

MC-Transaction on Biotechnology, 2020, Vol. 11, No. 1, e7

©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：

具氧化銅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

本研究中，我們將以氧化銅(CuO)薄膜作為共振層材料，製作成 LMR 原理的感測器，尋找不同折射率待測液的損耗共振波谷，分析並取得感測器之穿透度、靈敏度。本研究屬於基礎性研究，目的在以 LMR 感測原理，建立一個以玻璃平板為基材的感測器，一旦建立完成，未來可推廣檢測生物或醫學物質。

關鍵字：損耗模態、氧化銅、玻璃平板、穿透度、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

生物感測器能夠高靈敏度和高特異度地偵測特定分析物，無論是在環境監控、食品安全、藥物開發、醫療照護或生物研究上，已經應用地十分普遍。其中光纖感測器有許多特點且應用極其廣泛，因為光訊號不受電磁波干擾的原因，使其可以適應惡劣的環境。此外，透過光源、檢測器、光纖的連結，可以測量不同的波長範圍，因此選擇性較大[1]。但是光纖感測器也存在缺點，除了其價格昂貴外，直徑僅 125 μm ~ 600 μm ，機械強度不足，加工時容易斷裂[2]。本研究提出的折射率感測器的感測原理，主要利用損耗模態共振(lossy mode resonance, LMR)現象作為感測機制，在玻璃平板上，鍍一層金屬氧化物。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，以此作為感測機制。透明導電氧化物 (transparent conductive oxide, 簡稱 TCO) 薄膜則是另一種普遍的生物感測器，它具有兩個重要的特徵:良好的導電性和低的光吸收性。TCO 通常採用薄膜製造技術，並應用於光電相關產品，例如觸控面板或平板顯示器中的透明電極。除了這些應用，TCO 還被用作生物感測器或一般感測器技術中的電極材料[3]。過渡金屬氧化物由於其穩定性佳，而成為許多應用中非常需要的材料。作為 p 型過渡金屬氧化物半導體的氧化銅 (CuO) 由於在太陽能電池、光熱和光導催化、感測器及高溫超導體中的應用潛力，而引起了廣泛的關注。此外，在奈米尺度上，包括 CuO 在內的金屬氧化物可以表現出

有趣，重要且可調節尺寸的光電特性。CuO 具有相對較低的能隙（本體形式約為 1.2 eV），因此通過降低至奈米尺寸進行 CuO 能隙調整的可能性是一個令人興奮的機會，因為它將使 CuO 成為適用於多種應用的高度通用且有吸引力的材料^[4]。本研究中，我們將以氧化銅(CuO)薄膜作為共振層材料，製作成 LMR 原理的感測器，尋找不同折射率待測液的損耗共振波谷，分析並取得感測器之穿透度、靈敏度。

二、實 驗

2.1 量測系統架設

量測系統架設如圖 1，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，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 CuO 的玻璃平板放置對光平台上示意圖與照片如圖 2。CuO 面朝上，在玻片上滴上待測液。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。

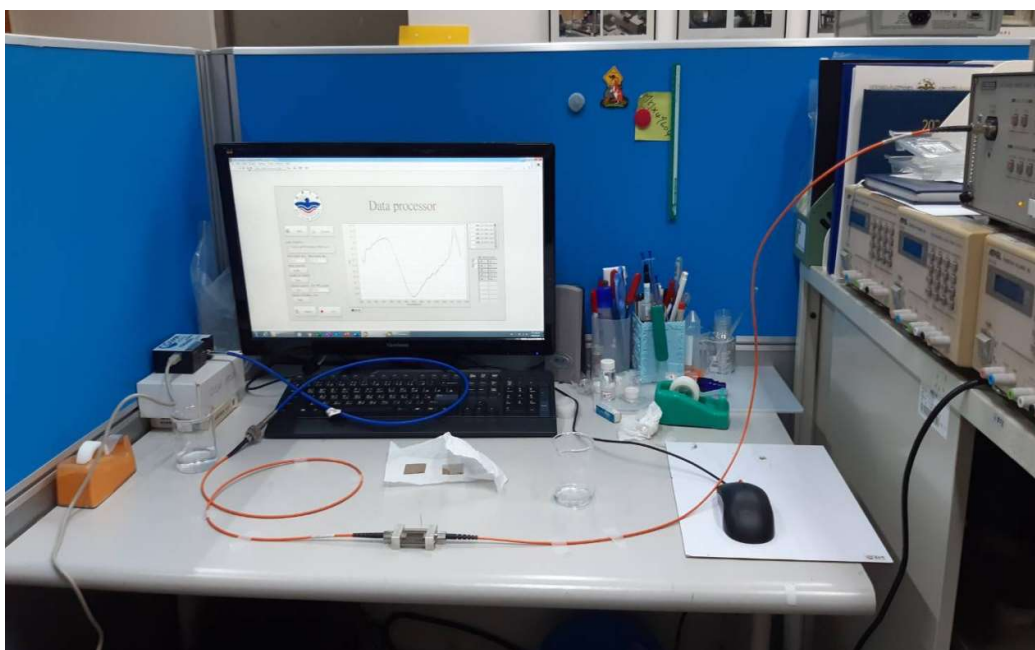
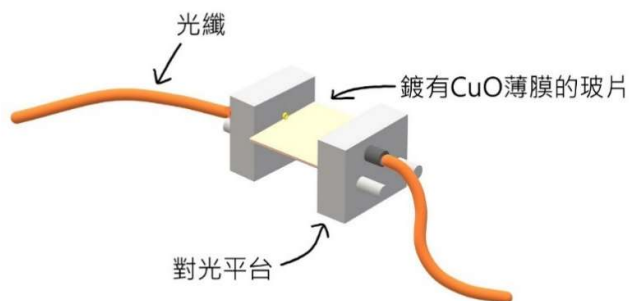


圖 1. 量測系統架設圖



(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。

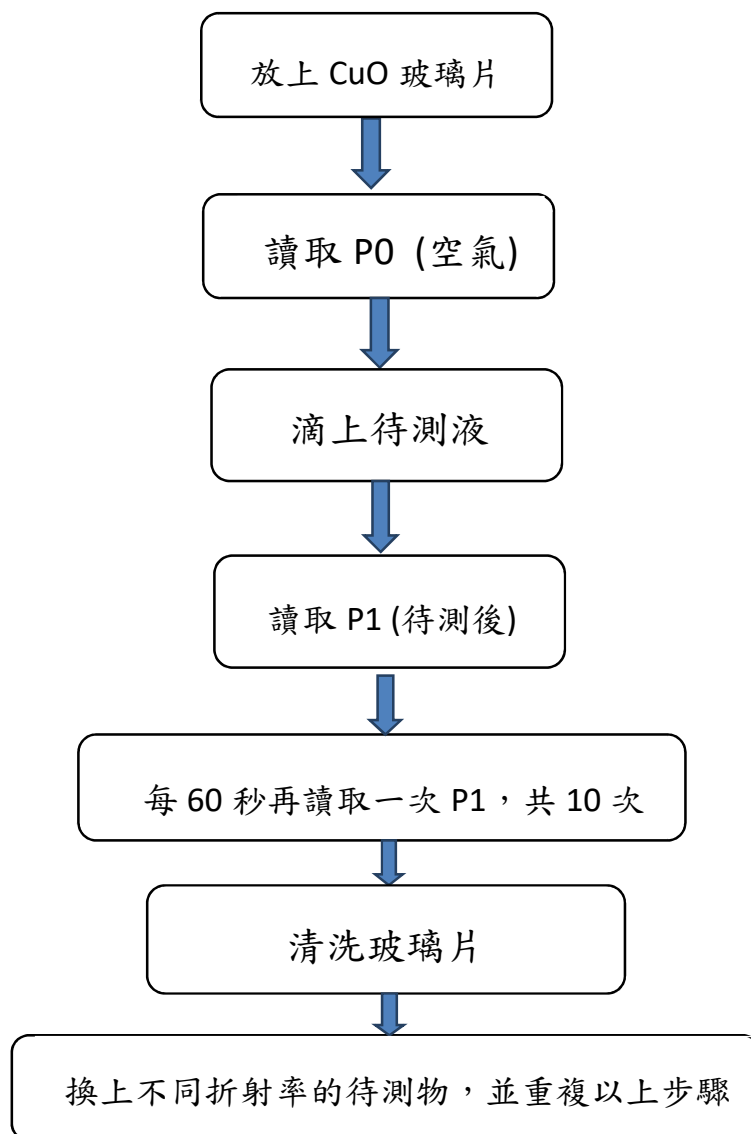


圖 3. CuO 甘油濃度穿透度流程圖

表 1. 不同甘油濃度的折射率

甘油濃度	0%	20%	40%	60%	80%	100%
折射率	1.3333	1.3550	1.3810	1.4115	1.4395	1.4681

三、結果與討論

3.1 純水與空氣

為了確保 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 5. 中橘色線 P1 為滴水後的光強度，P0 藍色線為滴水前的光強度，強度最大值為 P1 的 63158.75 count，波長為 613 nm；最小值為 P1 的 48.544 count，波長為 523 nm。兩條色線幾乎重疊，但在波長 820 nm 至 1000 nm 間，滴水後的能量有部分損失，為損耗共振模態(LMR)所致。

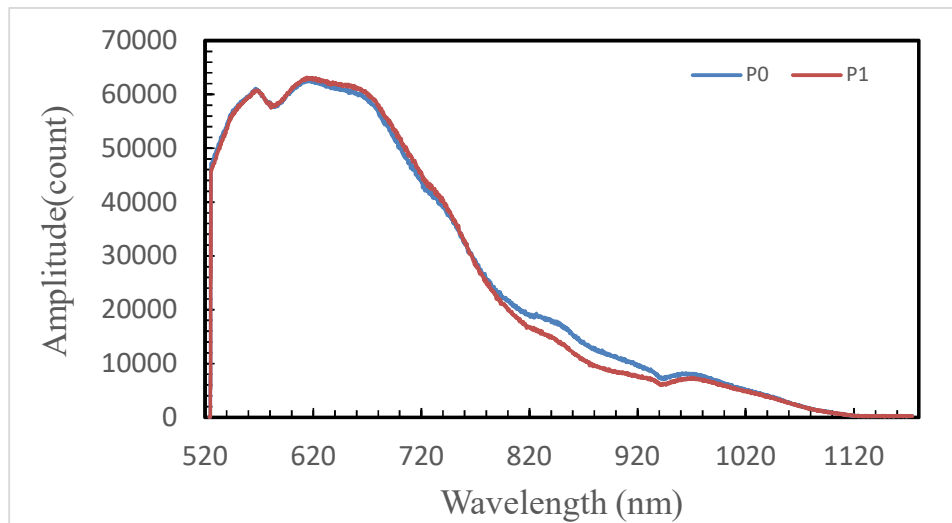


圖 4. CuO 薄膜純水與空氣之光強度比較圖

3.2 不同濃度甘油穿透度

為了找到 CuO 薄膜在不同甘油濃度的共振點，進行穿透度的測量，如圖 5，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 525 nm ~ 1175 nm，共測量 10 次，圖中不同顏色的色線代表不同的測量數。圖 5(a)，波谷波長 890 nm ~ 900 nm；圖 5(b)，波谷波長 905 nm ~ 920 nm；圖 5(c)，波谷波長 925 nm ~ 930 nm；圖 5(d)，波谷波長 965 nm ~ 968 nm；圖 5(e)，波谷波長 984 nm ~ 1010 nm；圖 5(f)，波谷波長 1065 nm ~ 1105 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。

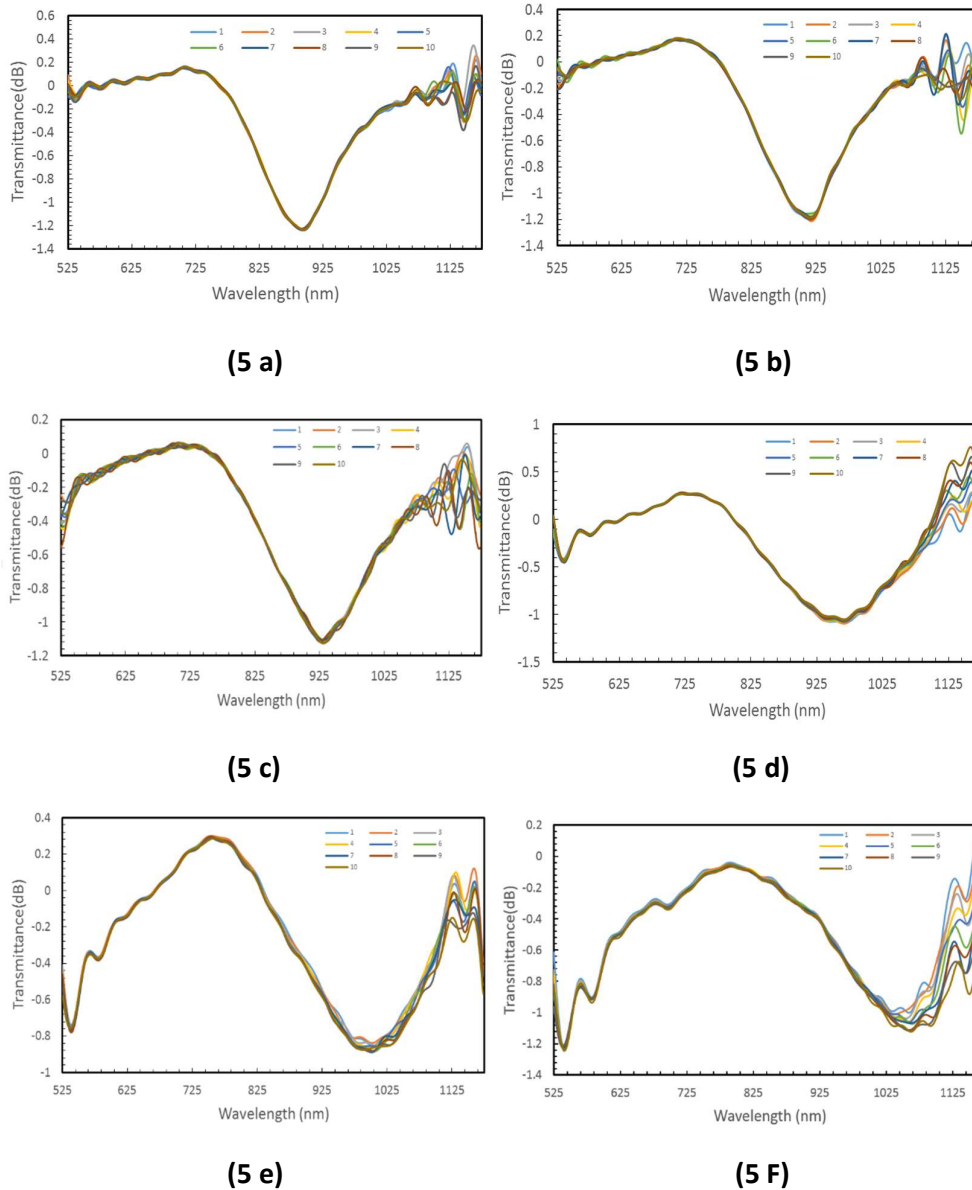


圖 5. 不同濃度甘油的共振頻譜 (a) 0%; (b) 20%; (c) 40%; (d) 60%; (e) 80%; (f) 100%

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 次測量頻譜圖做平均，可得到圖 6，為 CuO 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感油(也可視為折射率待測液)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 的共振發生在波長 892.82 nm，而折射率最大值 1.4681 的共振發生在波長 1055.42 nm，共振波長移動了 162.6 nm。表 2.為不同甘油濃度的折射率與共振波長，從表 2.與圖 2.可觀察到隨折射率越高，共振點會往高波長移動。

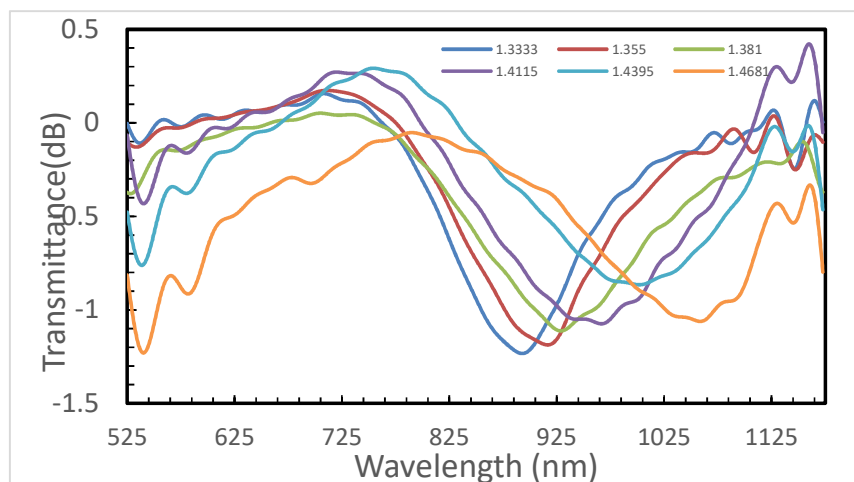


圖 6. CuO 薄膜不同折射率的待測液共振頻譜之比較

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)
甘油0%濃度	1.3333	892.8235
甘油20%濃度	1.3550	915.4859
甘油40%濃度	1.3810	928.8634
甘油60%濃度	1.4115	966.7264
甘油80%濃度	1.4395	999.2609
甘油100%濃度	1.4681	1055.426

3.4 不同折射率靈敏度的比較

圖 7. 為 CuO 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，圖中每藍色的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 1.344、1.368、1.3960、1.4255、1.4538。圖中可觀察到，靈敏度最大值為折射率 1.4538 的，1963.80 nm/RIU，而靈敏度最小值為折射率 1.3680 的 514.52 nm/RIU。

從表 3. 可觀察到共振波長變化越大，靈敏度就越大。表中靈敏度大都可以超過 1000 nm/RIU 最大值为 1963.80 nm/RIU，其折射率為 1.4538，共振波長變化也是表中最大的 56.2 nm。在 1.3680 時，測量到的靈敏度 514.52 nm/RIU 過小，可能是因為在測量第三點折射率為 1.381 時，共振波長無明顯增加，若從圖 6 來

看，對應的是灰色線，可明顯看到 TE 共振波與 TM 共振波兩者的綜合結果，要解決此問題，未來可以個別測量 TE 與 TM 共振頻譜。

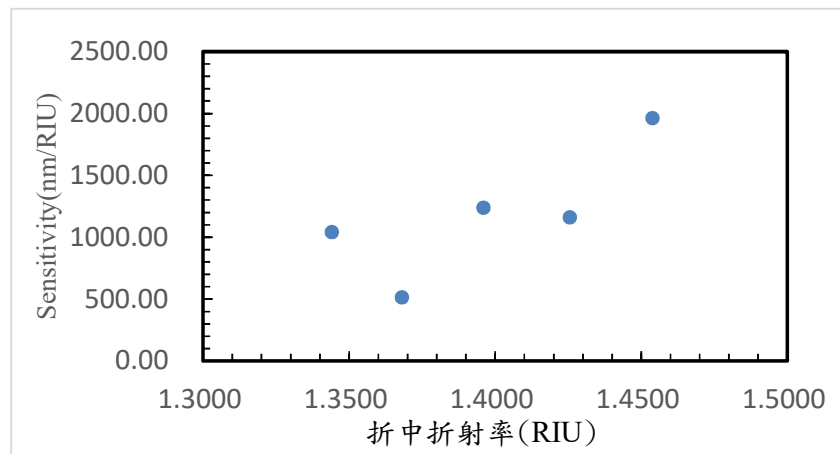


圖 7. CuO 薄膜不同折射率的靈敏度

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 $\Delta\lambda(\text{nm})/\Delta n(\text{RIU})$
$(1.333+1.355)/2$ 1.3440	= 22.7	0.0217	1044.35
$(1.355+1.381)/2$ 1.3680	= 13.4	0.0260	514.52
$(1.381+1.411)/2$ 1.3960	= 37.9	0.0305	1241.41
$(1.411+1.439)/2$ 1.4255	= 32.5	0.0280	1161.95
$(1.439+1.468)/2$ 1.4538	= 56.2	0.0286	1963.80

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 Copper 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

In this research, we use copper oxide (CuO) film as the material of the resonance layer to make a sensor based on the LMR (lossy mode resonance) sensing principle. The loss resonance dip was tested with different refractive indices analyte to obtain transmittance and sensitivity of the sensor. This research is basic and the purpose is to establish a sensor based on a glass platform based on the LMR sensing principle. Once established, the detection of biological or medical substances could be realized in the future.

Keyword: lossy mode resonance, copper oxide, glass platform, transmittance, 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, e7

©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.