審 査 の 結 果 の 要 旨

氏　　名　　グェン ミン ジューン

本論文は「Barometric Pressure Sensing Using the Effect of Fluid Structure Interaction in Cantilever-based Structure」と題し、5章から構成される。

空気圧を計る圧力センサは、カーナビゲーションや運動ログ取得のため、高度・高度差を計測するデバイスとして期待されている。従来の圧力センサは、密閉された基準圧力室の一部であるダイアフラムが、圧力によって変形する量を電気的に計測している。しかしながら、ダイアフラム型のセンサでは、圧力に対する感度と構造強度とがトレードオフの関係にあること、密閉基準圧力室を形成するためのプロセスの手間がかかることの課題があった。これに対して、本論文では、静的ではないが、比較的小さな周波数まで圧力変化が計測できるセンサを提案し、その特性を確かめることを目的としている。本論文で提案する圧力センサは、ねもとにピエゾ抵抗をもつカンチレバーで、その周りと基板との間に微小な隙間が存在する。隙間が微小であれば、ここを流体が通りにくくなり、カンチレバーの下部に設けられた空気室と外部との間の圧力差が保たれ、その圧力によってカンチレバーが変形するという特徴をもつ。カンチレバーの変形は、カンチレバーねもとに形成されたピエゾ抵抗の変化によって感度よく検出でき、カンチレバーの材料が単結晶シリコンなので、圧力によって大きく変形しても破壊しない。よって、本論文の提案が、ダイアフラム型の圧力センサがもつ課題を解決する方法の一つとしている。

第1章「Introduction」では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義が述べられている。

第2章「Sensing theory and experiment preparation」では、片持ち梁とピエゾ抵抗効果の一般論を本論文の構造に適用して、片持ち梁の共振周波数、圧力に対する感度などを求めている。また、デバイスを作成するプロセス、ピエゾ抵抗変化を計測するためのブリッジ回路やアンプ回路について述べている。

第3章「Fluid structure interaction simulation」では、提案する構造のふるまいをシミュレーションで解析している。具体的には、流体構造連成シミュレーションを行って、カンチレバーの隙間寸法と空気室の体積をパラメータとして時間に対する圧力差変化を計算している。計算の結果、カンチレバーの周りの隙間が小さいほど、また、空気室の体積が大きいほど、空気室と外部との圧力差を保てる時間が長くなることを示している。

第4章「Evaluation experiments」では、試作したセンサを用いて理論との比較を行っている。まず、カンチレバーに静的な力が加わったときの変形、および、音波による動的加振による振動特性を調べている。次に、隙間1 μm、2 μm、3 μm、10 μm、空気室の体積1ml、2ml、4mlのものを用いて、空気室と外部との圧力差の時間変化を計測し、隙間や空気室の体積に依存する圧力差の時間変化がシミュレーションの結果と同じ傾向をもつことを示している。シミュレーションで無視した空気の粘性効果が、実験では現れていると考察している。次に、圧力の周波数が100Hz-20kHzのときのセンサの応答を調べている。結果として、このセンサはマイクとしての機能も持っており、カンチレバーの隙間寸法を小さく、空気室の体積を大きく設計することにより、広いレンジでの周波数応答がフラットになることを示している。また、圧力の周波数が0.05Hzから1Hzのときのセンサの応答を、鉛直面内に拘束される回転板にセンサをとりつけて計測している。回転の周波数が低くなると、センサの感度および分解能が落ちるが、隙間が1μm、空気室の体積が1mlのとき、このセンサは0.05Hzまでの圧力の変化を計れることを示している。最後に、センサのノイズの大きさを評価している。隙間1μm, 空気室の体積1mlのセンサを容器に入れ、圧力を0.2atmとして、ノイズの密度をスペクトルアナライザで計り、100 Hzまでの周波数で利用するとしたフィルタを仮定すると、センサの計測分解能は10mPaオーダーであることが示されている。

第5章「Conclusion」では、第4章において得られた結果に基づいて結論を述べている。

以上要するに、本論文では、大きい空気室と、小さな隙間をもつ、カンチレバー型の圧力センサによって、従来のダイアフラム型圧力センサとして計測が困難であったmPaレンジの圧力が計測できることを示していて、静的な圧力は計れないものの低周波まで高感度に計れることを明らかにし、課題に対して解の一つを示している。この成果は、カーナビゲーションや人の運動ログに使う圧力センサして応用が期待されるものである。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。