

[B19] 光を用いた非接触型流量計の研究開発

知能機械工学科 山田研究室
0114028 久保田壮一

1. 緒言

半導体回路製造ラインにおいて流量計は重要な装置の一つである。これは半導体回路製造ラインで用いられる洗浄液や薬液は純度を保たれつつ高精度な流量管理が要求されるからである。半導体産業の進歩は目覚しく、製造用装置に対する要求も厳しくなっている。そこで、流体への汚染がない非接触型であり、液体の使用量を高精度で測定可能な微量流量計が求められている。しかし、この分野で主流の非接触型流量計である超音波流量計による 10ml/min 以下の領域の測定は、センサ感度等の問題から難しい。そこで我々は生体や食品の内部の情報を無侵襲かつ連続的に計測する手法として近年利用されつつある近赤外分光法を流量測定に応用することを考えた。

近赤外領域において水の吸光度スペクトルは比較的強い温度依存性^[1]を有する。これを応用し水を主成分とする液体の流れを対象とした新型の非接触微量流量計^[2]の実用化を目指す。本研究ではその主要な構成要素となる光による温度変化の検出技術について様々な条件で実験を行い、流量を要求される精度で測定するための問題点を明らかにし、その解決を図ることを目的としている。

2. 測定原理

本流量計の基本原理は一般的な熱式流量計の原理に基づいており、その原理は以下のとおりである。流体をパルス加熱による熱的なマーキングを行い、そのマーカを下流で検出し、その移動時間から流速を測定する(図1)。具体的な装置構成としては、流体加熱用のヒータを配置しその上流と下流で温度測定を行うセンサ部を配置する。上流側が基準温度の測定、下流側は加熱による温度変化の検知の役割を担っている。加熱時間中の中心時刻を基準にとり、温度変化のピーク検出時刻までの時間差 t から流速を測定し、断面積を乗じて流量を算出することができる。

本研究で開発した流量計は、熱式流量計の加熱及び温度測定に光を用いる。特に、温度測定には水の吸光度スペクトルの温度による変化を利用する。例えば波長 1450nm 付近の吸光度スペクトルのピークに注目すると、そのピークは温度上昇に伴い短波長側へ移動する(図2)。すなわち、温度変化により特定の波長における水の吸光度も変化する。吸光度は透過光強度から算出され、この変化の検出により温度変化の検知が可能となる。

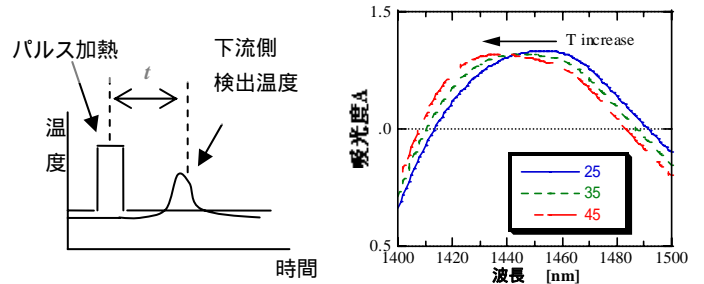


図 1. 加熱流速の測定

図 2. 温度変化によるピークシフト

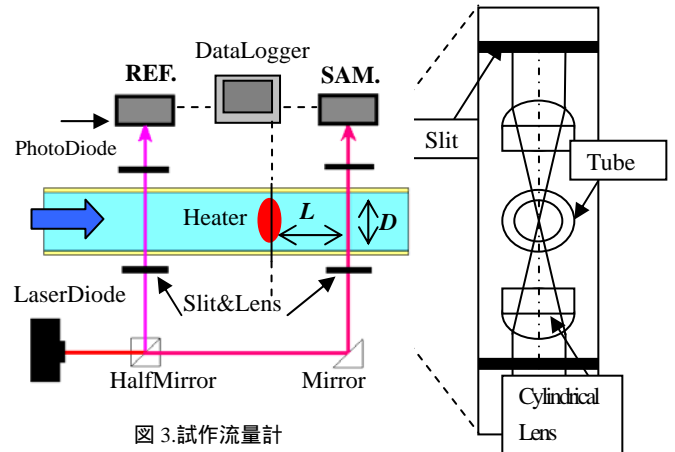


図 3. 試作流量計

表 1 パラメータ変化

パラメータ	条件	変化後の条件
加熱量 q [W]	0.29	0.59
加熱検出間隔 L [mm]	1.5	2.0
管内径 D [mm]	2.0	3.0
溶液	純水	グルコース 30%溶液

3. 実験

図3のように流量計を試作し、光による流量測定の基本実験を行った。ここでは、加熱をニクロム線による電熱加熱で行った。検出に用いた光は半導体レーザーより発振させた波長 1490nm の光であり、チューブ及び、流体を透過した光をフォトダイオードによって検出した。5.0ml/min 以下の流量範囲の定流量をポンプにより発生させ、試作流量計に導入し流量測定を行った。同時に電子天秤で質量の時間変化を測定し校正に用いた。データ収集のサンプリング周波数は 1kHz である。表1のように各条件を独立に変化させその影響を調べた。

4. 実験結果と考察

図4~7において、横軸に体積流量 Q 、縦軸に検出時間の逆数 $1/t$ をとった。これは流量が検出時間の逆数に比例するからである。

4.1 加熱量 q

図4より 1ml/min 以下の領域では加熱量の違いによる測定流量の差は小さいことが分かる。しかし、 1ml/min 以上の領域では、傾向の異なる結果となった。管壁がニクロム線により直接加熱されているため、この管壁の熱が管内の熱分布に影響を与えていると推測される。光加熱では管壁を直接加熱することはないので、加熱量を変化させることによる測定流量の差は小さいと考えられる。

4.2 加熱検出間隔 L

図5より間隔 $L=2.0\text{mm}$ は $L=1.5\text{mm}$ と比較し、勾配が緩やかであることが分かる。勾配が緩い場合、ピーク検出時間のバラつきに対し測定流量の誤差が大きくなるため、精度が落ちてしまうことを意味する。よって、 L を小さくすることにより微量流量を高精度で測定できることが分かる。

4.3 管内径 D

$D=3.0\text{mm}$ の場合、 $D=2.0\text{mm}$ と比べ勾配は緩やかに変化することが分かる(図6)。よって、間隔 L と同様に考えられ、管内径 D が小さいほど微量流量を高精度で測定ができ、逆に管内径が大きいくほど、測定範囲が広がることが分かる。 1ml/min 以下の領域では $D=3.0\text{mm}$ はバラつきが相対的に目立つ結果となった。これは径を大きくすることで光路長は長くなり、透過光強度が弱くなったため、 S/N が悪化したと考えられる。よって光源の出力を上げることや、吸収の弱い波長の光を用いて対処できる。

4.4 溶液

図7より、グルコース溶液で測定を行った際も純水と同様の校正曲線が得られた。これより、純水でなくとも測定できる可能性を示すことができた。

4.5 加熱時間の短縮

測定範囲が限られてしまうのはグラフが平坦になるからであり、これは加熱時間が関係する。加熱中は流体に常に熱量が供給されるため、ピークは加熱時間の後方に現れる。流速が増すにつれマーカの移動時間は短くなるが、加熱時間は変わらないため、ピーク検出時間は加熱時間に漸近する。よって加熱時間を変化させることにより、測定範囲の拡張が期待できる。

5. 結言

試作した流量計を用いて実験を行い、パラメータを変化させ流量測定に及ぼす影響を考察した。それにより、高精度測定のための改善事項を以下に明らかにした。

- ・ 加熱量の変化による測定流量の差は小さい。よって必要に応じて加熱量は独立して設定できる
- ・ 測定可能範囲を広げる為に加熱検出間隔 L を広げると加熱時間を変化させる必要があることが分かった。
- ・ 管内径 D を広げるためにはレーザー出力を上げることや吸収の弱い波長の光を用いる必要がある。
- ・ 水を主成分とする溶液であれば水以外でも測定できる可能性を示すことができた。

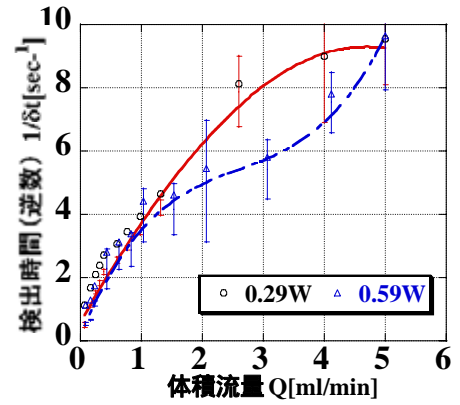


図4.加熱量 q の影響

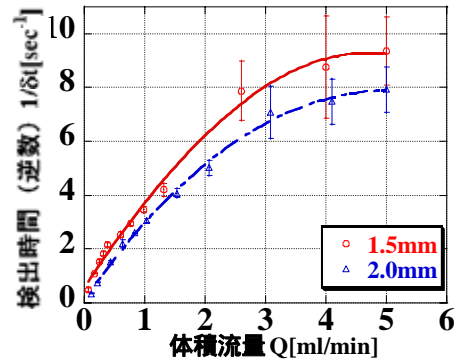


図5.加熱検出間隔 L の影響

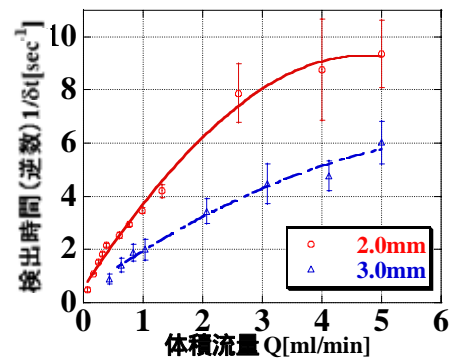


図6.管内径 D の影響

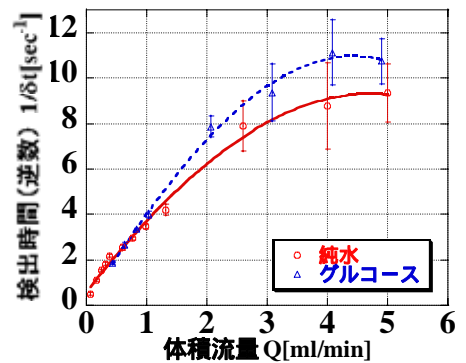


図7.グルコース溶液の影響

参考文献

- [1]. 桃木 秀幸, 有本 英伸, 角田 直人, 山田 幸生, 「近赤外光を用いた無侵襲温度測定」, 電気学会論文誌 C, Vol. 124, No. 9, pp. 1725-1730 (2004)
- [2]. 山田 幸生, 桃木 秀幸, 角田 直人 「流量測定方法およびそれを用いる測定装置」, 特開2004-271523
- [3]. 「技術資料 流体の熱物性値集」 pp.478, 日本機械学会 (1983)