

# Design and Implementation of Electrochemical Potentiostat for Food Safety Monitoring Biosensors

Chin-Yung Chao <sup>1</sup>

Chun-Yueh Huang <sup>1\*</sup>

Tsui-Ling Chang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, 70005, Taiwan

<sup>2</sup> Department of Biological Sciences and Technology, National University of Tainan, 70005, Taiwan

<sup>2\*</sup>E-mail :cyhun@gm2.nutn.edu.tw

## Abstract

In this paper, we proposed a signal processing system, names as potentiostat, for electrochemical mRFP biosensor. The proposed system is used to test mRFP biosensor, which is designed with the laboratory of department of biological science and technology of NUTN, for food safety monitoring. The potentiostat is realized by using an embedded systems: microprocessor EFM32. The function of cyclic voltammetry is used to analyze the concentration of the samples.

In the experiment, the microprocessor EFM32 outputs a fixed-frequency scanning signal to scan the biosensor, and measured the biosensor's current. This method can perform large-scale, and high-precision analysis. Through the conduction of current, Labview software is used to detect various parameters of the samples and to judge its results. For example, the poison detection sensor is used to judge whether the detection liquid is toxic or not, and establishing a big data database.

In system verification, the proposed potentiostat are used to measure current changes of biosensor under different concentrations of the samples, and compares these results with the commercial potentiostat. From the experimental results, the testing procedure by means of electrochemical approach can be finished and obtained the results in a few seconds.

Keywords: Embedded system, human-computer Interface, biomedical sensor, cyclic voltammetry, potentiostat

---

\* Corresponding author:cyhun@gm2.nutn.edu.tw  
DOI : 10.3966/222344892020101002004

## 應用於食品安全監控感測器之電化學分析儀設計與實現

趙竟詠<sup>1</sup> 黃俊岳<sup>1\*</sup> 張翠玲<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立臺南大學電機工程學系

<sup>2</sup> 國立臺南大學生物科技學系

### 摘要

本論文設計一個循環伏安式電化學分析儀作為電化學 mRFP 生物感測器之信號處理，此 mRFP 生物感測器是由台南大學生物科技系所開發，用以檢測食物溶液中是否具有毒性物質，所提出之電化學分析儀是利用嵌入式系統開發完成，以跨領域合作方式進行生醫感測器研究並利用嵌入式系統(EFM32 微處理器)開發完成，並採用循環伏安法來分析溶液之檢體濃度變化。

在實驗中透過微處理機 EFM32 輸出固定頻率的掃描訊號掃描待測物，觀測電流電壓圖並進行大範圍、高精度的分析。透過電流傳導的情況，可以利用 Labview 檢測待測物的各項參數並推測其性質。例如透過毒物檢測感測器來判斷檢測液中是否有具有毒性，並可進一步建立大數據資料庫。

在系統驗證方面，我們的分析儀中的 mRFP 生物感測器針對不同濃度待測物的量測，系統對於感測器所量測到的電流變化進行分析，並與商用的分析儀所量測之結果進行比對，驗證本系統之特性。從實驗結果顯示，利用電化學方法來進行食物溶液中是否具有毒性物質之檢測，所需要之分析時間可以在幾秒中之內完成。

**關鍵字：**嵌入式系統、人機介面、生醫感測器、循環伏安法、電化學分析儀

## 1. 緒論

近年來由於食安問題，民眾於生活中所接觸的食物、飲料等，皆可能有問題，但一般的食品檢測耗時又費工，對民眾來說不是很方便，另外，隨著高齡化的社會來臨，行動不便的老人們長照及定期到院追蹤對於他們來說也是一種負擔，電化學分析儀能應用於血糖機一般的醫用檢測儀器之基礎，讓民眾在家也能進行檢查紀錄，因此開發此儀器對於現今社會來說是相當重要的。

## 2. 研究方法

### 2.1 循環伏安法(Cyclic Voltammetry, CV)

在電化學反應中，最常作為量測的指標有三項，分別是電位、電流以及電量，利用這些來推演出其他的反應量，如電流效率、能量效率等。而本研究進行的電化學反應，主要是觀察電極與電解質之間的電荷轉移，進而量測到電化學反應中的電流反應。本次實驗所使用的便是循環伏安法。使用的激發訊號如圖 1 所示的三角波，將電位施加在兩個固定電位值之間做循環變化，一開始以線性的方式增加至最大值，再以相同的斜率做逆向掃描，其結果為圖 2，以線性的方式減少至最小值，此過程可以重複無數次，針對其過程中的氧化還原反應加以分析。

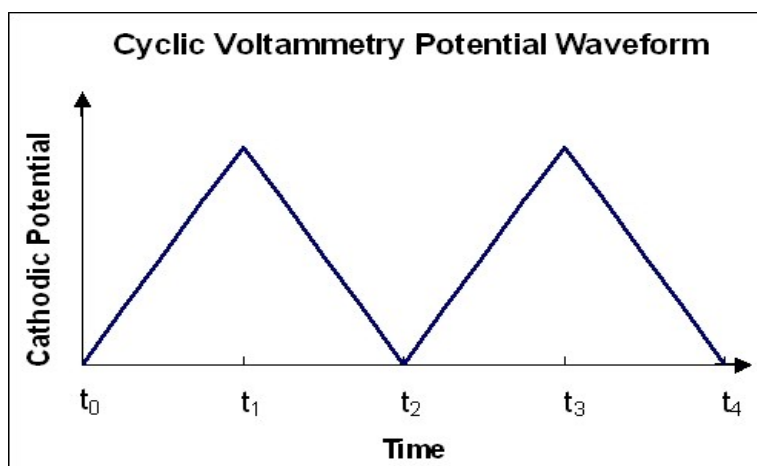


圖1 循環伏安法的激發信號[3]

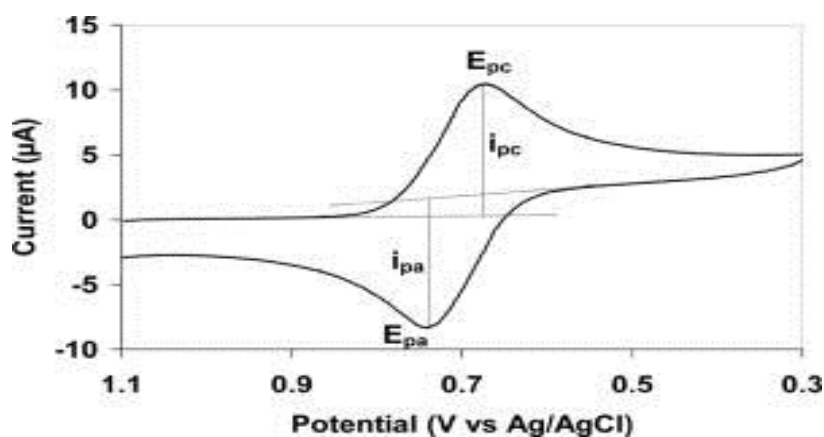


圖2 典型可逆氧化還原之循環伏安圖

### 3. 電路架構設計與分析訊號控制

#### 3.1 電路架構介紹

圖 3 為本計畫分析儀之架構，由圖中可以看到將所需的掃描訊號寫入微處理機所產生的三角波掃描電壓(0~2V)，藉由 D/A 轉換器輸入至外部電路，透過外部電路將其放大至 (2V~-2V)，放大過後的掃描電壓經過外部電路所連接的待測物後，由微處理機 A/D 轉換器進行接收，比較經待測物前與經待測物後的電壓情形，推算其電流的大小，透過微處理機的通用同步收發傳輸器將數位資料送出經由 RS232 轉 USB 與個人電腦連接，傳送至 Labview 人機介面，利用其圖形化程式編譯平台進行數據儲存並繪圖，並與商用儀器分析比較，最後彙整並做出校正曲線，完成整個系統。

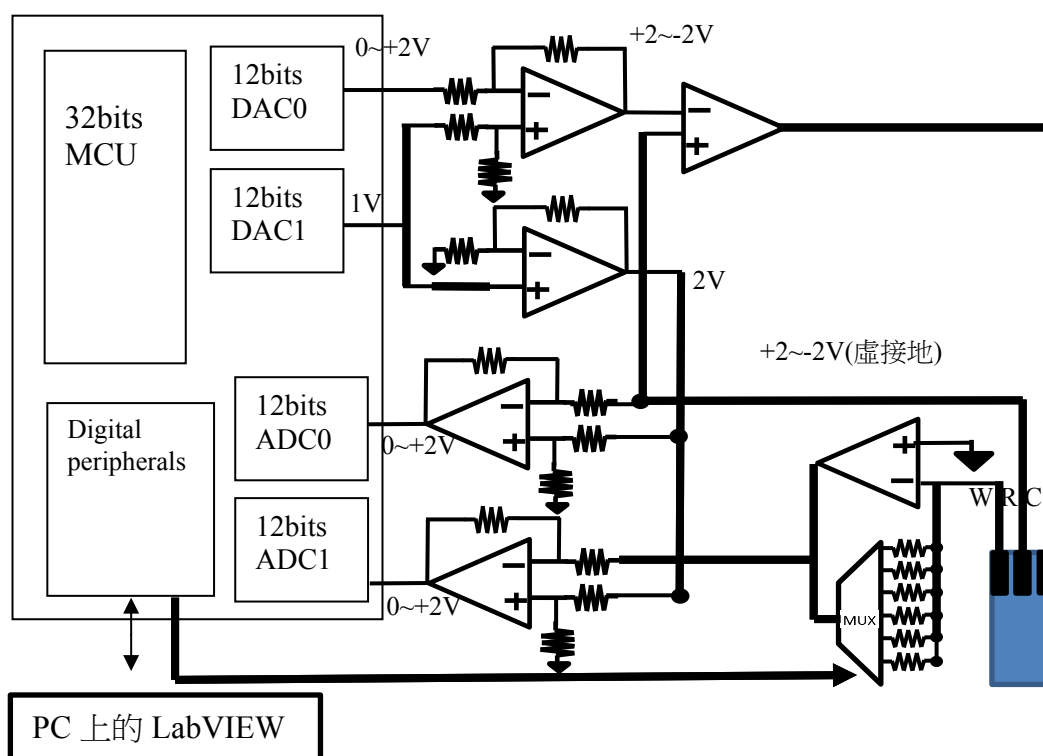


圖 3 電化學分析儀系統電路架構

#### 3.2 掃描速率控制

掃描速率的定義為單位時間掃描電位的變化量，其為過去實驗室所做的電化學分析儀所使用之公式(1)，如圖 3-2 表示，為掃描速率關係示意圖。 $T_{INT}$  為中斷所控制的時間間格， $T_{DAC}$  為 DAC 輸出所需要的時間。根據實驗測試，中斷暫存器數值設定為 750 時，中斷發生的間格為 1ms( $\Delta t$ )。在使用者設定掃描速率後，因為不同的掃描速率會對應不同的 DAC 輸出間格，也就是圖 4 中的  $\Delta V$ 。所以就能夠利用(1)式計算出為了達到指定的掃描速率所要設定的中斷暫存器數值( $Top\_count$ )。

$$\text{電化學分析儀掃描速率 } Rate_{scan} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

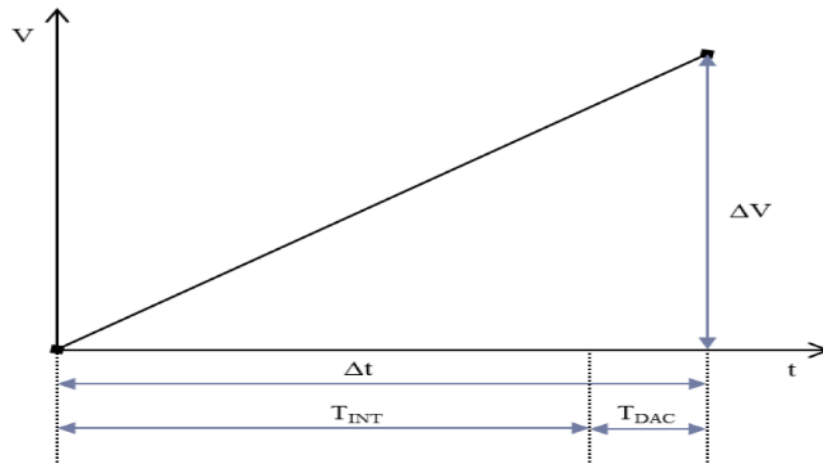


圖 4 掃描速率關係示意圖

### 3.3 Labview軟體程式與人機介面

在 LabVIEW 軟體程式流程上，在設定初始相關參數後，會開始進行循環伏安法之掃描，在掃描完成之後，透過 LabVIEW 先將資料進行數據優化並其匯出成 Excel 檔，在圖 5 中，可以看到介面由設定量測參數區塊、即時電壓與電流顯示區塊、即時 CV 圖顯示區塊與功能按鈕區塊所組成。左上方為使用者輸入量測參數的地方，可以由 High E 和 Low E 參數來設定三角波的掃描範圍，如初始電位(Init E)、掃描速率(Scan rate)、掃描圈數(Sweep segment)等參數。

即時電壓與電流顯示區塊中呈現的是產生的量測電壓情形及即時反應電流狀況，可以讓使用者在測量中觀察反應情形。即時 CV 圖顯示區塊將即時電壓與電流顯示區塊中呈現的電壓與電流組合成 CV 圖，讓使用者可以即時觀察電化學反應的反應情形。

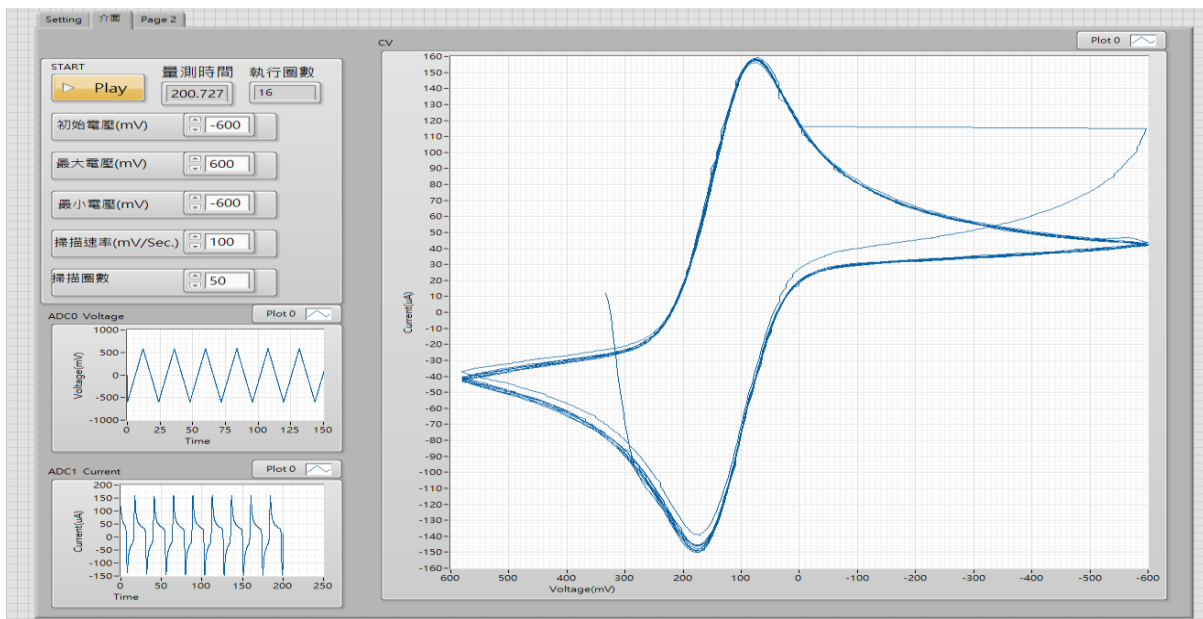


圖 5 LabVIEW 人機介面圖

#### 4. 實驗結果與討論

在分析儀的驗證部分將會進行循環伏安法對赤血鹽溶液進行實驗，圖 6 則為實際電路圖。由於電極試片使用過後會造成電極的損壞，所以實驗分別以不同的試片進行測量以增加結果的準確性。並假設不同電極試片測量，對實驗結果造成的影響可忽略不計。

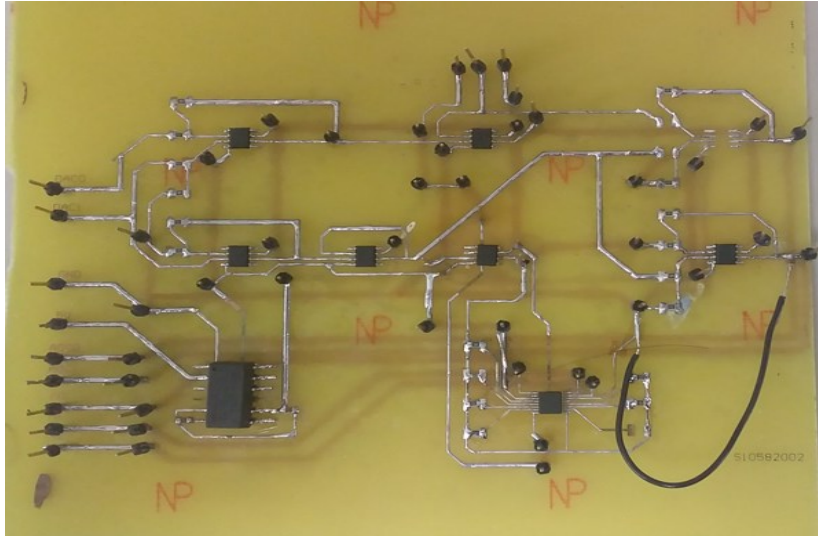


圖6 本系統之實際電路架構圖

##### 4.1 赤血鹽測量

接下來我們用循環伏安法對 3 種不同濃度的赤血鹽溶液進行實驗，參數如表 1，初始電位從 -600mV 開始，掃描最高電位為 600mV，最低為 -600mV，掃描速度為 100mV/s，進行 5 圈的掃描(一圈為半個周期的三角波)，並取第三圈與第四圈的數據來進行做圖比較，圖 7 為測量赤血鹽之結果疊圖，圖 8 則為本系統與商用儀器之校正曲線比較圖。

表 1 循環伏安法赤血鹽量測參數

參數	值
初始電壓(mV)	-600mV
最大電壓(mV)	600mV
最小電壓(mV)	-600mV
掃描速率(mV/sec)	100mV
掃描圈數	5 圈

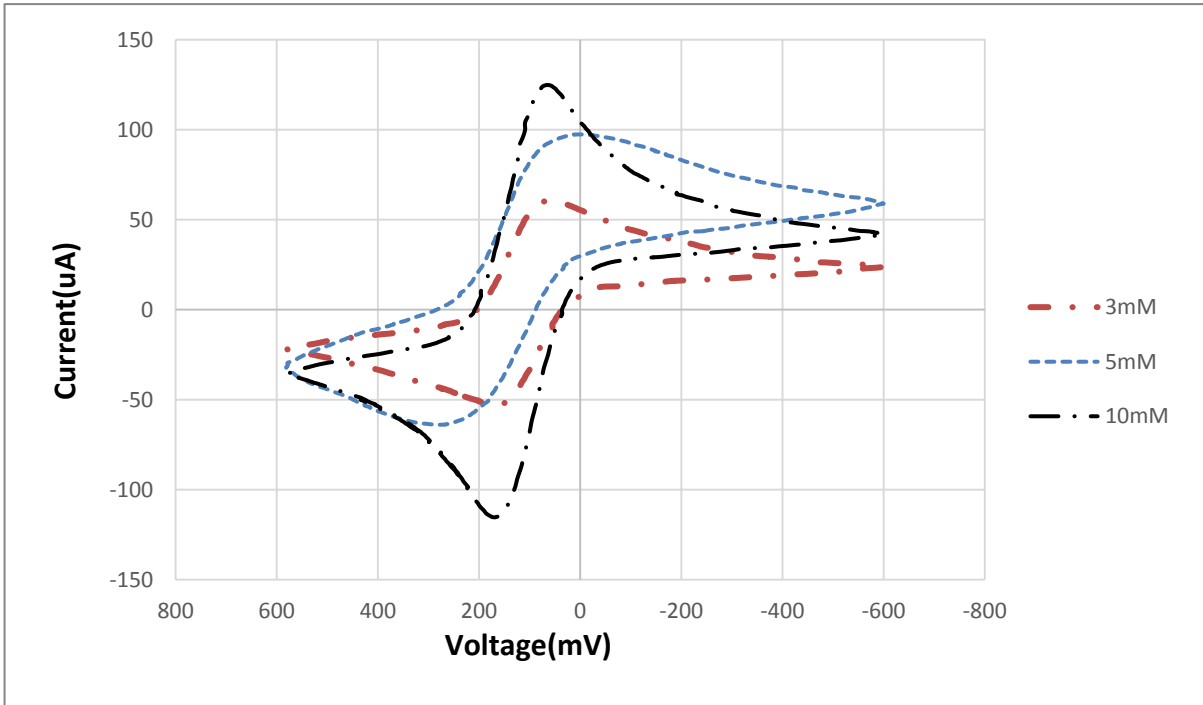


圖7 本論文分析儀不同濃度測量結果CV圖

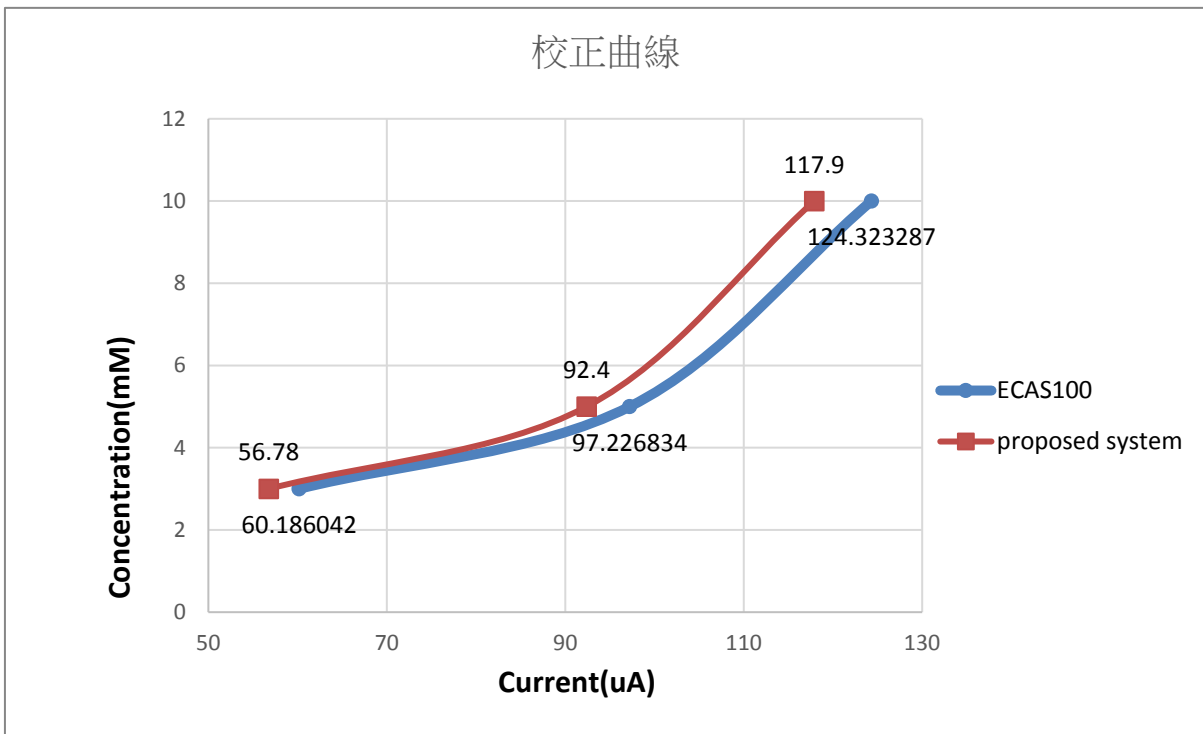


圖8 本系統與商用儀器(ECAS100)使用循環伏安法量測赤血鹽所繪製校正曲線比對圖

#### 4.2mRFP蛋白質測量

本實驗利用循環伏安法，所採用分析參數如同表 1 參數，對表 2 所示三種同濃度的蛋白質與不同濃度單寧酸(tannic acid)以及 buffer(HCl)混合溶液並觀察其中反應差異，繪製實驗結果如圖 9 所示，最後將 ECAS100 商用儀器趨勢圖和本系統比較並繪製校正曲線，如圖 10 所示，驗證實驗結果正確。

表 2 mRFP 蛋白質實驗溶液濃度參數

Tannic acid	mRFP	Buffer 溶液
0 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{l}$ )	1X (0.5 $\mu\text{l}$ )	18.5 $\mu\text{l}$
50 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{l}$ )	1X (0.5 $\mu\text{l}$ )	18.5 $\mu\text{l}$
250 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{l}$ )	1X (0.5 $\mu\text{l}$ )	18.5 $\mu\text{l}$
500 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{l}$ )	1X (0.5 $\mu\text{l}$ )	18.5 $\mu\text{l}$

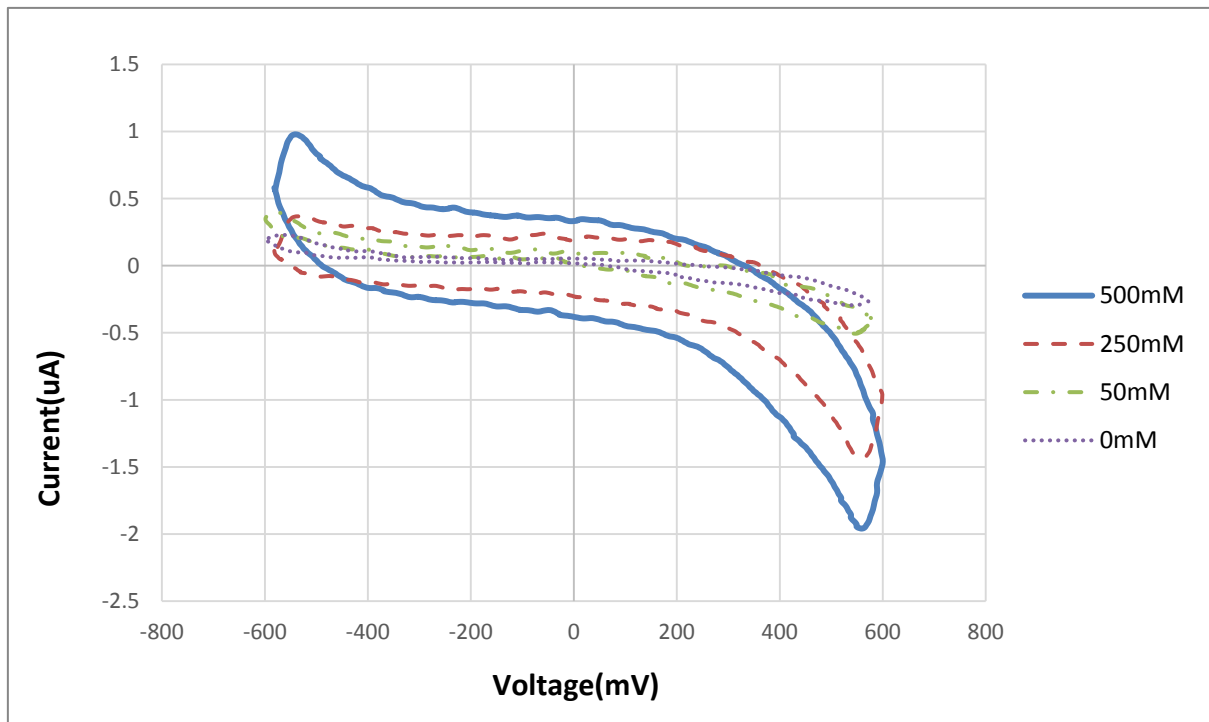


圖 9 本系統在不同濃度單寧酸的蛋白質溶液之測量結果疊圖

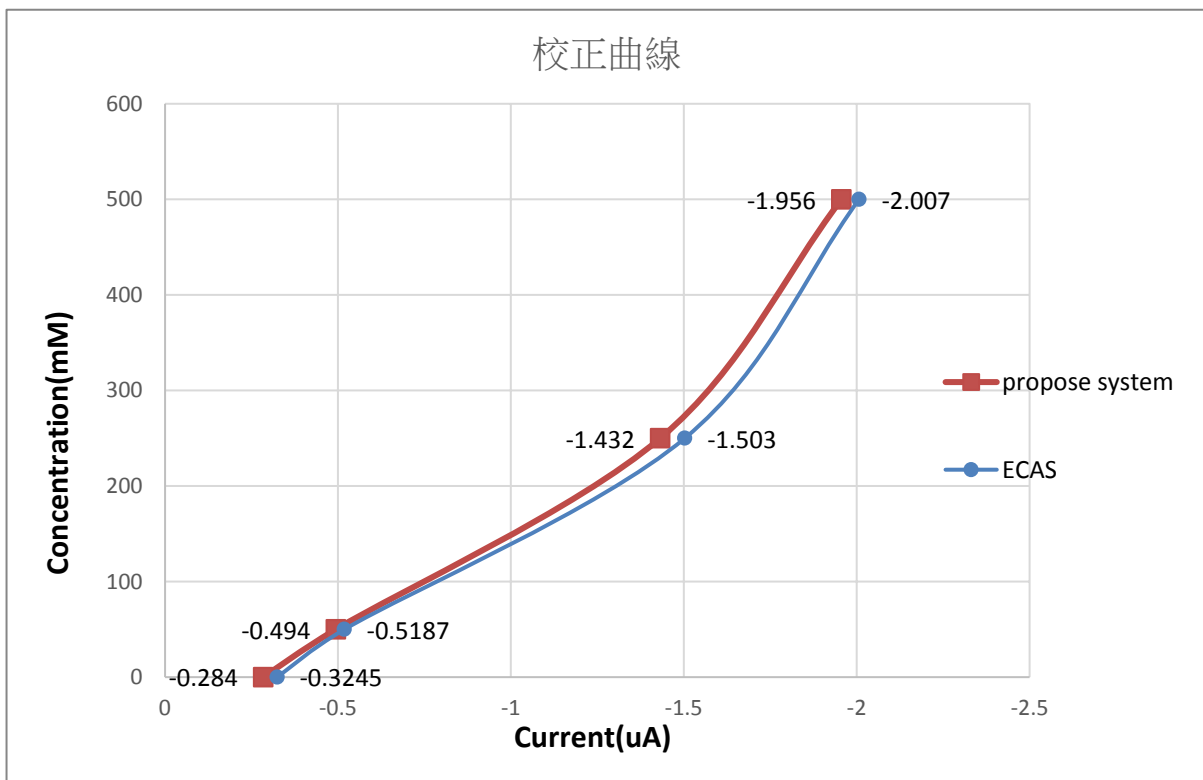


圖 10 本系統與商用儀器(ECAS100)使用循環伏安法量測 mRFP 蛋白質所繪製校正曲線比對圖

## 5. 結果分析

圖4-2為本計畫提出之分析儀測量10mM、5mM、3mM的赤血鹽溶液的CV結果圖，

在圖中可以看到不同濃度的赤血鹽溶液在本論文提出之分析儀中能夠明顯的被區分出來。

圖10顯示本系統與商用儀器所作校正曲線之比較疊圖，從圖中可以觀察到雖然本論文所提出的電化學分析儀系統的量測結果沒有辦法完美重疊至其他商用儀器系統，但是抓取出來的電流最大值並沒有落差太多。而進一步利用各儀器內的分析功能取得各濃度電流最大值後繪製如圖10，在圖中可以看到與ECAS100儀器比對，本計畫提出之電化學分析儀都擁有相同的趨勢以及相似的數值。

在圖10中可以看到，mRFP蛋白質測量中能夠看到本系統在不同濃度的測試溶液可以測得具有辨識性的CV圖，當單寧酸濃度超過50 mM，代表此檢體溶液具有毒性，而CV圖的電流可以明顯區分出來，這說明了在不同濃度溶液的情況下本系統仍然可以依照濃度變化得到不同數據，描繪出的校正曲線和商用系統一樣有明顯的變化，其趨勢說明本系統在測試溶液的量測方面具有判別性，在實用方面已經獲得初步的驗證。

## 6. 結論

本文設計之應用於生物感測器之微小化電化學分析儀，採用市售零件進行設計，在電路設計上使用了EFM32微處理器，並在電流轉電壓切換電路上運用了多工器切換，可以避免過去所遭遇的電壓峰值問題，在體積方面相較於商用儀器，有體積小、成本低等特點。考慮到現今趨勢，可以結合藍芽、Wi-Fi、ZigBee進行資料傳送，避免量測距離受到電腦限制，統計數據方面，目前只能從excel整理相關數據，但也能就LabVIEW方面對其進行更細部的數據處理，例如單圈數據取樣、藍芽接收/發送、多台同時透過區域無線網路傳輸數據至主資料庫等等，都能進行研究。結合未來5G趨勢，可以針對不同的物質進行即時分析例如血液、尿液、唾液等等，觀察人們的生理情況，同時在家也能將數據傳至醫療單位，即使在家也能觀測自己的身體數據，在未來發展方面市多樣且具有開發潛力的。

## 7. 參考文獻

- [1] 孫銘逢，應用於電化學生物感測器之具獨立訊號源之可攜式恆電位儀設計，國立臺南大學電機工程學系碩士班，2015。
- [2] 吳宗桓，應用於生化感測器之可攜式循環伏安式恆電位儀設計與實現，國立臺南大學通訊工程研究所碩士班，2009。
- [3] 袁睿廷，應用於生物感測器之微小化電化學分析儀之設計與實現，國立臺南大學電機工程學系碩士班，2017。
- [4] A. Bard and L. Faulkner, *Electrochemical Methods*, 2nd ed. New York: Wiley, 2001.
- [5] P. M. Levine, P. Gong, R. Levicky, and K. L. Shepard, "Active CMOS Sensor Array for Electrochemical Biomolecular Detection," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, no. 8, august 2008
- [6] H. S. Narula, and J.G. Harris, "A Time-Based VLSI Potentiostat for Ion Current Measurements," *IEEE sensors*, vol. 6, no. 2, april 2006

## 8. Funding

This study was supported by the National University of Tainan (AB106-206 and AB AB106-211).