

スピントルク発振器を位相同期回路によって安定化した際の位相安定性の理論限界および物理的起源

田丸慎吾、久保田均、薬師寺啓、福島章雄、湯浅新治
(産総研 スピントロニクス研究センター)

Physical origin and theoretical limit of the phase stability of a spin-torque oscillator stabilized by a phase-locked loop

S. Tamaru, H. Kubota, K. Yakushiji, A. Fukushima, S. Yuasa
(AIST, Spintronics Research Center)

はじめに

スピントルク発振器(Spin torque oscillator, STO)は、微小な磁性体積層膜に直流電流を注入する事により磁化歳差運動を励起し、マイクロ波信号を発生するデバイスである。STOはそのサイズ(数10~数100 nm)、広い周波数可変帯域、半導体プロセスとの整合性等、従来の発振器には無い数々の利点を持つため、高周波集積回路内のマイクロ波信号源としての応用が期待されている。だが現時点では発振が不安定なため、まだ実用化には至っておらず、発振を安定化する技術が STO 実用化には必須となる。この問題を解決するため、我々は STO に特化した位相同期回路(Phase locked loop, PLL)を開発し、それを用いて STO を安定化したところ、マイクロ波領域において極めて鋭いスペクトルが観測され、STOの位相同期に成功したことが確認された[1]。しかしながら、そのピークの両側には市販の半導体 PLL 回路よりもまだずっと大きい残留位相ノイズも観測され、その為 STO を PLL で安定化しても、まだ実用化レベルまで性能が向上したとは言えない状況である。

実験及び解析方法

更なる性能改善の可能性を検証するため、PLL 回路の詳細な解析を行った。STO のフリーラン時の性能は、出力と位相安定性という2つの性能指標によって示される。出力が小さいと、それを増幅する増幅器の雑音が相対的に大きくなるため、信号雑音比が悪くなり、その結果ジッター増加や、カウントエラーが起きる。この出力とジッターやカウントエラーの関係を計算し、実験結果と比較したところ、図1に示す通り非常に良い一致が得られた[2]。次に STO フリーラン時の出力信号における周波数揺らぎのスペクトル密度(Frequency error spectral density, FESD)を計算し、この結果及び PLL の回路定数を用いて、STO が PLL によって安定化された際の残留位相エラーのスペクトルを計算し、実験結果と比較したところ、こちらも図2に示す通り非常に良い一致が得られた[3]。これらの結果は、STO のフリーラン時の性能指標から、PLL で位相安定化された際の性能を予測するための計算が定式化された事を示す。これらの解析結果により、FESD が STO の位相安定性の定量解析に必要である事、FESD は低周波では $1/f$ 揺らぎ、コーナー周波数以上では一定となり、それぞれ磁化構造の揺らぎ、STO フリー層の熱安定性が重要であることが示めされた。

参考文献

- 1) S. Tamaru et. al, Sci. Rep., 18134 (2015)
- 2) S. Tamaru et. al, Jpn J. Appl. Phys., 093003 (2016)
- 3) S. Tamaru et. al, Phys. Rev. Applied, accepted (2017)

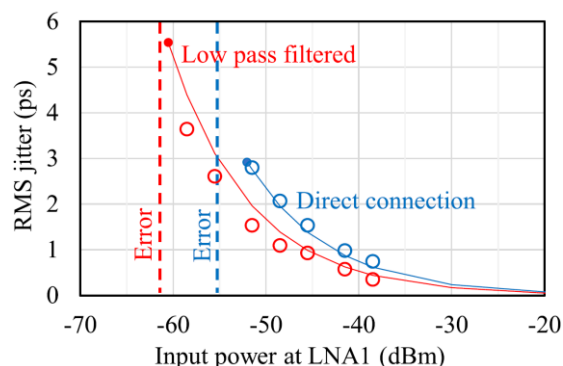


Fig. 1, ジッターやカウントエラーと STO 出力の関係の理論と実測値の比較

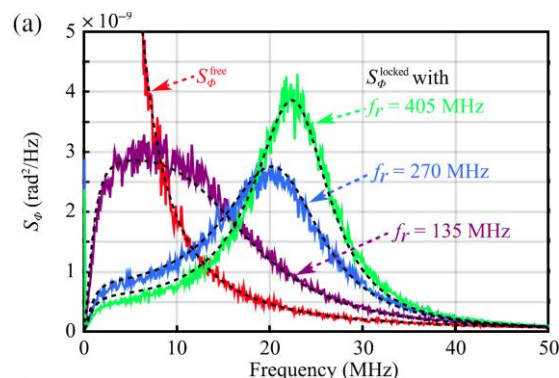


Fig. 2, フリーラン、位相同期時の STO 出力の FESD の理論と実測値の比較