

電気機械フォノン導波路を用いた周波数多重化演算の可能な論理ゲート素子

Frequency-division-multiplexing logic circuits in a phonon waveguide

NTT 物性科学基礎研究所 ○畑中 大樹、ダラス トム、マブーブ イムラン、小野満 恒二、山口 浩司

NTT Basic Research Laboratories ○Daiki Hatanaka, Tom Darras, Imran Mahboob,

Koji Onomitsu, and Hiroshi Yamaguchi

e-mail: hatanaka.daiki@lab.ntt.co.jp

近年、電気機械振動子の信号処理デバイスへの利用を試みる取り組みに注目が集まっている。機械振動子の非線形性を用いることで振動の動的制御が可能となり、様々な機械機能素子がこれまでに実証されている。特に 2011 年には、振動の周波数変換効果を用いた論理演算技術が提案され、周波数多重により並列演算が可能な機械素子が実現されている [1]。しかしながら、これら従来の素子は全て共振器構造から作製されており、その動作速度は遅いため、デバイス利用を検討する上での問題となっていた。この課題を解決するため、我々は広帯域なバンド構造をもつ電気機械フォノン導波路 [2] に上記論理演算技術を適用して、機械振動による論理演算の高速・周波数多重化処理を室温・真空下において試みた。

電気機械フォノン導波路は GaAs (5 nm) / Al_{0.27}Ga_{0.73}As (95 nm) / n-GaAs (100 nm) ヘテロ構造の薄膜振動部から構成され (図 a)、2.8 MHz から 6.8 MHz の周波数帯域において連続したフォノンバンドを有する。シグナル振動 (f_{s1}, f_{s2}) とアイドラ振動 (f_i) の振幅をそれぞれ入力と出力に割り当て、ポンプ振動 (f_{p1}, f_{p2}) の周波数制御を介して、AND や OR、XOR といった基本的な論理演算処理を実証した。例えば、ポンプ周波数を $f_{p2} - f_{p1} = (f_{s2} - f_{s1})/2$ となるように選ぶと、シグナル振動の入力に対し、出力となるアイドラ振動振幅は OR ゲートと同等の応答を示す (図 b)。そして、この OR ゲートは最大 3 kbps の疑似ランダムビット列で両シグナル振動を振幅変調した場合においても機能することが確認され (図 c)、既存の素子と比較して 3 桁以上もの高速制御が可能となった。このように、広範なバンドを有する電気機械フォノン導波路をプラットフォームとして用いることで信号処理デバイス応用におけるフォノンの有用性を飛躍的に高めることができる。

[1] I. Mahboob et al., Nature Commun. **2**, 198 (2011). [2] D. Hatanaka et al., Nature Nano. **9**, 520 (2014). D. Hatanaka et al., New J. Phys **17**, 113032 (2015).

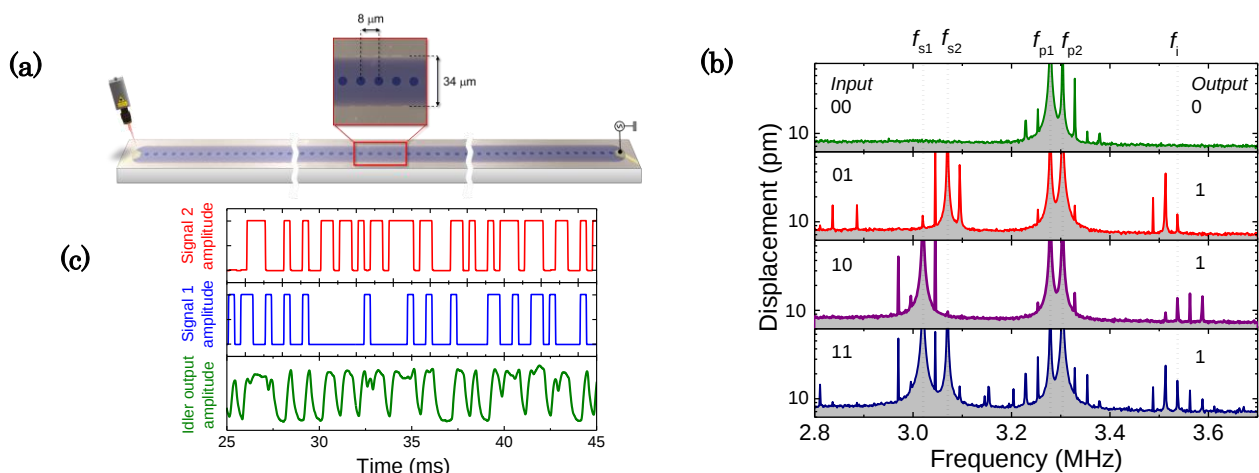


図 (a) 電気機械フォノン導波路の電子顕微鏡写真と測定セットアップ。(b) $V_{s1} = V_s = 1.5 V_{rms}$, $f_{s1} = 3.02$ MHz, $f_{s2} = f_{s1} + 50$ kHz, $V_{p1} = V_{p2} = 1.5 V_{rms}$, $f_{p1} = 3.27875$ MHz, $f_{p2} = f_{p1} + 25$ kHz における OR ゲートの出力スペクトル。(c) $f_{s1} = 3.01$ MHzにおけるシグナル振幅変調時の OR ゲートの時間領域応答。