

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630010

研究課題名(和文)超小型振動子を実現する圧電体全体共振制御技術の開発

研究課題名(英文)Development of a technique for controlling total resonances of a piezoelectric rectangular parallelepiped for ultra-small resonator

研究代表者

中村 暢伴(Nakamura, Nobutomo)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：50452404

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、直方体形状の圧電体の全体共振に対して、無数に存在する振動モードの中から特定の振動モードを選択的に励起・検出することのできる手法の開発に取り組んだ。平板アンテナによる無電極振動励起・検出システムと振動解析プログラムを作成し、金属薄膜の成膜と圧電体形状が振動モードの選択的励起に与える影響を評価した。結果として、縦波平面波の振動モードに似た特定の振動モードのみを強く励起・検出できる圧電体形状があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated resonance vibrations of piezoelectric rectangular parallelepipeds for developing a method that excites and detects a specific vibrational mode. Electrodeless measurement system using plates antennas and a vibration-analysis program were developed, and effects of shape of piezoelectric materials and deposited metallic films on the mode selectivity were evaluated. Finally, we found that there were specific shapes of piezoelectric materials, in which a specific vibrational mode, similar to a longitudinal plane-wave mode, was selectively excited.

研究分野：ナノメカニクス

キーワード：圧電体 共振 モード選択

1. 研究開始当初の背景

振動子とは圧電体表面に形成された金属電極に交流電圧信号を入力して、圧電効果によって圧電体に振動を発生させるデバイスである。特定の周波数(発振周波数)の交流電圧信号を入力した時のみ強く振動するように設計されているため、無線通信機器においては特定の周波数帯域の交流電圧信号を抽出する用途で使われている。また、振動子表面に他の物質が付着すると質量増加の影響で発振周波数が低下するため、この性質を利用して血液中のタンパク質を検出するバイオセンサとしても使われている。カプセル内視鏡のように体内や血管中に取り込み、無線通信を行う医療機器の開発では、無線機器の小型化が必要である。また、バイオセンサにおいては極微量のサンプル(血液など)から多種類の疾患診断を実現するために振動子の超小型化が必要になる。

現在は表面弾性波(SAW)や体積弾性波(BAW)を圧電体表面や電極付近に励起させる振動子が主流である。いずれも平板形状の圧電体基板の上に櫛形電極やシート電極を形成して振動を励起する。このとき圧電体基板には電極製作のために面内方向にある程度の大きさが必要である。振動子の飛躍的な小型化を実現するには圧電体基板を面内方向にも小型化しなければならないが、このような圧電体基板に対してSAWやBAWを使うことはできない。そこで本研究では全体共振に注目する。全体共振とは振動子全体が振動する振動モードで、全体共振を利用して500MHz帯の直方体振動子を作った場合、原理上、一辺を数ミクロン程度まで小型化することも可能である。

2. 研究の目的

全体共振ではねじりや曲げ、呼吸振動など複数の振動モードが存在し、それらの高次モードも存在する。つまり、多数の振動モードが存在する。通信機器のフィルタとして使われる振動子では、特定の振動モードのみが励起されるように設計されており、その特徴を利用してフィルタリングが行われる。そこで、全体共振をこのような用途に使うためには、特定の振動モードのみを励起・検出する技術が必要になる。従来の振動子では電極の形状を工夫することで特定の振動モードのみを励起していたが、全体共振では振動子の寸法が小さくなり複雑な形状の電極を作ることが難しいため、簡単な手法でモード選択を実現しなければならない。そこで、本研究では比較的簡単な加工でモード選択ができる技術の開発を目的とした。

3. 研究の方法

従来の振動子では圧電体表面に電極を取り付けて振動の励起・検出を行っているが、先述のように直方体共振では複雑な電極の取り付けが困難なため、アンテナを用いて振

動を励起・検出することとした。圧電体には水晶を使用し、水晶表面に金属薄膜を成膜する、あるいは水晶の形状を変えることで振動モードの選択性がどのように変化するかを観測した。これらの変化を数値解析によって得られる圧電体内部の変位・分極分布と比較し、金属薄膜や圧電体の形状がどのように振動の励起・検出効率に影響するかを調べた。

4. 研究成果

(1) アンテナによる圧電体共振計測システムの開発

圧電体の全体共振を観測するために計測システムを自作した。これは圧電体に対して一方向に一樣な電場を印加させるよう設計されており、図1に示すように、センサ部には平板アンテナを用いた。シンセサイザより駆動電圧がダイプレクサを介してアンテナに送られ、アンテナ間に生じる電場によって圧電体に振動を励起する。振動する圧電体は周囲に振動電場を発生させるため、それと同じアンテナで受信し、ダイプレクサとアンプを介して検出することで、振動振幅を測定する。周波数を変えながら受信信号の振幅を計測することで共振スペクトルを取得し、ピークが現れる周波数を共振周波数として測定する。

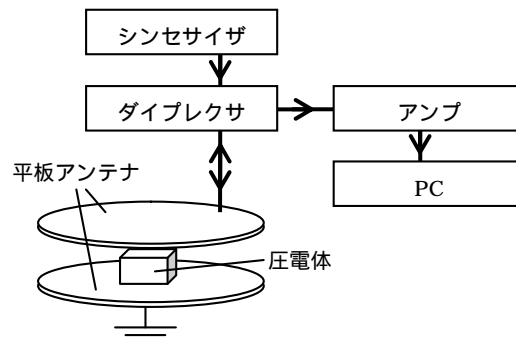


図1 共振計測システムの概略図

(2) 金属膜の成膜が共振モードの選択性に及ぼす影響

金属薄膜を圧電体表面に成膜すると、薄膜の近傍での圧電体の分極を弱め、電場による変形が生じにくくなる効果がある。そのため、薄膜の形状を変えると特定の振動モードを優先的に励起・検出できると考えられた。そこで、水晶に金属薄膜を成膜することで共振モードにどのような変化が現れるかを調査した。具体的には、直方体形状の水晶の特定の面にCu薄膜を成膜した時の共振スペクトルを測定し、成膜する面と共振スペクトルの関係を調べた。

図2に測定された共振スペクトルの一例を示す。複数のピークが観測されるが、これらはそれぞれ異なる振動モードの共振ピークである。このスペクトルは圧電体の一対の

向かい合う面に Cu 薄膜を成膜をした時のものである。この状態から薄膜をエッチングして成膜領域を 50%減らしたときの振幅変化の割合を図 3 に示す。成膜面積を小さくすると振幅が顕著に低下するモードもあるが、あまり変化が見られないモードもあった。このことは、比較的単純な成膜領域の変化であっても、振動モードの励起・検出効率を制御できることを示しており、金属薄膜による振動モード選択が可能であることを示唆している。このような現象は成膜する面を変えても観測された。

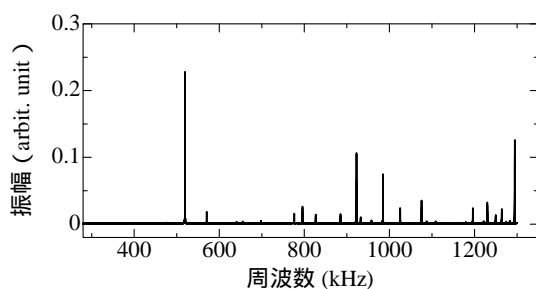


図 2 向かい合う一對の面に Cu 薄膜を成膜した水晶振動子に対してアンテナを用いて計測された共振スペクトル。

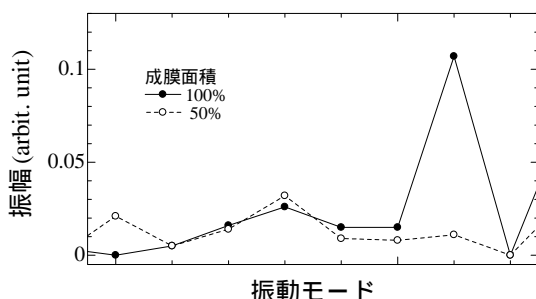


図 3 Cu 薄膜の成膜面積を変えたときの振幅変化の様子。面積によって大きく変化するモードとそうでないモードが見られる。この結果は、成膜形状を変えることで振動モードを選択的に励起・検出できることを示唆している。

(3) 圧電体形状が共振モードの選択性に及ぼす影響

圧電体の形状が振動モードに及ぼす影響を調べる中で興味深い結果が得られた。全体共振では形状によらず無数の振動モードが存在するため、圧電体の形状を変えただけではモード選択を行うことは困難であると考えていた。ところが、平板アンテナを用いて一様な電場を加える場合は、特定の形状において、ある共振モードだけを選択的に励起・検出できることが分かった。

この結果は振動解析の中で見つかった。我々のこの研究の中で、圧電体の振動解析を行うための数値解析プログラムを作成して

いた。これは圧電体が共振している時の内部での電気分極を計算し、アンテナで印加される一方向一様電場との比較によって振動モードの励起・受信効率を計算するものである。圧電体の形状を変えながら効率を計算していると、ある寸法比のときに、特定の振動モードの効率が著しく高くなることが分かった。このとき、他の振動モードの効率は低く、選択的に振動モードが励起されていた。図 4 に、寸法比を変えたときの効率を示す。形状 1 のときは、多くの共振モードが励起されるが、形状 2 のときは、あるモードの効率が著しく高い。実際に、この寸法の水晶を作成して共振スペクトルを計測したところ、同様の結果が得られた。

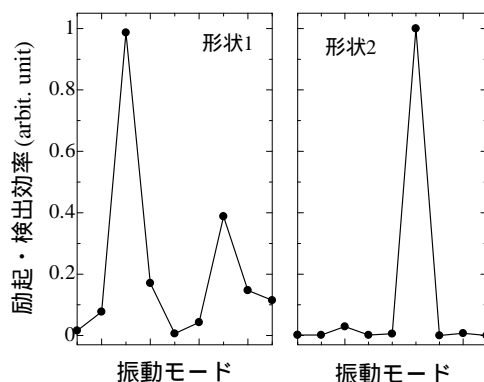


図 4 異なる形状の水晶に対する励起・検出効率の計算結果。形状 1 では複数の振動モードで効率が高くなっている。これは複数の振動モードが検出されることを示している。一方、形状 2 では特定の振動モードのみ効率が高く、このモードを選択的に励起・検出できることを示している。

このような現象が発生する理由を調べるため、強く励起される振動モードについてより詳しく振動解析を行った。その結果、この振動モードは板厚共振に近いモードであることが分かった。板厚共振は一般に平板のように面内方向の寸法に対して板厚方向の寸法が十分小さい場合に観測される振動モードである。ところが、この研究では板厚がそれほど小さくない直方体でもこのようなモードが励起されることが分かった。同様の解析を他の材料に対しても行ったところ、弾性マトリックスの対称性が低い材料ほどこの傾向は顕著であった。

金属薄膜を成膜して振動モードを選択する場合は、成膜によって圧電体の分極が弱められ、少なからず励起・受信効率が低下する。しかしながら、形状を変えるだけで振動モードが選択できれば、このような問題は発生しない。本研究の成果は、直方体形状の圧電体を用いる場合に、電極などの加工をせずとも、形状のみで振動モードを選択的に励起・受信できることを示唆しており、振動子の更なる

進展に貢献することが期待される。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

N. Takeuchi, N. Nakamura, H. Ogi, and M. Hirao, Mode-selective excitation of resonance vibration for piezoelectric rectangular parallelepiped using plate antennas, Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, 35, 3P3-3 (2015), 査読無

〔学会発表〕(計2件)

N. Takeuchi, N. Nakamura, H. Ogi, and M. Hirao, Mode-selective excitation of resonance vibration for piezoelectric rectangular parallelepiped using plate antennas, The 36th symposium on ultrasonic electronics, 2015/11/05-11/07, Epochal Tsukuba (Ibaraki, Tsukuba)

N. Nakamura, N. Yoshimura, H. Ogi, and M. Hirao, Application of resonant ultrasound spectroscopy to film-growth monitoring on quartz substrate, TMS2015 144 the Annual Meeting & Exhibition, 2015/03/15-03/19, Orlando (USA)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中村 暢伴 (NAKAMURA, Nobutomo)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号：50452404

(2)研究分担者

平尾 雅彦 (HIRAO, Masahiko)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：80112027

(3)研究分担者

萩 博次 (OGI, Hirotsugu)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：90252626