

# AI5-I17

A Portable Micro Gas Chromatography System for Volatile Organic Compounds Detection

應用於揮發性有機化合物檢測之可攜式微型氣相層析系統

隊名 羊眉吐氣

隊長 郭峻延 / 臺灣大學生醫電子與資訊學研究所

隊員 曾德軒 / 臺灣大學電子工程學研究所

黃彥銘 / 臺灣大學電子工程學研究所

黃柏愷 / 臺灣大學電子工程學研究所

## 作品摘要

隨著科技日新月異，人類平均壽命增長造成人口老化；工業的發達，其背後也伴隨著各類型污染物的產生，接踵而來的是慢性病和癌症之好發率提高。根據研究指出，揮發性有機化合物（Volatile organic compounds, VOCs）於環境中或者是人體內的含量扮演著非常重要的指標，因此，若能對空氣或者人體進行長期監控檢測，是非常重要的。由於傳統的揮發性有機化合物檢測儀器，其體積較為龐大，並且操作較不便利，因此本團隊提出一可攜式微型氣相層析儀（Micro gas chromatography,  $\mu$ GC），將其應用於檢測揮發性有機混合氣體。

本團隊藉由整合自製之前濃縮管（Preconcentrator, PCT）和微機電系統（Micro electro mechanical systems, MEMS）製程之分離管柱（Separation column, SC）、互補式金屬氧化物半導體（Complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS）氣體感測器、介面校正讀取電路（Interface calibration readout circuit）以及微處理器控制單元（Micro controller unit, MCU）搭配部分市售機械式氣體控制組件，達到微型化以及可攜式之目標。本團隊提出之 CMOS 氣體感測器成功藉由台灣積體電路製造股份有限公司（TSMC） $0.35\ \mu\text{m}$  2P4M 製程開發一堆疊式指叉狀的電極結構，大幅降低感測材料所需的使用量。藉由後製程所塗佈之奈米金單層膜保護團簇（Monolayer-protected gold nanocluster, MPC）感測層，針對不同 VOCs 具備不同之靈敏度（Sensitivity）和特异性（Specificity），達到廣效性氣體量測之目的。介面校正讀取電路，可將受製程變異影響之感測器初始電阻值化透過負回授機制校正至系統所設定的直流準位，並進一步透過低雜訊放大電路以提高系統之訊噪比與靈敏度。本團隊成功縮小整合之  $\mu$ GC，成功的採樣、分離和檢測出由實驗室所配置之 7 種由文獻所報告之肺癌潛在之生物標誌。藉由層析圖譜之分析，對照本團隊所建立 VOCs 資料庫，成功的辨識及量化 7 種所配置之 VOCs。透過單標量測，可得知本系統具備良好之線性度，並且其偵測極限（Limit of detection, LOD）對於 1, 3, 5-Trimethylbenzene 氣體可達到 17.4 ppb。本團隊所開發之  $\mu$ GC 系統，可成功的對混合 VOCs

進行採樣濃縮、氣體分離，再藉由廣泛性 CMOS 氣體感測器進行檢測，最後將後端數據處理進行層析圖譜分析並與資料庫比對量化，達到微型與可攜式之目標，預期可進一步運用至環境進行空汙監控檢測，並且更進一步運用至人體進行呼吸檢測，除此之外，也可廣泛應用至其他領域。

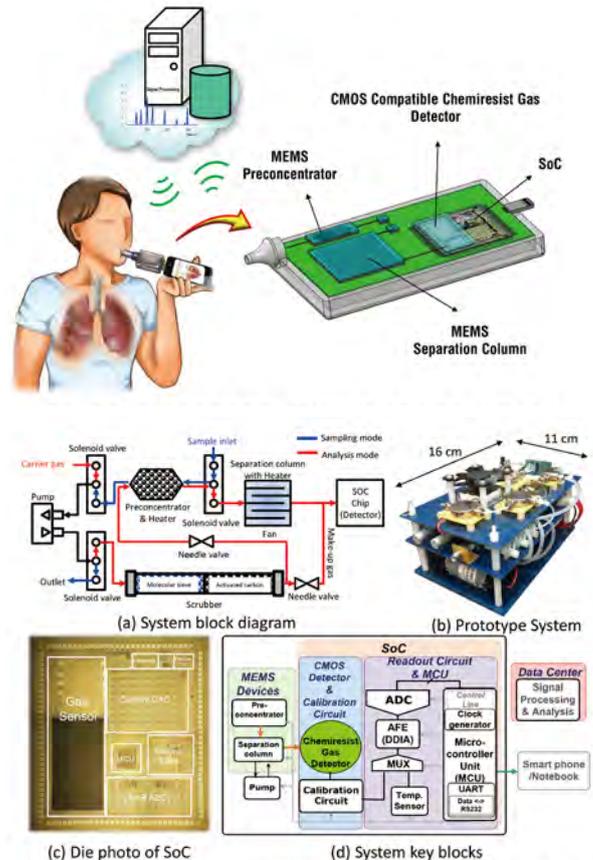


圖 1 / 微型氣相層析系統示意圖，以 GC 之檢測原理為基礎，將其各部關鍵元件加以微型化，包含前濃縮器，MEMS 分離管柱和 CMOS 電阻式氣體感測器及後端校正電路與微控制器



### 指導教授 呂學士 / 臺灣大學電子工程學研究所

1991年於明尼蘇達大學取得電機工程學系博士，並於同年進入臺灣大學任教，擔任電機工程學系及電子工程學研究所教授，2005年獲得臺灣大學傅斯年獎，2009年獲得國科會傑出研究獎，並分別於2006、2009、2010、2014年在ISSCC發表四篇論文。

### 研究領域

研究領域為CMOS的生物醫學的片上系統(SOC)、數位電路、類比電路和射頻積體電路(RFIC)。



### 指導教授 田維誠 / 臺灣大學電子工程學研究所

2003年取得密西根大學安娜堡分校電機及電腦科學博士，並於同年進入奇異電子全球研究院擔任計畫主持人，2009年起進入臺灣大學電機工程學系、電子工程學研究所及生醫電子與資訊學研究所任教，2009年取得紐約州立大學工商管理碩士。現任職於臺灣大學電機工程學系、電子工程學研究所及生醫電子與資訊學研究所副教授、台達研究院-新加坡實驗室主任。

### 研究領域

微奈米分析及流體集成技術及感測元件、微奈米換能器及機電系統儀器在生化醫療及工業之應用、光電奈米技術及元件、前瞻CMOS技術及元件。

## Abstract

Following the innovation of technology, the problem of population aging is getting worse. Various types of pollutants are generated because of the industrial development that causes incidence of chronic diseases and cancers increase. According to the previous studies, the content of volatile organic compounds (VOCs) played an important markers in environment or the human body. Hence, the air quality analysis and monitoring are most important for environment and organism. The conventional analysis equipments for VOCs detection are larger in size and requires higher operating thresholds. Therefore, we proposed a portable micro gas chromatography ( $\mu$ GC) for VOCs analysis.

In order to achieve the goals of miniaturization and portable, we integrated the home-made preconcentrator, MEMS separation column, complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) gas detector, interface calibration readout circuit and Micro controller unit (MCU) and some commercial devices. We proposed a stacked interdigitate electrodes structure by TSMC 0.35  $\mu$ m 2P4M process and coated with monolayer-protected gold nanoclusters which can serve as a VOCs sensor due to the nonspecific detection with different sensing sensitivity. The interface calibration readout circuit can calibrate the initial resistance variation caused by post-CMOS process and convert a resistance type signal to voltage-type outputs. Then the signals are further amplified by the low-noise instrumentation amplifier to improve the system sensitivity. The 7 suspected lung cancer associated VOCs are successfully collected, separated and detected by our proposed  $\mu$ GC system. The limit of detection was found to be 17.4 ppb with 1,3,5-trimethylbenzene. Finally, the chromatograms are analyzed by the data processing and comprised with the database to quantify. This system of our proposed can be used to environment monitoring, and further used to the human breath analysis.

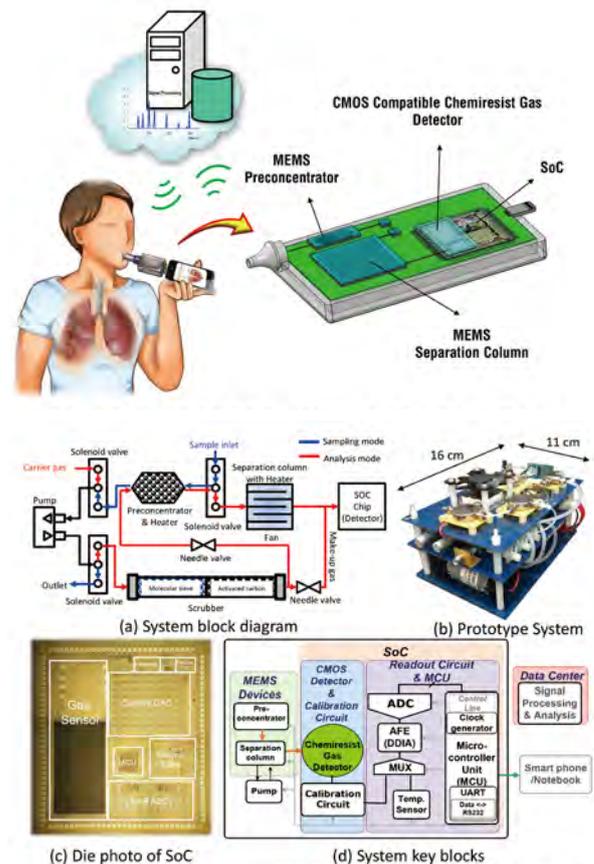


Fig.1 / (a) the whole system operation flow. (b) microGC prototype system. (c) the chip photo of this SoC, which include universal gas detector, Current steering DAC, SAR ADC, AFE, MCU, and (d) the whole block of this micro gas chromatography.