

ダイヤモンドスピン縮退キュービットの幾何学的電子スピネコー

Electrical geometric spin echo of a diamond spin degenerate qubit

1164087

幸村雄介

小坂・堀切研究室

Yusuke Komura

We study the electron spin qubit of NV center in diamond as a promising quantum memory. We use $|m_s = \pm 1\rangle$ as qubit, which is degenerated. Generally, qubit cannot be controlled without energy gap. However we can control degenerate qubit by using “geometric phase”. Here we demonstrated the “geometric spin echo” with geometric phase control, and measured magnetic field dependence of coherence time of the echo.

1. はじめに

量子通信、量子計算に用いられる量子メモリの有力候補としてダイヤモンド中の窒素-空孔 (NV) 中心の電子スピנקュービットを研究している[1]。これはスピン角運動量 1 の量子系であり、 $|m_s = 0\rangle$ と $|m_s = \pm 1\rangle$ の V 型 3 準位構造を持つ (図 1)。

我々は無磁場下で完全縮退した電子の $|\pm 1\rangle$ 準位をキュービットとして用いる。エネルギー分裂がないので通常のキュービット操作は難しいが、補助準位 $|0\rangle$ を介してキュービットの幾何学位相を制御できる。

今回、マイクロ波を用いて縮退キュービットの幾何学的操作を行い、今まで報告例のない幾何学的スピネコーの実験を行った (図 2)。また、そのコヒーレンス時間の磁場依存性 ($< 2\text{Gauss}$) を測定しノイズの影響を調べた。

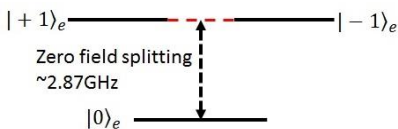


図 1. V 型 3 準位構造

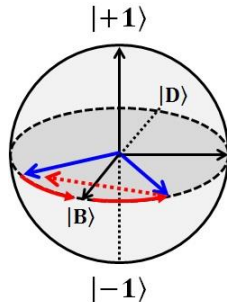


図 2. 幾何学的スピネコー

2. 実験

サンプルとなるダイヤモンドにマイクロ波 (MW) 伝送用の銅ワイヤーを張って室温中に設置し、磁石で地磁気を打ち消して無磁場環境をつくった。

測定は①グリーンレーザーによる初期化、②MW π パルス、③歳差運動、④MW 2π パルス、⑤歳差運動、⑥MW π パルス、⑦グリーンレーザーによる読み出し、のシーケンスで行った (図 3)。

$|0\rangle$ に初期化された電子スピンは π パルスで $|\pm 1\rangle$ に励起され、そこで位相歳差運動を行う。 $|\pm 1\rangle$ 間のコヒーレンスは 500ns 程度で壊れる (図 4 黒線)。歳差運動中に 2π パルスによって幾何学位相を制御すると、 $2t$ 時間で位相が収束するエコー現象が起きるので、その信号を測定した。また、過剰磁場を印加して磁場下で同様の実験を行った。

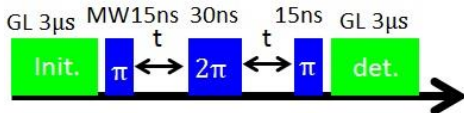


図 3. 測定のパルスシーケンス

3. 結果および考察

上記の実験の結果、エコーによってコヒーレンス時間が大幅に増大し、100 倍以上の $70\mu\text{s}$ に達した (図 4)。また、磁場依存性の結果は、無磁場下の完全縮退系でコヒーレンス時間が最長となった (図 5)。

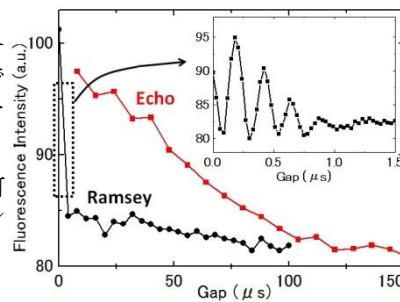


図 4. エコー測定結果

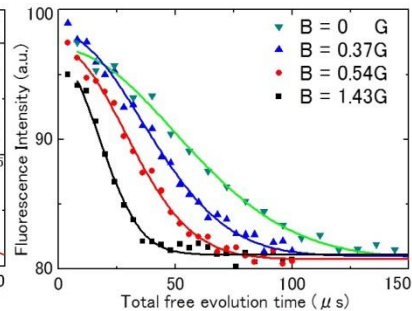


図 5. 磁場依存性

理想的にはエコー現象により位相緩和 (T_2) はキャンセルされ、エネルギー緩和 (T_1) によって減衰する。しかし緩和の磁場依存性は、この結果に T_1 緩和だけでなく T_2 緩和が含まれており、その原因が NV が周りに存在する窒素不純物 (P1 センター) と相互作用することにより生じるノイズ磁場であることを示す。ノイズの影響により $\exp(-Rt^3)$ で T_2 緩和が起こり [2]、緩和率 R が外部磁場に依存する。一般に T_1 緩和は $\exp(-t/T_1)$ で減衰するが、それに加えてこの T_2 緩和を考慮すると、結果に示したエコー信号の減衰とその磁場依存性をうまく説明することができた。

ノイズによる T_2 緩和の影響は、不純物の少ないサンプルを用いることで改善されると思われる。 T_1 緩和の影響は 77K 程度の低温実験ならば無視できる程度に小さくなるが、実用を考えると室温での実験が望ましい。

4. 結論

本研究において我々は、幾何学位相を利用した縮退キュービットの操作を行い、特に幾何学的スピネコーの実験に初めて成功した。また、磁場依存性の測定により、ダイヤモンドスピנקュービットの幾何学的操作における縮退の重要性を明らかにした。

参考文献

[1] H.Kosaka & N.Niikura, *Phys. Rev. Lett.*, **114**, 053603 (2015).
 [2] G. de Lange *et al*, *Science*, **330**, 60 (2010).