

6 高温用圧力センサ及び振動センサの開発

山本 晃，縄雅典生，筒本隆博

Development of a pressure sensor and a vibration sensor for using at high temperature

YAMAMOTO Akira, NAWACHI Norio and TSUTSUMOTO Takahiro

Piezoresistive effect of Si was widely used for pressure and acceleration sensors. But Si based sensors can not be used at over 120 °C, because its diffusion resistor cause leak current through under layer. Diamond is one of the wide band gap semiconductor, it can be used at high temperature over 1200 °C. We fabricated a prototype pressure sensor and a vibration sensor using boron doped diamond resistor by Si micromachining technique.

キーワード：ダイヤモンド，ピエゾ抵抗効果，シリコン，マイクロマシーニング

1 緒 言

シリコンマイクロマシーニング技術により高性能で安価な半導体圧力センサ，加速度・振動センサが実現し，自動車用をはじめとして幅広い産業分野で用いられている。しかし半導体圧力センサ等に用いられるシリコンの拡散抵抗は1200°Cを超える高温では基板とのアイソレーションの悪化により，実用的には使用できないという問題があった。そのため高温半導体であるダイヤモンドを利用して高温用センサを実現しようという試みが各所でなされている^{1)~2)}。近年，自動車用エンジンの効率制御やガスタービンなどの効率化のために，より高温での燃焼制御の必要性が高まっている。そこで昨年度確立したボロンドープダイヤモンドの合成技術及びセンサ用構造体の作製技術をもとに，高温で使用可能な圧力センサ及び振動センサの試作及び性能評価を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 圧力センサの試作

圧力センサのレイアウトを図1に，試作したセンサチップを図2に示す。200~380umの厚みのシリコンウエハを基板に用い，絶縁のためのアンドープダイヤモンドを全面に積層している。その上にボロンドープダイヤモンドにより歪ゲージを形成している。歪みゲージは4個形成されており，2つはダイヤフラム周辺部の引張り歪みの最大部に，2つは歪みを生じない基板部に配置している。これにより4つの歪ゲージを接続して，フルブリッジを構成することが可能となる。試作プロセスを図3に示す。

シリコンをベースにしたマイクロマシーニング技術

による微細加工技術と熱フィラメントCVD法によるダイヤモンド合成技術を組み合わせることにより，ボロンドープダイヤモンドを歪ゲージに用いた圧力センサを実現している。アンドープ及びボロンドープダイヤモンドは金属マスクを用いることにより選択的に所

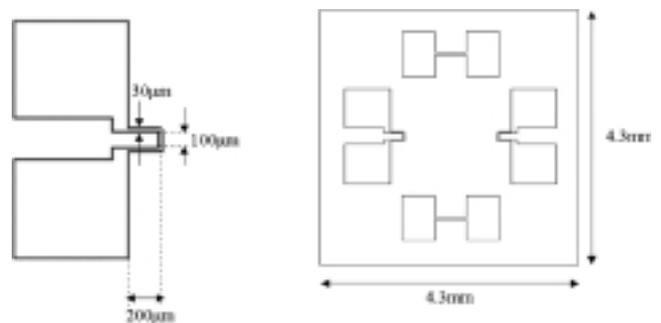


図1 圧力センサのレイアウト

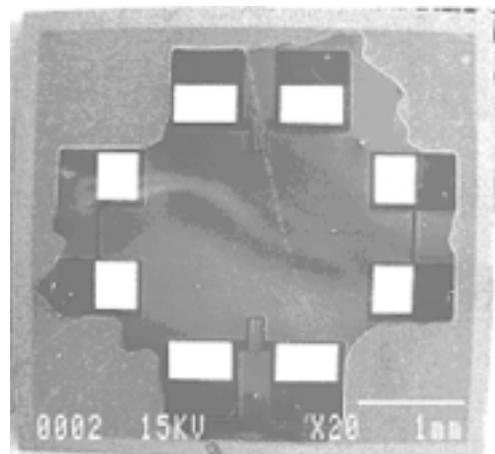


図2 圧力センサチップ

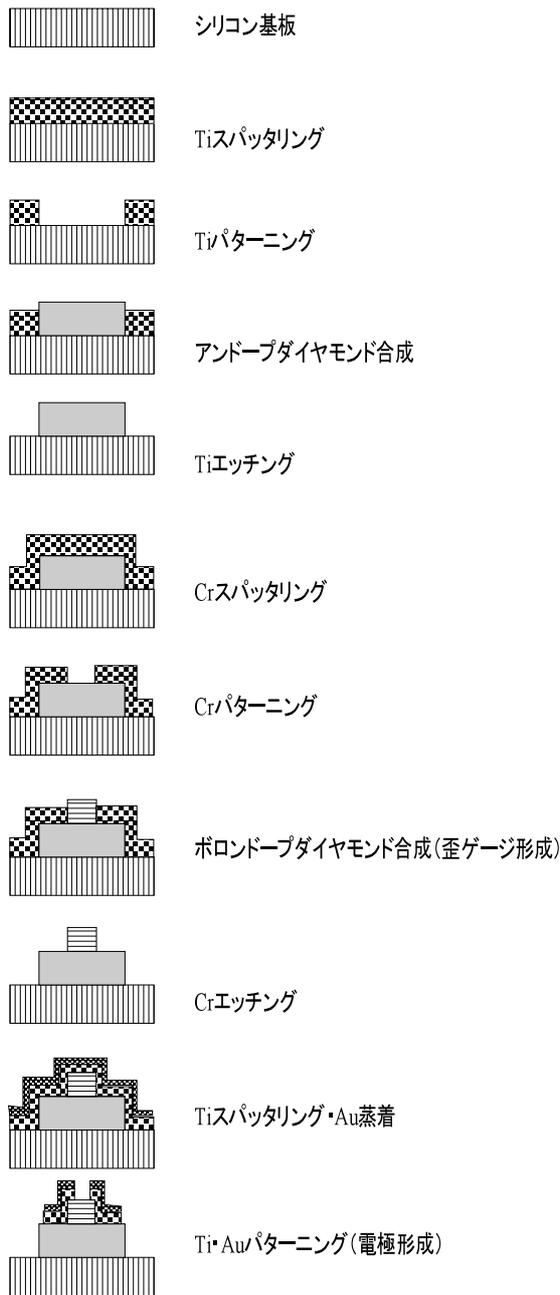


図3 試作プロセス

望の領域に成長させている。また圧力センサとするためには圧力に応じて変化するダイヤフラムが必要である。そのためウエットエッチングあるいは、ドライエッチングによりパッケージングに合わせて2 mm × 2 mm サイズのダイヤフラムを形成している。

2.2 圧力センサの評価

試作した圧力センサの評価は、ミヨシ電子(株)において、図4に示す測定系により行った。圧力センサチップは、シリコンベースの台座に接合後、CANパッケージにセットされ、チップ上の各歪ゲージ部とパッケ

ージのピンとの間が金線によりワイヤボンディングされている(図5参照)。圧力センサは図6に示す治具にセットし、圧力印加用配管、耐熱ワイヤ配線を行った上、電気炉内に導入される。

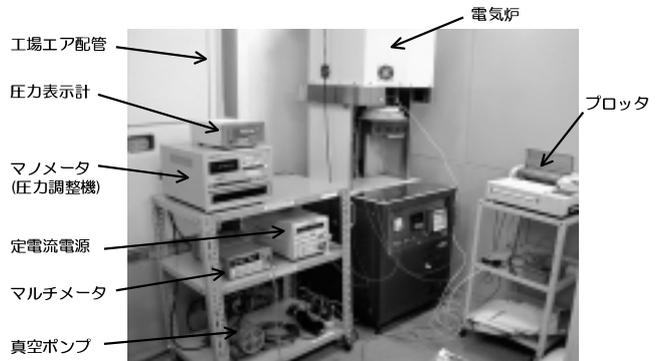


図4 圧力センサの測定系

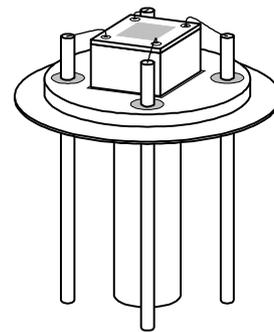


図5 圧力センサパッケージ

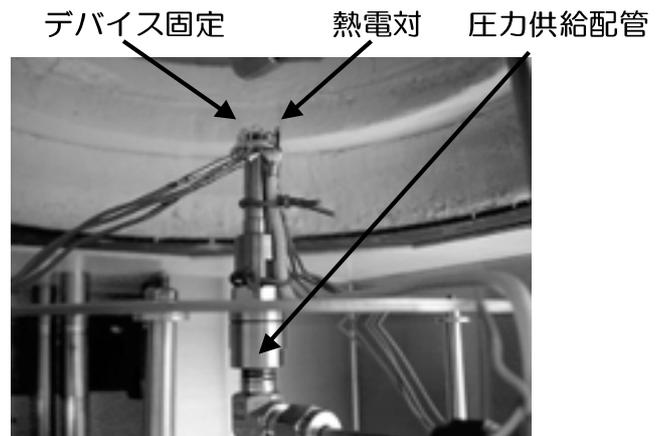


図6 圧力センサ取り付け部

測定結果を図7～9に示す。

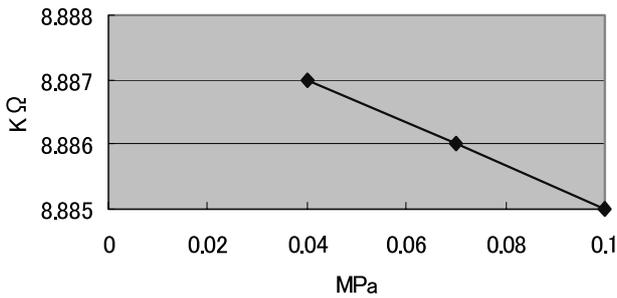


図7 圧力 - 抵抗値 特性

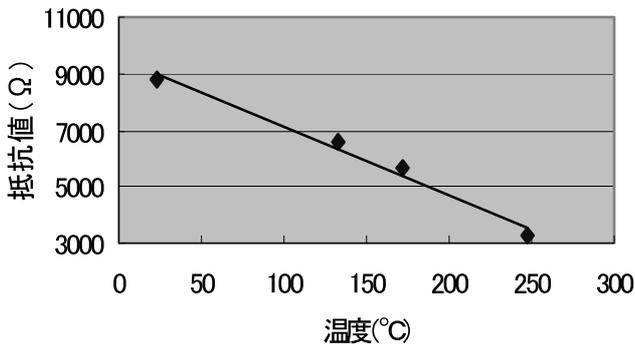


図8 抵抗値の温度特性

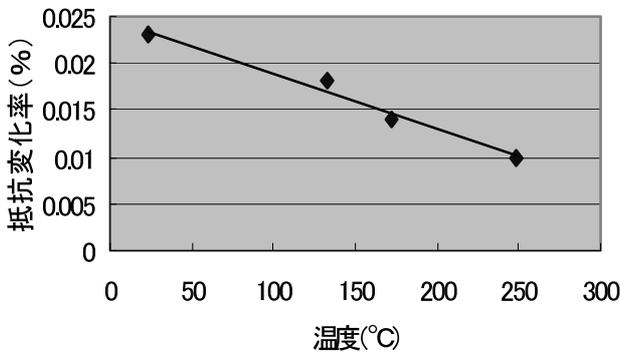


図9 抵抗変化率の温度特性

図7は室温における圧力センサとしての特性であり，印加する圧力の変化（減圧）に応じて直線的に抵抗値が変化していることが分かる。また図8に示したようにポロンドープダイヤモンドは半導体であるため，温度上昇とともに抵抗値が低下する。そのため高温での圧力センサとしての性能は一定圧力印加のもとでのゲージ抵抗の変化率で評価した。温度上昇とともに抵抗変化率は低下するが，250 においても使用可能であることがわかる。実際の使用に際しては所望の出力となるように歪みゲージに対する印加電圧または印加電流を設定する必要がある。

2.3 振動センサの試作

振動センサのレイアウトを図10に示す。片持ち梁構造で梁の根本部分にポロンドープダイヤモンドからなる歪ゲージが1つ形成されている。このチップに振動を与えると，中央のおもりの部分が変形し，歪みはその根本部分で最大になる。そのため根本部に歪ゲージを配置することにより振動に応じた抵抗値の変化を検出することができる。

試作プロセスを図3と同様である。380 μ mのシリコンウエハを基板としてチタンマスクによりアンドープダイヤモンドを選択成長させている。その上にさらにクロムマスクによりポロンドープダイヤモンドを成長させ，歪ゲージが形成されている。アンドープダイヤモンドをマスクとしてシリコンをドライエッチングにより削除し，片持ち梁の構造体を製作している。試作したチップを図11に示す。

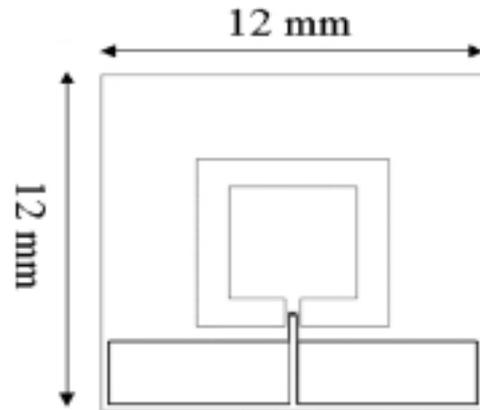


図10 振動センサのレイアウト

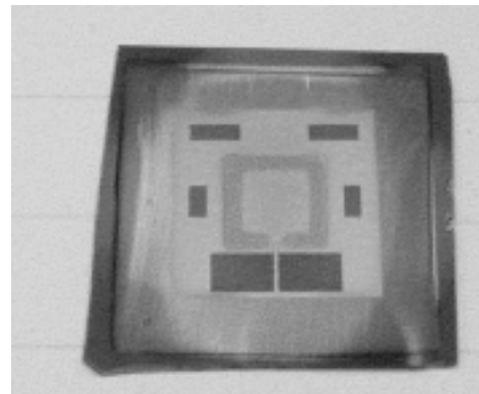


図11 振動センサチップ

2.4 振動センサの評価

試作した振動センサの評価は新川センサテクノロジー(株)において、**図12**に示す測定系により行った。振動センサは**図13**に示すハウジングにセラミックスペースを介してねじで固定されている。振動センサチップ上では、導電性エポキシを用いてリード線がチップ上の歪ゲージ部に接着されている。ハウジングに固定された振動センサは、加振機上にセットされる。加振機上部には、ヒータが配置されており、センサ温度を変えながら、加振加速度を変化させることが可能である。

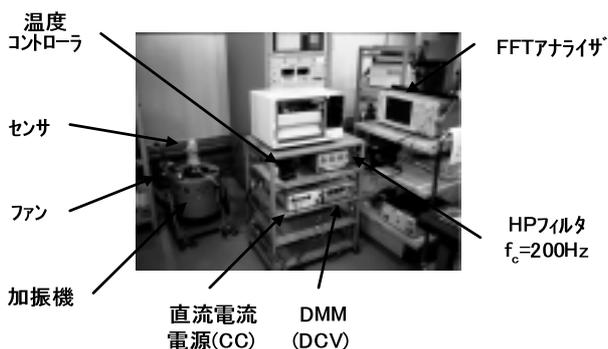


図12 振動センサの測定系

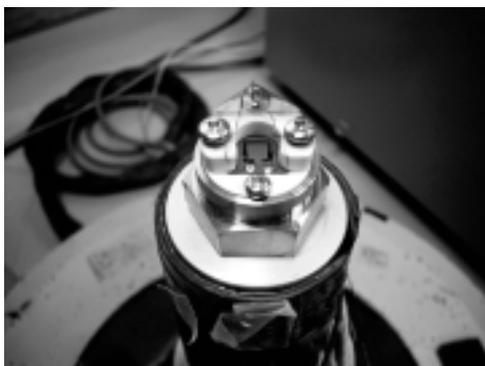


図13 パッケージングされた振動センサ

測定結果を**図14**~**16**に示す。

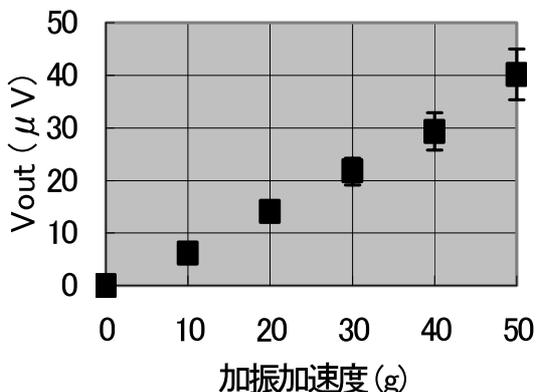


図14 加振加速度 - 出力電圧特性

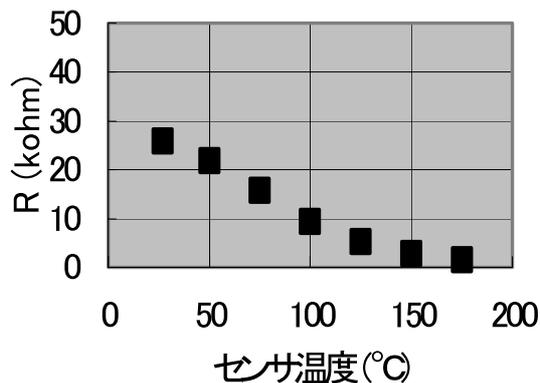


図15 抵抗値の温度特性

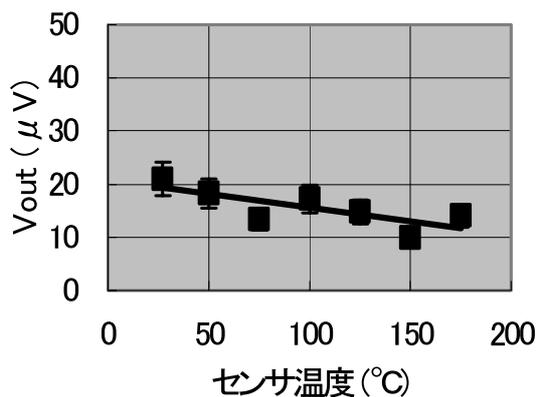


図16 温度 - 出力特性

出力は抵抗値の変化を電圧の変化に変換して記録している。加振加速度に比例して出力が増大しているのがわかる。また圧力センサと同様に歪ゲージの抵抗値は温度とともに減少するが、180 程度の高温でも使用可能であることがわかる。

4 結 言

高温で使用できる圧力センサ及び振動センサを試作し、その性能評価を行った。その結果、圧力センサについては250 ，振動センサについては180 までの範囲でセンサとして使用可能であることがわかった。

本研究の遂行に当たりまして京都大学小寺教授，神野助教授にご指導いただきました。深く感謝いたします。なお本研究は中小企業庁の中小企業技術開発産学官連携促進事業により実施するとともに，センサの性能評価については，ミヨシ電子(株)，新川センサテクノロジー(株)において行った。

文 献

- 1) M. Aslam, I. Taher, and A. Masood, Appl. Phys. Lett. **60** (1992) 2923 .
- 2) Davidson, D. R. Wur, W. P. Kang, et al., Diamond and related Materials, **5** (1996) 86 .