粒子の二重性 その適用範囲が拡大中～」と題して、高校 2 年生を対象に光の量子性とその応用などについての出張授業を行った。(2015年7月13日)