

サブミリ波オンチップフーリエ分光計に向けた超伝導伝送線路上の位相速度制御

Phase velocity control on a superconducting transmission line for sub-mm on-chip FTS

埼玉大院, 山口滉太, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広昭

Saitama Univ, Kohta Yamaguchi, Masato Naruse, Toru Taino, Hiroaki Myoren

E-mail: k.yamaguchi.559@ms.saitama-u.ac.jp

1.研究の目的

宇宙の全エネルギーの20%以上を占めるとされているにも関わらず、未だ観測されていない暗黒物質 (Dark Matter)を探索する実験が行われている。暗黒物質の候補の一つとして Hidden Photon (HP)[1]があるが、HP は金属を通過した際に電磁波を発生させる。この性質を利用して HP を検出するために、サブミリ波帯で高感度かつ高周波数分解能を持つ検出器が必要となる。超伝導共振器フィルタバンクを用いた分光計[2]の開発を行ってきたが、周波数分解能を 10^4 以上向上させるために、超伝導伝送線路を用いたオンチップフーリエ分光計 (オンチップ FTS) [3]を採用する。本講演では、オンチップ FTS 開発のカギを握る超伝導伝送線路による位相制御について、マイクロ波帯での原理検証結果について報告する。超伝導材料にニオブ(Nb)と窒化ニオブ(TiN)を採用し、それぞれの特性を比較する。

2.オンチップ FTS の動作原理

FTS とは電磁波の経路長変化によって生じる干渉波形を測定しフーリエ変換することで周波数特性を測定する分光装置のことである。FTS の中心部分であるマイケルソン干渉計は光源からの光を固定鏡と一定速度で移動する移動鏡で反射させ、反射光同士の光路差より位相シフトを引き起こせる。

一方で、超伝導オンチップ FTS では、超伝導伝送線路に直流電流を印可することで、力学インダクタンスが上昇した結果、位相速度が遅くなる性質を利用し、反射鏡を移動させる代わりに片方の線路に直流を印可することで2経路間での位相シフトを発生させる。印可電流と位相速度の関係は以下で表される。

$$\Delta\varphi = 1/\sqrt{C\left(L_k(0)\left[I + \left(\frac{I}{I_0}\right)^2\right]\right) + L_g} \quad (1)$$

3.実験

Si 基板上に厚さ 80nm の Nb 膜を成膜した素子と厚さ 20nm の TiN を成膜した素子二種類を用いた。10 mm 角チップ上に幅 4-6-4 μm の CPW 線を 290mm でミアンダ状に配置した。1K の冷凍機を用いて直流電流を印可しながらベクトルネットワークアナライザで透過損失の位相を測定した。

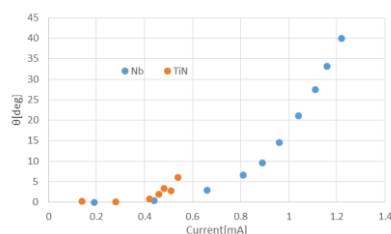


Fig. 2 phase shifts by DC current

Fig. 2 に二種類の位相シフトの測定結果を示した。常温抵抗の差より TiN の方が大きな位相シフトが見込めるはずが予想に反する結果となった。

5.今後の課題・展望

二種類の材料の位相シフトの傾向は一致しているが予想に反した結果となった。原因として膜厚が薄いことなどが考えられる。今後は膜厚を厚くしての TiN の再測定を行っていききたい。

謝辞: 本研究の一部は科研費 (19H05499) の支援を受けています。

参考文献

- [1] S. Andreas, M. D. Goodsell, and A. Ringwald, "Hidden Photons in connection to Dark Matter," AIP Conf. Proc. 1563, 114 (2013).
- [2] A. Endo et. al, "Wideband on-chip terahertz spectrometer based on a superconducting filterbank," J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. 5(3), 035004 (2019).
- [3] F. B. Faramarzi, P. Mauskopf "An On-Chip Superconducting Kinetic Inductance Fourier Transform Spectrometer for Millimeter-Wave Astronomy" Received: 26 August 2019 /Accepted: 2 December 2019