

# SiGe 薄膜のマイクロマシンセンサーへの応用

日本学術振興会 科学技術特別研究員 小幡 勤

## 1 緒言

圧力、加速度などの物理量を検出するセンサは、MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) を応用した最もポピュラーな製品として流通している。半導体集積回路作製技術を応用することによって作製されるこれらのセンサは、大量生産、低コストなど優れた特長を有する。

一方、腕時計、携帯電話などの携帯機器は、小型、省電力、高機能化しており、上記センサもこれら機器の一部を構成する部品のひとつとなりつつある。携帯機器の様な機器体積に制限がある場合、これを構成する各部品に対して小型化が要求される。しかし、物理量を検出するセンサは、スケール則に従って小さくなるにつれてセンサの感度も落ちていく。サイズを小さくしても感度を維持するためには、機械的な設計の最適化とセンサ材料の選択を最適化する必要がある。

高速デバイスとしての GaAs は、これまで多くの LSI 等の材料として選択されてきた。しかし、最も進んだ集積回路技術であるシリコン集積回路技術に対しては融合性も悪く、またその材料の脆さが問題となっていた。IBM が、シリコンとゲルマニウムの混晶材料を応用したシリコン集積回路量産技術を開発して以来、高速デバイスはその混晶材料を応用したものが数多く発表されるようになった。この材料はシリコンをベースとしているため、これまでの集積回路技術との融合性しやすく、転位を発生させない程度の格子不整合にコントロールできることから歪シリコン構造などの新しいデバイスも可能にした。ゲルマニウムの組成を可変できることから、キャリアの移動度などもシリコン単体の素子よりも大きくできるためシリコンベースセンサなどへの応用も期待されている。

本研究は、加速度センサを例にとり構造の最適化と新しい材料・SiGe (シリコン・ゲルマニウム) を応用して小型で高感度なセンサを開発することを目的としている。

## 2 加速度センサの試作

加速度センサは、物体に歪みを与えたときに抵抗が変化することを応用した piezo 抵抗型とした。この piezo 素子部を SiGe 混晶領域とすることを狙っている。センサはシリコンのみのものと SiGe を応用したものの 2 種類作製している。

シリコンのみのセンサの作製工程は以下のとおりである。

- ① シリコン基板に保護膜、及びマスクとなるシリコン酸化膜を作製する。
- ② 半導体回路作製技術であるフォトリソグラフィにて回路パターンをシリコン基板上に転写する。
- ③ キャリアのもととなるボロンを回路パターンに数ミクロン埋め込む。
- ④ 異方性エッチングにより重錘を形成する。
- ⑤ アルミ電極を作製する。
- ⑥ ガラスの付加重錘をシリコン重錘下部に陽極接合法により接着。
- ⑦ センサチップに分離する。

なお、SiGe は③の工程の前に回路パターンに埋め込む。

## 3 設計の最適化

piezo 抵抗型センサの場合、その感度は piezo 素子部にいかに応力集中させることができるかによって決まる。最も効率が良い形は、細い梁上に piezo 素子を配置する事であるが、耐衝撃などの信頼性が著しく劣る。逆にダイヤフラム形状だと耐衝撃は優れるが、応力が分散するため効率が悪い。そこで、梁とダイヤフラム構造を組み合わせることでその利点を生かす方法がリブ構造である。リブ構造は、一部の市販品に應用されているもののその基礎的解析データは発表されていない。そこで、FEM (有限要素法) によって応力解析をおこない、試作品との比較を行った。

ダイヤフラム型形状では、応力は扇状に分散し、piezo 素子上に効率的に配置しない。逆にリブ構造では、リブ上に集中して応力が分布し、高効率で piezo 素子上への配置が可能であることがわかった。ダイヤフラ

ム型とリブ構造で計算結果と試作評価結果を比較したところ非常に良い一致が確認された。以上を最適化して試作したセンサ（外形：3.0×3.0×0.7mm）の特性を表1に示す。

項目	単位	特性
外形寸法	mm	3.0×3.0×0.7
感度	X	mV/G
	Y	mV/G
他軸感度(±1G)	%FS	<5
電源電圧	V(DC)	5

表1 試作したセンサの特性

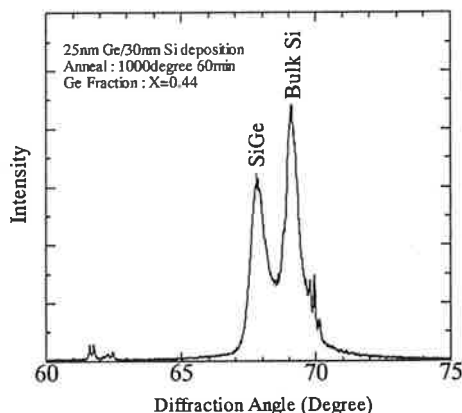


図1 SiGe 薄膜の X 線回折解析

#### 4 SiGe 薄膜の作製

一般的に SiGe 薄膜の作製は、MBE（分子線エピタキシー法）や CVD（化学的気相成長法）などの装置で、超高真空雰囲気で行われる。また、不純物の混入、応力による転位の発生によって、量子効果やバンド構造などに影響があるため、簡易的な手法での薄膜成長は困難となっている。しかし、今回はあえてごく一般的な成膜方法として知られるスパッタ蒸着によって SiGe 薄膜を作製している。その作製方法は以下の通りである。

- ① 酸化膜のついたシリコン基板にピエゾ素子パタ

キーワード： MEMS、 シリコン、 センサ、 SiGe 薄膜

ーンを作製する。

- ② スパッタ蒸着にて、Ge→Si の順で基板温度を管理しながら多層膜を作製する。
- ③ 酸素雰囲気中で約 1000℃の熱処理をおこなう。
- ④ 過酸化水素水で余分な Ge、SiGe を取り除く。
- ⑤ センサ作製の際は、2-③以降に従う。

③の酸化処理によって、表面のシリコンが酸化し Ge の表面偏斥を防ぐとともに、シリコン酸化が進むにつれ SiGe 中の Ge 濃度は濃縮され、シリコン基板側にも熱拡散していく。以上のように作製された SiGe 薄膜の XRD（X 線回折）の結果を図1に示す。シリコン基板ピークの低角度側に SiGe に由来するピークが見られる。多結晶状態で見られるブロードなピークではなく、比較的良好な結晶と均一な組成が得られていることがわかる。

#### 5 SiGe 薄膜の応用

上記に従って、ピエゾ抵抗素子を検出部にもつ加速度センサを試作した。抵抗値は、シリコンベースのものに比べ4分の1程度で、またバラツキの大きいものであった。以上からブリッジ回路による評価が不可能であったので、抵抗単体の変化の確認をおこなった。センサに地球の重力値である 1 G の力を与え、それに伴うピエゾ素子の抵抗値変化を確認したところ、若干の応力依存性変化が確認された。しかし、ブリッジ回路での評価ができなかったこともあり、シリコンベースのものと比較しての優位性は評価できなかった。

#### 6 まとめ

MEMS を応用した超小型センサとそれに必要な新たな材料の形成方法を開発した。新材料の SiGe 薄膜を開発し、それを応用したセンサの試作をおこなった。今後、多方面での応用が期待できる。

## Study of Micromachining Sensors Using SiGe Thin Film

Tsutomu Obata (JSPS Domestic Research Fellow)

This paper reports the fabrication of a piezoresistive detection sensor using the bulk micromachining technique and SiGe material. The evaluation is attempted in the manner of using a computer simulation (FEM) and fabricating the sensors. The Si/Ge thin film on Si substrate was transformed to SiGe alloy layer by thermal diffusion and oxidation. This film will be improved the performance of the Si based sensors.