

利用光學同調斷層掃描術量測氯化鈉水溶液濃度與折射率之關係

Hui-Chi Lin ^a(林慧琪) and Fang-Wen Sheu ^{a,b}(許芳文)

^a Department of Applied Physics, National Chiayi University, Chiayi 60004, Taiwan

^b Graduate Institute of Optoelectronics and Solid State Electronics, National Chiayi University, Chiayi 60004, Taiwan

(國立嘉義大學 ^a應用物理學系, ^b光電暨固態電子研究所)

Telephone: 05-2717993; Fax: 05-2717909; E-mail: fwsheu@mail.ncyu.edu.tw

(NSC-95-2112-M-415-004)

摘要：光學同調斷層掃描術已普遍用於取得生物組織的非侵入性斷層影像方法之一，而其亦可用於測量透明物體厚度、折射率、反射係數等等。本實驗利用自行架設之光纖式光學同調斷層掃描儀，藉由水溶液在濃度不同的情況下，折射率隨之改變的特性，測量不同濃度的氯化鈉水溶液之折射率，得知溶液濃度與折射率之關係，並比對已知參考數據，誤差均在 0.9% 以內，可知準確度頗高。

關鍵字：光學同調斷層掃描術(optical coherence tomography)、氯化鈉(sodium chloride)、濃度(concentration)、折射率(refractive index)。

前言

低同調干涉術(Low Coherence Interferometer, LCI) 是在西元 1972 年由 P.A. Flourney 所發現，以白光為光源，用於微米級的薄膜量測，開始應用於測量元件厚度與折射率的工具之一；後來隨著半導體光源製程的進步(光輸出功率可達 100 mW; 光源頻譜頻寬可達 100~200 nm)，在 1991 年時，由 J.G. Fujimoto 等人提出一新的掃描影像技術—利用低同調干涉術對生物組織做非侵入性的斷層影像，搭配對組織的橫向掃描，得到組織的二維影像，即為光學同調斷層掃描術(Optical Coherence Tomography, OCT)[1]。

實驗原理

我們利用傳統麥克森干涉儀(圖 1)的相同原理，只是將在空間中走的光路，改為由光纖傳輸，避免因暴露空氣中，而對光源造成的不穩定；我們利用寬頻光源，經過分光鏡，將光分為兩道，一道經由可移動之平面鏡反射，另一道經樣本反射，兩道光在分光鏡會合，兩道光各有部分分量進入光偵測器，掃描時，當光之兩臂光程差相近時，即產生干涉波包而被記錄。

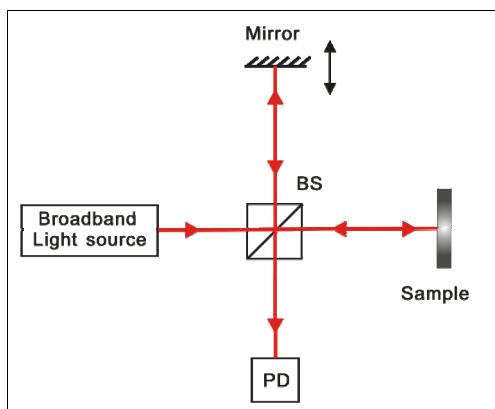


圖 1 傳統麥克森干涉儀

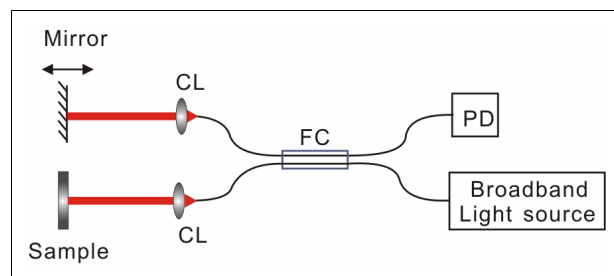


圖 2 光纖式 OCT

註：BS: 分光鏡, PD: 光偵測器, CL: 光束準直透鏡, FC: 光纖耦合器。

因我們待測水溶液均以一固定容器(比色盒)填裝，所記錄容器內壁之波包間距為光行經待測物的掃

描時間差，將其除以行經相同比色盒空間但只填裝空氣所測得的掃描時間差(將空氣折射率近似為 1)，即為此待測溶液之折射率。

干涉波包最低可分辨之距離，為光源之同調長度(L_c)，即此系統之縱向解析度，可經由測量光源頻譜，取得光源中心波長(λ)及頻寬($\Delta\lambda$)，利用下列公式：

$$L_c = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \approx 0.44 \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

將光源中心波長 1303.7 nm，頻寬 26.7 nm 代入式中，得此系統之縱向解析度為 28.1 μm 。

實驗方法

實驗的氯化鈉水溶液，計畫為由零至飽和，等間距調配 10 種不同濃度，氯化鈉粉末秤重時，盡量接近預定質量，並記錄其實際質量，稀釋至 30 ml，各濃度資料如下：

表 1 氯化鈉濃度資料表

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溶質重(gw)	0.000	0.883	1.769	2.649	3.527	4.409	5.290	6.174	7.055	7.932
濃度(M)	0.000	0.503	1.008	1.509	2.010	2.512	3.014	3.518	4.020	4.520

測量折射率之 OCT 架構如圖 3，光經由 FC 均分為兩道，由兩 CL 射出，一端由連接步進馬達的面鏡反射，循原路返回光纖，另一端經固定於樣本架上之比色盒反射後循原路返回，兩道光在 FC 會合，經分光後由 PD 接收，OPM(光功率計)將光訊號轉為電訊號，再由示波器紀錄掃描圖形，每個濃度掃描六次。

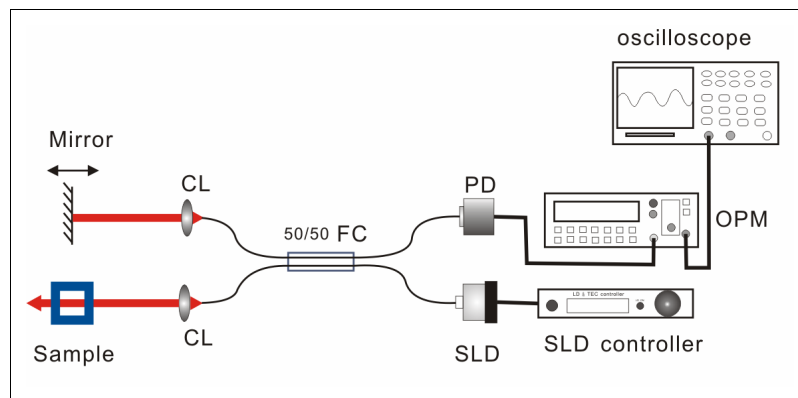


圖 3 實驗架構圖

實驗結果

測量波包間距(單位為秒)，算出折射率如下表(列編號為濃度編號，欄編號為數據點)：

表 2 實驗結果數據

	1	2	3	4	5	6	STDEV ($\times 10^{-4}$)	average	折射率
1	5.09000	5.09120	5.09120	5.08880	5.08880	5.09000	9.8	5.090000	1.345451
2	5.10720	5.10640	5.10680	5.10660	5.10640	5.10720	3.35	5.106767	1.349782
3	5.12200	5.12160	5.12240	5.12280	5.12280	5.12360	6.39	5.122533	1.353950
4	5.13720	5.13840	5.13840	5.13880	5.13800	5.1380	4.99	5.138133	1.358073
5	5.15360	5.15480	5.15400	5.15400	5.15400	5.15440	3.77	5.154133	1.362302
6	5.17040	5.17040	5.17000	5.17000	5.17080	5.17000	2.98	5.170267	1.366566

7	5.18520	5.18560	5.18500	5.18480	5.18520	5.18540	2.58	5.185200	1.370513
8	5.20400	5.20160	5.20200	5.20040	5.20020	5.20160	12.46	5.201633	1.374857
9	5.21280	5.21280	5.21300	5.21300	5.21280	5.21280	0.94	5.212867	1.377826
10	5.22440	5.22460	5.22520	5.22440	5.22480	5.22480	2.77	5.22470	1.380954

由數據可畫出折射率-濃度曲線圖(如圖 4)，在濃度約小於 3.5 M 時，隨著濃度增加，折射率亦漸增，斜率約為 $8.348 \times 10^{-3} \text{ M}^{-1}$ ，而後稍趨平緩。在[2]中得已知參考數據，畫出比較圖(如圖 5)，可看出兩條曲線大致呈平行，且經計算，每點誤差均在 0.90 % 以下(如表 3)。

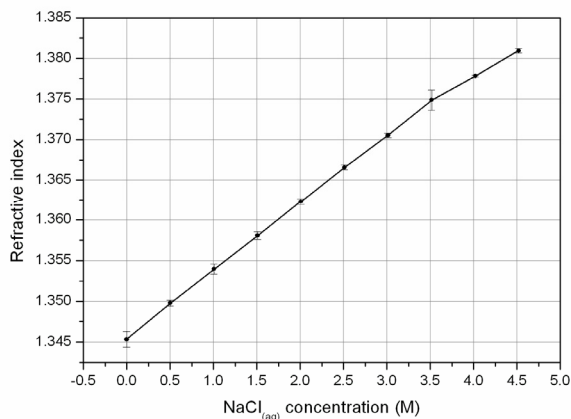


圖 4 折射率-濃度曲線圖

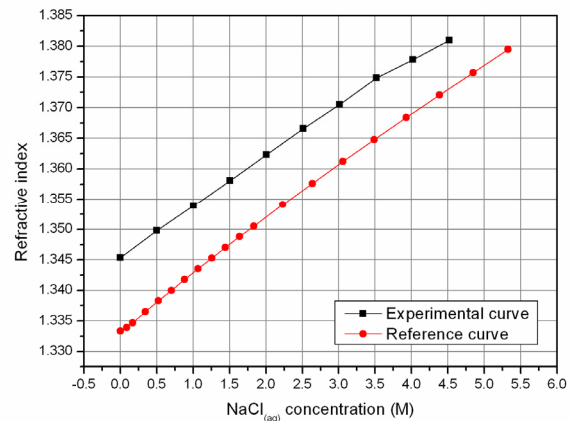


圖 5 實驗與參考數據比較圖

表 3 每點濃度誤差值

濃度(M)	0.000000	0.503134	1.007977	1.509402	2.009687	2.512251	3.014245	3.517949	4.019943	4.519658
理論值	1.333333	1.338098	1.342936	1.347604	1.352111	1.356530	1.360841	1.365060	1.369149	1.373222
實驗值	1.345351	1.349782	1.353950	1.358073	1.362302	1.366566	1.370513	1.374857	1.377826	1.380954
誤差(%)	0.9	0.87	0.82	0.78	0.75	0.74	0.71	0.72	0.63	0.56

結論

在這個實驗中，我們成功地得到氯化鈉水溶液的折射率-濃度圖，且各濃度對照已知參考資料，誤差均在 0.90 % 以下，證實此系統的準確度頗高。而此誤差可能為調配溶液時，只調配少量，且是以量筒來計量，若用容量瓶，調配之濃度應會更精確。

經由分析光源，本系統的折射率解析度為 0.0028，對應的最小可分辨濃度變化量為 0.339 M，用來監測氯化鈉濃度之細微變化仍不足，可改善光源之頻寬來增加精密度。或改以測量碳酸鈉、硫酸銨、硫酸鈉等折射率-濃度曲線斜率較大之水溶液，可得到較好的濃度解析度。

參考資料

- [1] 張境晃，低同調干涉儀之研究，國立嘉義大學光電暨固態電子研究所碩士論文，p. 2，(Nov. 2005)。
- [2] R.L. David, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Boca Raton, p. 8-77 (2002).