

SOI ウェハを用いた真空封止構造多軸モーションセンサの試作

Fabrication of the Vacuum Sealed Multi-axis Motion Sensor Using SOI Wafer

○渡部善幸*, 三井俊明*, 峯田貴*, 丹野裕司*, 岡田和廣**

○Yoshiyuki Watanabe*, Toshiaki Mitsui*, Takashi Mineta*,
Yuji Tanno*, Kazuhiro Okada**

*山形県工業技術センター, **株式会社ワコー

*Yamagata Research Institute of Technology, **WACOH Corporation

キーワード: 真空封止 (vacuum seal), SOI ウェハ (SOI wafer), モーションセンサ (motion sensor), 加速度 (acceleration), 角速度 (angular rate)

連絡先: 〒990-2473 山形市松栄 2-2-1 山形県工業技術センター 高度技術開発部
渡部善幸, Tel.: (023) 647-3125, Fax.: (023) 647-3129, E-mail: wat@mmp.yamagata-rit.go.jp

1. 緒言

加速度センサや角速度センサは、車載用ではエアバッグ、ナビゲーションなどに使われており、最近ではアミューズメント分野でロボットの姿勢制御やゲームコントローラ、その他携帯電話のナビゲーションなどに使われている。加速度および角速度の複合したモーション（運動量）を検出するには、一般的には複数のセンサが使用されるが、アミューズメントや民生機器などでは、小型、低コストが必要とされるため、ワンチップで複合したモーションを検出するセンサが望まれている。これを目的に、これまで3軸加速度と2軸角速度を検出する5軸モーションセンサの開発¹⁻³⁾を行ってきたが、実用化のためにはセンサの真空封止や作製の高精度化などの課題を残しており、これらを解決するため、SOI (Silicon On Insulator) ウェハを用いた真空封止構造の多軸モーションセンサの試作を行った。

2. センサの構造および原理

センサの構造を図1に示す。センサ中央のSiおもりは、フレームに固定された4本の十字形状の梁で支えられており、おもりの周囲にSi電極が10個形成されている(図1(a))。このSOI構造体が2枚のガラスでサンドイッチされ、センサはガラス/SOI/ガラスの3層構造で、内部が真空封止されている。上下両ガラスの表面には5電極形成されており(図1(b))、おもりの上下で10電極、これとは別にSi全体の共通電極を加えて合計11電極が形成されている。Siフレームを共通電位とし、中央の電極(上下で2電極)が静電駆動用、周辺の電極(上下で8電極)が容量検出用に用いる。センサ内部は、空気の粘性を低減するため真空封止されており、全電極からの信号取り出しは、内部のSi電極を経由し、上側ガラスのスルーホールから外部に取り出す構造としてある。

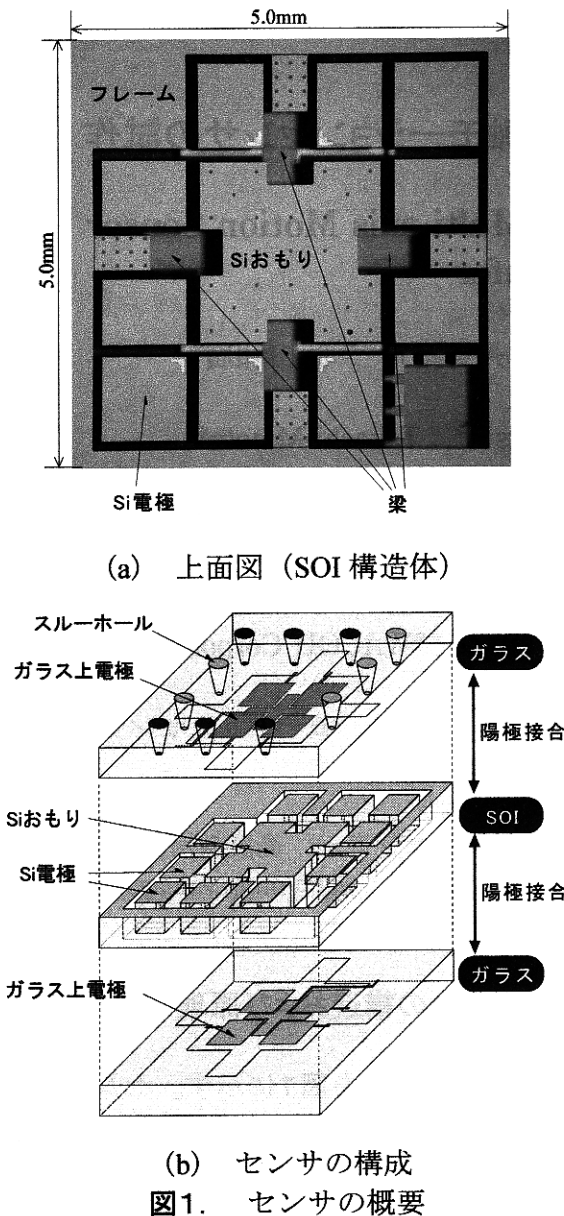


Fig.1 Schematic view of the sensor. (a) Top view of SOI structure. (b) Construction of the sensor.

検出原理は、中央の電極（上下で2電極）に、DC および AC 電圧を印加しておもりを単振動させ、各モーションによるおもりの変位や傾きを周辺の電極（上下で8電極）で容量変化として検出し、多軸モーション（加速度および角速度）を検出する。検出の対象とする加速度は、DC から数十 Hz 程度の低周波であるが、角速度による変位はおもりの振動と同期した数 kHz の振動であるため、加速度と角速度を分離して検出することが可能である。

3. センサの作製プロセス

作製に用いた SOI ウェハは、基板の Si が p 型 ($0.1 \sim 0.3 \Omega \text{ cm}$, (100), 厚さ $675 \mu \text{ m}$) で、埋め込み酸化層 (BOX) が厚さ $2.0 \mu \text{ m}$ 、活性層の Si が n 型 ($0.1 \sim 0.5 \Omega \text{ cm}$, (100), 厚さ $20 \mu \text{ m}$) のウェハを用いた。ガラスは、低温で陽極接合可能な SW-Z (旭テクノグラス製) を用いた。センサの作製プロセスを図2に示す。

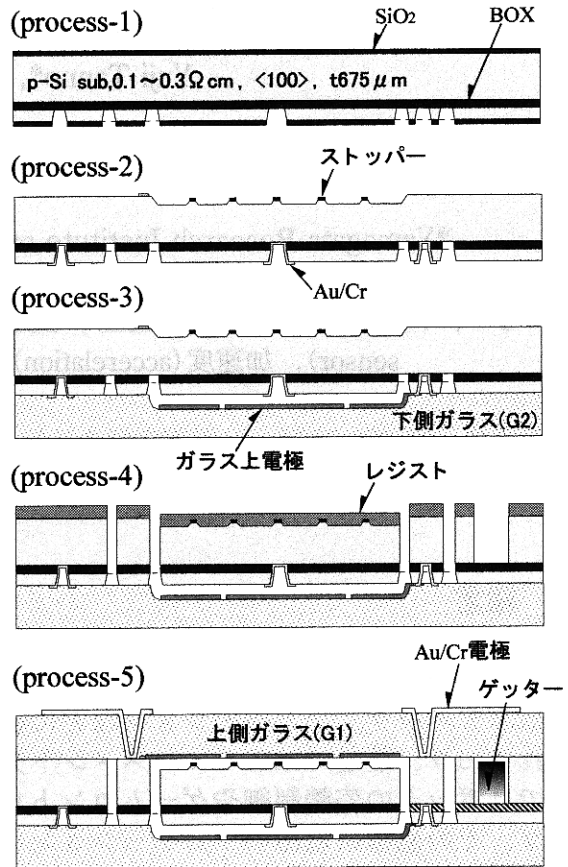


Fig.2 Fabrication process of the sensor

(process-1) 熱酸化膜をマスクに $20 \mu \text{ m}$ 厚の活性層 Si を 20wt.%TMAH (Tetramethyl Ammonium Hydroxide) 水溶液を用いて結晶異方性エッチングし、梁、おもり、Si 電極パターンを形成する。

(process-2) 酸化膜マスクで、基板 Si を TMAH で 2 回エッチングし、おもりの可動 gap およびストッパーを形成する。その後、活性層 Si

と、基板 Si およびガラス上電極との導通のため、SOI ウェハ上下面に Au/Cr コンタクトパッドを形成する。

(process-3)

SOI と、gap および電極を形成した下側ガラス (G2) を 250 °C で陽極接合する。

(process-4)

BOX に到達するまで (深さ 675 μ m) 基板シリコンを Deep RIE (Reactive Ion Etching) で垂直にエッチングし、おもり, Si 電極およびゲッター材設置用のスペースを形成する。

(process-5)

SOI ウェハに非蒸発型ゲッター材 (NEG ; Non Evaporated Getters) をセット後、電解放電加工による穴開けおよび電極形成した上側ガラス (G1) と SOI ウェハを約 10mTorr の真空チャンバ内で陽極接合し、センサ内部を真空状態で封止する。真空封止後、さらに 450 °C で加熱することによりゲッター材を活性化し、センサ内部の圧力をさらに低下させる。最後に信号取り出し用の Au/Cr 電極を形成後、チップ分割する。

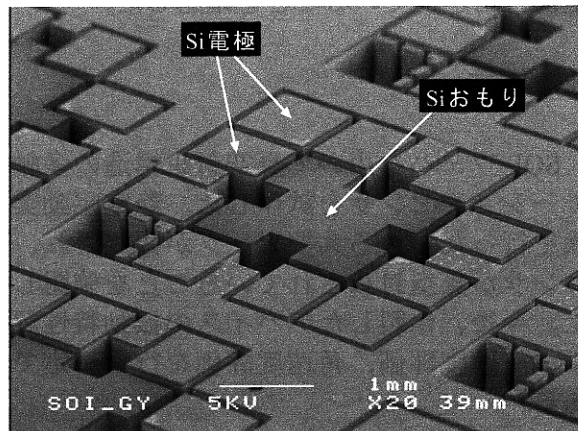
4. 結果および考察

基板の Si を 675 μ m 深さに垂直にエッチングした様子を図3(a)に示す。梁の長さ、おもりの大きさなど概ね設計通りにエッチングされているが、底部では、側壁がかなり粗くなり、貫通部付近には針状突起が見られた。これは、ウェハ固定に用いたグリースに起因するマイクロマスクの効果と思われる。このような針状突起は、キャビティに侵入しておもりの動きを阻害するおそれがあるため、今後はエッチング条件の最適化を行い、針状突起を抑制する必要がある。

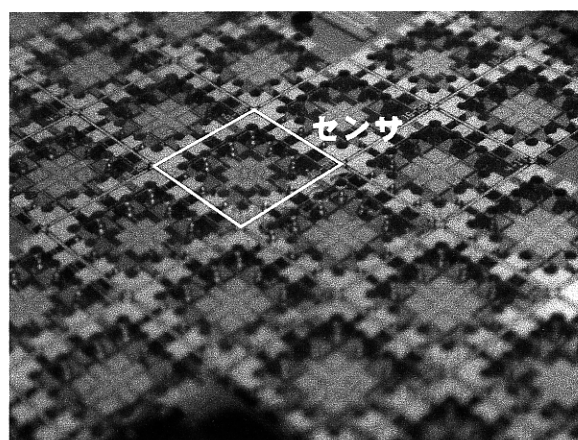
センサ内部にゲッター材をセット後、上側ガラスとの真空陽極接合を行ってウェハレベルの真空封止を行った (図3(b))。この結果、接合すべき面の約 30%が接合されなかったが、これはガラス表面の荒れのためと考えられ、この点も今後の課題である。最後にゲッター材の活性化処理、チップ分割、パッケージへのダイボンドおよびワイ

ヤボンドを行い、チップサイズ $5.0\text{mm} \times 2.0\text{mm}$ のセンサを作製した (図3(c))。

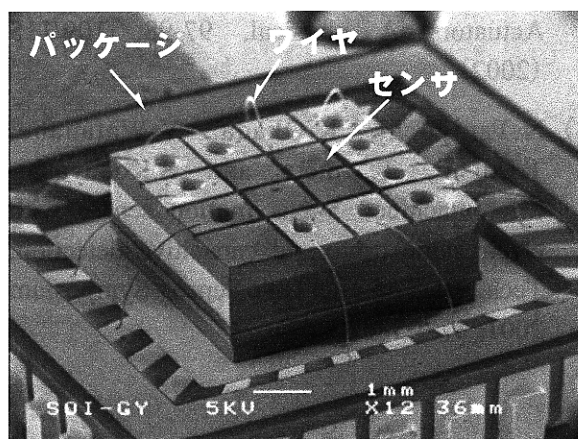
作製したセンサについて、静電駆動, 容



(a) Si の Deep RIE



(b) 真空封止したウェハ



(c) 作製したモーションセンサ

図3. 作製したセンサの写真

Fig.3 Photographs of fabricated sensor. (a) Deep RIE of Si. (b) Vacuum sealed wafers. (c) Fabricated motion sensor.

量検出により振動特性を測定したところ、約 2.9k, 3.7k, 4.0kHz の3つの共振ピークが観測された。これによりセンサ内部が真空に封止されていることを確認した。

5. 結言

SOI ウェハを用いて真空封止構造の多軸モーションセンサを試作した。静電駆動実験を行ったところ共振ピークが観測され、センサが真空封止されていることを確認した。今後、作製したデバイスの振動特性評価、加速度評価、角速度評価を行う予定である。

参考文献

- 1) Y.Watanabe, T.Mitsui, T.Mineta, S.Kobayashi, N.Taniguchi and K.Okada: 5-axis capacitive motion sensor fabricated by silicon micromachining technique, Dig. of Tech. Papers Transducers'01, 446/ 449 (2001)
- 2) Y.Watanabe, T.Mitsui, T.Mineta, S.Kobayashi, N.Taniguchi and K.Okada: Five-axis motion sensor with electrostatic drive and capacitive detection fabricated by silicon bulk micromachining, Sensors and Actuators A physical, 97-98, 109/115 (2002)
- 3) N.Taniguchi, K.Okada, Y.Watanabe, T.Mitsui, T.Mineta and S.Kobayashi: Micromachined 5-axis motion sensor with electrostatic drive and capacitive detection, Tech. Dig. of The 18th Sensor Symposium 2001, 377/ 380 (2001)