

ダイヤモンド NV 中心におけるマイクロ波偏光を用いた幾何学的量子もつれ操作

Geometric quantum entanglement manipulation with a polarized microwave in an NV center in diamond

1364169

長田 昂大
Kodai Nagata

小坂・堀切研究室

Quantum entanglement swapping with spin memories is a key ingredient for building a quantum repeater. Toward this realization, it is required to arbitrarily manipulate and measure the spin quantum states. We verified this by using a polarized microwave and a radiowave with two crossed wires. We generated and measured quantum entangled states between an electron and a nuclear spin, and geometrically manipulated them with a polarized microwave.

1. はじめに

情報通信に対する安全性への需要の高まりから、量子暗号通信技術が研究され、すでに数百 km の試験運用がされている。しかし、伝送光子の損失によって距離が制限され、長距離の量子暗号通信を実現するためには量子中継器が不可欠である。その実現に向け我々はダイヤモンド中の単一窒素空孔 (NV) 中心による光子の偏光状態の窒素核スピンへの量子テレポーテーション転写[1]や、マイクロ波を用いた幾何学的操作による縮退スピンエコーを実証してきた[2]。次の課題である完全ベル測定では、量子状態の任意操作が不可欠であり、先行研究において直交ワイヤーを用いたマイクロ波・ラジオ波の偏光 (図 1) による電子スピン・核スピン任意操作の可能性を示した[3,4]。

本研究では量子状態の任意操作によって、電子・核子間の任意量子もつれの生成とトモグラフィー測定、そしてマイクロ波偏光を用いた幾何学的量子もつれ操作を目指した。

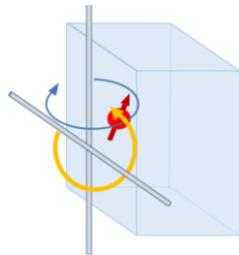


図1: NV中心への直交ワイヤーによる偏光の印加

2. 実験

NV 中心における電子スピンおよび核スピンの量子化軸とマイクロ波およびラジオ波の偏光方向の空間関係の解析によって、偏光の調整方法を改善した。それによって得られた偏光により、マイクロ波およびラジオ波による電子スピンと核スピン状態を状態トモグラフィーによって評価した。また、マイクロ波偏光による電子スピンの X, Y, Z 軸幾何回転操作をプロセストモグラフィーで評価した。これらの結果から、任意量子もつれの生成とトモグラフィー測定、および量子もつれのマイクロ波による幾何回転操作を行った。

3. 結果および考察

状態トモグラフィーによる電子スピンと窒素核スピン状態の忠実度はそれぞれ 86%, 93%であった。核スピンと比較して電子スピンの忠実度が低い理由として、超微細相互作用による影響と、測定軸の精度が悪いことが挙げられる。また、プロセストモグラフィーによる X, Y, Z 軸幾何回転操作の忠実度はそれぞれが 81%, 88%, 83%であった。この忠実度には上述の状態トモグラフィーの忠実度も含まれることから、幾何

回転操作自体の忠実度は比較的に高いことが分かる。さらに、上記の組み合わせによって生成した電子と窒素核子の量子もつれ状態の密度行列を図 2 に、マイクロ波 X 軸幾何回転操作による基底変換後の密度行列を図 3 に示す。基底変換によりベル状態の $|\Phi^+\rangle$ から $|\Psi^+\rangle$ へと遷移し、それぞれの忠実度は 72%と 95%となった。忠実度低下の理由として、量子もつれ生成および測定時の操作誤差や環境核スピンによる位相緩和が考えられる。

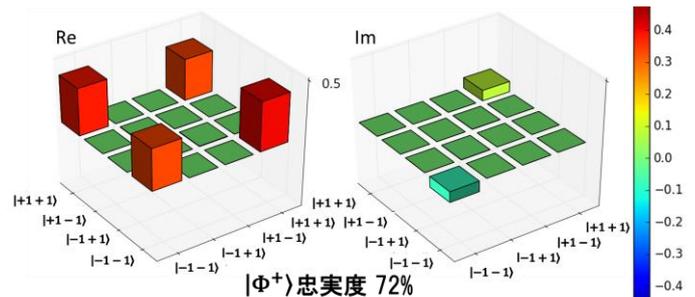


図2: $|\Phi^+\rangle$ の量子もつれ測定

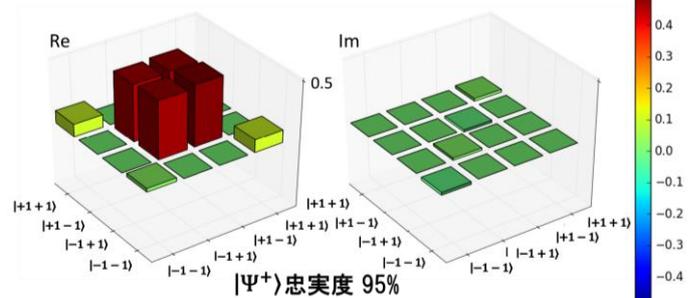


図3: $|\Phi^+\rangle$ のX軸回転後のもつれ測定

4. まとめ

室温下でマイクロ波偏光による量子もつれ状態の生成、基底変換、密度行列測定を実証した。今後の目標として、量子もつれの完全ベル測定に向けた、量子もつれの完全トモグラフィーの研究を行う。

参考文献

- [1] H. Kosaka and N. Niikura, *Phys. Rev. Lett.*, **114**, 053603 (2015).
- [2] Y. Sekiguchi, *Nature Commun.*, **7**, 11668 (2016).
- [3] 佐藤恒司, 横浜国立大学, 卒業論文(2016).
- [4] 中村孝秋, 横浜国立大学, 卒業論文(2016).