

マイクロマシニング技術による 風速・風向センサの開発

ポリテクカレッジ福山
(福山職業能力開発短期大学校)

制御技術科
情報技術科

春口良博・市田憲治
寺重隆視

1. はじめに

半導体製造装置の内部は、異物微粒子の影響を避けるために垂直層流のクリーン・エアを流している。しかし、クリーン・エアを流すフィルタが劣化、あるいは故障しても容易に検出する手法がない。半導体デバイスの製造段階において、半導体デバイスの歩留まり低下が判明し、その原因追及の結果、初めてフィルタに問題があるとの結果にたどり着くことになる。このような問題を解決するために風速・風向センサを開発することにした。

かねてから当校では、地域一帯の半導体技術研修体制の構築を目指していたが、広島県東部工業技術センターや広島県商工労政事務所、および地元の大手中半導体デバイスメーカーの協力の下に体制ができあがり、基本微細加工システムの完成に至っている。今回のテーマは、この基本微細加工システムを利用し、製品化を目指したデバイスの研究開発を行う第一歩となる。

2. センサの原理

風速・風向センサを開発するに当たり、風によるヒータの熱流量の変化をセンスする方法を採用することにした。熱流量の変化は、ヒータの抵抗値の変化として現れるが、その変化は小さく感度が低い。ヒータの熱流量の変化に対する感度を上げるには、ヒータの熱容量を小さくする必要がある。そこで、

マイクロマシニング技術を使って数100 μm 単位の小型ヒータを製作することにした。ヒータ材料は、容易に形成可能なポリシリコンを使用した。

センサの表面面積を S 、風速を u 、ヒータと空気との温度差を T とすると、単位時間当たりのヒータからの熱流量 Q は次式となる。

$$Q = (SAu^{1/2} + B) T$$

ここで、 A 、 B は定数である。

安定状態では、この熱流量 Q とヒータの発熱量とが釣り合うため、次式が得られる。

$$i_0^2 R_0 (1 + \alpha T) = (SAu^{1/2} + B) T$$

ここで、 i_0 はヒータ電流、 R_0 は0 $^\circ\text{C}$ におけるヒータ抵抗値、 α はヒータの抵抗温度係数である。

この式から T を求めると次式となる。

$$T = i_0^2 R_0 / (SAu^{1/2} + B - \alpha i_0^2 R_0)$$

したがって、ヒータの抵抗値の変化 R は次式で表せる。

$$R = \alpha i_0^2 R_0^2 / (SAu^{1/2} + B - \alpha i_0^2 R_0)$$

すなわち、ヒータの抵抗値変化を電氣的に検出することにより、風速を知ることができる。また、風向は1対のセンサを90 $^\circ$ の角度で配置することによりセンスできる。

3. ポリシリコン・ヒータの製作プロセス

30 \times 30mm²の大きさのシリコン基板上に熱CVD装置で二酸化シリコンを約6 μm 成膜する。その上に熱CVD装置でポリシリコンを約3 μm 成膜する。フォトリソグラフィ工程、RIE工程でポリシリコンを

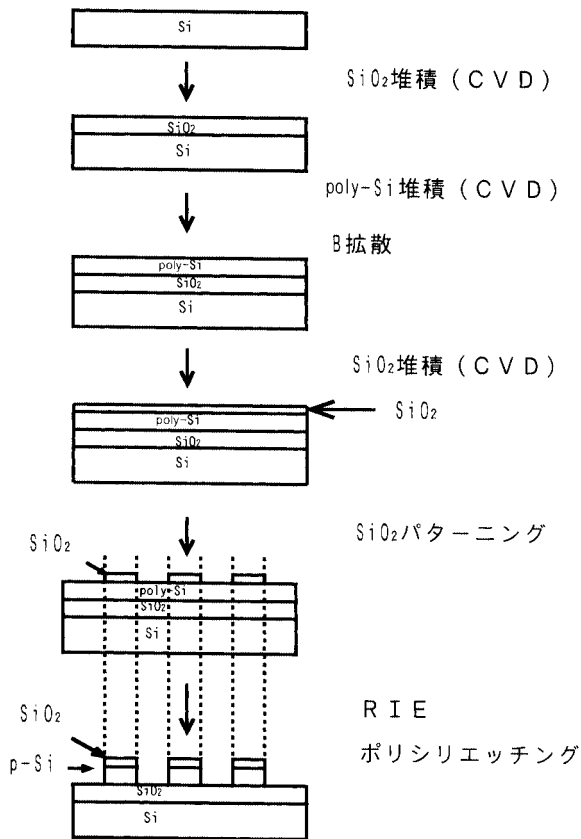


図1 ヒータセンサ製作プロセス

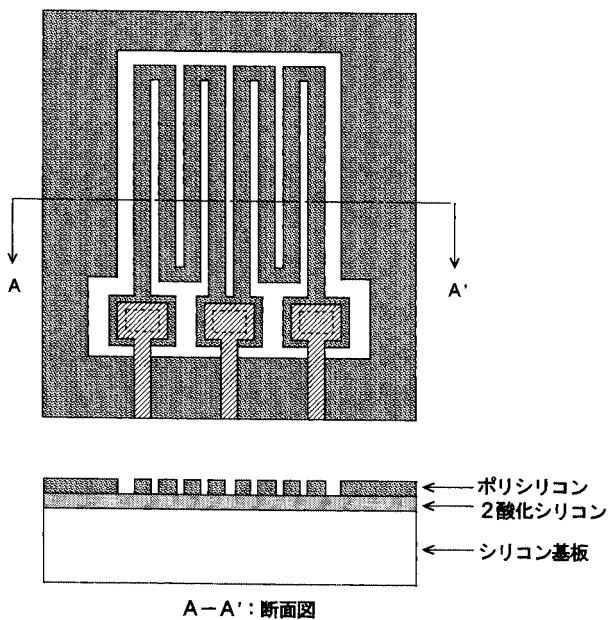


図2 ヒータセンサのパターン

ヒータ形状にパターニングを行う。その後、コンタクト工程、アルミ蒸着工程、フォトリソグラフィ工程、アルミ・エッチング工程等を経て完成させる

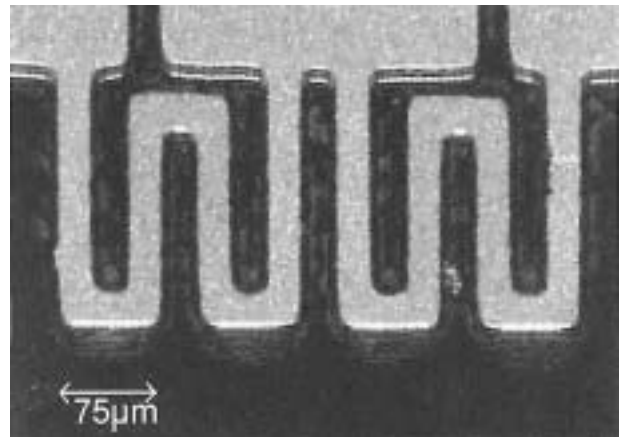


写真1 ポリシリコンパターンとその拡大写真

(図1)

実際のポリシリコンヒータセンサの設計形状パターンを図2に、斜めからの拡大写真を写真1に示す。形状としては、センサの両端および中間に端子取り出し用の端子をおき、W型のヒータセンサを対にした。

4. 評価方法

HEPAフィルターを介して0.5~2.0m/secの風を発生させ、さらにグリッドを通して整流化した風をマイクロヒータセンサに当てる。風速発生系および測定回路系は同じ閉空間に置き、できるだけ外界からの影響を避けるよう配慮した。測定回路系ではヒータセンサを含むブリッジ回路を組み、その出力を動作増幅器で増幅させ、その出力電圧の変化を観測した。ヒータセンサ直後に高精度の市販の風速センサをおくことで、風速のモニタリングを行った。

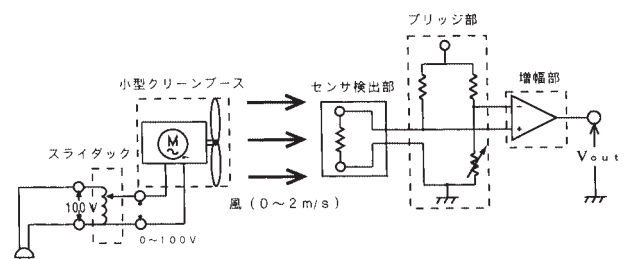


図3 測定系

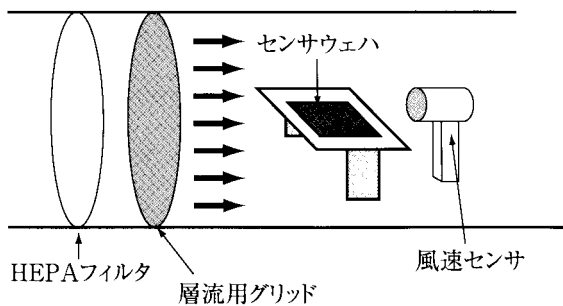


図4 測定環境

5. ポリシリコンの抵抗・温度特性

電圧 - 電流特性（抵抗）は、直線的に変化することを確認した。また、温度に対する抵抗値変化は直線的に変化し、30 と100 間の抵抗値変化率は0.153% / であった。

6. ヒータセンサ製作プロセスの改善

当初予想していたより出力が小さかったため、センサ構造をさらに熱の逃げない構造にすることにした。熱の逃げる要因として、二酸化シリコン上にポリシリコンを形成したものは、ヒータによる熱が二酸化シリコンを通して逃げてしまうことが考えられる。ポリシリコン・ヒータに電流を流しても、ポリシリコン・ヒータ部の温度が上がるのではなく、シリコン基板（30×30mm²）全体の温度が上がっていることを基板の表面温度分布から確認した。

二酸化シリコンの熱伝導率は、決して良いほうではないが、二酸化シリコンの膜厚が6 μm程度と薄いため、二酸化シリコンを通して熱伝導率の良いシリコン基板へ熱が逃げたと推測できる。

そこで、二酸化シリコンの代わりに空気温度を絶縁する構造を考えた。これはマイクロマシニング技術において使われるプロセスを利用し、ポリシリコン・ヒータを支持するものがない、いわゆる中空構造のヒータである。ポリシリコン・ヒータの形成までは3節の製作工程と同じであるが、その後、ポリシリコンをマスクとして、ポリシリコンの下部の二酸化シリコンをエッチングして取り除く方法であ

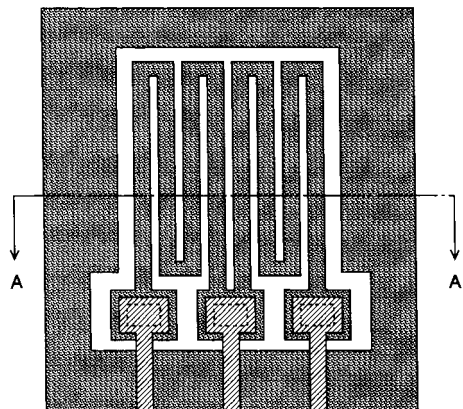


図5 中空構造のポリシリコン・ヒータ

る。二酸化シリコンのエッチングは、37 に加熱したBHF（バッファード・フッ酸）中で約90分行った。中空構造にした際のセンサパターンの断面図を図5に示す。

ポリシリコン・ヒータ下部の二酸化シリコンの有無は、ポリシリコン・ヒータと同じ幅のポリシリコンのチェック・パターンで確認した。

さらに中空構造のポリシリコンヒータセンサの表面温度分布を確認した。二酸化シリコンベースではほとんど表面温度に差がなかったのに対し、中空構造の場合は中央のセンサ部のみ熱され、外部と熱絶縁されていることを確認できた。

7. 評価結果

図6はヒータセンサに当てた風速とブリッジ回路の出力電圧特性である。測定値は3回測定の平均値を用いている。マイクロヒータセンサに当てた風速に対してほぼ比例した出力電圧を得ることができた。しかし感度が小さく出力電圧の値が小さいため測定系に対する外乱の影響を受けやすく、ヒータに当てる風の角度を変えても、出力差を検出するのが困難であり、その角度依存性を検証できなかった。

そこでヒータセンサ形状をW型ではなく厚さ3 μ m, 幅25 μ m, 長さ400 μ mの直線型にし, ヒータに流れる電流値を5 mA一定にして測定した結果を図7に示す。

直線型マイクロヒータセンサに対して, 平行に風を当てたときと, 直角に風を当てたときの風速 - 電圧特性をそれぞれ示す。直線型センサの風速 - 電圧特性は先ほどと同様, 線形性があることがわかる。さらに平行方向に風を当てたときのセンサの出力は, W型と比較して感度が向上しており, 直角方向に当てたときの出力と約10倍ほど差があることがわかる。このことから, この直線型マイクロヒータセンサには感度に角度依存性があるといえる。

センサに対する風向角度による感度の差が極端に大きいため, さらに直線型センサの配置を工夫すれば風速と同時に風向の検出が期待できる。

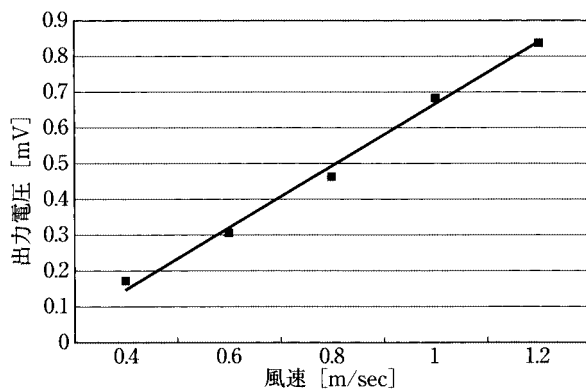


図6 W型マイクロヒータセンサの風速電圧特性

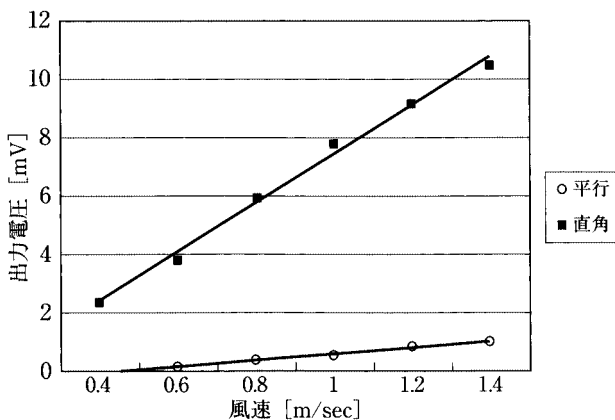


図7 直線型マイクロヒータセンサの風速電圧特性

8. まとめ

中空構造のポリシリコン・ヒータを開発することにより, ヒータ支持部の熱容量がなく, ヒータの感度を上げることができた。さらに直線型マイクロヒータセンサ形状において角度依存性があることを確認した。

今後の課題としては, 現状よりさらにセンサ感度を向上させることである。感度低下の原因としては, ヒータの抵抗が高いことによる発熱量不足と基板 - ヒータセンサ間の間隔が小さく空気断熱効果が十分でなかったためと考えられる。

これからさらにマイクロヒータの形状配置, 抵抗値等の最適な条件を見つけることと, マイクロヒータセンサと基板間の距離と感度の効果の確認が必要である。

謝辞

なお, この研究開発は平成12年度の事業主研究開発事業 (F方式) として行っている。対象団体である備後半導体推進連合会, 特に団体から派遣していただいた櫻井俊夫, 岡野慎吾両氏には多大なるご協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 市田他: 基本微細加工システムの構築, 技能と技術, 1998年5号。
- 2) 江刺他: マイクロマシーニングとマイクロメカトロニクス, 培風館。
- 3) 五十嵐他: Siマイクロマシニング先端技術, サイエンスフォーラム。
- 4) 藤田博之: マイクロマシンの世界, 工業調査会。