

[B13]光を用いた非接触型流量計の研究開発

知能機械工学科
0214101

山田研究室
山下健作

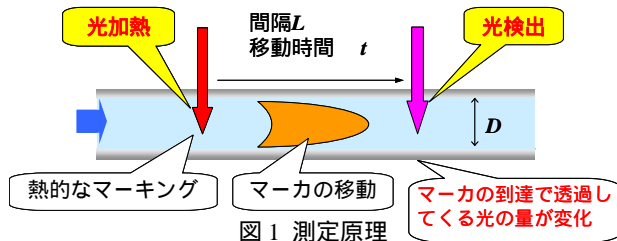
1. 緒言

近年の半導体メーカーは、プロセス技術の進歩と量産時の歩留まりの向上の両立に取り組んでおり、装置に対する要求も厳しくなっている。ウェハと呼ばれる基板の金属汚染は歩留まりを悪くするので、その洗浄プロセスでは微量流量制御が要求されてきている。製造プロセスでは純水や超純水のみならず高純度の薬液も使用される。このような薬液を汚染させないよう、流量計には非接触であることが求められる。現在この分野で主流の非接触型流量計は超音波式である。しかし 10 ml/min 以下の領域を測定可能である実用的な非接触型流量計は存在していない。

そこで我々は食品や生体などに対する無侵襲測定法として応用例の広い、近赤外分光技術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吸光度スペクトルは温度依存性を有する。これを利用した水を主成分とする試料の温度測定の手法が既に示されている。これをさらに応用し、熱トレーサ式の流量計の原理と組み合わせることで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型微量流量計の開発を目指す。新型の流量計では非接触を実現するため、流体の加熱と加熱部の検出を光によって行う。そこで本研究では、光による加熱の実現を目的とし、実験・検討を行った。

2. 原理

本流量計では、図 1 のようにチューブ内を流れる流体に対してパルス加熱によって熱的なマーキングを施し、一定距離 L はなれた下流で光を使ってマーカを検出する。加熱時刻とマーカの検出時刻の時間差を Δt とし、 Δt と流量の関係 $V=f(\Delta t)$ をあらかじめ求めておくことにより流量を求めることができる。



2.1 光によるマーカの検出法

マーカの検出には水の近赤外吸収スペクトルの温度依存性を利用している。吸収スペクトルとは吸光度 A の波長

依存性を表したものである。吸光度は吸収の大きさを表す物理量であり、試料への入射光強度 I_0 と透過光強度 I_t の比の対数によって表される。

$$A = -\log_{10} \frac{I_t}{I_0} \quad (1)$$

波長 1450 nm 付近に依存する水の吸収バンドのピークは図 2(a)のように温度上昇に伴い短波長側へシフトする。本研究で検出光の光源として用いている LD の波長(1490 nm)では、温度が上がると吸光度は下がることになる。図 2(b)は 20 を基準としたとき、温度変化によって生じる吸光度の差を表したものである。

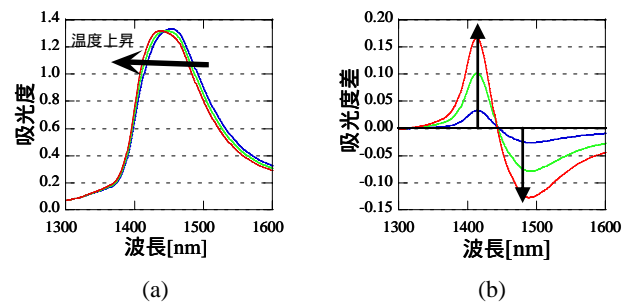


図 2 (a)水の吸光度スペクトル(光路長 1 mm)

(b)吸光度差スペクトル(20 基準)

2.2 光による加熱法

光加熱は、光が物質に吸収されてはじめて加熱されるので吸収の波長依存性を利用することで複数の物質が混在する中で特定の物質だけを加熱することができる。本流量計ではチューブの素材に PFA(Perfluoro Alkoxy)を使用しているため、加熱用 LD の波長は PFA による吸収がなく、水による吸収のある波長を選ぶ。しかし、吸収の強い波長を選んでしまうと光は管壁付近でほぼ吸収されてしまう。そこで断面一様加熱を実現するため、チューブを反射膜で覆う事により吸収の弱い波長の光を管内で往復させ、徐々に吸収させることにした。その結果加熱用 LD には出力 2 W、波長 1050 nm のものを用いた。波長 1050 nm では、光路長 1 mm の水の吸光度は約 0.03 であり、この光が 90% 吸収されるためには 33.2 mm の光路長が必要となる。このことから反射膜の長さを算出すると 6 mm となった。

3. 実験

図 3 のように流量計を試作し、加熱時間 0.2 s と 0.5 s で

流量測定実験を行った。マーカ検出用の光源として出力 2 mw、波長 1490 nm の LD を用い、NPBS を通して光は二分岐させられ、上流側の参照光、下流側の信号光に分けられる。分岐させられた光はスリット、シリンドリカルレンズを通しチューブに入射し、再びレンズ、スリットを通してフォトダイオードにより検出される。データ収集のサンプリング周波数は 1kHz である。出力 2 W、波長 1050 nm の加熱用 LD は、参照光と信号光の間に設置した。

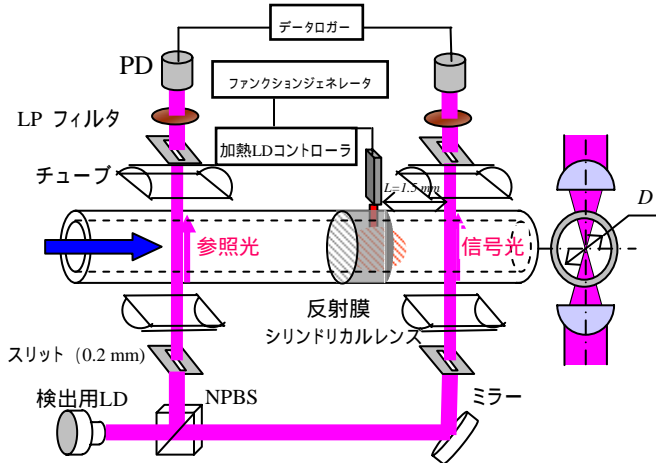


図 3 試作流量計

4. 結果及び考察

図 4 に以前に行ったニクロム線加熱と光加熱の比較を示した。光加熱ではニクロム線加熱に比べて $1/\Delta t$ の値のばらつきが大きくなったが、校正曲線の線形性は高い。光加熱による校正曲線がニクロム線加熱のそれよりも下に位置しているのは、反射膜の影響により Δt が大きくなってしまふことが原因と考えられる。反射膜は、加熱点-検出点距離 1.5 mm で測定したため下流側に対して制限を受けるので、その位置は上流側に偏っている。そのため流体の温度変化は、加熱用 LD の入射点よりもわずかに上流側にピークが現れる。ニクロム線加熱では加熱点にピークが現れるため、ピークの到達時間 Δt は、光加熱の方が大きくなり、結果的に校正曲線が下にシフトしたと思われる。ニクロム線加熱の校正曲線が曲線を描いているのは、加熱中に温度マーカが検出部に到達してしまうからである。光加熱ではニクロム線加熱に比べて Δt が大きいので、同じ加熱時間であれば広い流量範囲が測定可能であることがわかった。 Δt のばらつきを抑えるためには、反射膜を広い範囲に巻く、あるいは水の吸収の強い波長を共振する LD を使用し、加熱効率を上げ、S/N 比を改善する必要がある。

図 5 に加熱時間 0.2 s と 0.5 s の比較を示した。加熱時間が 0.2 s よりも 0.5 s の方が校正曲線が下に位置している。これは加熱中の流体の移動量が増加したため、温度変化のピークがわずかに上流側にずれたためだと考えられる。加熱時間 0.5 s の方が吸光度変化は顕著に現れたが、0.5 s の場合は、0.2 s のときに比べて温度マーカは大きくなるためピーク点そのもののばらつきが大きくなってしまふので、結果としてデータのばらつきは変わらなかった。また加熱時間 0.5 s の場合は加熱中に温度マーカが検出部に到

達してしまい、ニクロム線加熱のときと同様に曲線となってしまふ。このことから加熱時間は短い方がよいが、流体に温度変化を与えるだけの加熱量は必要なので、加熱用 LD の出力との調整が必要といえる。

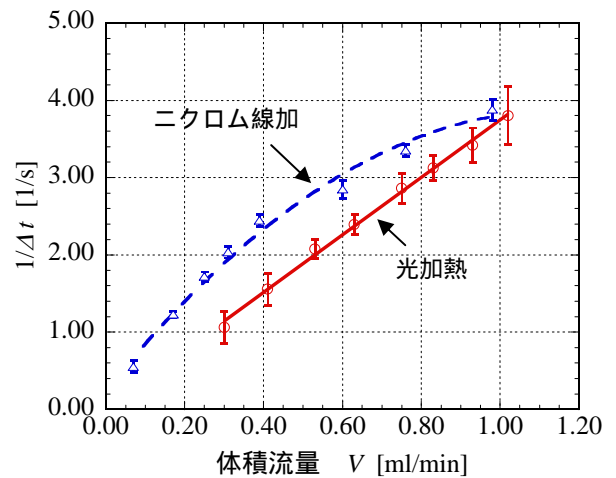


図 4 ニクロム線加熱と光加熱の比較

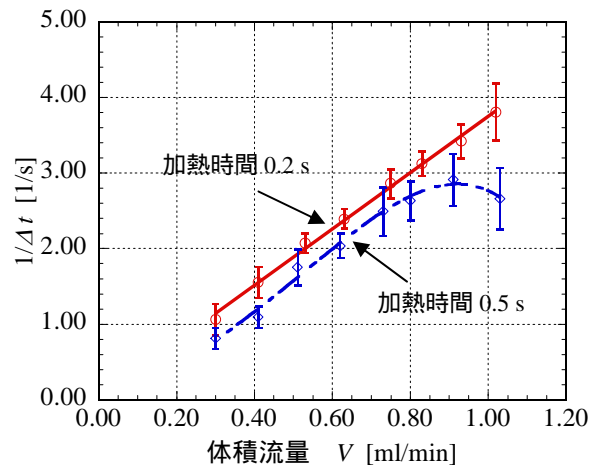


図 5 加熱時間 0.2 s と 0.5 s の比較

5. 結言

0.3 ~ 1.0 ml/min の流量範囲において、光加熱による校正曲線を作成した。測定流量範囲はニクロム線加熱に比べて広いことがわかった。また測定精度向上には反射膜の巻き方や LD 波長について更なる検討が必要である。

参考文献

- [1] 久保田 壮一, 「光を用いた非接触型流量計の研究開発」, 平成 16 年度電気通信大学卒業論文 (2005)
- [2] 桃木 秀幸, 「光の吸収スペクトル変化を用いた流量計」, 平成 16 年度電気通信大学修士論文 (2005)
- [3] 山田 幸生, 桃木 秀幸, 角田 直人 「温度測定方法およびそれに用いる測定装置」, 特開 2004-251766
- [4] 山田 幸生, 桃木 秀幸, 角田 直人 「流量測定方法およびそれに用いる測定装置」, 特開 2004-271523