

# **OPTOELEKTORNIKA W MEDYCYNIE**

## **Laboratorium**

Instrukcja do ćwiczenia nr 3

Temat: Proces stygnięcia płynów

## Wstęp

Ćwiczenie przedstawia metodę monitorowania temperatury płynów w czasie rzeczywistym przy użyciu czujników światłowodowych. Specjalna technologia kryształów półprzewodnikowych odgrywa ważną rolę w metrologii. Zaproponowano sposób pomiaru czujnikiem opartym na wykorzystaniu interferometru Fabry-Pérot (IFP).

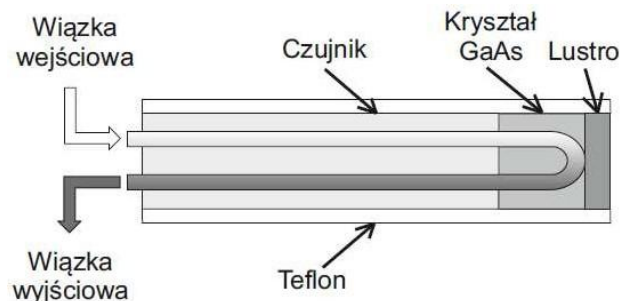
**zagadnienia do samodzielnego opracowania:** prawo stygnięcia Newtona; budowa i zasada działania światłowodowego czujnika temperatury; model pasmowy przewodnika, półprzewodnika i izolatora; parametry termodynamiczne cieczy; oddziaływanie temperatury na tkankę ludzką;

### 1. Technologia arsenku galu

Głównym elementem układu pomiarowego jest czujnik światłowodowy wykonany na technologii arsenku galu. Arsenek galu (GaAs) jest związkami półprzewodnikowym złożonym z dwóch składników, galu (Ga) i arsenu (As). Zaletą użycia arsenku galu w urządzeniu jest to, iż generuje mniej zakłóceń niż większość innych materiałów półprzewodnikowych i w rezultacie, jest przydatny przy stosowaniu słabych sygnałów. GaAs jest bardzo odporny na zakłócenia spowodowane promieniowaniem elektromagnetycznym, to, wraz z wysoką wydajnością, czyni arsenek galu bardzo pożądanym do zastosowań metrologicznych oraz pozwala przesyłać informacje szybko i na duże odległości.

### 2. Zasada działania czujnika światłowodowego

Zasada działania czujnika opiera się na interferencji fali świetlnej, które przetwarzane są na informację cyfrowe. Zjawisko to jest przedstawione na rysunku 1:



Rysunek 1. Schemat działania czujnika opartego na technologii arsenku galu.

Źródło: [www.fiso.com](http://www.fiso.com)

Ciągłe szerokopasmowe źródło światła jest używane do oświetlenia układu półprzewodnikowego poprzez jednomodowy światłowód. Fotony o wystarczającej energii mogą być pochłonięte przez sprężyste zderzenia z elektronami pasma walencyjnego, a zatem pozwolą na przeskoczenie do pasma przewodzenia. Obydwa pasma są oddzielone przerwą energetyczną ( $E_g$  wyrażone w eV), która oczywiście zależy od struktury półprzewodnika, ale również ciśnienia hydrostatycznego i temperatury jak przedstawia równanie (1) i (2) odpowiednio:

$$E_g(P) = E_g(0) + b \cdot P - c \cdot P^2, \quad (1)$$

gdzie  $P$  jest ciśnieniem wyrażonym w GPa i dla arsenku galu w temperaturze 300K

$$E_g(0) = (1,43 \pm 0,01) eV, \quad b = (10,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} eV/GPa \quad \text{i} \quad c = (14 \pm 2) \cdot 10^{-4} eV/GPa^2.$$

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha \cdot T^2}{\beta + T} \quad (2)$$

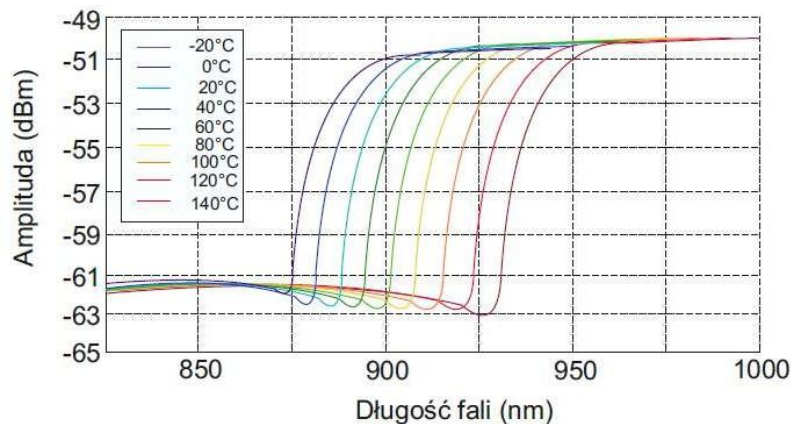
gdzie  $T$  jest temperaturą wyrażoną w K ( $0K < T < 10^3 K$ ) i dla GaAs przy ciśnieniu w warunkach normalnych  $E_g(0) = 1,519 eV$ ,  $\alpha = 0,541 \cdot 10^{-3} eV/K$  i  $\beta = 204 K$ .

Gdy półprzewodnik jest oświetlony przez szerokopasmowe źródło światła, fotony mogą oddziaływać z elektronami walencyjnymi zależnie od ich energii wyrażonej wzorem:

$$E_\gamma(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \approx \frac{1239,84}{\lambda} \quad (3)$$

gdzie  $E_\gamma$  jest energią fotonu wyrażoną w eV,  $\lambda$  jest długością fali fotonu wyrażoną w nm,  $h$  jest stałą Plancka,  $c$  jest prędkością światła w próżni i  $e$  jest bezwzględną wartością ładunku elementarnego elektronu.

Wysoka energia fotonów (mniejsze długości fal) jest w przybliżeniu pochłaniana, gdy  $E_\gamma > E_g$ . Fotony z mniejszą energią (większe długości fal) przechodzą przez półprzewodnik i powracają do czujnika optycznego po odbiciu od lustra ograniczającego układ. W rezultacie światło powracające do układu badawczego posiada w długościach fal formę filtra górnoprzepustowego pokazaną na rysunku 2. Energia pasma zabronionego jest głównie zależna od temperatury jak opisuje równanie (2), odcięcia długości fali są również zależne od temperatury. Światło powracające do układu badawczego jest falą rozprzestrzeniającą się geometrycznie nad detektorem ze sprzężeniem ładunkowym (CCD) i położenia odcięcia długości fali są określane przez przetworzenie sygnału żeby określić temperaturę widzianą przez czujnik.



**Rysunek 2.** Widmo czujnika GaAs mierzone optycznym analizatorem widma dla temperatur od  $-20^\circ C$  do  $+140^\circ C$  z różnicą co  $20^\circ C$ .

Źródło: [www.fiso.com](http://www.fiso.com)

Pomiar czujnikiem światłowodowym opiera się na wykorzystaniu interferometru Fabry-Pérot (IFP). Obraz interferencyjny uzyskiwany jest dzięki wnęce rezonansowej. W płaskim IFP równoległa wiązka światła może odbijać się wielokrotnie od płaskich zwierciadeł ustawionych równolegle lub nie odbijać się wcale. Wszystkie promienie (odbijające się i nie odbijające się) interferują ze sobą dając wkład do wypadkowego natężenia światła przechodzącego przez IFP. Natężenia światła na wyjściu określa wzór:

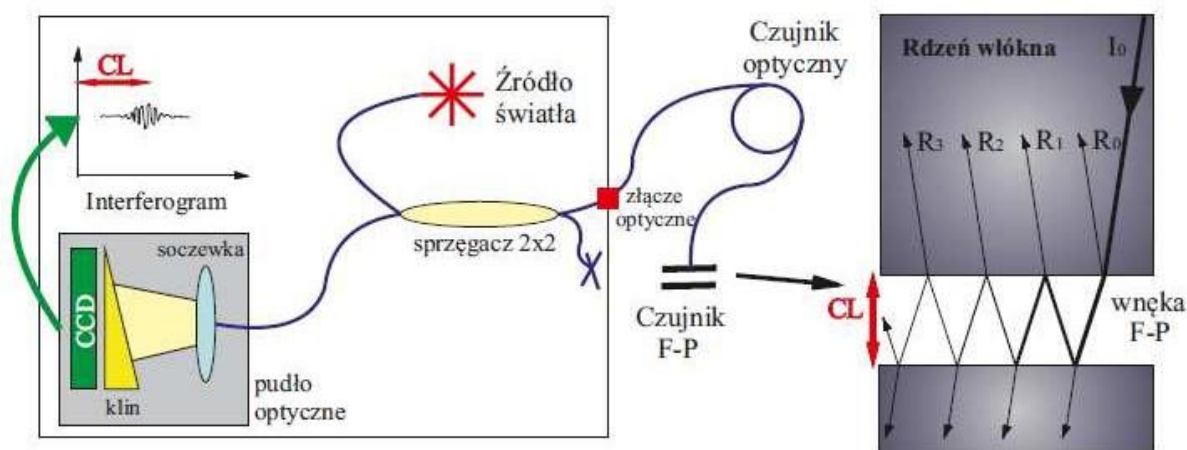
$$I = \frac{I_0}{1 + F \sin^2 \Phi} \quad (4)$$

Gdzie  $\Phi$  jest opóźnieniem fazy, powstałym przy jednokrotnym przejściu wiązki przez wnękę rezonansową, natomiast wielkość

$$F = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (5)$$

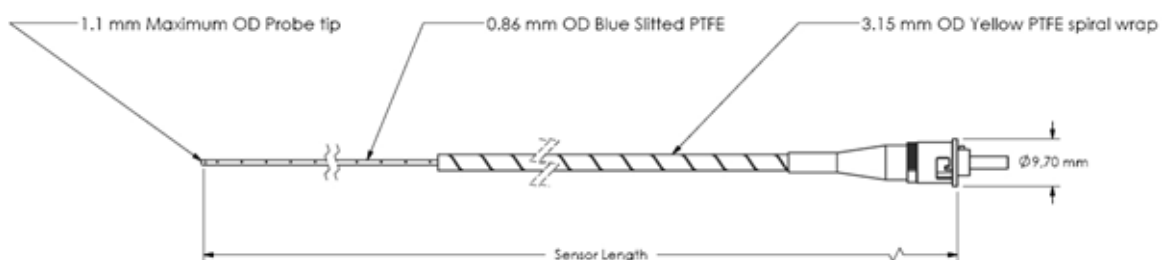
nazywana jest współczynnikiem smukłości prążków interferencyjnych,  $R$  oznacza natężeniowy współczynnik odbicia luster.

Zasada działania IFP przedstawiona jest na rysunku 3. Ciągłe szerokopasmowe źródło światła jest wprowadzane do czujnika optycznego, na którego zakończeniu zlokalizowany jest sensor IFP. Ten czuły element składa się z dwóch równoległych półprzepuszczalnych lusterek oddzielonych wnęką. Światło przechodzące przez pierwsze lustro jest po części odbijane z powrotem a część przedostaje się naprzód. Powtarza się to wiele razy pomiędzy dwoma równoległymi płaszczyznami tworzącymi IFP.



**Rysunek 3.** Schematyczny opis bezwzględnego sygnału pomiarowego IFP opartego na interferencji światła białego (po lewej) i struktura interferometru pomiarowego IFP pokazująca bieg promieni uzyskanych przez rozchodzenie się wiązki światła w rdzeniu włókna optycznego (po prawej).

Sonda TPT-62 jest solidnym, światłowodowym czujnikiem temperatury. Parametry geometryczne czujnika przedstawia rysunek 4:



**Rysunek 4.** Konstrukcja sondy pomiarowej TPT-62.  
Źródło: [www.fiso.com](http://www.fiso.com)

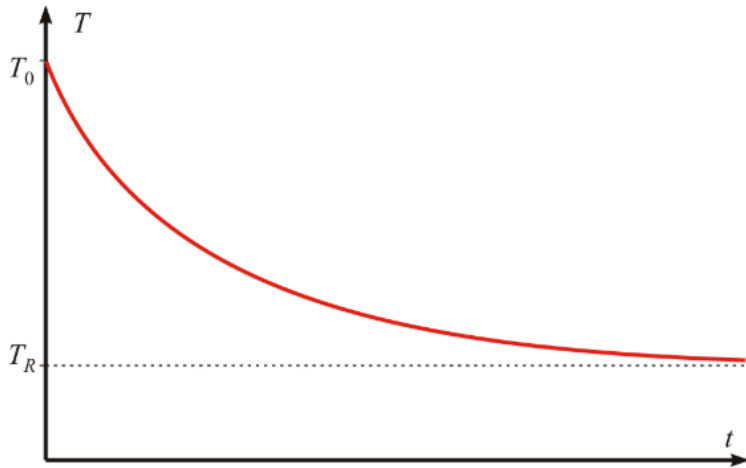
Zakres pomiarowy temperatury czujnika TPT-62 wynosi od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rozdzielczość  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a dokładność pomiaru temperatury  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Czujnik światłowodowy wykonany jest z materiałów izolacyjnych i jest niewrażliwy na zakłócenia elektromagnetyczne.

### 3. Prawo stygnięcia

Zgodnie z prawem stygnięcia Newtona szybkość z jaką układ stygnie jest proporcjonalna do różnicy temperatur pomiędzy układem a otoczeniem

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_R) = -k\Delta T$$



gdzie:

- $T$  - temperatura ciała;
- $T_R$  - temperatura otoczenia;
- $\Delta T$  - różnica temperatur układu i otoczenia;
- $t$  - czas;
- $k$  - stała dla danego układu (zależna m.in. od fizycznej wielkości układu, jego pojemności cieplnej i jego wewnętrznej struktury, przenikalności cieplnej ścianek układu, rodzaju otoczenia).

$$\frac{dT}{T - T_R} = -k dt$$

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{T - T_R} = - \int_0^t k dt$$

$$\ln(T - T_R) - \ln(T_0 - T_R) = -kt$$

$$\ln \frac{T - T_R}{T_0 - T_R} = -kt$$

$$T - T_R = (T_0 - T_R) \exp(-kt)$$

$$T - T_R = \Delta T \exp(-kt)$$

$$\ln(T - T_R) = \ln \Delta T - kt$$

Dopasowujemy prostą  $y = b - a \cdot t$  i obliczamy  $k$  oraz  $u(k)$ .

## Przebieg ćwiczenia

1. Ustawić czujniki temperatury w odpowiedniej pozycji: czujnik 1 zanurzony jest w szklance bez przykrycia, czujnik 2 w kubku papierowym z przykryciem. Czujniki powinny znajdować się w połowie wysokości naczynia. Zagotować wodę w czajniku.
2. Otworzyć program FISO
  - włączyć PORT: COM2, opcja: Connect,
  - włączyć Monitor view: graph,  
Set duration: 1day,
  - układ mierzy temperaturę otoczenia w czasie rzeczywistym,
  - włączyć: Stop,  
Reset,  
Start.
  - po kilku sekundach nalać gorącą wodę do naczynia,
  - obserwować obniżanie się temperatury przez około 40 min.
3. Zapisać wyniki w formacie Excela i zrobić wykresy zmian temperatury.
4. Wykresy powinny być typu XY, należy włączyć siatkę (obie osi). Na osi poziomej powinny być minuty (mogą być znaczone połówki minut). Należy wykonać wykres porównawczy temperatura w funkcji czasu oraz wykresy logarytm naturalny z temperatury w funkcji czasu. Do wykresów logarytmicznych dopasować prostą i wyznaczyć współczynniki  $k$ . Należy ocenić liniowość otrzymanych wykresów. W przypadku rozbieżności, dopasować prostą do końcowego odcinka wykresu używając nie mniej niż  $\frac{1}{4}$  zapisanych punktów pomiarowych.
5. Na podstawie pomiarów i obliczeń z dopasowania wyznaczyć następujące czasy (dla każdego naczynia): czas po którym płyn osiągnie przydatność do spożycia oraz czas do którego płyn dostarczy ciepło do organizmu.