

ダイヤモンド量子と通信帯光子をつなぐ 周波数安定化レーザーによる量子波長変換

Quantum wavelength conversion by a frequency stabilized laser for connecting a quantum in diamond and a telecom photon

1264014

池田幸平
Kohei Ikeda

小坂・堀切研究室

Nitrogen-Vacancy (NV) centers in diamond is one of the candidates for a quantum communication. We demonstrate a frequency up-conversion from the telecommunication band at 1588 nm to photons at 637 nm. A conversion efficiency is about 30 % at the maximum which is achieved by a pump power of 300 mW. A frequency of the pump laser is stabilized within 10^5 Hz which enables a wavelength converted photon at 637 nm to be absorbed efficiently in NV. This result shows a possibility to realize a long-distance transmission of photon emitted from NV.

1. はじめに

我々はダイヤモンド窒素-空孔 (NV) 中心を量子メモリーに用いる長距離量子通信 (図 1) の実現に向けて研究を行っている。NV の吸収発光波長 (637 nm) は通信に適していないため、NV 間での光ファイバー伝送中に光損失が起きてしまう。そこでファイバー中での損失が少ない通信波長帯 ($\sim 1.5 \mu\text{m}$) への波長変換[1]が必要になる。また、伝送された光を NV へ吸収させるには線幅及び周波数ドリフトを数十 MHz 以内 (相対周波数変動 $< 1 \times 10^{-7}$ Hz) に抑える必要がある。そこで、通信波長帯から 637 nm 光への波長変換と波長変換に用いる励起レーザーの周波数安定化を行った。



図 1. 長距離量子通信の概略図

2. 実験

2-1 波長変換

通信波長帯レーザー (波長 1588 nm) を励起レーザー (波長 1064 nm) とともに導波路型非線形光学結晶 (PPLN) に入射させることで、2次の非線形光学効果により和周波である 637 nm 光を発生させた。PPLN の出射光からフィルターで 637 nm 光のみを取り出し、出力パワーを測定した。その後、通信波長帯レーザーパワーを 1 nW まで下げ、得られた 637 nm 光を分光器に入射し、ピーク波長の出射光を単一光子検出器に入れて、S/N 比を見積もった。分光器出口スリット幅は ~ 1 mm、バンド幅は ~ 100 GHz である。

2-2 周波数安定化

励起レーザーを非線形光学結晶に入射させ、2次高調波である 532 nm 光を発生させた後、ヨウ素セルに入射させ (ポンプ光)、その先のミラーで反射してくる光 (プローブ光) と光路を重ね、プローブ光を検出することで、飽和吸収分光により、1つの吸収線に内在する 15本の超微細構造[2]を観測した。励起レーザーの周波数をそのうちのひとつにロックするため、サーボ回路で制御を行った。

3. 結果および考察

3-1 量子変換効率

量子変換効率とは、入出光子間のエネルギー差を考慮した変換効率である。図 1 は励起レーザーのパワーを変えたときの量子変換効率の推移である。現在のところ、約 30 % を達成している。通信波長帯レーザーをきり、励起レーザーのみのときのカウントレートをノイズとすると S/N は、 $\sim 10^3$ である。

3-2 周波数安定度の評価

周波数ロックの安定度を評価するため、励起レーザーと基準となる光周波数コム成分とのビートを取り、ビート周波数をカウンターで長時間測定した。図 2 はそれを基に算出したアラン分散であり、周波数変動が $< 1 \times 10^{-10}$ であることを表している。実用面を考えると十分な結果だと言える。

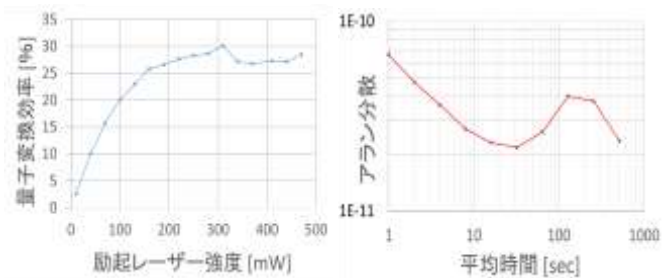


図 2. 量子変換効率

図 3. アラン分散

4. 結論

周波数安定化については十分な結果を得ることができた。波長変換については量子変換効率の向上とノイズ源の特定と低減が必要である。そうすることで、実際に NV からの発光を光ファイバーで長距離伝送できる可能性が見えてくる。

参考文献

- [1] Rikizo Ikuta *et al.*, Opt. Express **22**, 11205 (2014).
- [2] Feng-Lei Hong *et al.*, Opt. Communications **183** 101-108 (2000)