

励起子分子から生成した量子もつれ光子対に対する 偏光 biphoton 干渉

Polarization biphoton interference of entangled photon pairs generated from biexciton

阪府大院理¹, JST さきがけ² 山口 佳紀¹, 大島 悟郎^{1,2}, 溝口 幸司¹

Osaka Pref. Univ.¹, PRESTO/JST², Yoshiki Yamaguchi¹, Goro Oohata^{1,2}, and Kohji Mizoguchi¹

E-mail: s_y.yamaguchi@p.s.osakafu-u.ac.jp

量子もつれ光子を用いた量子干渉現象は、量子情報だけでなく量子計測に関する基礎技術としても重要であり、盛んに研究されている[1]。これらの量子もつれ光の生成手法として代表的に用いられる自発的パメトリック下方変換 (SPDC) では、励起光に対して長波長 (励起光の約倍の波長) の光子対を生成するため、SPDC による 2 光子干渉で得られる結果は励起光の波長と同等程度となる。このため、SPDC による量子もつれ光子対を量子計測技術へ応用する利点は限定的であると考えられる。これまで我々は、半導体を用いて量子もつれ光子対を効率よく生成する方法である励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱 (RHPS) [2] に注目してきた。RHPS は 3 次の非線形光学現象を利用するため、励起光の波長に対してほぼ同じ波長を有する光子対を得ることが大きな利点である。また近年、非同軸二色励起法[3]によって同軸状ビームでかつ自然に偏光相関を有する光子対を生成することに成功している。そこで本研究では、RHPS により生成した光子対に対して同軸上で偏光モードに対して位相差をつけることで、より簡便な干渉系を用いた偏光自由度の 2 光子干渉の実証実験を行った。

本研究では測定試料として、気相成長法にて作製した CuCl 単結晶 (サイズが約 $3 \times 3 \times 0.1$ mm³ の透明板状結晶) を用いた。励起光源はモード同期チタンサファイアレーザー (繰り返し周波数: 80 MHz、パルス時間幅: 100 fs) の第二高調波を用いた。これを 2 本の経路に分割した後、回折格子とスリットを用いた 4F 分光光学系を用いてそれぞれ波長選択し 2 色の非同軸励起パルスとし、それぞれを角度約 30° で試料に入射するよう調整した。

Fig.1 に RHPS により光子対を生成した後の干渉光学系を示す。ここで生成された光子対は、偏光において光子数状態で書き表すと $|2\rangle_H|0\rangle_V + |0\rangle_H|2\rangle_V$ と表され、水平偏光の光子が 2 つと垂直偏光の光子が 2 つの重ね合わせ状態で表される。これは、偏光自由度に関して biphoton 状態となっていることを示している。本実験では、液晶リターダを用いることで水平偏光と垂直偏光の位相差を印加電圧で連続的に変化させることで、干渉測定を行った。

Fig.2 に実験結果を示す。RHPS における励起波長に対応する古典光を用いた場合、周期が $\lambda = 389$ nm の通常の干渉が見られる (Fig.2(a))。一方で、Fig.2(b) で示すように 2 光子検出では、周期が約 $\lambda = 195$ nm の干渉、すなわち biphoton 干渉を実験的に確認できた。この結果は、3 次の非線形光学現象である RHPS によって生じる光子対は、励起光とほぼ同じ波長で生成されるが、biphoton 干渉により 200 nm 以下の真空紫外領域に対応する光と同等の干渉を得ることに成功したことを示している。また、今回我々が用いた手法は空間的な位相差制御が必要でなく、液晶リターダを用いて同軸上で位相差をつけられる点で非常に簡便かつ安定的であり、量子もつれ光を用いた干渉やその応用に有用であると考えられる。

[1] T. Nagata, *et al.*, *Science* **316**, 726 (2007).

[2] G. Oohata, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 140503 (2007).

[3] H. Shimizu, *et al.*, *Phys. Stat. Soli.* **13**, 117 (2016).

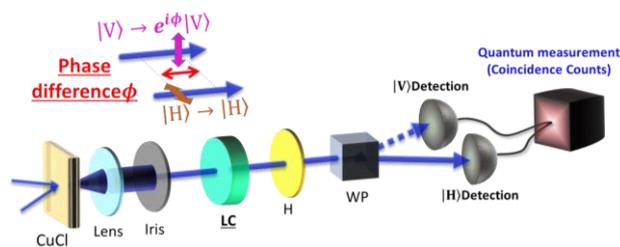


Fig.1 Experimental setup of biphoton interference measurement with polarization degrees of freedom. LC: liquid crystal retarder, H: half wave plate, WP: Wollaston prism.

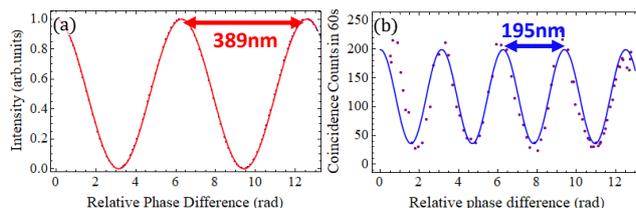


Fig.2 : Experimental results for classical light (a) and biphoton (b) interference.