

竹内繁樹

京都大学 大学院工学研究科
教授

モノサイクル量子もつれ光の実現と量子非線形光学の創成

§1. 研究実施体制

(1)「竹内」グループ

①研究分担グループ長:竹内繁樹 (北海道大学 電子科学研究所、客員教授)(研究代表者)

②研究項目

1. モノサイクルもつれ光源の開発
2. 量子非線形光学の研究
3. 量子メトロロジーの研究

(2)「栗村」グループ

①研究分担グループ長:栗村直 (独立行政法人 物質・材料研究機構 環境エネルギー材料部門 光・電子材料ユニット 光学単結晶グループ主幹研究員)(主たる共同研究者)

②研究項目

1. モノサイクルもつれ光源の開発
(QPM デバイス設計試作)

(3)「ホフマン」グループ

①研究分担グループ長:Holger F. Hofmann (広島大学 大学院先端物質科学研究科、准教授)(主たる共同研究者)

②研究項目

1. モノサイクルもつれ光源の開発
2. 量子非線形光学の研究
3. 量子メトロロジーの研究

§2. 研究実施の概要

本研究プロジェクトは、最終目標であるモノサイクルもつれ光の実現とその非線形量子光学への展開に向け、(1)モノサイクルもつれ光源の開発、(2)モノサイクル量子もつれ光を用いた非線形光学、(3)モノサイクル量子もつれ光を用いた量子メトロロジーの3つのテーマについて研究を進める。なお、研究統括・アドバイザーの先生方のアドバイスにより、この数サイクルもつれ光子源の実現に関しては、当初計画していた(1-A)ナノ加工電極による擬似位相整合(QPM)デバイスの開発に加えて、従来技術の延長である(1-B)変調光リソグラフィーを用いた QPM デバイスの開発、さらに(1-C)バルク非線形光学結晶を利用した発生方法の3通りについて、並列的に研究を進めている。以下、平成 24 年度の研究経過について各グループごとに説明する。

竹内グループは、項目(1)のモノサイクルもつれ光源の開発に関し、平成 24 年度の報告を大幅に上回る、超広帯域(795nm~1360nm、と 874nm~1610nm、周波数帯域 156THz)の周波数相関測定に成功、さらに、各周波数間の量子干渉(量子ビート)の観測に成功した。これにより、周波数相関測定だけでは分からなかった、各周波数間での量子もつれの存在を実証することができた。このような超広帯域な光源に対する量子干渉測定の実現は世界初の成果である。また、項目(2)のモノサイクル量子もつれ光を用いた非線形光学に関しては、もつれ光子対間の和周波光子発生の観測に成功した。発生する蛍光光子対の量を変化させた場合、光子対数(パワー)と和周波光子の発生レートが比例するという、量子もつれ光子対に特徴的な振る舞いの確認に成功した。項目(3)のモノサイクル量子もつれ光を用いた量子メトロロジーに関しては、平成 25 年度は栗村グループの作成したナノ微細加工による擬似位相整合素子(後述)により光源の広帯域化に成功した。また、今年度から、追加計画である、スラブ導波路 QPM デバイスについて研究を開始した。

栗村グループは、平成 25 年度は、前述した広帯域光源用に、周期 3.1 μm (1 次)の擬似位相整合素子を試作した。分極反転条件の最適化により、周期に 6.7%のチャープをもち、かつ均一な分極反転比を有する光子対発生デバイスを実現した。また、さらなる広帯域化を視野に、ナノ微細電極による電極分割技術を用い、周期 3 μm と周期 7 μm の混載に向けた基礎検討を行った。また、追加計画のスラブ導波路による高効率デバイスに関しては、Mg:SLT の研磨・接着プロセスを調査、絶縁破壊の問題を解決、これと平行して、Mg:LN でスラブ導波路を形成し分極反転条件を探索、その結果周期 720nm にて分極反転を行い超微細反転構造を得ることができた。

ホフマングループは、平成 25 年度は、平成 25 年度は、モノサイクルもつれ光から生成可能である、「単一光子周波数コム状態」について研究を進めた。その結果、これらの単一光子周波数コム状態を使うことで、極めて狭い2光子量子干渉信号を、時間遅延と周波数変調の双方に対して得られることが明らかとなるなどの成果を得た。

このほか、チーム全体の活動として平成 25 年 7 月 8 日、9 日に、阪大産研において、国際ワークショップを開催した。基調講演を行った Teich 教授をはじめとする世界をリードする研究を進めている研究者からの 15 件の講演、28 件のポスター発表、世界9ヶ国から 60 人の参加者により、本 CREST プロジェクトで得られた成果をアピールするだけでなく、本分野の国内外の若手研究者の育成・交流、今後の研究の将来を深く議論する場となった。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

■論文詳細情報(国際)

【竹内グループ】

1. T. Ono, R. Okamoto and S. Takeuchi, “An Entanglement-Enhanced Microscope”, Nature Communications, 3426, 2013 (DOI: 10.1038 /ncomms3426)

2. S. Subashchandran, R. Okamoto, L. Zhang, A. Tanaka, M. Okano, L. Kang, J. Chen, P. Wu and S. Takeuchi, “Investigation of the Performance of an Ultralow-Dark-Count Superconducting Nanowire Single-Photon Detector”, Jpn. J. Appl. Phys., vol.52, No.10, 102801, 2013 (DOI:10.7567/JJAP.52.102801)

3. M. Okano, R. Okamoto, A. Tanaka, S. Ishida, N. Nishizawa and S. Takeuchi, “Dispersion cancellation in high-resolution two-photon interference”, Phys. Rev. A, vol.88, 43845, 2013 (DOI:10.1103/PhysRevA.88.043845)

4. H.Q. Zhao, M. Fujiwara, M. Okano and S. Takeuchi, “Observation of 1.2-GHz linewidth of zero-photon-line in photoluminescence spectra of nitrogen vacancy centers in nanodiamonds using a Fabry-Perot interferometer”, Opt. Exp., vol.21, No.24, pp.29679-29686, 2013 (DOI:10.1364/OE.21.029679)

5. S. Hara, T. Ono, R. Okamoto, T. Washio and S. Takeuchi, “Anomaly detection in reconstructed quantum states using a machine-learning technique”, Phys. Rev. A, vol.89, No.2, 022104/1-5, 2014 (DOI:10.1103/PhysRevA.89.022104)

6. S. Takeuchi, “Recent progress in single-photon and entangled-photon generation and applications”, Japanese Journal of Applied Physics, vol.53, 30101/1-11, 2014 (DOI:10.7567/JJAP.53.030101)

7. S. Takeuchi, “Quantum Information Science Using Photons”, AAPPS Bulletin, vol.24, No.1, pp.19-25, 2014

【栗村グループ】

8. Hwan Hong Lim, Sunao Kurimura, Toshio Katagai and Ichiro Shoji, “Temperature-Dependent Sellmeier Equation for Refractive Index of 1.0 mol% Mg-Doped Stoichiometric Lithium Tantalate”, Japanese Journal of Applied Physics , vol. 52, pp.32601-32604, 2013. (DOI: 10.7567/JJAP.52.032601)

9. Ken Tanizawa, Kiyofumi Kikuchi, Kaori Sugiura, Sunao Kurimura, Haruhiko Kuwatsuka, Hirochika Nakajima and Junichiro Ichikawa, “Parametric Tunable Dispersion Compensation With Spectrally Noninverting Wavelength Conversion Using Quasi-Phase-Matched Adhered Ridge Waveguide”, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol.18, No.2, pp.593-599, 2013. (DOI: 10.1109/JSTQE.2011.2112755)

10. Hwan Hong Lim, Sunao Kurimura and Nan Ei Yu, “Parasitic-light-suppressed quasi-phase-matched optical parametric oscillation device”, OPTICS EXPRESS, vol.22, No. 5, pp.369-375, 2014. (DOI: 10.1364/OE.22.005209)

【ホフマングループ】

11. M .Hiroishi and H.F. Hofmann, “An investigation of the transfer dynamics of quantum teleportation by weak measurement statistics”, J. Phys. A: Math. Theor., vol. 46, Art. No. 245302, 2013 (DOI: 10.1088/1751-8113/46/24/245302)

12. H.F. Hofmann and C. Ren, “Direct observation of temporal coherence by weak projective measurements of photon arrival time”, Phys. Rev. A, vol. 87, Art. No. 062109, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevA.87.062109)

13. A. Yamaguchi and H.F. Hofmann, “Quantum effects in the interaction of off-resonant coherent light with a single atom”, Phys. Rev. A, vol. 88, Art. No. 013809, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevA.88.013809)

14. G. Y. Xiang, H. F. Hofmann, and G. J. Pryde, “Optimal multi-photon phase sensing with a single interference fringe”, Scientific Reports, vol. 3, Art. No. 2684, 2013 (DOI: 10.1038/srep02684)

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 2 件)