

集積型マイクロ血流センサーによる加速度脈流の測定

Measurement of Acceleration pulse wave by Integrated Blood Flowmeter

- 森田 巧(日大大学院), 大森 由喜江(日大大学院), 正 坂野 進(日大工)
- Takumi Morita, Yukie Ohmori, Susumu Sakano

日本大学
Nihon University

This paper describes an integrated optical sensor having a DFB LD with a wavelength of 1310nm for a flow monitoring system. This sensor can measure every flow like air, water and blood. In-vivo experiments concerning blood perfusion in a finger confirm the feasibility of the flowmeter.

Key Words : Micro sensor, Flowmeter, FFT Method, Frequency spectrum.

連絡先: 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学大学院工学研究科工学研究科
メカトロニクス研究室 森田巧, Tel:(024)944-4994, E-mail:g15312@cc.ce.nihon-u.ac.jp

1. はじめに

病院内でのベッドサイドモニタリング、遠隔医療、高齢化社会における独居老人の在宅医療、長期生体情報モニターによる個人レベルでの生活習慣病の予防、スポーツ中の生理データ取得などにおいて、生体情報を計測できるウェアラブルな超小型センサーが求められている。また、体内に挿入されて用いられる医療用内視鏡における小型センサーは、将来の検査、診断、治療にはなくてはならないものになっている。

最近の高齢化社会の中で生活習慣病を中心とする健康問題が大きく取り上げられているが、これらの病気が血液循環と深く関連していることがわかっている。そのため、生体情報のなかでも抹消血液循環機能を反映する組織血流量を測定するレーザー血流計に着目し、マイクロマシニング技術による超小型集積型マイクロ血流センサーについて述べる。

2. マイクロ血流センサ

2.1 構成と原理

図1に集積型マイクロ血流センサと皮膚断面の模式図を示す。センサの構成は、InGaAsP/InP 分布帰還形半導体レーザ (DFB-LD)、断面入射屈折型 PD、遮光用シリコンキャップ、フッ素化ポリイミド導波路を形成したシリコン基盤からなる (シリコン基盤寸法: $2\text{ mm} \times 3\text{ mm}$)、DFB-LD の端面から出射したレーザ光は、フッ素化ポリイミド導波路を伝搬する。導波先端はレンズ機能を持たせるため、凸状にエッチングされており、水平方向に広がっていくビームはここでほとんど平行になる。照射された光は、皮膚および皮下組織中で散乱吸収を繰り返しながら後方散乱光として戻ってくる。毛細血管を流れる赤血球で散乱された光はドップラーシフトし、静止組織で散乱されたドップラーシフトしてない光と干渉してPDで電気信号に変換される。

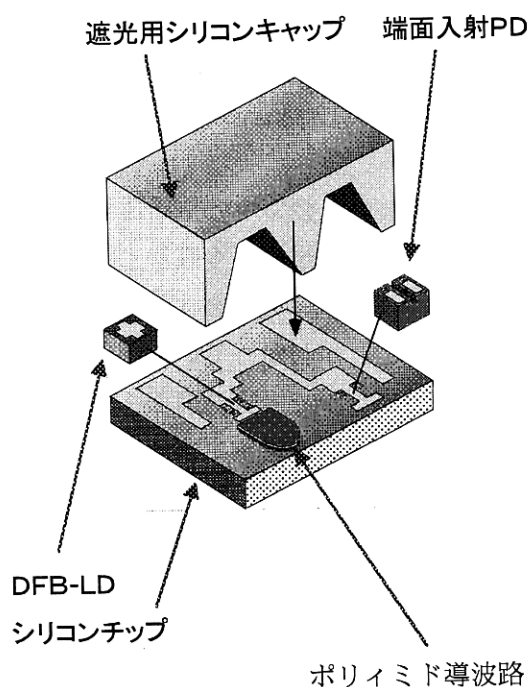


Fig.1 Construction of optical sensor

この信号のパワースペクトル $S(\omega)$ の 1 次モーメント $\langle \omega \rangle$ が、ドップラーシフトした赤血球の濃度 $\times$ 平均速度に比例するという血流計アルゴリズムを用いて、外付けの信号処理回路により演算し、組織血流量として出力した。

2.2 パッシブアライメント技術

従来のレーザ血流計はヒートシンクにモジュール化されたレーザダイオード (LD) やフォトダイオード (PD)、レンズ、ファイバなどの個別光学部品を光軸合わせ (アクティブアライメント) することにより作製されている。しかし、数多くの部品点数を要するとともに組み立て工程に時間がかかるために装置が大型となり、大幅なコスト低減は困難であった。これらの問題を解決するためには、部品点数を最小限に抑え、モジュールの組み立て工程を簡易化する必要がある。

このため光軸調整を不要としたパッシブアライメント実装技術の開発が進められている。光学素子の集積形態には、プロセス技術のみで光学素子を集積するモノリシック型と一部素子を表面実装して集積するハイブリッド型がある。このハイブリッド光集積技術は個別光学素子のアライメントが一切不要なモノリシック集積に比べて、多様な異種光材料素子や異なった技術で製作した特性、信頼性の良い素子との組み合わせ自由度の大きさの点で優れており、高性能で安価な超小型光マイクロセンサを実現する有効なアプローチである。

実装基盤にシリコンを用いた理由については、以下に示す。

- ・ エッチングにより基盤表面に高精度な凹凸をさくせいできる。

- ・ 表面を酸化させ酸化膜(絶縁体)を製作することにより、電極やはんだ膜のパタニングが可能である。
- ・ 熱伝導が高いのでLDのヒートシンク材として最適である。

さらに、将来プリアンプやLD駆動回路などのような電子素子(IC)との集積回路も可能である。パッシブアライメントを実現するためには、LDと光導波路の位置決めを高精度に行う必要がある。シリコンテラス(凸部)はLD搭載時の高さ基準面として機能する。シリコンテラス高さ、電極厚さ、はんだ厚さ、LDの活性層高さを加えたものが、光導波路コア高さまでの高さとして一致するように設定してある。したがって、LDをシリコンテラス上に搭載するだけで、光導波路との高さ方向位置合わせが実現できる。また、シリコンテラス部には、Au/Pt/Tiアライメントマークがリフトオフ法により形成してある。搭載するLD表面にも表面電極とともにアライメントマークが形成してある。これらアライメントマークによる2次元パッシブアライメント法によってLD、PDの位置合わせを行った。この構成により光軸調整数を従来の6軸からx、y、 θ の3軸に低減することができるため、低コスト化を実現することができる。

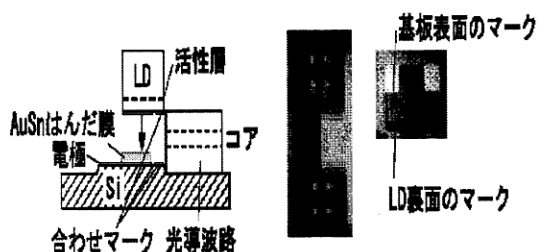


Fig.2 Passive alignment technology

3. 血流測定実験

本マイクロ血流センサに使用したDFB-LDの波長は $1.3\mu\text{m}$ を用いた。従来の血流計の波長は $0.6\sim 0.8\mu\text{m}$ 程度であった。波長が $1.1\mu\text{m}$ 以下では、メラニン色素やヘモグロビンでの吸収率が大きい。一方、今回使用した波長 $1.3\mu\text{m}$ では、水での吸収率は若干あるが、これらの吸収が小さいため、皮膚透過率が高い。そのため、メラニン色素やヘモグロビン量の影響を受けにくく、より深部の血管の血流量測定が可能であると考えられる。本センサを用いて人間の指先の血流量を測定した。図3は、本マイクロ血流センサによる測定結果である。細かい波形は脈拍に対応しており、脈波が顕著に検出できた。

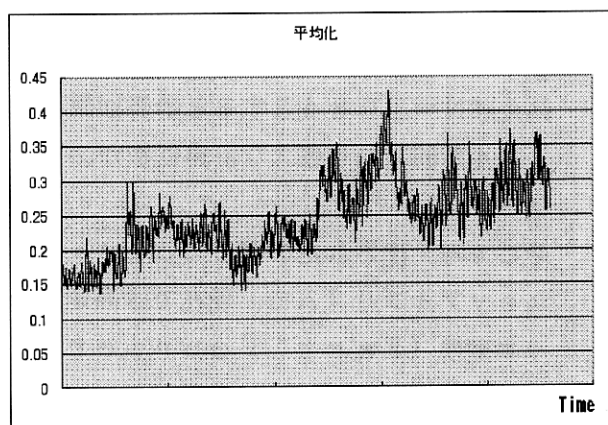


Fig.3 Experimental result

4. 血流状態の診断

4.1 周波数スペクトルからの診断

本マイクロ血流センサによって出力した血流速度をフーリエ変換させることによって求められる周波数スペクトルから血流状態の診断しようというものである。これにより、年齢相応の血管や血流の状態なのか、あるいは血管壁の硬化が進んでいるか否かが短時間で評価することが可能である。

4.2 高速フーリエ変換 (FFT) とは

コンピューター等で大量のサンプリングデータを離散フーリエ変換するとき、計算回数を減らすために高速フーリエ変換というアルゴリズムがある。

普通に離散フーリエ変換を計算すると、 W_N^{kn} は前もって用意しておくとして、 N^2 回の複素数乗算と複素数加算を繰り返すことになる。

例えば $N = 1024$ とすると計算回数は約 104 万回となり膨大な計算回数が必要となる。

そこで考え出されたのが Cooley-Tukey アルゴリズムで、現在では高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) と呼ばれている。このアルゴリズムを使うと、計算回数は $N \log_2 N$ となり、 $N = 1024$ とすると計算回数は約 1 万回となり、大幅に計算回数を減らすことができる。

4.3 診断結果

結果の一例を図 4 に示す。周波数スペクトルのピークが高ければ血液が安定して流れていることを示します。

パワースペクトル

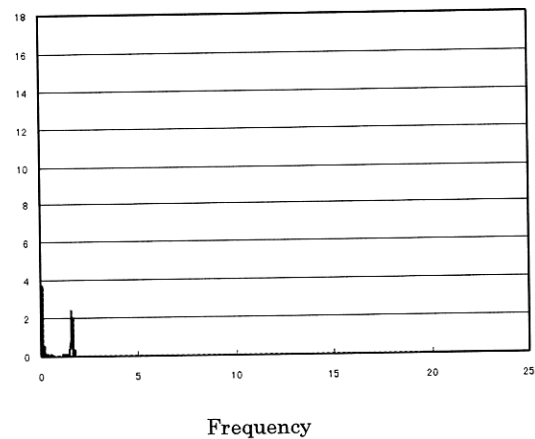


Fig.4 周波数スペクトル

5. おわりに

集積型マイクロ血流センサを用いて指先血流量が高感度に測定可能であることを示した。また、血管壁や血流状態を明らかにすることができた。狭心症、心筋梗塞あるいは動脈硬化といった血管、血流に直接関係してくる病気はとくに早期発見が重要で、本センサはそのためのウェアラブル生体情報センサとしての見通しを得た。

参考文献

- 1) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理 (1994)
- 2) 雨宮 好文, 佐藤 幸男：信号処理入門(1989)
- 3) 森田 巧, 大森 由喜江, 坂野 進：集積型マイクロ血流センサー, 日本機械学会東北支部第 39 期秋季講演会論文集 pp.297-298