

## 量子ドット起源の 2 光子状態評価と Werner 状態生成

## Evaluation of biphoton state from a quantum dot and Werner state generation

北大電子研<sup>1</sup>, 物材機構<sup>2</sup> ○熊野英和<sup>1</sup>, 中島秀朗<sup>1</sup>, 黒田隆<sup>2</sup>, 劉祥明<sup>2</sup>, 間野高明<sup>2</sup>, 迫田和彰<sup>2</sup>,  
末宗幾夫<sup>1</sup>RIES, Hokkaido Univ.<sup>1</sup>, NIMS<sup>2</sup>, ○H. Kumano<sup>1</sup>, H. Nakajima<sup>1</sup>, T. Kuroda, X. Liu, T. Mano,  
K. Sakoda, and I. Suemune<sup>1</sup>

E-mail: kumano@es.hokudai.ac.jp

【背景】完全もつれ状態と完全混合状態の凸結合で書かれる Werner 状態[1]は、特に混合状態における量子的“相関”に関する議論の礎となる理論上重要な状態である。更に、Werner 状態は 2 光子混合状態での最大もつれ状態であり、ユニタリ操作によってはもつれ度の向上ができない状態に対応することから、応用の観点からも有用性が高い。Werner 状態の生成に関して、非線形光学過程による 2 光子についてはこれまで多くの報告があるが、確定的な 2 光子発生が期待される量子ドット光子対源の場合には、そもそも 2 経路の情報消去が自明ではなく量子的な相関を持つ光子対の生成が困難であったことから、これまで Werner 状態との関連に関する知見は得られていない。我々は、経路情報をもたらすドットの形状異方性を排除するため、GaAs (111)A 基板に無歪の GaAs 量子ドットを形成した[2]。結果、経路情報のない対称性の高いドットの形成に成功し、偏光もつれ光子対発生およびベル不等式の破れを実証した[3]。今回、この高対称量子ドットを用いた生成光子対の 2 光子状態評価を行い、Werner 状態の生成を観測したので報告する。

【実験】AlGaAs/GaAs(111)A 上に液滴エピタキシー法により等方性の高い GaAs 量子ドットを形成した。パルス駆動半導体レーザーにより 9K にて単一の量子ドットを励起した結果、中性励起子分子(XX)・励起子(X)、荷電励起子発光が確認された。2 光子状態を構成する XX, X 発光について光子相関測定を 36 通りの偏光配置で行い、得られた同時計数ピークに対して時間ゲート [ $t_g, t_g + \Delta w$ ] をかけて計数処理した。量子トモグラフィおよび最尤推定により生成 2 光子の密度行列を構築し、線形エントロピー( $S_L$ )およびタングル(T)を用いて状態評価を行った。使用した時間ゲート条件は、 $t_g=0, 384, 768, 1152, 1536, 1920$  ps、幅 $\Delta w=384$  ps (固定)である。

【結果と考察】 図 1 に量子ドット由来の 2 光子状態の時間ゲート  $t_g$  依存性を  $S_L$ -T 面上に示す(青丸)。いずれの場合も Werner 状態を示す黒実線上に位置することが確認され、また時間と共に混合度が増大する結果となった。量子ドットの XX, X 発光による 2 光子状態は、第一 XX 発光の後に中間状態 X に寿命(560 ps)時間程度留まり、その後第二の X 発光により光子対が発生することで得られる。時間ゲート位置の選択は、XX 発光後の X 状態での滞在時間の選択に対応するため、この観測結果は量子ドットにより生成された 2 光子状態が、X 滞在中に緩和を受けながら Werner 状態として時間発展することを明瞭に示すものである。尚、 $T > 0$  の点は偏光もつれ光子対発生に対応し、更に初期の  $S_L < 1/2$  を満たす 2 点は、ベル不等式を破る非局所相関光子対が発生していることに対応する。当日は、ドット生成 2 光子状態に対する解析的な密度行列モデルを用いたより詳細な議論も含めて報告する。

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 24310084、および村田学術振興財団の助成を受けて遂行された。

References: [1] R. F. Werner, PRA **40**, 4277 (1989). [2] T. Mano et al., APEX **3** 065203 (2010). [3] T. Kuroda et al., PRB **88**, 041306 (2013).

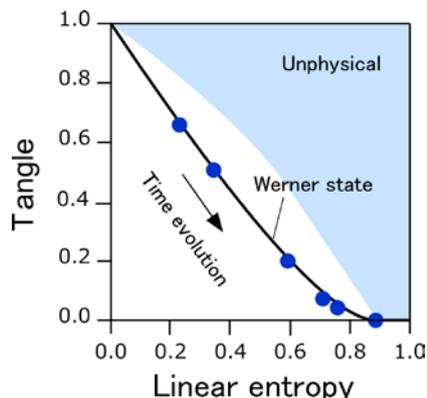


Fig. 1 Time evolution of biphoton state generated from a GaAs QD (blue circles) and the Werner state (solid line).