

MC-Transaction on Biotechnology, 2020, Vol. 11, No. 1, e6

©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：

損耗模態共振測量系統的量測不確定性研究

解東翰、陳思穎、柯冠宇、鄭宇傑、林彤璟、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

基於損耗模態共振(LMR)原理的感測技術具有高靈敏特性的優點，其輸入光源的極化並無要求，可以是橫向磁場(TM)或橫向電場(TE)波，且其損耗共振峰谷數目並非僅有一個，隨著金屬氧化層厚度的增加，峰谷數目會隨之增加。目前在國外的各個領域已有不少的發展與應用，因為高靈敏特性，使其在微量感測技術上更具優勢。然而，目前絕大部分的研究都以光纖作為光波導基材，這樣的感測結構加工不易，且不利於後續製程。此外，微量檢測技術必須考慮量測不確定性，才能討論對於量測結果的信心水準，但目前很少論文談及此重要的基本測量。在本研究中，我們嘗試使用低成本的玻璃平板作為波導基材，配合產業已經成熟的 ITO 量產鍍膜技術，製作出 LMR 感測器，建立 LMR 感測平台，並以 A 類估算，討論量測系統的量測不確定度。

關鍵字：損耗模態共振、玻璃平板、氧化銻錫、量測不確定性

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

感測技術一直是推動生物、醫學、農業、工業、食品等領域持續進步的主要動能之一，利用某種材料的物理或化學性質變化，轉變成光信號的差異，即是光學感測器，常用於較為精密的應用領域。LMR 常利用 Kretschmann 結構，以特定厚度的半導體薄膜或金屬氧化薄膜材料鍍在光波導上，若光的傳導模態與損耗模態符合相位匹配條件時，且當傳導模態模場與損耗模態模場間大量重疊時，會產生傳導模態量傳遞給薄膜材料的損耗模態的情況，對特定波長的光會產生極大的共振，造成特定波長的能量損耗，此一現象稱為損耗模態共振(LMR, Lossy Mode Resonance)[1]。目前在國外的各個領域已有不少的發展與應用，因為高靈敏特性，使其在微量感測技術上更具優勢。然而，目前絕大部分的研究都以光纖作為光波導基材，這樣的感測結構加工不易，且不利於後續製程。此外，微量檢測技術必須考慮量測不確定性，才能討論對於量測結果的信心水準，但目前很少論文談及

此重要的基本測量。在本研究中，我們嘗試使用低成本的玻璃平板作為波導基材，配合產業已經成熟的 ITO 量產鍍膜技術，製作出 LMR 感測器，建立 LMR 感測平台，並以 A 類估算，討論量測系統的量測不確定度目前在國外的各個領域已有不少的發展與應用，因為高靈敏特性，使其在微量感測技術上更具優勢。然而，目前絕大部分的研究都以光纖作為光波導基材，這樣的感測結構加工不易，且不利於後續製程。此外，微量檢測技術必須考慮量測不確定性，才能討論對於量測結果的信心水準，但目前很少論文談及此重要的基本測量。在本研究中，我們嘗試使用低成本的玻璃平板作為波導基材，配合產業已經成熟的 ITO 量產鍍膜技術，製作出 LMR 感測器，建立 LMR 感測平台，並以 A 類估算，討論量測系統的量測不確定度，可分為兩部分：一是光源+直接以光纖連接光頻譜儀(OSA)；二是光源接上 LMR 對光平台後再接上 OSA，討論兩者的差異。

二、量測不確定性[2]

量測作業為工程規劃、設計、施工、監造以及各領域必須進行的重要工作，量測的結果會限於人員經驗、熟練度、儀器精準度、系統偏、差樣品代表性和非主客觀的條件的獨立事件，而連帶影響量測結果。量測的初始值不能代表真正的數值，採用量測不確定度來表示真值合理的範圍區間、分散模式和可接受的可靠度值，使量測結果經過一些統計、分析的模組變的更客觀可信。

量測不確定性的評估項目有 5 大項：

- (1).量測數據值:一般以量測儀器最小刻度單位作為具可靠度之數據值的依據；
- (2).可能誤差值或可能存在的範圍區間:誤差分為隨機誤差跟系統誤差，隨機誤差由隨機性和不可預知之因素造成，可藉由量測的次數來降低其誤差值，而系統誤差由一些已確定之因素造成，可藉由修正手段來降低其誤差值；
- (3).標準偏差值:表示可能誤差值最常用的方法，一個隨機變數的機率分配方式是屬於常態分配 $N(\mu, \sigma)$ ，其中 σ 為母體的變異數；若 σ 未知時，可用量測值的變異數 S 值取代之，例如： $(\mu \pm \sigma)$ 的範圍約涵蓋 68% 的隨機變數值； $(\mu \pm 2\sigma)$ 的範圍約涵蓋 95% 的隨機變數值； $(\mu \pm 3\sigma)$ 的範圍約涵蓋 99.7% 的隨機變數值。
- (4).可靠度值:可靠度值表示這個量測結果的可靠程度或稱為信心水準。
- (5).採用統計分析之方式或模式: 不同的數據資料，必須選用適當的統計分析方式或模式或所謂的機率分布函數，例如：矩形分配、三角形分配、U 型分配或其他較複雜分配模式進行分析。

評估獨立因素的標準不確定度是針對每個獨立因素、量測值或修正值，進行標準不確定度的評估，依評估方式分成 A 型和 B 型兩大類。

A 型評估方式:用次數分配模式為基準，觀察所得之數據值為機率分布所推導之機率密度函數計算，適用於評估量測的隨機性和重複性所產生的可能變異，必須計算分析的項目為:(1).量測次數: n ; (2).量測值的平均值: x ; (3).量測值的標準差: S (若 σ 未知時，可用 S 取代 σ) ; (4).計算平均值的標準差: S/\sqrt{n} 。

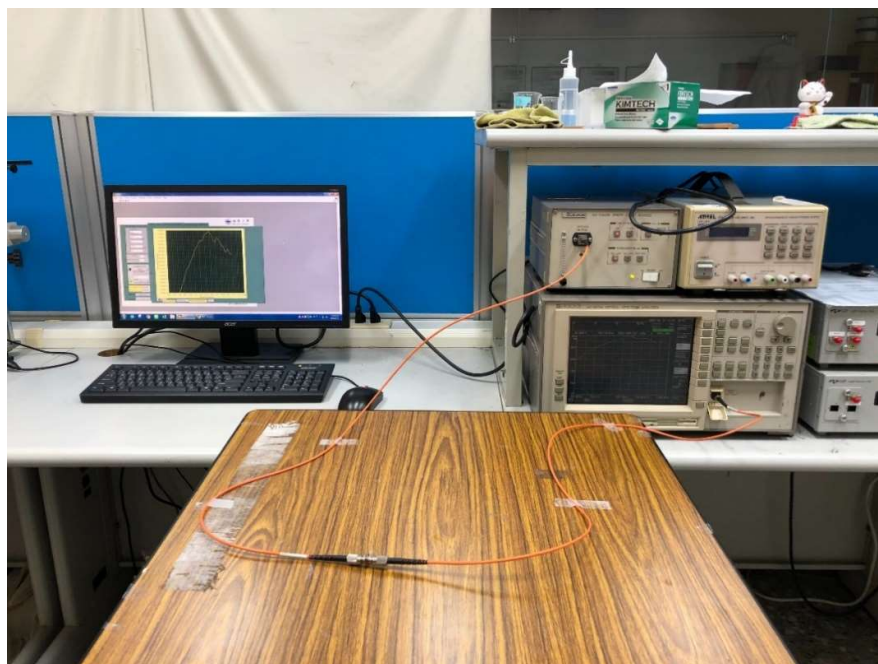
若已知母體為常態，則不管 n 值為多少常態分布的狀態十分良好；若 $n \geq 30$ 時，不論母體本質為何，均屬於常態分布。 n 值越大，愈能夠符合中央極限定理。

B 型評估方式:經驗上的機率分配模式為基準，根據經驗值、原始數據、儀器規格表、解析度、環境條件、廠商說明書或先前測得之觀測值作為機率分布所推導之機率密度函數計算，適用於評估無法量測或不需要量測的可能變異，必須計算分析的項目為:(1)確認可能變異的模式；(2).假設合理的機率分布方式；(3).計算標準差: S ，常用的機率分布方式: 矩形分布、三角形分布、U 型分布。

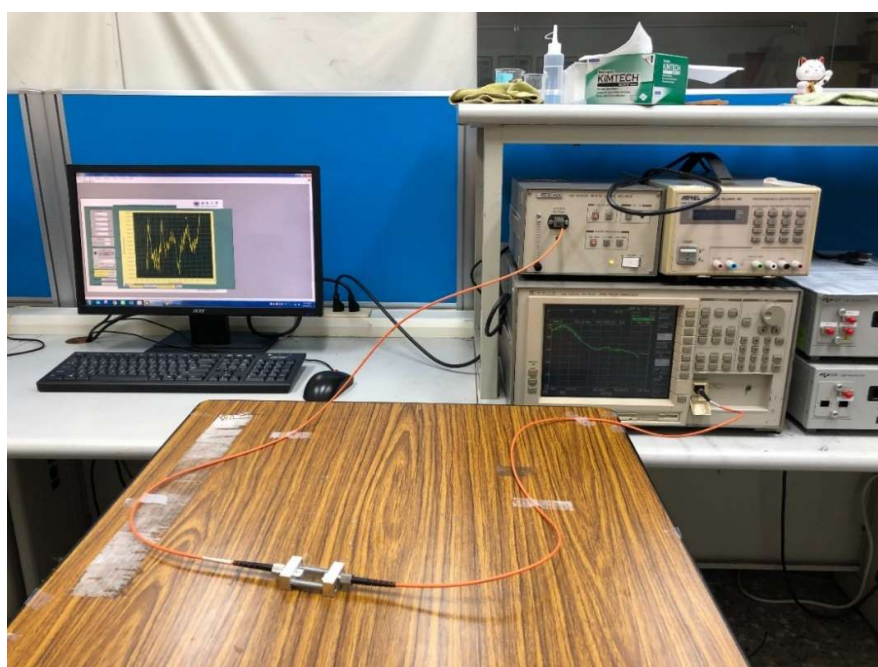
A 型和 B 型的評估方式在於主客觀資料所產生的機率分布的方法不同，並非兩種不同的不確定度，這兩種方式是依據機率分配即採用標準差或可能變異數來計算不確定度，在本實驗中是採用 A 型來進行評估方式。

三、實 驗

量測系統架設如圖 1(a)，為了有較寬的測量範圍，我們採用鹵素光源(ANDO AQ-4303B)，提供波長 400 nm~1700 nm 之間，利用數值孔徑為 0.39 NA 的 FC 接頭光纖線把光引入 FC 對 FC 的 Adaptor，再由另一條同規格的光纖將輸出光引入光頻譜儀(OSA，ANDO AQ-6315A)。另一個系統架設如圖 1(b)，多加入一個測量 LMR 對光平台，先將光利用光纖引入 LMR 對光平台，平台上放置 ITO 玻璃，再由另一條光纖將輸出光引入光頻譜儀。以上兩組實驗的 OSA 都以電腦的 USB/GPIB 介面控制，可由電腦下命令讀取 600 nm ~ 1100 nm 之間光頻譜儀的測量數據，並做光強度(power)和共振波長(wavelength)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。兩組實驗的數據讀取，都是每 5 秒量測一次，量測 20 次，共 100 秒。



(1 a)

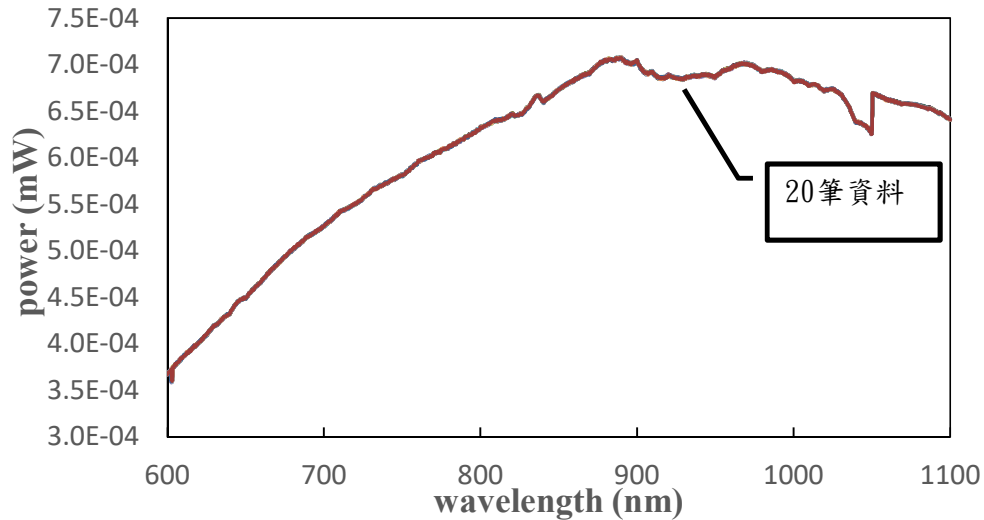


(1 b)

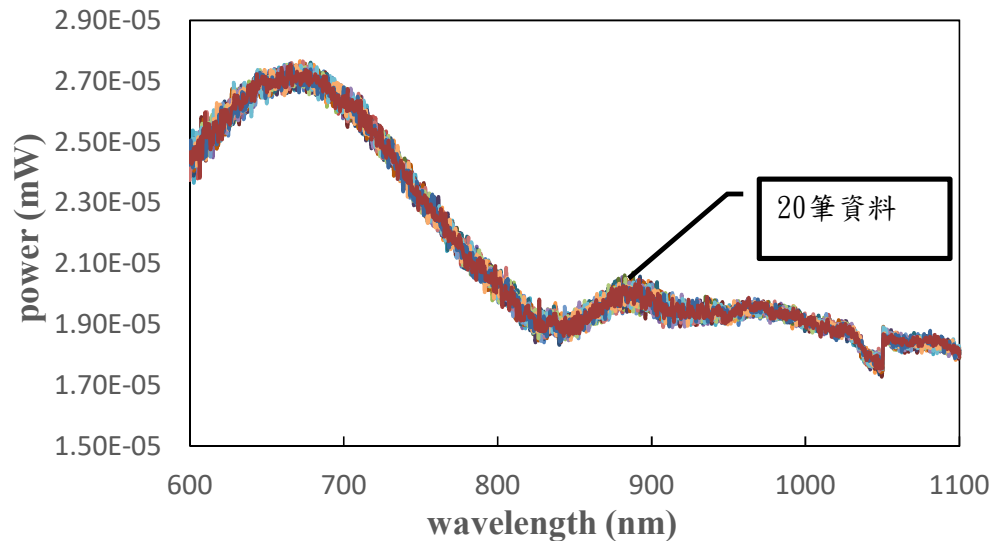
圖 1(a) 鹵素光源對 OSA 的實驗架設 (b) LMR 量測系統的實驗架設

四、結果與討論

測量 20 筆資料量測光強度，得到如圖 2 所示。圖 2 (a)和圖 2 (b)分別是鹵素光源對 OSA 的穩定性和 LMR 量測系統的穩定性，其中 X 軸為波長，Y 軸為光強度。



(2 a)



(2 b)

圖 2 (a)鹵素光源對 OSA 光強度的測量；(b) LMR 量測系統上的光強度測量

由圖 2 (a) 可看光強度在波長 890 nm 能量最高，光強度大約為 708×10^{-6} mW，由 600 nm 到 900 nm，每隔 50 nm 找出特定波長的最大值、最小值、中位數、第一四分位數、第三四分位數，結果如表 1。發現光強度在每個特定波長差距都非常小，最大值與最小值相差低於 3×10^{-6} mW。由圖 2 (b) 看光強度在

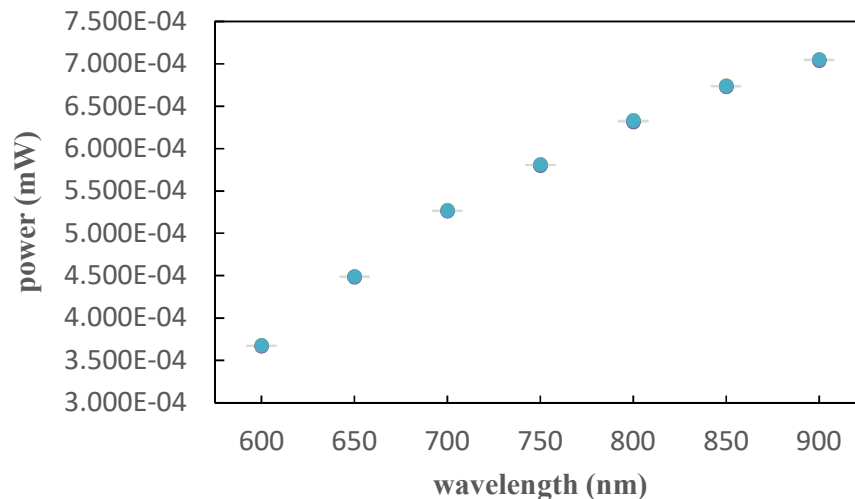
波長 678.5 nm 能量最高，光強度大約為 27×10^{-6} mW，主要是因為 ITO 玻璃的吸收損失在 800 nm~900 nm，造成接上 ITO 玻璃後，能量高峰在 678.5 nm。由 20 筆數據求特定波長的最大值、最小值、中位數、第一四分位數、第三四分位數，得表 2，發現光強度在每個特定波長差距都非常小，最大值與最小值相差低於 1×10^{-6} mW。

由表 1 畫出特定波長光強度箱型圖，如圖 3(a)，由於整個波段的最大光強度與最小光強度差約 3.6×10^{-4} mW，且每個特定波長光強度差距非常小，所以 600 nm~900 nm 所繪出的箱型圖看似飛碟狀，且隨著波長增加，平均能量增加。針對 750 nm 的單一波長，將箱型圖放大來看，如圖 3(b)，中位數略偏上方。

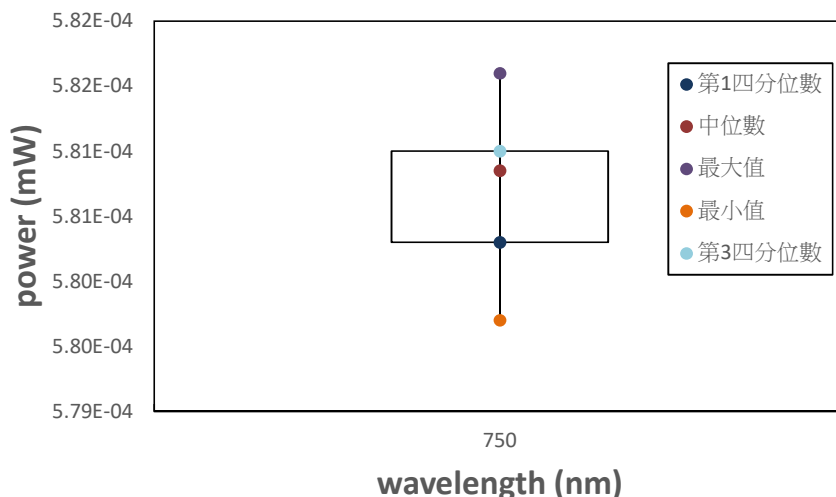
表 1 光源連接 OSA 之特定波段光強度統計圖

波長(nm)	600	650	700	750	800	850	900
第 1 四分位數	3.672	4.486	5.265	5.803	6.319	6.735	7.042
中位數	3.675	4.487	5.268	5.809	6.324	6.737	7.045
最大值	3.681	4.492	5.274	5.816	6.335	6.746	7.052
最小值	3.665	4.479	5.259	5.797	6.313	6.727	7.036
第 3 四分位數	3.677	4.490	5.269	5.810	6.329	6.738	7.049

單位： 10^{-7} W



(3 a)



(3 b)

圖 3 鹵素光源對 OSA 之特定波長光強度箱型圖 (a) 波長 600 nm ~ 900 nm (b) 波長 750 nm。

由表 2 畫出特定波長光強度箱型圖，如圖 4 (a)和圖 4 (b)所示。因為 LMR 對光平台在光纖進入玻璃界面處會有一次反射，在玻璃裡面與 ITO 薄膜界面處也會有反射與發散，最後玻璃進入光纖的界面處又再進行一次反射，所以 LMR 對光平台並不會如直接連接鹵素光源來的強，光強度大約相差了 10 倍，所以求出的箱型圖不會呈圖 3(a)般的飛碟狀，但在特定波長第四分位數與第三四分位數差距不超過 0.4×10^{-6} mW，所以靠得很近。

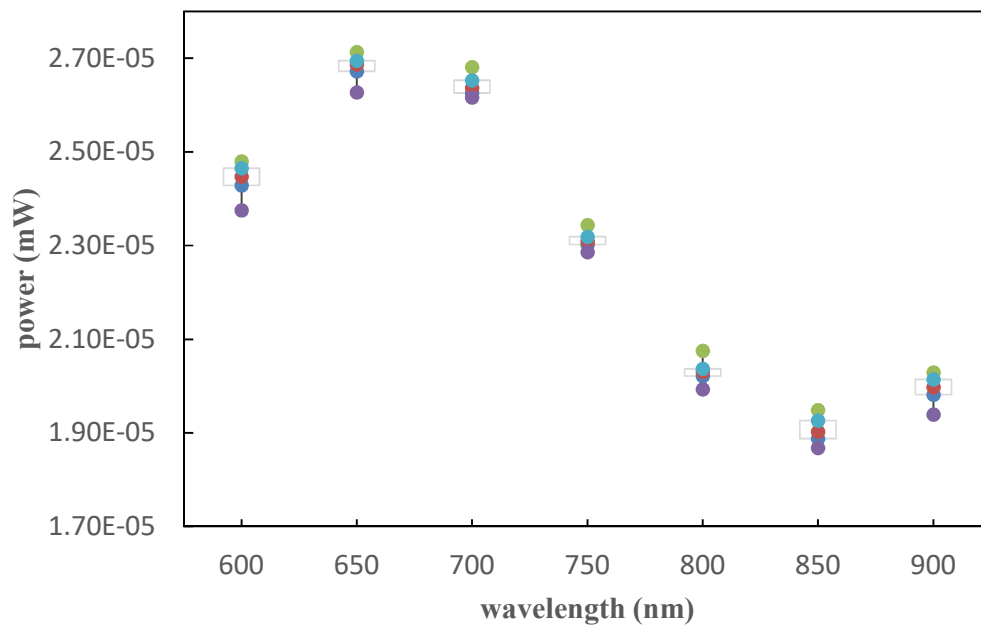
表 2 LMR 量測系統之特定波段光強度統計圖

波長(nm)	600	650	700	750	800	850	900
第 1 四分位數	2.435	2.675	2.635	2.305	2.025	1.895	1.985
中位數	2.465	2.695	2.645	2.315	2.035	1.905	2.005
最大值	2.485	2.715	2.685	2.345	2.085	1.955	2.025
最小值	2.385	2.635	2.625	2.295	1.995	1.875	1.945
第 3 四分位數	2.475	2.705	2.645	2.325	2.045	1.935	2.015

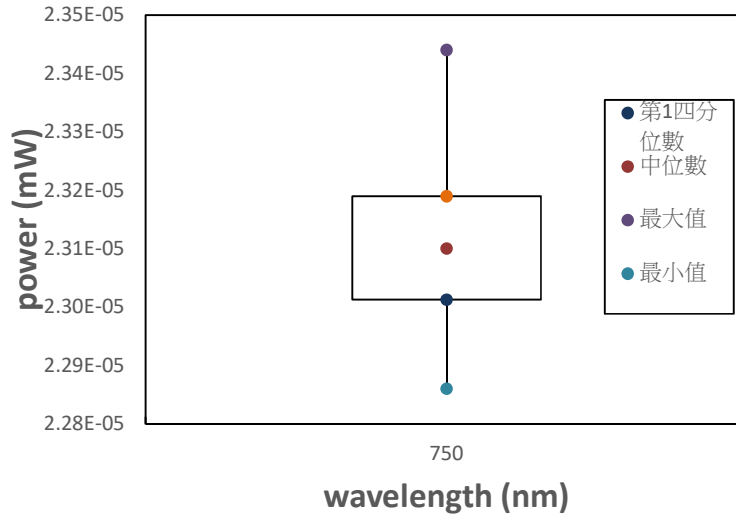
單位： 10^{-8} W

透過量測 20 次鹵素光對 OSA 和 LMR 量測系統光強度在特定波長範圍 600 nm ~ 900 nm 來計算平均值、標準差和平均標準差，數據分別如表 3 及表 4，圖形分別如圖 5 及圖 6。結果發現，鹵素光對 OSA 的平均值會隨著波長有往上升的

趨勢，在 LMR 量測系統的平均值不會隨著波長而逐漸上升，在波長 650 nm 是光強度平均值的最大位置。鹵素光對 OSA 的標準差在波長 800 nm 的光強度數值比其他特定的波長離群值來的大，LMR 量測系統的標準差在波長 600 nm 的光強度數值比其他特定的波長離群值來的大。鹵素光對 OSA 的平均標準差用標準差的數值來除上開根號的次數，鹵素光對 OSA 光強度的標準差發生最大值在波長 800 nm，是變異發生最大的地方，數值為 6.901×10^{-10} W；LMR 量測系統光強度的標準差發生最大值在波長 600 nm，數值為 2.570×10^{-10} W，LMR 量測系統在波長 750 nm 附近正好是系統標準差最小的地方，數值為 1.431×10^{-10} W，這個波長區域正好也是 LMR 感測的共振範圍，可以降低對 LMR 測量的不確定度。兩組系統的量測結果：鹵素光對 OSA 波長在 800 nm 在信心水準 95% 的標準下(平均值 ± 2 倍平均標準差)，量測不確定性為 3.086×10^{-10} W，LMR 量設系統波長在 600 nm 在信心水準 95% 的標準下(平均值 ± 2 倍平均標準差)，量測不確定性為 1.150×10^{-10} W。



(4 a)



(4 b)

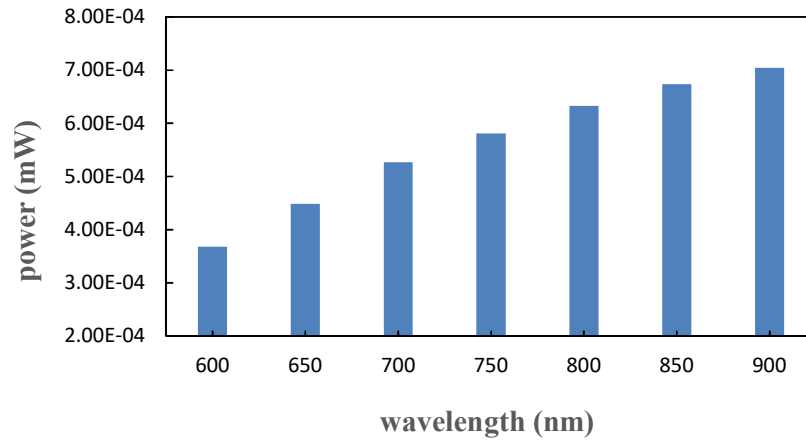
圖 4 LMR 量測系統上特定波長光強度箱型圖 (a) 波長 600 nm ~ 900 nm (b) 波長 750 nm。

表 3 量測 20 次鹵素光對 OSA 光強度之特定波長範圍統計圖

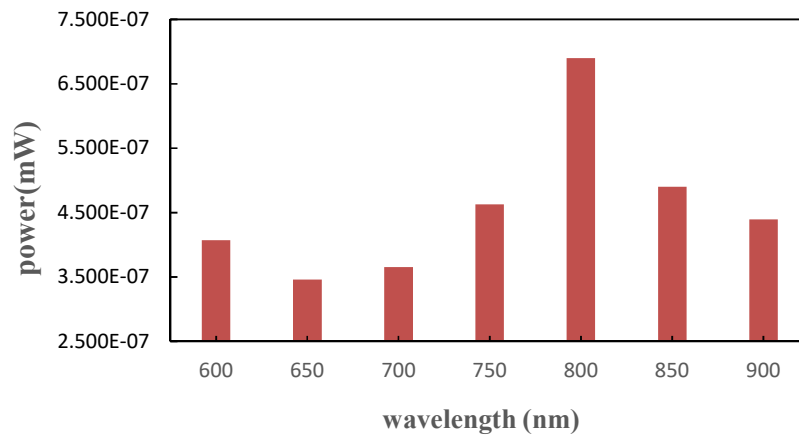
波長 (nm)	600	650	700	750	800	850	900
平均值	3.675	4.487	5.267	5.808	6.324	6.737	7.045
標準差	4.069E-03	3.456E-03	3.655E-03	4.627E-03	6.901E-03	4.900E-03	4.394E-03
平均標準差	9.098E-04	7.728E-04	8.172E-04	1.035E-03	1.543E-03	1.096E-03	9.825E-04

表 4 量測 20 次 LMR 系統光強度之特定波長範圍統計圖

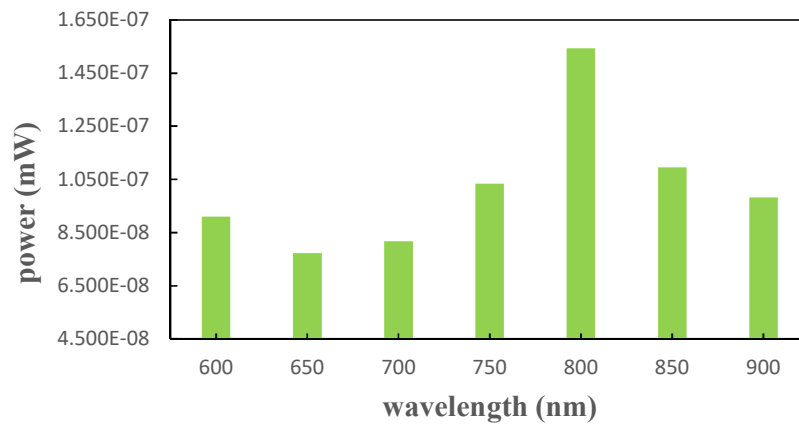
波長 (nm)	600	650	700	750	800	850	900
平均值	2.444E-01	2.681E-01	2.641E-01	2.301E-01	2.030E-01	1.908E-01	1.994E-01
標準差	2.570E-03	2.314E-03	1.845E-03	1.431E-03	1.641E-03	2.384E-03	2.487E-03
平均標準差	5.748E-04	5.174E-04	4.125E-04	3.201E-04	3.670E-04	5.331E-04	5.561E-04



(5 a)

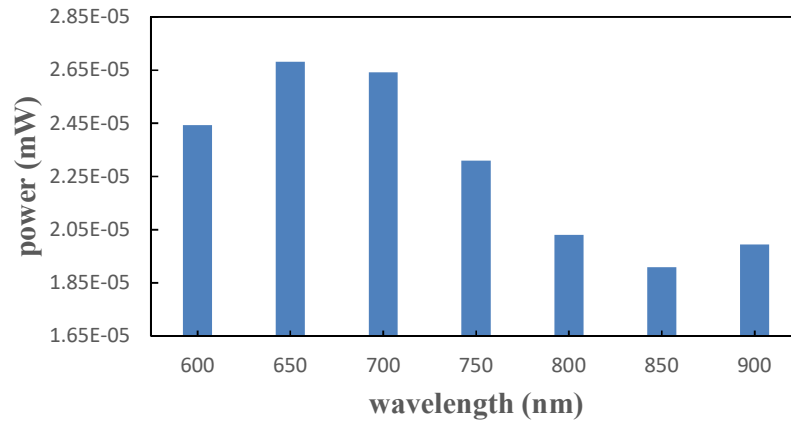


(5 b)

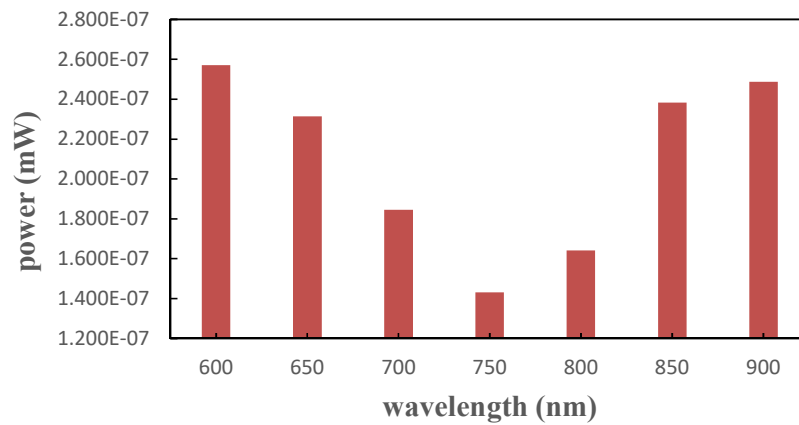


(5 c)

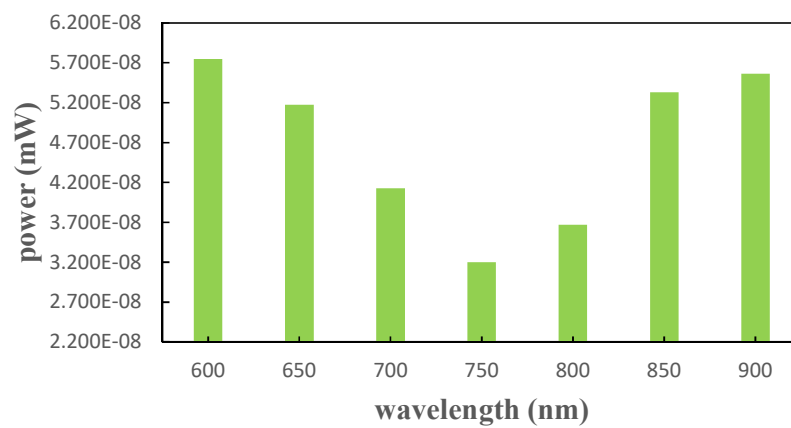
圖 5 鹵素光源對 OSA 量測 20 次在特定波長範圍之光強度 (a) 平均值 (b) 標準差 (c) 平均標準差。



(6 a)



(6 b)



(6 c)

圖 6 LMR 量測系統量測 20 次在特定波長範圍之光強度 (a) 平均值 (b) 標準差 (c) 平均標準差。

參考文獻

- [1] Del Villar I, Arregui FJ, Zamarreño CR, Corres JM, Barriain C, Goicoechea J, Elosua C, Hernaez M, Rivero PJ, Socorro AB, Urrutia A, Sanchez P, Zubiate P, Lopez D, De Acha N, Ascorbe J, Matias IR: Optical sensors based on lossy-mode resonances. *Sensor and Actuat B-Chem* 2017, 240:174.
- [2] 房性中："標準貫入試驗 N 值應用的比較與探討"，第二版。1998 年，文笙出版社。
- [3] 中華民國實驗室認證體系，"測試實驗室負責人訓練標準教材"，初版。2000 年，財團法人全國認證基金會。
- [4] 趙淳霖譯："可靠度工程導論" (Introduction to Reliability Engineering, Lewis EE)。1989 年，科技圖書股份有限公司。
- [5] 中華民國實驗室認證體系，"CNLA 測試結果量測不確定度評估共通規範"。2000 年，財團法人全國認證基金會。

Proceedings of the 2020 MTID Symposium: Lossy Mode Resonance Measuring system Uncertainty of Measurement

Dong-Han Xie, Ssu-Ying Chen, Kuan-Yu Ke, Yu-Chieh Cheng, Tung-Ching Lin, Yu-Cheng Lin*

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

Abstract

The principle of Lossy Mode Resonance (LMR) is a highly sensitive technology. The input light source is not limited, could be TE or TM wave, and the loss peaks dips are not only one. With the increase of the metal oxide layer thickness, the number of dips will increase, which provides more advantages in micro-sensing technology. So, LMR is an important development technology in the field of biomedical sensing in the future. At present, most researches use optical fiber as the waveguide substrate, such a sensing structure is not easy to process in nature, and it is not conducive to do a surface modification. It is a big worry for the future sensor to be commercialized. In the current literature, there are few papers or patents that use planar waveguide structures for testing. In this topic, we try to use flat glass as the waveguide substrate, with the industry in volume production of mature ITO (Indium Tin Oxide) coating technology. The LMR sensing platform was established and Class A estimation was used to discuss the measurement uncertainty of the measurement system.

Keyword: lossy mode resonance, planar glass, indium tin oxide, measurement uncertainty

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, e6

©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.