

4B05

定量位相－反射干渉顕微鏡による垂直石鹼膜の薄膜化観測
(広島市大院・情報) 藤原 久志, 磯部 耕兵, 信藤 慎平, 石渡 孝

Thinning dynamics of a vertical soap film as revealed
by quantitative-phase and reflection-interference microscopy
(Hiroshima City Univ.) H. Fujiwara, K. Isobe, S. Nobutou, and T. Ishiwata

【序】 定量位相顕微鏡¹⁾は、試料透過光の位相情報を定量的に計測可能であり、様々な位相物体（生細胞や有機超薄膜など）の観測に応用できる。我々は、この定量位相顕微鏡に反射干渉像観察機能を付与した定量位相－反射干渉顕微鏡²⁾を開発している。定量位相－反射干渉顕微鏡を用いると、石鹼膜の薄膜化ダイナミクスを広い膜厚範囲で計測することが出来る。

【実験】 コの字型の針金の枠を、石鹼水に浸し引き上げると枠内に「垂直石鹼膜」が形成される。石鹼膜を作製・保持する金枠の位置制御に精密さと再現性を加えるために、4台の自動ステージを導入し²⁾、0.1 M オレイン酸ナトリウム水溶液から垂直石鹼膜を作製した。

図1に、定量位相－反射干渉顕微鏡の模式図を示す。光源を684 nmのスーパールミネッセントダイオード (SLD) とし、金属顕微鏡に「定量位相イメージング (QPI) ユニット」³⁾ および高精細 CCD カメラ

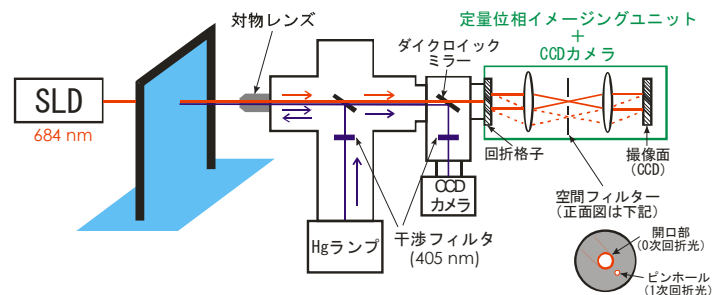


図1 定量位相－反射干渉顕微鏡

(1600×1200 画素・30 枚/秒) を接続し構成した。SLD を用いることでコヒーレントノイズの少ない干渉縞画像が得られている。

一方、反射干渉顕微鏡は、金属顕微鏡の落射照明 (405 nm) による反射光 (膜の前面と後面から) の干渉像をダイクロイックミラーで高速度 CCD カメラ (640×480 画素・200 枚/秒) に導く形で構成した。二台の CCD カメラの撮像データはハードディスクを利用した画像記録装置 (自作) により長時間連続記録が可能である。

【定量位相顕微鏡の概要】^{4,5)} QPI 内の透過型回折格子に、SLD 光による石鹼膜像を結像させる (図1 参照)。0 次回折光 (実線) は、観察物体 (石鹼膜) の位相情報を保持したまま、空間フィルターの開口部を通過し、撮像面上に再結像する。一方、1 次回折光 (点線) は空間フィルターのピンホール部にて点光源に変換され、その後レンズにて平面参照波となって撮像面に照射される。こうして、撮像面には 0 次回折光と 1 次回折光による干渉縞像が形成される。何も物体がない時には、干渉縞は、撮像面上に等間隔で形成される。そして、試料 (位相物体) が存在する場合、干渉縞にズレが生じ、これを解析することにより試料透過による位相遅れを算出することが可能

である。

【干渉縞画像の解析】⁴⁻⁶⁾ 干渉縞画像の位置(x,y)における輝度値をg(x,y)とする。ここで、ある一定の y 座標における x 方向の輝度値変化は以下のように表せる⁶⁾。

$$g(x,y) = a(x,y) + b(x,y)\cos[2\pi f_0 x + \varphi(x,y)] \quad (1)$$

ここで、a(x,y)およびb(x,y)は光源の光量むらや光学系の不均一性によって生じる空間的な光強度分布である。そして、 $\cos[2\pi f_0 x + \varphi(x,y)]$ が干渉縞に相当する。この時、 f_0 が等間隔でならぶ干渉縞の空間周波数であり、 $\varphi(x,y)$ が位相物体の厚さに応じた位相遅れである。(1)式からの位相遅れの抽出は、通信工学における角度変調信号の復調問題と見なすことができ、フーリエ変換を利用して行う⁶⁾。得られた位相遅れと水の屈折率から膜厚変化を追跡可能である。

【結果】 金枠引き上げ後より、垂直石鹸膜は上部ほど薄くなる形状で薄膜化する。その様子は反射干渉顕微鏡で観測することができる(図は割愛)⁷⁾。すなわち、0 秒(金枠引き上げ停止を基準)では膜厚に応じた反射干渉縞が確認できる。そして、6~8 秒付近では、「段階的薄膜化(stratification)」と呼ばれる階段状の厚み変化(一段10~20 nm 程度)が観測できる^{7,8)}。

図2に11秒付近における定量位相画像(輝度が大きいほど位相遅れが大きい)とその解析結果を示す。図2より石鹸膜内で400 nm程度の急峻な膜厚変化(段差)が生じていることが分かる。この膜厚変化は、これまで良く知られている「段階的薄膜化」に比べて遥かに大きく、石鹸膜研究における新たな知見と考えている。

【参考文献】

- 1) <http://www.piphotonics.co.jp/qpm/index.html>
- 2) 藤原久志、池田貴裕、磯部耕兵、石渡孝、分子科学討論会(大阪)、4P049(2010)。
- 3) <http://www.piphotonics.co.jp/qpm/unit.html>
- 4) T. Ikeda et al., *Opt. Lett.*, **30**, 1165 (2005).
- 5) 磯部耕兵、藤原久志、石渡孝、分子科学討論会(札幌)、1P057(2011)。
- 6) Takeda et al. *J.Opt.Soc.Am* **72**, 156 (1982).
- 7) 信藤慎平、藤原久志、石渡孝、分子科学討論会(札幌)、1P056(2011)。
- 8) A. A. Sonin and D. Langevin, *Europhys. Lett.* **22**, 271 (1993).

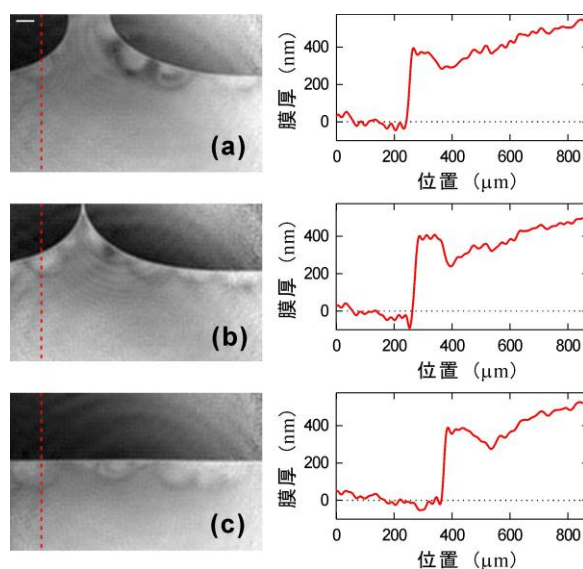


図2 0.1 M オレイン酸ナトリウム水溶液から作製した垂直石鹸膜の定量位相画像(左側)と点線部分の厚み変化(右側)。金枠引き上げ後(a) 10.5 秒、(b) 11 秒、(c) 11.5 秒にデータを取得している。図中の白線は0.1 mmに相当する。