C113

デジタルホログラム粒子画像を用いた微小管内屈折率計測

照沼 勇人[○] (茨城高専専攻科)、池田 耕 (茨城高専機械システム工学科)

Refractive index measurement by digital holographic Particle image for micro channel.

Hayto Terunuma and Koh Ikeda.

ABSTRACT

Crystallization inside micro channel is key technology to making new materials. In order to control the quality of crystal, solubility observation is required. Interferometry is technique to measure solubility using refractive index but it requires complex optical layout. In this paper new technique to measure refractive index inside micro channel using digital holographic technique are proposed. Calculated particle positions are shifted because of variation of refractive index. With this shift, the refractive index inside channel can be calculated. With simple experiment, feasibility of the technique are confirmed.

Keywords: Digital hologram, refractive index, micro channel.

1.背景

マイクロチャンネルを用いた科学技術は近年急速に成長をしている¹⁾。特にマイクロ管内を用いた結晶化させる技術が注目を浴びている²⁾。結晶の成長速度は溶解度、温度、PH等により変化するため、結晶の質をコントロールするためには各種のパラメータが溶液中でどのように時間的に変動するかを知ることが重要である。一方で屈折率は溶解度と温度をパラメータとする値である。そこで、溶液中の屈折率分布を実時間で計測することにより、ある程度の制御を行うことが可能になる。現在そのような用途には2光束干渉計が用いられているが、顕微鏡下に2光束光学系を作成することはしばしば別の困難を与える。一方で近年開発された、顕微鏡下での digital hologram³⁾は1光束で十分な精度で流体中の粒子の位置計測が行える。また、粒子の再生位置は屈折率の影響より移動することがフレネル回折式から導き出せる。本論では、digital hologramを用いた屈折率分布計測の手法の開発を行った。

Fig. 1 Schematic view of microscopic Digital hologram.

2.手法.

Fig.1 に奥行き L のマイクロチャンネル中の流体の屈折率を計測するための、デジタルホログラムの概念図を示す。CCD カメラは二つのレンズにより流路の中に縮小されて、観察平面 (ξ, η) で、粒子の回折を記録する。壁 A、壁 B の座標を $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ であるとする。転送された CCD の壁面 A からの距離を z_A とする。今、流路中に屈折率 n_1 の流体が流れていると仮定し、レーザー光の真空中の波数を $k = 2\pi/\lambda$ とする。壁 A, B での

それぞれの位置からのフレネル回折は以下の式で表される。

$$U_A(\xi, \eta) = \iint f \exp \left\{ -ik \left[\frac{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2}{2z_A/n_1} \right] \right\} dx_1 dy_1 \quad (1)$$

$$U_B(\xi, \eta) = \iint g \exp \left\{ -ik \left[\frac{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2}{2(L - z_A)/n_1} \right] \right\} dx_2 dy_2 \quad (2)$$

今流路内に屈折率 n_2 の流体を流す。すると、屈折率の影響により、CCD カメラがレンズにより転送される位置が変化し、 $z'_A = n_2 z_A / n_1$ となる。この値を用いて

同様にフレネル回折を計算すると以下ようになる。

$$U_A(\xi, \eta) = \iint f \exp \left\{ -ik \left[\frac{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2}{2z_A/n_1} \right] \right\} dx_1 dy_1 \quad (3)$$

$$U_B(\xi, \eta) = \iint g \exp \left\{ -ik \left[\frac{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2}{2(L/n_2 - z_A/n_1)} \right] \right\} dx_2 dy_2 \quad (4)$$

式 (1) と (3) は全く同じ形となり、(2) (4) を比較すると、壁 B の位置の再生時に

$$\Delta z = L \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) \quad (5)$$

のずれが観測される。再生位置の差 Δz は移動量に関係なく、管幅 L と屈折率 n_1 、 n_2 のみに依存して決まるものということが分かる。つまり、管幅 L 、屈折率 n_0 が既知な液体と屈折率の未知な液体を用いてそれぞれ実験を行い、実験値 Δz を求めれば、式 (5) より未知の液体の屈折率 n_2 を求めることができる。この屈折率により流体の濃度を知ることができる。

3. 実験および結果

Digital Hologram で撮影した壁面粒子の見かけの位置を用いた屈折率計測の実現可能性を調査するため、以下の実験を行った。光源としてレーザー (ND:YAG, $\lambda = 532\text{nm}$) を用いた。レーザーは平行光にされ、流路奥行き $110\mu\text{m}$ のマイクロチャンネルに照射する。マイクロチャンネルを通過した光を対物レンズ ($f_2=9\text{mm}$)、凸レンズ ($f_1=200\text{mm}$) を用いて拡大し CCD カメラで撮影する。測定物体は、マイクロチャンネルの壁面に付着している粒子を用い、参照用の流体として水 (屈折率 $n=1.33$) を用い、対象流体を 100% エタノール (屈折率 $n=1.36$) を用い、 $z_A=10\mu\text{m}$ としホログラムを撮影し、計算機により奥行き方向 $1\mu\text{m}$ 毎再生し、粒子の強度分布を計測した。Fig. 2 に撮影

壁面 B 上の粒子の強度を示す。

壁面 B 上の粒子は光強度の頂点が水の場合で $74\mu\text{m}$ 、エタノールの場合で $72\mu\text{m}$ にあり、差は $2\mu\text{m}$ である。一方、式 (5) および、実験条件より計算されるずれは $1.82\mu\text{m}$ である。実験値と理論値は概ね一致しており、本手法の妥当性を示している。計算ステップをさらに細かくすることにより、より妥当な値が計算可能である。

4. 結論

微小流路中の屈折率分布を計測する手法を提案した。また、水とエタノールを用いた実験により、その妥当性を示すことができた。

Fig.2 Hologram Image : (a) micro channel (b) particle on wall B (c) particle on wall A

Fig.3 Calculated Particle Intensity on the wall B from digital holography

参考文献

- 1) Sugii. Y et.al. : Journal of Visualization, Vol.8, No.2(2005)117-124
- 2) Kyousuke Shinohara et.al. ,American Chemical Society,PAGE EST:3.3(2006)
- 3) K. Ikeda et.al. : Proc of joint International PIVNET II / ERCOFTAC Workshop pp 60