

MC-Transaction on Biotechnology, 2020, Vol. 11, No. 1, e8

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2020 年計量技術與產業發展研討會論文集

Proceedings of the 2020 Metrological Technology and Industrial Development Symposium

September 4, 2020 銘傳大學 桃園

1. 超微質量檢測技術於分子鑑別的應用
Application of Ultra-micro Mass Measurement Technology on Molecular Authentication
蕭郁、陳良宇*
2. 感官評價的計量學:指標、尺規與標準
Measurement of Sensory Evaluation: Indexes, Scaling and Standards
曾柏瑜、陳良宇*
3. 損耗模態共振測量系統的量測不確定性研究
Uncertainty of Measurement with Lossy Mode Resonance Measuring System
解東翰、陳思穎、柯冠宇、鄭宇傑、林彤璟、林鈺城*
4. 具氧化銅薄膜的損耗模態折射率感測器之測量
Measurement of Lossy Mode Resonance Based Refractive Index Sensor with a Copper Oxide Film
溫一賢、張凱翔、張祐瑋、胡丞緯、徐致皓、林鈺城*
5. 具氧化鋅薄膜的損耗模態折射率感測器之測量
Measurement of Lossy Mode Resonance Based Refractive Index Sensor with a Zinc oxide Film
溫一賢、張凱翔、張祐瑋、胡丞緯、徐致皓、林鈺城*

研討會論文集：

具氧化鋅薄膜的損耗模態折射率感測器之測量

溫一賢、張凱翔、張祐璋、胡丞緯、徐致皓、林鈺城*

銘傳大學 資訊學院 電子工程學系(中華民國 台灣 桃園市)

中文摘要

本研究目的在於建立一個以玻璃平為導光基材、氧化鋅為共振層材料的損耗模態原理感測器，藉由測量不同折射率下的頻譜圖，取得其損耗共振波谷，再計算出感測器的穿透度及靈敏度。

關鍵字：損耗模態共振、氧化鋅、玻璃平板、靈敏度、折射率

通訊作者：林鈺城[yclin@mail.mcu.edu.tw]

收稿：2020-10-16 接受：2020-11-4 線上刊出：2020-11-10

一、簡 介

近年來科學家常利用光纖具有體積小、重量輕、不受電磁干擾的優點，應用於光學感測器方案。感測器的感測機制取決於多個因素，例如元件尺寸、感測層、用於感測和轉換層的材料、光學基板、目標分析物與感測層的相互作用方法以，及整個感測器探針與感測器之間的兼容性。與其他光學基板（如稜鏡和光柵）相比，光纖的感測兼容性簡化了感測器的設計和製作^[1]。利用目標分析物與感測層的相互作用，並使用待測物折射率的變化進行感測，此機制已引起了廣泛關注。這是因為使用該機制對物理、化學和生物分析物，有可進行多種檢測的可行性。在利用折射率變化的現象，而製造感測器轉換原理的技術中，最近開發的一種是損耗模態共振(LMR)^[2,3]。此技術首先在玻璃基板上塗覆金屬氧化物薄膜，當外部介質改變時，因耦合條件改變，造成損耗共振波谷產生飄移，藉由量待測物之穿透光譜，可得知待測物的折射率變化^[2]。之後，使用氧化因錫(ITO)薄膜塗覆的波導實現基於 LMR 的折射儀，陸續被提出。然而，使用氧化鋅(ZnO)的感測器比純金屬等其他材料具有更高的實用性^[4]，因為能夠利用較寬的能隙(bandgap)、電能(electrical)、電子(electronic)、結構來調節可見區域的電導率、可見區域的高透明度以及紅外區域的離子特性。ZnO 在電磁頻譜的可見光區域中的介電/損耗行為，也能產生 LMR 原理。本研究中，我們將以氧化鋅(ZnO)薄膜作為共振層材料，製作折射率感測器，並利用損耗模態共振(lossy mode resonance, LMR)的原理，尋找共振波長，並分析其穿透度、靈敏度的變化。

二、實 驗

2.1 量測系統架設

為了有較寬的測量範圍，我們採用鹵素光源(ANDO AQ-4304B)，波長 523 nm ~ 1174 nm 之間。量測系統架設如圖 1，利用光纖跳接線把光引入 LMR 對光平台，再由另一條光纖跳接線將輸出光引入光譜分析儀(Ocean optics USB2000+)，並且將鍍有一層 ZnO 的玻璃平板放置對光平台上，示意圖與照片如圖 2。ZnO 面朝上，先讀取背景光頻譜後，在玻片上滴上待測液，即可測量待測液的光頻譜。實驗流程如圖 3 所示，利用 LabView 程式讀取 OSA 的光強度，每 60 秒量測一次，共 300 秒。光譜儀以電腦的 USB/GPIB 介面控制，可下命令讀取光譜儀的測量數據，並做穿透度的計算，然後儲存數據，整個電腦與儀器間的溝通以 LabView 程式完成，依序測量待測液的共振波長與穿透度變化。

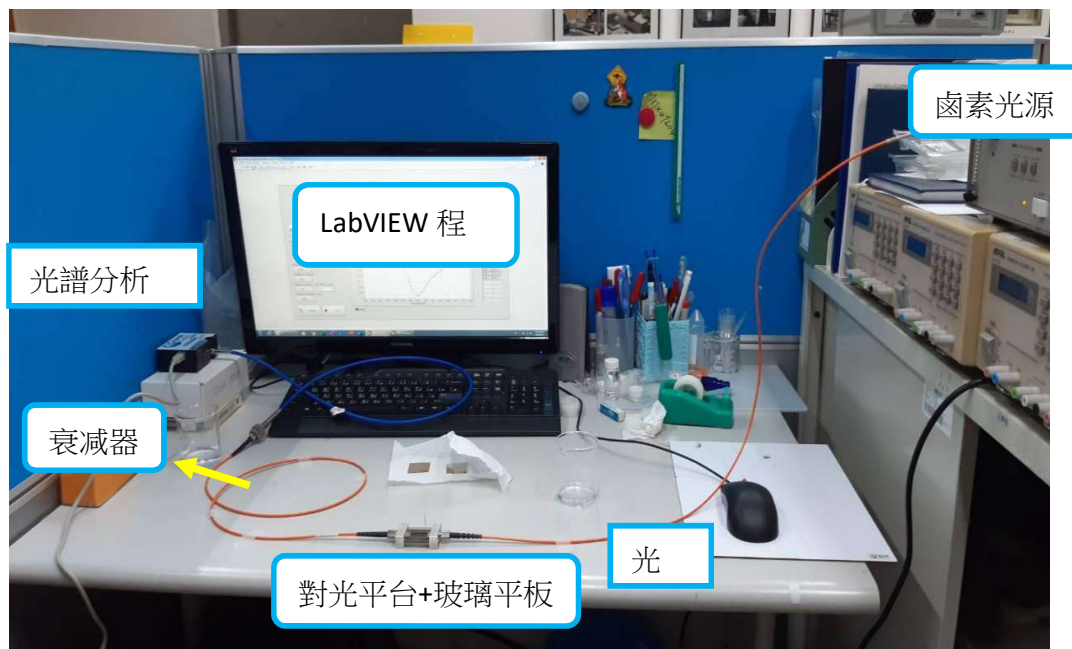
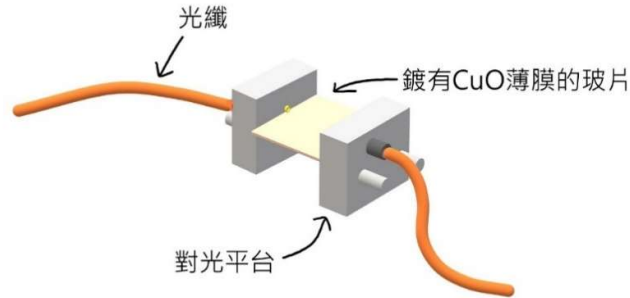


圖 1. 量測系統架設圖



(2 a)



(2 b)

圖 2. (a) LMR 元件與對光平台結構示意圖；(b) LMR 元件與對光平台結構照片。

穿透度(transmittance)的定義是透射光與入射光的比例，就是玻璃平板在有待測液的光強度 P 除以沒有待測液的光強度 P_0 ，公式如(1)所示。

$$\text{穿透度(Transmittance)} = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

實驗中，將 dB 做為穿透度單位，dB 是個用來敘述功率的倍數的單位，是一個相對單位而不是絕對單位，帶入穿透度後的 dB 公式如(2)所示。

$$T(\text{dB}) = 10 \times \log \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

靈敏度(Sensitivity)定義為單位折射率的變化量與 LMR 波長變化量的比例，換句話說就是 LMR 波長變化量 $\Delta\lambda$ 除以折射率變化量 ΔRIU ，公式如(3)所示。

$$\text{靈敏度(Sensitivity)} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta RIU} \quad (3)$$

關於待測液，我們以純水加入不同比例的甘油，攪拌均勻後，可配製成不同折射率的待測液，再以折射率計分別測量，結果如表 1。

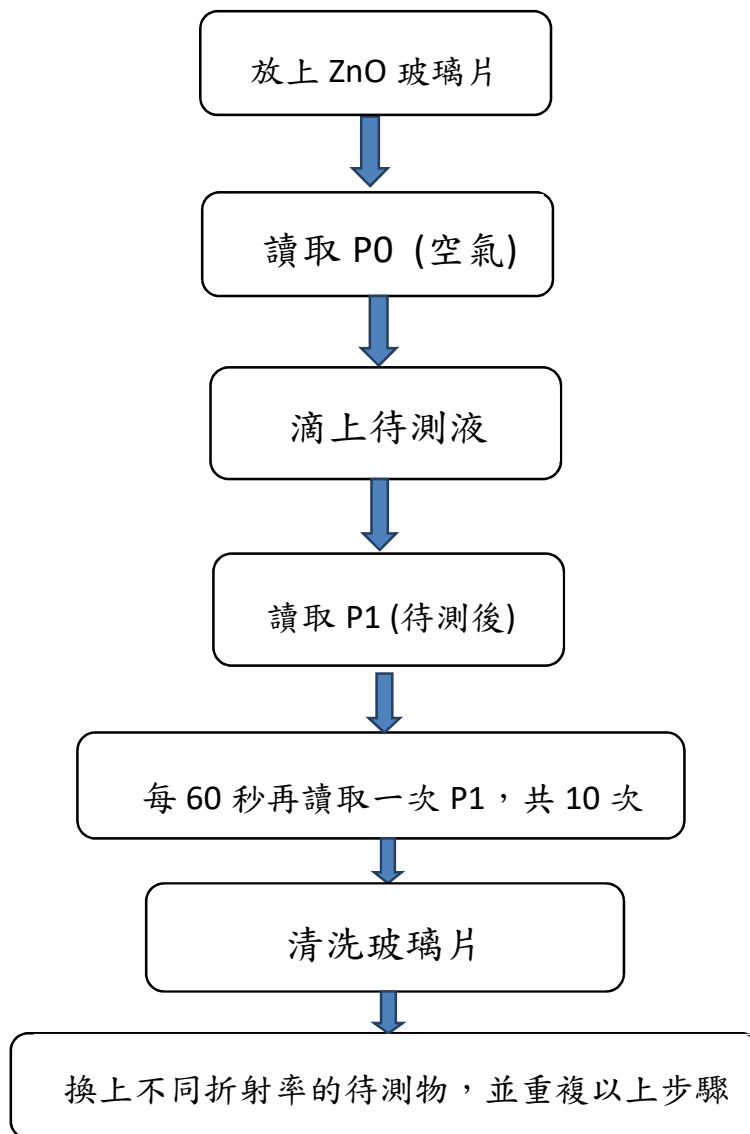


圖 3. ZnO 甘油濃度穿透度流程圖

表 1. 不同甘油濃度的折射率

甘油濃度	0%	5%	10%	15%	20%
折射率	1.3330	1.3370	1.3420	1.3490	1.3550

三、結果與討論

3.1 純水與空氣

為了瞭解 LMR 系統的穩定性，進行光強度的測量，X 軸為波長，單位為 nm，Y 軸為光強度，單位為 count，測量波長範圍為 520 nm 至 1180 nm。圖 4. 中 P0 藍色線為背景光(滴水前)的光強度頻譜，強度最大值為 P1 的 62345.63 count，波長為 626 nm；橘色線 P1 為滴水後的光強度，略小於 P0。兩條色線幾乎重疊，但 P1 小於 P0，為損耗共振模態(LMR)所致。光源在 850 nm 後，強度小於 10000 count。

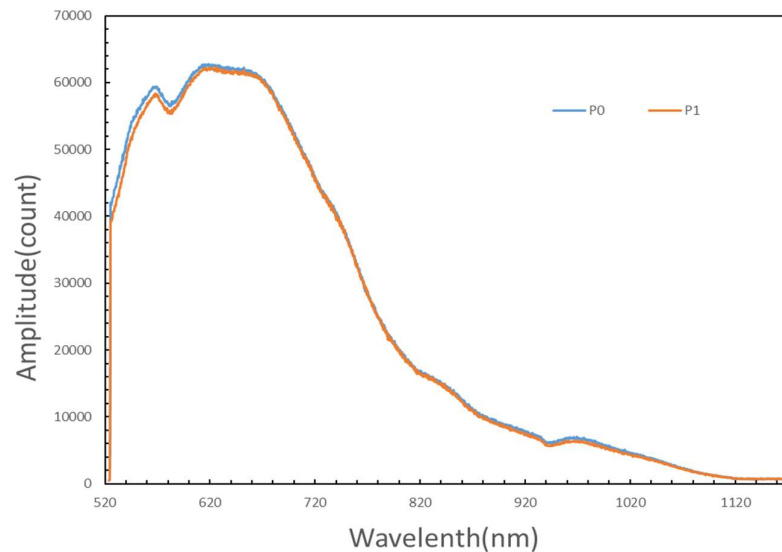


圖 4. ZnO 薄膜純水與空氣之光強度比較圖

3.2 不同濃度甘油穿透度

為了找到 ZnO 薄膜在不同甘油濃度的共振點，因此進行了穿透度的測量。X 軸為波長，單位為 nm，y 軸為穿透度(transmittance)，單位為 dB，波長範圍為 520 nm~1180 nm，共測量 10 次，圖中不同顏色的色線代表不同次的測量。圖 5(a)，共振波谷的波長 920 nm~1020 nm；圖 5(b)，波谷的波長 920 nm~1020 nm；圖 5(c)，波谷的波長 1020 nm~1180nm；圖 5(d)，波谷波長 720 nm~820 nm；圖 5(e)，波谷波長 920 nm~1020 nm。由實驗可知，不同濃度的甘油皆因損耗模態共振(LMR)使能量部分被吸收，造成穿透度下降，而產生的共振波谷。

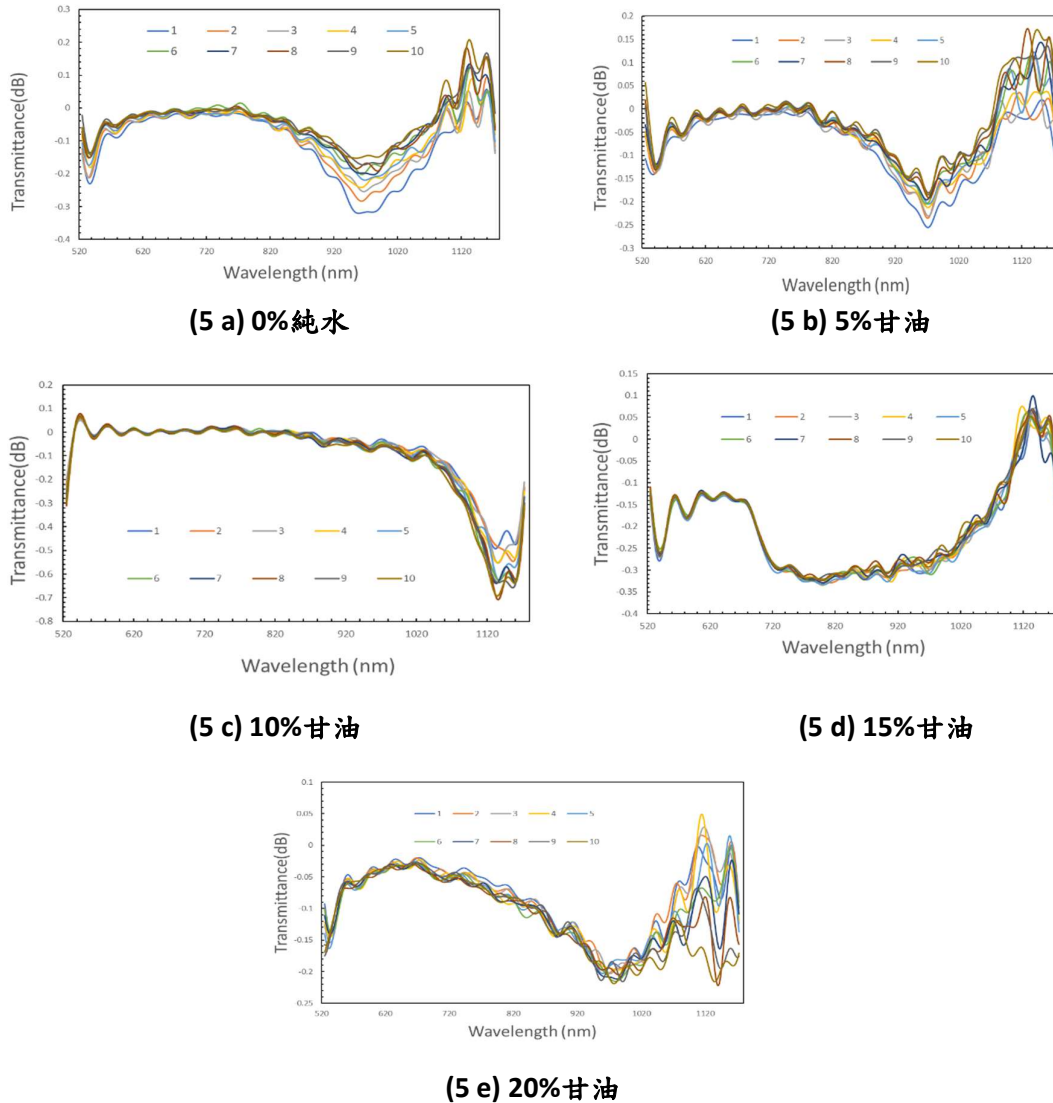


圖 5. 不同濃度甘油的共振頻譜 (a) 0%甘油; (b) 5%甘油; (c) 10%甘油; (d) 15%甘油; (e) 20%甘油

3.3 不同折射率共振波長的比較

將圖 5 不同濃度甘油的 10 次測量頻譜圖作平均，可得到圖 6，為 ZnO 薄膜在不同折射率下的穿透度比較。圖中不同顏色代表不同濃度甘油(也可視為待測液的折射率)的 10 次測量頻譜平均值。圖中可觀察到，其中折射率最小值 1.333 (甘油濃度 0%)的共振發生在波長 963.7 nm，而折射率最大值 1.3550 (甘油濃度 20%)的共振發生在波長 984.4 nm，共振波長移動了 20.7 nm，其中甘油濃度 15%的共振點不明顯，且有倒退現象，我們推斷因是人為因素所造。

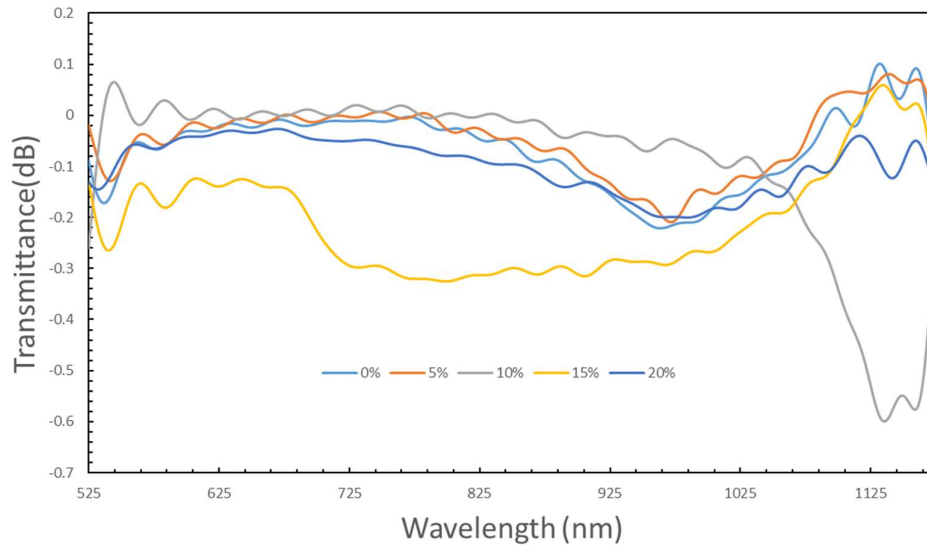


圖 6. ZnO 薄膜不同折射率的待測液共振頻譜之比較

表 2. 不同甘油濃度的折射率與共振波長

待測液甘油濃度	折射率	共振波長 (nm)
0%	1.3330	963.7
5%	1.3370	971.6
10%	1.3420	1135.4
15%	1.3490	798.9
20%	1.3550	984.4

3.4 不同折射率靈敏度的比較

圖 7. 為 ZnO 薄膜在不同折射率下的靈敏度比較，X 軸為折中折射率，Y 軸為靈敏度 (sensitivity)，單位為 nm/RIU。圖中每個點代表不同的折中折射率，折中折射率定義為相鄰兩折射率的平均值，例如折射率 1.344 為純水 (1.333) 與 20% 甘油 (1.355) 相加除以 2。圖中的折中折射率值分別為 1.3350、1.3395、1.3455、1.3520。圖中可觀察到，靈敏度最大值發生在折射率 1.3350，其值 3987.82 nm/RIU；而靈敏度最小值發生在折射率 1.3455，其值 -48063.72 nm/RIU。

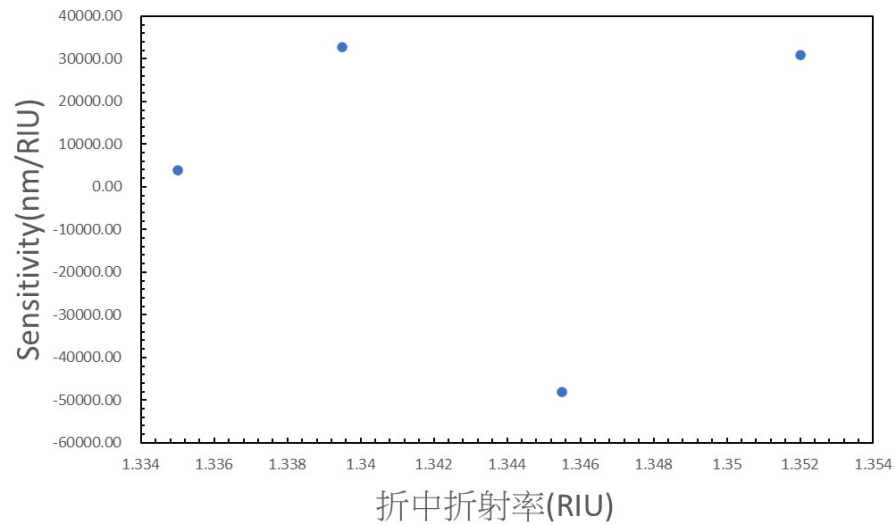


圖 7. ZnO 薄膜不同折射率的靈敏度

從表 3.可觀察到共振波長變化越大，靈敏度就越大。表中靈敏度相差甚大，最大值為 30915.96 nm/RIU，其折射率為 1.3520，共振波長變化也是表中最大的 185.50 nm。在 1.3455 時，測量到的靈敏度-48063.72 nm/RIU 過小，可能是因為在測量甘油 15%時，共振波長到退至 798.9 nm，因此波長變化呈現負數，從圖 6 對應的黃色線，看出甘油 15%共振點倒退，該甘油濃度測試三次，波長皆為同樣圖形，因此我們推斷是滴的溶液有問題或是波片的乾淨程度，未來將對 ZnO 更進一步的進行量測不確定性，準確的找出干擾因素。

表 3. 不同折射率的靈敏度

折中折射率	共振波長變化 $\Delta\lambda(\text{nm})$	折射率變化 $\Delta n(\text{RIU})$	靈敏度 $\Delta\lambda(\text{nm})/\Delta n(\text{RIU})$
1.3350	7.98	0.002	3987.82
1.3395	163.75	0.005	32749.35
1.3455	-336.45	0.007	-48063.72
1.3520	185.50	0.006	30915.96

參考文獻

- [1] 金溢愷、張寬諺、邱凌偉、姚郭威、盧聖文："基於損耗模態共振原理的可控溫折射率及生醫感測器"。2019年，銘傳大學國際研討會。台灣，桃園。
- [2] 李建平："高等分析化學"。2007年，冶金工業出版社。
- [3] Aydın EB , Sezgintürk MK: Indium tin oxide (ITO): A promising material in biosensing technology. TrAC-Trends Analyt Chem 2017, 97:309.
- [4] Solanki PR, Kaushik A, Agrawal VV, Malhotra BD: Nanostructured metal oxide-based biosensors. NPG Asia Mater 2011, 3:17.

Proceedings of the 2020 MTID Symposium: Measurement of Lossy Mode Resonance Based Refractive Index Sensor with a Zinc Oxide Film

Yi-His Wen, Kai-Hsiang Chang, Yu-Wei Chang, Cheng-Wei Hu, Chih-Hao Hsu, Yu-Cheng Lin*

Department of Electrical Engineering, School of Information Technology, Ming-Chuan University, (Taoyuan, Taiwan, R.O.C.)

Abstract

The purpose of this research is to establish a sensor based on the lossy mode resonance sensing principle with planar glass as the guiding material and zinc oxide as the resonance layer material. By measuring the loss resonance spectra for different refractive indexes, the sensor's resonance dip could be obtained, furthermore, the transmission and sensitivity could be estimated.

Keyword: loss mode resonance, zinc oxide, planar glass, sensitivity, refractive index

Corresponding author: Yu-Cheng Lin [yclin@mail.mcu.edu.tw]

Received 16 Oct 2020/Accepted 4 Nov 2020/Online publication 10 Nov 2020

MC-Transaction on Biotechnology, 2020, Vol. 11, No. 1, e8

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.