



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟน
Development of cross- polarized microscope accessory for
smartphone

ชื่อนิสิต นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2559

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟน
Development of cross-polarized microscope accessory for smartphone

โดย

นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2559


เรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟน


โดย นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์

ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรรณสุภากุล)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่....เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ

ดีมาก

ดี

พอใช้

ชื่อโครงการ การพัฒนาอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟน

ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์ เลขประจำตัว 5633133223

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

การศึกษาวัสดุจำพวกผลึกในระดับไมโครเมตร 1 – 500 ไมโครเมตร จะใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ที่มีกำลังขยาย 10 – 1000 เท่าเป็นเครื่องมือ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนากล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้งานร่วมกับสมาร์ทโฟน ใช้หลอดไฟแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถถ่ายภาพในแบบแสงผ่านปกติ แสงโพลาไรซ์ สามารถวาง และหมุนผลึกตัวอย่างได้ทุกขนาด (เกล็ดแกงขนาดเล็กจนถึงเพชรพลอยขนาดใหญ่) ผลึกชนิดต่าง ๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต ซิลเวอร์อะซิเตต เป็นต้น ซึ่งข้อมูลรูปภาพที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพใกล้เคียงกับข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ระดับห้องปฏิบัติการ สามารถวิเคราะห์ลักษณะของผลึกชนิดต่าง ๆ รวมถึงศึกษาการบิดระนาบแสง คุณสมบัติแอนไอโซทรอปิก และไบรีฟริงเจนซ์ของผลึกได้เหมือนกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทุกประการ ทำให้อุปกรณ์ตัวนี้มีศักยภาพในการเพิ่มโอกาสการเข้าถึงเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ลดต้นทุนทางการศึกษา และสร้างเทคโนโลยีที่เป็นพื้นฐานการต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าของประเทศในอนาคต

คำสำคัญ: แอนไอโซทรอปิก, ไบรีฟริงเจนซ์, กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์, สมาร์ทโฟน

Title Development of cross-polarized microscope accessory for smartphone

Student Name Miss Rattanachart Punpongwong

Student ID 5633133223

Advisor name Prof. Dr. Sanong Ekgasit

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2016

Abstract

The study of crystal materials in microscopic scale, 1 – 500 micrometer, is conducted by using polarized microscope with magnification of 10 – 400x which is developed to be utilized with Smartphone by using LED as a light source. This device can capture images in both normal light and polarized light. It is applicable for every size of crystal examples (small size of salt to large gemstone) and also various crystals such as sodium chloride, magnesium sulfate, silver acetate. The quality of the image taken by this device is almost equivalent to those captured by high-grade polarized microscope. These images can be used in analyzing the properties of various kind of crystals including anisotropic property and birefringence. Those benefits provide this device a potential to increase opportunity to access the equipment, decrease cost for education and also create technology which will be the beginning to further the value of the products in our country in the near future.

Keywords: Anisotropic, Birefringence, Polarized Microscope, Smartphone

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกด้านตำรา เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ ที่ให้คำแนะนำ ตั้งแต่การเริ่มต้นคว้าข้อมูล ให้ความรู้ ชี้แนะการออกแบบการทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรรณสุภา กุล ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นประธาน และกรรมการสอบ รวมทั้งตรวจทาน และให้คำแนะนำที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อให้การเขียนรายงานฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ ดร.สุพิระ นุชนารถ ที่ให้คำแนะนำตั้งแต่การเริ่มต้นคว้าข้อมูล ให้ความรู้ ชี้แนะการออกแบบการทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างใกล้ชิดจนประสบผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ นายปรินทร แจ้งทวี ที่เป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องมือกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์เพื่อใช้กับ สมาร์ทโฟน เพื่อใช้ในการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาของผู้วิจัย พี่แสบทุก ๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัย

นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 โพลาริเซชันของแสง (polarization of light)	11
2.2 ไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence)	16
2.3 ระบบผลึก (crystals system)	17
2.4 กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (polarized microscope)	24
2.5 สมาร์ทโฟน (smartphone)	26
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	28
3.2 สารเคมี (ตัวอย่างผลึกที่ใช้ในการศึกษา)	28
3.3 การสร้างอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟน	29
3.4 การเตรียมตัวอย่างผลึกเพื่อศึกษาวิธีการถ่ายภาพไบรีฟริงเจนซ์ของผลึก	30
3.5 การถ่ายภาพไบรีฟริงเจนซ์ของผลึกด้วยอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน	31

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

- | | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | การถ่ายภาพผลึกเกลือด้วยตัวชดเชยอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน | 34 |
| 4.2 | การเปรียบเทียบคุณภาพภาพถ่ายระหว่างที่ถ่ายด้วยชดเชยอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและกล้องจุลทรรศน์คุณภาพสูงระดับห้องปฏิบัติการ | 58 |

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

- | | | |
|-----|-------------------|----|
| 5.1 | สรุปผลการทดลอง | 70 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 70 |
| 5.3 | ประโยชน์ที่ได้รับ | 70 |

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้วิจัย



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าดัชนีหักเหของตัวกลางและอัตราเร็วของแสงในตัวกลางต่าง ๆ	17
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงระบบผลึกต่าง ๆ	19
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงภาพทางแสงของผลึกในระบบต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงภาพทางแสงของผลึกในระบบหักเหคู่.	23



สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.1	แผนภาพแสดง (A) การเกิดครอสโพลาไรซ์ของแสง (cross polarization) และ (B) การบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ของวัตถุ	2
รูปที่ 1.2	การเกิดไบรฟริงเจนซ์จากวัสดุพวกพลาสติกใส	3
รูปที่ 1.3	อุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี microfluidic และ lab-on-chip ในงานวิจัยที่ผ่านมา (a) การตรวจวัดคอเลสเทอรอลด้วยวิธีการเทียบสี (colorimetric analysis) (b) กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน (smartphone microscopy) (c) การทดสอบทางพันธุกรรม (genetic testing) (d) การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า (electrochemistry analysis)	4
รูปที่ 1.4	แผนภาพแสดงแนวคิด และประโยชน์ในการพัฒนาการใช้สมาร์ทโฟนร่วมกับเทคโนโลยี LOC	5
รูปที่ 1.5	(A) กล้อง Leica DMLM polarized white light microscope (B) กล้อง MOPID ที่ใช้ติดกับสมาร์ทโฟน (iPhone 5s)	6
รูปที่ 1.6	ภาพฟิล์มเลือดย้อมสี Giemsa stain ของหนูที่ติดเชื้อมาลาเรีย บันทึกด้วยกล้อง Leica microscope และ MOPID กำลังขยาย 40 เท่า (A) Leica microscope แบบไม่มีโพลาไรเซอร์ (B) Leica microscope แบบมีโพลาไรเซอร์ (C) MOPID แบบไม่มีโพลาไรเซอร์ (D) MOPID แบบมีโพลาไรเซอร์	7
รูปที่ 1.7	แสดงส่วนประกอบและการใช้งานของ G-Fresnel smartphone spectrometer	7
รูปที่ 1.8	การพัฒนาสมาร์ทโฟนเพื่อใช้เป็นไบโอเซนเซอร์เชิงแสง (optical biosensor ในการถ่ายภาพทางชีวภาพ (bio-imaging)	8
รูปที่ 1.9	การพัฒนาสมาร์ทโฟนร่วมกับเทคโนโลยี lab-on-chip เพื่อใช้เป็น SPR biosensor	9

รูปที่ 2.1	แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่โพลาริซ์	10
รูปที่ 2.2	แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่ไม่โพลาริซ์	10
รูปที่ 2.3	โพลาริซ์ด้วยการดูดกลืนโดยให้แสงผ่านโพลาไรซ์	11
รูปที่ 2.4	แสงไม่โพลาริซ์ผ่านผลึกทัวร์มาลีน	11
รูปที่ 2.5	เมื่อแสงตกกระทบทำมุม (θ) ในตัวกลางหนึ่งแล้วทำให้ลำแสงสะท้อน และลำแสงหักเหทำมุมกัน 90°	12
รูปที่ 2.6	แสงไม่โพลาริซ์เคลื่อนที่ผ่านผลึกแคลไซต์เกิดการหักเหคู่	13
รูปที่ 2.7	แสงหักเหรังสี O และรังสี E	13
รูปที่ 2.8	แสงโพลาริซ์จากการกระเจิงของแสง	14
รูปที่ 2.9	ลักษณะ crystal lattice	17
รูปที่ 2.10	ภาพทางแสงของวัสดุหักเหคู่แบบแกนเดี่ยว	20
รูปที่ 2.11	ภาพทางแสงของวัสดุหักเหคู่แบบแกนคู่	21
รูปที่ 2.12	ภาพทางแสงของวัสดุหักเหคู่แบบแกนคู่ในกรณีที่มีมุม 2V เล็ก	21
รูปที่ 2.13	กล้องจุลทรรศน์โพลาริซ์ (polarized microscope)	24
รูปที่ 2.14	สีที่ปรากฏในผลึกแก้าทและแก้าทเทียม	24
รูปที่ 2.15	กล้องจุลทรรศน์โพลาริซ์ (polarized microscope)	25
รูปที่ 2.16	สมาร์ทโฟนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	26
รูปที่ 3.1	องค์ประกอบของอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซ์ประกอบด้วย (1) แผ่นใส่โพลาริเซอร์ (2) วงแหวนลึคโพลาริเซอร์ (3) ปุ่มปรับทิศทางของโพลาริเซอร์ (4) ฟันเฟืองประกอบโพลาริเซอร์ (5) ที่หนีบผลึก (6) ฐานวางสมาร์ทโฟน (7) แหล่งกำเนิดแสง LED (8) กลไกปรับความสูงฐานวางสมาร์ทโฟน (9) ปุ่มปรับระดับฐานเพื่อปรับระยะโฟกัสภาพ	28

รูปที่ 3.2	อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนประกอบเสร็จ พร้อมใช้งาน	29
รูปที่ 3.3	จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20x และ 40x ที่ติดตั้งโพลาไรเซอร์บริเวณหน้าชั้นเลนส์	29
รูปที่ 3.4	(A) การตกผลึกสารตัวอย่างที่ต้องการ (B) การหยดสารละลายเกลือตัวอย่างบนกลาสสไลด์เพื่อบังคับให้ผลึกที่ตกได้มีขนาดเล็ก	30
รูปที่ 3.5	(A) ชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟน (B) การหนีบสมาร์ทเลนส์ติดกับสมาร์ทโฟน (C) การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ และตัวอย่างแบบพร้อมใช้งาน (D) การถ่ายภาพผลึกแบบไม่ใช้แสงโพลาไรซ์ (E) การถ่ายภาพผลึกแบบแบบครอสโพลาไรซ์โดยไม่ใช้การขยายแบบดิจิทัล (F) การถ่ายภาพผลึกแบบแบบครอสโพลาไรซ์โดยใช้การขยายแบบดิจิทัล	31
รูปที่ 3.6	บันทึกภาพผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1	32
รูปที่ 4.1	ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X	35
รูปที่ 4.2	ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X	36
รูปที่ 4.3	ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X	37

- รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 38
- รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 39
- รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 40
- รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายผลึกกลูโคสด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 41
- รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายผลึกกลูโคสด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 42
- รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 43

- รูปที่ 4.10** ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซิลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 44
- รูปที่ 4.11** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซิติเรตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 45
- รูปที่ 4.12** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซิติเรตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 46
- รูปที่ 4.13** ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 47
- รูปที่ 4.14** ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 48
- รูปที่ 4.15** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมอะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 49

- รูปที่ 4.16** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมอะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับ
สมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A)
แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้
กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 50
- รูปที่ 4.17** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมไฮโอซิลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์
สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสง
แบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และ
มีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 51
- รูปที่ 4.18** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมไฮโอซิลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์
สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสง
แบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และ
มีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 52
- รูปที่ 4.19** ภาพถ่ายผลึกโมนโซเดียมกลูตาเมตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์
สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสง
แบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และ
มีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 53
- รูปที่ 4.20** ภาพถ่ายผลึกโมนโซเดียมกลูตาเมตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์
สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสง
แบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และ
มีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 54
- รูปที่ 4.21** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับ
สมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A)
แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้
กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 55

- รูปที่ 4.22** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับ
สมาร์ตโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A)
แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้
กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X 56
- รูปที่ 4.23** ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมไอโอไดต์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับ
ห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ
(B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ตโฟน และจุฬาฯ
สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital
magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ
(A2, B2) Cross-Polarized light 58
- รูปที่ 4.24** ภาพถ่ายผลึกโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับ
ห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B)
ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ตโฟน และจุฬาฯ
สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital
magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ
(A2, B2) Cross-Polarized light 59
- รูปที่ 4.25** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ
ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุด
อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ตโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์
ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification)
ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-
Polarized light 60
- รูปที่ 4.26** ภาพถ่ายผลึกกลูโคสที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl
Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้อง
จุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ตโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย
80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การ 61

ฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light

- รูปที่ 4.27** ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซัลเฟตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซสำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 62
- รูปที่ 4.28** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซิติเตตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซสำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 63
- รูปที่ 4.29** ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซิเตตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซสำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 64
- รูปที่ 4.30** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมอะซิเตตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซสำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 65

- รูปที่ 4.31** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาสมาาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 66
- รูปที่ 4.32** ภาพถ่ายผลึกโมนโซเดียมกลูตาเมตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาสมาาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 67
- รูปที่ 4.33** ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาสมาาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light 68

บทที่ 1

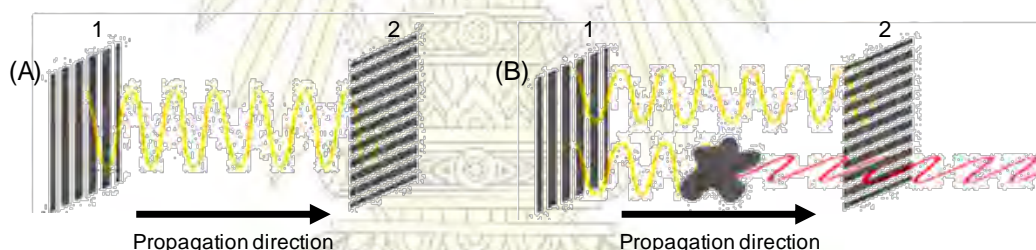
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันโลกเราเป็นโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ที่สังคมอุดมไปด้วยข้อมูล และข่าวสารต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกันทั่วโลกด้วยระบบการสื่อสารที่ไร้พรมแดน เนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยียุคใหม่ซึ่งสามารถลดอุปสรรคในเรื่องระยะทางการติดต่อสื่อสาร รวมทั้งสร้างโอกาสใหม่ ๆ ให้กับมนุษย์ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันนี้ส่งผลต่อเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ประเทศชาติและสังคมสามารถเติบโต และพัฒนาต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ในอดีตที่มีการค้นพบ “เพนิซิลลิน (Penicillin)” ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะตัวแรกของโลกโดยเล็กซานเดอร์ เฟลมมิง (Alexander Fleming) [1] หรือการคิดค้นประดิษฐ์หลอดไฟของโทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Elva Adison) [2] รวมทั้งการสร้างระเบิดปรมาณูที่มาจากทฤษฎีสัมพันธภาพของอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) [3] โดยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีนั้นล้วนเป็นผลมาจากการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทั้งสิ้น ทำให้ปัจจุบันมีการตระหนักถึงการต่อยอดความรู้ที่จะนำไปสู่การสร้างสรรคสิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรมใหม่ ๆ ขึ้นมา เพื่อตอบสนองความต้องการในปัจจุบันทั้งของผู้บริโภค และงานทางการแพทย์ ตัวอย่างอุปกรณ์สำคัญที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านวิทยาศาสตร์ก็คือ กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดยแซคาเรียส แจนเซน (Zaccharias Janssen) ในช่วงปี พ.ศ. 2133 [4] ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ช่วยให้สามารถศึกษาวัตถุขนาดเล็กที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เป็นประโยชน์อย่างมากในงานวิจัยทั้งด้านชีววิทยา การศึกษาโครงสร้างของเซลล์สิ่งมีชีวิต ในทางการแพทย์ เช่น ศึกษาเชื้อโรค หรือศึกษาความผิดปกติของเซลล์ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น เพื่อตรวจดูัญมณี วัตถุโบราณ รวมทั้งยังสามารถ ใช้ในด้านอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เป็นต้น เนื่องจากการความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้นักวิจัยได้ประดิษฐ์นวัตกรรมใหม่ ๆ ขึ้นโดยการประยุกต์นำเอาเทคโนโลยีมาผสมผสานกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดข้อจำกัดของเทคโนโลยีแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น ปัจจุบันกระแสความนิยมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสมาร์ทโฟนกำลังได้รับความนิยมอย่างมาก ทำให้นักวิจัยสนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ให้สามารถใช้ประโยชน์ในทางวิทยาศาสตร์ได้ จาก

รายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาเลนส์ที่นำมาใช้กับสมาร์ทโฟน โดยเลนส์นี้มีคุณสมบัติเทียบเคียงกับกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ปัจจุบันมีข้อจำกัดคือ มีราคาสูง ขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในการพกพา ทำให้งานวิจัยนี้เป็นการเปิดโลกวิทยาศาสตร์ให้กว้างขึ้น โดยการทำให้คนสามารถเข้าถึงวิทยาศาสตร์ได้ง่ายขึ้น เพื่อที่การเรียนรู้วิทยาศาสตร์จะไม่จำเป็นต้องเข้าห้องปฏิบัติการเพียงอย่างเดียวอีกต่อไป เราสามารถศึกษาเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ทุกสถานที่ ทุกโอกาส

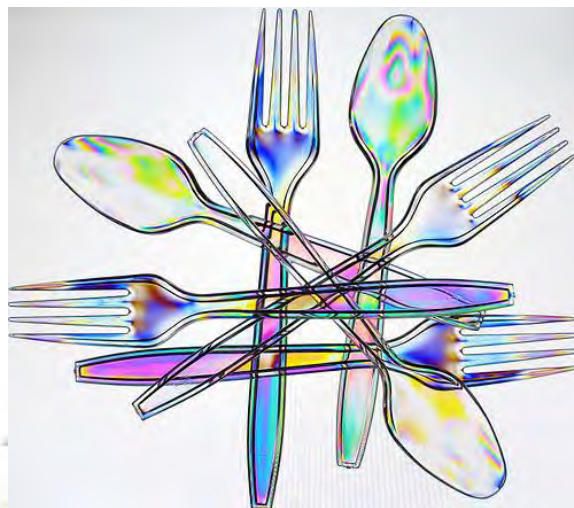
ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนากล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarized microscope) ให้สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์สมาร์ทโฟนได้ หลักการของกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ คือ การมีระนาบของแสงโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน (cross polarization) โดยที่เมื่อทำการส่องแสงผ่านโพลาไรเซอร์ จะทำให้แสงที่ผ่านมามีระนาบโพลาไรซ์ตั้งฉากกับแอนนาไลเซอร์ ซึ่งจะทำให้ไม่มีแสงใด ๆ ผ่านแอนนาไลเซอร์ ดังรูปที่ 1.1A อย่างไรก็ตามถ้าหากนำวัตถุที่สามารถเปลี่ยนระนาบของแสงโพลาไรซ์มาวางขวางระหว่างโพลาไรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ ระนาบแสงของแสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากโพลาไรเซอร์จะเกิดการบิดระนาบไป ซึ่งจะทำให้แสงสามารถผ่านแอนนาไลเซอร์ไปได้ดังรูปที่ 1.1B ตัวอย่างผลึกแอนไอโซทรอปิกจะบิดระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงทำให้แสงสามารถผ่านแอนนาไลเซอร์ไปได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดง (A) การเกิดครอสโพลาไรซ์ของแสง (cross polarization) และ (B) การบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ของวัตถุ

นอกจากนี้เทคนิคสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยกล้องจุลทรรศน์ คือ เทคนิคไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไบรีฟริงเจนซ์เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างผลึกแอนไอโซทรอปิก (anisotropic crystal) ที่ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น การติดตามการโตของผลึก [5] วิเคราะห์หมลทินในอัญมณี [6] วิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในตัวอย่างทางธรณีวิทยา [7] ในด้านการแพทย์

ได้แก่การนำไปใช้ตรวจก้อนเนื้อ และเก๊าท์ [8] หรือแม้แต่การวิเคราะห์ความเครียดในชิ้นงานพลาสติกระหว่างการผลิตในอุตสาหกรรมดังรูปที่ 1. 2



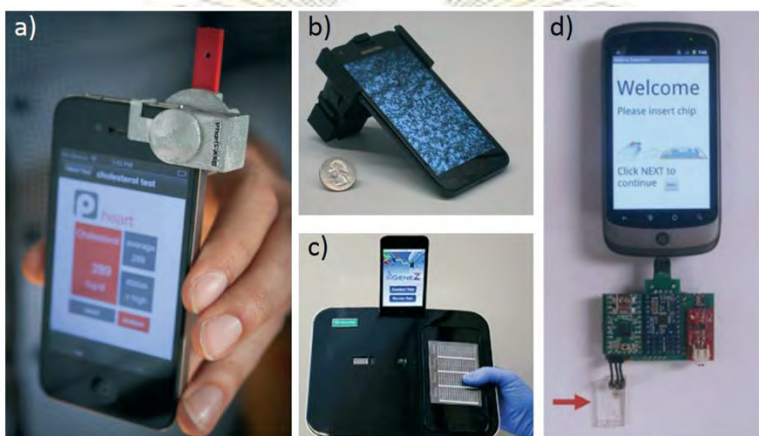
รูปที่ 1.2 การเกิดไบรีฟริงเจนซ์จากวัสดุพวกพลาสติกใส (ที่มา: <http://photoextremist.com/photoelasticity-birefringence>)

อย่างไรก็ดีการใช้งานกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (polarized microscope) ยังมีข้อจำกัด คือ มีราคาแพง ไม่สามารถพกพาไปยังสถานที่ต่าง ๆ ได้ และต้องการผู้มีประสบการณ์ในการใช้งาน อนึ่งด้วยความสามารถของสมาร์ทโฟนที่มีกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูง หน้าจอคมชัด สามารถบันทึกและเผยแพร่ข้อมูลได้ง่าย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสนใจพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ยึดติดกล้องสมาร์ทโฟน เพื่อเปลี่ยนกล้องถ่ายภาพของสมาร์ทโฟนธรรมดาให้กลายเป็นกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ที่สามารถใช้วิเคราะห์ตัวอย่างผลึกแอนไอโซทรอปิกได้โดยไม่จำกัดรุ่นของสมาร์ทโฟน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์โดยทั่วไป อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้ติดกับสมาร์ทโฟนที่จะพัฒนาขึ้นจะมีขนาดเล็กกว่า น้ำหนักเบา พกพาได้ โดยไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน และสถานที่ สามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

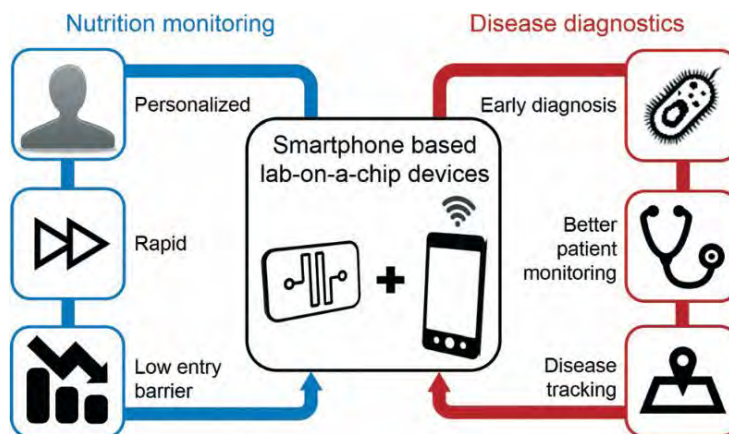
ในปี 2014 David Erickson และคณะ รายงานวิจัยเรื่อง Smartphone technology can be transformative to the deployment of lab-on-chip diagnostics [9] เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีห้องปฏิบัติการย่อส่วน หรือห้องปฏิบัติการบนชิป (lab-on-chip, LOC) ให้สามารถใช้งานควบคู่กับสมาร์ทโฟน

ด้วยเทคโนโลยี LOC ที่ปฏิบัติการผ่านโครงสร้างชิปขนาดเล็ก จึงช่วยให้การตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ทำได้ง่าย และรวดเร็ว (Rapid Diagnostic Tests, RDTs) ทำให้มีนักวิจัยสนใจพัฒนาเทคโนโลยี LOC เป็นจำนวนมาก จาก รายงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้เทคโนโลยี LOC ร่วมกับสมาร์ทโฟนในงานด้านต่าง ๆ เช่น การตรวจวัด คอเลสเตอรอลด้วยวิธีการเทียบสี (colorimetric analysis) [10] การพัฒนาสมาร์ทโฟนให้เป็นกล้องจุลทรรศน์ ขนาดพกพา [11] ในด้านชีววิทยาสามารถใช้ในการทดสอบทางพันธุกรรม [12] รวมทั้งใช้ในการวิเคราะห์เชิง เคมีไฟฟ้าได้อีกด้วย [13] ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 อุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี microfluidic และ lab-on-chip ในงานวิจัยที่ผ่านมา (a) การตรวจวัดคอเลสเตอรอลด้วยวิธีการเทียบสี (colorimetric analysis) (b) กล้องจุลทรรศน์ สมาร์ทโฟน (smartphone microscopy) (c) การทดสอบทางพันธุกรรม (genetic testing) (d) การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า (electrochemistry analysis)

David Erickson และคณะ จึงมีแนวคิดในการประยุกต์สมาร์ทโฟนเข้ากับเทคโนโลยี LOC เพื่อใช้เป็น อุปกรณ์ในการตรวจติดตามสุขภาพ เช่น การติดตามทางโภชนาการ (nutrition monitoring) และการตรวจ วินิจฉัยโรคต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.4

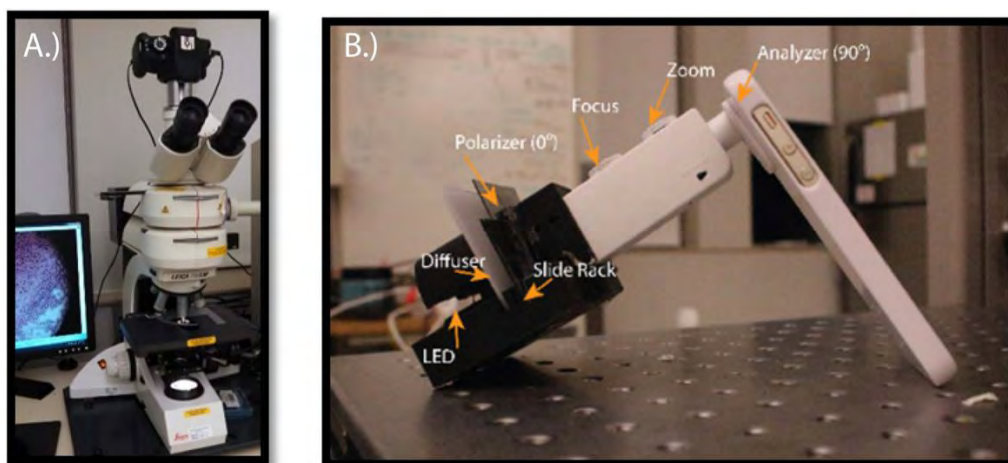


รูปที่ 1.4 แผนภาพแสดงแนวคิด และประโยชน์ในการพัฒนาการใช้สมาร์ทโฟนร่วมกับเทคโนโลยี LOC

ในปี 2015 Casey W. Pirstill และ Gerard L. Cote ได้รายงานวิจัยเรื่อง Malaria Diagnosis Using a Mobile Phone Polarized Microscope [14] งานวิจัยนี้มีแนวคิดมาจากการตรวจวินิจฉัยเชื้อมาลาเรียโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (white light microscopy) แต่พบว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบดั้งเดิมมีข้อเสีย คือ มีราคาแพง และการใช้งานอุปกรณ์มีความซับซ้อน ดังนั้นจึงเกิดความสนใจที่จะพัฒนากล้องจุลทรรศน์ชนิดใหม่ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน และที่สำคัญ คือ มีราคาถูก โดยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใหม่นี้อาศัยหลักการโพลาไรซ์ของแสง เนื่องจากปรสิตที่เป็นสาเหตุของโรคมาลาเรียจะผลิตสาร hemozoin ซึ่งเป็นผลึกที่มีสมบัติ birefringence ที่สามารถตรวจวินิจฉัยได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarized microscopy) กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ที่ใช้ร่วมกับสมาร์ทโฟนจึงถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีชื่อเรียกว่า “mobile-optical-polarization imaging device (MOPID)”

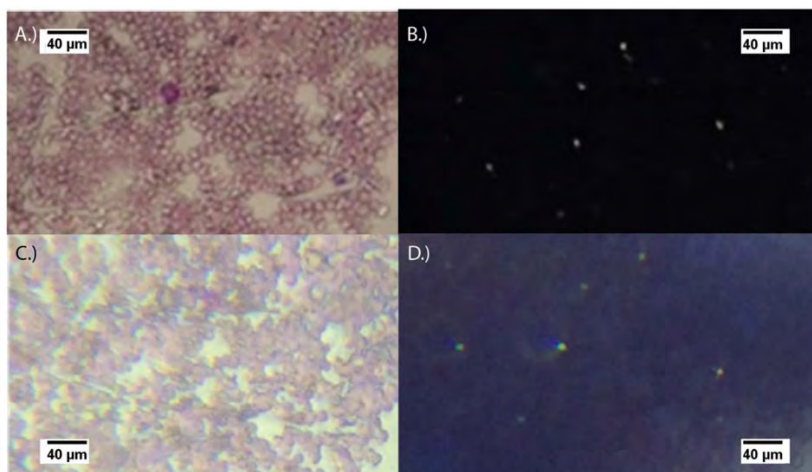
MOPID มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ คือ เลนส์ไมโครสโคป (microscope lens) ประกอบเข้ากับตลับหมึกพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้ MOPID มีคุณสมบัติการใช้งานเช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์แบบดั้งเดิมโดยมีกำลังขยาย 40 เท่า นอกจากนั้นยังมีแผ่นโพลาไรซ์ (polarizer sheets) 2 แผ่น และใช้ LEDs เป็นแหล่งกำเนิดแสง

จากนั้นทำการวิเคราะห์เชื้อมาลาเรียโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยใช้ Leica microscope กับกล้อง MOPID ที่ติดกับ iPhone 5s ดังรูปที่ 1.5



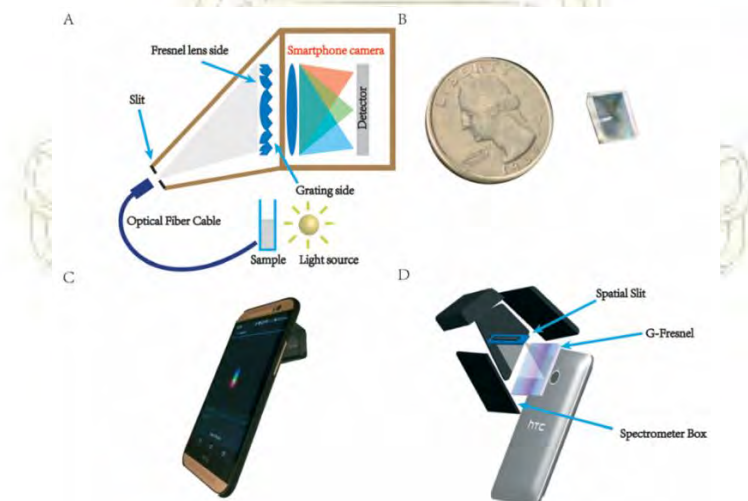
รูปที่ 1.5 (A) กล้อง Leica DMLM polarized white light microscope (B) กล้อง MOPID ที่ใช้ติดกับ
 สมาร์ทโฟน (iPhone 5s)

การทดสอบทำโดยการนำฟิล์มเลือดของหนูที่ติดเชื้อมาลาเรียมาส่องด้วยกล้อง Leica microscope และ
 กล้อง MOPID พบว่า เมื่อใช้กล้อง Leica microscope แบบไม่มีโพลาไรเซอร์ และมีโพลาไรเซอร์จะได้ผลดังแสดง
 ในดั่งรูปที่ 1.6 (A) และ (B) ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อมีโพลาไรเซอร์ ภาพที่ปรากฏจากกล้องจุลทรรศน์
 จะพบว่าตัวอย่างให้ผลบวกกับบริเวณที่มี hemozoin เกิดเป็นจุดสว่างสีขาว 7 จุด ทำให้ง่ายต่อการวินิจฉัยเมื่อ
 เปรียบเทียบกับภาพ (A) ที่ไม่มีโพลาไรเซอร์ ในขณะที่เมื่อใช้กล้อง MOPID แบบไม่มีโพลาไรเซอร์ และมีโพลาไร
 เซอร์จะให้ภาพเชื้อมาลาเรียดังแสดงในรูปที่ 1.6 (C) และ (D) ตามลำดับ พบว่าภาพ (C) ที่ได้จากกล้อง MOPID
 แบบไม่มีโพลาไรเซอร์ให้ผลเช่นเดียวกับภาพ (A) จากกล้อง Leica microscope แต่จะเห็นได้ว่าภาพที่ได้จาก
 สมาร์ทโฟนมีความละเอียดต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการใช้สมาร์ตโฟนที่มีโพลาไรเซอร์ให้ผลบวกกับ hemozoin
 เช่นเดียวกับกล้อง Leica microscope จากผลการทดลองข้างต้นจึงแสดงให้เห็นว่ากล้องจุลทรรศน์ mobile-
 optical-polarization imaging device (MOPID) สามารถใช้ในการตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ได้อย่างมี
 ประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.6 ภาพฟิล์มเลือดย้อมสี Giemsa stain ของหนูที่ติดเชื้อมาลาเรีย บันทึกด้วยกล้อง Leica microscope และ MOPID กำลังขยาย 40 เท่า (A) Leica microscope แบบไม่มีโฟลาริเซอร์ (B) Leica microscope แบบมีโฟลาริเซอร์ (C) MOPID แบบไม่มีโฟลาริเซอร์ (D) MOPID แบบมีโฟลาริเซอร์

นอกจากนั้นในปี 2016 Chenji Zhang และคณะ ได้รายงานวิจัยเรื่อง G-Fresnel smartphone spectrometer [15] โดยประยุกต์สมาร์ตโฟนที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันให้เป็นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เคลื่อนที่ได้โดยใช้อุปกรณ์ G-Fresnel ซึ่ง G-Fresnel smartphone spectrometer มีความละเอียดถึงระดับนาโนเมตร ดังรูปที่ 1.7

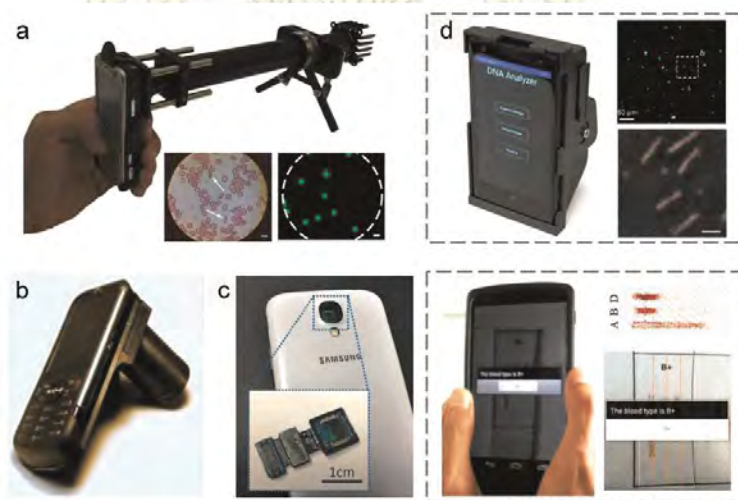


รูปที่ 1.7 แสดงส่วนประกอบและการใช้งานของ G-Fresnel smartphone spectrometer

การใช้งานสเปกโตรมิเตอร์แบบสมาร์ทโฟนสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบดั้งเดิม เช่น ใช้ในการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ การตรวจมะเร็งปอด หรือการตรวจวัดความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลาย เป็นต้น นอกเหนือจากประสิทธิภาพข้างต้นแล้ว สเปกโตรมิเตอร์แบบสมาร์ทโฟนยังมีข้อดี คือ ใช้งานง่าย สะดวกในการวิเคราะห์ผลเนื่องจากสามารถทำได้ทุกที่ และยังมีราคาถูกกว่าสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอีกด้วย

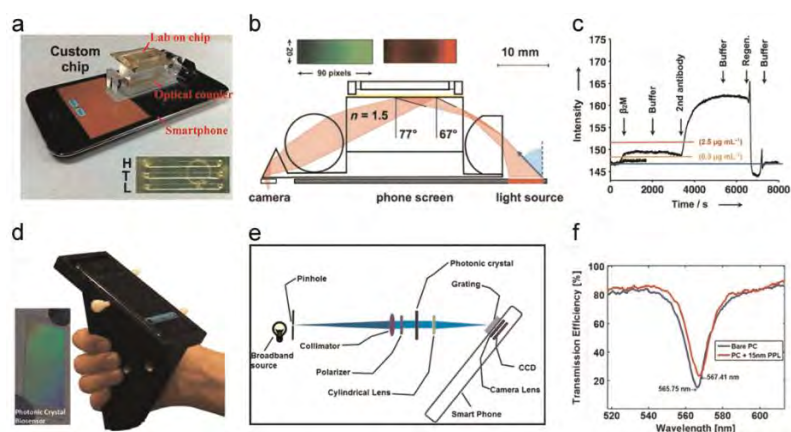
จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่าอุปกรณ์สมาร์ทโฟนสามารถพัฒนาโดยการประยุกต์เข้ากับอุปกรณ์วิทยาศาสตร์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหลากหลาย ทำให้ผู้วิจัยสนใจพัฒนาสมาร์ทโฟนเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างที่สามารถพกพาสะดวก วิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

และในปีเดียวกัน Diming Zhang และ Qingjun Liu รายงานวิจัยเรื่อง Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection [16] เป็นการพัฒนาอุปกรณ์สมาร์ทโฟนเพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดทางชีวภาพ หรือไบโอเซนเซอร์ (biosensor) ตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การพัฒนาสมาร์ทโฟนเพื่อใช้เป็นไบโอเซนเซอร์เชิงแสง (optical biosensor) ในการถ่ายภาพทางชีวภาพ (bio-imaging) [17] โดยสามารถถ่ายภาพเซลล์เม็ดเลือดแดง จุลินทรีย์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 การพัฒนาสมาร์ทโฟนเพื่อใช้เป็นไบโอเซนเซอร์เชิงแสง (optical biosensor) ในการถ่ายภาพทางชีวภาพ (bio-imaging)

นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเพื่อใช้เป็น Surface Plasmon Resonance (SPR) biosensor ในการตรวจวัดโปรตีน สารพันธุกรรม และเซลล์ต่าง ๆ เป็นต้น โดยสมาร์ทโฟน SPR biosensor นี้เป็นการพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยี lab-on-chip (LOC) ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว [18] ดังแสดงในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 การพัฒนาสมาร์ทโฟนร่วมกับเทคโนโลยี lab-on-chip เพื่อใช้เป็น SPR biosensor

1.3 วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย

1. พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลแบบโพลาไรซ์ใช้ติดกับสมาร์ทโฟน ซึ่งมีความละเอียดภาพ และกำลังขยายสูงเพื่อบันทึกภาพผลึกเกลือไอโซทรอปิก และแอนไอโซทรอปิก และศึกษาวิธีการบันทึกภาพให้ชัดเจนมากที่สุด
2. ประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลแบบโพลาไรซ์ในการศึกษาตัวอย่างคริสตัลที่สนใจ เช่น ผลึกเกลือไอโซทรอปิก และแอนไอโซทรอปิก ตลอดจนเก็บข้อมูลภาพถ่ายของตัวอย่างที่สนใจเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลแบบโพลาไรซ์ใช้ติดกับสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียด และกำลังขยายสูง เพื่อบันทึกภาพถ่ายผลึกเกลือไอโซทรอปิก และแอนไอโซทรอปิกได้อย่างชัดเจน และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ห้ไบรฟริงเจนซ์ได้

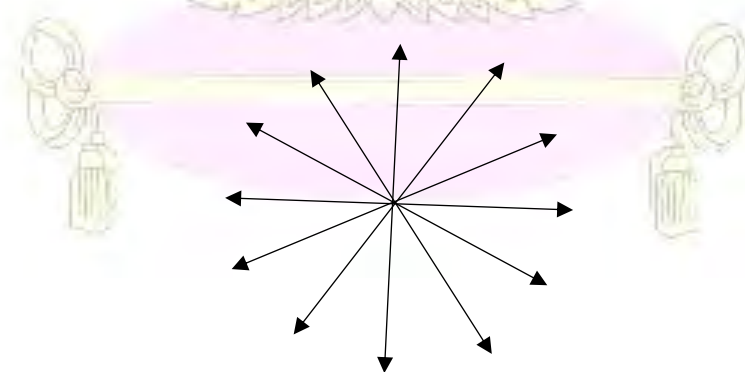
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 โพลาริเซชันของแสง (polarization of light)

โพลาริเซชัน คือ หนึ่งในปรากฏการณ์ของคลื่นตามขวาง ซึ่งเป็นคลื่นที่มีระนาบการสั่นในระนาบใดระนาบหนึ่งเพียงระนาบเดียว โดยส่วนมากคลื่นแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีลักษณะเป็นคลื่นที่มีระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าอยู่หลายระนาบ หรือกล่าวคือ แสงนั้น ๆ เป็นแสงที่ไม่โพลาริซ์ และหากเรานำแผ่นโพลารอยด์ไปกั้น (analyzer) แสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์นั้นจะเกิดระนาบการสั่นเพียงระนาบเดียวตามแกนของแผ่นโพลารอยด์ ซึ่งแสงที่ผ่านออกมานี้ เรียกว่า แสงโพลาริซ์ และความเข้มของแสงที่ออกมานั้นจะลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเดิม [19], [20] ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่โพลาริซ์

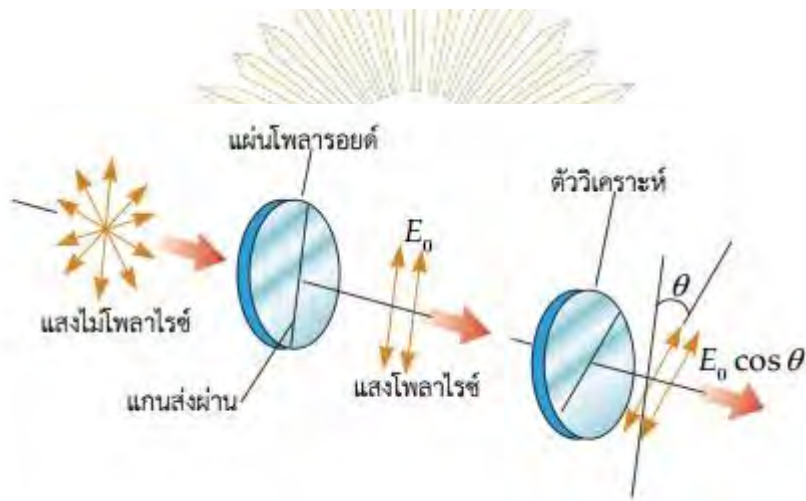


รูปที่ 2.2 แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่ไม่โพลาริซ์

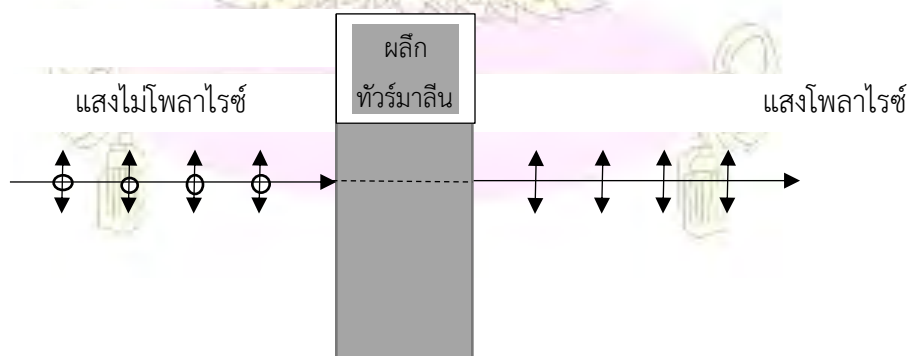
วิธีทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์

1. การโพลาไรซ์ด้วยการดูดกลืนโดยให้แสงผ่านโพลาไรรอยด์

โพลาไรรอยด์ เป็นวัสดุที่มีสมบัติยอมให้แสงผ่านได้เฉพาะที่มีระนาบขนาน หรือตรงกับแกน (ของการทะลุผ่าน) ของแผ่นโพลาไรรอยด์ [21] ส่วนแสงในระนาบอื่นสามารถแยกออกเป็น 2 ระนาบตามหลักการแยกเวกเตอร์ ปกติมักจะใช้แผ่นโพลาไรรอยด์เป็นแผ่นทำแสงโพลาไรซ์ (polarizer) และแผ่นวิเคราะห์ (analyzer) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โพลาริซ์ด้วยการดูดกลืนโดยให้แสงผ่านโพลาไรรอยด์ (ที่มา: <https://busbakorn5651.wordpress.com/>)

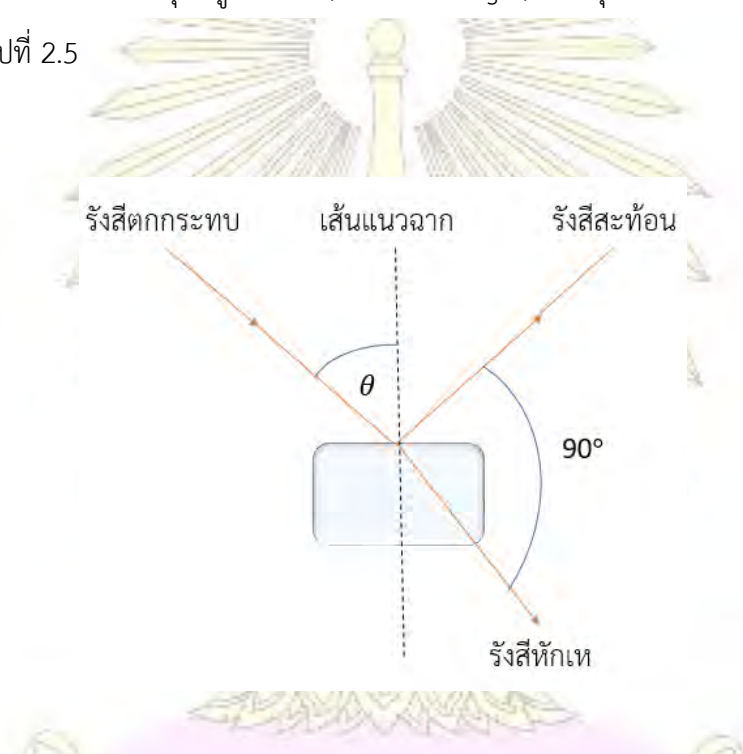


รูปที่ 2.4 แสงไม่โพลาไรซ์ผ่านผลึกทัวร์มาลีน

โดยทั่วไปแล้วผลึกไดโครอิก (dichroic), ผลึกทัวร์มาลีน (tourmaline) หรือสารประกอบอินทรีย์ไอโอซัลเฟตของควินิน ถูกนำมาใช้สำหรับเป็นแผ่นทำแสงโพลาไรซ์ (polarizer) เนื่องจากมีสมบัติในการดูดกลืนแสงที่มีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในทิศหนึ่งมากกว่าอีกทิศหนึ่งก่อนจะถูกพัฒนาเป็นแผ่นโพลาไรซ์ในปัจจุบัน

2. การโพลาไรซ์ด้วยการสะท้อน

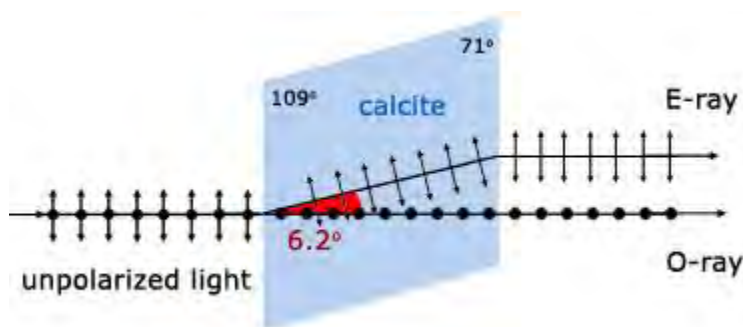
เมื่อให้แสงที่ไม่โพลาไรซ์ตกกระทบกับผิวสะท้อนที่เป็นวัตถุโปร่งใส เช่น แผ่นแก้ว หรือผิวน้ำ จะเกิดการสะท้อน และหักเหของแสง โดยแสงส่วนใหญ่จะหักเห แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์ 100% เมื่อมุมตกกระทบเท่ากับมุมการโพลาไรซ์ หรือเรียกว่ามุมบรูสเตอร์ (Brewster angle) และมุมระหว่างรังสีสะท้อน และรังสีหักเหเท่ากับ 90 องศา ดังรูปที่ 2.5



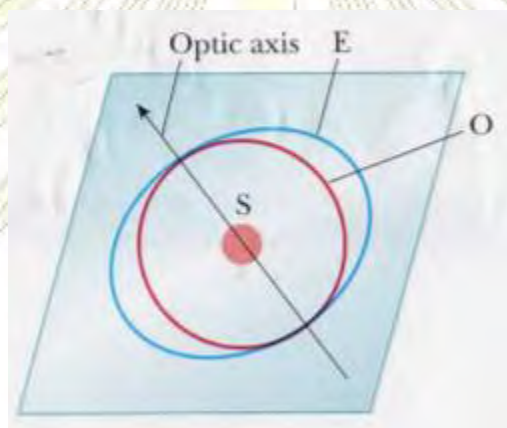
รูปที่ 2.5 เมื่อแสงตกกระทบทำมุม (θ) ในตัวกลางหนึ่งแล้วทำให้ลำแสงสะท้อน และลำแสงหักเหทำมุมกัน 90°

3. การโพลาไรซ์โดยการหักเหสองแนว

ผลึกของแข็งบางชนิด เช่น แคลไซต์ (calcite), ควอตซ์ (quartz) จะพบว่าความเร็วของแสงในผลึกเหล่านี้ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหของผลึก เรียกผลึกประเภทนี้ว่า ผลึกดัชนีหักเหคู่ (double refracting crystal) หรือเรียกว่า ผลึกไบรีฟริงเจนซ์ (birefringent crystal) โดยเมื่อแสงที่ไม่โพลาไรซ์เคลื่อนที่เข้าไปในผลึกแคลไซต์ แสงจะหักเหเป็นสองแนว ดังรูปที่ 2.6 โดยทั้งคู่เป็นแสงที่โพลาไรซ์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน แต่ทิศของการโพลาไรซ์ยังคงตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของแสง



รูปที่ 2.6 แสงไม่โพลาไรซ์เคลื่อนที่ผ่านผลึกแคลไซต์เกิดการหักเหคู่ (ที่มา: <http://www.a-levelphysictutor.com/wav-light-polariz.php>)



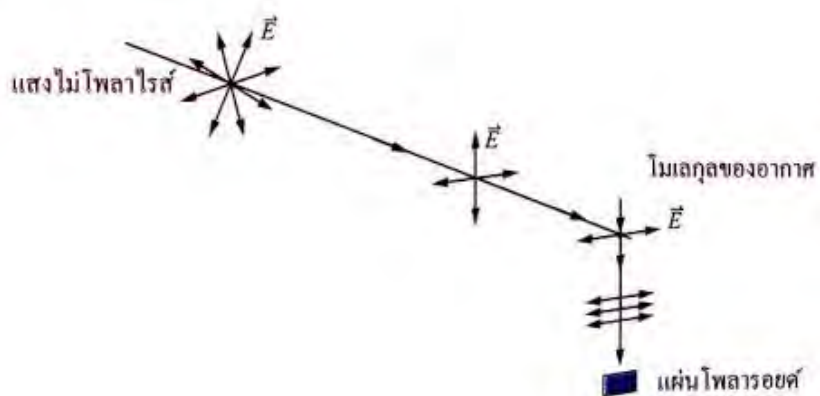
รูปที่ 2.7 แสงหักเหรังสี O และรังสี E (ที่มา: <http://www.kshitij-iitjee.com/Polarization-of-light-waves>)

แสงที่หนึ่งเรียกว่ารังสี O (ordinary ray) ซึ่งเลี้ยวเบนตามค่าดัชนีหักเห n_o กล่าวคือ เท่ากันทุกทิศทาง แสดงรูปการโพลาไรซ์เป็นวงกลมดังในรูปที่ 2.7 แสงหักเหอีกรังสีหนึ่งคือ รังสี E (extraordinary ray) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันตามค่าดัชนีหักเห n_e ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง มีหน้าคลื่นเป็นวงรีดังรูปที่ 2.7 โดยจะมีแนวหนึ่งซึ่งเรียกว่า แนวแกนแสงที่ค่าดัชนีหักเห $n_o = n_e$ ความเร็วแสงในทั้งสองแนวจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแนวแกนแสง

ผลของการหักเหสองแนวจะนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้าง หลังจากการศึกษาแรงกระทำหรือแรงเค้นที่เกิดในแบบจำลองโครงสร้างนั้น ๆ เช่น ใช้พลาสติกบางชนิดทำเป็นโครงสร้างนั้น ๆ แล้วออกแรงตามแนวที่โครงสร้างจะถูกกระทำ เมื่อแสงผ่านพลาสติกนี้ก็จะเกิดการหักเหสองแนว ทำให้เฟสต่างกัน เมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สองก็จะแทรกสอดกันเห็นรอยริ้วที่ถูกแรงกระทำเป็นลวดลายมีดสว่าง นำมาวิเคราะห์โครงสร้างที่เสี่ยงต่อการแตกหัก เพื่อจะได้แก้ไขได้

4. การโพลาไรซ์โดยการกระเจิง

เมื่อแสงตกกระทบวัสดุใด ๆ อิเล็กตรอนในวัสดุนั้นสามารถดูดกลืน และเปล่งแสงบางส่วนออกมาได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้ ได้แก่ การที่แสงอาทิตย์ถูกโมเลกุลของอากาศดูดกลืนไว้แล้วเปล่งแสงบางส่วนที่มีการโพลาไรซ์ออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การกระเจิง (scattering)



รูปที่ 2.8 แสงโพลาไรซ์จากการกระเจิงของแสง (ที่มา: <https://sites.google.com/site/fisiksthudey/-pho-la-ri-se-chan-doy-kark-ra-ceing-khxng-saeng>)

จากรูปที่ 2.8 เมื่อแสงอาทิตย์มีการโพลาไรซ์บางส่วน ได้แสงที่เคลื่อนที่ในแนวราบ และชนโมเลกุลของอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนทำหน้าที่คล้ายกับเสาอากาศ สมมติอิเล็กตรอนสั้นในแนวราบ แสงที่กระเจิงจะมีการโพลาไรซ์ในแนวราบเช่นกัน

2.2 ไบรีฟริงเจนซ์ (Birefringence)

ไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) คือ ค่าที่เกี่ยวข้องกับสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของวัสดุ โดยเป็นค่าความแตกต่างระหว่างดัชนีหักเหสูงสุด และค่าดัชนีหักเหต่ำสุดที่เกิดกับวัสดุที่มีคุณภาพในแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากัน (anisotropic) ซึ่งเมื่อมีแสงตกกระทบกับวัสดุชิ้นนั้น ๆ ก็จะทำให้เกิดการหักเหทำให้เกิดรังสีที่ทิศทางที่แตกต่างกันออกมา และรังสีที่มีทิศทางแยกออกจากกันเป็นสองเส้นนี้มีชื่อเรียก คือ ordinary ray และ extraordinary ray ซึ่งในระนาบที่ตั้งฉากกัน ความเร็วของรังสีทั้งสองเส้นนี้จะไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการหักเหของแสงในจำนวนครั้งที่แตกต่างกันเป็นค่าดัชนีหักเห 2 ค่า หรือ 3 ค่า [22], [23]

การวัดค่าไบรีฟริงเจนซ์สามารถวัดได้โดยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Refractometer ซึ่งจะแสดงค่าดัชนีหักเหสูงสุด และค่าดัชนีหักเหต่ำสุดจากด้านหนึ่ง ๆ ของวัสดุ โดยขั้นตอนการใช้งานเพื่อให้เกิดค่าที่ต่าง ๆ ไปนั้น ทำได้โดยการวางตัววัสดุด้านที่เรียบบนแท่งแก้วปริซึม และทำการอ่านค่าดัชนีหักเห จากนั้นจึงหมุนตัวอย่าง และทำการบันทึกค่าดัชนีหักเหทุก ๆ 15 องศา จนกระทั่งตัวอย่างหมุนครบ 180 องศา และทำการเทียบค่าดัชนีหักเหที่ได้มา จากนั้นนำค่าดัชนีหักเหที่สูงที่สุดลบกับค่าดัชนีหักเหที่ต่ำที่สุดก็จะได้ออกมาเป็นค่าไบรีฟริงเจนซ์ของวัสดุ

การหักเหของแสง (Refraction of light)

การหักเหของแสงเกิดจากการที่แสงเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างกันผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน ซึ่งความเร็วของแสงที่เดินทางผ่านสุญญากาศนั้นมีค่า $c = 3.00 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที แต่เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่แตกต่างไปก็จะทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) กับการจัดเรียงอะตอมของตัวกลางนั้น ๆ ซึ่งปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะให้ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วิ่งผ่านตัวกลางนั้นมีค่าลดลง และเกิดการหักเหขึ้น

ดัชนีหักเห (Refractive index)

ดัชนีหักเห (n) คือ การเทียบค่าการหักเหของความเร็วแสงเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ (c) กับค่าความเร็วของแสงที่เดินทางผ่านวัสดุตัวกลางต่าง ๆ (v) ซึ่งจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ คือ

$$n = \frac{c}{v}$$

กำหนดให้	n	เป็นดัชนีหักเหของวัสดุตัวกลาง
	c	เป็นค่าความเร็วของแสงที่เดินทางผ่านสุญญากาศ = 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที
	v	เป็นค่าความเร็วของแสงที่เดินทางผ่านวัสดุตัวกลางนั้น ๆ

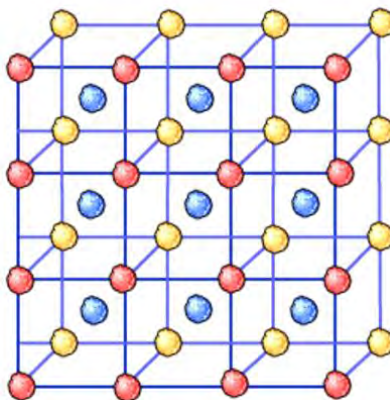
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าดัชนีหักเหของตัวกลางและอัตราเร็วของแสงในตัวกลางต่าง ๆ

ตัวกลาง	ดัชนีหักเห	อัตราเร็วของแสง เมื่อวิ่งผ่านตัวกลาง (เมตร/วินาที)
อากาศ	1.00	3.00×10^8
น้ำ	1.33	2.25×10^8
แอลกอฮอล์	1.36	2.21×10^8
แก้ว	1.50	2.00×10^8
พลาสติกใส	1.50	2.00×10^8
เพชร	2.42	1.24×10^8

2.3 ระบบผลึก (crystals system)

ผลึกส่วนใหญ่เป็นแร่ธาตุ หรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีส่วนประกอบทางเคมีคงที่ เขียนสูตรทางเคมีได้ การเรียงตัวของอะตอมเป็นระเบียบ ทำให้เป็นรูปผลึกต่าง ๆ กัน การตกผลึกของแร่จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคือ มีพื้นที่กว้างขวางพอที่จะให้แร่ตกผลึก มีระยะเวลาในการตกผลึก และมีปริมาณของแร่ที่เย็นตัวลงต้องไม่เข้มข้นเกินไป ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะได้ผลึกเล็ก และเป็ยดกันแน่นจนเสียรูปไป แต่สภาพแวดล้อมเหมาะสมจะได้ผลึกใหญ่ และสวยงาม

โครงสร้างผลึก (Crystal lattice) จะประกอบไปด้วยผลึกขนาดเล็ก ๆ และผลึกขนาดเล็ก ๆ จะประกอบไปด้วยหน่วยเซลล์ (unit cell) ซึ่ง Unit cell เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่แสดงคุณสมบัติของผลึกนั้น



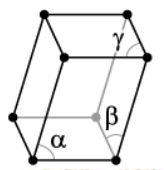
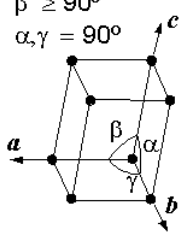
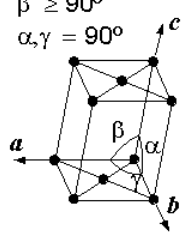
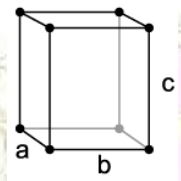
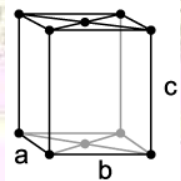
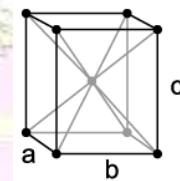
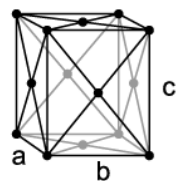
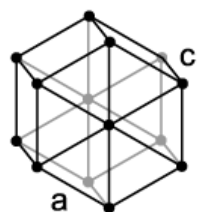
รูปที่ 2.9 ลักษณะ crystal lattice (ที่มา : <http://chemistry.tutorvista.com/inorganicchemistry/crystal-structure.html>)

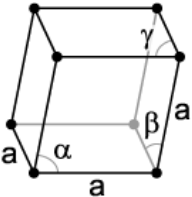
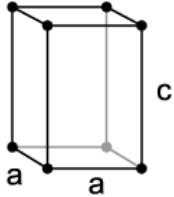
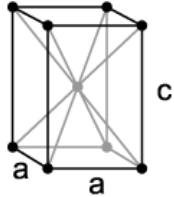
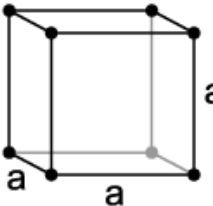
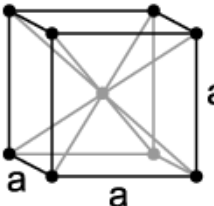
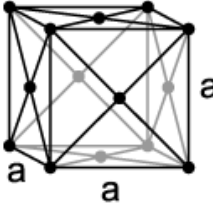
ระบบผลึก (crystals system) แบ่งตามความแตกต่างทางความยาวของแกนผลึก และมุมระหว่างแกน (interaxial angle) สามารถแบ่งผลึกออกเป็น 7 ระบบ [24] ดังนี้

1. ระบบผลึกแบบ Cubic คือ มีด้านทั้ง 3 ด้านยาวเท่ากัน และทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่น ผลึกของ NaCl, KCl, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, เหล็ก, ทองแดง, ทอง และสารส้ม เป็นต้น
2. ระบบผลึกแบบ Orthorhombic คือ มีด้านทั้ง 3 ด้านยาวไม่เท่ากัน แต่จะทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่น ผลึกของ K_2SO_4 , KNO_3 , KMnO_4 , อะราโกไนต์ (CaCO_3), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และไอโอดีน เป็นต้น
3. ระบบผลึกแบบ Tetragonal คือ มีด้านยาวเท่ากัน 2 ด้าน อีกด้านยาวไม่เท่ากัน และทั้ง 3 ด้าน ทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่นผลึกของ NiSO_4 , KH_2PO_4 เป็นต้น
4. ระบบผลึกแบบ Monoclinic คือ มีด้านทั้ง 3 ด้านยาวไม่เท่ากัน ด้าน 2 ด้านทำมุมต่อกันมุมหนึ่ง ซึ่งจะไม่เท่ากับ 90 องศา ส่วนด้านที่ 3 ทำมุม 90 องศา กับด้านทั้ง 2 เช่น ผลึกของยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), KClO_3 , และกำมะถันโมโนคลินิก เป็นต้น
5. ระบบผลึกแบบ Rhombohedral คือ มีด้านทั้ง 3 ด้านยาวเท่ากัน และมุมทั้ง 3 มุมเท่ากันด้วย แต่มุมทั้ง 3 มุมไม่เท่ากับ 90 องศา เช่น ผลึกของ NaNO_3 , แคลไซต์ (CaCO_3), ZnCO_3 , อะเซติก, แอนติโมนี และบิสมัท เป็นต้น
6. ระบบผลึกแบบ Triclinic คือ มีด้านทั้ง 3 ยาวไม่เท่ากัน และมุมระหว่างด้านทั้ง 3 ไม่เป็นมุมฉาก เช่น $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เป็นต้น

7. ระบบผลึกแบบ Hexagonal คือ มีด้านเท่ากัน 2 ด้าน และทำมุม 120 องศา อีกด้านความยาวไม่เท่ากัน และทำมุม 90 องศา กับ 2 ด้านนั้น เช่น ผลึกของแกรไฟต์, แมกนีเซียม, เบริลเลียม และสังกะสี เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงระบบผลึกต่าง ๆ

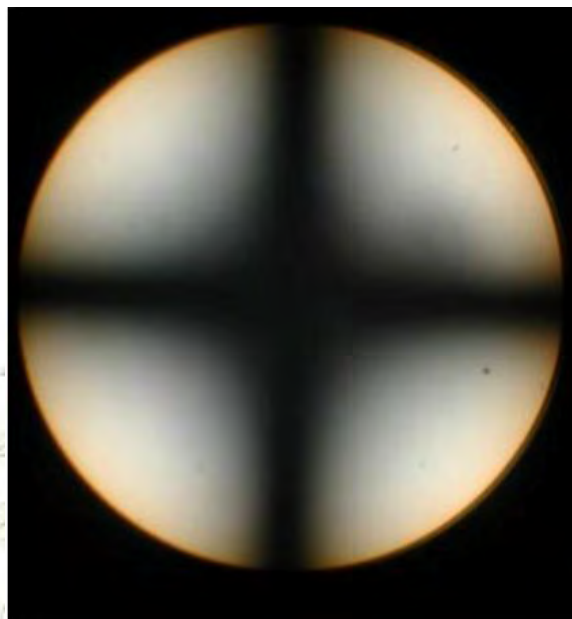
ระบบผลึก	แลตทิซ			
	Simple	Base - centered	Body - centered	Face - centered
ไตรคลินิก (triclinic)	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
โมนอคลินิก (monoclinic)	$\beta \geq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	$\beta \geq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 		
ออร์โธโรมบิก (orthorhombic)	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
เฮกซะโกนัล (hexagonal)	$a \neq c$ 			

รมบโฮีตรัล (rhombohedral) (trigonal)	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 		
เตตระโกนัล (tetragonal)	$a \neq c$ 	$a \neq c$ 	
คิวบิก (isometric)			

ลักษณะทางแสงและภาพทางแสง (optic figure)

- แสงเดินทางในอากาศมีลักษณะเป็นคลื่น มีการสั่นสะเทือน และมีระนาบของการสั่นสะเทือนตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของแสง เรียกว่า แสงที่ไม่โพลาไรซ์ (unpolarized light)
- เมื่อแสงเดินทางเข้าไปในวัสดุ ความเร็วของแสงจะลดลง และเกิดการหักเห
 - วัสดุระบบไอโซเมตริก (isometric) และอสัณฐาน (amorphous) แสงจะเดินทางเข้าไปในวัสดุเป็นลำแสงเดียวไม่แตกเป็น 2 ลำ จึงเป็นระบบหักเหเดี่ยว (single refractive: SR) และแสงจะมีการสั่นสะเทือนโดยรอบเป็นแสงที่ไม่โพลาไรซ์
 - วัสดุที่อยู่ในระบบอื่น ๆ เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในทิศทางที่ไม่ใช่แกนแสง (optic axis) แสงจะแตกเป็น 2 ลำ จึงเป็นระบบหักเหคู่ (double refractive: DR) และเป็นแสงโพลาไรซ์
- แกนแสง (optic axis: OA) เป็นทิศทาง (ยกเว้นในวัสดุหักเหคู่ที่แสงเดินทางเป็นลำแสงเดียว ไม่เป็น 2 ลำ)
- วัสดุหักเหคู่แบ่งตามภาพแสง (optic figure)

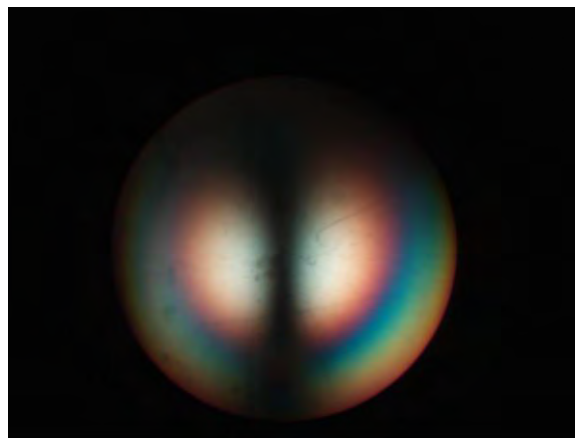
- วัสดุหักเหแบบแกนเดียว (uniaxial) ใช้ตัวย่อ “DRU” คือ วัสดุที่มีแกนแสง 1 แกน และแกนแสงนี้จะขนานกับแกนยาวของผลึก ไตแก ระบบเตตระโกนัล เฮกซะโกนัล และไตรโกนัล ภาพทางแสงของวัสดุหักเหแบบแกนเดียวมีลักษณะเป็นรูปกากบาท



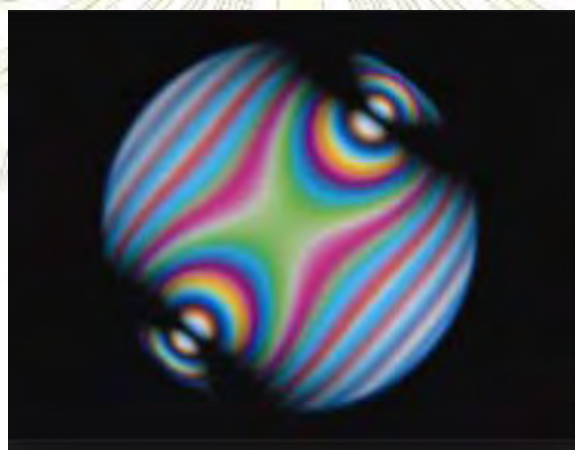
รูปที่ 2.9 ภาพทางแสงของวัสดุหักเหแบบแกนเดียว (ที่มา: <http://slideplayer.com/slide/4747165/>)

- วัสดุหักเหแบบแกนคู่ (biaxial: DRB) คือ มีแกนแสง 2 แกน และแกนแสงทั้ง 2 แกนทำมุมกัน เรียกว่า มุม 2V ไตแก วัสดุที่อยู่ในระบบออร์โธโรมบิก โมโนคลีนิก และไตรคลีนิก ภาพทางแสงของวัสดุหักเหแบบแกนคู่มีลักษณะเป็นเส้นดำ 1 เส้นพาดผ่านกลางวงกลม 1 วง ในกรณีที่มีมุม 2V เล็กจะเห็นเป็นเส้นดำ 2 เส้นพาดผ่านกลางวงกลม 2 วง





รูปที่ 2.10 ภาพทางแสงของวัสดุหักเหคู่แบบแกนคู่ (ที่มา: <http://www.microlabgallery.com/gallery/Sucrose%20Extinction%20.aspx>)



รูปที่ 2.11 ภาพทางแสงของวัสดุหักเหคู่แบบแกนคู่ในกรณีที่มีมุม 2V เล็ก (ที่มา: <http://www.olympus-ims.com/en/microscope/cx31p/>)

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงภาพทางแสงของผลึกในระบบต่าง ๆ

ระบบผลึก	
หักเหเดี่ยว (SR)	หักเหคู่ (DR)
ไอโซเมตริก	เตตระโกนัล เฮกซะโกนัล ไตรโกนัล ออร์โธโรมบิก โมโนคลินิก ไตรคลินิก

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงภาพทางแสงของผลึกในระบบหักเหคู่

ระบบทางแสงของผลึกในระบบต่าง ๆ	
หักเหคู่แบบแกนเดี่ยว (DRU)	หักเหคู่แบบแกนคู่ (DRB)
เตตระโกนัล เฮกซะโกนัล ไตรโกนัล	ออร์โธโรมบิก โมโนคลินิก ไตรคลินิก

2.4 กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (polarized microscope)

เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ซึ่งใช้ในการมองวัสดุประเภททางชีวภาพ และประเภทสินแร่ หรือแร่ธาตุต่าง ๆ เพื่อดูลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์ว่ามีทิศทางไปในทางใดสำหรับการนำไปวิเคราะห์ต่อในด้านความแข็งแรงของโครงสร้างวัตถุนั้น ๆ โดยใช้หลักการโพลาไรซ์ของแสง

คลื่นแสงโดยทั่วไปจะมีระนาบการสั่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง และทิศทางการสั่นใน แต่ละทิศทางนั้นจะมีโอกาสเกิดได้เท่ากัน ซึ่งแสงที่เกิดในลักษณะนี้ เรียกว่า แสงขาว แต่ในส่วนของแสงโพลาไรซ์นั้น จะมีการสั่นเพียงระนาบเดียว โดยทั่วไปตาของมนุษย์จะไม่สามารถระบุความแตกต่างของการสั่นแต่ละระนาบได้ (แต่สามารถบอกถึงผลของความเข้มแสงได้ เช่น เมื่อเราใส่แว่นตากันแดดที่ใช้เลนส์ที่มีสมบัติเป็นโพลาไรซ์) อุปกรณ์ที่สามารถทำให้คลื่นแสงสั่นในระนาบเดียวกันได้ เรียกว่า โพลาไรซ์

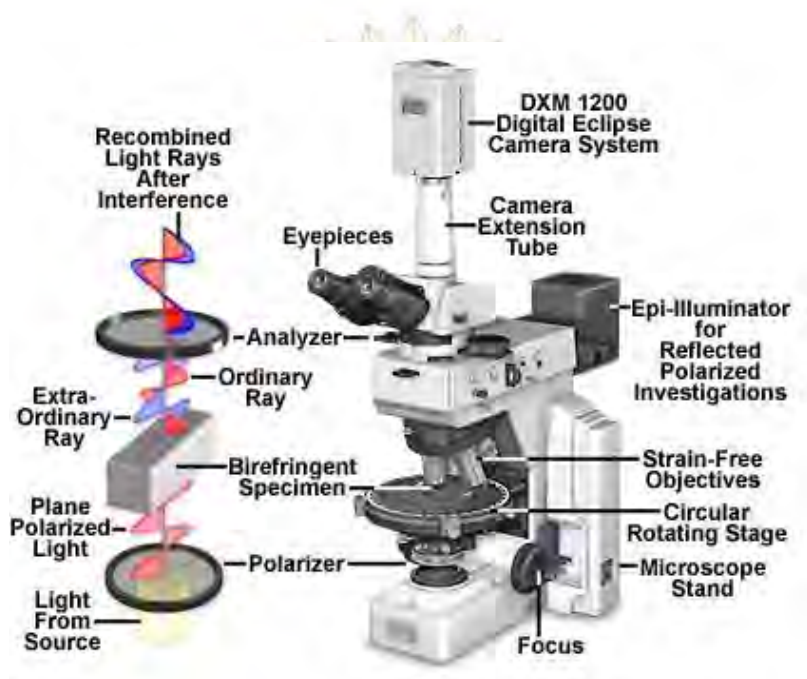
กล้องโพลาไรซ์ จะใช้สำหรับตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเป็นไบรีฟริงเจนซ์ โดยกล้องชนิดนี้จะมีควมไวสูง สามารถใช้กับทั้งในงานเชิงวิเคราะห์ ปริมาณ และคุณภาพได้ [25]

กล้องโพลาไรซ์จะประกอบด้วยโพลาไรซ์เซอร์ซึ่งวางตำแหน่งไว้ในจุดก่อนที่แสงจะผ่านตัวอย่าง และมีแอนาไลเซอร์ (analyzer) วางไว้ก่อนเลนส์ใกล้ตา ก่อนถึงจุดที่จะทำการสังเกต หรือบันทึกภาพ โดยขณะทำงาน แสงที่ผ่านตัวอย่างที่มีคุณสมบัติของไบรีฟริงเจนซ์ จะแยกเกิดเป็นคลื่นแสงสองคลื่น โดยที่แต่ละคลื่นนั้นจะสั่นในระนาบเดียว มีระนาบการสั่นตั้งฉากกัน แต่ความเร็วของคลื่นทั้งสองไม่เท่ากัน เมื่อแสงผ่านตัวอย่างแล้วจะไปรวมตัวในรูปแบบที่เสริม หรือหักล้างกัน โดยวัสดุไอโซทรอปิก (isotropic materials) เช่น แก้ว หรือของเหลว จะมีคุณสมบัติทางแสงเหมือนกัน ไม่ว่าจะพิจารณาจากด้านใดก็ตามก็จะมีค่าดัชนีหักเห (refractive index) เพียงค่าเดียว และมีข้อมจำกัดของระนาบการสั่นของคลื่นแสง แต่สำหรับวัสดุแอนไอโซทรอปิก (anisotropic materials) ซึ่งได้แก่ วัสดุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่ จะมีคุณสมบัติทางแสงต่างกัน ขึ้นกับทิศทางของแสงที่มากระทบ และมีค่าดัชนีหักเหมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป โดยคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของ กล้องโพลาไรซ์ คือ สามารถแยกแสง 1 คลื่นออกเปนครีแสงมากกว่า 1 คลื่นได้ โดยคลื่นแสงสองคลื่นที่ออกจากแอนไอโซทรอปิก (anisotropic) จะมีระนาบตั้งฉากซึ่งกันและกัน

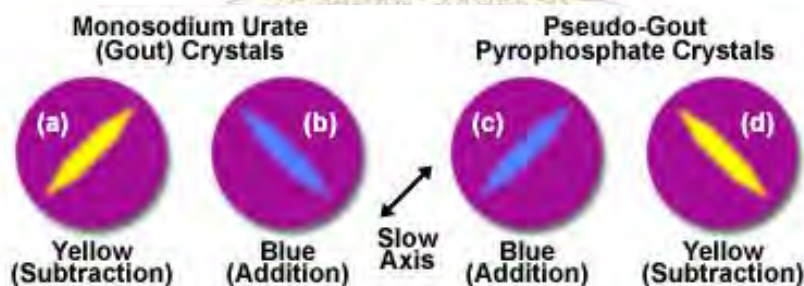
ภาพที่เกิดจากกล้องกล้องโพลาไรซ์จะมีลักษณะ คือ เมื่อหมุนตัวอย่าง จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง หรือสีของตัวอย่าง คุณสมบัตินี้ใช้ในการระบุชนิดของตัวอย่างได้ ในระยะแรกกล้องชนิดนี้มักใช้ในทางธรณีวิทยา เช่น การตรวจแร่ หิน ผลึกต่าง ๆ หรือในทางชีววิทยา ดังเช่น การดูลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์

แต่ในเวลาต่อมา ได้มีการประยุกต์นำกล้องโพลาไรซ์ ไปใช้ในทางการแพทย์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งทางด้านของเทคโนโลยีทางอาหารอีกด้วย

ตัวอย่างที่สามารถนำมาตรวจสอบได้ เช่น ผลึก gout หรือ monosodium urate (สำหรับคนเป็นโรค เก๊าท์) ดังรูปที่ 2.21, เนื้อเยื่อ, กล้ามเนื้อ, ฟัน, แร่ธาตุ, เส้นใย, ไขมัน, กระจก, เซรามิกส์, โลหะ



รูปที่ 2.12 กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (polarized microscope) (ที่มา: <http://www.microscopes.in.th/199/กล้องจุลทรรศน์polarized.html>)



รูปที่ 2.13 สีที่ปรากฏในผลึกเก๊าท์ และ เก๊าท์เทียม (ที่มา: <https://www.pinterest.com/pin/133067363959455457>)



รูปที่ 2.14 กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (polarized microscope) (ที่มา: <http://www.microscope.in.th/199/กล้องจุลทรรศน์polarized.html>)

2.5 สมาร์ทโฟน (smartphone)

สมาร์ทโฟน คล้ายกับโทรศัพท์มือถือโดยทั่วไป เพียงแต่เพิ่มแอปพลิเคชันเข้าไปมากมายให้นอกเหนือจากใช้โทรออกรับสาย เป็นสินค้าไอทีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ด้วยฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย สามารถรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน 3G, Wi-Fi และสามารถใช้งานโซเชียลเน็ตเวิร์ค และแอปพลิเคชันสนทนาชั้นนำ เช่น LINE, Youtube, Facebook, Twitter เป็นต้น ซึ่งจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ มากมายครอบคลุมในทุก ๆ ด้าน โดยที่ผู้ใช้สามารถปรับแต่งลูกเล่นการใช้งานสมาร์ทโฟนให้ตรงกับความต้องการได้มากกว่ามือถือธรรมดา ผู้ผลิตสมาร์ทโฟนรุ่นใหม่ ๆ นิยมผลิตสมาร์ทโฟนที่มีหน้าจอสัมผัส ใสกล้องถ่ายรูปที่มีความละเอียดสูง ออกแบบดีไซน์ให้สวยงามทันสมัย มีแอปพลิเคชันและลูกเล่นที่น่าสนใจ สมาร์ทโฟนเปรียบเสมือนกับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา มีทุกอย่างที่คอมพิวเตอร์มี [26]

ระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่เป็นนิยม ได้แก่

- ซิมเบียน (Symbian)
- แบล็กเบอรี่โอเอส (BlackBerry OS)

- แอนดรอยด์ (Android)
- ไอโอเอส (iOS)
- วินโดวส์โมบาย (Windows Mobile)
- วินโดวส์โฟน (Windows Phone)
- บาดา (Bada)
- เว็บโอเอส (webOS)
- มีโก (MeeGo)

คุณสมบัติหลักที่มีในสมาร์ทโฟน ได้แก่ ระบบปฏิบัติการ (Operating System) ช่วยให้ผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนสามารถเข้าถึงแอปพลิเคชันต่าง ๆ บนระบบนั้นได้ เช่น iPhone ของ Apple ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS, สมาร์ทโฟน BlackBerry ใช้ระบบปฏิบัติการ BlackBerry OS, สมาร์ทโฟน แอนดรอยด์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Android OS, สมาร์ทโฟน Windows Phone ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows Phone เป็นต้น

ประโยชน์ของสมาร์ทโฟน ได้แก่ ใช้สื่อสารทางไกล สามารถถ่ายภาพ ติดตามข่าวสาร ท่องอินเทอร์เน็ตได้ สะดวกรวดเร็ว ช่วยให้การทำงานง่ายขึ้น บางทีอาจสามารถใช้แทนคอมพิวเตอร์ได้ พกพาสะดวก สามารถขอความช่วยเหลือได้ทันทีหากเกิดเหตุด่วน ช่วยเตือนความจำได้ นำมาใช้ทดลองในด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ และการเกษตรได้



รูปที่ 2.16 สมาร์ทโฟนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (ที่มา: <http://www.codebox.es/descubre-dinero-aplicacion>)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 3.1.1. Smartphone ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6s
- 3.1.2. กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1
- 3.1.3. จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ กำลังขยาย 20x และ 40x
- 3.1.4. ไมโครสแตจ
- 3.1.5. ไฟ LED
- 3.1.6. แบตเตอรี่สำรอง
- 3.1.7. แอปพลิเคชัน: Photo
- 3.1.8. โฟลาริเซอร์
- 3.1.9. กลาสสไลด์

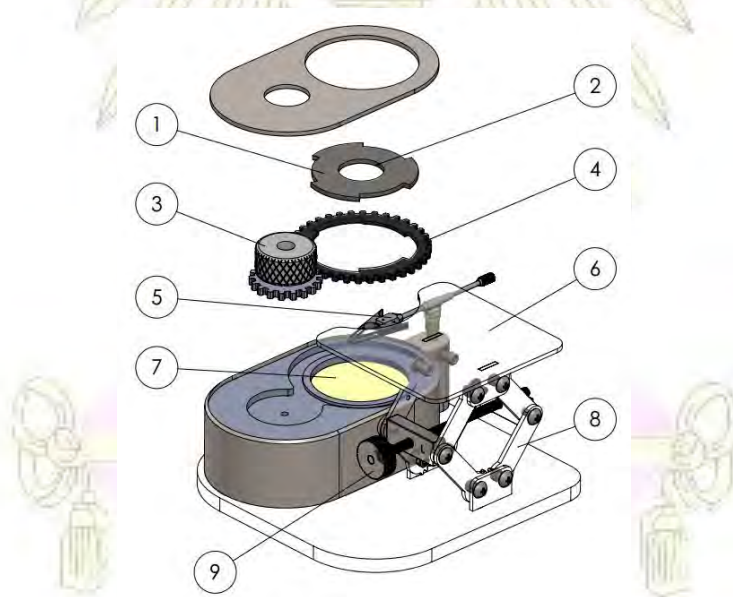
3.2 สารเคมี (ตัวอย่างผลึกที่ใช้ในการศึกษา)

- 3.2.1. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) NaCl
- 3.2.2. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) KCl
- 3.2.3. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) KI
- 3.2.4. แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate) $MgSO_4$
- 3.2.5. โมโนโซเดียมกลูตาเมต (Monosodium glutamate) $C_5H_8NNaO_4$
- 3.2.6. โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate) $CH_3COONa \cdot 3H_2O$
- 3.2.7. โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate) $C_6H_5O_7 Na$
- 3.2.8. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate) Na_2SO_4
- 3.2.9. โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate) $Na_2S_2O_3$
- 3.2.10. ซิลเวอร์อะซิเตต (Silver acetate) $AgC_2H_3O_2$

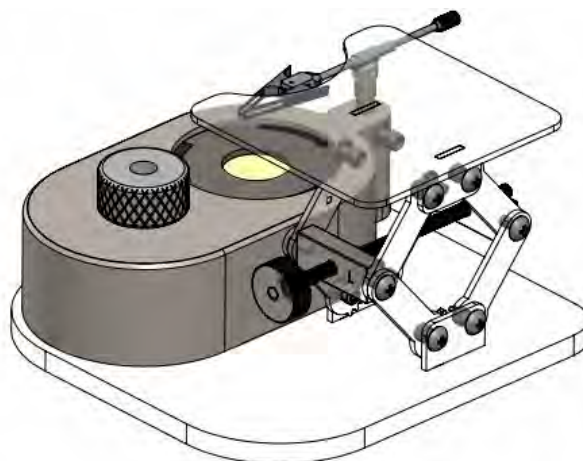
3.2.11. กลูโคส (glucose) $C_6H_{12}O_6$

3.3 การสร้างอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟน

ในการสร้างการออกแบบการสร้างอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟนผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม SolidWork โดยคำนึงถึงการใช้งานที่สะดวก ง่าย มีประสิทธิภาพ สามารถใช้ได้กับสมาร์ทโฟนทั่วไปได้เกือบทุกรุ่น ฐานวางสมาร์ทโฟนสามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ง่ายเหมือนปุ่มปรับภาพหยาบของกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ปรับระยะโฟกัสเมื่อถ่ายภาพ สามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของอุปกรณ์กล้อง เช่น ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และตัวอย่าง โพลาไรเซอร์ ขนาดกำลังขยายของเลนส์ เพื่อให้สามารถบันทึกภาพให้มีความชัดเจน โดยองค์ประกอบของอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์แสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 จากนั้นผู้วิจัยได้ตัดแผ่นพลาสติกอะคริลิก หรืออะคริลิเรซิน (Acrylic Resins) ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ตามแบบเพื่อสร้างต้นแบบของอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ควบคู่กับจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20x และ 40x ที่ติดตั้งโพลาไรเซอร์บริเวณหน้าขึ้นเลนส์ (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ประกอบด้วย (1) แผ่นใส่โพลาไรเซอร์ (2) วงแหวนล้อคโพลาไรเซอร์ (3) ปุ่มปรับทิศทางของโพลาไรเซอร์ (4) ฟันเฟืองประกอบโพลาไรเซอร์ (5) ที่หนีบล็อก (6) ฐานวางสมาร์ทโฟน (7) แหล่งกำเนิดแสง LED (8) กลไกปรับความสูงฐานวางสมาร์ทโฟน (9) ปุ่มปรับระดับฐานเพื่อปรับระยะโฟกัสภาพ



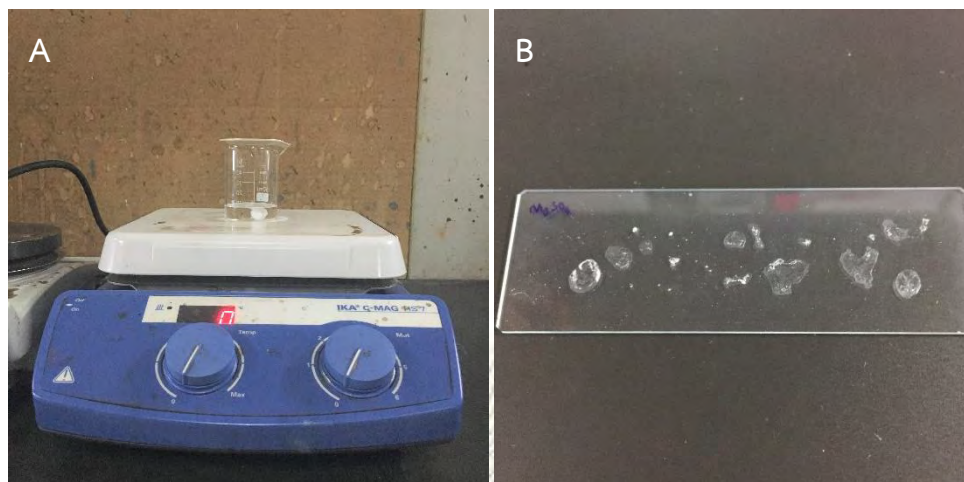
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลารไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนประกอบเสร็จ พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.3 จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20x และ 40x ที่ติดตั้งโพลารไรเซอร์บริเวณหน้าขึ้นเลนส์

3.4 การเตรียมตัวอย่างผลึกเพื่อศึกษาวิธีการถ่ายภาพไบรฟริงเจนซ์ของผลึก

ในการศึกษาวิธีการถ่ายภาพไบรฟริงเจนซ์ของผลึก ชิ้นผลึกต้องมีความบางมากเพียงพอที่แสงจะสามารถส่องผ่าน และเกิดปรากฏการณ์ไบรฟริงเจนซ์ โดยทั่วไปแล้วขนาดของผลึกตัวอย่างซึ่งสั่งซื้อมาจากบริษัทขายสารเคมีมีขนาดใหญ่เกินไป การตกผลึกสารตัวอย่างช้า และการบังคับขนาดของผลึกให้มีขนาดเล็กจึงมีความจำเป็น ผู้วิจัยได้ทำการตกผลึกช้าโดยนำตัวอย่างผลึกเกลือที่สนใจมาละลายในน้ำปราศจากไอออน และให้ความร้อนเพื่อเพิ่มค่าการละลายจนสังเกตเห็นว่าสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีผลึกนอนกันบิกเกอร์ จึงหยุดสารละลายเกลือเข้มข้นใส่กลาสสไลด์เพื่อบังคับให้ผลึกที่ตกได้มีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (A) และ (B)



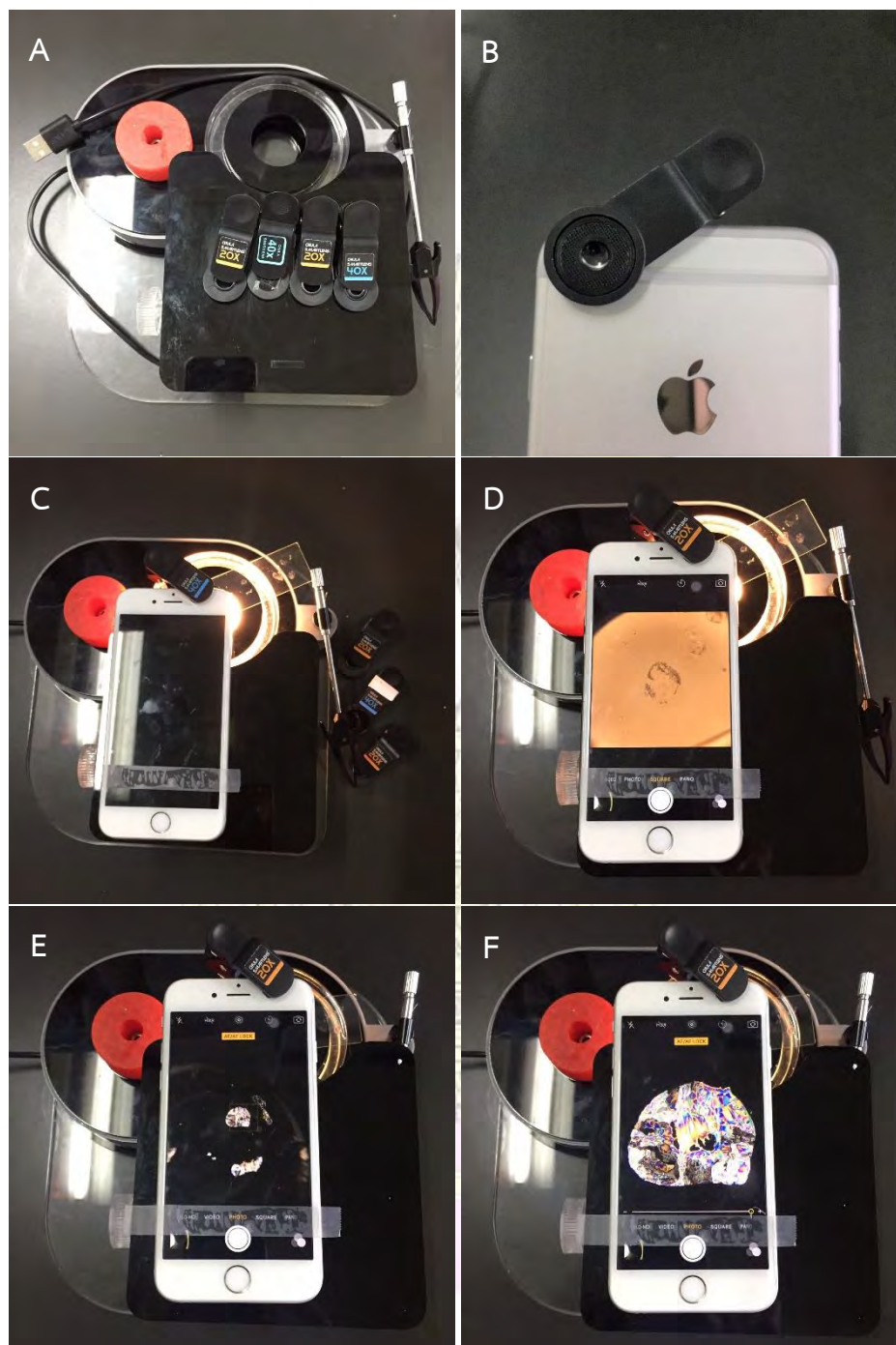
รูปที่ 3.4 (A) การตกผลึกสารตัวอย่างที่ต้องการ (B) การหยดสารละลายเกลือตัวอย่างบนกลาสสไลด์เพื่อบังคับให้ผลึกที่ตกได้มีขนาดเล็ก

3.5 การถ่ายภาพไบรฟริงเจนซ์ของผลึกด้วยอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน

การทดลองการถ่ายภาพผลึก ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน (รูปที่ 3.5A) จะถูกติดตั้ง ก่อนการถ่ายภาพชุดเลนส์จะถูกติดตั้งไปที่สมาร์ทโฟนโดยหนีบเลนส์เข้ากับกล้องด้านหลัง และปรับขึ้นเลนส์ให้อยู่ตรงกลางเลนส์กล้องหลังของสมาร์ตโฟนดังแสดงในรูปที่ 3.5B และวางบนฐานดังแสดงในรูปที่ 3.5C ตัวอย่างจะถูกวางไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และเลนส์ ในการถ่ายภาพผลึกจะทำการถ่ายภาพผลึกแบบไม่ใช้ (รูปที่ 3.5D) และใช้แสงโพลาไรซ์ (รูปที่ 3.5E และ F) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่ายโดยการถอดประกอบชิ้นโพลาไรเซอร์ โดยมีขั้นตอนการถ่ายภาพเหมือนกันทุกประการ

เมื่อเริ่มถ่ายภาพผลึกเสียบปลั๊กอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เข้ากับแบตเตอรี่เปิดสวิตช์ไฟ เลือกผลึกที่สนใจศึกษา จากนั้นแตะหน้าจอบริเวณที่ต้องการโฟกัส หรือแตะค้างเพื่อใช้ AF/AE LOCK กล้องจะปรับแสงและลือจุดโฟกัส โฟกัสภาพโดยใช้ปุ่มปรับระดับด้านข้างฐานวางสมาร์ตโฟน จากนั้นหมุนปุ่มปรับโพลาไรเซอร์เพื่อปรับให้ได้ภาพแบบครอสโพลาไรซ์โดยให้พื้นหลังมืดสนิท (รูปที่ 3.5E และ F) และกดบันทึกภาพ

อนึ่งในการการถ่ายภาพสามารถเพิ่มกำลังขยายของกล้องเพื่อดูรายละเอียดผลึกที่ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยการเปลี่ยนไปใช้เลนส์ที่มีกำลังขยายสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มกำลังขยายได้ด้วยการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัล ภาพที่ได้จากชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์คุณภาพสูง



รูปที่ 3.5 (A) ชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟน (B) การหนีบสมาร์ทโฟนติดกับสมาร์ทโฟน (C) การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ และตัวอย่างแบบพร้อมใช้งาน (D) การถ่ายภาพผลึกแบบไม่ใช้แสงโพลาไรซ์ (E) การถ่ายภาพผลึกแบบแบบโครสโพลาไรซ์โดยไม่ใช้การขยายแบบดิจิทัล (F) การถ่ายภาพผลึกแบบแบบโครสโพลาไรซ์โดยใช้การขยายแบบดิจิทัล



รูปที่ 3.6 บันทึกภาพผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

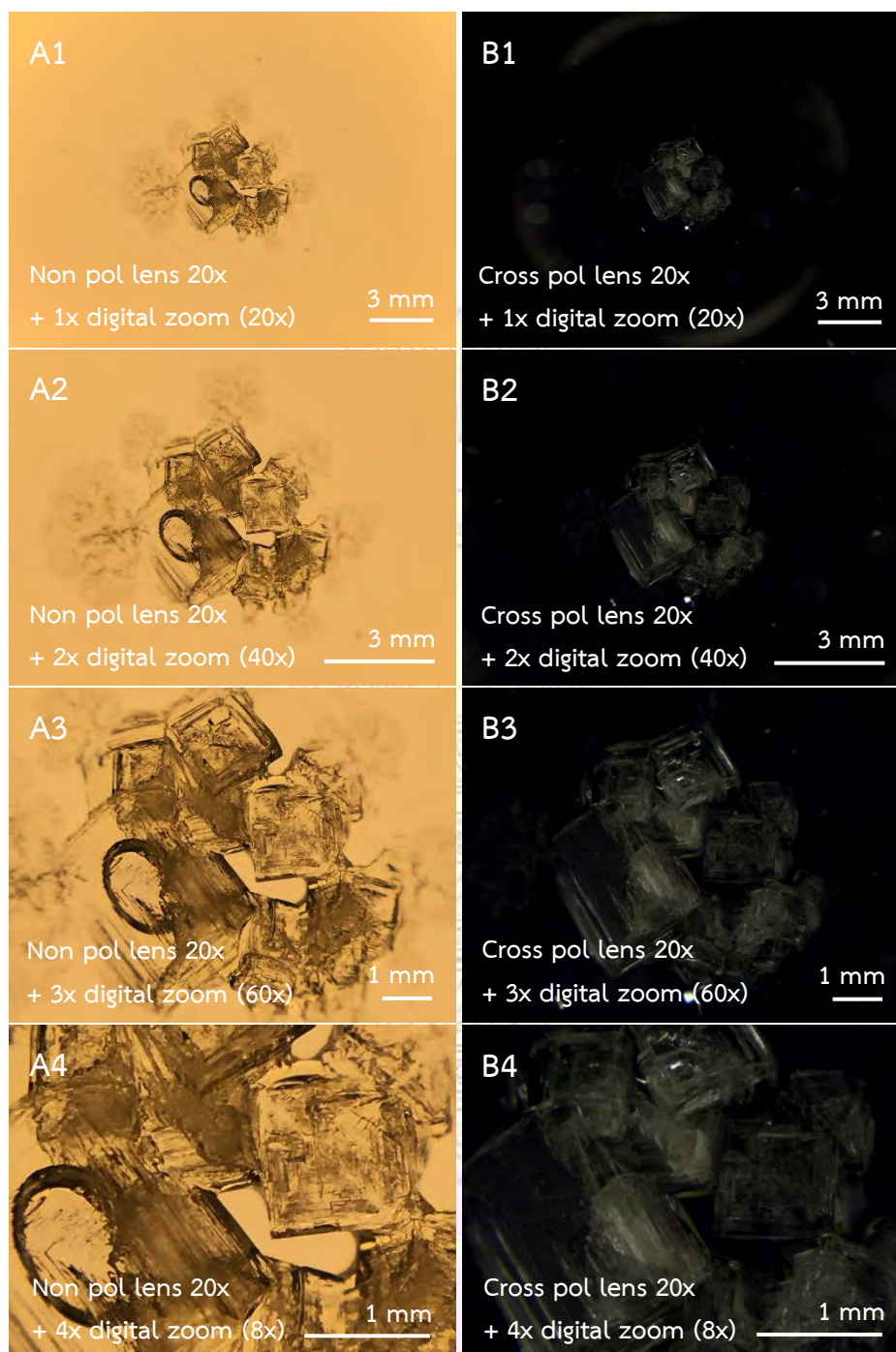
4.1 การถ่ายภาพผลึกเกลือด้วยด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับ สมาร์ทโฟน

ในการทดลองถ่ายภาพผู้วิจัยได้แบ่งผลึกเกลือออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มผลึกไอโซทรอปิกซึ่งได้แก่ โพลีเอทิลีนไอกไซด์ (รูปที่ 4.1 และ 4.2) โพลีเอทิลีนคลอไรด์ (จากรูปที่ 4.3 และ 4.4) โซเดียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.5 และ 4.6) และกลุ่มผลึกแอนไอโซทรอปิก ได้แก่ กลูโคส (รูปที่ 4.7 และ 4.8) แมกนีเซียมซัลเฟต (รูปที่ 4.9 และ 4.10) โซเดียมซัลเฟต (รูปที่ 4.11 และ 4.12) ซิลเวอร์อะซิเตต (รูปที่ 4.13 และ 4.14) โซเดียมอะซิเตต (รูปที่ 4.15 และ 4.16) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.17 และ 4.18) โมโนโซเดียมกลูตาเมต (รูปที่ 4.19 และ 4.20) จาก โซเดียมซัลเฟต (รูปที่ 4.21 และ 4.22) จากนั้นถ่ายภาพกลุ่มผลึกด้วยชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบ โพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟนภายใต้การฉายแสงแบบ Non-Polarized light และ Cross-Polarized light เพื่อ เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ได้จากผลึกทั้งสองกลุ่ม

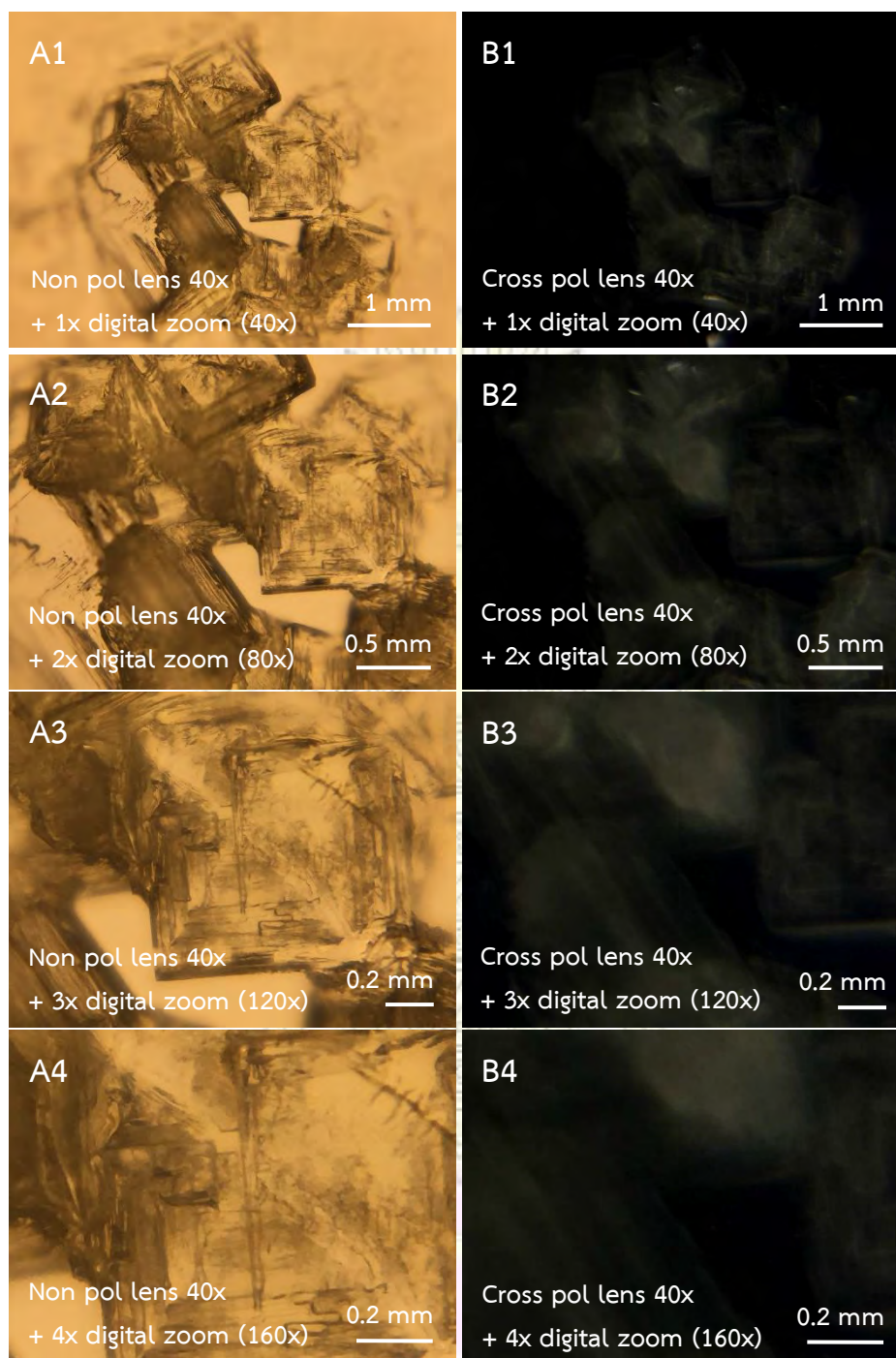
จากการทดลองถ่ายภาพผลึกไอโซทรอปิกซึ่งจะเป็นผลึกที่เป็นรูปทรงลูกบาศก์ ภายใต้การฉายแสงแบบ Non-Polarized light (รูปที่ 4.1 - 4.6) พบว่าชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ทโฟนสามารถให้รายละเอียดของผลึกได้เช่นเดียวกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ทั่วไป สามารถบอกสัญญาณวิทยาของ ผลึก ได้แก่ ผลึกโพลีเอทิลีนไอกไซด์มีรูปทรงเป็นลูกบาศก์ ผลึกโพลีเอทิลีนคลอไรด์มีรูปทรงเป็นลูกบาศก์ และ โซเดียมคลอไรด์มีรูปทรงเป็นลูกบาศก์ และสามารถบอกขนาด รอยขีดข่วน และการเกิดฟองอากาศภายในผลึกได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเพียงพอที่จะใช้ในการศึกษาโครงสร้าง และการโตของผลึกทั่วไปได้ การทดลองดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สามารถใช้ในการถ่ายภาพผลึกที่มีคุณภาพ และใช้ใน ห้องปฏิบัติการได้ เมื่อเปลี่ยนการฉายแสงของแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบ Cross-Polarized light ไม่พบ ปรากฏการณ์ไบรฟริงเจนซ์ในผลึก ภาพที่ถ่ายได้เป็นสีดำมืด ซึ่งบ่งบอกถึงการที่แสงไม่สามารถผ่านโพลาไรเซอร์ตัว ที่สองมาได้ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลึกมีคุณสมบัติเป็นไอโซทรอปิก ซึ่งจะไม่เกิดปรากฏการณ์ไบรฟริงเจนซ์ภายใต้ การฉายแสงแบบ Cross-Polarized light ทั้งนี้เนื่องจากผลึกไอโซทรอปิกมีค่าดัชนีหักเหเพียงค่าเดียว ผลึกพวกนี้ ไม่มีความเป็นแอนไอโซทรอปิก ค่า reflective index ในแนวแกน x, แกน y และแกน z มีค่าเท่ากัน ทำให้ไม่มา บิดระนาบของแสง แสงจึงไม่สามารถผ่านออกมาได้ ภาพที่เห็นจึงเป็นสีดำมืด อย่างไรก็ตามเมื่อถ่ายภาพด้วยชุด

อุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Cross-Polarized light ยังสามารถถ่ายภาพผลึกไอโซทรอปิกของโพแทสเซียมไอโอไดด์ (รูปที่ 4.1 และ 4.2) ได้บางส่วน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการหักเหของแสง

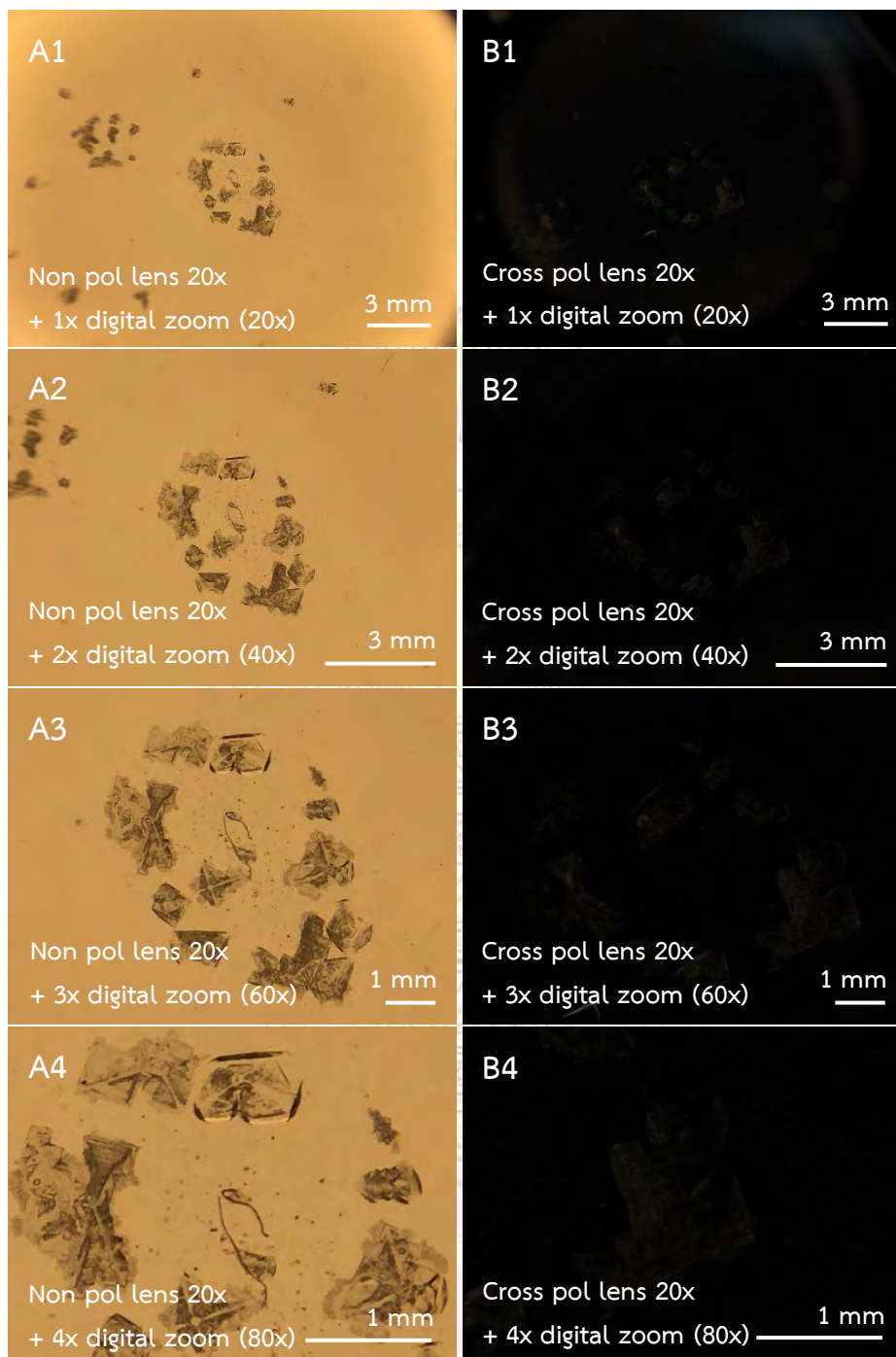
เมื่อทดลองถ่ายภาพผลึกแอนไอโซทรอปิก ซึ่งจะเป็นผลึกที่มีรูปทรงแบบเตตระโกนัล เฮกซะโกนัล ไตรโกนัล ออร์โธโรมบิก โมโนคลินิก และไตรคลินิก ภายใต้การฉายแสงแบบ Non-Polarized light (รูปที่ 4.7 - 4.22) พบว่าชุดอุปกรณ์ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์เพื่อใช้กับสมาร์ตโฟนสามารถให้รายละเอียดของผลึกได้เช่นเดียวกันกับกรณีของผลึกไอโซทรอปิก สามารถบอกสัญญาณวิทยาและขนาดของผลึกได้ เมื่อเปลี่ยนการฉายแสงของแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบ Cross-Polarized light วิธีการปรับแสงให้เป็นครอสโพลาไรซ์ก่อนวางตัวอย่างสังเกตได้จากพื้นหลังจะมีมืด เพราะแสงผ่านไม่ได้ แต่พอมีผลึกแอนไอโซทรอปิกมาวางระหว่างโพลาเซอร์ จะเกิดการบิดระนาบของแสงให้แสงผ่านมาได้ ก็ทำให้สามารถบันทึกภาพผลึกได้ เนื่องจากมีแสงที่ไปตกกระทบผลึกแล้วตกมาหา detector เพราะฉะนั้นจากการถ่ายรูปได้ในแต่ละแนวบิดระนาบของแสง แสงแต่ละความยาวคลื่นถูกบิดไม่เท่ากัน ปริมาณของแสงที่เกิดมาเป็นแสงขาว พอถูกบิดแล้วแสงสีขาว แสงสีเขียวย และแสงสีอื่น ๆ ไม่ได้วิ่งออกมาด้วยความเข้มเต็มที่เท่าเดิม หรืออัตราส่วนเท่าเดิม บางมุมแสงสีแดงออกมามาก บางมุมแสงสีแดงออกมาน้อย เวลาตกมาที่ detector จึงจะเห็นว่าผลึกบางจุดเป็นสีแดง บางจุดเป็นสีน้ำเงิน หรือแถบสีเหลือง เพราะแต่ละระนาบบิดระนาบแสงไม่เท่ากัน และแต่ละจุดของการบิด ความเข้มของแสงแต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากันอีก แต่ก็ เป็นแพทเทินที่แปรผันตามความหนา ตามชนิดของผลึก จึงเห็นสีออกมาเป็นแบบนี้ พบปรากฏการณ์ไบรฟริงเจนซ์ในผลึก ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลึกมีคุณสมบัติเป็นแอนไอโซทรอปิก ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีหักเหมากกว่าหนึ่งค่าในผลึก โดยปรากฏการณ์ไบรฟริงเจนซ์ในผลึกแอนไอโซทรอปิกจะทำให้เกิดสีสันที่หลากหลาย ตั้งแต่สีเหลือง สีแดง สีม่วง และสีฟ้า ตามลำดับ เรียกว่า retardation ซึ่งขึ้นกับ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง ค่าดัชนีหักเหของผลึก และความหนาของผลึก ความเข้มของสี (retardation) จึงสามารถใช้บ่งบอกถึงความหนาบางของผลึกในบางกรณีได้ อย่างไรก็ตามหากผลึกมีความหนามากเกินได้ retardation ที่ได้จะไม่มีสี (colorless) เอาไปใช้ประโยชน์คือสามารถจำแนกผลึกที่เป็นไอโซทรอปิก และแอนไอโซทรอปิกบางตัวที่เลือกมาได้



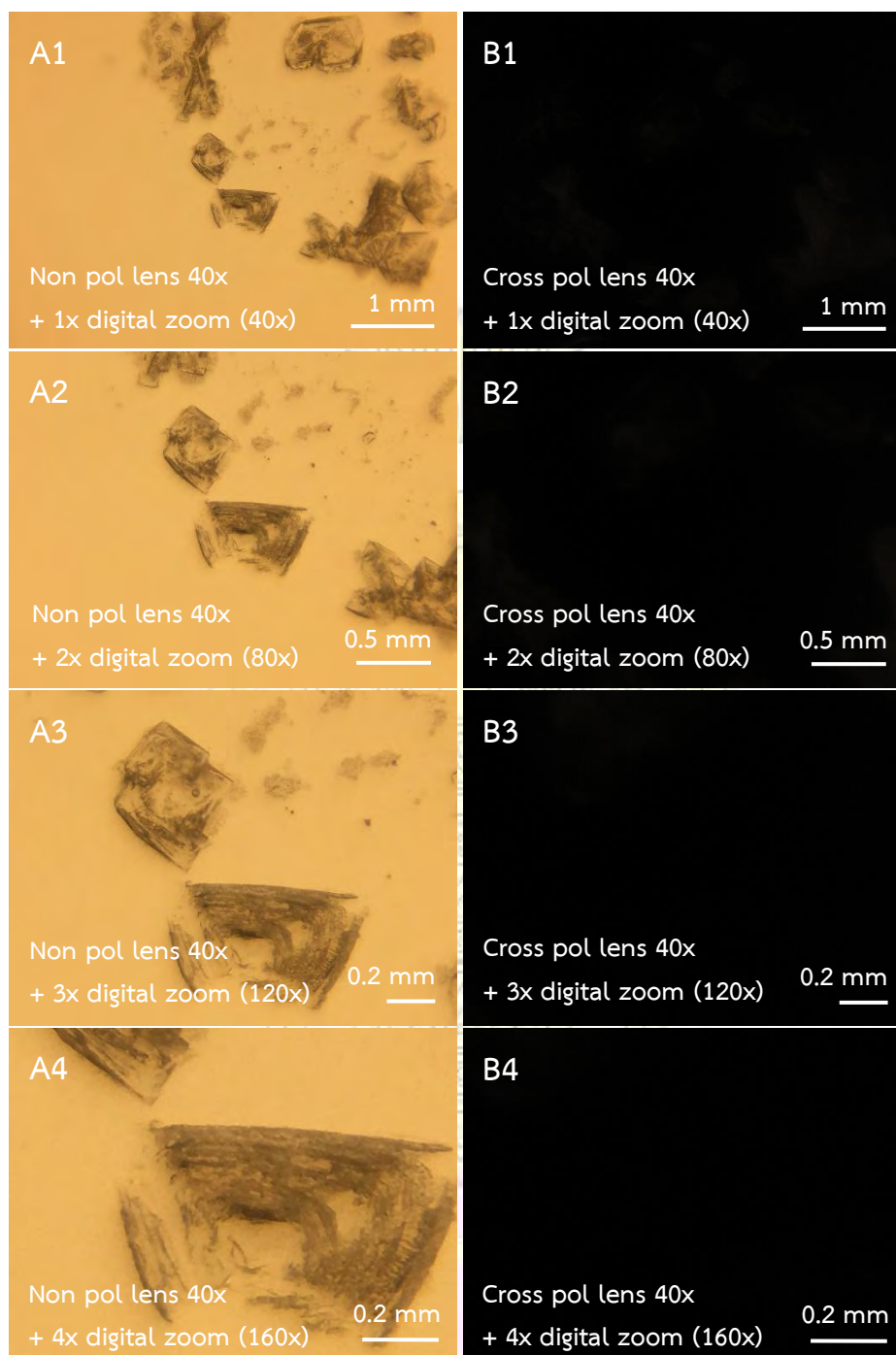
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายผลึกโพลีเอทิลีนแว๊กซ์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



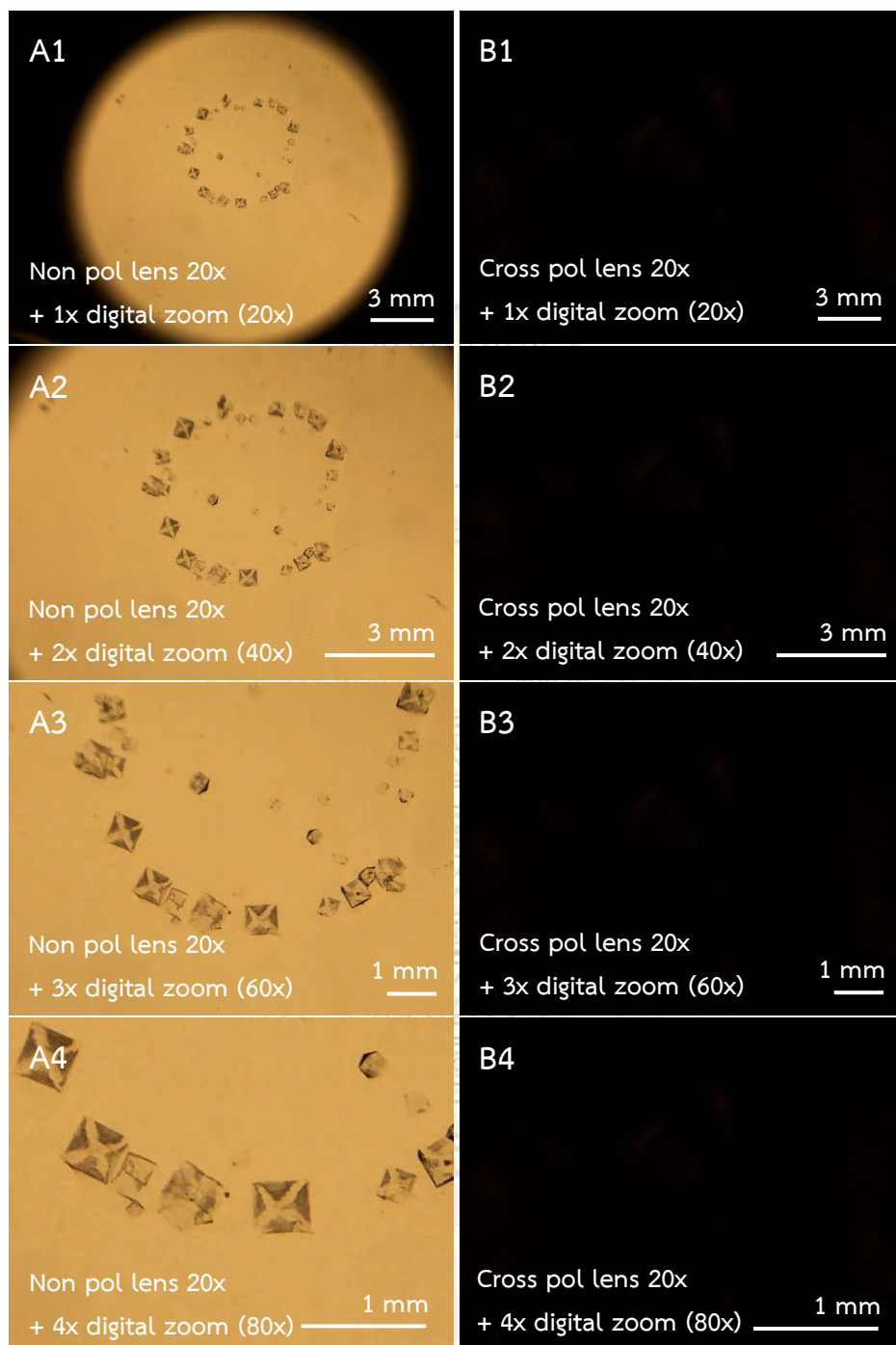
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายผลึกโพลีเอไมด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



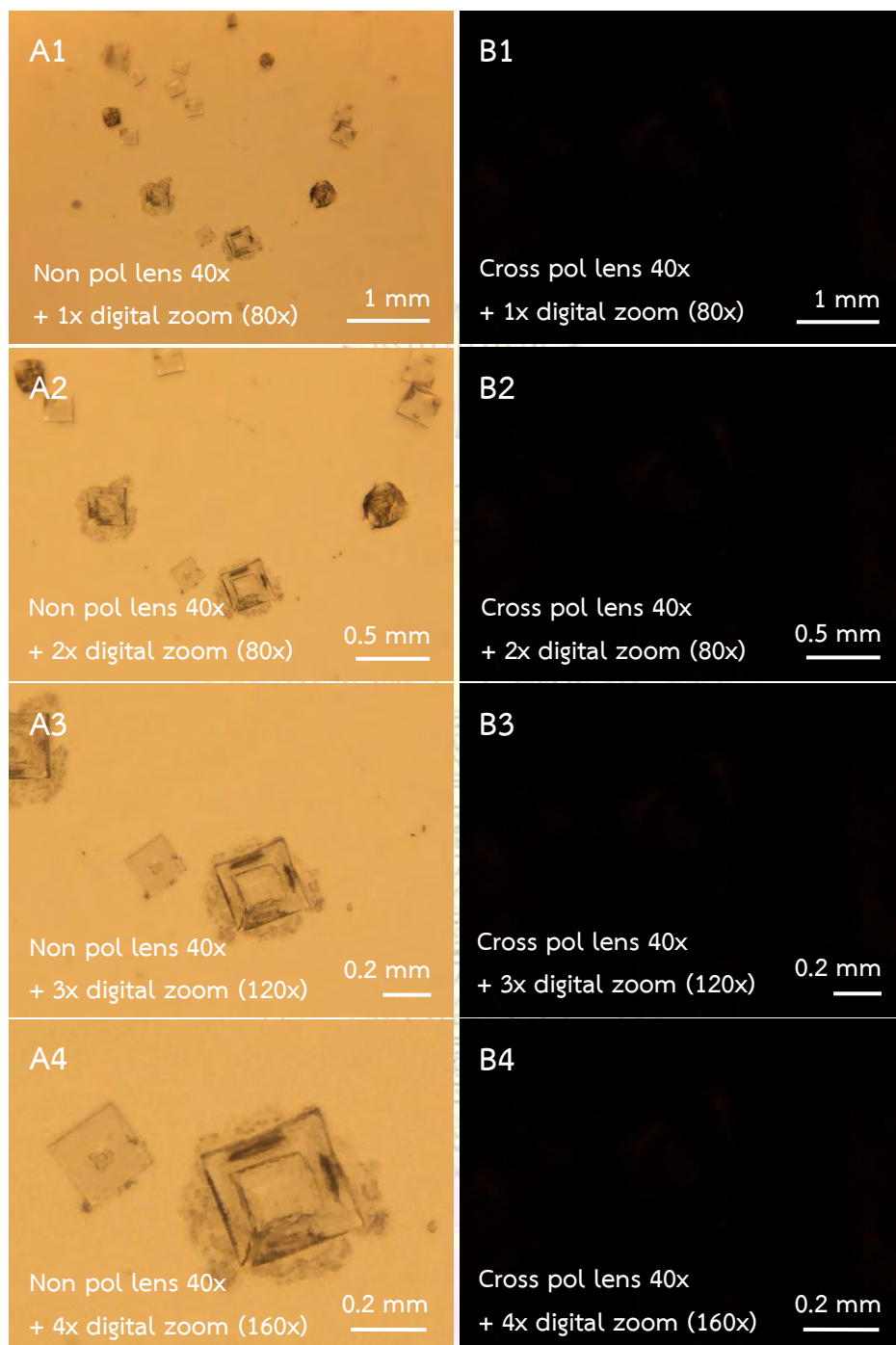
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายผลึกโฟแทสเซียมคโลไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



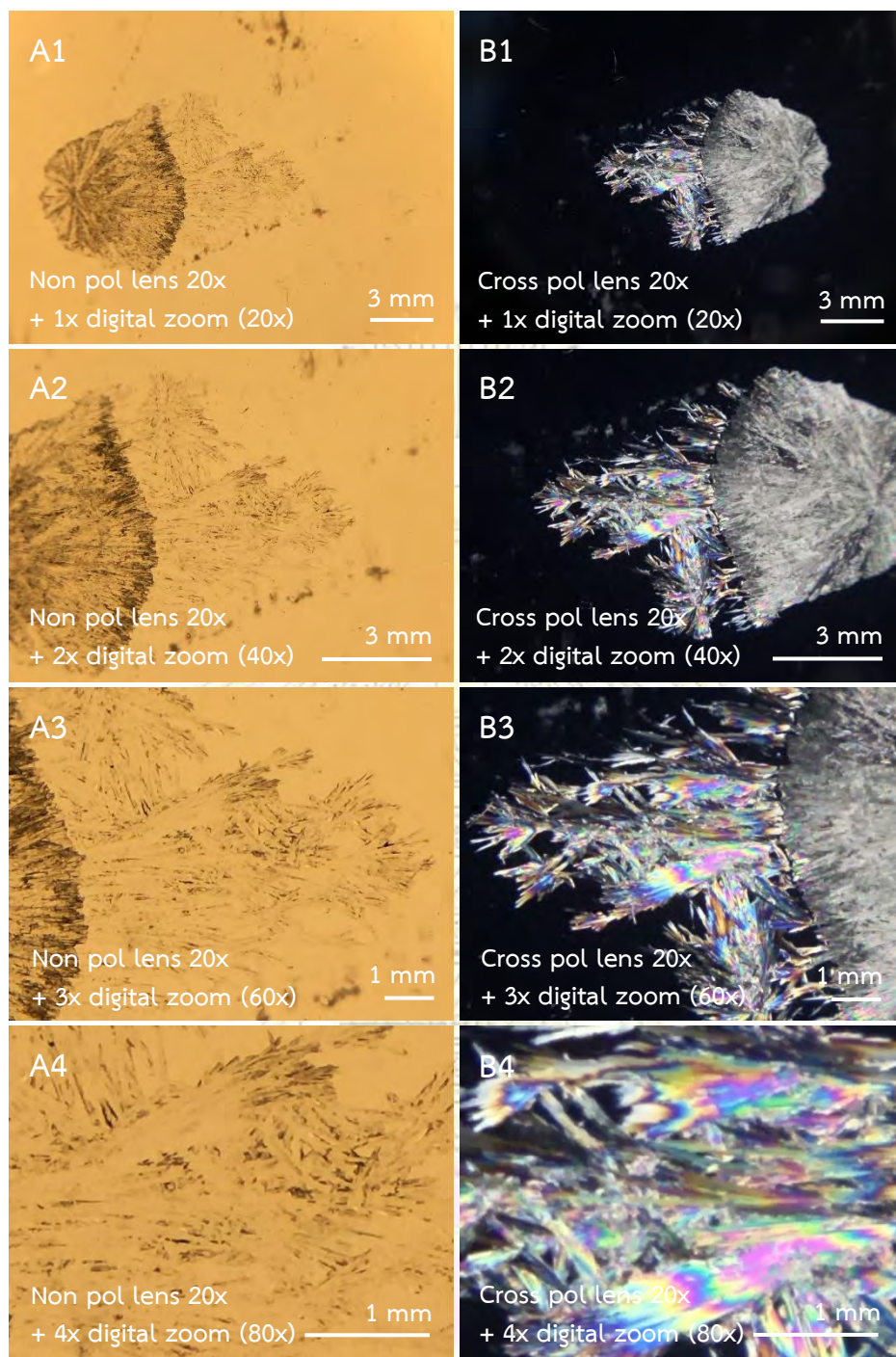
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายผลึกโฟแทสเชียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



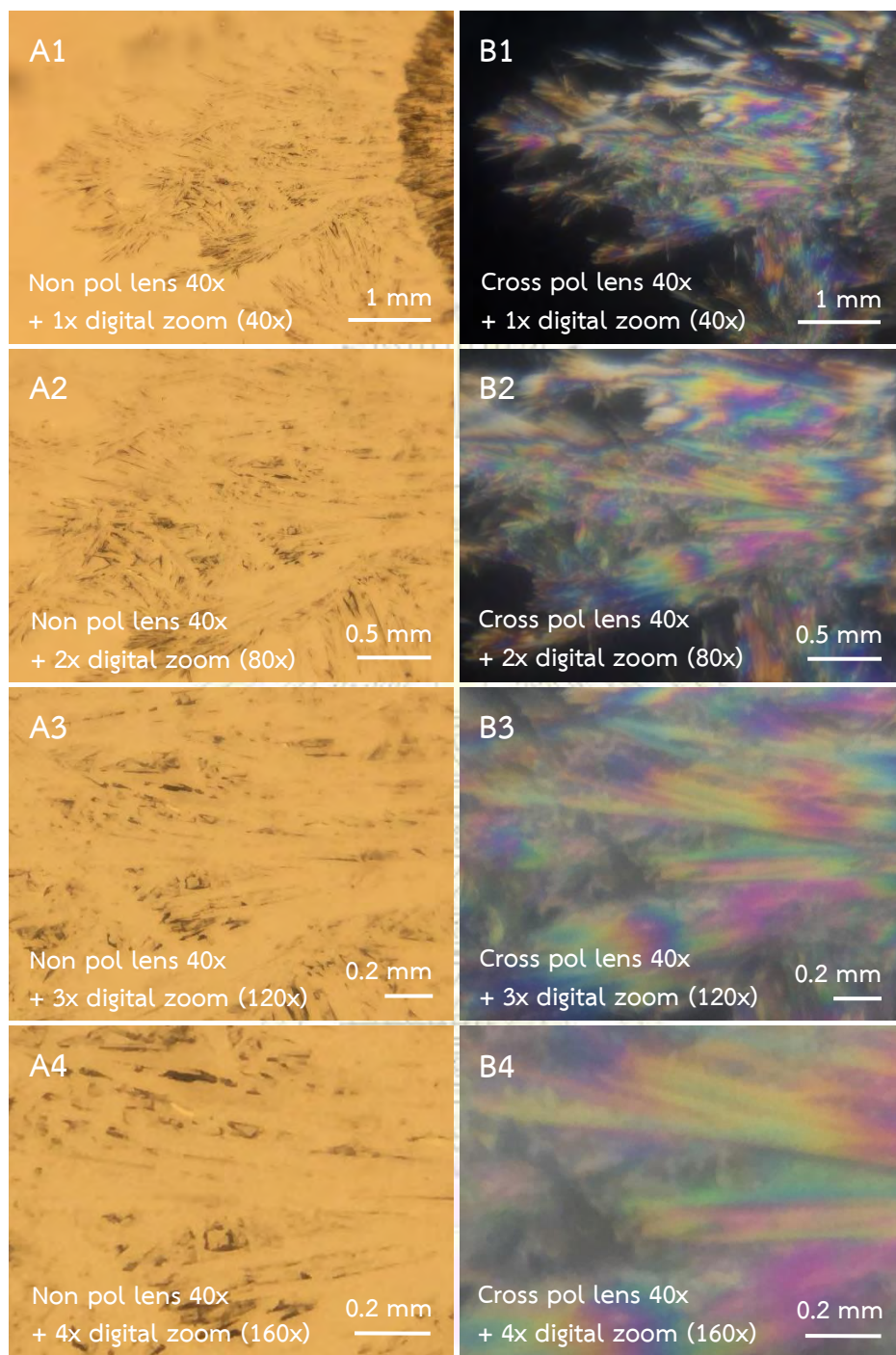
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



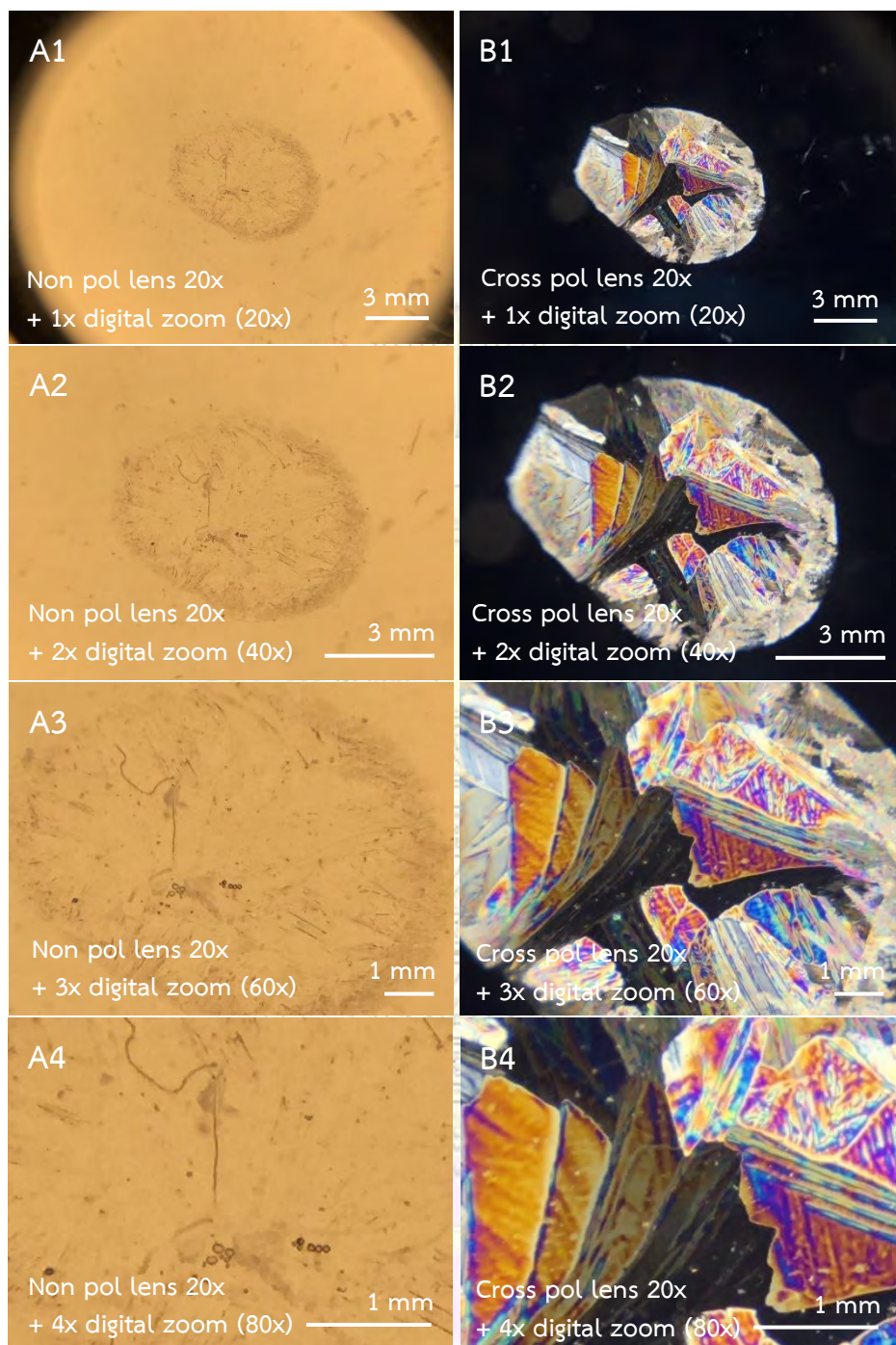
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



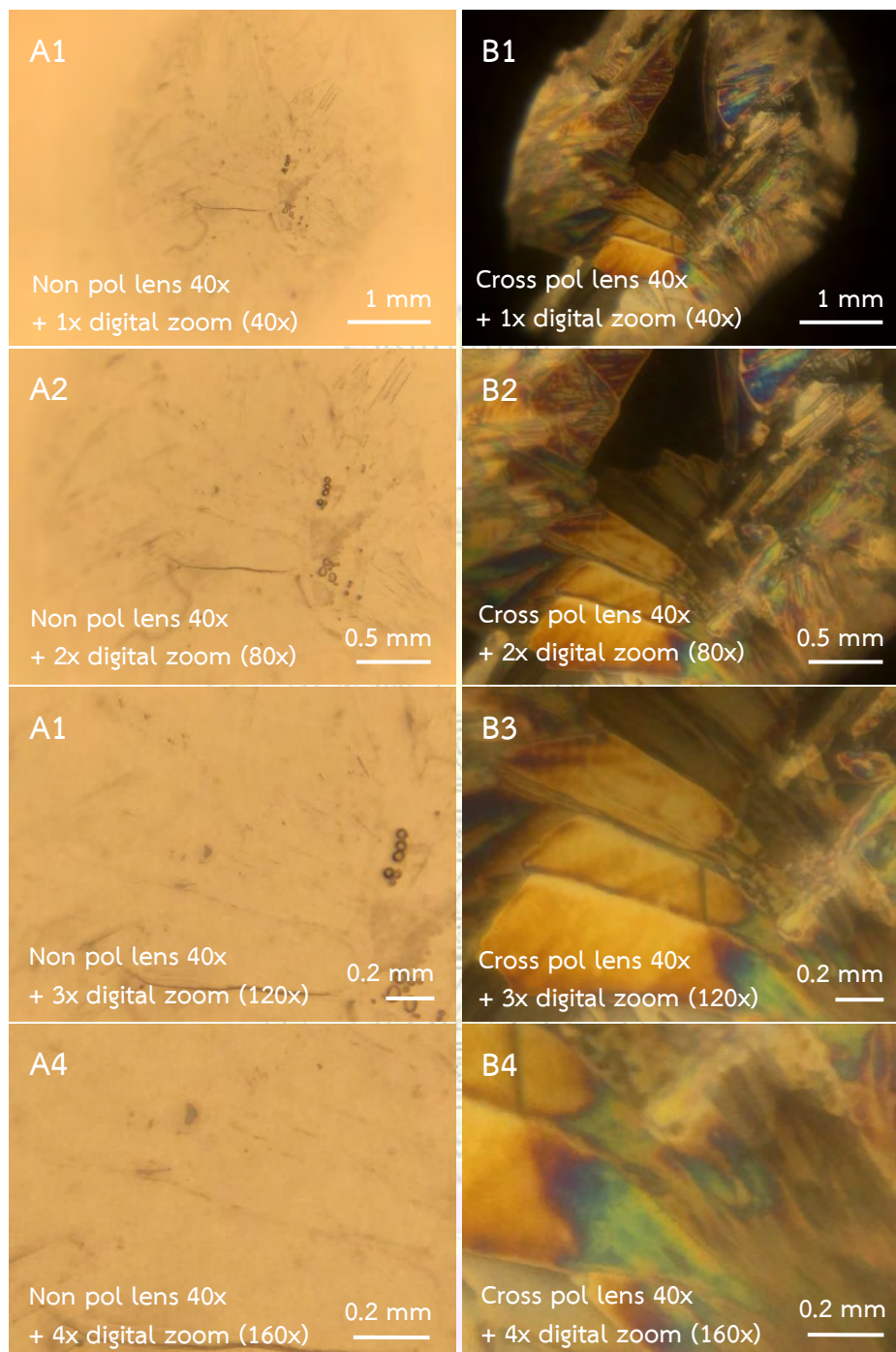
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายผลึกกลูโคสด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



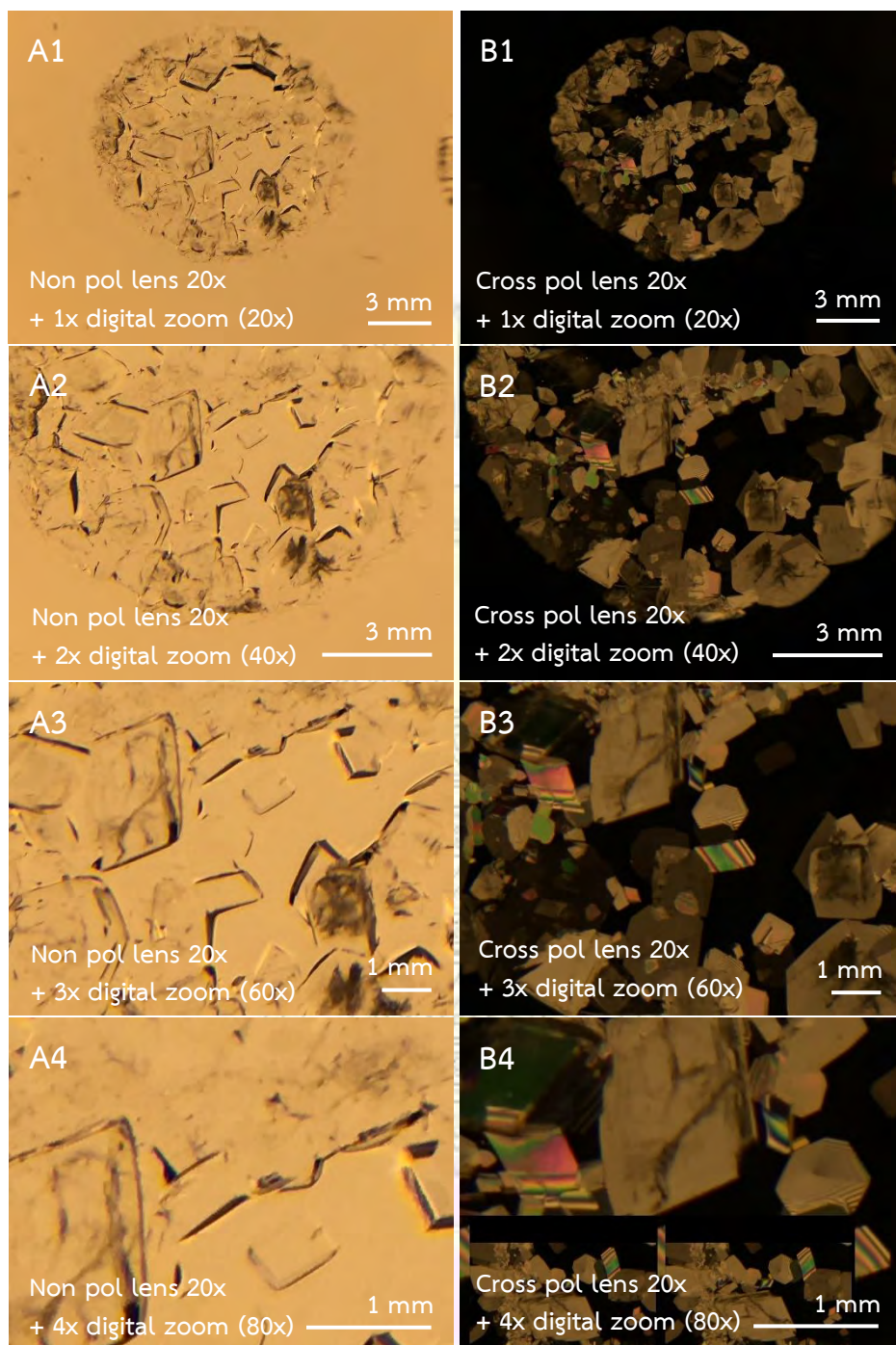
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายผลึกกลูโคสด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



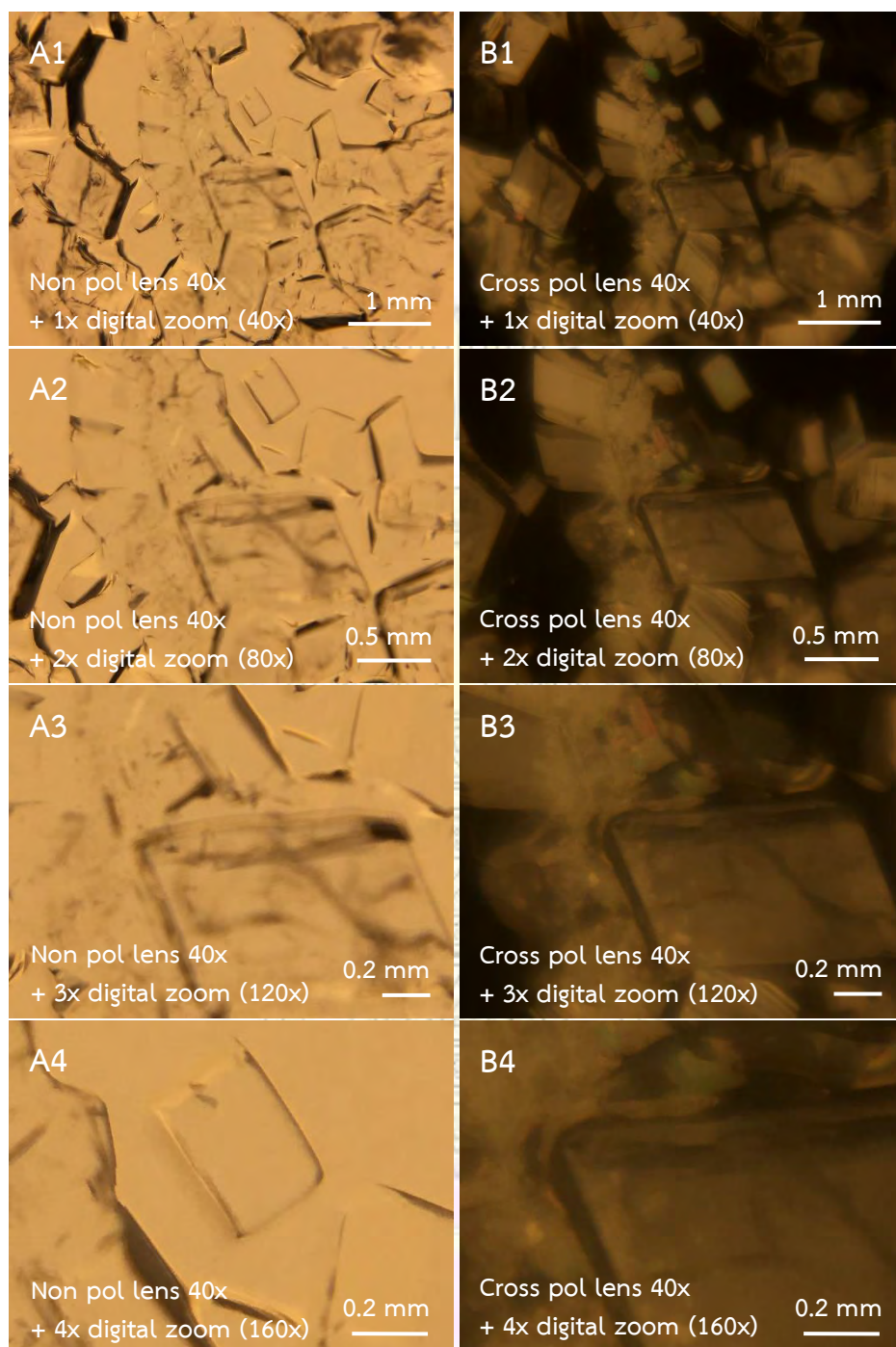
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



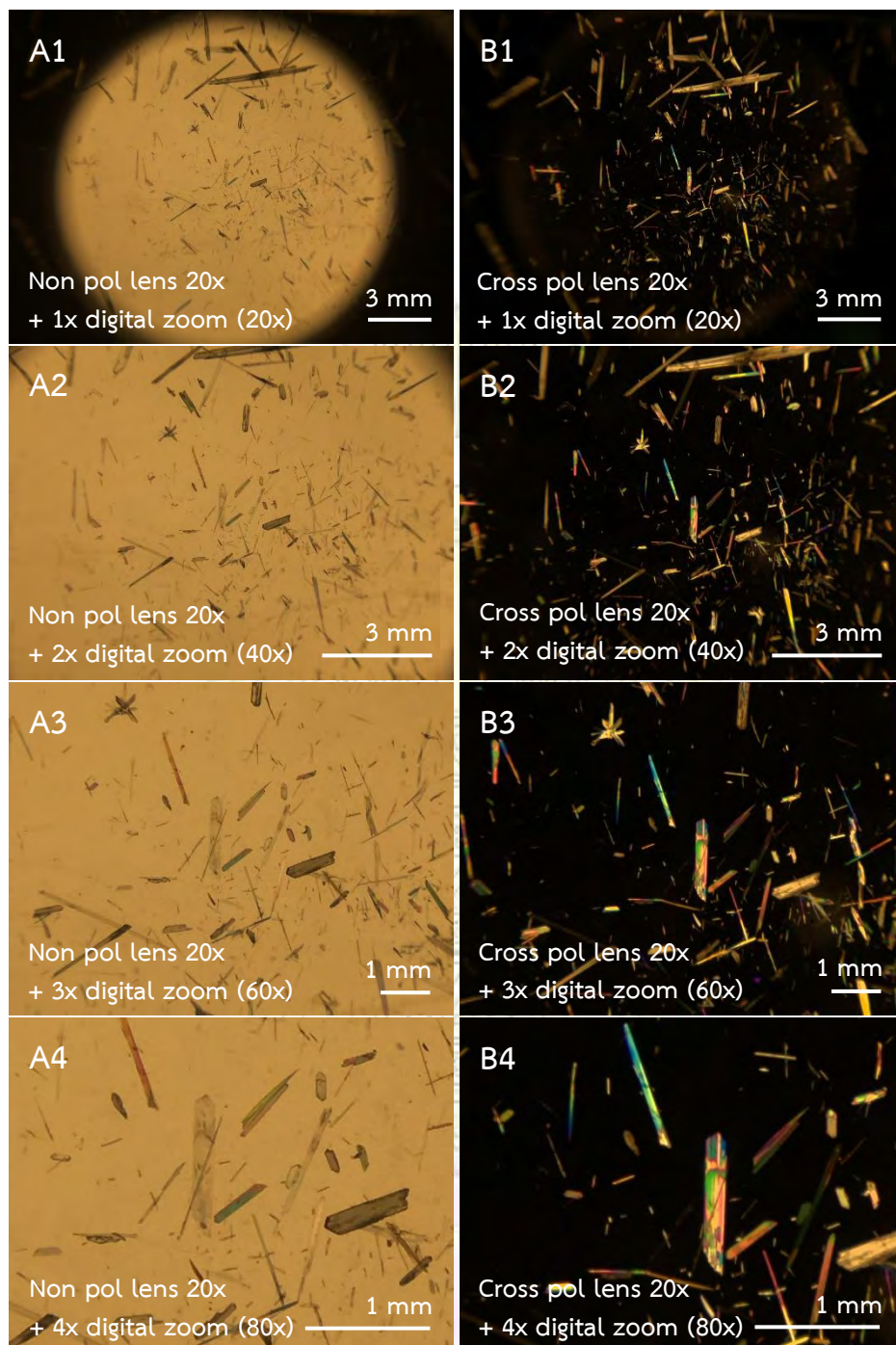
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



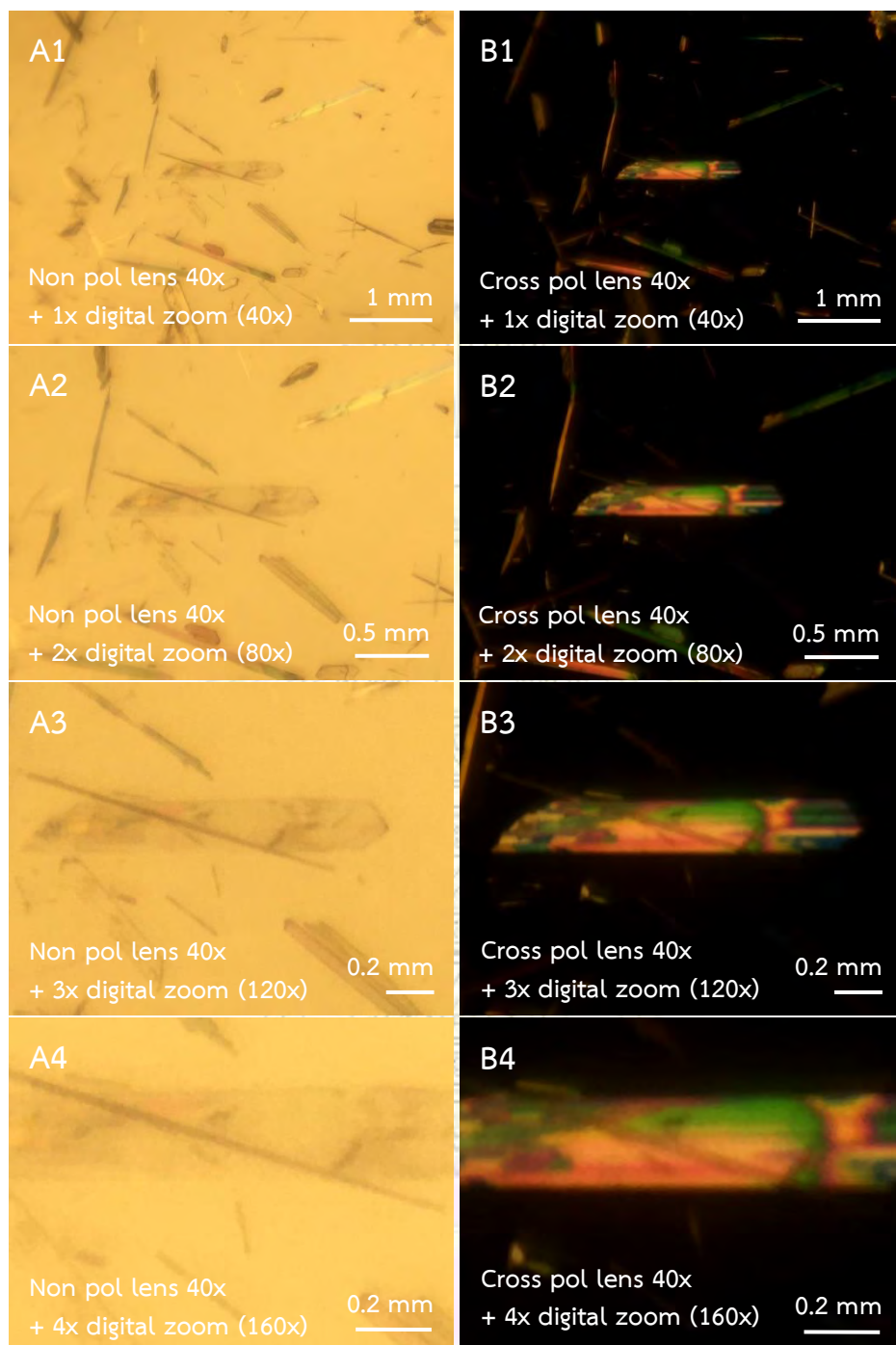
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซีเตรตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



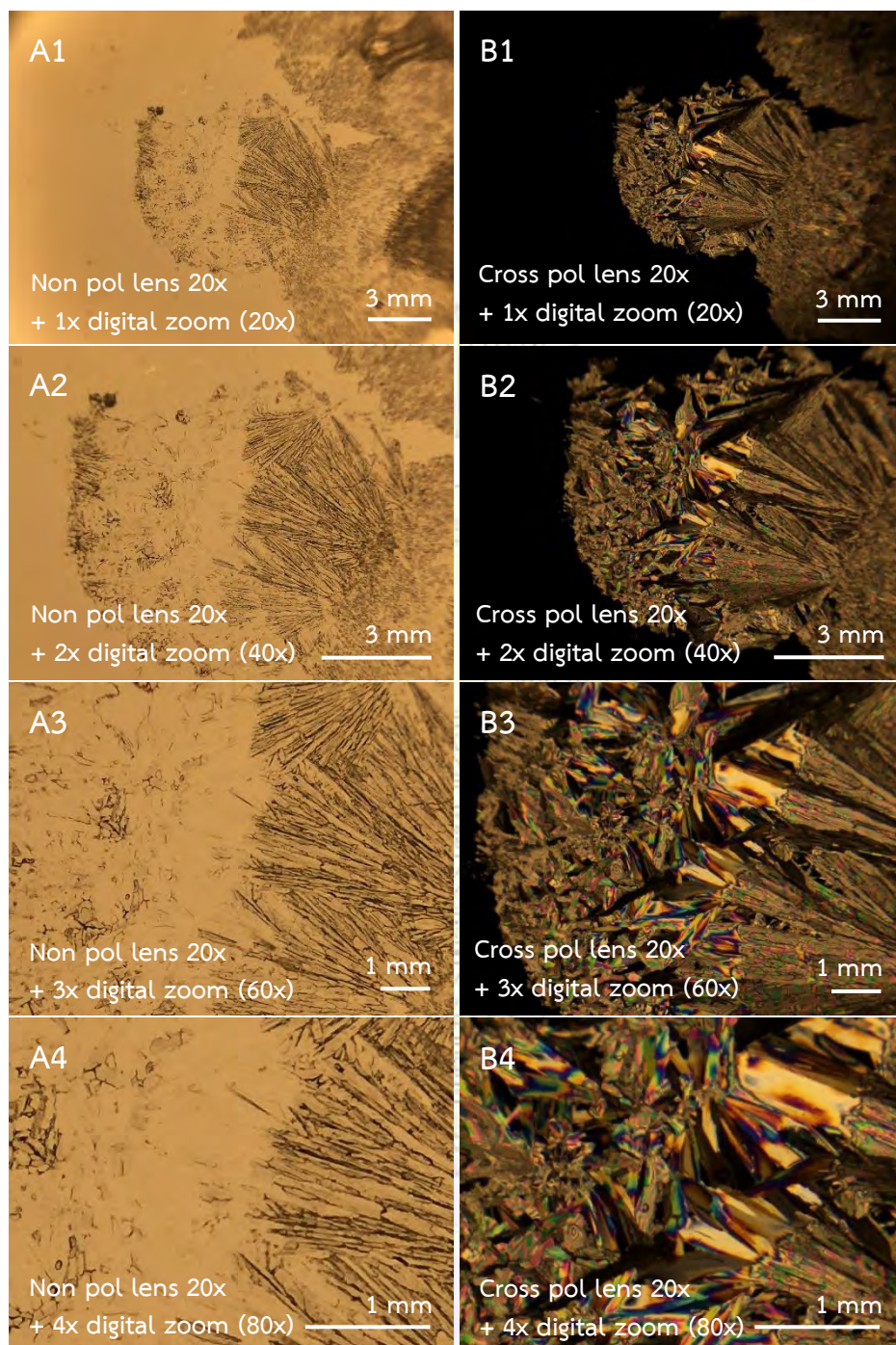
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซิติเรตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจู่หาา
 สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ
 Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



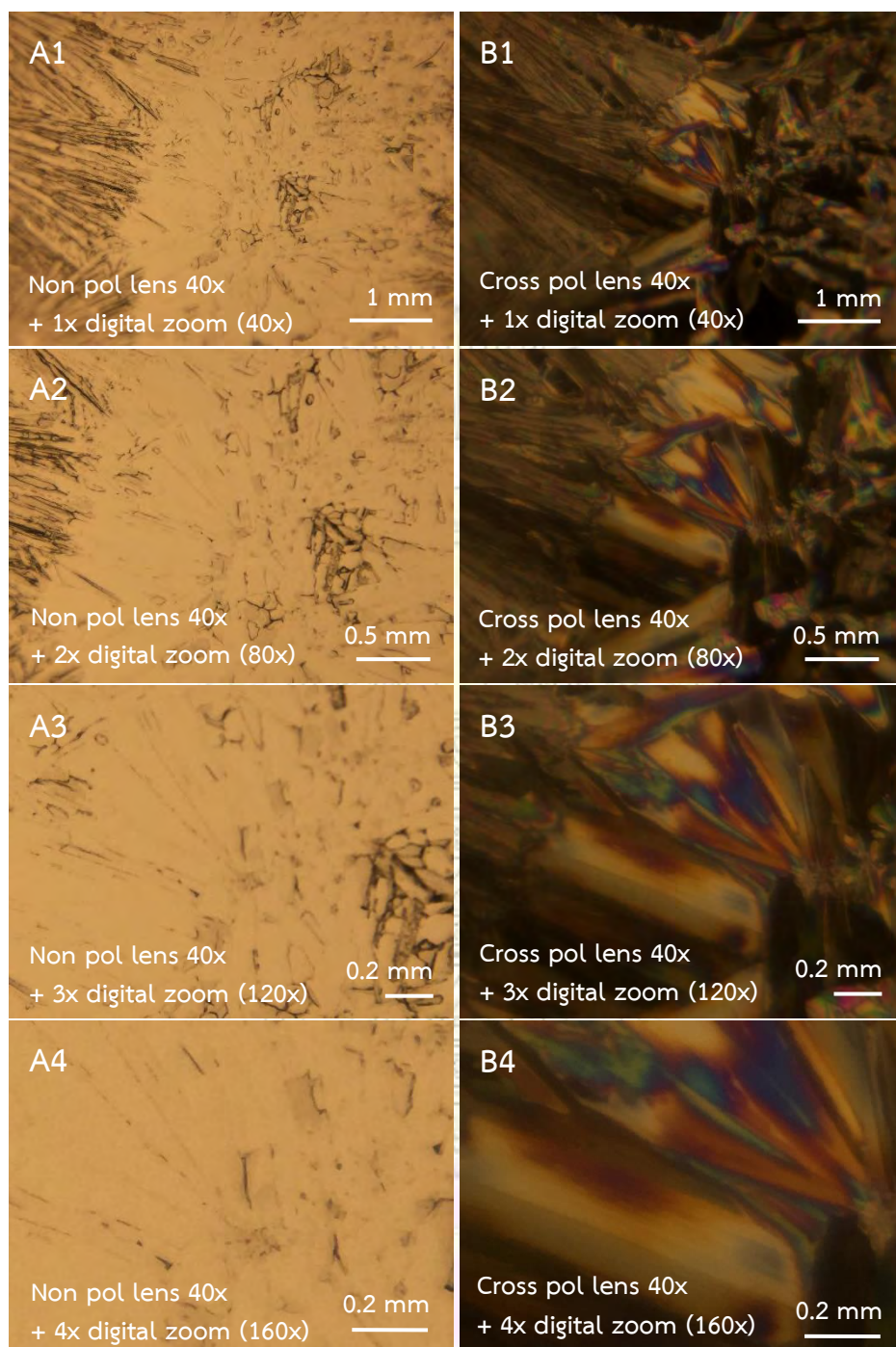
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



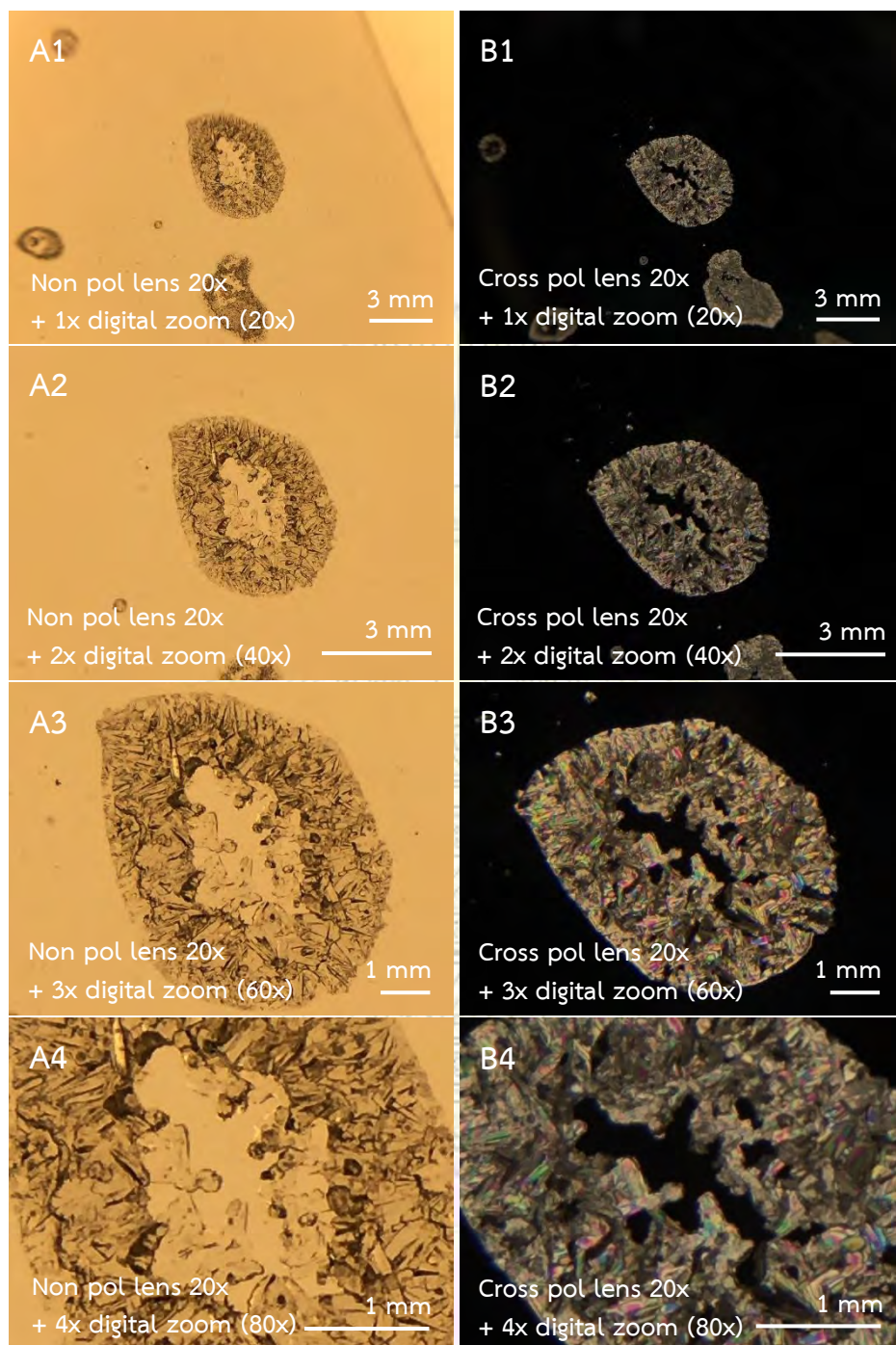
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซีเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจู่ฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



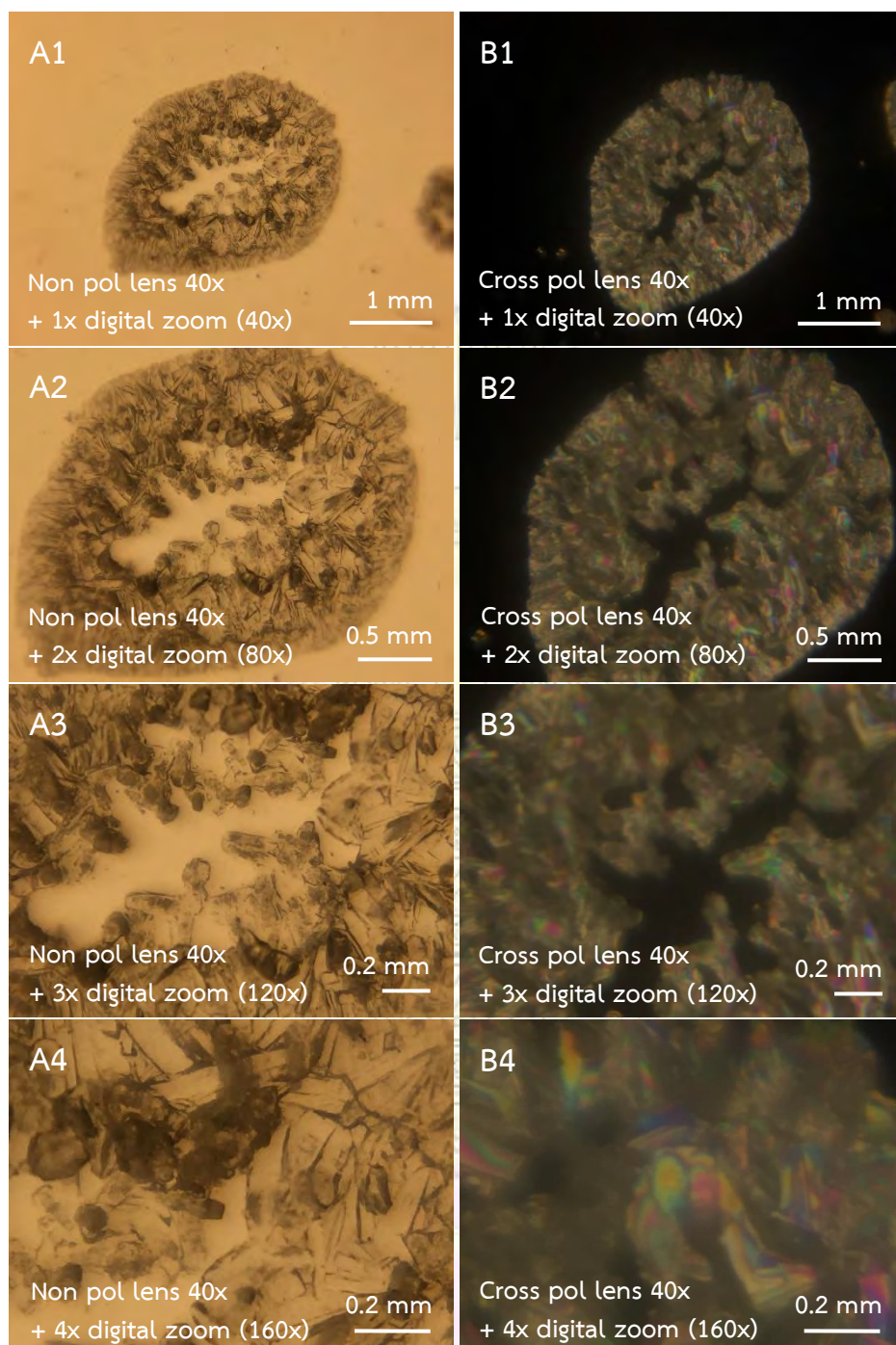
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมอะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและจู่หา
 ๓ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B)
 แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



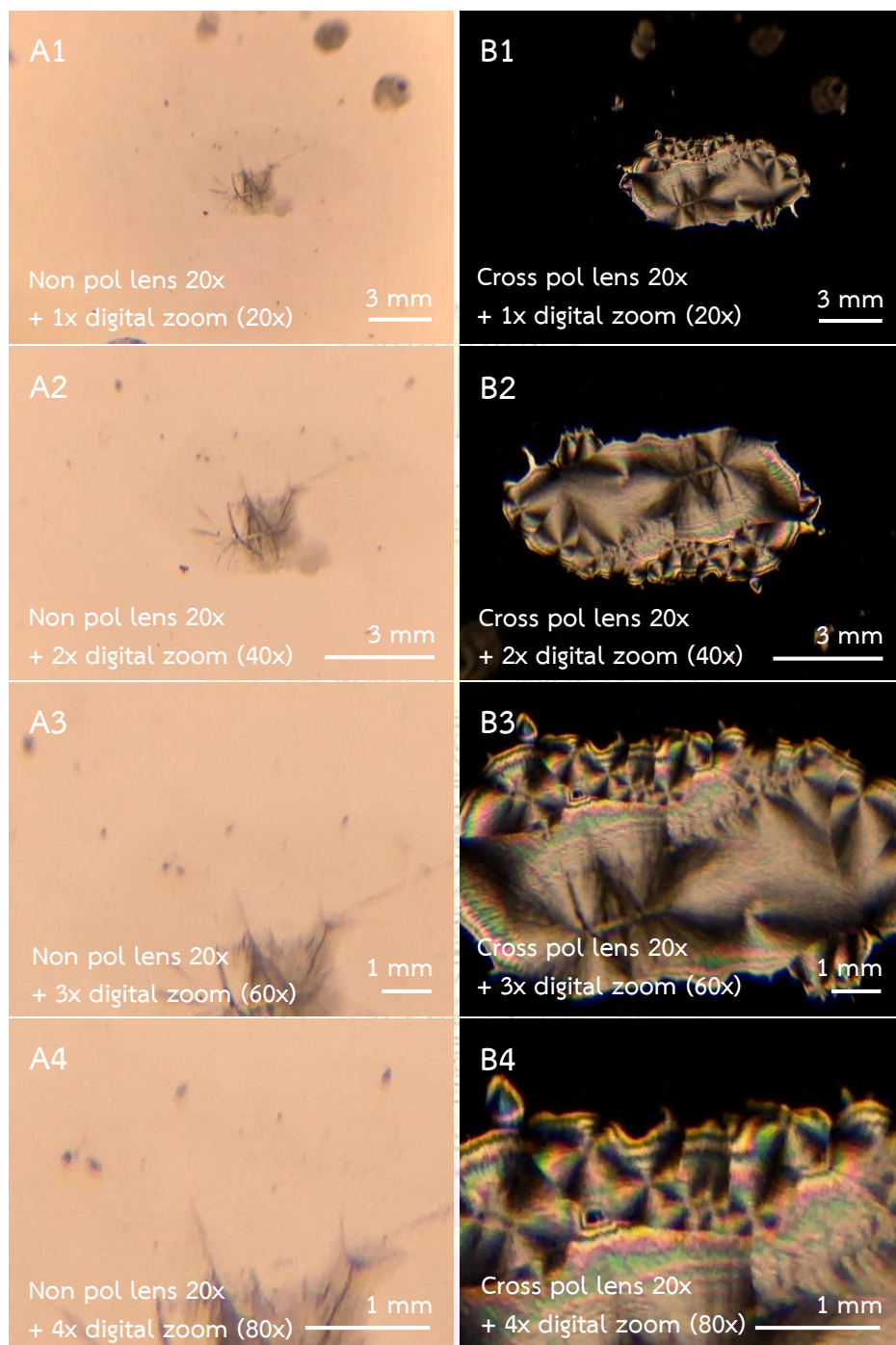
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมอะซิเตตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จูฬาวา สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



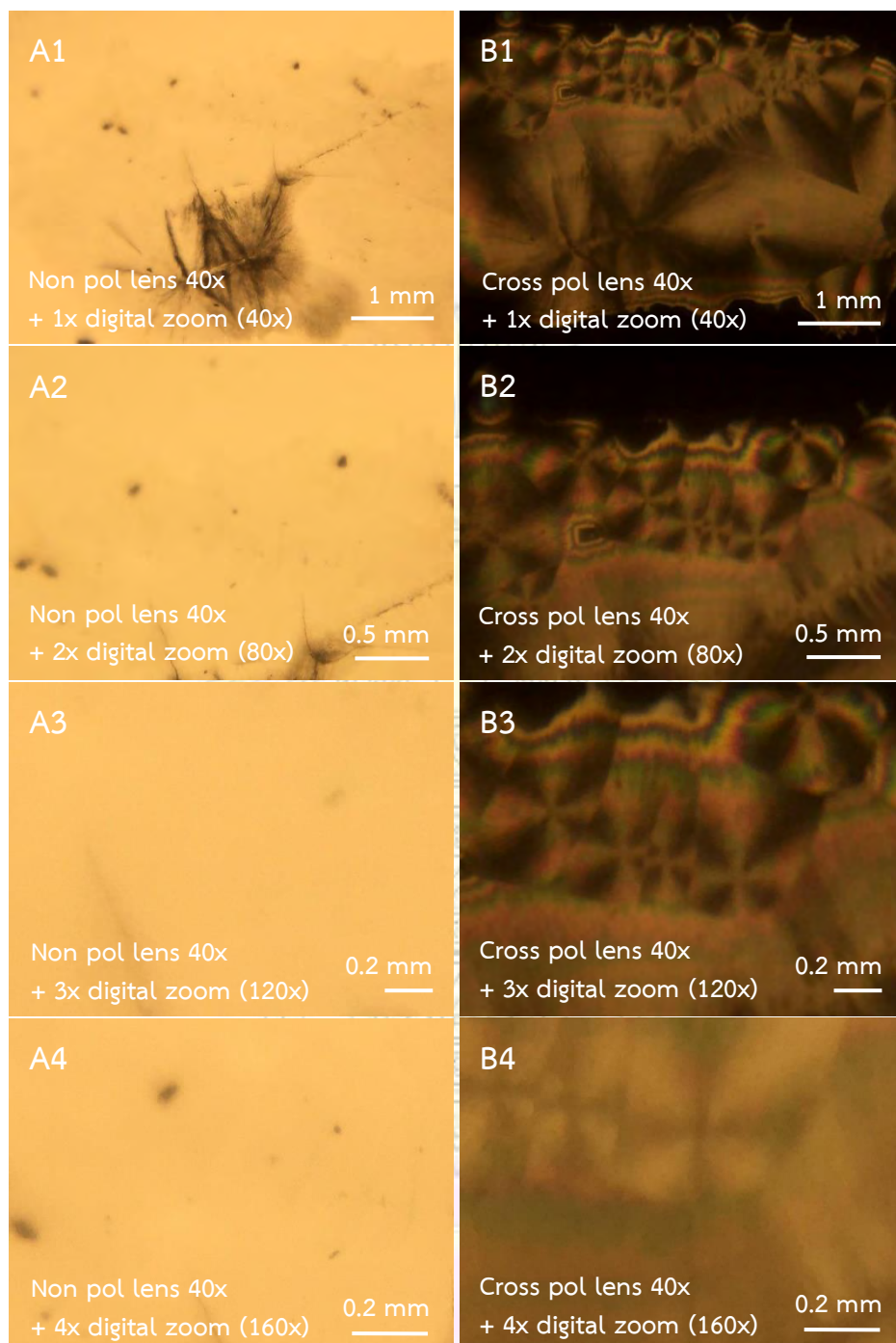
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมไฮโอซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จูฬาวา สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



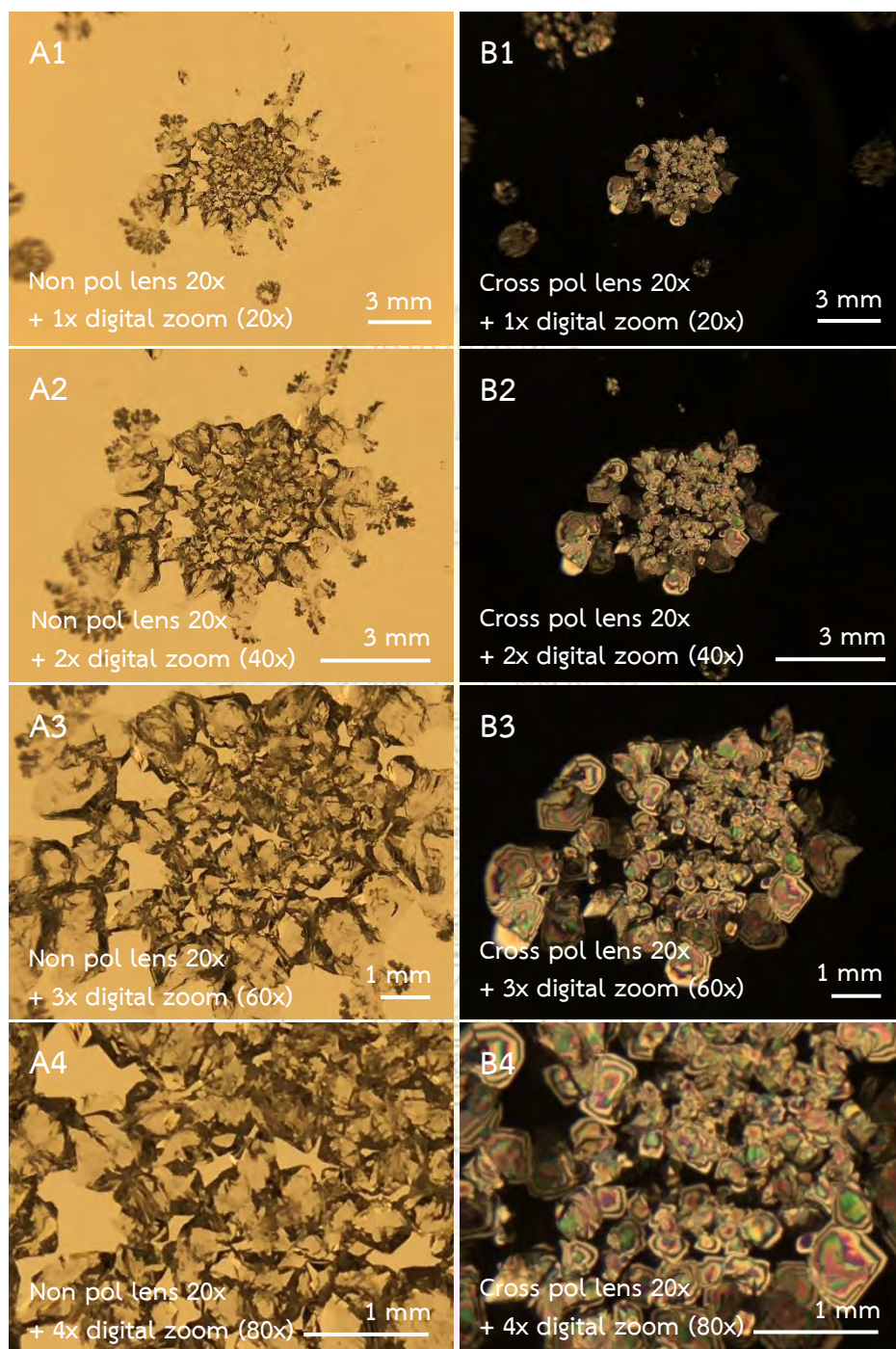
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมไฮโอซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จูฬาวา สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



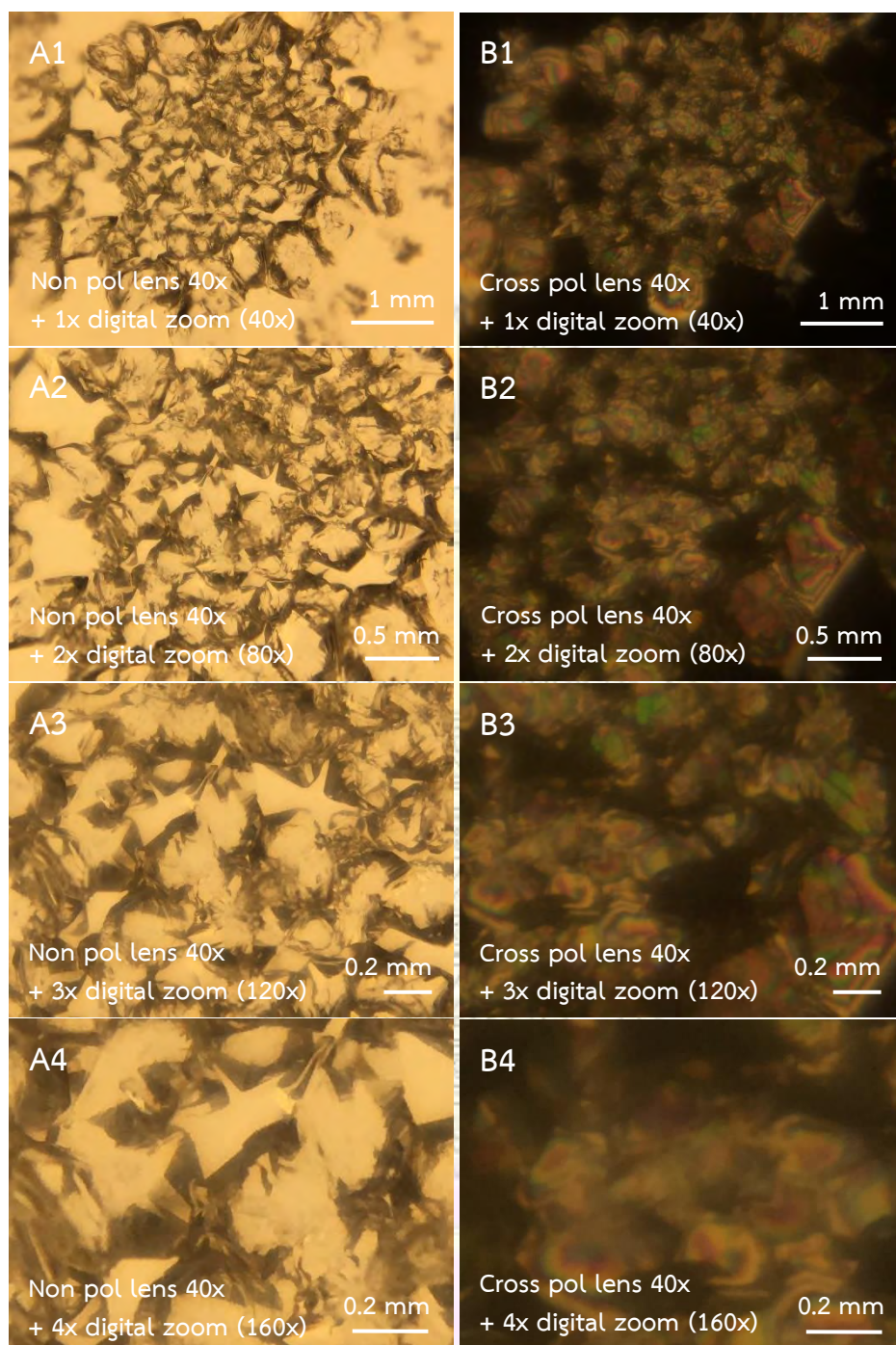
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายผลึกโมโนโซเดียมกลูตาเมตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายผลึกโมโนโซเดียมกลูตาเมตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X



รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จูฬหาฯ สามารถเลนส์กำลังขยาย 20X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X

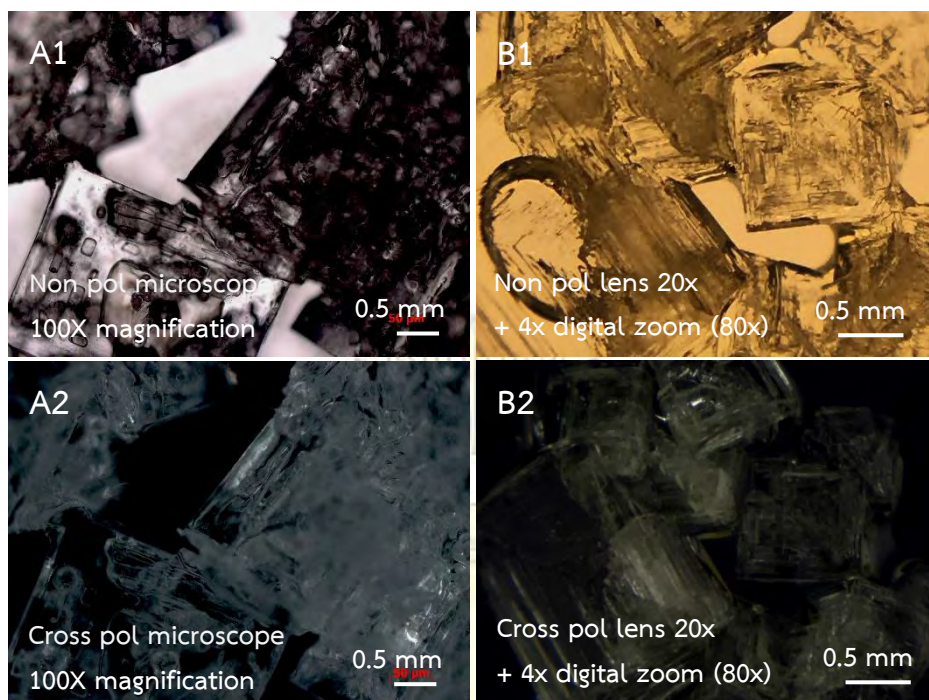


รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และ จูฬานา สมาร์ทเลนส์กำลังขยาย 40X ภายใต้การฉายแสงแบบ (A) แบบ Non-Polarized light และ (B) แบบ Cross-Polarized light และมีการใช้กำลังขยายแบบดิจิทัลที่ 1X, 2X, 3X และ 4X

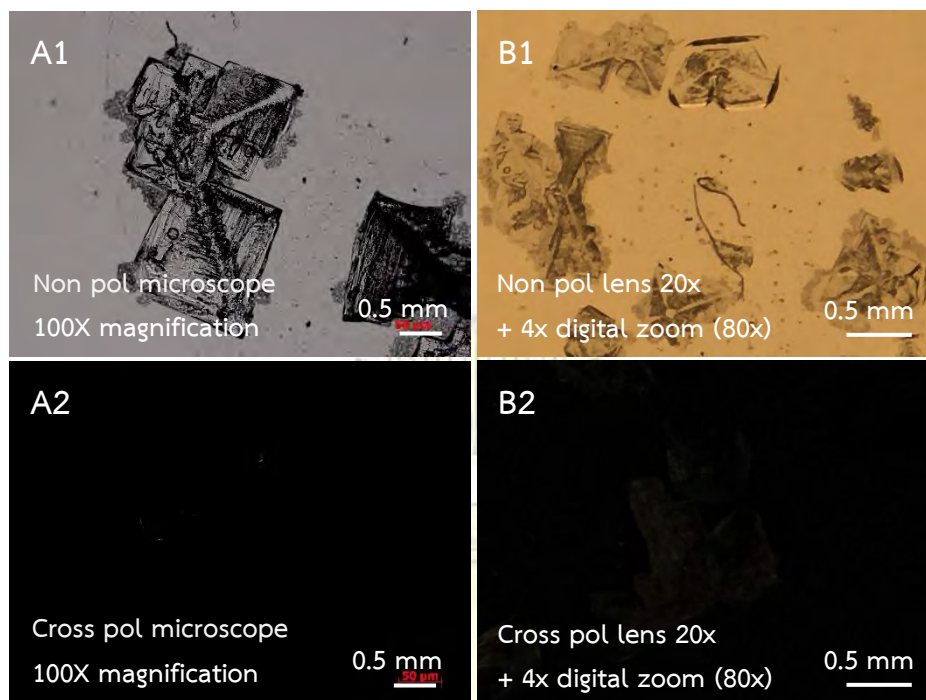
4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพภาพถ่ายระหว่างที่ถ่ายด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนและกล้องจุลทรรศน์คุณภาพสูงระดับห้องปฏิบัติการ

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนที่ผู้วิจัยออกแบบจะสามารถถ่ายภาพจุลทรรศน์ของผลึกเกลือได้อย่างมีคุณภาพ ให้รายละเอียดเชิงสัญญาณวิทยาแล้ว ยังสามารถพกพาไปได้ทุกที่ น้ำหนักเบา นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษาปรากฏการณ์การไบรฟริงเจนซ์ของผลึกได้สามารถใช้ทดแทนกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ สามารถให้กำลังขยาย, สี, ความละเอียด และความคมชัด ของไบรฟริงเจนซ์ในผลึกได้ เพื่อเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองถ่ายภาพผลึกไอโซทรอปิกและแอนไอโซทรอปิกเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ระดับห้องปฏิบัติการด้วยกำลังขยายใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.23-4.33

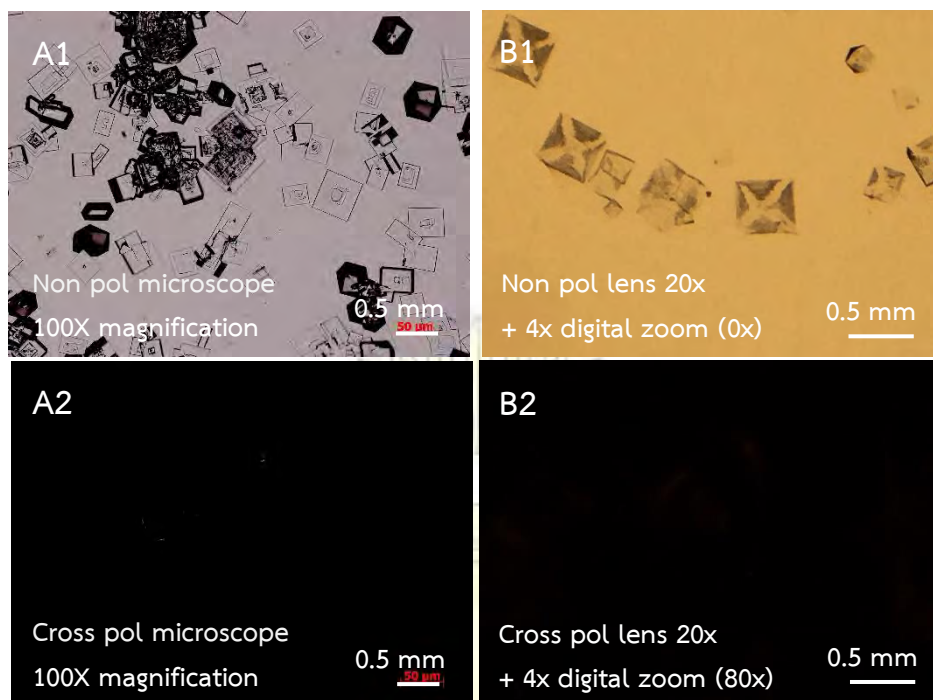
จากการทดลองพบว่าชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟนที่ผู้วิจัยออกแบบสามารถถ่ายภาพจุลทรรศน์สามารถถ่ายภาพได้มีคุณภาพเทียบเคียงกับกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์คุณภาพสูง ภาพไบรฟริงเจนซ์ที่ได้มีสีที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายโดยรวมพบว่าจากภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ระดับห้องปฏิบัติการมีความคมชัดมากกว่า มีคุณภาพของสีที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของเครื่องมือแล้ว ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ ที่สามารถใช้ในการศึกษาคุณสมบัติแอนไอโซโทรปิก และไบรฟริงเจนซ์ของผลึกได้ และให้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพดีเทียบเคียงกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ระดับห้องปฏิบัติการ



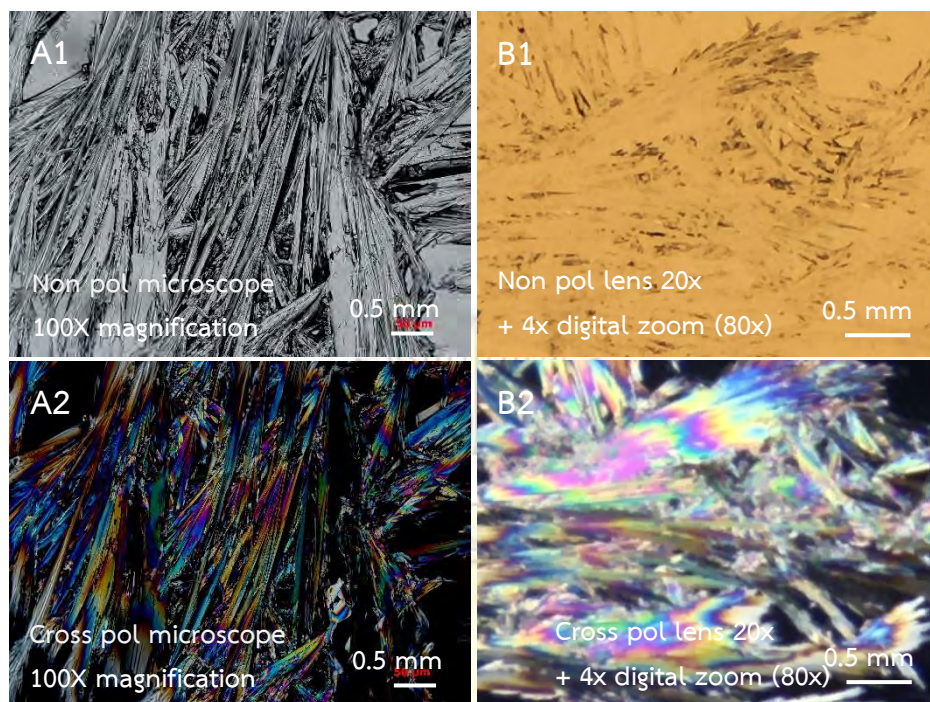
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายผลึกโพลีเอทิลีนออกไซด์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ๆ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



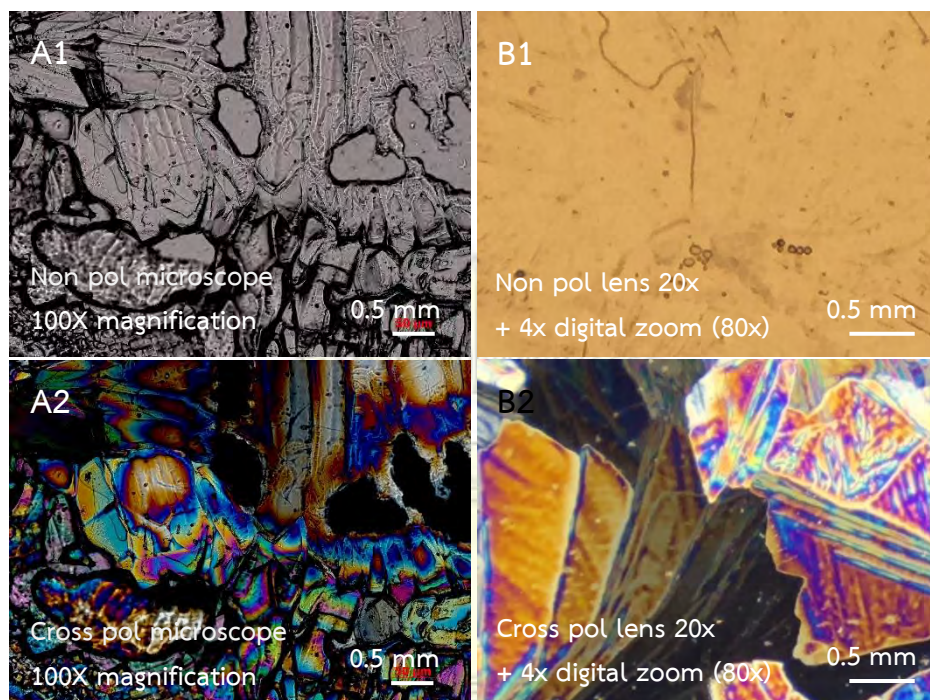
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายผลึกโพลีเอทเธนคลอไรด์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ๆ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



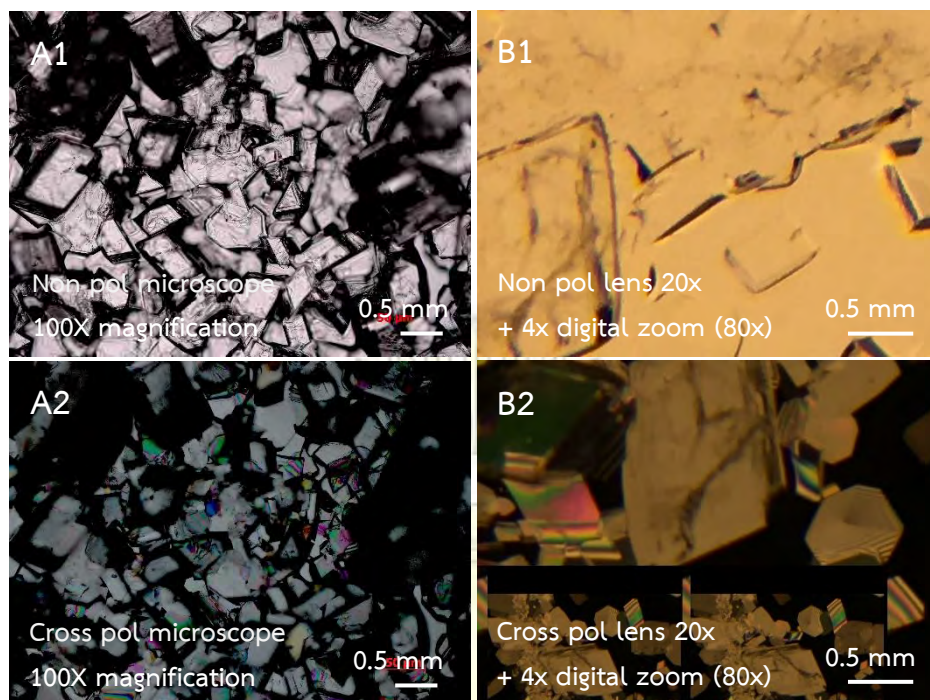
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมคลอไรด์ที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ฬา สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



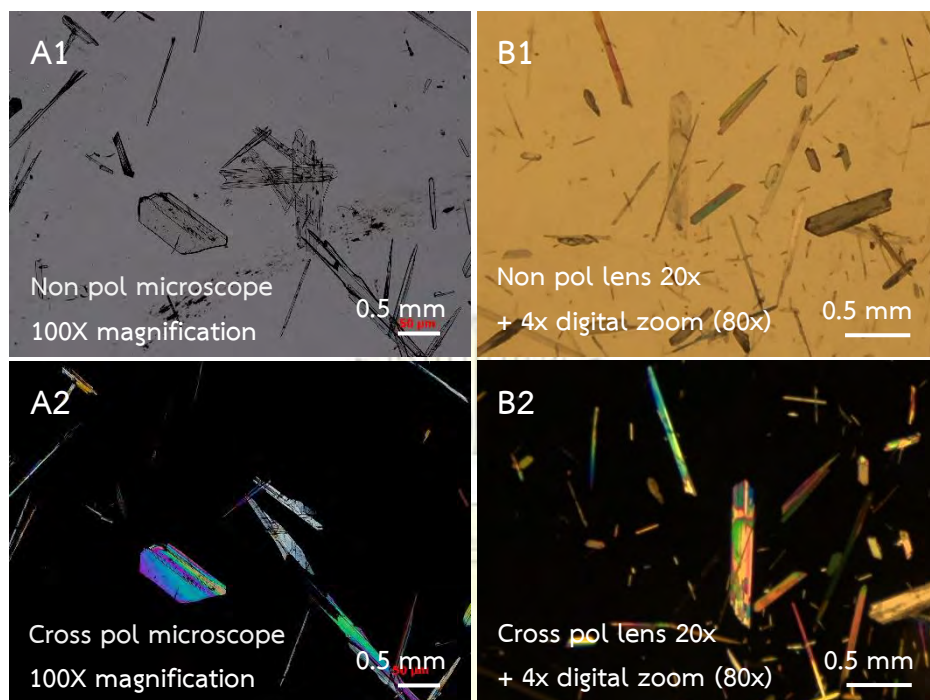
รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายผลึกกลูโคสที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



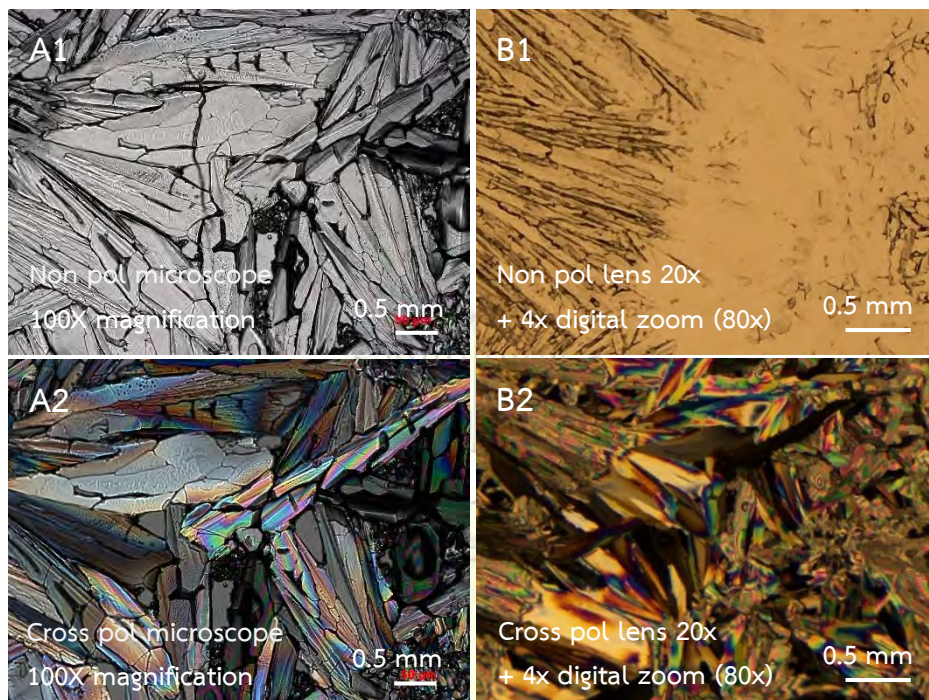
รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายผลึกแมกนีเซียมซิลิเกตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



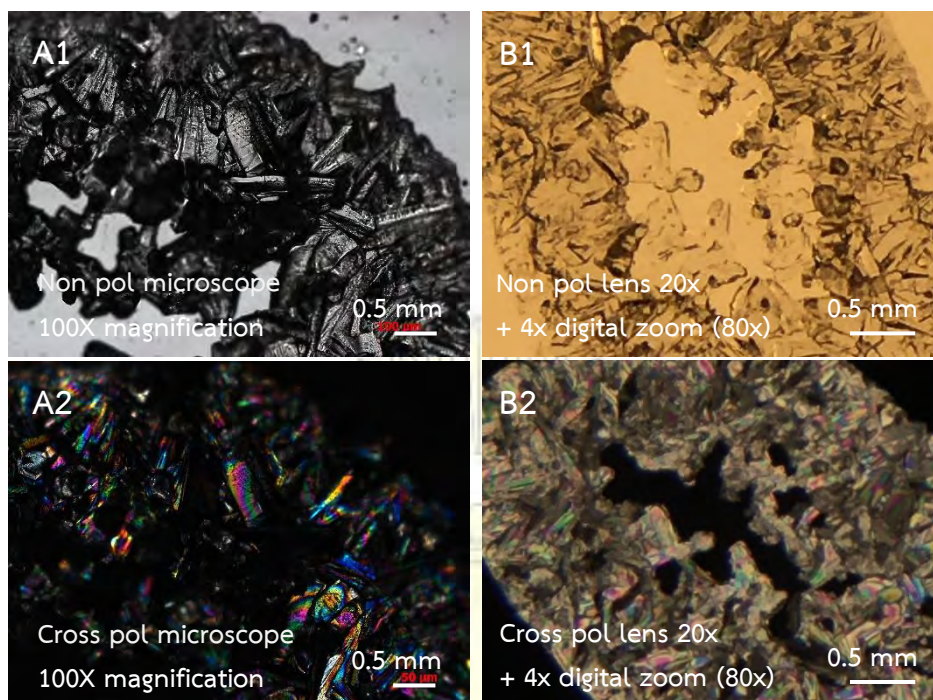
รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซีเตดที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ๆ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



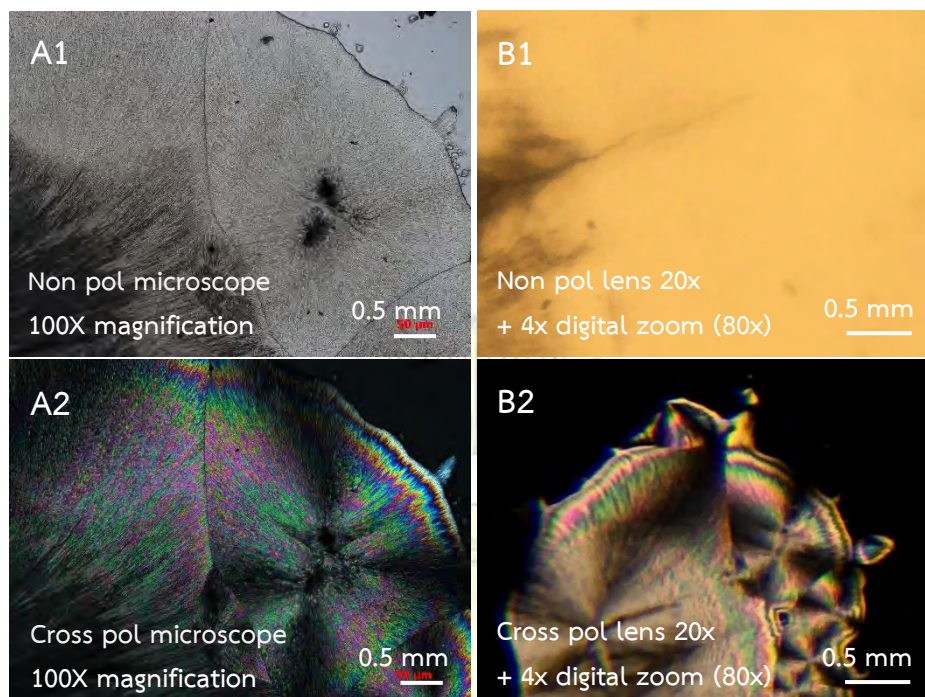
รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายผลึกซิลเวอร์อะซิเตตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ฬา สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



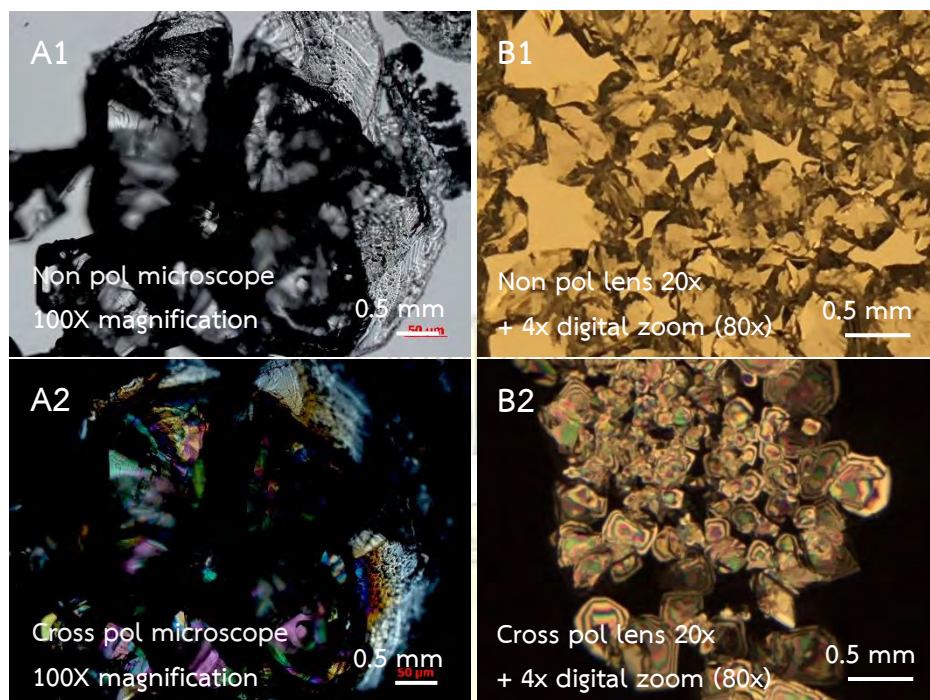
รูปที่ 4.30 ภาพถ่ายผลึกโพลีโพรพิลีนที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ฬา สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมโรโอซัลเฟตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายผลึกโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจู่ๆ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light



รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายผลึกโซเดียมซัลเฟตที่ถ่ายด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ที่กำลังขยาย 100X และ (B) ด้วยชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ทโฟน และจุฬาฯ สมาร์ทเลนส์ที่กำลังขยาย 80X (20X optical magnification + 4X digital magnification) ภายใต้การฉายแสงแบบ (A1, B1) Non-Polarized light และ (A2, B2) Cross-Polarized light

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สำหรับสมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นสามารถศึกษาวัสดุจำพวกผลึกในระดับไมโครเมตร 1 – 500 ไมครอน วิเคราะห์ลักษณะของผลึกชนิดต่างๆ รวมถึงศึกษาการบิดระนาบแสง คุณสมบัติแอนไอโซโทรปิก และไบรีฟริงเจนของผลึกได้เหมือนกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทุกประการ ด้วยภาพถ่ายที่ได้เบื้องต้นทำให้เรารู้ว่าคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้จากสมาร์ตโฟนกับกล้องจุลทรรศน์ราคาแพง ที่ราคาต่างกันเป็นพันเท่า คุณภาพไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในอนาคตจึงสามารถใช้สมาร์ตโฟนไมโครสโคปทดแทนกล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาเบื้องต้น หรือออกทิวส์ต่าง ๆ ได้ ไม่ใช่ทดแทนทั้งหมด เพราะงานที่ละเอียดลึกๆ ยังไงก็ต้องใช้ของราคาแพง อาจจะใช้ทดแทนกันได้แต่คุณภาพไม่ถึง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 พัฒนาให้สามารถบันทึกภาพผลึกแอนไอโซทรอปิกชัดเจน คมชัด สีสวยยิ่งขึ้น
- 5.2.2 ออกแบบการเคลื่อนที่ของแผ่นโพลาไรซ์ให้หมุนได้อิสระมากยิ่งขึ้น โดยที่ตัวอย่างไม่หมุนตามไปด้วย
- 5.2.3 ออกแบบให้สายไฟยาวกว่าเดิม เพื่อความสะดวกในการใช้งานเมื่อไม่มีแบตเตอรี่สำรอง
- 5.2.4 ออกแบบให้ตัวฐานรองสมาร์ตโฟนไม่เคลื่อนไปมาตามแรงกด เพื่อง่ายต่อการถ่าย
- 5.2.5 พัฒนารูปร่างข้อมูลให้ครอบคลุมผลึกแอนไอโซทรอปิกทุกชนิด

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลแบบโพลาไรซ์ใช้ติดกับสมาร์ตโฟนที่มีความละเอียดและกำลังขยายสูง เพื่อการบันทึกภาพถ่ายผลึกเกลือแอนไอโซทรอปิกได้อย่างชัดเจน สามารถใช้แทนกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ไบรีฟริงเจนซ์ได้ มีน้ำหนักเบา พกพาได้ โดยไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงานและสถานที่ สามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา

เอกสารอ้างอิง

- [1] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/fleming-bio.html (Accessed Apr 20, 2017)
- [2] <http://www.biography.com/people/thomas-edison-9284349> (Accessed Apr 20, 2017)
- [3] Bernstein, J. Albert Einstein and the frontiers of physics.; Oxford portraits in science: United states of America, 1996; pp 10.
- [4] <http://www.history-of-the-microscope.org/hans-and-zacharias-jansen-microscope-history.php> (Accessed Apr 20, 2017)
- [5] Ramajothi, J.; Dhanuskodi, S.; Nagarajan, K. Crystal Growth, Thermal, Optical and Microhardness Studies of Tris (Thiourea) Zinc Sulphate - a Semiorganic NLO Material. *Cryst. Growth Res. Technol.* **2004**, *5*, 414-420.
- [6] Le, T. M. H.; Ouissei, T.; Chaussende, D.; Naamoun, M.; Tallaire, A.; Achard, J. Birefringence Microscopy of Unit Dislocation in Diamond. *Cryst. Growth Des.* **2014**, *14*, 5761-5766.
- [7] Theuns, H. M.; Shellis, R. P.; Groeneveld, A.; van Dijk, J. W.; Poole, D. F. Relationships between Birefringence and Mineral Content in Artificial Caries Lesions of Enamel. *Caries Res.* **1993**, *27*, 9–14.
- [8] Mccarty, D; Hollander, J. Identification of Urate Crystals in Gouty Synovial Fluid. *Ann Intern Med.* **1961**, *54*, 452-460.
- [9] Erickson, D.; O'Dell, D.; Jiang, L.; Oncescu, V.; Gumus, A.; Lee, S.; Mancuso, M.; Mehtae, S. Smartphone technology can be transformative to the deployment of lab-on-chip diagnostics. *Lab Chip.* **2014**, *14*, 3159–3164.
- [10] Oncescu, V.; Mancuso, M.; Erickson, D. Cholesterol testing on a smartphone. *Lab Chip.* **2014**, *14*, 759–763.
- [11] I. Navruz, A. F. Coskun, J. Wong, S. Mohammad, D. Tseng, R. Nagi, S. Phillips and A. Ozcan. Smart-phone based computational microscopy using multi-frame contact imaging on a fiber-optic array. *Lab Chip.* **2013**, *13*, 4015–4023.

- [12] R. D. Stedtfeld, D. M. Turlousse, G. Seyrig, T. M. Stedtfeld, M. Kronlein, S. Price, F. Ahmad, E. Gulari, J. M. Tiedje and S. A. Hashsham. Gene-Z: a device for point of care genetic testing using a smartphone. *Lab Chip*. **2012**, *12*, 1454–1462.
- [13] P. B. Lillehoj, M.C. Huang, N. Truong and C.M. Ho. Rapid electrochemical detection on a mobile phone. *Lab Chip*. **2013**, *13*, 2950–2955.
- [14] Casey W. Pirstill; Gerard L. Coté Malaria Diagnosis Using a Mobile Phone Polarized Microscope. *Scientific Reports*. **2015**, *5*, 1-13.
- [15] Zhang, C.; Cheng, G.; Edwards, P.; Zhou, M.D.; Zheng, S.; Liu, Z. G-Fresnel smartphone spectrometer. *Lab Chip*. **2016**, *16*, 246–250.
- [16] Zhang, D; Liu, Q. Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection. *Lab Chip*. **2016**, *75*, 273-284.
- [17] Breslauer, D. N.; Maamari, R. N.; Switz, N. A.; Lam, W. A.; Fletcher, D. A. Mobile Phone Based Clinical Microscopy for Global Health Applications. *PLoS ONE*. **2009**, *4*, 1-7.
- [18] Gallegos, D.; Long, K. D.; Yu, H.; Clark, P. P.; Lin, Y.; George, S.; Nath, P.; Cunningham, B. T. Label-free biodetection using a smartphone. *Lab Chip*. **2013**, *13*, 2124–2132.
- [19] Halliday, D. Resnick, R. Walker, J. Fundamentals of Physics, 7th Edition.; Wiley: New London, 2015; pp 119-124.
- [20] Bhatia, A. B.; Clemmow, P. C.; Gabor, D.; Stokes, A. R.; Taylor, A. M.; Waymay, P. A.; Wilcock, W. L. Principle of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light.; Cambridge University Press: New York, 1999; pp 80-88.
- [21] Land, E.H. Some aspects on the development of sheet polarizers. *Opt. Soc. Am.* **1951**, *12*, 957-963.
- [22] <http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/birefringence.html> (Accessed Apr 20, 2017)
- [23] Simon, S. H. Oxford Solid State Basics.; Mater. Sci: Oxford, 2013; pp 122.

- [24] http://www.crystalage.com/crystal_information/seven_crystal_systems/ (Accessed Apr 20, 2017)
- [25] Oldenbourg, R. Polarized light microscopy: principles and practice. Cold Spring Harb Protoc. **2013**, *11*, 1023-1036.
- [26] <https://sites.google.com/a/bumail.net/smartphones-lifestyle/sma-rth-fon-khux-xari> (Accessed Apr 20, 2017)



ประวัติผู้วิจัย

นางสาวรัตนชาติ พันธุ์พงษ์วงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม สำเร็จ
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนถาวรานุกูล จังหวัด
สมุทรสงคราม เมื่อปีการศึกษา 2555 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบการศึกษาปริญญาตรี บ้านเลขที่
32 หมู่ 6 ตำบลบางกุ้ง อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม 75120

