



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ขนาดมาตรฐานแบบเต็มเฟรมเพื่อใช้  
การวินิจฉัยโรคมะเร็งแบบส่องตรวจตัวอย่างเนื้อเยื่อบนสไลด์

Design of Full Frame Biopsy Standard Slide Scanner for Cancer Diagnosis

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ขนาดมาตรฐานแบบเต็มเฟรมเพื่อใช้  
การวินิจฉัยโรคมะเร็งแบบส่องตรวจตัวอย่างเนื้อเยื่อบนสไลด์

Design of Full Frame Biopsy Standard Slide Scanner for Cancer Diagnosis

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ขนาดมาตรฐานแบบเต็มเฟรมเพื่อใช้  
การวินิจฉัยโรคมะเร็งแบบส่องตรวจตัวอย่างเนื้อเยื่อบนสไลด์

แหล่งเงิน ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ..... 2560..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 300,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559..... ถึง..... 30 กันยายน 2560

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา (หัวหน้าโครงการ) ภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนากล้องที่สามารถดิจิทัลที่มีราคาถูกลงเพื่อทำการถ่ายภาพสไลด์เนื้อเยื่อด้วยความผิดปกติของ  
เซลล์ในการวินิจฉัยโรคมะเร็ง หรือที่เรียกว่า whole slide (DS-WSI) system. โดยระบบนี้มี field of view  
มากกว่า Microscope ทั่วไปถึง 22.6 เท่า. ซึ่งระบบนี้สามารถที่สแกนทั้งสไลด์(ขนาด  $2\text{ cm}^2$ ) ภายในเวลา 2  
วินาที

**คำสำคัญ** กล้องจุลทรรศน์, กล้องส่องตรวจ, whole slide imaging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Design of Full Frame Biopsy Standard Slide Scanner for Cancer Diagnosis

**Researcher:** Dr.Wibool Piyawattanametha

**Faculty:** Engineering   **Department:** Biomedical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This work presents a new low-cost digital single-lens reflex camera whole slide imaging (DC-WSI) system, which is the most recent imaging modality being employed by pathology departments worldwide due to its high-throughput routine and high-speed capabilities. The DC-WSI system field of view achieves 22.6 times larger than that of the equivalent magnification of a conventional microscope system. The DC-WSI is capable of performing the whole slide scanning (2 cm<sup>2</sup>) under 2 seconds.

Keywords: whole slide imaging; low-cost camera



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล) ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัย ประเภทเงินวิจัย จากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560 และอนุเคราะห์สถานที่รวมถึงสาธารณูปโภคต่างๆในการทำวิจัย จนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ นักวิจัยขอจึงขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก หรือ I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข หรือ II
กิตติกรรมประกาศ.....	ค หรือ III
สารบัญ.....	ง หรือ I
สารบัญตาราง.....	จ หรือ I
สารบัญภาพ.....	ฉ หรือ I
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาและแนวคิดในการทำวิจัย.....	1
1.2 คำสำคัญของการวิจัย.....	4
1.3 วัตถุประสงค์.....	4
1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>5</b>
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานที่เกี่ยวข้อง.....	5
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	<b>7</b>
3.1 การออกแบบตัวเครื่องสแกน.....	7
3.2 การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องสแกน.....	11
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b> .....	<b>15</b>
4.1 ค่าความละเอียด (resolution).....	17
4.2 ค่ามุมมองของภาพ (field of view).....	17
4.3 ค่ากำลังขยายหรือซูม (zoom).....	18
4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	21
บทที่ 6. สรุป ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	21
ภาคผนวก.....	23
รายชื่อ publication จากโครงการวิจัยนี้.....	24
ภาคผนวก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	25
ประวัตินักวิจัย.....	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบถ่ายภาพ.....	18
---	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กราฟแสดงจำนวนการเสียชีวิต และสาเหตุของการเสียชีวิตของประชากรไทย ในช่วงปี 2550 – 2557.....	1
2 Biopsy diagnosis procedures. เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อจากจุดที่สนใจ.....	2
3 VENTANA iScan Coreo.....	3
4 Aperio CS2, Leica Biosystem.....	3
5 Axioplan 2 MOT.....	5
6 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ.....	7
7 พิกเซลของเซนเซอร์รับภาพ และการวัดระยะห่างของพิกเซล.....	9
8 ภาพคอนสแตนท์ที่สามารถรับเข้าสู่ระบบได้ & ภาพเลนส์ที่มี NA ต่างกัน.....	9
9 ภาพแสดงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นและช่วงการเรืองแสง.....	10
10 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับความเข้มของพลังงานของสัญญาณกระตุ้นและสัญญาณที่ปล่อยออกมา.....	10
11 ภาพแสดงความยาวคลื่นแสงที่ใช้กระตุ้นและความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของ FITC.....	11
12 AC127-050-A, Thortlabs.....	11
13 ภาพคุณสมบัติโดยละเอียดของเลนส์.....	12
14 ฟิลเตอร์ MF530-43.....	12
15 ฟิลเตอร์ MF530-43.....	12
16 Sony camera, a7SII.....	13
17 Raspberry Pi 2 model B.....	14
18 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ.....	15
19 ภาพระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจากสไลด์ที่เตรียมจาก pap smear ได้.....	15
20 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบถ่ายภาพ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

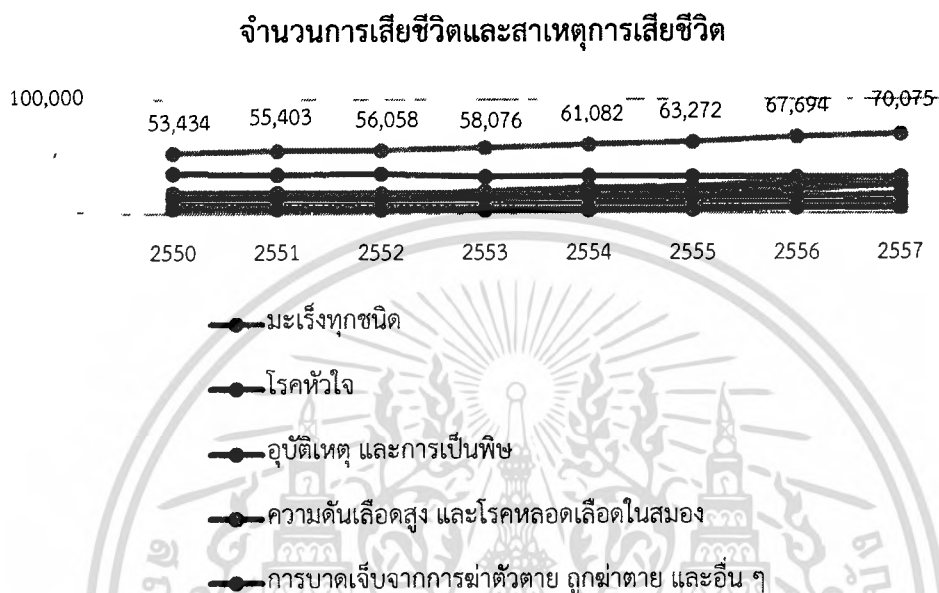
21 USAF-1951.....	17
22 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ(I).....	17
23 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ(II).....	17
24 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายต่ำสุด 3.5 ชุม.....	20
25 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายมากที่สุด 10 ชุม.....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา



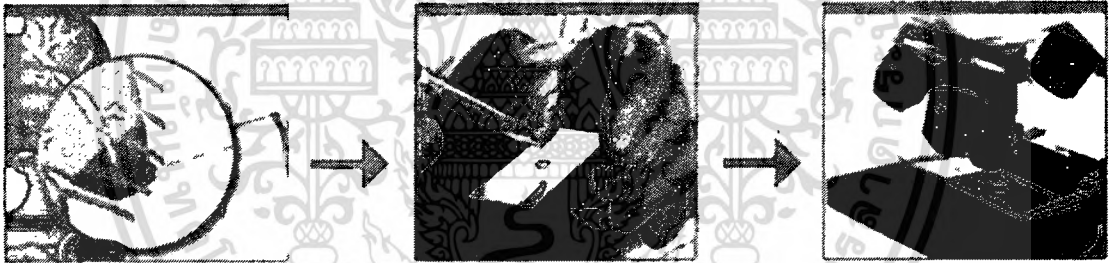
รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนการเสียชีวิต และสาเหตุของการเสียชีวิตของประชากรไทย ในช่วงปี 2550 – 2557 [1]

โรคมะเร็งเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับหนึ่งของประชากรไทย และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเนื่องจากปัจจัยเสี่ยงที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ดังที่แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าประชากรไทยเสียชีวิตจากโรคมะเร็งมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเหตุการณ์เสียชีวิตอื่นๆ ดังนั้นกระบวนการในการตรวจวินิจฉัยเพื่อหารอยโรคมะเร็งเพื่อนำไปสู่การรักษาจึงมีความจำเป็น และสำคัญอย่างมาก ในปัจจุบันการขั้นตอนการตรวจเพื่อหารอยของโรคมะเร็งสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยม และใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันจะมี 3 วิธี คือ การตรวจผลแลป (lab test) การตรวจด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ (imaging procedure) และการตรวจด้วยการวิเคราะห์จากตัวอย่างเนื้อเยื่อ (Biopsy) การตรวจหารอยโรคมะเร็งจากผลแลปนั้นเป็นการตรวจหารอยโรคจากสารต่างๆภายในร่างกาย เช่น เลือด ปัสสาวะ หรือของเหลวอื่นๆ เพื่อหาสัญญาณความผิดปกติที่อาจจะบ่งบอกถึงรอยโรคมะเร็งได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย เพราะสามารถเก็บตัวอย่างจากผู้ป่วยได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามการตรวจด้วยวิธีดังกล่าวยังให้ผลการตรวจที่มีความน่าเชื่อถือต่ำ เนื่องจากผลการตรวจอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณที่บ่งชี้รอยโรคอาจเกิดจากผลกระทบทางอ้อมของโรคอื่นที่ไม่ใช่โรคมะเร็ง ทำให้แพทย์ไม่สามารถเชื่อผลตรวจแลปได้ทันที และต้องมีการตรวจที่ละเอียดขึ้นเพื่อระบุให้แน่ชัดอีกครั้งหนึ่ง การตรวจด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ คือ การตรวจเพื่อหารอยโรคมะเร็งด้วยการใช้เทคโนโลยีทางรังสีวิทยา เพื่อสร้างเป็นภาพ และหารอยของโรคมะเร็งจากภาพที่ถูกสร้างขึ้น เช่น ซีทีสแกน (CT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

scan) นิวเคลียร์สแกน (Nuclear scan) อัลตราซาวด์ (Ultrasound) เอ็มอาร์ไอ (MRI) เอ็กซเรย์ (X-ray) เป็นต้น โดยความน่าเชื่อถือของการตรวจหารอยโรคด้วยวิธีนี้มีความแม่นยำ และสามารถระบุตำแหน่งของรอยโรคมะเร็งได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามการตรวจด้วยวิธีทางรังสีวิทยานั้นยังไม่สามารถระบุถึงรอยโรคมะเร็งในระยะเริ่มต้นได้มากนัก เพราะวิธีการตรวจดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ภาพของบริเวณโดยรวม การระบุถึงรอยโรคมะเร็งนั้นสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อเมื่อมีสัญญาณของรอยโรคที่ชัดเจน เช่น มีเนื้องอกที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติ หรืออวัยวะที่กำลังวินิจฉัยมีลักษณะที่ผิดปกติอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่งการตรวจด้วยวิธีที่กล่าวมานั้นไม่สามารถระบุถึงรอยโรคมะเร็งที่มีขนาดเล็กในระดับเซลล์ได้ จึงได้มีการตรวจโดยการวินิจฉัยจากเซลล์เนื้อเยื่อตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณที่ต้องการวินิจฉัย และนำตัวอย่างดังกล่าวมาย้อมเซลล์ด้วยการสารประกอบที่จำเพาะต่อรอยโรคมะเร็งที่ต้องการตรวจ แล้วจึงนำมาใส่สไลด์ก่อนที่จะถูกส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนักเซลล์วิทยา (cytologist) เพื่อตรวจหารอยโรคมะเร็งในระดับเซลล์ โดยวิธีการดังกล่าวเรียกว่า “biopsy”

การตรวจเพื่อหารอยโรคมะเร็งด้วยการเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อ หรือ biopsy นั้นเริ่มจากการเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อตัวอย่างจากบริเวณที่คาดว่าจะพบรอยโรคจากผู้ป่วย แล้วจึงนำตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อหารอยโรคมะเร็งในตัวอย่างเนื้อเยื่อนั้น โดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่จำเพาะของเซลล์ต่อโรคมะเร็งชนิดนั้นๆ เช่น อัตราส่วนของขนาดนิวเคลียสเทียบกับขนาดของของเหลวรอบเซลล์ในการวิเคราะห์รอยโรคมะเร็งปากมดลูก [2] เป็นต้น ซึ่งวิธีการวินิจฉัยดังกล่าวถือว่าเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาร่องรอยโรคมะเร็ง [1] ดังรูปภาพที่ 2



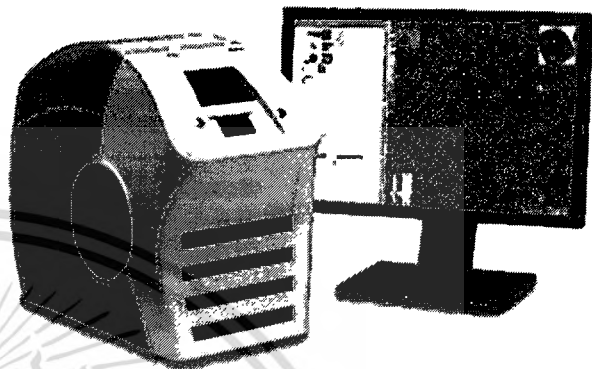
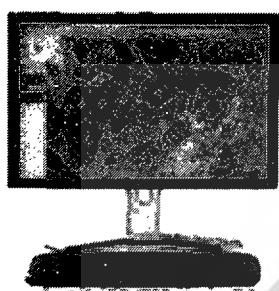
รูปภาพที่ 2: Biopsy diagnosis procedures. เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อจากจุดที่สนใจ (รูปซ้าย), ย้อมเซลล์ด้วยสารที่จำเพาะต่อรอยโรค (รูปกลาง), ส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ (รูปขวา)

ซึ่งการตรวจในระดับเซลล์นั้นเป็นที่ยอมรับในประเด็นของความแม่นยำที่สูง ทำให้มีความน่าเชื่อถือในผลตรวจอย่างมาก แต่ทางกลับกันการตรวจด้วยวิธีส่องตรวจตัวอย่างเนื้อเยื่อนั้นเป็นวิธีที่ใช้เวลา ทรัพยากรบุคคล และต้นทุนในการตรวจที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นที่กล่าวมาข้างต้น ในปัจจุบันได้มีบริษัทเอกชนจำนวนหนึ่งได้เล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และได้พัฒนาเครื่องมือในการสแกนแผ่นสไลด์ของตัวอย่างเนื้อเยื่อด้วยเทคนิคการถ่ายภาพเพื่อสร้างเป็นไฟล์ดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง เพื่อลดเวลาในการตรวจหารอยโรคด้วยกล้องจุลทรรศน์ อีกทั้งยังสามารถประมวลผลภาพที่ได้จากการสแกนด้วยโปรแกรมที่เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะ เพื่อช่วยในการตรวจวินิจฉัยอีกด้วย โดยตัวอย่างของบริษัทเอกชนเหล่านี้ ได้แก่ Ventana Medical System, Inc. และ Leica Biosystem เป็นต้น และมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างดังที่แสดงในรูปภาพที่ 3 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 4 ตามลำดับ ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของความล่าช้าในกระบวนการตรวจหามะเร็งได้ อีกทั้งยังมีซอฟต์แวร์เพื่อช่วยให้นักเซลล์วิทยามีความสะดวก และระบุตำแหน่ง และพบสัญญาณของรอยโรคมะเร็งได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเครื่องมือดังกล่าวมีราคาที่สูงมาก เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่ถูกใช้ในงานที่มีความเฉพาะเจาะจงในทางการแพทย์ และการศึกษาวิจัยเซลล์วิทยาในเชิงลึก ทำให้เครื่องมือต้องมีประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือที่สูง เพื่อสามารถตอบสนองต่อการใช้งานดังกล่าวได้

### slide scanner



รูปภาพที่ 3: VENTANA iScan Coreo

รูปภาพที่ 4: Aperio CS2, Leica Biosystem.

งานวิจัยนี้ได้เห็นถึงปัญหาด้านราคาที่สูงของเครื่องสแกนดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น โดยปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อให้การของงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องสแกนนั้นทำได้ยาก ทั้งในส่วนของสถานพยาบาลที่ทำหน้าที่ให้การรักษา และตรวจคัดกรองผู้ป่วยโรคมะเร็ง และสถานศึกษาที่ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับโรคมะเร็ง ซึ่งถือเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาระบบสาธารณสุขในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจคัดกรองผู้ป่วยโรคมะเร็ง อีกทั้งยังเป็นอุปสรรคในการศึกษา ค้นคว้า วิจัยในเรื่องของเซลล์วิทยาที่เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็งเพื่อหาสาเหตุ ความสัมพันธ์ และแนวทางการรักษาใหม่อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในเรื่องของการออกแบบตัวเครื่องสแกนสไลด์ตัวอย่างเนื้อเยื่อบนสไลด์ขนาดมาตรฐาน คือ 1 นิ้ว x 3 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของขนาดแผ่นสไลด์ที่ส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยการออกแบบเครื่องสแกนในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบเต็มเฟรม (full frame imaging) เนื่องจากการพัฒนาของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (electronics industry) ทำให้ต้นทุนของเซนเซอร์รับภาพขนาดเต็มเฟรม (36 x 24 มิลลิเมตร) นั้นมีราคาต่ำลง และมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องสแกนในโครงการวิจัยออกแบบนี้ เทคนิคการบันทึกภาพแบบเต็มเฟรมนั้นมีความรวดเร็วในการบันทึกภาพ และมีความละเอียดของภาพที่ถูกต้องสูง โดยพิกเซล (pixel) ของภาพที่บันทึกได้จะมีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของพิกเซลของตัวเซนเซอร์รับภาพแบบเต็มเฟรมที่ใช้ (~2 ไมครอน) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในตลาดในปัจจุบัน โดยการออกแบบนี้จะออกแบบตั้งแต่ส่วนของระบบเลนส์ ระบบบันทึกภาพด้วยเซนเซอร์รับภาพ รวมถึงโครงสร้างภายนอกที่คำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน และมีขนาดเล็กเพื่อให้มีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ซึ่งผลิตผลจากโครงการออกแบบนี้จะได้เครื่องต้นแบบ ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดขณะนี้ ในต้นทุนที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยยะสำคัญ และการผลงานจากการออกแบบในโครงการวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นการออกแบบพื้นฐานเพื่อใช้ในการวิจัยต่อยอดให้มีราคาต่ำลง ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น หรือกระทั่งสามารถทำการศึกษาวิจัยต่อยอดเพื่อรวมเข้ากับเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เช่น การประมวลผล และเก็บข้อมูลแบบคลาวด์ (cloud computing and cloud storage) และ IoT (Internet of Things)

## 1.2 คำสำคัญของการวิจัย

กล้องจุลทรรศน์, มะเร็งปากมดลูก, มัดใยแก้วนำแสง, สารเรืองแสง, กล้องส่องตรวจ

## 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 เพื่อออกแบบเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ขนาดมาตรฐาน (1 นิ้ว x 3 นิ้ว) ที่บันทึกภาพด้วยเทคนิคการบันทึกภาพแบบเต็มเฟรม (full frame imaging)

1.3.2 เพื่อสร้างเครื่องสแกนต้นแบบที่สร้างจากการออกแบบในโครงการวิจัยนี้

## 1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

CMOS camera สามารถนำมาประยุกต์ในการตรวจถ่ายภาพเซลล์ที่มีความผิดปกติได้ โดยการ ใช้ CMOS camera นั้นจะทำให้ได้ระบบที่ราคาถูกกว่ากล้อง Microscope ตามท้องตลาดแต่ได้ภาพที่มีความคมชัดใกล้เคียงหรือดีกว่า.

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้มีผลผลิตที่เป็นชิ้นงานทางการแพทย์และเป็น multi-disciplinary research ระหว่าง Engineering and Medical Laboratories ซึ่งแสดงถึงอัตลักษณ์เด่นทางวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์จริงได้ที่ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ ยังสามารถส่งเข้าประกวดและมีศักยภาพที่จะได้รับรางวัลจากการประกวดโครงการวิจัยต่างๆในระดับชาติและ/หรือระดับนานาชาติ เช่น True Innovation Award, International Contest on Applications of Nano-Micro (ICAN) Technologies, Biz Barcelona, Global Social Venture Competition (GSVC) นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ สามารถยื่นจดสิทธิบัตรในระดับชาติ (ชื่อกล้องจุลทรรศน์แบบส่องตรวจภายในร่างกายชนิดมุมมองกว้างด้วยมัดใยแก้วนำแสง) ได้ภายในระยะเวลาของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันการวิจัยในเรื่องของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการบันทึกภาพที่เกี่ยวกับจุลกายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อ (histological) ได้รับความสนใจ และถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุปกรณ์รับภาพชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีการวิเคราะห์พยาธิวิทยาระยะไกล (Telepathology) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีความสำคัญในการศึกษาพยาธิวิทยาของโรคต่างๆ อย่างมาก โดยเฉพาะโรคที่มีการวินิจฉัยด้วยการเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อเป็นหลักอย่างโรคมะเร็ง โดยในปี 2003 Dr. B. Molnar และคณะ [7] ได้ทำการวิจัยในการสร้างดิจิทัลสไลด์ของตัวอย่างเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับกระเพาะอาหารและลำไส้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง (virtual microscopy) โดยการทดลองนี้ได้พัฒนาต่อยอดมาจากงานวิจัยของ Asmara Afework และคณะ [8] ซึ่งเป็นการวิจัยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง โดยการใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์จำลองรวมกับการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการสร้างดิจิทัลสไลด์ของซอฟต์แวร์สำเร็จรูป โดยในการเก็บภาพจากตัวอย่างเนื้อเยื่อนั้น ทีมวิจัยของ Dr. B. Molnar ได้ใช้เครื่อง Axioplan 2 MOT ดังรูปที่ 5 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าระบบตัวกล้องจุลทรรศน์มีขนาดใหญ่ ผลการการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลองในการวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวข้องกับกระเพาะ และลำไส้มีความแม่นยำถึง 95.1% ซึ่งเมื่อเทียบกับการวินิจฉัยด้วยตาเปล่าที่มีความแม่นยำ 98% ทำให้เห็นว่าการวินิจฉัยด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลองมีความแม่นยำที่สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ในแบบเสนอโครงการวิจัยนี้ ได้ใช้หลักการเดียวกันกับเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง เพราะเนื่องจากผู้ปฏิบัติการไม่จำเป็นต้องส่องวินิจฉัยตัวอย่างเนื้อเยื่อจริง แต่วินิจฉัยผ่านทางภาพที่ได้จากการบันทึก และประมวลผลบนคอมพิวเตอร์



รูปภาพที่ 5 Axioplan 2 MOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันเทคนิคการตรวจรักษามะเร็งชนิดต่างๆในระดับโมเลกุลมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวินิจฉัยและการรักษา โดยเฉพาะการติดตามด้วยสารนำสัญญาณภาพ เช่น สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ เอ็นไซม์และสารที่ทำให้เกิดสี (chromogen) เพื่อใช้การตรวจวินิจฉัยเนื้อเยื่อมะเร็งได้อย่างจำเพาะ ซึ่งตัวอย่างของการใช้สารเรืองแสงที่จำเพาะต่อรอยโรค จะเห็นได้จากหลักฐานงานวิจัยที่พบว่าการนำโปรตีน p16INK4a [9-12] ไปใช้เป็นโมเลกุลบ่งชี้ทางชีววิทยาของมะเร็งปากมดลูกโดยใช้แอนติบอดีเป็นโมเลกุลตรวจจับสามารถช่วยเพิ่มความจำเพาะให้กับเทคนิคการตรวจวินิจฉัยและลดความแปรปรวนของการแปลผลตรวจวินิจฉัยรอยโรยในแต่ละครั้งหรือในแต่ละบุคคล (Inter-intra observer variations) [13-14] Piyawattanametha และคณะ [15] จึงเลือกใช้โปรตีน p16INK4a เป็นโมเลกุลเป้าหมายเพื่อศึกษาพัฒนาเปปไทด์จับจำเพาะสำหรับใช้ในงานตรวจรักษามะเร็งปากมดลูกในระดับโมเลกุล โดยเปปไทด์จับจำเพาะจากโครงการวิจัยนี้สามารถใช้ในการตรวจรักษาในร่างกายสิ่งมีชีวิตโดยตัดแปลงติดตามเปปไทด์สังเคราะห์ด้วยสารนำสัญญาณภาพสำหรับการตรวจวินิจฉัยกล้องจุลทรรศน์ตรวจภายใน (Endomicroscope)

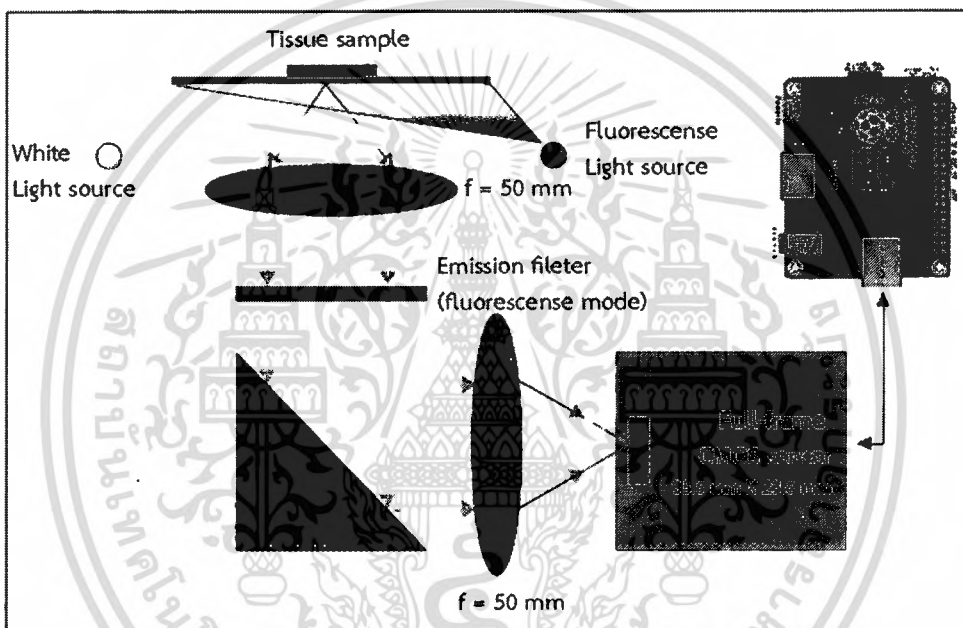


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การออกแบบตัวเครื่องสแกน

การออกแบบตัวเครื่องสแกนจะประกอบด้วยหลักการดังต่อไปนี้ หลักการทางแสง หลักการของสารเรืองแสง (Fluorescence) ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม (Fluorescence Spectra) และ Fluorescein ซึ่งการออกแบบนี้ได้คำนึงถึงต้นทุนทางด้านเทคโนโลยีรวมถึงความเป็นไปได้ที่จะสร้างต้นแบบในราคาถูกลง เพื่อสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ง่าย การออกแบบส่วนของการบันทึกภาพนั้นมีเป้าหมายในการออกแบบให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถวางบนโต๊ะของนักพยาธิวิทยาได้ โดยมีเป้าหมายให้มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมีความกว้างไม่เกิน 203 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่เกิน 262 มิลลิเมตร และมีความสูงไม่เกิน 61 มิลลิเมตร ซึ่งองค์ประกอบภายในเครื่องสแกนนี้จะประกอบไปด้วยส่วนหลักดังที่แสดงในรูปภาพที่ 6



รูปภาพที่ 6 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ

#### 3.1.1 หลักการทางแสง

การออกแบบเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบเต็มเฟรมนั้นได้ใช้ทฤษฎีทางด้านแสง โดยออกแบบให้ระบบของเลนส์มีกำลังขยายมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้สามารถบันทึกภาพที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดของพิกเซลของเซนเซอร์รับภาพของกล้อง ซึ่งข้อจำกัดของขนาดที่เล็กที่สุดที่เครื่องสแกนจะสามารถบันทึกได้ จะขึ้นกับขนาดและระยะห่างของพิกเซล (pixel) ของเซนเซอร์รับภาพของกล้อง ดังภาพที่ 7 เนื่องจากระบบเลนส์มีกำลังขยายมีค่าเท่ากับ 1 ทำให้ภาพที่บันทึกมีมุมมองของภาพ (Field of View, FOV) กว้างเท่ากับขนาดของเซนเซอร์รับภาพที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ เราได้ใช้เซนเซอร์รับภาพชนิดเต็มเฟรม (Full frame) ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 36 มิลลิเมตร x 24 มิลลิเมตร ในปัจจุบันเซนเซอร์ชนิดเต็มเฟรมเริ่มมีราคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกลง และมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการพัฒนาในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง โดยการคำนวณเพื่อกำหนดระยะโฟกัสของเลนส์ และค่าของ Numerical Aperture (NA) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NA = \frac{1}{2 * f - number}$$

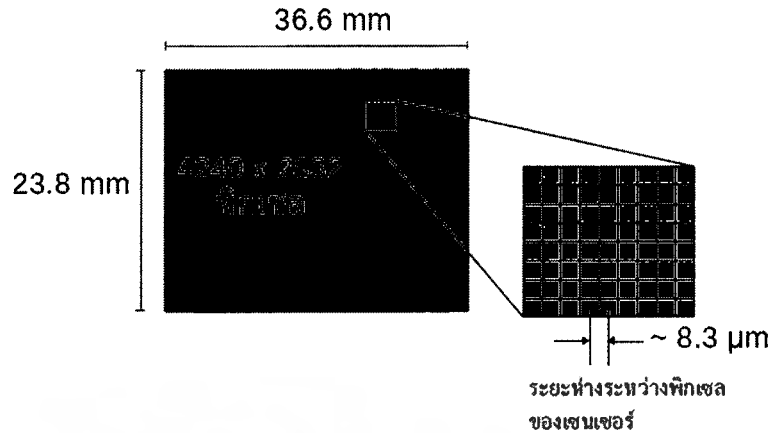
NA คือ Numerical Aperture

f-number คือ ค่าอัตราส่วนของระยะโฟกัสของเลนส์ต่อขนาดความกว้างของรูรับแสง

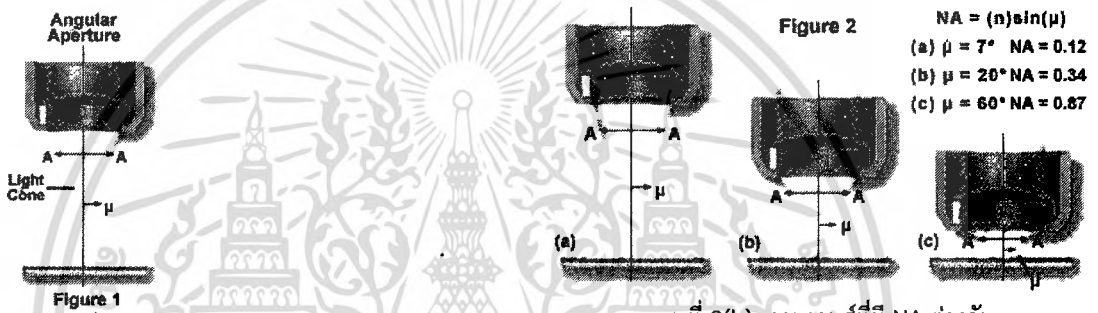
ซึ่งค่าของ NA ที่ได้จะใช้ในการคำนวณหาระยะ ความกว้าง และรวมถึงกำลังขยายที่สามารถทำได้ของการบันทึกภาพ ดังภาพที่ 8(a) โดยที่ค่าของ NA ถ้ามีค่ามากเกินไป จะทำให้ระยะวัตถุจะสั้นทำให้ระบบมีขนาดเล็ก และมิมุมบันทึกภาพที่กว้างขึ้น และกำลังขยายที่สูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน ก็ทำให้ระบบมี FOV ที่ลดลงด้วย ดังภาพที่ 8(b) ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณค่า NA เพื่อหาค่าที่มีความเหมาะสมต่อระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7: พิกเซลของเซนเซอร์รับภาพ และการวัดระยะห่างของพิกเซล



ภาพที่ 8(a): ภาพโคนแสงที่สามารถรับเข้าสู่ระบบได้

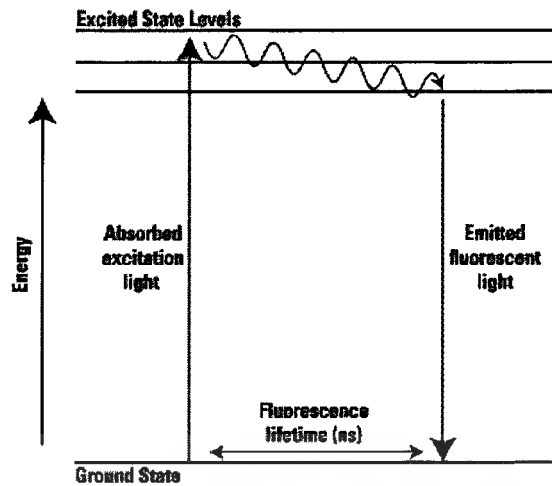
ที่มา:

ภาพที่ 8(b): ภาพเลนส์ที่มี NA ต่างกัน

ที่มา:

### 3.1.2 หลักการของสารเรืองแสง (Fluorescence)

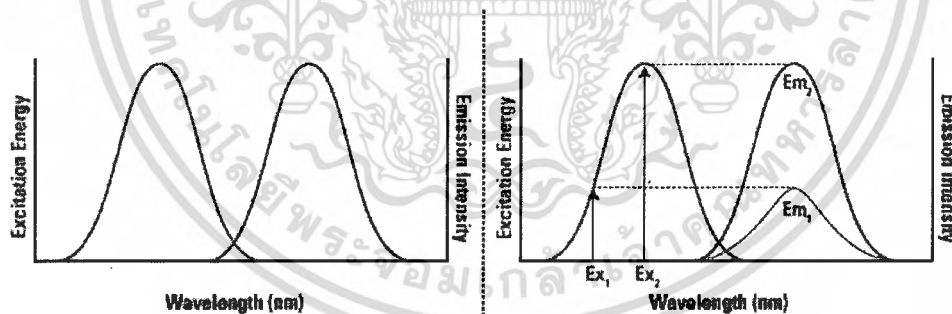
โมเลกุลฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะการตอบสนองต่างจากโมเลกุลประเภทอื่นๆ ดังที่แสดงในภาพ 9 โฟตอนของแสงกระตุ้นจะถูกดูดซับโดยอิเล็กตรอนของอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งจะเพิ่มระดับพลังงานของอิเล็กตรอนไปยังระดับที่ถูกกระตุ้น โดยในขณะที่ถูกกระตุ้น พลังงานจะสูญเสียไปในการชนกันของโมเลกุลหรือมีการถ่ายโอนพลังงานไปยังโมเลกุลข้างเคียง หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานที่ถูกกระตุ้นและกลับมาอยู่ในระดับพลังงานปกติ เนื่องจากพลังงานที่ลดลงของการปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอนทำให้ได้โฟตอนที่มีความยาวคลื่นที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะระหว่างคลื่นแสงที่ใช้กระตุ้นกับคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาได้ ลักษณะของการปล่อยโฟตอนจากโมเลกุลของสารเรืองแสงจะมีลักษณะเป็นคาบ จนกว่าโมเลกุลสารเรืองแสงจะไม่สามารถถูกกระตุ้นใหม่ได้อีก (Photobleaching)



ภาพที่ 9 ภาพแสดงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นและช่วงการเรืองแสง

### 3.1.3 ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม (Fluorescence Spectra)

แสงที่ใช้กระตุ้นและแสงที่ปล่อยออกมาของโมเลกุลของสารเรืองแสงจะมีความยาวคลื่นที่เฉพาะตัว โดยจะสามารถแสดงเป็นกราฟระหว่างความยาวคลื่นกับความเข้มของสัญญาณที่ใช้กระตุ้นและสัญญาณที่ปล่อยออกมา ดังที่แสดงในรูป 10 จากรูปจะเห็นได้ว่าคลื่นที่ถูกปล่อยออกมาจะมีความยาวคลื่นที่สูงกว่าความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้นเนื่องจากการสูญเสียพลังงานขณะมีการกระตุ้นจากเหตุผลที่กล่าวในส่วนหลักการของสารเรืองแสง

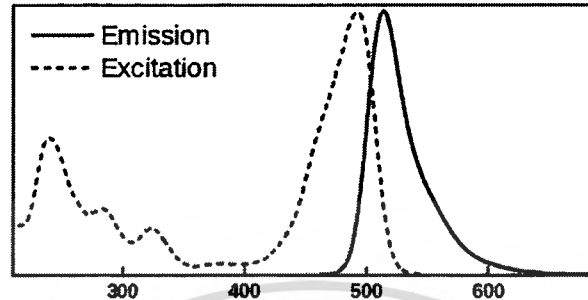


ภาพที่ 10 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับความเข้มของพลังงานของสัญญาณกระตุ้นและสัญญาณที่ปล่อยออกมา

### 3.1.4 Fluorescein

Fluorescein เป็นสารสังเคราะห์อแกอนิกมีลักษณะเป็นสีส้มเข้มหรือแดง ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ นิยมใช้เป็นสารเรืองแสงเพื่อแสดงตำแหน่งหรือร่องรอยในงานด้านชีววิทยา (fluorescence tracer) สารเรืองแสงนี้สามารถถูกกระตุ้นด้วยความยาวคลื่นแสง 494 นาโนเมตร และค่าความยาวคลื่นแสงที่มากที่สุดที่สาร

เรืองแสงนี้สามารถปล่อยออกมาได้คือ 521 นาโนเมตร ดังที่แสดงในรูปที่ 11 ซึ่งสารเรืองแสงที่ใช้ในปัจจุบันจะมี 3 ชนิดหลักคือ 1) fluorescein isothiocyanate (FITC) 2) oligonucleotide synthesis 3) 6-FAM phosphoramidite



ภาพที่ 11 ภาพแสดงความยาวคลื่นแสงที่ใช้กระตุ้นและความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของ FITC

### 3.2 การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องสแกน

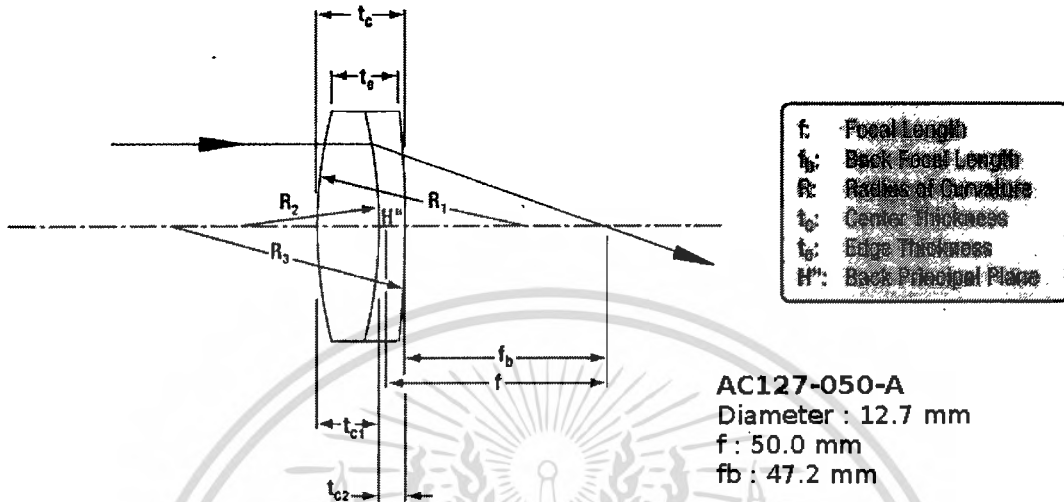
ในการสร้างเครื่องต้นแบบนั้นจะอ้างอิงจากแบบที่ได้จากการออกแบบในโครงการวิจัยนี้ในขั้นตอนการวิจัยก่อนหน้า ซึ่งตัวเครื่องมือจะสามารถบันทึกภาพและส่งภาพไปยังส่วนหน่วยประมวลผลของสมองกลฝังตัว (embedded system) ซึ่งระบบสมองกลฝังตัวดังกล่าวนอกจากจะทำหน้าที่ในการรับ และแสดงผลภาพแล้ว ยังมีประสิทธิภาพมากพอในการประมวลผลภาพเพื่อรองรับการวิจัยต่อยอดทางด้านการประมวลผลภาพในอนาคต เครื่องสแกนต้นแบบประกอบไปด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 เลนส์ (Lens)



ภาพที่ 12 AC127-050-A, Thorlabs

เนื่องจากระยะวัตถุ และระยะภาพของระบบเลนส์มีความสัมพันธ์กับขนาดโดยรวมของระบบอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการวิจัยเพื่อหาเลนส์ที่มีค่า NA และระยะโฟกัสที่เหมาะสม ซึ่งในเบื้องต้น จากการคำนวณทางทฤษฎี เลนส์ที่เหมาะสม คือ เลนส์จาก Thorlabs เบอร์ AC127-050-A ซึ่งมีระยะโฟกัสเท่ากับ 50



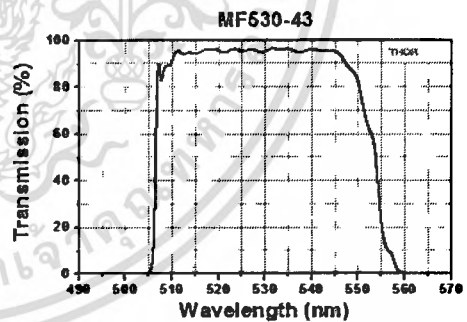
ภาพที่ 13: ภาพคุณสมบัติโดยละเอียดของเลนส์

มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติโดยละเอียด ดังที่แสดงในภาพที่ 13

### 3.2.2 Emission filter (fluorescence mode)



ภาพที่ 14: ฟิลเตอร์ MF530-43



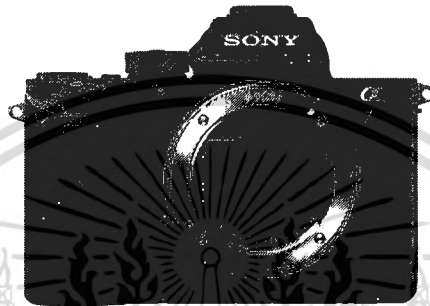
ภาพที่ 15: ฟิลเตอร์ MF530-43

ในโหมดการทำงานแบบฟลูออเรสเซนส์ จำเป็นที่จะต้องมียิลเตอร์เพื่อใช้ในการกรองคลื่นแสงที่เราไม่ได้สนใจออก เนื่องจากหลักการของฟลูออเรสเซนส์นั้นเป็นการกระตุ้นสารเรืองแสงให้มีพลังงานสูงขึ้นด้วยแสงที่มีความยาวแสงค่าหนึ่ง และสารเรืองแสงจะปล่อยพลังงานในรูปแบบของแสงที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าที่ใช้ในการกระตุ้น ดังนั้นทำให้มีอย่างน้อย 2 ความยาวคลื่นแสงที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งฟิลเตอร์จะทำหน้าที่กรองเฉพาะความยาวคลื่นแสงที่ถูกปล่อยมาจากสารเรืองแสงเท่านั้นที่สามารถผ่านได้ ทำให้เราสามารถเลือกบันทึกภาพที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่นที่จำเพาะต่อความยาวคลื่นแสงใดๆได้ ตัวอย่างเช่น เราสามารถเลือกความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับสารเรืองแสง และฟิลเตอร์เฉพาะความยาวคลื่นแสงที่ตำแหน่งของนิวเคลียสของเซลล์ หรือผนังของเซลล์ได้ ฟิลเตอร์ที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับช่วงของความยาวคลื่นของแสงที่ปล่อยออกมาจากสารเรืองแสง โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกฟิลเตอร์จาก Thorlabs เบอร์ MF530-43 เพื่อให้รองรับความยาวคลื่นแสงของ FITC เป็นหลัก ดังภาพที่ 14 และภาพที่ 15

### 3.2.3 Full frame CMOS sensor



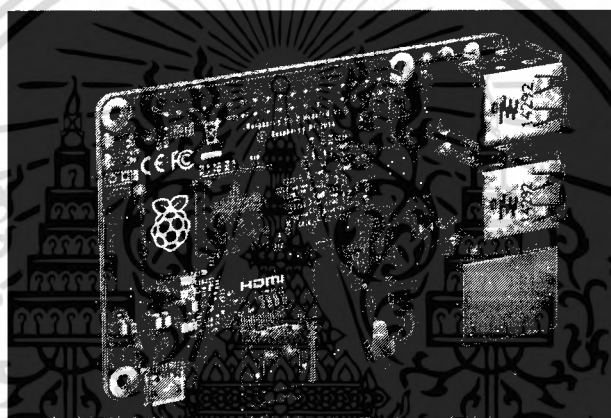
ภาพที่ 16: Sony camera, a7SII

เซนเซอร์ที่ใช้ในการบันทึกภาพในโครงการวิจัยนี้จะใช้เซนเซอร์จากกล้อง Sony รุ่น a7SII ซึ่งเป็นกล้องที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยเหตุผลที่เลือกเซนเซอร์ของกล้องตัวนี้เนื่องจาก 1) เป็นกล้องที่มีเซนเซอร์ขนาดเต็มเฟรม (full frame size) ที่มีราคาต่อ pixel ต่อพื้นที่ของเซนเซอร์ต่ำที่สุดในท้องตลาด 2) มีค่าขนาดของ pixel โดยประมาณเท่ากับ 8.33 ไมครอน ซึ่งมีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการวิจัยในโครงการนี้ 3) เนื่องจากเป็นกล้องที่หาได้ทั่วไปในท้องตลาด และมีความนิยมสูง ทำให้สามารถกล้องในราคาถูกลงกว่าปกติเพื่อใช้ในการวิจัยได้ง่าย

### 3.2.4 ระบบสมองกลฝังตัว (embedded system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่หลักของระบบนี้ในโครงการวิจัยนี้ใช้เพื่อควบคุมเซนเซอร์รับภาพ หรือตัวกล้องถ่ายรูป ซึ่งระบบนี้จะควบคุมจังหวะในการถ่ายภาพ การบันทึกภาพลงหน่วยความจำ และแสดงผลภาพผ่านทางจอภาพผ่าน HDMI เนื่องจากโครงการวิจัยได้คำนึงถึงการพัฒนาต่อยอดในด้านการประมวลผลภาพทางด้านเซลล์วิทยาด้วย จึงเลือกหน่วยประมวลผลของระบบสมองกลฝังตัวที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการต่อยอด ซึ่งการประมวลผลภาพนั้นมีความสำคัญในเรื่องของการช่วยลดระยะเวลาในการวินิจฉัยเพื่อหารอยโรคมะเร็งอย่างมาก เนื่องจากการประมวลผลภาพนี้สามารถลดขั้นตอนการตรวจสอบขั้นต้น (Gross examination) รวมถึงการจำแนกกลุ่มของเซลล์ที่มีความคล้ายคลึงกัน จะต้องใช้เวลาและความชำนาญในการพิจารณาหากใช้เพียงตาเปล่าในการสังเกต นอกจากนี้ หลังจากทีระบบได้ทำการประมวลผลภาพ ระบบยังสามารถเก็บภาพที่ได้ลงในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการอ้างอิงในภายหลังได้อีกด้วย โดยระบบสมองกลฝังตัวจะรับข้อมูลมาจากเซนเซอร์รับภาพผ่านทางช่องทางสื่อสารที่ใช้มาตรฐาน USB 2.0 โดยในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ Raspberry Pi 2 (ภาพที่ 17) ในเป็นหน่วยประมวลผล เนื่องจากมีขนาดเล็ก ราคาถูก และยังมีประสิทธิภาพที่สูง เหมาะสมในการประมวลผลภาพที่มีความ

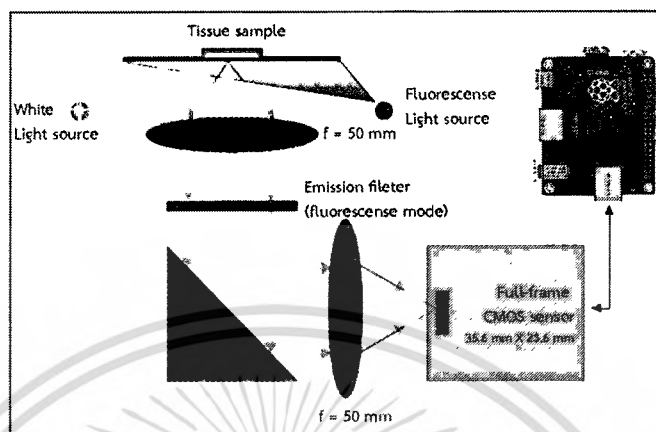


ภาพที่ 17: Raspberry Pi 2 model B

ละเอียดสูง ซึ่งระบบปฏิบัติการที่ใช้ จะใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ เนื่องจากเป็นระบบปฏิบัติการที่เปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด (opensource) ทำให้สามารถปรับแต่งในส่วนของ driver และ kernel ของระบบปฏิบัติการดังกล่าว เพื่อให้มีความรวดเร็ว และสามารถตอบสนองได้ทัน ต่อบริการภาพที่มีความละเอียดอย่างน้อย 12.2 ล้านพิกเซล ต่อ 1/30 วินาที

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการออกแบบโครงสร้างของระบบเพื่อการบันทึกภาพของเซลล์ที่ได้มาจากการทำ pap smear ดังรูปที่ 18



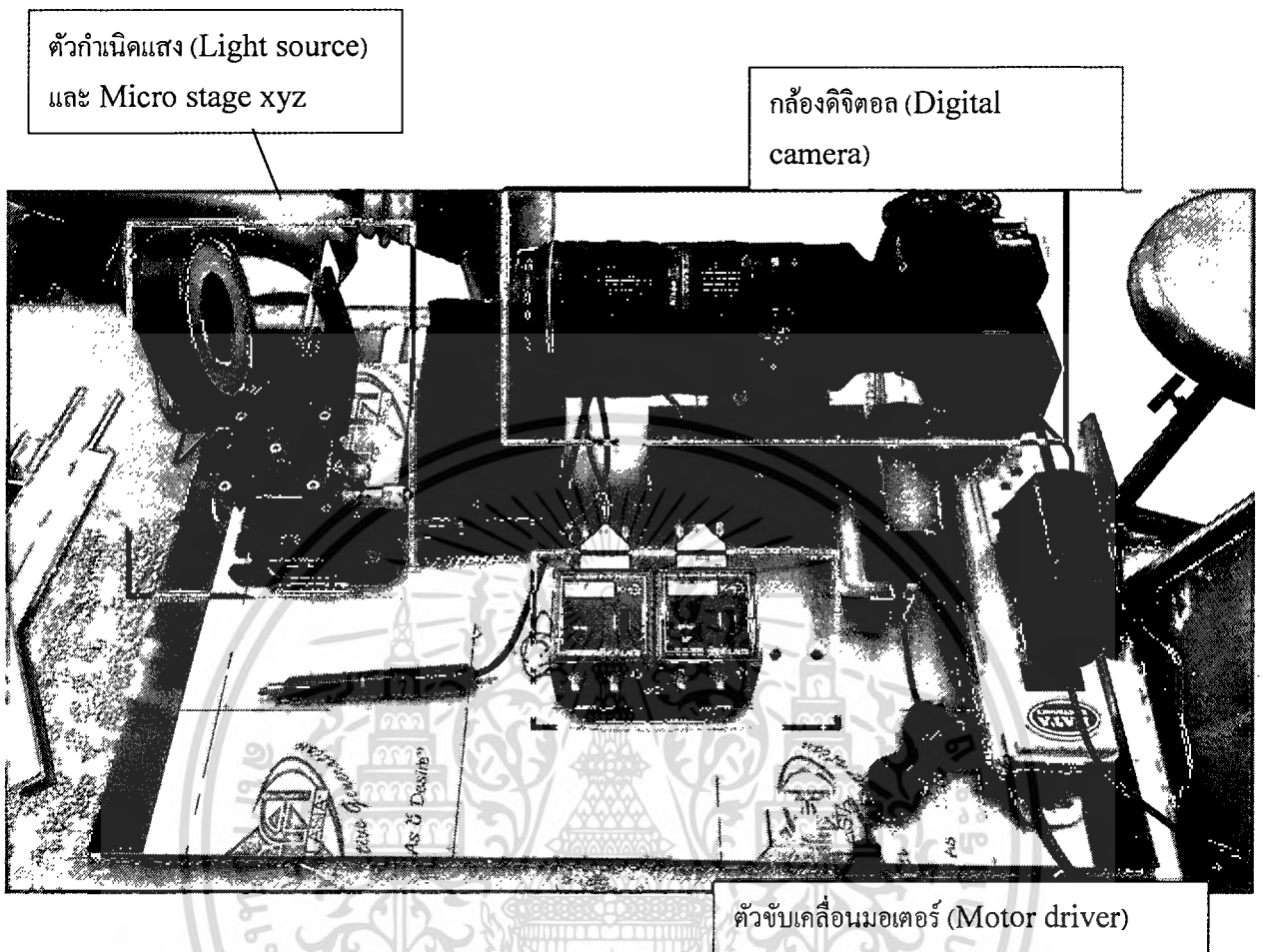
รูปที่ 18 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ

ได้ทำการซื้ออุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ และประกอบขึ้นเป็นระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจาก CMOS sensor ได้ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของการนำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังเนื้อเยื่อ และส่วนของการรับภาพที่ได้เกิดจากการสะท้อนของแสงจากสไลด์เข้าสู่ตัวรับสัญญาณภาพ (กล้องดิจิทัล) ดังรูปที่ 19-20



รูปที่ 19 ภาพระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจากสไลด์ที่เตรียมจาก pap smear ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบถ่ายภาพ

มีการทดลองเพื่อหาค่าความละเอียด (resolution) ค่ามุมมองของภาพ (field of view) ค่ากำลังขยายหรือซูม (zoom) ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ค่าความละเอียด (resolution)

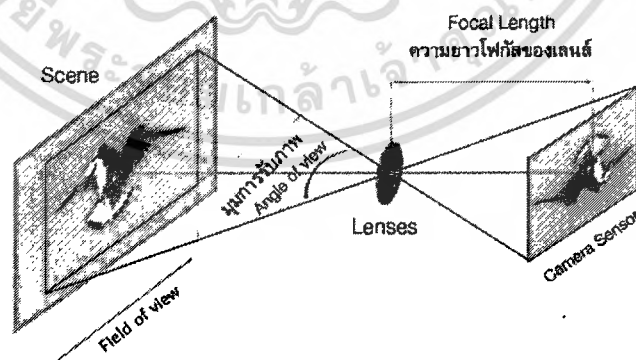
คือค่าระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดที่กล้องสามารถแยกจุด 2 จุดออกจากกันได้ โดยการทดลองหาค่าความละเอียด กระทำโดยใช้แผ่น Resolution Test USAF-1951 ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการใช้ทดลองหาค่าความละเอียดของระบบถ่ายภาพดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 USAF-1951

#### 4.2 ค่ามุมมองของภาพ (field of view)

คือค่าพื้นที่การมองเห็นของกล้องหรืออุปกรณ์ถ่ายภาพใด ๆ ที่อุปกรณ์ถ่ายภาพรับแสงจากพื้นที่นั้นๆ ผ่านเลนส์ จากนั้นตกลงบนเซนเซอร์รับภาพของกล้อง ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ค่ากำลังขยายหรือซูม (zoom)

คือค่าที่มีความสัมพันธ์เท่ากับระยะโฟกัสของเลนส์ telephoto ทหารด้วยระยะโฟกัสของเลนส์ wide-angle ซึ่ง มีหน่วยซูม

$$\text{Zoom} = \frac{\text{focal length of Telephoto Lens}}{\text{focal length of Wide – angle Lens}} \quad (1)$$

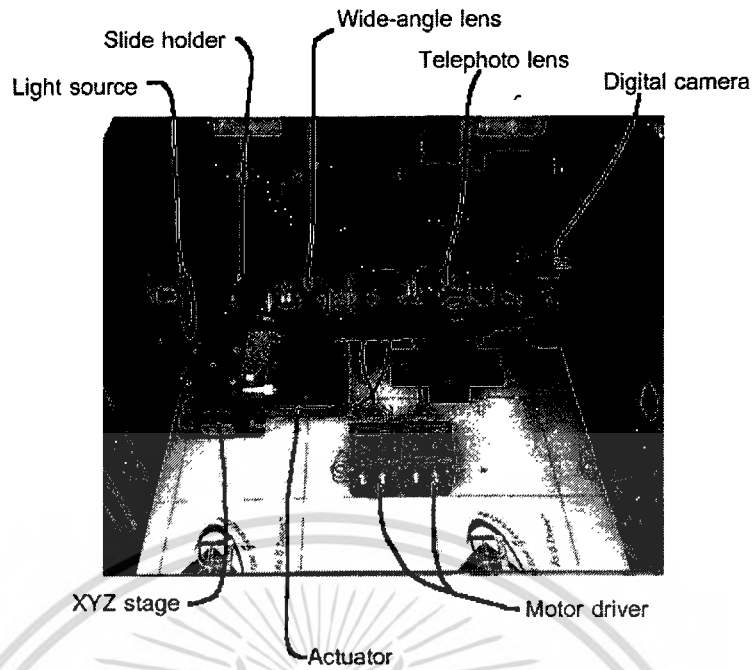
#### 4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์

คือระยะเวลาที่ระบบใช้ในการถ่ายเก็บภาพจากแผ่นสไลด์ ThinPrep ทั้งแผ่น โดยการประมาณจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่นระยะเวลาถ่ายภาพของกล้องซึ่งมีความเร็วในการถ่ายภาพ 5 fps ระยะเวลาการเคลื่อนที่จากสแตจและระยะเวลาที่สแตจหยุดนิ่งหลังจากเคลื่อนที่ประมาณ 0.5 วินาที และพื้นที่ของแผ่นสไลด์ ThinPrep ประมาณ 500 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบถ่ายภาพ

Focal length of Telephoto lens	Focal length of Wide-angle lens	ค่าความละเอียด (μm)	ค่ากำลังขยาย (ซูม)	ค่ามุมมองของภาพ (mm <sup>2</sup> )	ระยะเวลาที่ใช้ถ่ายเก็บภาพ (วินาที)
20	70	3.89	3.5	30.40	12
20	200	3.89	10	4.20	82.5

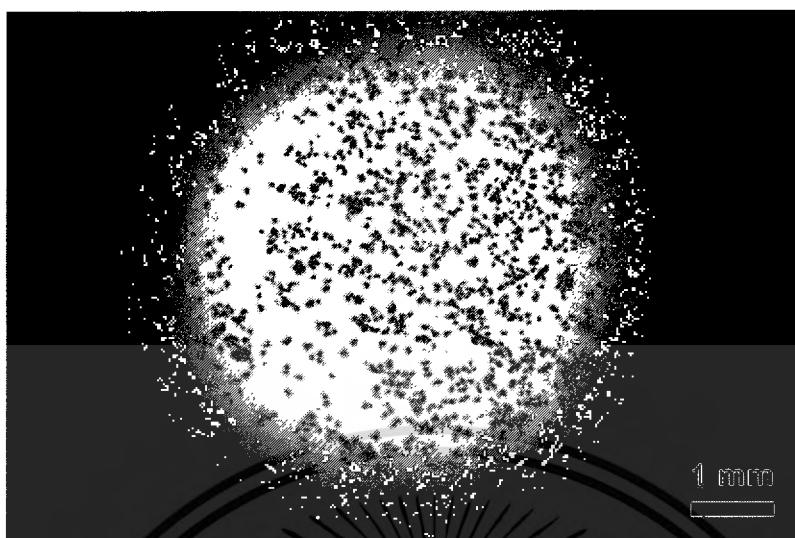
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



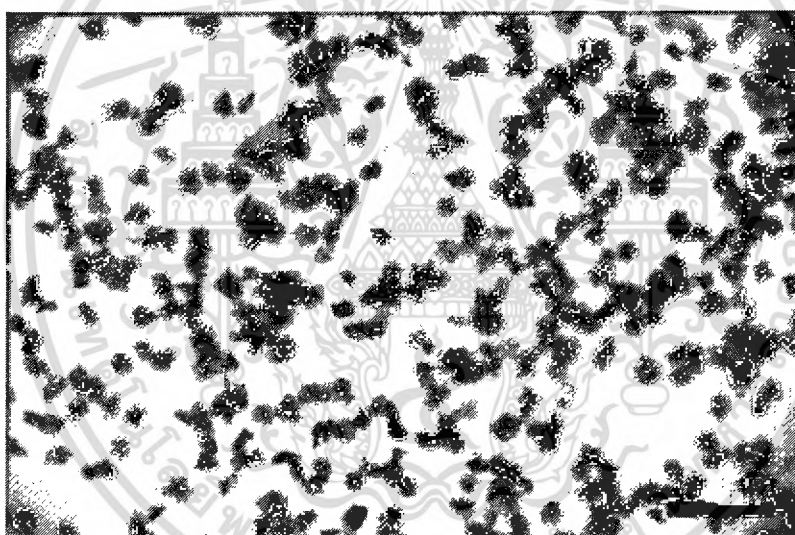
รูปที่ 23 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ

จากรูปที่ 24 ระบบดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ อุปกรณ์มีหน้าที่ในการถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep โดยส่วนนี้จะอยู่ในกล่องดำเพื่อกันแสงรบกวนจากภายนอก กล่องมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED-ring ซึ่งเป็น LED ที่ให้แสงขาว จำนวน 48 หลอด สามารถปรับความเข้มของแสงได้ ซึ่งภาพที่สามารถถ่ายได้จะมีการซูมอยู่ในช่วง 3.5 – 10 ซูม ใช้กล้อง NIKON D3400 ที่มีขนาดเซนเซอร์กว้าง 23.5 มิลลิเมตร และยาว 15.6 มิลลิเมตร เป็นตัวรับภาพ มี XYZ สเตจสำหรับเลื่อนสไลด์ซึ่งสามารถเลื่อนได้ใน 3 แกนคือ แกนลึก แกนบน และแนวตั้ง โดยการเคลื่อนที่ใช้ DC servo motor (ที่ถูกสั่งคำสั่งจาก K-Cube Brushed DC Servo Motor Controller หรือ Motor driver) ควบคุมการเคลื่อนที่ และมีระยะการเคลื่อนที่แนวลึก แกนบนและแนวตั้ง ครอบคลุมระยะทาง 12, 12 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ การเคลื่อนที่แนวตั้ง และแกนบนทำหน้าที่เพื่อให้สามารถถ่ายได้ครอบคลุมทั้งสไลด์ และการเคลื่อนที่แนวลึกทำหน้าที่สำหรับปรับตำแหน่งของแผ่นสไลด์ ThinPrep ให้ไปที่จุดโฟกัสของเลนส์เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดที่สุด

ผลการทดลองการถ่ายภาพจากอุปกรณ์ที่ยึดตำแหน่งเรียบร้อยแล้วได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 24 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายต่ำสุด 3.5 ซุม



รูปที่ 25 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายมากที่สุด 10 ซุม

จากผลการทดลองภาพที่ถ่ายออกมานั้นมีความคมชัดในระดับหนึ่งซึ่งพอจะสามารถนำไปวิเคราะห์ในเบื้องต้นได้ว่ามีเซลล์มะเร็งหรือเซลล์ที่มีแนวโน้มจะเป็นเซลล์มะเร็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาเราจะได้กล้อง CMOS camera double lens system(Wide-angle lens and Telephoto lens) ที่มีความละเอียด 3.89  $\mu\text{m}$  โดยสามารถปรับค่ากำลังขยายได้ 3.5- 10 เท่า โดยที่ Focal length of telephoto lens เท่ากับ 20 , focal length of wide-angle lens เท่ากับ 70 เราจะได้ค่ามุมมองของภาพที่ 30 .44  $\text{mm}^2$  และ Focal length of telephoto lens เท่ากับ 20 , focal length of wide-angle lens เท่ากับ 200 เราจะได้ค่ามุมมองของภาพที่ 4 .20  $\text{mm}^2$

ซึ่งจากผลลัพธ์ดังกล่าวนี้เพียงพอสำหรับการตรวจวินิจฉัยเซลล์ ซึ่งถ้ามีการพัฒนา Software ในการตรวจช่วยตรวจวิจัยและควบคุมการเก็บภาพเซลล์ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการวินิจฉัยให้มีความสะดวกและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6 สรุป ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

6.1 ระบบกล้องที่สามารถถ่ายภาพระดับเซลล์ โดยไม่เพียงแต่นำไปใช้กล้องเซลล์มะเร็งได้เท่านั้น ในอนาคตมีโอกาสนำไปใช้ตรวจเซลล์ทางการแพทย์อย่างอื่นได้อีก ซึ่งถือว่าเป็นงานที่มีความคุ้มค่า และสามารถใช้ทดแทนเครื่องมือที่นำเข้าได้

6.2 การประยุกต์อุปกรณ์ กล้อง Digital ธรรมดาให้กลายเป็นกล้องตรวจมะเร็งด้วยอาศัยความรู้ทางได้ Optical system และยังได้ตีพิมพ์ใน Conference ระดับนานาชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายชื่อ publication จากโครงการวิจัยนี้

- [1] Suvicha Sasivimolkul, Tanakit Jittichaiwet, Wibool Piyawattanametha, “Whole Slide Imaging Based on Low-cost Camera, 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology(ICEASST), Phuket, Thailand, 4-7 July 2018.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว,			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้จ่าย			-
ค่าจ้างเหมา+ค่าวัสดุ	300,000	300,000	-
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
<b>รวม</b>	<b>300,000</b>	<b>300,000</b>	<b>-</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Wibool Piyawattanametha, PhD

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

*Group Leader, Advanced Light Microscopy*

1 Soi Chalong Krung1, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand, T: +66 (0)2-329-8000

*Email: [wibool@gmail.com](mailto:wibool@gmail.com) and [wibool.pi@kmitl.ac.th](mailto:wibool.pi@kmitl.ac.th)*

Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science & Engineering, Michigan State University

220 Trowbridge Rd, East Lansing, MI 48824, USA, T: +1 517-355-1855

*Email: [piyawatt@msu.edu](mailto:piyawatt@msu.edu)*

## EDUCATION

University of California, Los Angeles, USA (2000 – 2004)

*Doctor of Philosophy in Electrical Engineering*

University of California, Los Angeles, USA (1997 – 1999)

*Master of Science in Electrical Engineering*

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand (1990 – 1994)

*Bachelor of Electronics Engineering (Magna cum laude)*

## ACCOMPLISHMENTS/AWARDS

- Recognized on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)
- Awarded 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2018, Hong Kong, China
- Awarded Gold Medal Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland
- Awarded Bronze Medal Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland
- Awarded Special prize for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from Korea Invention Promotion Association 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Awarded Recognition Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded Recognition Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China
- Awarded Silver Prize in Leaders in Innovation Fellowships 2017, the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France
- Awarded Leaders in Innovation Fellowships 2017 from the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded the Newton Fund Researcher Links in 2015 from the British Council, United Kingdom
- Awarded 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, Alaska, USA
- Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Berlin, Germany
- Awarded Young Scientists Award 2013 from the World Economic Forum (WEF), Geneva, Switzerland– given to top 40 young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world
- Awarded an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEJ) 2014, Bangkok, Thailand
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from True Innovation, Bangkok, Thailand 2012
- Awarded Erasmus Mundus Grant 2012 from the European Commission
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the Global Entrepreneurship Competition (GEC) 2011, Barcelona, Spain
- Outstanding paper award from Transducers 2011, Beijing, China, 2011
- Awarded 1<sup>st</sup> prize from the Global Social Venture Competition (GSVC) 2011, Bangkok, Thailand
- Achieved over 2600 citations with h-index of 25
- Served as a Director of Advanced Imaging Research Center at the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University (2010-14)
- Contributed to seven book chapters and filed 5 patents in micro- and nano-systems and biomedical imaging technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Presented at over 300 professional meetings including invited talks at various world class research institutes
- Served as a principal investigator (PI) in the following funding agencies since 2009 (US\$ 3+ million):
  - National Research Council (NRC)
  - Chulalongkorn University
  - National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
  - Office of the Higher Education Commission (OHEC)
  - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a founding member and an executive committee member of the Global Young Academy (GYA) and Thai Young Scientists Academy (TYSA) in 2010
- Elevated to be senior members of The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010, The Optical Society of America (OSA) in 2011, and The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012
- Served as a co-investigator in:
  - National Cancer Institute (NCI), USA-funded Network for Translational Research Award (US\$ 17+ million) to develop an endoscopic confocal microscope, ultrasound transducers, and nanoparticle-based wide-field spectral imaging devices, for molecularly-targeted disease detection in the gastrointestinal tract from 2005 to 2013
  - Howard Hughes Medical Institute (HHMI), USA-funded for Deep Brain Imaging Award (US\$ 5+ million) to develop ultraportable 2-photon microendoscopes for mouse brain imaging from 2006 to 2010
- Served as a technical and program reviewer for:
  - Department of Defense (DOD), USA
  - National Institutes of Health (NIH), USA
  - National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand
  - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a technical program committee member and a technical program chair for:
  - SPIE Photonics West Optical MEMS and Miniaturized Systems Conference from 2007 until present (chair)
  - IEEE NANOMED Conference in 2012 until present (chair)
  - IEEE CYBER Conference in 2012 (chair)
  - International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) in 2016 (chair)
  - IEEE Optical MEMS and Nanophotonics (OMN) Conference from 2015 until present (committee)
  - IEEE Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS) from 2012 until present (committee)
  - International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE) from 2008 - 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Served as a co-editor and a technical reviewer for:
  - Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS (JM3) in 2014 (guest editor)
  - PLOS ONE from 2012 to present (reviewer)
  - International Journal of Cancer (IJC) from 2011 until present (reviewer)
  - Journal of Biomedical Science and Engineering (JBiSE) from 2008 until present (reviewer)
  - IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE) from 2006 until present (reviewer)
  - IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS) from 2005 until present (reviewer)
  - IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing from 2012 until present (reviewer)
  - Springer International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2012 until present (reviewer)
- Authored and co-authored over 80 manuscripts published in peer-reviewed conference proceedings and journals such as *IEEE*, *OSA*, *SPIE*, Elsevier, and *Nature Publishing Group*
- Taught classes or gave lectures at various institutes (UCLA, Stanford University, HKUST, TECHNION, Peking University, National Taiwan University, National Tsing Hua University, Tokyo University, etc.)

#### PROFESSIONAL EXPERIENCE

<i>Michigan State University</i> <i>Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science &amp; Engineering</i>	(2018 – Present)
<i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)</i> <i>Group Leader of Light Microscopy, Vice Director of the KMITL Research and Innovation Division (2015-16)</i>	(2014 – Present)
<i>Fraunhofer IPMS</i> <i>Technology Consultant</i>	(2014 – Present)
<i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)</i> <i>Vice Director of Research and Innovation</i>	(2014 – 2016)
<i>National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)</i> <i>Group Leader of Light Microscopy</i>	(2009 – 2014)
<i>Chulalongkorn University, Faculty of Medicine</i>	(2009 – Present)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Director of Advanced Imaging Research (AIR) Center  
Adjunct Professor, Department of Internal Medicine*

**Stanford University**

(2007 – 2009)

*Physical Science Research Associate*

*Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics*

- Demonstrated the first clinical use of a novel handheld Dual-Axes Confocal microscope (10-mm diameter) in live human patients in skin, with the ultimate goal to examine for monitoring sub-mucosa cancer progression and drug delivery through skin
- Demonstrated the first Dual-Axes Confocal endoscope (< 5 mm diameter) for GI tract imaging
- Demonstrated the first use of MEMS based portable two-photon fluorescence microendoscope (< 3.5 grams) for deep brain imaging in live awaking mice to correlate their behaviors to brain activities

**Stanford University**

(2005 – 2006)

*Post-doctoral research scholar*

*Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics*

- Led a team of four to develop two novel miniaturized medical microendoscope and endoscope by combining MEMS, micro-optics, and beam scanning microscopy. Those microendoscopes/endoscopes are:
  - Two-photon microendoscope: to be used in small animal imaging
  - Dual-axes confocal endoscope: to be used in human patients
- Co-developed the first compact 2-D MEMS scanners with high speed and large angular rotation for endoscopic imaging applications
- Optimized micro-fabrication process of MEMS scanners to increase production yield, production efficiency, and increase scanner performance
- Lectured in MEMS/Optics classes at Stanford University

**University of California, Los Angeles**

(1997 – 2004)

*Graduate student researcher*

- Demonstrated the first 2-D MEMS scanners based for an Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography (UHR-OCT) imaging endoscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Designed, fabricated, and demonstrated the first 2-D MEMS scanners with electrostatic angular vertical comb (AVC) actuators based on surface and bulk micromachined techniques for endoscopic imaging application
- Demonstrated the first MEMS based Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope
- Co-developed the first linearization control method for electrostatically actuated surface micromachined 2-D scanner
- Lectured in a MEMS fabrication/design class to undergraduate and graduate students at UCLA

### *Schlumberger Limited*

(1994 – 1997)

#### *Field Engineer (FE)*

- Provided oil and gas reservoir evaluation engineering services by using electrical wireline logging technology to localize the hydrocarbon layers of the subsurface reservoir
- Managed and led a team of 4 members to provide these services
- Responsible for engineering services valued at \$300,000 - \$500,000 per month
- Collected and analyzed technical data and coordinated engineering project activities with major clients e.g. Exxon-Mobil, Unocal, and TOTAL

#### Research

##### 1. Publication refereed

###### a. Journal

- [1] L. Jung, D. Lopez, Z. Qiu, and W. Piyawattanametha, "2-D MEMS Scanner for Handheld Mutispectral Dual-Axis Confocal Microscopes," IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS), May 24, 2018, vol. PP, no. 99, pp. 1-8.
- [2] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "New Endoscopic Imaging Technology Based on MEMS Sensors and Actuators," Micromachines 2017, 8(7), 210; doi:10.3390/mi8070210.
- [3] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Medical Endomicroscopes," Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE), Vol.21, No.4, August 16, 2015, DOI 10.1109/JSTQE.2015.2389530.
- [4] N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, R. Jolivot, U. Jarujareet, K. Plaimas, P. Bhattarakosol, S. Patumraj, and W. Piyawattanametha, "Novel p16 binding peptide development for p16-overexpressing cancer cell detection using phage display," Journal of Peptide Science, Vol. 21, Issue 4, April 2015, pp. 265-273.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [5] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber optical microendoscopes," *Displays*, Vol. 37, April 2015, pp 41-53.
- [6] C. B. Wong, B. Y. Khoo, S. Sasidharan, W. Piyawattanametha, S. Kim, N. Khemthongcharoen, M. Y. Ang, L. O. Chuah, and M. T. Liong, "Inhibition of *Staphylococcus aureus* by crude and fractionated extract from lactic acid bacteria," *Beneficial Microbes*, March 2015, 1;6(1):129-39.
- [7] C. Zhao, Y. K. Lee, R Xu, C. Liang C, D. Y. Liu, W. Ma, W. Piyawattanametha, Y. Zohar, "Isolation of circulating tumor cells under hydrodynamic loading using microfluidic technology," *Advances in Mechanics*, 2014, 44: 201412.
- [8] N. Khemthongcharoen, S. Rattanavarin, R. Jolivot, and W. Piyawattanametha, "Advances in imaging probes and optical microendoscopic imaging techniques for early in vivo cancer assessment (invited paper)," *Journal of Advanced Drug Delivery Reviews*, July 30, 2014, Vol. 74, pp. 53-74.
- [9] K. Kongsmak, P. Pungpit, M. R. Kano, S. Komai, W. Piyawattanametha, and O. Phanraksa, "Perceptions of Research Excellence in Thailand and Japan," *Science Technology and Innovation Policy Review*, ISSN: 2093-3053, October 2013, Vol. 4, No. 2.
- [10] W. Piyawattanametha, H. Ra, Z. Qiu, S. Friedland, J. T. C. Liu, K. Loewke, G. S. Kino, O. Solgaard, T. D. Wang, M. J. Mandella, and C. H. Contag, "*In Vivo* Near-infrared Dual-Axis Confocal Microendoscopy in the Human Lower Gastrointestinal Tract," *Journal of Biomedical Optics* 17(2), February 2012, 021102:1-4.
- [11] C. L. Hoy, O. Ferhanoglu, M. Yildirim, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "Optical design and imaging performance testing of a 9.6-mm diameter femtosecond laser microsurgery probe," *Optics Express* 19, 10536 - 10552 (2011).
- [12] K. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, C. H. Contag, S. Thurn, and K. Salisbury, "*In Vivo* Micro-Image Mosaicing," *The IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, January 2011, Vol. 58, No. 1, pp. 159-171.
- [13] W. Piyawattanametha, H. Ra, E. Gonzalez, M. J. Mandella, G. S. Kino, O. Solgaard, D. Leake, R. L. Kaspar, A. Oro, and C. H. Contag, "*In vivo* imaging of human and mouse skin with a dual-axis confocal fluorescence microscope," *Journal of Investigative Dermatology*, January 2011, 131, 1061-1066.
- [14] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, N. O. Loewke, H. Haeberle, H. Ra, W. Piyawattanametha, O. Solgaard, G. S. Kino, and C. H. Contag, "Micromirror-scanned dual-axis confocal microscope utilizing a gradient-index relay lens for image guidance during brain surgery," *Journal of Biomedical Optics*, April 2010, vol. 15, pp. 026029.
- [15] W. Piyawattanametha and T. D. Wang, "MEMS-Based Dual Axes Confocal Microendoscopy (Invited Paper)," *The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, July-August 2010, Vol. 16, Issue 4, pp. 804-814.
- [16] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, K. Loewke, T. D. Wang, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "3-D Near Infrared Fluorescence Imaging using a MEMS-based Miniature Dual-Axes Confocal Microscope,"

The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE), Sept-Oct 2009, Vol. 15, Issue 5, pp. 1344-1350.

- [17] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “*In vivo* brain imaging using a portable 2.9 gram two-photon microscope based on a microelectromechanical systems scanning mirror,” *Optics Letters*, August 1, 2009, Vol. 34, No. 15, pp. 2309-2311.
- [18] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, “siRNA silencing of keratinocyte-specific GFP expression in a transgenic mouse skin model,” *Gene Therapy* (2009), Vol. 16, May 28, 2009, pp. 963-972.
- [19] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, “Characterization of a transgenic GFP mouse skin model for development of siRNA delivery technologies,” *Journal of Investigative Dermatology*, April 2009, 129, S90.
- [20] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, “Miniaturized probe for femtosecond laser microsurgery and two-photon imaging,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 13, pp. 9996-10005.
- [21] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, P. L. Hsiung, J. Hardy, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Three-dimensional *in vivo* imaging by a handheld dual-axes confocal microscope,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 10, pp. 7224-7232.
- [22] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, D. Lee, M. J. Mandella, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, “Two-dimensional MEMS scanner for dual-axes confocal microscopy,” *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS)*, Vol. 16, August 2007, pp. 969-976.
- [23] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, “Two-axis MEMS Scanning Catheter for Ultrahigh Resolution Three-dimensional and *En Face* Imaging,” *Optics Express*, Vol. 15 (2007), Issue 5, pp. 2445-2453.
- [24] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, W. Piyawattanametha, C. H. Contag, and O. Solgaard, “A miniature near-infrared dual-axes confocal microscope utilizing a two-dimensional MEMS scanner,” *Optics Letters*: Vol. 32 (2006), Issue 3, pp. 256-258.
- [25] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “Fast-scanning two-photon fluorescence imaging based on a microelectromechanical systems two-dimensional scanning mirror,” *Optics Letters*, Vol. 31, No. 12, July 1, 2006, pp. 2018-2020.
- [26] B. A. Flusberg, E. D. Cocker, W. Piyawattanametha, J. C. Jung, E. L. M. Cheung, and M. J. Schnitzer, “Fiber-optic Fluorescence Imaging (Invited Paper),” *Nature Methods*: 2, 941 - 950 (2005).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "Surface- and Bulk- Micromachined Two Dimensional Scanner Driven by Angular Vertical Comb Actuators," IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS), Vol. 14, Issue 6, December 2005, pp.1329 – 1338.
- [28] M. Fujino, Pamela R. Patterson, H. Nguyen, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Monolithically Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning," IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 10, No. 3, May/June 2004, pp. 492-497.
- [29] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, R. Chao, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Angular Vertical Comb Driven Tunable Capacitor with High Tuning Capabilities," IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS), June 2004, Vol. 3, No. 3, pp. 406-413.
- [30] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. -T. Chan, and M. C. Wu, "Linearization of Electrostatically Actuated Surface Micromachined 2-D Optical Scanner," IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS), June 2001, Vol. 10, No. 2, pp. 205-214.

#### b. Conference

- [1] W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with handheld dual-axis confocal microendoscope," World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering, Prague, Czech Republic, June 3-8, 2018.
- [2] W. Piyawattanametha, "Fiber-optical microendoscopy based on MEMS scanning technology (invited)," Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-nano Technology 2018, Hongkong, China, June 24-27, 2018.
- [3] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS based dual-axis microendoscope (invited)," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS), Singapore, April 22-26, 2018.
- [4] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS scanner based dual-axis microendoscope (invited)," Focus on Microscopy, Singapore, March 25-28, 2018.
- [5] W. Piyawattanametha, "The Global State of Young Scientists in ASEAN: What is the next step? (invited)," The International Workshop on Asian Young Academies, The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel, February 11-13, 2018.
- [6] Z. Qiu, N. Loewke, W. Piyawattanametha, I. W. Jung, T. Teraphongphom, R. Ertsey, F. Schonig, S. Rogalla, S. Friedland, M. J. Mandella, D. Lopez, E. Rosenthal, and C. Contag, "MEMS based multi-spectral dual-axis confocal microendoscope for clinical applications (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.
- [7] T. Marumo, G. Murashova, D. Agnew, F. Schonig, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, Z. Qiu, M. Dantus, and C. H. Contag, "Design of MEMS based handheld multi-photon and second harmonic generation imaging system for early detection and imaging guided surgery of oral cancer (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] S. Suwan and W. Piyawattanametha, "A handheld Escherichia coli Detection System," International Workshop on Advanced Image Technology, Chiangmai, Thailand, January 7-10, 2018.
- [9] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "Automated Paptest Diagnosis with Artificial Neural Network," The 2017 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology a Theme on "Smart Embedded Systems for Industry 4.0," Bangkok, Thailand, August 2-4, 2017.
- [10] K. Phasuk, C. Pipitsombat, S. Pattanasak, and W. Piyawattanametha, "A fast Escherichia Coli Detector for Water Inspection," The 16<sup>th</sup> International Conference on Environment Engineering, Science, and Management, Bangkok, Thailand, May 17-18, 2017.
- [11] K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Development of E. coli detection," The 5<sup>th</sup> Higher Education Research Promotion Congress, Udonthani, Thailand, March 2-4, 2017.
- [12] C. Pipitsombat, K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Evaluation of rapid detection system for Escherichia coli in water samples," The 8<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2016), Luang Prabang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.
- [13] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "Wide-field high-resolution fiber bundle based Endomicroscope for Cervical epithelium cells imaging," The 8<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2016), Luangprbang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.
- [14] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "Centralized Pap Test Diagnosis with Artificial Neural Network and Internet of Things," The 10th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed), Macau, China, October 30 – November 2, 2016.
- [15] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with a MEMS scanner based confocal microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2016, Matsushima, Sendai, Japan, April 17-20, 2016.
- [16] W. Piyawattanametha, "A handheld confocal microscope for 3D biopsies," Photonics West 2016, San Francisco, CA, USA, February 13-18, 2016.
- [17] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "A Fast Depixelation Method of Fiber Bundle Image for an Embedded System," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [18] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "A Portable Escherichia Coli Detection Platform for Water Inspection," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [19] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," Microscopy Conference 2015, Gottingen, Germany, September 6-11, 2015.
- [20] W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2015, Jerusalem, Israel, August 2-6, 2015.
- [21] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy with MEMS technology (invited)," IEEE

- Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [22] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "Fiber-optical endoscopy with MEMS scanner technology," Photonics West 2015, San Francisco, CA, USA, January 31 – February 5, 2015.
- [23] W. Piyawattanametha, "Portable holographic imager for biological samples," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2014), Fukuoka, Japan, November 26-28, 2014.
- [24] W. Piyawattanametha, "High-resolution Imaging with MEMS based handheld confocal microscope," the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [25] W. Piyawattanametha, "Confocal microendoscopy (invited)," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.
- [26] W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber-optical microendoscopy," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2014, Glasgow, Scotland, August 17-21, 2014.
- [27] W. Piyawattanametha, "Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope (invited)," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kaen, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [28] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy for early cancer detection (invited)," The 1<sup>st</sup> International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM 2014), Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [29] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy (invited)," The 2nd Optical Science of Dynamically Correlated Electrons (DYCE 2013), Kashiwa, Japan, December 17-18, 2013.
- [30] W. Piyawattanametha, "A review: Endoscopic imaging probe based on MEMS technology for nanomedicine (invited)," The 7th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed) 2013, Phuket, Thailand, November 10-13, 2013.
- [31] W. Piyawattanametha, "Advance in Light Microendoscopy (invited)," The 6<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2013), Krabi, Thailand, October 23-25, 2013.
- [32] W. Piyawattanametha, "A review of MEMS scanner based endoscopic optical imaging probe (invited)," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2013, Kanazawa, Japan, August 18-22, 2013.
- [33] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, M. J. Mandella and W. Piyawattanametha, "MEMS multispectral confocal probe," the 16<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2013), Barcelona, Spain, June 16-20, 2013.
- [34] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, and W. Piyawattanametha, "Handheld multispectral dual-axis confocal microscope for cervical cancer screening," Photonics West 2013, San Francisco, CA, USA, February 2-7, 2013.

- [35] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, U. Jarujareet, S. Niruthisard, W. Piyawattanametha, "Phage-displayed p16INK4a binding peptide scanning from phage display library as a HPV-related cancer cells tracer," Molecular Medicine Conference 2012 (MMC), Bangkok, Thailand, December 19-22, 2012.
- [36] P. Sankatumvong, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, I. L. Jung, and W. Piyawattanametha, "Characteristics of MEMS scanners with different driving bias," IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC), Bangkok, Thailand, December 3-5, 2012.
- [37] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, W. Piyawattanametha, "Phage Display Specific p16INK4a Binding Peptide for Ex Vivo Cancer Cells Imaging," The 6<sup>th</sup> IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed 2012), Bangkok, Thailand, November 4-7, 2012.
- [38] A. Ruangphacha, N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, "Homology modeling characterization of CDK4-roscovitine complexes," 11<sup>th</sup> International Conference on Bioinformatics (InCoB), Bangkok, Thailand, October 3-5, 2012.
- [39] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, R. Jolivot, I. W. Jung, D. López, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Multispectral Confocal Microscope for Cervical Cancer Diagnosis," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 42-42, August 6-9, 2012.
- [40] I. W. Jung, S. Rattanavarin, S. Sarapukdee, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, "2-D MEMS scanner for handheld multispectral confocal microscopes," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 238-239, August 6-9, 2012.
- [41] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Cervical Confocal Microscope Based on a MEMS Scanner," The 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT 2012), Nanjing, China, July 8-11, 2012.
- [42] U. Jarujareet, N. Khemthongchareon, W. Piyawattanametha, "Micro Objects Detection by a Portable Lensless Imaging Platform", The 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT), Nanjing, China, July 8-11, 2012.
- [43] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Handheld Dual-Axis Confocal Microscope for Cervix Cancer Screening," International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2012), Hua Hin, Thailand, May 16-18, 2012.
- [44] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.
- [45] U. Jarujareet and W. Piyawattanametha, "2D Correlation Map Based Object Detection in Digital In-line Holography," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.

- [46] P. Wongsawatsuriya, N. Khemthongcharoen, and W. Piyawattanametha, "Video Mosaicing for Real-time Field of View Enhancement," IEEE Robotics and Biomimetics (ROBIO), Phuket Island, Thailand, December 7-11, 2011.
- [47] W. Piyawattanametha, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," the 15<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2011), Beijing, China, June 10-14, 2011.
- [48] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "MEMS-based handheld single-axis confocal microscope design and experiment," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2011 8th International Conference on*, vol., no., pp.38-41, May 17-19, 2011
- [49] W. Piyawattanametha and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2011, Kaohsiung, Taiwan, February 20-23, 2011.
- [50] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "Design and simulate of MEMS based confocal microscope probes," Information and Communication Technology for Embedded Systems (ICTES)," 2011 2nd International Conference, January 27-29, 2011.
- [51] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "In Vivo Skin Microscopy," SPIE Photonics West 2011, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 25-29, 2011.
- [52] W. Piyawattanametha, "Smart microsystems for disease diagnostics," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2010, Sapporo, Japan, August 9-13, 2010.
- [53] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "Dual-Axes Confocal Microendoscopy of Gastrointestinal Tract," SPIE Photonics West 2010, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 23-28, 2010.
- [54] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. H. Contag and O. Solgaard, "From Bench to Bedside with Advanced Dual-Axes Confocal Microendoscope," IEEE Microelectromechanical Systems (MEMS), Hong Kong, China, January 24-28, 2010.
- [55] W. Piyawattanametha and M. J. Mandella, "In vivo Imaging with MEMS based Confocal Microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS), Xiamen, China, January 20-23, 2010, pp. 146.
- [56] W. Piyawattanametha, "Advanced Microendoscopy with Miniaturized Confocal Imaging Systems," IEEE Photonics Society Winter Topicals, Majorca, Spain, January 11-13, 2010.
- [57] W. Piyawattanametha, H. Ra, and M. J. Mandella, "In vivo Real Time Imaging by a Micromachined based Dual-axes Confocal Microscope," the 3<sup>rd</sup> IEEE International NanoElectronics Conference (INEC) 2010, Hong Kong, China, January 3-8, 2010, pp. 32.

- [58] W. Piyawattanametha, "3-D *in vivo* imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," The 4<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Biomedical Engineering, Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.
- [59] "In vivo real time imaging by a micromachined based confocal microscope," the 13<sup>th</sup> International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MTAS), Jeju, Korea, November 1-5, 2009.
- [60] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "A Portable MEMS Based Two-photon Fluorescence Microendoscope for Three-dimensional *in vivo* Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.
- [61] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, E. Gonzalez, R. L. Kaspar, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, "Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.
- [62] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, and C. H. Contag, "*In vivo* microscopy in mouse models of monogenic skin disease," H. Ra, E. Gonzalez, World Molecular Imaging Congress, Montreal, Canada, September 23-26, 2009.
- [63] "Real-time *in Vivo* Cancer Diagnosis with a Microelectromechanical Systems (MEMS) Based Handheld Dual-Axes Confocal Microscope (*Invited Talk*)," the 4<sup>th</sup> Medical Biotech Forum 2009, Dalian, China, August 7-11, 2009, pp. 248.
- [64] H. Ra, E. Gonzalez, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Sequential *in vivo* Molecular Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, June 1-6, 2009.
- [65] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, E. Gonzalez, R. Kaspar, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "*In vivo* clinical and intravital imaging with MEMS based Dual-Axes Confocal Microscopes," Optical Society of America, The OSA topical meeting in Novel Techniques in Microscopy, Vancouver, BC, Canada, April 27-29, 2009.
- [66] H. Ra, W. Piyawattanametha, E. Gonzalez, R. Kaspar, M. J. Mandella, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "*In vivo* Intravital Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope in Skin," IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS) Annual Meeting, Newport Beach, California, November 9-13, 2008, pp. 35-36.
- [67] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, E. Garai, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "MEMS based dual-axes confocal clinical endoscope for real time *in vivo* imaging," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Freiburg, Germany, August 11-14, 2008, pp. 42-43.
- [68] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, D. K. Smith, T. L. Larson, W. Piyawattanametha, H. Ra, B. Korgel, K. Sokolov, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "Two-photon luminescence imaging using a MEMS-based Miniaturized Probe," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), San Jose, CA, May 4-9, 2008, CThG5.

- [69] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. B. Du, C. H. Contag, G. S. Kino, O. Solgaard, and T. D. Wang, "Three-dimensional in-vivo imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III (6851-13), San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [70] K. E. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, and K. Salisbury, Jr., "Real-time image mosaicing with a dual-axes confocal microscope," SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III, Vol. 6851, pp. 68510-19, San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [71] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "A Miniature microscope for two-photon imaging and femtosecond laser surgery," Frontiers in Optics (FiO), September 16, 2007, San Jose, CA.
- [72] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, R. P. J. Barretto, B. A. Flusberg, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "A Portable Two-photon Fluorescence Microendoscope based on a Two-dimensional Scanning Mirror," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Hualien, Taiwan, August 12-16, 2007, pp. 6-7.
- [73] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Three-dimensional *in vivo* Real Time Imaging by a Miniature Dual-axes Confocal Microscope based on a Two-dimensional MEMS Scanner," the 14<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2007 & Eurosensors XXI), Lyon, France, June 10-14, 2007, pp. 439-442.
- [74] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Three-Dimensional *in vivo* Reflectance and Fluorescence Imaging by a Handheld Dual-Axes Confocal Microscope," the Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, May 7-11, 2007, CTuEE1.
- [75] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "MEMS Based Dual-Axes Confocal Handheld Microscope for *in vivo* Imaging," SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6432), San Jose, CA.
- [76] M. J. Mandella, J. T. C. Liu, W. Piyawattanametha, H. Ra, P. L. Hsiung, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, and G. S. Kino, "Compact optical design for dual-axes confocal endoscopic microscopes," SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6443), San Jose, CA.
- [77] W. Piyawattanametha, B.A. Flusberg, R.P.J. Baretto, J.C. Jung, T.H. Ko, E.D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M.J. Schnitzer, "Toward portable two-photon fluorescence micro-endoscopy using a two-dimensional microelectromechanical (MEMS) scanning mirror," 2007 SPIE Photonic West Conference, Multiphoton Microscopy in the Biological Sciences VII, San Jose, CA, January 22, 2007.
- [78] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, "Reflectance and fluorescence imaging with a MEMS dual-axes confocal microscope (*Invited Paper*)," Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6466), San Jose, CA.

- [79] W. Piyawattanametha, J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, and O. Solgaard, "MEMS Based Dual-axes Confocal Reflectance Handheld Microscope for *in vivo* Imaging," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [80] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, "Dual-axes Confocal Fluorescence Microscopy with a Two-dimensional MEMS Scanner," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [81] H. Ra, Y. Taguchi, D. Lee, W. Piyawattanametha, and O. Solgaard, "Two-dimensional MEMS Scanner for Dual-Axes Confocal *in vivo* Microscopy," IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 2005, Istanbul, Turkey, January 22-26, 2006.
- [82] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Fast-scanning two-photon fluorescence imaging using a microelectromechanical systems two-dimensional scanning mirror," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2006, Long Beach, CA.
- [83] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, and M. C. Wu, "Ultrahigh resolution OCT imaging with a two-dimensional MEMS scanning endoscope," in Photonics West 2005, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems III, Session 11, 5692-49.
- [84] L. S. Fan, W. Piyawattanametha, M. Fujino, and M. C. Wu, "Endoscopic three-dimensional OCT imaging with MEMS scanner (*Invited Paper*)," Univ. of California, Los Angeles; A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, Massachusetts Institute of Technology, SPIE Photonics West 2005, MOEMS and Miniaturized Systems V, Session 5, 5719-20.
- [85] P. R. Patterson, D. Hah, M. Fujino, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Scanning micromirrors: an overview (*Invited Paper*)," Optomechatronic Micro/Nano Components, Devices, and Systems, Optics East 2004, Philadelphia, PA, Proceedings of SPIE, vol. #5604.
- [86] W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, M. C. Wu, P. R. Herz, A. D. Aguirre, Y. Chen, and J. G. Fujimoto, "Two-dimensional Endoscopic MEMS Scanner for High Resolution Optical Coherence Tomography," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2004, San Francisco, May 2004, CWS 2.
- [87] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "A 2-D Scanner by Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Comb Actuators," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 93-94.
- [88] "Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 99-100.
- [89] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. Wu, "A Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Combdrive for Scanning Micromirrors," Optical Fiber Conference 2003, Atlanta, USA, March 2003, pp. 251-252.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [90] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "A Novel MEMS Tunable Capacitor based on Angular Vertical Comb Drive Actuators," Solid-State Sensor, Actuator, and Microsystems, Hilton Head Island, South Carolina, June 2-6, 2002, pp. 277-280.
- [91] W. Piyawattanametha, P. Patterson, G. D. Su, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "A MEMS Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope," The 8<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2001 & Eurosensors XV), Munich, Germany, June 10-14, 2001, pp. 590-593.
- [92] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. T. Chan, and M. C. Wu, "Linearization and Analysis of Electrostatically Actuated MEMS 2-D Optical Scanner," Late News Technical Digest of Solid-State Sensor and Actuator Workshop (Hilton Head 2000), South Carolina, CA, USA, June 4-8, 2000, pp. 7-8.
- [93] W. Piyawattanametha, H. Toshiyoshi, J. LaCosse, and M. C. Wu, "Surface Micromachined Confocal Scanning Optical Microscope," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2000, San Francisco, CA, USA, May 7-12, 2000, pp. 447-448.
- [94] G. D. Su, W. Piyawattanametha, R. Rollier, L. Fan, and M. C. Wu, "MEMS 2D Scanning Mirror for Dynamic Alignment in Optical Interconnect," Proceedings of Integrated Photonics Research (IPR'99), Santa Barbara, CA, USA, July 1999.
- [95] W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, "MEMS Technology for Optical Crosslink for Micro/Nano Satellites," The International Conference on Integrated Nano/Microtechnology for Space Applications (NanoSpace'98), NASA/Johnson Space Center, Houston, TX, USA, November 1-6, 1998.

## 2. Invited/keynote talks (selected)

- [1] "Microendoscopy techniques based on MEMS technology," APCOT, Hong Kong, China (Keynote).
- [2] "MEMS technology for light microscopy," International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China (Keynote).
- [3] "Light microendoscopy with MEMS technology," Imperial College, London, July 2016 (Invited).
- [4] "Innovation State of Thailand," Sci Days, Saint Petersburg, Russia, October 21, 2015 (Invited).
- [5] "Recent updates in optical microendoscopy," Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, August 31, 2015.
- [6] "Light microendoscopy with MEMS technology," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [7] "Confocal microendoscopy," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] “Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope,” The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kean, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [9] “Light microendoscopy for early cancer detection,” The International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) 2014, Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [10] “MEMS based medical microendoscope,” Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, March 19, 2014.
- [11] “Early cancer detection with photonics technology,” The 1<sup>st</sup> Young Scientists Meeting, Tokyo, Japan, February 13-14, 2014.
- [12] “Entrepreneurial Spirits in Thailand,” The 1<sup>st</sup> Workshop for Young Scientists and Engineers, Jerusalem, Israel, November 25-28, 2013.
- [13] “Advance in light microendoscopy,” Technion, Haifa, Israel, November 24, 2013.
- [14] “The Global Young Academy Activities,” Regional Meeting of the Global Research Council (GRC), Jeju Island, Korea, November 18-19, 2013.
- [15] “MOEMS devices for endoscopic imaging,” Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Seoul, South Korea, August 29, 2013.
- [16] “Advanced light microendoscopy,” Seoul National University (SNU), Seoul, South Korea, August 28, 2013.
- [17] “Early cancer detection with optical imaging,” Toyota Technological Institute University, Nagoya, Japan, August 23, 2013.
- [18] “Light microendoscopy for cancer detection,” National Chiao Tung University, Taipei, Taiwan, July 18, 2013.
- [19] “Endoscopic imaging,” National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, July 17, 2013.
- [20] “Advanced confocal imaging,” the 2<sup>nd</sup> Bio-Photonics Workshop,” Taipei, Taiwan, July 17-19, 2013.
- [21] “Light microendoscopy,” University of Bourgogne, Bourgogne, France, May 7, 2013.
- [22] “Confocal microendoscopy and biomarkers,” Conference on nanobiology, Okayama, Japan, March 12-13, 2013.
- [23] “Advance in light microendoscopy,” Bio4Apps 2012, Singapore, November 19-20, 2012.
- [24] “Light microscopy,” University of Bourgogne, Bourgogne, France, October 16, 2012.
- [25] “Review: Microendoscopic imaging,” South Africa’s Council for Scientific and Industrial and Research (CSIR), Pretoria, South Africa, May 20, 2012.
- [26] “Biomedical imaging,” 4th Khonkaen University (KKU) International Engineering Conference 2012, May 10-11, 2012.
- [27] “Micro- and nano-technology for medical devices,” NSTDA Academy Lecture at NSTDA Science Park, January 19, 2012.
- [28] “Biomarkers technology for *in vivo* imaging,” Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, November 9, 2011.

- [29] "Micro- and nano-technology R&D research in Thailand," ICMAN 2011, Shenzhen, CN November 4-6, 2011.
- [30] "Revolutionizing Microscope: Imaging, Analysis, and Application," Thai Society of Microcirculation, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University December 22, 2010.
- [31] "Advanced Confocal Microendoscopy," IAP Young Scientists Conference in the World Economic Forum, Tianjin, September 12-16, 2010.
- [32] "Noninvasive dermatologic measurement: from research to clinical," Dermatological Society of Thailand, September 10, 2010.
- [33] "Optical Microscopy 101," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), August 30, 2010.
- [34] "Biological imaging with handheld microscope," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), June 11, 2010.
- [35] "MEMS based endoscopic imaging," Argonne National Laboratory, Chicago, USA, April 3-7, 2010.
- [36] "Cancer Imaging with optical technique," Khonkean University (KKU), April 23, 2010.
- [37] "Advanced Imaging with molecular- or bio-markers," NAC 2010, Thailand Science Park, Bangkok, March 28-30, 2010.
- [38] "Imaging Systems in Dermatology," Thai Dermatological Society Annual Meeting, Centrara Hotel, March 11-12, Bangkok 2010.
- [39] "Advanced Imaging with Nanotechnology," UK-Thailand Nanomedicine Symposium, Siriraj Hospital, Bangkok, March 23-24, 2010.
- [40] "Advanced Confocal Imaging," The Fifth National Conference on Optics and Applications (NCOA), Jaopraya Park Hotel, Bangkok, February 5, 2010, pp. 3.
- [41] "From Laboratory to Clinic with Endoscopic Imaging," Xiamen University, China, January 20, 2010.
- [42] "Photonics in Medical Imaging Technology," Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, January 5, 2010.
- [43] "3-D in vivo imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," The 4<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME), Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.
- [44] "Biosensors for Medical Device Industry," NECTEC ACE 2009, Thailand Science Park, Convention Center (TSPCC), September 23-25, 2009.
- [45] "From lab to hospital with imaging technology," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand, September 2009.
- [46] "Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging (*Keynote*)," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Tampa, Florida, August 17, 2009.
- [47] "From Bench to Bedside with Advanced Microscopy," The 4<sup>th</sup> International Conference on Sensors 2009 (AsiaSense), The Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand, July 29-31, 2009.
- [48] "Advanced Optical Endoscopy and Microendoscopy," Stanford University Photonics Retreat (SUPR), Monterey, CA, April 3-5, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [49] “Dual-Axes Confocal Microscope for Advanced Clinical Diagnosis,” Medical Technology Symposium, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand, November 12, 2008.
- [50] “Real time *in vivo* cancer diagnosis with a MEMS based Confocal Microscope,” the 1<sup>st</sup> Annual Symposium on Molecular Imaging 2008, Belle Villa Resort Chiangmai, Thailand, November 9-12, 2008.
- [51] “*In vivo* drug monitoring and real-time disease diagnosis with a MEMS based handheld Dual-Axes Confocal Microscope,” NanoThailand Symposium 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, November 6-8, 2008.
- [52] “From bench to bedside with Advanced Microscopy and Endoscopy,” at BIOTEC, a member of NSTDA, Bangkok, Thailand, November 4, 2008.
- [53] “Advanced Clinical Imaging (*Invited Talk*),” Ramathibodi University Hospital, Bangkok, Thailand, September 16, 2008.
- [54] “Clinical diagnostic with novel medical imaging systems,” at Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, Dresden, Germany, August 18, 2008.
- [55] “Novel biomedical imaging and drug monitoring with micro- and nano-technology,” Tokyo University, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [56] “MEMS and MOEMS packaging,” Topcon Corporation, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [57] “Skin imaging technique with a handheld dual-axes confocal microscope,” the International Investigative Dermatology 2008, Kyoto, Japan, May 14, 2008.
- [58] “Real time skin microscopy with confocal microscopy,” the International Society of Biophysics and Imaging of Skin (ISBS) 2008, Seoul, Korea, May 7-10, 2008.
- [59] “Advanced Endoscopy,” the Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, September 5, 2007.
- [60] “MEMS Applications in Biomedical Imaging,” the National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, August 17, 2007.
- [61] “MEMS based two-photon microendoscope,” Stanford Photonics Research Center Symposium (SPRC), Stanford CA, September 18-20, 2006.
- [62] “Surface and Bulk Micromachined Two-Dimensional Angular Vertical Comb Actuators Scanner for Endoscopic Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography Imaging,” at Optical Sciences Center, the University of Arizona, October 8, 2004.

### 3. Media articles and awards (selected)

- [1] Listed on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [2] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “World Science Forum looks at bitcoin phenomenon,” December 7, 2017. (<http://www.nationmultimedia.com/detail/Economy/30333359>)
- [3] Won the 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China.
- [4] Press coverage on the Nation Newspaper on “KMITL Engineering Students Win Award,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/KMITL-ENGINEERING-STUDENTS-WIN-AWARD-30290875.html>)
- [5] Won the 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France.
- [6] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “First Science Leadership Programme for ASEAN,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/First-Science-Leadership-Programme-for-Asean-30290867.html>)
- [7] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “The Indispensable Intertwined Ties in the Digital Era,” April 15, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/The-indispensable-intertwined-ties-in-the-digital--30283845.html>)
- [8] Won the 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, AK USA.
- [9] Won an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [10] Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Germany.
- [11] Interviewed by the Nation Newspaper on “A Classy Way to Success,” February 15, 2014. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20140215/283781376785057>)
- [12] Selected by the World Economic Forum (WEF), Switzerland in 2013 to be one of the 40 top young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world, Dalian, China, September 11-13, 2013.
- [13] Awarded Erasmus Mundus Grant in 2012 from the European Commission to conduct research in France.
- [14] Won the 2<sup>nd</sup> prize from True Innovation Award, Bangkok, Thailand, December 17, 2012.
- [15] Won outstanding paper award from the 16th International Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Conference 2011 (Transducers 2011), Beijing, China, June 5-9, 2011.
- [16] Won the 2<sup>nd</sup> prize in Global Entrepreneurship Competition (GEC), Barcelona, Spain, June 15-16, 2011.
- [17] “Microendoscope,” I-inspire Journal, Thailand, May 1, 2011.
- [18] Won the 1<sup>st</sup> prize Global Social Venture Competition (GSVC) South East Asia, March 3-4, 2011.
- [19] Elected to serve as an executive member of the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, July 2012.
- [20] Co-founded the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, February 14-16, 2010 ([www.globalyoungacademy.net](http://www.globalyoungacademy.net))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on “New Device Gives Early Diagnosis of Cancers,” March 23, 2010. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20100323/283467842451622>)
- [22] “MEMS microscope images brains,” Research Highlights in Nature Photonics, Volume 3, October 2009.
- [23] “Intelligent microendoscope,” Chevit-Cheva Channel 3 Program, Thailand, September 30, 2009.
- [24] “Tiniest two-photon MEMS microscope performs Brain Imaging,” an article in Laser Focus World Magazine, USA, August 1, 2009.
- [25] “Cancer Imaging,” an interview on the Bangkok Morning Talk, Thailand, Channel 11, June 19, 2009.
- [26] “Light microscopy for cancer diagnosis,” Matichon Newspaper, Thailand, May 25, 2009
- [27] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on “Novel approach to cancer,” May 20, 2009.
- [28] “Optical microendoscope for cancer detection,” Kao-sod Newspaper, Thailand, April 20, 2009. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20090520/282003258383144>)
- [29] “Cancer screening with optical microendoscope,” Nation Weekend Magazine, Thailand, April 16, 2009.
- [30] “Novel imaging instrument for cancer diagnosis,” Matichon Newspaper, Thailand, April 7, 2009.
- [31] “Optical endoscopist,” Health Check Up Channel, Thailand, April 2, 2009.
- [32] “Advance optical microscope for cancer detection,” Dailynews Newspaper, Thailand, March 30, 2009.
- [33] “Novel microendoscope for cancer detection,” Naewna Newspaper, Thailand, March 28, 2009.
- [34] “Cancer diagnosis with endoscopic imaging,” Bangkok Business, Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [35] “Detect cancer with optical microendoscope,” Manager Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [36] “Novel microendoscope for early cancer detection,” Thairath Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [37] “Early detection of cancer with optical microendoscope,” Matichon Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [38] “Cancer detection with optical microendoscope,” Voice TV, Thailand, March 24, 2009.
- [39] “Innovation that shapes the world,” Bangkok Business Newspaper, Thailand, December 30, 2008.
- [40] “Confocal Microscopy for medical imaging,” an interview on the Bangkok Morning Talk, Channel 11, December 2008.
- [41] “Novel Medical Imaging Instrument,” Bangkok Business Newspaper, Thailand, November 11, 2008.
- [42] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscope,” SPIE Newsroom 2007.
- [43] “Creating a microscope that reads minds,” an interview on the American Broadcasting Company (ABC) News, USA, on October 19, 2007. Weblink: <http://abclocal.go.com/kgo/story?section=local&id=5716715>.
- [44] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscopy,” in the SPIE Newsroom, USA, October 2006,
- [45] “MEMS-based scanning device facilitates microendoscopy,” an article in Biophotonics International Magazine, September 2006, pp. 27-28. Weblink: <http://pyramidal.stanford.edu/publications/Biophotonics-Sept2006-MEMS.pdf>.
- [46] “Two-dimensional OCT scanner promises *in-situ* diagnosis,” an article in Laser Focus World Magazine, USA, July 2004, pp. 47-48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. Patents

- [1] W. Piyawattanametha, "E. coli enumeration with fluorescence technique," Thai Patent Application 1701006685, filed, December 7, 2017, Patent Pending.
- [2] W. Piyawattanametha, "Integrated wide-field and high-resolution catheter," Thai Patent Application 1301005583, filed September 2013, Patent Pending.
- [3] N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, A. Ruangphacha, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, S. Pathumraj, S. Niruthisard, P. Sarapukdee, and R. Jolivot, "Development of a Fluorescence-labeled p16 peptide for cervical cancer screening," Thai Patent Application 1201003486, filed September 2012, Patent Pending.
- [4] S. Rattanavarin, W. Piyawattanametha, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, A. Ruangphacha, and P. Sarapukdee, "Line-scan based dual-axis confocal imaging probe," Thai Patent Application 1201004887, filed September 2012, Patent Pending.
- [5] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral dual-axis confocal imaging probe," Thai Patent Application 1101000602, filed April 2011, Patent Pending.

#### 5. Book chapters (selected)

- [1] "Optical MEMS," Intech Book Chapter 2012, Source: Microelectromechanical Systems and Devices, edited by Nazmul Islam, ISBN 978-953-51-0306-6, Hard cover, 480 pages, Publisher: InTech, Published: March 28, 2012.
- [2] "Advances in Bio-Imaging: From Physics to Signal Understanding Issues State-of-the-Art and Challenges," Series: Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 120, Loménie, Nicolas; Racoceanu, Daniel; Gouaillard, Alexandre (Eds.), 2012, XXII, 246 p. 129 illus., 84 in color, Softcover, ISBN 978-3-642-25546-5. Weblink: <http://www.springer.com/engineering/computational+intelligence+and+complexity/book/978-3-642-25546-5>.
- [3] "In Vivo Clinical Imaging and Diagnosis," McGraw-Hill Book Chapter 2011, James W Tunnell, ISBN: 9780071626835 0071626832, Publisher: McGraw-Hill 2011.
- [4] "Miniature Dual Axes Confocal Microscope for Real Time in vivo Imaging," Intech Book Chapter 2010, Source: Advances in Solid State Circuit Technologies, edited by: Paul K Chu, ISBN: 978-953-307-086-5, Publisher: INTECH, April 2010.
- [5] "Optical MEMS and Nano-Photonics," in MEMS/NEMS Handbook, Chinese Science Publishing Company, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. Professional membership

- [1] Senior Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010.
- [2] Senior Member of the Optical Society of America (OSA) in 2011.
- [3] Senior Member of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้