

7 マイクロマシーニングによる高温用センサの開発

山本 晃, 縄稚典生, 筒本隆博

Development of pressure sensor and vibration sensor for using high temperature

YAMAMOTO Akira, NAWACHI Norio and TSUTSUMOTO Takahiro

We have developed prototype pressure and vibration sensors using boron doped diamond resistor for high temperature in previous study. For practical sensors, it is important to suppress a change in the resistors properties with time. In this study, we used an accurate mask pattern for fabricating balanced bridge and used SiO₂ and DLC for a passivation film. New metal contact to diamond and a package for 500°C was developed.

キーワード：ダイヤモンド, 圧力センサ, 振動センサ, マイクロマシーニング

1 緒 言

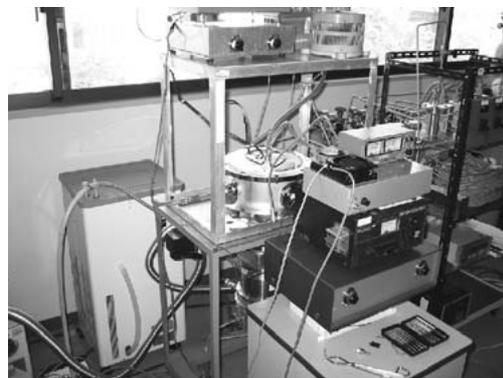
シリコンマイクロマシーニング技術により高性能で安価な半導体圧力センサ, 加速度・振動センサが実現し, 自動車用をはじめとして幅広い産業分野で用いられている。しかし半導体圧力センサ等に用いられるシリコンの拡散抵抗は120°Cを超える高温では基板とのアイソレーションの悪化により, 実用的には使用できないという問題があった。そのため高温半導体であるダイヤモンドを利用して高温用センサを実現しようという試みが各所でなされている¹⁻²⁾。近年, 自動車用エンジンの効率的制御やガスタービンなどの効率化のために, より高温での燃焼制御の必要性が高まっている。既に平成14年度からの研究でピエゾ抵抗効果を高めるためのボロンドープダイヤモンドの合成技術を確認するとともに, 平成15年度には高温用圧力センサ, 振動センサの試作及び評価を行っている。今年度は, 実用化に際して重要になるセンサの経時変化の低減, ゲージ抵抗の均一化並びにより高温領域に対応するためのコンタクト及びパッケージング技術の開発を行った。

2 経時変化の低減とゲージ抵抗の均一化

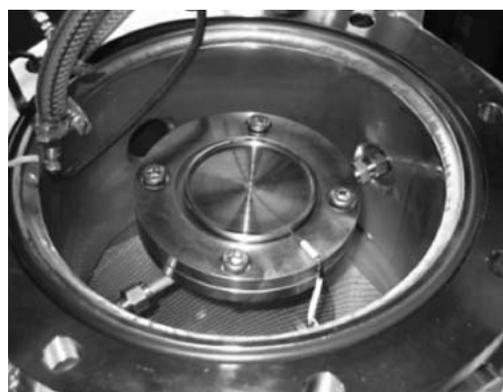
2.1 経時変化の低減

半導体圧力センサ等においては, 周囲の環境等により検出部が露出したままの場合, 時間の経過とともに抵抗値, センサ出力等が変動する。高精度なセンサを実現するためには, 環境変化を受けにくいパッシベーション膜が必要になる。本実験では, TEOS (テトラ

エトキシシラン) により SiO₂と DLC の2種類の膜を成膜し, パッシベーション膜としての性能をアルカリ溶液中におけるエッチング試験により評価した。図1に SiO₂及び DLC の成膜装置を示す。本装置は ICP-RIE 装置を改造し, 基板側に高周波バイアスを印加できるとともに TEOS 導入システムを付加している。



(a) 外観



(b) プラズマ CVD 装置の内部

図1 SiO₂と DLC の成膜に用いた ICP プラズマ CVD 装置

表1 SiO₂とDLCの成膜条件

膜種類	原料ガス	テトラエトキシシラン
SiO ₂	成膜圧力	5 Pa
	成膜時間	30分
	ICP 電力	100W
DLC	成膜圧力	5 Pa
	成膜時間	30分
	基板電力	50W

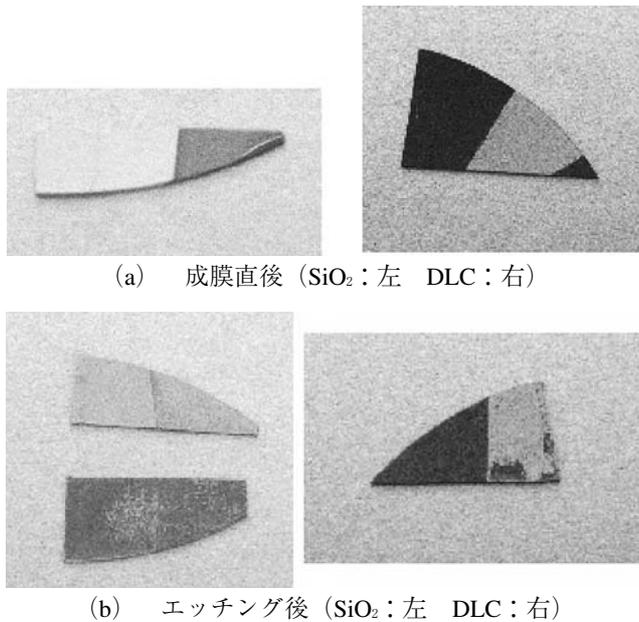


図2 パッシベーション膜の成膜後(a),エッチング後(b)の様子

成膜条件を表1に、成膜結果を図2に示す。基板にはシリコンの鏡面研磨基板を用いた。SiO₂の成膜においてはICPでTEOSを分解し、下部の基板ホルダー上に堆積させた。DLCの成膜においては基板ホルダーに高周波電力を印加し、容量結合性プラズマによりTEOSを分解、セルフバイアスにより加速して基板ホルダー上にDLCを成膜した。パッシベーション膜としての特性を評価するために通常、シリコンのエッチングに用いられるKOH水溶液(70% 80℃)を用いて膜の耐食性の試験を行った。実験結果を図2(b)に示す。SiO₂膜の方はKOH水溶液中に浸潤させると約10分で膜の剥離が生じた。一方、DLC膜の方は1時間の浸潤においても膜の損傷、剥離は見られなかった。成膜条件等によって膜の密着性、密度等は変化すると考えられるので一般化はできないが、本実験においてはTEOSによるDLC膜が優れた耐食性を示した。

2.2 ゲージ抵抗の均一化

半導体圧力センサ等においては通常、ブリッジを形成して測定を行うため、当初のゲージ抵抗はできるだ

けバランスがとれ、同一の値であることが望ましい。当所におけるセンサの試作においてはマスク作成時の誤差等からブリッジを形成する各抵抗の値がばらついていて、そこで実用化を目指してゲージ抵抗の均一化を図るためにガラスマスクを外注加工し、均一性の向上を図った。マスクのレイアウトを図3に示す。これは圧力センサ用のボロンドープダイヤモンド形成用のメタルマスクを作成するためのものである。中央のダイヤモンドフラム部を囲んで4つの抵抗が形成される。抵抗の値は線の幅と長さで決まるが、従来はこの4つの抵抗の幅に違いが生じたため抵抗値がばらついていた。

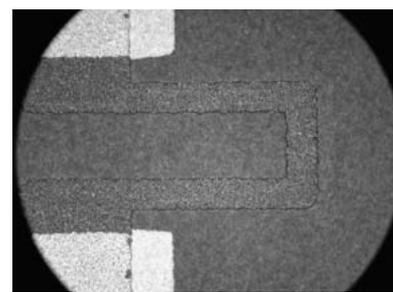
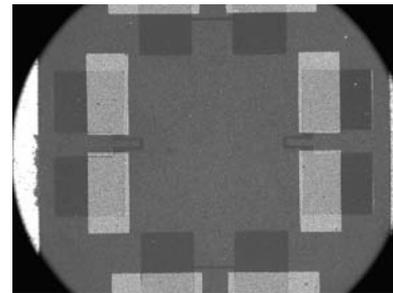
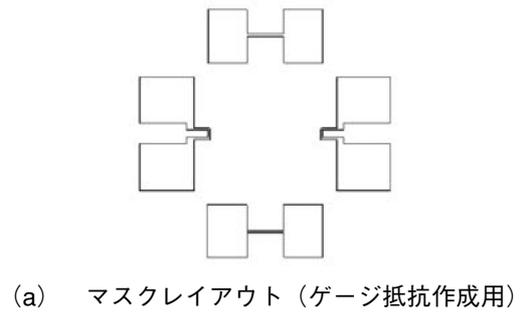


図3 マスクレイアウト及び実際の抵抗

外注マスクにより試作を行った結果を図4に示す。抵抗値のばらつきを1%以内におさえることができた。

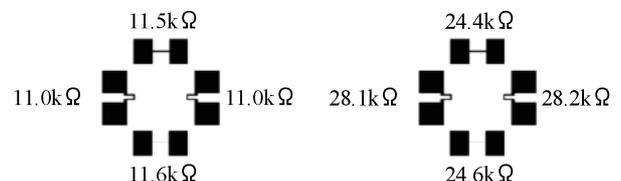


図4 試作したチップ内の抵抗値

3 高温対応コンタクトとパッケージング

これまで圧力センサの試作においては金線によるワイヤボンディングによりゲージ抵抗からのコンタクトを形成するとともに、振動センサの試作においては導電性接着剤を用いてリード線取り出しを行ってきた。しかし300℃を越えるとコンタクトの抵抗値が増大するなどの問題が生じた。このため300℃以上の高温で安定して使用できるコンタクトが必要となる。そこで本研究では、従来からダイヤモンドの接合に用いられる金属とのメタライズ技術の適用を検討した。ダイヤモンドと金属の接合については、当所の過去の研究³⁾でも実績のあるチタン、銀ろうによる銅線とのコンタクトの形成を試みた。

圧力センサの場合、200℃以下の領域で使用する際にはガラスやシリコン等の台座を用いることが可能であるが、これを越える高温領域では新たな封止技術が必要である。そのため本研究では500℃程度の領域まで確実かつ簡便に封止ができる VCR 継手を用いた圧力センサパッケージの利用を試みた。

3.1 コンタクト形成技術

ダイヤモンドにはそのままではメタライズが困難であるが、活性金属として知られているチタンを用いることで銀ろうなどにより接合を形成することが可能である。そこでポロンドープダイヤモンド上に通常のコンタクト金属であるチタン、金をパターンニングした後、銀ろう、銅線を配置してホットプレスを用いて 10^{-5} Torr 以上の高真空中で820℃に加熱し熔融させた。メタライズ後の様子を図5に示す。銀ろうが溶解し、ダイヤモンド上に銅線とコンタクトを形成している。このコンタクトについて順方向、逆方向に電圧・電流特性を測定したところオーミックコンタクトであることが確認された。

3.2 VCR 継手による圧力センサパッケージング

VCR 継手においては、円環状の金属製のシール材によりパイプとパイプを気密性よく封止・接続している。そこで図6に示すように圧力センサチップを円板状に形成し、受圧面（ダイヤモンド形成面）をシールに押しつけることにより圧力印加が可能となる構造を実現した。パッケージの外観を図7に示す。真空ポンプによる減圧試験では漏れは確認されなかった。

前出の高温用コンタクト形成、パッケージングを行った圧力センサの特性評価を行った。測定は電気炉を用いて炉内にパッケージ全体を投入する形で行った。

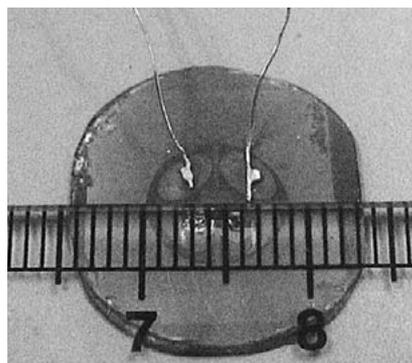


図5 コンタクト部（銅線）

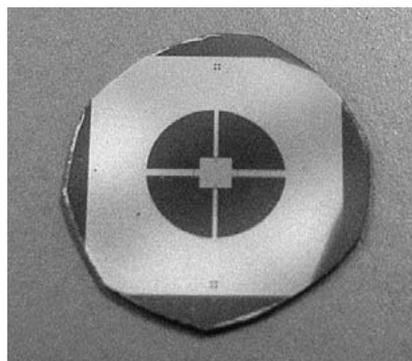


図6 円形圧力センサチップ

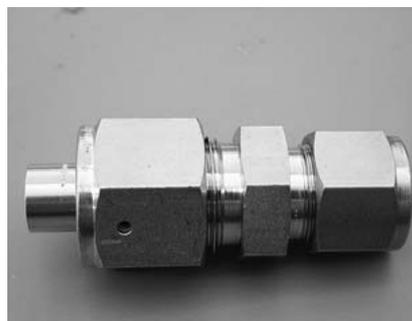


図7 VCR 継手によるパッケージの外観

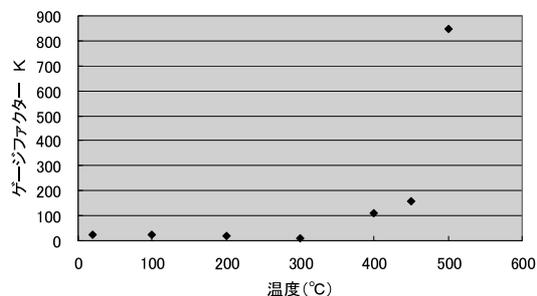


図8 圧力センサの温度特性

測定結果を図8に示す。

従来までのパッケージではコンタクトの問題のために300℃以下での測定しかできなかったが、本パッケージにより500℃までの圧力測定が可能となった。

300℃以下の領域ではほぼゲージファクターは15程度であるが、300℃を越える領域では温度とともにゲージファクターが急激に増加している。この原因は不明であるが温度が上昇したことで急激にキャリアが増大するとともに何らかの理由で移動度が増大したものと考えられる。

4 結 言

高温で使用できる圧力センサ及び振動センサを実現するためのゲージ抵抗の経時変化の低減，ゲージ抵抗の均一化，並びにより高温領域に対応するためのコンタクト及びパッケージング技術の開発を行うとともに，それに基づき圧力センサを試作し，評価を行った。その結果，以下の知見を得ることができた。

- (1) パッシベーション膜としては，TEOS を用いて成膜した DLC が同じ原料を用いて成膜した SiO₂ よりも KOH 溶液中での密着性の点で優れた特性を示した。
- (2) 正確なサイズのマスクを作成し，それを用いてゲージ抵抗のパターニングを行うことにより，ばらつきを 1 % 以内に抑えることができた。
- (3) ダイヤモンドへのコンタクト形成法として新たにチタン，銀ろうを用いた手法を適用し 500℃までの安定したオーミックコンタクトを実現した。
- (4) VCR 継手を用いたパッケージングを行うことにより，500℃までの高温領域で使用できる圧力センサを実現した。

本研究の遂行に当たりまして京都大学小寺教授にご指導いただきました。また圧力センサの性能評価・パッケージングについてはミヨシ電子(株)に，振動センサの性能評価・パッケージングについては新川センサテクノロジー(株)のご協力をいただきました。深く感謝いたします。

文 献

- 1) M.Asalam, 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.
- 3) 新田 明，中村和清，土取 功，筒本隆博，木本祐司：広島県立西部工業技術センター研究報告，**34** (1991)，14