

ELECTROHYDRODYNAMICS OF LIQUID CRYSTALS



PONGTIP WINOTAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Physics
Graduate School
Chulalongkorn University
1972

I 16580941

อิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกส์ของผลึกเหลว



นาย พงศ์ทิพย์ วิโนทัย

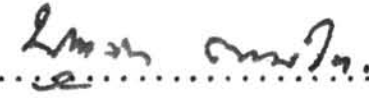
001796

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แผนกวิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๑๔

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

.....
..... ประธานกรรมการ

..... กรรมการ

..... กรรมการ

..... กรรมการ

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย อาจารย์ กอปร กุศยาภิรัตน์



บทคัดย่อ

อีเลคโตรไฮโดรไดนามิกส์ของผลึกเหลวแบบนีมาติก 5 ชั้น และผลึกเหลวแบบสะเมคติก 3 ชั้น ได้รับการศึกษาอย่างละเอียดโดยใช้เซลล์อีเลคโตรออปติกชนิดที่มีอีเลคโตรดแบบโปร่งแสง และอีเลคโตรดแบบฟรียาลีคพบว่าในผลึกเหลวแบบนีมาติกมีโดเมนไลน์สองชุด ตามที่เพ็ญสได้พบมาแล้ว ที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้าสูงกว่า 10^4 โวลต์ต่อเซนติเมตร พบว่าผลึกเหลวแบบนีมาติกบางตัวในอีเลคโตรดแบบโปร่งแสงจะมีเซลล์หลายเหลี่ยม เกิดขึ้นคล้ายกับเบอร์นาคเซลล์ โดเมนที่เกิดขึ้นในอีเลคโตรดทั้งสองแบบคล้ายกันมาก แม้ว่าการเคลื่อนที่ของโดเมนทั้งสองแบบไม่เหมือนกันก็ตาม ส่วนผลึกเหลวแบบสะเมคติก จากการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของเท็คเซอร์แล้ว พอดีทราบการเรียงของโมเลกุลได้ว่า ในโพลาร์ไดโอดิกชั้นแกนยาวของโมเลกุลจะเปลี่ยนอย่างช้า ๆ จากใจกลางไปยังขอบของมันตรงที่เป็นเส้นดำ เส้นสีดำหรือขอบสีดำในโพลาร์ไดโอดิกจะตรงกับบริเวณที่การเรียงตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ส่วนในเท็คเซอร์แบบหลายเหลี่ยมแกนยาวของโมเลกุลจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบกว่า เมื่อใส่ผลึกเหลวแบบสะเมคติกในอีเลคโตรดแบบโปร่งแสง พบว่ามีการเคลื่อนที่ของเท็คเซอร์ คือโพลาร์ไดโอดิกจะไหลตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า และหมุนรอบแกนยาวของมัน ที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงขึ้นไป โพลาร์ไดโอดิกอันใหญ่จะแตกออกเป็นโพลาร์ไดโอดิกอันเล็ก ๆ จำนวนมาก การแตกนี้จะรุนแรงขึ้นถ้าสนามไฟฟ้ามากขึ้น ถ้าค่อย ๆ ทำให้ผลึกเหลวแบบสะเมคติกเย็นลงจากตอนที่มันเป็นของเหลวธรรมดาไปยังตอนที่มันเป็นผลึกเหลวแบบสะเมคติก โพลาร์ไดโอดิกบาตอเนต และแท่งกระบอกยาว ๆ จะเกิดขึ้น แท่งทรงกระบอก, บาตอเนต และโพลาร์ไดโอดิก จะหมุนรอบแกนยาวของมันพร้อม ๆ กับสั้นรอบ ๆ สนามไฟฟ้า ทั้งในสนามไฟฟ้าตรงและสนามไฟฟ้าสลับ โพลาร์ไดโอดิกอันเล็ก ๆ จะรวมกันเป็นอันใหญ่จนถึงขนาดอันหนึ่ง จะแตกออกอย่างรุนแรงไปเป็นโพลาร์ไดโอดิกอันเล็ก ๆ จำนวนมาก เนื่องจากมีการเคลื่อนที่อย่างรุนแรงของโพลาร์ไดโอดิกอันเล็ก ๆ เหล่านี้



ABSTRACT

Electrohydrodynamics and molecular alignments of five nematic and three smectic liquid crystals were studied in a.c. and d.c. electric fields of electro-optical cells with transparent and free-lead electrodes. In nematic liquid crystals, it was found that there were two sets of bright domain lines as observed by Penz. At electric field strengths greater than 10^4 volts/cm, some nematic liquid crystals between transparent electrodes formed polygonal patterns similar to Bénard's thermohydrodynamic cells. The domain patterns of nematic liquid crystals in the electro-optical cells with free-lead electrodes were in many respects similar to those obtained in cells with transparent electrodes, although the domains moved in different manners.

In smectic liquid crystals, the molecular arrangements giving rise to the observed textures were studied. It was concluded that the molecular orientations of focal-conic and fan-shaped textures changed uniformly from the central region to the dark boundary, and the dark lines and dark boundaries in these textures would correspond to the regions where the molecular arrangements changed abruptly. The long axes of the molecules in the polygonal texture were periodically oriented along the radial direction and there were also windings in the directions of the lines tangential to the concentric bands. These molecular arrangements and the optical properties are quite similar to those of spherulites obtained in the polymer crystallization.

When smectic liquid crystals were placed between

transparent electrodes, a translation perpendicular to the direction of the electric field and a rotation about the long axes of the focal-conic and fan-shaped textures were found. At higher field strengths, a large focal-conic was split into a number of much smaller focal-conics. When the smectic liquid crystals were cooled from the isotropic phase to the isotropic-smectic transition point, formation of focal conics, long cylindrical rods and bâtonnets could be induced by an electric field. The long rods and the bâtonnets were found to rotate about their long axes, and in the case of the long cylindrical rods, their motion was coupled with a vibration about the field direction. In both a.c. and d.c. electric fields, the focal conics coalesced to form larger focal conics up to a critical size and then, because of their vigorous motions, burst into a number of much smaller focal conics.

ACKNOWLEDGMENTS

The author wishes to express his deep gratitude to Dr. Kopr Kritayakirana for his supervision of the author's graduate programme and for his helpful guidance and encouragement.

He is grateful to Dr. Preedeepon Limcharoen for his helpful guidance, suggestions, discussions, and for providing facilities for experimental works in the Physical Chemistry Laboratories, Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University.

The author wishes to acknowledge the kind support of the University Development Commission, National Education Council, and its director in providing a graduate scholarship.

He is also indebted to Miss Sauvarop Bualek for her helpful suggestion and assistance in the experimental work and to Mr. Prapin Wilairat for the use of his camera.

Finally, the author would like to thank the students in the Department of Chemistry, Mahidol University, for their discussions and their helps.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (Thai)	iv
ABSTRACT (English)	v
ACKNOWLEDGMENTS	vii
LIST OF TABLES	x
LIST OF ILLUSTRATIONS	xi
CHAPTER I INTRODUCTION	1
I.1 Historical Review	1
I.2 Purpose of the Present Experiments.....	7
CHAPTER II EXPERIMENTAL DETAILS	9
II.1 Instruments	9
II.2 Chemicals	9
II.2.1 Nematic liquid crystals.....	9
II.2.2 Smectic liquid crystals.....	10
II.3 Preparation of Electro-Optical Cells with Transparent Electrodes and Free- Lead Electrodes.....	10
II.3.1 Cells with transparent electrodes.	10
II.3.2 Cells with free-lead electrodes...	11
II.4 Electrical Circuits.....	11
II.5 Experimental Methods.....	15
II.6 Experimental Results.....	15
II.6.1 Transition temperatures.....	15
II.6.2 The threshold fields for formation of domains.....	16
II.6.3 Motions of nematic liquid crystals placed between transparent electrodes....	17
a) Characteristic behaviours of EPPHX and EPAPV.....	18
b) Characteristic behaviours of PPAB.....	23
c) Characteristic behaviours of PCBA and EPPHP	25

II.6.4 Motions of nematic liquid crystals placed between transparent electrodes.....	29
II.6.5 Textures of smectic liquid crystals ...	33
II.6.6 Motions of smectic liquid crystals placed between transparent electrodes.....	38
CHAPTER III. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS.....	43
III.1 General Theoretical Considerations.....	43
III.2 Discussions of Experimental Results and Conclusions	45
III.2.1 Nematic liquid crystals	45
III.2.2 Smectic liquid crystals	48
REFERENCES	52
VITA	54

LIST OF TABLES

	Page
Table 1 Transition temperatures of nematic liquid crystals.....	15
Table 2 Transition temperatures of smectic liquid crystals.....	16
Table 3 Threshold fields for the formation of domains.....	16

LIST OF ILLUSTRATIONS



Figure		Page
1	Schematic diagrams of an electro-optical cell with transparent electrodes.....	12
2	Schematic diagram of an electro-optical cell with transparent electrodes.....	13
3	a.c. and d.c. circuits	14
4	A 80 μm -thick layer of EPPHX placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 9.6×10^2 volts/cm at 81.3°C	19
5	A 80 μm -thick layer of EPPHX placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 1.9×10^3 volts/cm at 81.8°C	20
6	A 200 μm -thick layer of EPPHX placed between transparent electrodes in a d.c. electric field of 1.2×10^4 volts/cm at 129.1°C	20
7	A 80 μm -thick layer of EPAPV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 1.6×10^3 volts/cm at 97.2°C	21
8	A 80 μm -thick layer of EPAPV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 2.5×10^3 volts/cm at 97.5°C	21
9	A 80 μm -thick layer of EPAPV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 3.8×10^3 volts/cm at 81.2°C	22
10	A 80 μm -thick layer of EPAPV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 3.8×10^3 volts/cm at 97.5°C	22

Figure		Page
11	A 80 μm -thick layer of PPAB placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 9.4×10^2 volts/cm at 92.7°C	23
12	A 80 μm -thick layer of PPAB placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 3.8×10^3 volts/cm at 92°C	24
13	A 100 μm -thick layer of PPAB placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 1.8×10^4 volts/cm at 122.5°C	24
14	A 100 μm -thick layer of EPPHP placed between transparent electrodes in a d.c. electric field of 1.0×10^4 volts/cm at 66.6°C	26
15	A 100 μm -thick layer of EPPHP placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 7.5×10^3 volts/cm at 67.1°C	26
16	A 100 μm -thick layer of EPPHP placed between transparent electrodes in an a.c. electric field 2.0×10^4 volts/cm at 67.1°C	27
17	A 100 μm -thick layer of EPPHP placed between transparent electrodes in a d.c. electric field of 2.5×10^4 volts/cm at 67.1°C	27
18	A 100 μm -thick layer of PCBA placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 2.1×10^3 volts/cm at 69.4°C	28
19	A 100 μm -thick layer of PCBA placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 1.0×10^3 volts/cm at 68.1°C	28

Figure	page
20	A 100 μm -thick layer of PCBA placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 2.5×10^4 volts/cm at 75.8°C 29
21	A 150 μm -thick layer of EPAPV in an a.c. electric field of 6.4×10^2 volts/cm at 90.6°C with the free-lead electrodes having separation of 1.18 mm..... 31
22	A 150 μm -thick layer of EPAPV in an a.c. electric field of 2.1×10^3 volts/cm at 91.6°C with the free-lead electrodes having separation of 1.18 mm..... 32
23	A 150 μm -thick layer of EPAPV in a d.c. electric field of 6.4×10^2 volts/cm at 92.0°C with the free-lead electrodes having separation of 1.18 mm..... 32
24	A 150 μm -thick layer of EPAPV in a d.c. electric field of 1.8×10^3 volts/cm at 92.0°C with the free-lead electrodes having separation of 1.18 mm..... 33
25	Fan-shaped texture of PCBAV at temperature 72.3°C 36
26	Fan-shaped texture of PCBAV at temperature 106.2°C 36
27	Polygonal texture of EEBAC at temperature 140°C 37
28	Polygonal texture of EEBAC at temperature 140°C 37
29	A 100 μm -thick layer of PCBAV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 2.2×10^4 volts/cm at 94.0°C 40
30	A 100 μm -thick layer of EEBAC placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 1.0×10^4 volts/cm at 150.4°C 40

Figure		Page
31	A 100 μm -thick layer of PCBAV placed between transparent electrodes in a d.c. electric field of 2.5×10^3 volts/cm at 100.3°C	41
32	A 100 μm -thick layer of PCBAV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 5.0×10^3 volts/cm at 104.1°C	41
33	A 100 μm -thick layer of PCBAV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 7.2×10^3 volts/cm at 103.6°C	42
34	A 100 μm -thick layer of PCBAV placed between transparent electrodes in an a.c. electric field of 7.2×10^3 volts/cm at 96.4°C	42