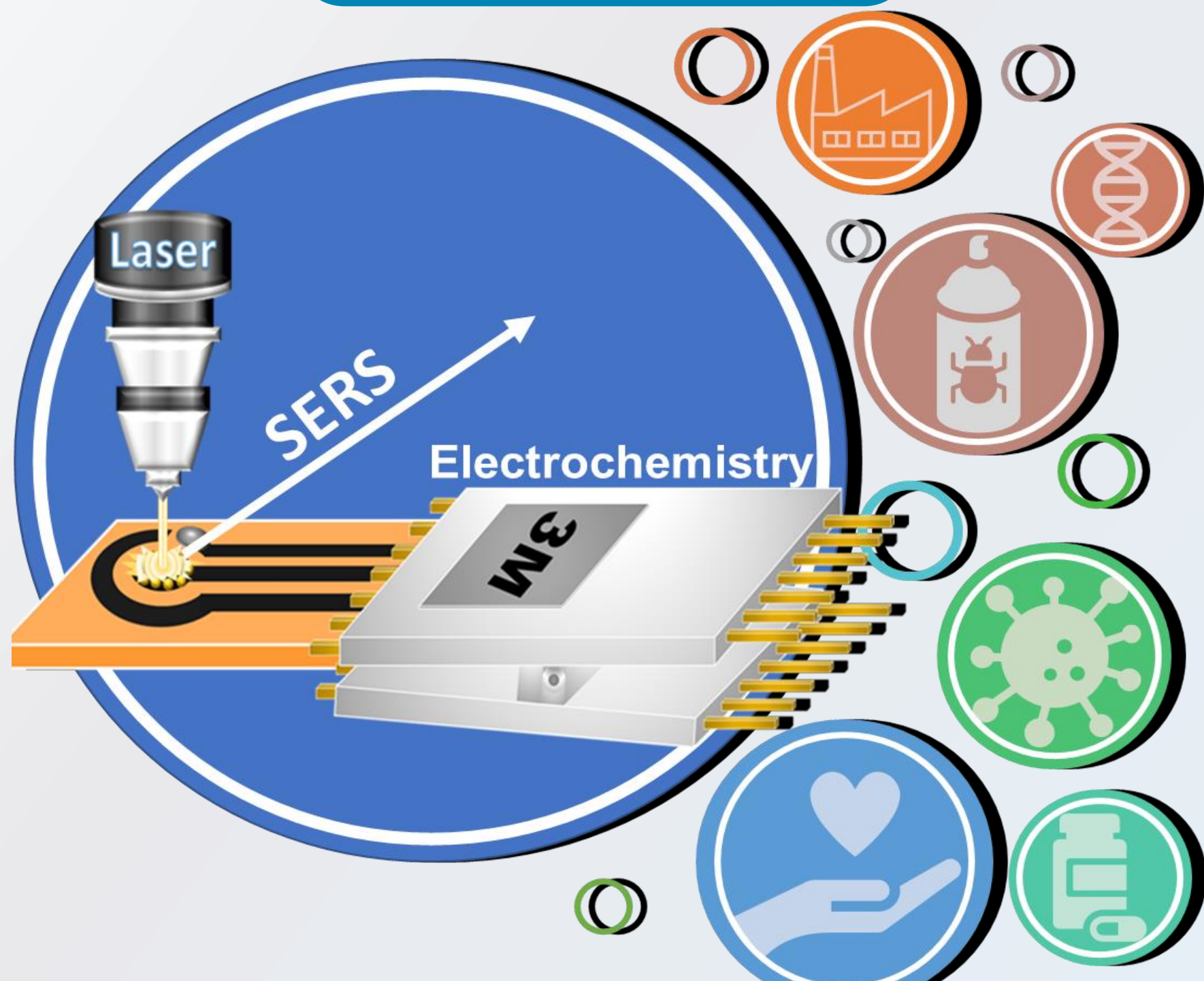


Abstract

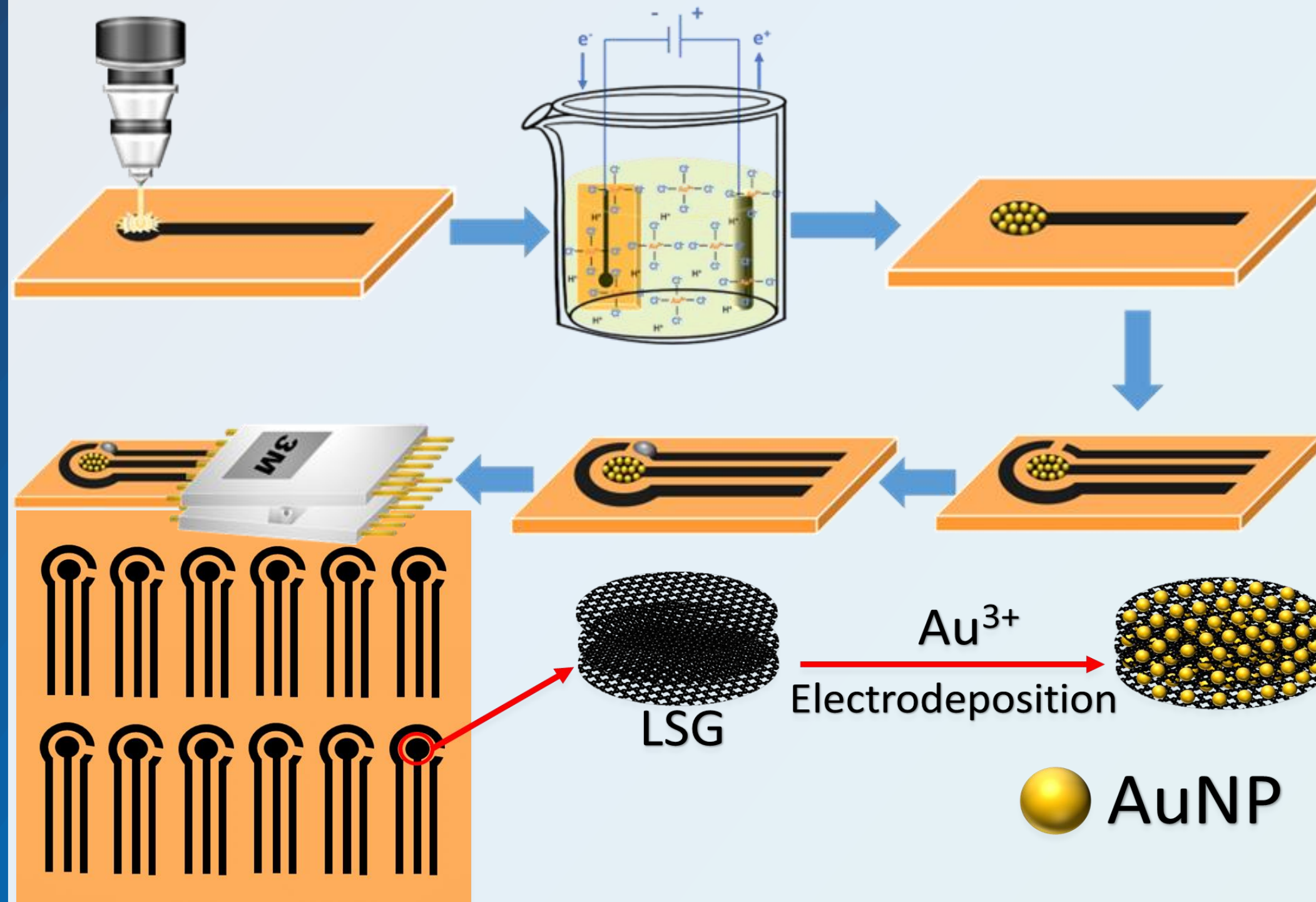
本研究開發了一款適用於生物醫學和環境毒品的快速檢測晶片，結合3D雷射雕刻石墨烯（LSG）與高靈敏度、定量分析方法—電化學（EC）分析和表面增強拉曼散射（SERS）檢測，從而實現對不同分子的識別與定量。製備LSG基板的過程先是透過CO₂雷射雕刻聚醯亞胺（PI）薄膜以形成三維（3D）纖維的工作電極，接著在基材上電鍍金奈米粒子，形成了有效的3D SERS熱點。循環伏安法（CV）測試10 ppm毒品芬太尼的CV曲線在0.05V和-0.05V處分別呈現氧化峰和還原峰。而在人工尿液中，對芬太尼的差分脈衝伏安法（DPV）訊號僅出現微小偏移，強度不變，證明了此檢測平台在複雜檢體中芬太尼的電化學高穩定性。此外，透過在芬太尼檢測中施加偏壓，可以進一步應用協同電場效應提高SERS靈敏度。此晶片在人工尿液中檢測到低至1 ppm的芬太尼。此雙功能3D SERS LSG基材製造過程簡單，具良好成本效益，在微量檢測和分析物鑑別方面具有廣泛的應用，包括毒品（如芬太尼）、非法添加劑（如羅丹明6G，R6G）、水污染物（如孔雀石綠，MG）以及生物標誌物（如腺嘌呤、β-胡蘿蔔素與SARS-CoV-2 S1棘蛋白）。

Introduction



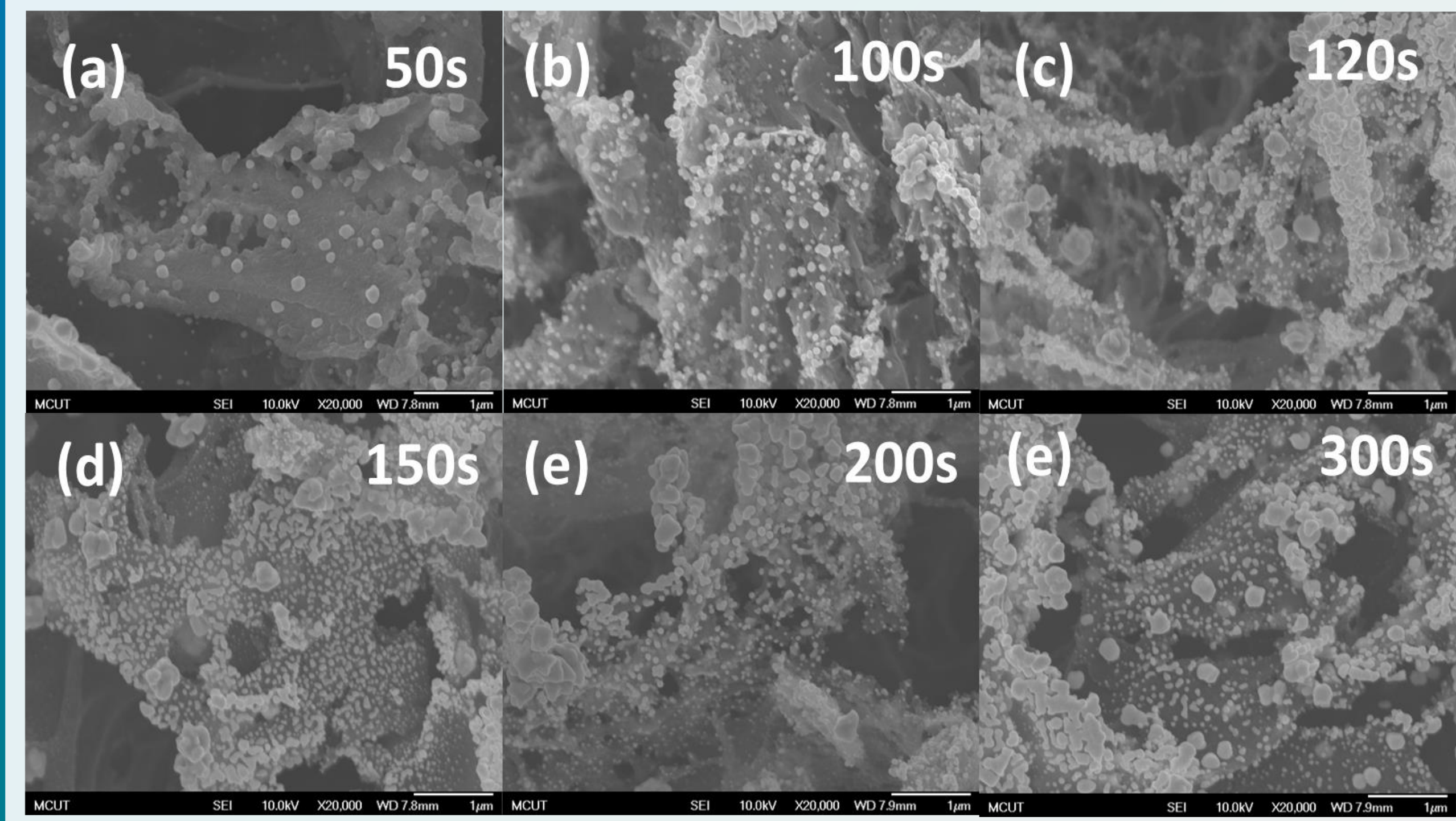
◆雷射劃線石墨烯(LSG)晶片在EC-SERS檢測的應用圖示。

Experimental section



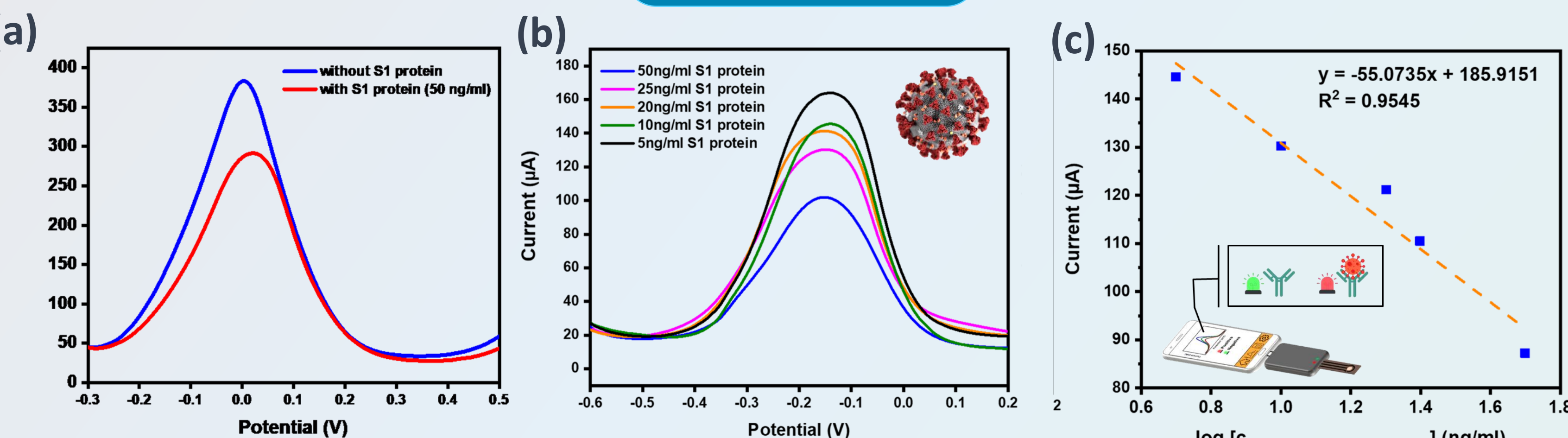
◆EC-SERS三極式電極生醫毒品感測器的LSG上電沉積奈米金(LSG@Au)的製造流程。

FE-SEM



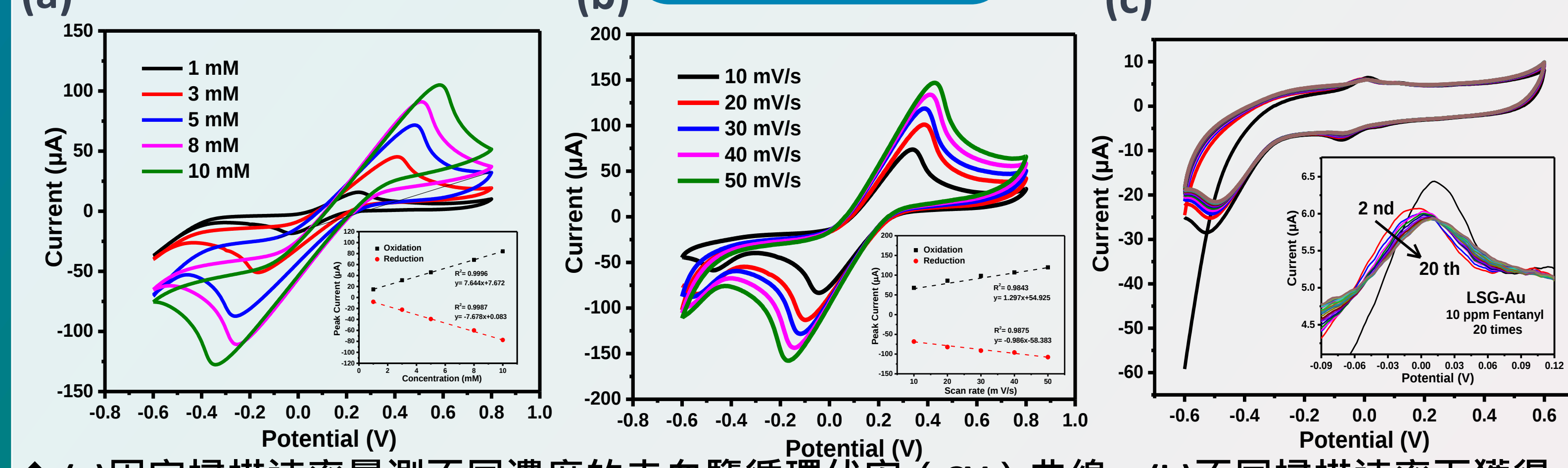
◆不同電沉積時間（50 s至300 s）之LSG@Au電極的FE-SEM圖。

DPV



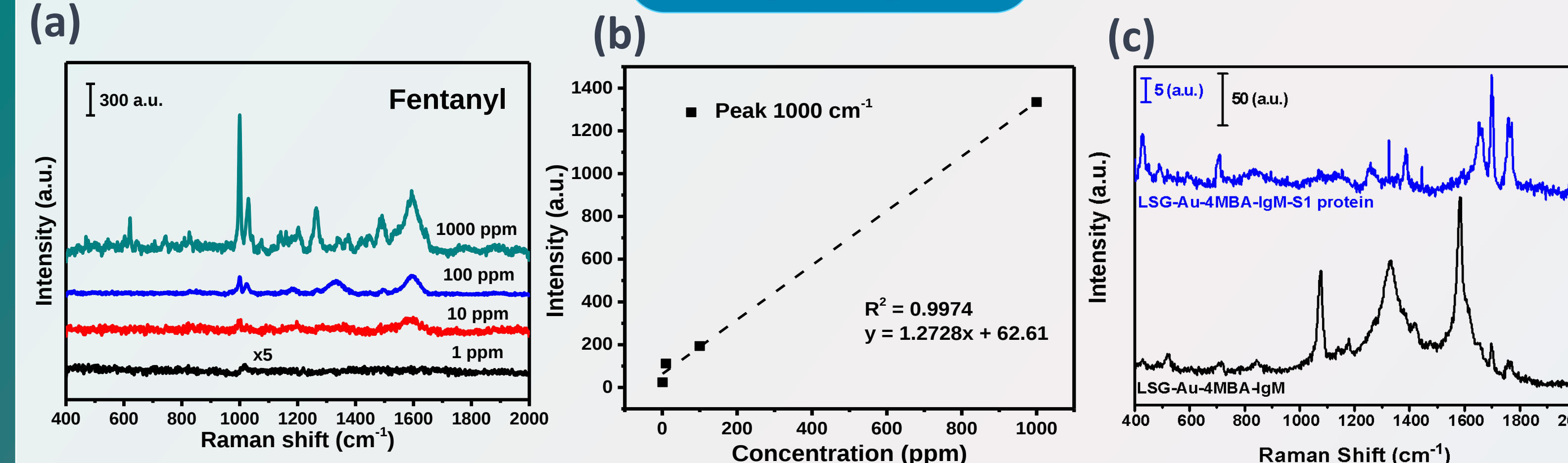
◆(a) LSG@Au捕捉S1棘蛋白前後之DPV分析。(b)使用DPV分析各濃度S1棘蛋白，(c)其電流值與log[cSARS-CoV-2 S1 spike protein]值呈線性關係，檢測極限可達5 ng/ml

CV curve



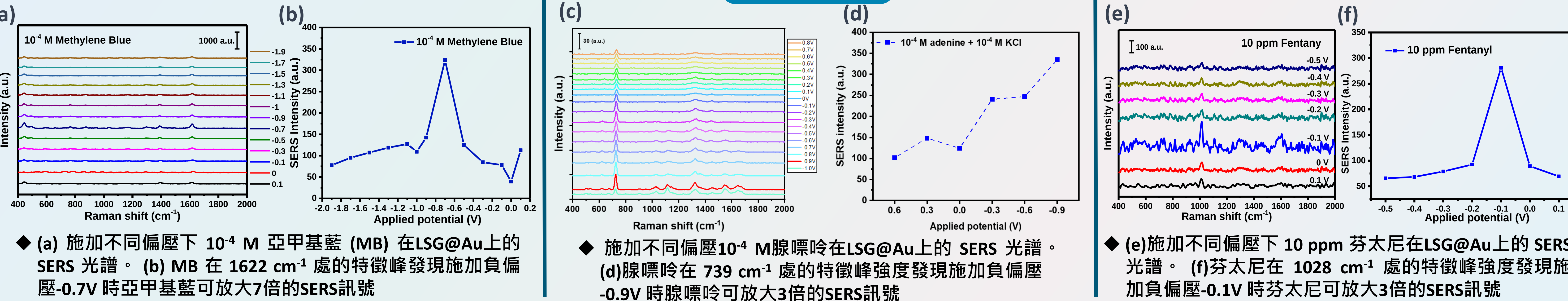
◆(a)固定掃描速率量測不同濃度的赤血鹽循環伏安（CV）曲線。(b)不同掃描速率下獲得5 mM赤血鹽的 CV 曲線。(c)10 ppm 芬太尼分別在 +0.05V 和 -0.05V 觀察到氧化還原峰。

SERS



◆(a)不同濃度芬太尼進行SERS極限檢測與(b)其校正曲線，檢測極限可達1 ppm (c)有接枝 S1 protein (50ng/ml) 與無接枝 S1 protein 基板之 SERS 訊號。

EC-SERS



◆(a) 施加不同偏壓下 10⁻⁴ M 亞甲基藍 (MB) 在LSG@Au上的 SERS 光譜。(b) MB 在 1622 cm⁻¹ 處的特徵峰發現施加負偏壓-0.7V 時亞甲基藍可放大7倍的SERS訊號
◆ 施加不同偏壓10⁻⁴ M腺嘌呤在LSG@Au上的 SERS 光譜。(d)腺嘌呤在 739 cm⁻¹ 處的特徵峰強度發現施加負偏壓-0.9V 時腺嘌呤可放大3倍的SERS訊號
◆(e)施加不同偏壓下 10 ppm 芬太尼在LSG@Au上的 SERS 光譜。(f)芬太尼在 1028 cm⁻¹ 處的特徵峰強度發現施加負偏壓-0.1V 時芬太尼可放大3倍的SERS訊號

Conclusion

- ◆ 檢測晶片結合了電化學（EC）分析的高靈敏特性及可定量檢測的功能與表面增強拉曼散射（SERS）光譜可辨認不同分子的能力。
- ◆ 本基板可應用於S1 protein(新冠病毒待測物)和毒品芬太尼檢測，使用 DPV 分析時其最低濃度檢測可達5ng/ml和2.5ppm。
- ◆ 循環伏安法（CV）測試10 ppm毒品芬太尼的CV曲線在0.05V和-0.05V處分別呈現氧化峰和還原峰
- ◆ 施加偏電壓時可進一步增強SERS信號。在-0.7的偏壓下，10⁻⁴ M MB的SERS強度增加了7倍；在-0.1 V的偏壓下，10 ppm芬太尼的SERS強度增加了3倍；在-0.9 V的偏壓下，10⁻⁴ M生物分子腺嘌呤的SERS強度增加了3倍，未來將使用 S1 protein 進行 EC-SERS 分析。
- ◆ 本基板的EC檢測系統可檢測到5 ng/ml的SARS-CoV-2 S1棘蛋白。此SERS檢測系統檢測到1 ppm的芬太尼。證明基板在分子檢測方面的卓越性能。