

ฐิตา ช่อนกลิ่น : การศึกษาเพียโซอิเล็กทริกไบโอเซ็นเซอร์สำหรับเครื่องตรวจจับมะเร็งต่อม
ลูกหมาก (THE INVESTIGATION OF PIEZOELECTRIC BIOSENSOR FOR PROSTATE
CANCER DETECTOR)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุดเขตต์ พจน์ประไพ, 188 หน้า.

คำสำคัญ: เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์/ไบโอเซ็นเซอร์/สารบ่งชี้โรคมะเร็ง/ควอตซ์คริสตัลไมโครบาลานซ์
/สารบ่งชี้มะเร็งต่อมลูกหมาก/เซ็นเซอร์คลื่นเสียงพื้นผิว/การตรวจจับสารบ่งชี้

การตรวจจับการเพิ่มขึ้นของตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโรคมะเร็ง (Cancer biomarker) ในเซรั่มใน
ร่างกายมนุษย์ มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการพยากรณ์ การวินิจฉัยโรคและการรักษาโรคมะเร็ง
สารบ่งชี้มะเร็งต่อมลูกหมาก หรือ Prostate-specific antigen (PSA) เป็นสารที่นิยมแพร่หลายในทาง
การแพทย์สำหรับการคัดกรองมะเร็งต่อมลูกหมาก รวมถึงในการตรวจสุขภาพประจำปีของเพศชาย
การคัดกรอง PSA จึงเป็นบทบาทสำคัญในการตรวจพบมะเร็งต่อมลูกหมากในระยะเริ่มต้นและช่วยใน
เพิ่มประสิทธิภาพของการรักษาในขั้นถัดไป อย่างไรก็ตาม วิธีการดั้งเดิม เช่น เคมีคลินิก (Clinical
chemistry) และเครื่องมือตรวจเคมีภูมิคุ้มกัน (Immunochemistry instruments) ที่ใช้ปัจจุบันใน
โรงพยาบาล เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมาก แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้บุคลากรที่มีความ
เชี่ยวชาญพิเศษในการควบคุมเครื่องมือ จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งานในสถานพยาบาลที่มี
ทรัพยากรจำกัด ดังนั้น การพัฒนาเครื่องมือทางเลือกที่สามารถคัดกรองในเบื้องต้นได้ ผู้ป่วยสามารถ
เข้าถึงได้ง่าย รวมถึงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เช่น เครื่องมือไบโอเซ็นเซอร์ จึง
กลายเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้ก้าวผ่านข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ ไบโอเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริก
(Piezoelectric biosensor) ชนิดควอตซ์คริสตัลไมโครบาลานซ์ (Quartz crystal microbalance,
QCM) เป็นหนึ่งในไบโอเซ็นเซอร์ที่มีความโดดเด่น ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการตรวจจับตัวบ่งชี้
ทางชีวภาพโดยไม่ต้องใช้ฉลาก (Label-free biomarker detection) หรือจะเป็นความสามารถใน
การตรวจจับอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความไวต่อการตรวจจับที่สูงและประกอบควบรวมกับชุด
อิเล็กทรอนิกส์ได้ไม่ยาก จึงทำให้ไบโอเซ็นเซอร์ QCM เป็นเครื่องมือตัวเลือกที่ถูกนำมาพัฒนาและ
ประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจคัดกรองโรคมะเร็ง นอกจากนี้การควบรวมนาโนเทคโนโลยี
(Nanotechnology) กับไบโอเซ็นเซอร์ ก็ถือเป็นจุดมุ่งหมายสำคัญในการพัฒนาไบโอเซ็นเซอร์เหล่านี้
ให้มีขีดความสามารถก้าวไปอีกขั้น เนื่องจากวัสดุนาโนเทคโนโลยีช่วยเพิ่มสัญญาณในการตรวจจับ ทำ
ให้ตรวจจับไบโอมาร์กเกอร์ต่าง ๆ โดยสามารถช่วยแยกแยะค่าสัญญาณที่วัดได้ที่มีความเข้มข้นน้อย ใน
เวลาการตรวจวัดที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในผลลัพธ์ของการรักษาทางการแพทย์ในขั้นต่อไป
ของผู้ป่วย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาไบโอเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกที่ไม่ใช้ฉลากสำหรับการตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก ชนิดสาร PSA โดยได้มีการสร้างโครงสร้างนาโนแบบต่าง ๆ ด้วยเทคนิค การชุบทางไฟฟ้า (Electrodeposition) โดยแบบใช้กระแสไฟฟ้าตรง (Direct-current (DC) electroplating) และ กระแสไฟฟ้าสลับ (Pulse current electrodeposition, PCD) เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจจับสาร PSA ด้วยการพัฒนาการสร้างโครงสร้างนาโนบนพื้นผิวอิเล็กโทรดของ QCM โดยเน้นไปถึงการปรับปรุงพื้นผิวจากพื้นผิวดั้งเดิม แต่ไม่ทำให้การไหลดมวลของอนุภาคนาโนลงบนพื้นผิว QCM เซ็นเซอร์เพิ่มมากขึ้นเกินช่วงที่เครื่องมือไม่สามารถวัดได้ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของไบโอเซ็นเซอร์ QCM โดยได้มีการศึกษาถึงความสามารถของไบโอเซ็นเซอร์ QCM ต่อการตรวจจับความเข้มข้นของ PSA ในระดับต่าง ๆ และการพัฒนาอนุภาคนาโนเคลือบบนด้วยลงบนพื้นผิว QCM เซ็นเซอร์ ได้รับการตรวจสอบด้วยเทคนิคต่าง ๆ อาทิ เช่น Wettability test X-ray diffraction (XRD) Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) Field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) Atomic force microscopy (AFM) X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) และ Cyclic voltammetry (CV) และรวมถึงศึกษาการใช้สารเคมีในการปรับปรุงพื้นผิวไบโอเซ็นเซอร์ QCM ให้เหมาะสมกับการตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโรคมะเร็ง PSA อีกด้วย นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาไบโอเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกอีกชนิดที่เป็นอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกชนิดพื้นผิวเสียง (Surface acoustic wave device, SAW) จากวัสดุ Zinc oxide (ZnO) โดยการควบคุมโครงสร้างจุลภาคของ ZnO ให้เหมาะสมสำหรับการนำไปประกอบเป็นอุปกรณ์ SAW เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโรคมะเร็งในอนาคต

ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าไบโอเซ็นเซอร์ QCM ที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถในการตรวจจับสารโมเลกุลตัวบ่งชี้มะเร็งต่อมลูกหมากผ่านตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโรคมะเร็งชนิด PSA โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเซ็นเซอร์ผ่านการสร้างโครงสร้างจากอนุภาคทองคำ (Gold, Au) นอกจากนี้ การผลิตอุปกรณ์ ZnO-SAW ได้แสดงให้เห็นถึงการรวมกันของวิธีการทดลองและผลการจำลองในการผลิตอุปกรณ์ SAW ความสอดคล้องระหว่างผลลัพธ์จากการจำลองและการทดลอง โดยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์และการนำมาซึ่งการศึกษาในขั้นต่อไปและนำไปสู่การสร้างเครื่องมือในการตรวจจับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของโรคต่าง ๆ ในอนาคตอีกด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

THITA SONKLIN : THE INVESTIGATION OF PIEZOELECTRIC BIOSENSOR FOR
PROSTATE CANCER DETECTOR.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOODKHET POJPRAPI, Ph.D., 188 PP.

Keywords: piezoelectric sensor/biosensor/cancer biomarker/quartz crystal
microbalance/prostate specific antigen/surface acoustic wave sensor/
biomarker detection

Detecting overexpressed unique cancer biomarkers in serum holds significant promise for cancer prognosis, diagnostics, and therapies. Prostate-specific antigen (PSA) serves as a prominent biomarker, widely employed in medical settings for prostate cancer screening and routine health check-ups in men. PSA screening plays a crucial role in early prostate cancer detection and assessment of treatment efficacy. However, conventional methods such as clinical chemistry and immunochemistry instruments, while effective, are costly and demand specialized expertise, thus limiting their utilization in resource-limited settings. Consequently, the development of accessible and efficient screening tools, such as biosensors, becomes imperative. Among these, the piezoelectric quartz crystal microbalance (QCM) biosensor stands out for label-free biomarker detection capabilities, particularly in tumor screening, owing to its rapid detection, high sensitivity, and compatibility with cost-effective electronics. Nanotechnology-based biosensors play a pivotal role in precisely detecting these biomarkers, enabling timely interventions and enhancing patient outcomes. Exploring a signal amplification strategy with nanotechnology would be invaluable for developing a highly effective biosensing platform.

This study aims to develop a label-free QCM biosensor for detecting PSA biomarker. Various nanostructures were fabricated using electrodeposition techniques, including direct-current (DC) electroplating and pulse current electrodeposition (PCD), to heighten sensitivity while minimizing nanoparticle mass loading. The performance of the developed QCM biosensor was evaluated across various PSA concentrations, with nanostructures characterized using techniques such as Wettability test, X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Field-emission

scanning electron microscopy (FE-SEM), Atomic force microscopy (AFM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and Cyclic voltammetry (CV). Furthermore, the study explores the development of a Zinc oxide surface acoustic wave device (ZnO-SAW) alongside the QCM biosensor, aiming to optimize fabrication and effectively control its performance for future cancer biomarker detection. The results demonstrated that the developed QCM biosensor enhances detection efficiency by augmenting binding sites for biomolecules through increased surface area, demonstrating promising sensitivity for early diagnosis and screening applications. Moreover, the successful fabrication of a two-port SAW device on ZnO films with Au/Ti delay line electrodes underscores the integration of experimental and simulation approaches in precise device fabrication and performance prediction. The consistency between simulation and experimental results validates the research, providing insights into SAW device fabrication and operation, with implications for enhancing biosensing capabilities across various biomarkers for other diseases.



School of Materials Engineering

Academic Year 2023

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

Co-Advisor's Signature.....

Co-Advisor's Signature.....