

振り振動を利用した 80MHz シリコン共振器と発振器の研究

育成研究：JSTイノベーションプラザ・サテライト 平成 20 年度採択課題
「UHF 帯高性能MEMS 発振器の研究開発」

代表研究者：立命館大学 工学部・マイクロ機械システム
工学科 教授 鈴木健一郎



■ 研究概要

現在、通信端末の高周波化・広帯域化が急速に進んでおり、従来の水晶発振器に代わるデバイスが強く望まれている。本研究では、マイクロ電気機械システム (MEMS) 技術を利用したシリコン共振器とこれを使用した発振器の研究開発を行った。この成果をもとに UHF 帯 (300MHz~3GHz) の小型・高性能の MEMS 発振器の実現が期待される。

■ 研究内容、研究成果

本研究では、振り振動共振現象を利用したシリコン機械構造体の設計・作製方法およびその最適な駆動と評価方法の研究開発を行った。振り振動を利用した共振器は、高周波化に適しているという利点があるにも関わらず、振り振動を電気信号に変換することが難しかったためにこれまで研究事例が非常に少なかった。我々は、振り振動と直線運動を効率的に結合できる変換機構を初めて開発し、これを MEMS 共振器に適用することに成功した (図 1)。この試作した共振器の機械振動を評価するために、レーザドップラ振動計を利用した評価装置を開発し、世界で始めて 78MHz の振動ビームの機械振動を直接に観察することに成功した (図 2)。試作デバイスは 78MHz 付近に共振をもち、このときの共振の鋭さを表す Q 値が 30,000 以上と世界最高レベルの特性をもつものであった。一方、機械振動と電気信号の結合効率、電極間のギャップに強く依存しており、ギャップが狭くなるほど大きな結合を実現することができる。我々は、バルク表面マイクロマシニング加工技術とシリコン-ガラス静電接合技術を組み合わせた新規の加工方法を開発して、0.1 μ m という狭いギャップを作製することに成功した。これはバルクマイクロマシニング技術を利用したものの中では世界最高レベルである。この強い結合効率の実現により共振器のモーショナル抵抗の影響が著しく低減され、試作した共振器を使用した自励発振器を実現することができた (図 3)。このときの位相ノイズの測定値は、現在製品化されている MEMS 発振器よりも優れたものであった。さらに、試作した共振器の温度特性を評価して共振周波数が温度に対してほぼ直線的に変化することを確認した。このような性質をもつ温度特性は電気回路により容易に補償することが可能であることから、将来、シリコン IC と集積化することにより、シリコン MEMS 共振器が安定的に動作すると期待される。

■ 今後の展開、将来の展望

100MHz までの通信技術は既存の水晶等を使用することで大きな問題がなく、事業化を進めるためには、本研究で開発した基盤技術をさらに発展させて、1-3GHz の高い周波数帯まで適用できることを示すことが必要と考える。一般に周波数が高くなると Q 値が減少していくことから、共振器のエネルギー損失機構の究明を行い、この解決方法を示さなければならない。一方、我々は、共振器をアレイ化することによりモーショナル抵抗の影響を低減できることを実証した (図 4)。これにより、Q 値低減の影響を緩和することが可能となる。今後、アレイ化共振器の Q 値の評価を進め、損失の少ない構造を実現するための研究開発が重要であると考えられる。また、MEMS 共振器には複数の共振周波数の利用 (マルチクロック化) が容易に実現できるという水晶デバイス等にはない利点がある。今後、この特徴を活用したデバイスの実現により事業化が刺激されるものと期待する。

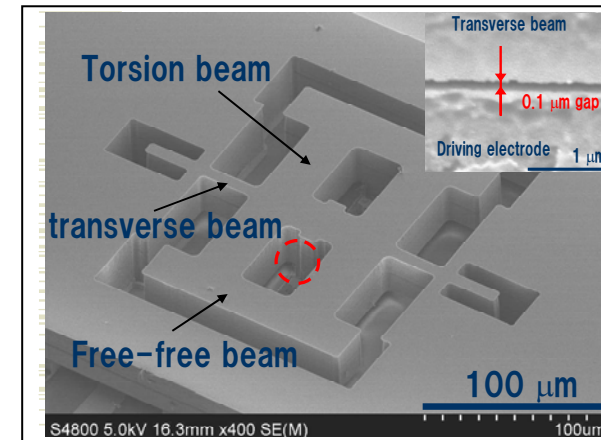


図 1 振り振動シリコン共振器：0.1 μ m 狭ギャップの作製に成功 (図中の赤丸の領域)

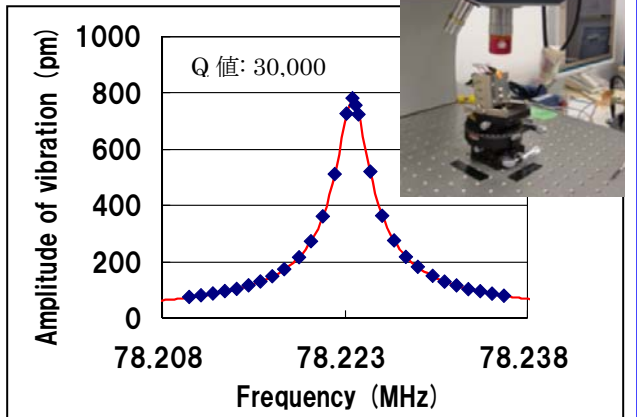


図 2 共振周波数 (78, 223kHz) 付近の振幅変化：レーザドップ振動計 (右上の写真) による測定値

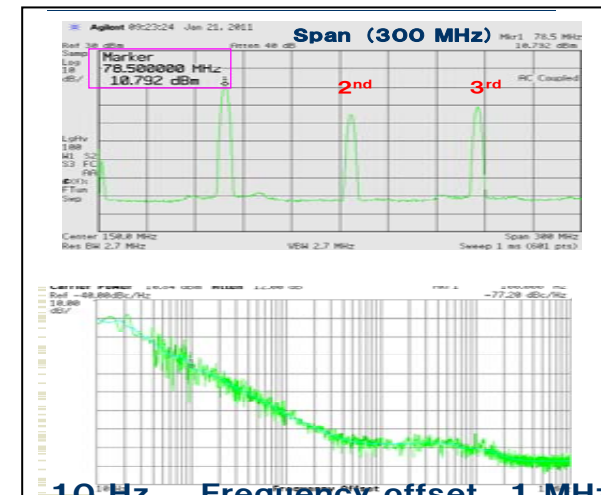


図 3 自励発振：(上) 78.5MHz とその高調波、(下) 位相ノイズ (1kHz オフセットのとき-101dBc/Hz)

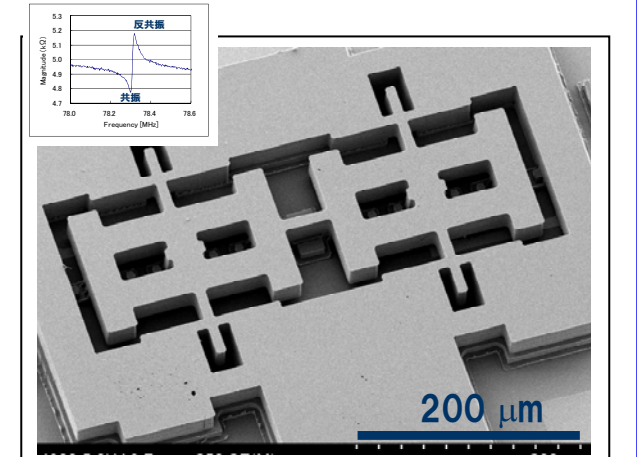


図 4 振り振動シリコン共振器アレイ：2 個の連結によりモーショナル抵抗が 1/2 に減少することを実証。(左上) インピーダンスの測定値。

■ 研究体制

- ◆ 代表研究者
立命館大学 工学部・マイクロ機械システム工学科 教授 鈴木健一郎
- ◆ 研究者
二木一也 (三洋電機 (株))、宮内秀雄 (三洋電機 (株))、藤浦英明 (三洋電機 (株))、岡田光広 (三洋電機 (株))、競昌也 (三洋電機 (株))、玉野晃正 (三洋電機 (株))、谷川紘 (立命館大学)、古塚岐 (立命館大学)、肥後矢吉 (立命館大学)
- ◆ 共同研究機関
三洋電機 (株) 電子デバイスカンパニー

■ 研究期間

平成 20 年 4 月 ~ 平成 23 年 3 月