เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริกที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค

นางวิมล เกรียงไกร

004766

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แผนกวิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. ๒๕๒๐

i17369009

TEXTURES OF NEMATIC-CHOLESTERIC MIXTURES NEAR THE MESOMORPHIC-ISOTROPIC TRANSITION TEMPERATURE

Mrs. Vimol Kriengkrai

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

คณบดี

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ .....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งหะพันธุ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธำรง เมธาศิริ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรพินท์ เผ่าวิบูล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช)

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย อาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค

โดย นางวิมล เกรียงไกร

แผนกวิชา ฟิสิกส์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค

ชื่อ นางวิมล เกรียงไกร, แผนกวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา ๒๕๑๙

บทคัดย่อ

จากการสังเกตทางทัศนะของการเกิดลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค

เราพบเทกซ์เจอร์ของผลึกเหลวซึ่งมีความหนา 25 ไมครอน และอยู่ระหว่างแผ่นแก้วคู่ขนานได้แก่ สไลด์กับโคเวอร์สลิป เป็นริ้วของอนุกรมของเส้นมืดเส้นสว่างมีลักษณะคล้ายลายฟิมพ์นิ้วมือ เหมือนกับผลการวิจัยของ พี.อี.คลาดิส และ เอ็ม.คลีแมน ในปีค.ศ.1972

ถ้าไม่มีโคเวอร์สลิปลวดลายของเทกซ์เจอร์จะเป็นลายก้นหอย ซึ่งยังไม่เคยปรากฏในผลการวิจัยอื่นเลย เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยประกอบด้วยวงของลายก้นหอยเป็นจำนวนมาก

ลวดลายของเทกซ์เจอร์ทั้งสองของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่ผสมกันโดยมีหรือไม่มีโทลูอีนซึ่งเป็นตัวทำละลายไม่แตกต่างกัน โทลูอีนช่วยให้ลวดลายชัดเจนขึ้นเท่านั้น

เมื่อน้ำหนักคิดเป็นร้อยละของคอเลสเตอริคเปลี่ยนไป ครึ่งหนึ่งของขนาดของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือจะแปรเปลี่ยนอย่างเชิงเส้นกับส่วนกลับของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละของคอเลสเตอริค ซึ่งเหมือนกับผลการวิจัยก่อนๆ ขนาดของวงของลายก้นหอยจะเล็กลงถ้าน้ำหนักคิดเป็นร้อยละของคอเลสเตอริคเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์อย่างชัดแจ้ง

สำหรับแต่ละตัวอย่างของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค (TcMI) ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ อย่างไรก็ดี TcMI ไม่สูงเกินพิสัยของอุณหภูมิของการเป็นเมโซมอร์ฟิคของ MBBA ซึ่งเป็นผลึกเหลวชนิดนีมาติค

ที่ใช้ในการวิจัย

ที่อุณหภูมิในช่วงต่างๆซึ่งใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค เราได้ศึกษาลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคในแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้นและแสงธรรมดา พบลวดลายเป็นริ้วยาวของเส้นคมชัด เราสรุปว่าเส้นคมชัดนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของคุณสมบัติทางทัศนะ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเรียงตัวอย่างกระทันหันของแกนของโมเลกุลที่อยู่ตรงบริเวณผิวสัมผัสของตัวอย่างของสารกับแผ่นแก้ว อาจกล่าวได้ว่าเส้นคมชัดคือดิสอินไคลเนชั่นแบบ χ ที่ผิวของตัวอย่างของสาร

ที่อุณหภูมิใกล้ TcMI มากๆกล่าวคือประมาณ 0.1°ซ ก่อนถึง TcMI เราได้ศึกษาเทกซ์เจอร์ในแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้นและแสงธรรมดาเช่นกัน ลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคมีสีสรรต่างๆเกิดขึ้นเมื่อสังเกตในแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้น การเกิดและการเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณต่างๆของเทกซ์เจอร์จะแปรเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิและทิศทางของแสงโพลาไรซ์ ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากระนาบของคอเลสเตอริคที่บริเวณถัดเข้ามาภายในตัวอย่างของสารมีทิศทางขนานกับแผ่นแก้ว แกนของโมเลกุลจึงปิดขนานกับแผ่นแก้ว เมื่อแสงโพลาไรซ์ซึ่งมีเวคเตอร์ทางไฟฟ้าขนานกับแผ่นแก้วผ่านตัวอย่างของสาร เวคเตอร์ทางไฟฟ้าจะบิดตัวไปตามวิถีของยีลิด

และเรายังพบการเปลี่ยนแปลงของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือไปกับอุณหภูมิด้วย แต่ยังไม่ได้ศึกษาโดยละเอียด

Thesis Title Textures of Nematic-Cholesteric Mixtures near the Mesomorphic-Isotropic Transition Temperature

Name Mrs.Vimol Kriengkrai , Department of Physics

Academic Year 1976

Abstract

The textures of nematic-cholesteric mixtures near the mesomorphic-isotropic transition temperature were optically observed.

The texture of a liquid crystal 25 microns in thickness and held between parallel glass plates,slide and cover slip, was found to consist of the stripes of a series of dark and bright lines reminiscent of a finger-print as previously reported by P.E.Cladis and M.Kléman in 1972.

When the cover slip was removed ,a remarkable appearance of the texture was found to be spiral hitherto unpublished elsewhere. The texture consists of several rings of spirals.

The remarkable appearances of the two textures of nematic-cholesteric mixtures are almost the same with or without the presence of toluene as the solvent, The presence of toluene merely resulted in a better optical contrast of the sample.

The percentage by weight of cholesteric was then varied. The half-pitch of the finger-print texture was confirmed to vary linearly with the reciprocal of the percentage by weight of cholesteric. The size of the rings in the spiral texture was also found to decrease as the percentage by weight of cholesteric increased,although no definite relationship was attempted.

The mesomorphic-isotropic transition temperature (TcMI) was different for a given mixture under different conditions. However the TcMI did not exceed the mesomorphic-range of MBBA which is the nematic liquid crystal used in the research.

At a number of intervals of temperature near TcMI, the remarkable appearances of textures of nematic-cholesteric mixtures were studied under the linearly polarized and ordinary light. Long stripes of sharp dark lines were observed in all of these cases. We concluded that these sharp dark lines were caused by an abrupt change in optical property which in turn was caused by an abrupt change of the orientation of the axis of molecules at the region of the contact surface between the sample and the glass plate. In other words, these sharp lines are χ disinclinations at the surface of the sample.

At temperature very close to TcMI within $\pm 0.1^{\circ}C$, the textures were similarly observed under the linearly polarized and ordinary light. The remarkable appearances of textures of nematic-cholesteric mixtures exhibited colour of different hues only when the linearly polarized light was used. The formation and change of colour in different regions of the texture varied with temperature, and the axis of the polarized light. The occurence of this phenomenon could perhaps be explained by the orientation of the cholesteric plane near but not next to the glass plate as being parallel to the plate. The axis of the molecules probably twisted parallel to the glass plate. As the incident polarized light, whose electrical vector was initially parallel to the glass plate, traverses through the sample, the electrical vector will be twisted along the helical path.

The pitch of the finger-print texture was also found to vary with temperature, although no numerical analysis was attempted.

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยความช่วยเหลือโดยให้คำแนะนำและการปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ มาตลอด ของอาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูงมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณ คุณ ชีระยศ เอื้ออริยกุล นิสิตชั้นปีที่ 4 แผนกฟิสิกส์ ซึ่งได้ช่วยสร้างเครื่องมือบางอย่างที่ใช้ในการวิจัย

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ .....ค
กิตติกรรมประกาศ .....ฆ
รายการตารางประกอบ .....ญ
รายการรูปประกอบ .....ฏ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 5
1.2 วิธีที่จะดำเนินการวิจัย 5
1.3 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย 6
2. ทฤษฎี 7
2.1 ทฤษฎีความยืดหยุ่นของผลึกเหลว 7
2.1.1 ผลึกเหลวชนิดสเมคติค 13
2.1.2 ผลึกเหลวชนิดนีมาติค 15
2.1.3 ผลึกเหลวชนิดคอเลสเตอริค 15
2.2 นีมาติคชลีเรนเทกซ์เจอร์ 16
2.2.1 ที่มาของนีมาติคชลีเรนเทกซ์เจอร์ 16
2.2.2 นีมาติคชลีเรนเทกซ์เจอร์ที่สังเกตพบโดยครอสโพลารอยด์ 19
2.3 เทกซ์เจอร์ของคอเลสเตอริค 21
2.3.1 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ 21
2.3.2 แบบจำลองอย่างง่ายๆ 22
3. วิธีทำการวิจัย 32
3.1 อุปกรณ์ 32
3.2 วัสดุ 34

บทที่ หน้า

3.3 การดำเนินการวิจัย 46
3.3.1 การเตรียมของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค MBBA/CA, MBBA/CN และ MBBA/CP 46
3.3.2 วิธีทำความสะอาดสไลด์กับโคเวอร์สลิป 47
3.3.3 การเตรียมสไลด์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค 47
3.3.4 ศึกษาเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 49
4. ผลการวิจัย 51
4.1 เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่ผสมโดยตรงกับที่ผสมโดยอาศัยโทลูอีนที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค .51
4.2 เทกซ์เจอร์ของสไลด์ต่างๆของตัวอย่างของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค53
4.3 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.391±0.012%, 0.8591±0.0001% และ 1.99±0.02% ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 56
4.4 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CN 0.398±0.003%, 1.061±0.015% และ 2.35±0.03% ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 60
4.5 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004%, MBBA/CP 1.06±0.01% และ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค63
4.6 อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะ 65
4.7 การเปลี่ยนแปลงของลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิในช่วงต่างๆซึ่งใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 69

บทที่ หน้า

4.7.1 เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่อุณหภูมิห่างจาก TcMI มาก 69
4.7.2 เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิใกล้ TcMI มากๆ 74
4.8 การเกิดซลีเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิค 88
4.9 สเฟียรูไลท์ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะไอโซโทรปิค–เมโซมอร์ฟิค .91
5. การอธิบายผลการวิจัย 106
5.1 การเกิดลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 106
5.1.1 บทบาทของโทลูอีนที่มีต่อเทกซ์เจอร์ 106
5.1.2 เทกซ์เจอร์ของทุกสไลด์ของตัวอย่างของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคเดียวกัน 107
5.1.3 เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ซึ่งมีร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเตอริคต่างกัน 108
5.1.4 เทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ซึ่งผลึกเหลวชนิดคอเลสเตอริคเปลี่ยนเป็นชนิดต่างๆ 109
5.1.5 อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะ 114
5.2 การเปลี่ยนแปลงของลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค ที่อุณหภูมิในช่วงต่างๆซึ่งใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิค 117
5.2.1 ลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่อุณหภูมิห่างจาก TcMI มาก 117
5.2.2 ลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่อุณหภูมิใกล้ TcMI มาก 121

บทที่ หน้า

5.3 ความแตกต่างระหว่างเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายก้นหอย ของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริค 125

5.4 ข้อสังเกตเกี่ยวกับสเพียรูไลท์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ 129

บรรณานุกรม 132

ประวัติการศึกษา 134

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

3–1 แสดงชื่อ, สูตร, การย่อและพิสัยของอุณหภูมิของการเป็นเมโซมอร์ฟิคของสารที่ใช้ 44

3–2 แสดงร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเตอริคของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่ใช้ในการทดลอง 48

4–1ก แสดงอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิคและอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะไอโซโทรปิค–เมโซมอร์ฟิคของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของของผสมที่ใช้ในการทดลอง 66

4–1ข แสดงอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิค–ไอโซโทรปิคและอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะไอโซโทรปิค–เมโซมอร์ฟิคของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของของผสมที่ใช้ในการทดลอง 68

4–2 แสดงการวัดพิทช์ที่เปลี่ยนไปจากรูปที่4–42 ถึง 4–45 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 °ซ วัดตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่ง 82

5–1 แสดงขนาดของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของของผสมนีมาติค–คอเลสเตอริคที่ใช้ในการทดลอง 110

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

2–1 แสดงองค์ประกอบของความโค้ง "สเปลย์" ก. $\hat{L}$ ขนานกับแกน z ที่ออริจิน o เมื่อ x หรือ y มีค่าเพิ่มขึ้นทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลจะลู่ออก ข. แสดงทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลซึ่งลู่ออกในระนาบ xz 9

2–2 แสดงองค์ประกอบของความโค้ง "ทวิสท์" ก. $\hat{L}$ ขนานกับแกน z ที่ออริจิน o เมื่อ x หรือ y มีค่าเพิ่มขึ้นทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลซึ่งอยู่ในระนาบ yz หรือระนาบ xz จะบิดจากตำแหน่งเดิมเป็นมุมต่างๆ ข. แสดงทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลซึ่งบิดรอบแกน y ในระนาบ xz 10

2–3 แสดงองค์ประกอบของความโค้ง "เบนด์" ก. $\hat{L}$ ขนานกับแกน z ที่ออริจิน o เมื่อ z มีค่าเพิ่มขึ้นทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลจะโค้ง ข. แสดงทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลในระนาบ xz ซึ่งโค้ง 11

2–4 แสดงทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุล ก. ของผลึกเหลวชนิดสเมคติค ข. ของผลึกเหลวชนิดนีมาติค 14

2–5 $\hat{L}$ อยู่ในระนาบ xy ทำมุม ϕ กับแกน x 17

2–6 แสดงดิสอินไคลเนชั่นสำหรับค่า n ต่างๆที่ไม่เท่ากับ +2 เมื่อ $\phi_o = 0$, และสำหรับค่า n เท่ากับ +2 เมื่อ $\phi_o = 0, \frac{\pi}{4}$ และ $\frac{\pi}{2}$ 18

2–7 แสดงชลีเรนเทกซ์เจอร์ของผลึกเหลวชนิดนีมาติคที่มี 2 และ 4 แฉก 19

2–8 แสดงทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุล $\hat{L}$ ซึ่งทำมุม θ กับระนาบ xy 29

2–9 แสดงการเปลี่ยนของ θ เมื่อ x เปลี่ยนสำหรับค่า $z = 0, z \to \pm\frac{d}{2}$, และ $z = \pm\frac{d}{2}$ 30

2–10 แสดง χ ดิสอินไคลเนชั่นอยู่ตรงบริเวณที่ทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลตั้งฉากกับระนาบของสาร 31

3–1 กล้องจุลทัศน์โอลิมปุสแบบซีเค 35

3–2 กล้องจุลทัศน์โอลิมปุสแบบซีเคแสดงทางเดินของแสง 36

รูปที่ หน้า

3–3 เครื่องคุมอุณหภูมิแบบเมทเลอร์เอฟพี 5 37

3–4 กล่องคุมอุณหภูมิเอฟพี 52 และแป้นบันทึก 38

3–5ก กล้องถ่ายรูปโอลิมปุสสำหรับกล้องจุลทัศน์แบบพีเอ็ม 6 38

3–5ข มาตรวัดแสงโอลิมปุสแบบอีเอ็มเอ็ม–วี 39

3–6 กล้องจุลทัศน์และกล่องคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นประกอบด้วยแหล่งกำเนิดของแสง, แท่นรองรับกล่องคุมอุณหภูมิ, เลนซ์หน้ากล้องถ่ายรูปและกล้องจุลทัศน์ ระหว่างแหล่งกำเนิดของแสงกับแท่นรองรับกล่องคุมอุณหภูมิมีโพลาไรเซอร์และระหว่างแท่นรองรับกล่องคุมอุณหภูมิกับเลนซ์มีแอนนาไลเซอร์ โพลาไรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ครอสกัน 40

3–7 กล่องคุมอุณหภูมิ ก.ฝาปิดแผ่นบน(มองด้านบนและด้านล่าง) 1.โคเวอร์สลิปปิดช่องคูสไลด์ 2.ช่องคูสไลด์ ข.ที่วางสไลด์ 1.ช่องวางสไลด์ 2.ตำแหน่งของตัวอย่างของสารที่อยู่บนสไลด์ 3.ช่องใส่เทอร์มิสเตอร์ ค.ฐานใส่ตัวให้ความร้อน 1.บริเวณที่จะวางขดลวดนิโครม ง.ลวดนิโครมพันรอบแผ่นไมกา จ.ฉนวนหุ้มทางเดินของลวดนิโครม ฉ.เทอร์มิสเตอร์ติดอยู่ในแท่น ช.เมื่อประกอบส่วนต่างๆเข้าเป็นกล่องคุมอุณหภูมิ 41

3–8 เครื่องวัดอุณหภูมิ ก.เทอร์มิสเตอร์ ข.เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1.แบตเตอรี่ 9 โวลต์ 3 ก้อน 2.สวิทช์ 2 ทางเลือก 9 โวลต์กับ 27 โวลต์ ค.มิลลิแอมมิเตอร์มีสเกลของอุณหภูมิที่สร้างบนสเกลของมิลลิแอมมิเตอร์ 42

3–9 แหล่งกำเนิดของแสง ก.ภาคจ่ายไฟแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 9–12 โวลต์ 3 แอมแปร์ ข.ภาคเรกติไฟเออร์ ค.ภาคตัวกรอง ง.หลอดไฟ 7 โวลต์ จ.สเกลเป็นองศาอยู่ระหว่าง $50^{\circ} - 0^{\circ} - 50^{\circ}$ ฉ.ทางเข้าของไฟฟ้ากระแสตรง ช.แผ่นโพลารอยด์ทำหน้าที่เป็นโพลาไรเซอร์ ซ.แผ่นโพลารอยด์ทำหน้าที่เป็นแอนนาไลเซอร์ 43

4–1 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 0.589 ± 0.004% ที่อุณหภูมิ 38.2° ซ

รูปที่ หน้า

ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 1 51

4–2 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP 1.06±0.01% ที่อุณหภูมิ 40.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 1 52

4–3 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 36.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 2 52

4–4 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP 1.06±0.01% ที่อุณหภูมิ 40.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 2 53

4–5 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 33.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่1 54

4–6 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 2 54

4–7 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 33.5°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 3 55

4–8 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 39.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่ 1 55

4–9 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 38.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์ที่2 56

4–10 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 38.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 57

4–11 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 34.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 57

รูปที่ หน้า

4–12 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CA 1.99±0.02% ที่อุณหภูมิ 39.5°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 58
4–13 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 58
4–14 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 42.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 59
4–15 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 1.99±0.02% ที่อุณหภูมิ 39.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 59
4–16 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CN 0.398±0.003% ที่อุณหภูมิ 40.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 60
4–17 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CN 1.061±0.015% ที่อุณหภูมิ 35.4°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 61
4–18 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CN 2.35±0.03% ที่อุณหภูมิ 34.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 61
4–19 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CN 0.398±0.003% ที่อุณหภูมิ 40.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 62
4–20 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CN 1.061±0.015% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 62
4–21 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CN 2.35±0.03% ที่อุณหภูมิ 38.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 63
4–22 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% ที่ อุณหภูมิ 36.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ .64
4–23 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% ที่ อุณหภูมิ 36.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ .64

รูปที่ หน้า

4–24 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 0 องศา 70

4–25 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 90 องศา 70

4–26 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ในครอสโพลารอยด์ เมื่อสไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา 71

4–27 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.2°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ในครอสโพลารอยด์ เมื่อสไลด์หมุนมาอยู่ที่ตำแหน่ง 90 องศา 71

4–28 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CN 0.398±0.003% ที่อุณหภูมิ 40.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 0 องศา 72

4–29 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CN 0.398±0.003% ที่อุณหภูมิ 40.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 90 องศา 72

4–30 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CN 0.398±0.003% ที่อุณหภูมิ 40.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ไม่มีโพลาไรเซอร์ 73

4–31 ซิงกูลาริตี้ 4 แฉก ของซลีเรนเทกซ์เจอร์ของ MBBA ที่อุณหภูมิ 44.5°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 73

4–32 ซิงกูลาริตี้ในรูปที่4–31 เห็นแต่จุดๆเดียวในแสงเมื่อไม่มีโพลาไรเซอร์ 74

4–33 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.9°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 0 องศา 75

4–34 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.9°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน90 องศา 76

รูปที่ หน้า

4–35 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.9°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ไม่มีโพลาไรเซอร์ 76

4–36 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 34.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 0 องศา 77

4–37 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 34.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 โพลารอยด์ทำมุมกัน 90 องศา 77

4–38 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 34.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ไม่มีโพลาไรเซอร์ 78

4–39 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 44.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา 79

4–40 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 44.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 90 องศา 79

4–41 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 44.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ สไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา อีกครั้ง 79

4–42 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.2°ซความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ ..80

4–43 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .80

4–44 เทกซ์เจอร์ลายฟิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.4°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .81

รูปที่ หน้า

4–45 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 35.5°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .81
4–46 กราฟของอุณหภูมิกับขนาดของพีทช์วัดตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่4–42 ถึง4–45 83
4–47 กราฟของอุณหภูมิกับขนาดของพีทช์วัดตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่4–42 ถึง4–45 84
4–48 กราฟของอุณหภูมิกับขนาดของพีทช์วัดตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่4–42 ถึง4–45 85
4–49 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 37.7°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .86
4–50 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 37.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .86
4–51 เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 37.9°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ .87
4–52 ชลีเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 38.8°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 88
4–53 ชลีเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene 0.589±0.004% ที่อุณหภูมิ 38.9°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 89
4–54 ชลีเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP 1.06±0.01% ที่อุณหภูมิ 40.6°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 90
4–55 ชลีเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CA 0.391±0.012% ที่อุณหภูมิ 39.3°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ 90
4–56 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% ที่อุณหภูมิ 36.0°ซ ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10x20 ครอสโพลารอยด์ เกิดสเฟียรูไลท์เล็กๆ มากมายในเทกซ์เจอร์คล้ายลายก้นหอย 92

รูปที่ หน้า

4–57 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% ที่อุณหภูมิ 35.8°ซ สไลด์เดียวกับรูปที่4–56 สเพียรูไลท์ค่อยๆโตขึ้น 93
4–58 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene 1.804±0.014% สไลด์เดียวกับรูปที่4–56 เมื่ออุณหภูมิลดลงมาจนถึงอุณหภูมิห้อง 93
4–59 การเกิดบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ที่อุณหภูมิ 36.1°ซ ของสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CN 1.061±0.015% ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ สเพียรูไลท์เตรียมจะรวมกันเองหรือรวมกับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ 94
4–60 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากสเพียรูไลท์รวมกันแล้ว 95
4–61 สเพียรูไลท์ของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ เวลา 8.37 น. ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 95
4–62 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–61 ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ เวลา 8.47 น. 96
4–63 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–61 ที่อุณหภูมิ 32.5°ซเวลา 8.57 น. สเพียรูไลท์เล็กรวมกับสเพียรูไลท์ใหญ่แล้ว 96
4–64 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–61 ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ สเพียรูไลท์ใหญ่เข้ารวมกับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ 97
4–65 สเพียรูไลท์ของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ เวลา 9.08 น. ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 97
4–66 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–65 ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ เวลา 9.18 น. 98
4–67 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–65 ที่อุณหภูมิ 32.5°ซ รวมกับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่แล้ว .98
4–68 สเพียรูไลท์ของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 33.3°ซ เวลา 14.20 น. ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ 99
4–69 สเพียรูไลท์ในรูปที่4–68 ที่อุณหภูมิ 33.3°ซ เวลา 14.26 น. 99

รูปที่ หน้า

4–70 สเปียรูไลท์ในรูปที่4–68 ที่อุณหภูมิ 33.3°ซ สัมผัสกัน แกนของฮีลิคขนานกัน 100

4–71 สเปียรูไลท์ของ MBBA/CA 0.8591±0.0001% ที่อุณหภูมิ 33.3°ซ เวลา 13.57 น. ความหนา 25 ไมครอน กำลังขยาย 10X20 ครอสโพลารอยด์ แกนของฮีลิคตั้งฉากกับแกนของฮีลิคของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ 100

4–72 สเปียรูไลท์ในรูปที่4–71 ที่อุณหภูมิ 33.3°ซ เวลา 14.08 น. 101

4–73 สเปียรูไลท์ในรูปที่4–71 ที่อุณหภูมิ33.3°ซ สัมผัสขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่แล้วรวมไปเฉยๆโดยแกนของฮีลิคไม่ขนานกัน 101

4–74 กราฟของระยะระหว่างขอบของสเปียรูไลท์และขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับเวลา ของรูปที่4–61 ถึง4–63 102

4–75 กราฟของระยะระหว่างขอบของสเปียรูไลท์และขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับเวลา ของรูปที่4–65 ถึง4–66 103

4–76 กราฟของระยะระหว่างขอบของสเปียรูไลท์และขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับเวลา ของรูปที่4–68 ถึง4–70 104

4–77 กราฟของระยะระหว่างขอบของสเปียรูไลท์และขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับเวลา ของรูปที่4–71 ถึง4–73 105

5–1 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ CA)$^{-1}$ กับ $\frac{\text{ขนาดของพิทช์}}{2}$ 111

5–2 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ CN)$^{-1}$ กับ $\frac{\text{ขนาดของพิทช์}}{2}$ 112

5–3 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ CP)$^{-1}$ กับ $\frac{\text{ขนาดของพิทช์}}{2}$ 113

5–4 แสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้นซึ่งมีเวคเตอร์ทางไฟฟ้าเป็นแบบ A และ B ผ่านผลึกเหลวชนิดคอเลสเตอริคที่ทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลปิดตัวจากระนาบของคอเลสเตอริคหนึ่งไปยังระนาบที่อยู่ถัดๆไปจนครบ 1 คาบ แล้วปิดตัวซ้ำแบบเดิม .119