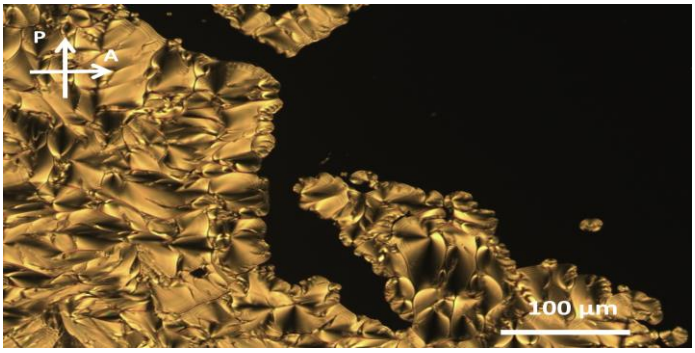
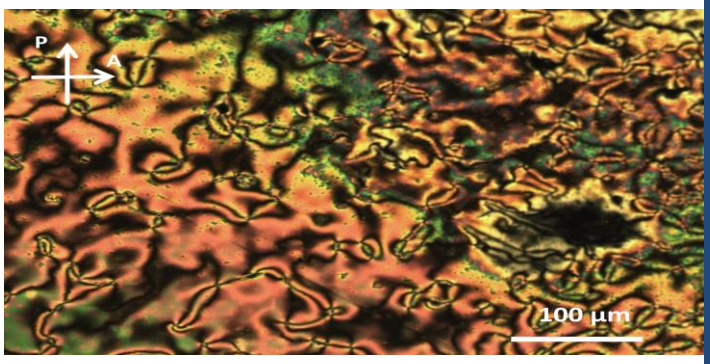
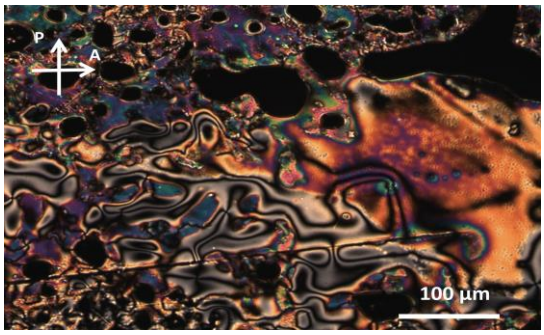
Novel Liquid Crystals with Bulky Terminal Groups for Ferroelectric Displays in Nanotechnology

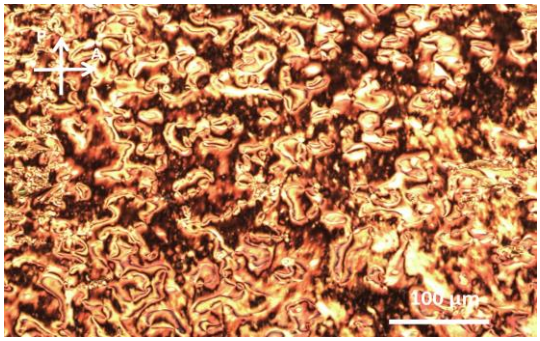
By Dr/ Rami Adel Pashameah

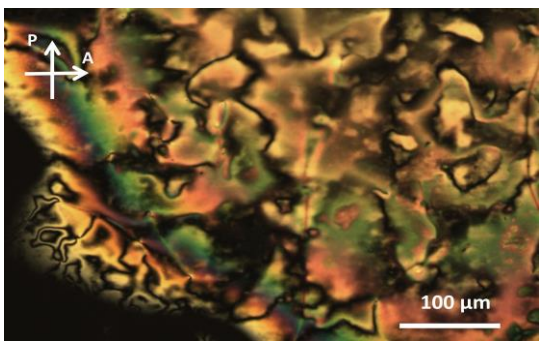
Chemistry & Physics











© **Rami Adel Pashameah , 2022**

King Fahd National Library Cataloging-in-Publication Data

Pashameah ، Rami Adel
Novel Liquid Crystals with Bulky Terminal Groups for Ferroelectric Displays in Nanotechnology. / Pashameah ، Rami Adel - 1. .- Makkah Al-Mukaramah , 2022

228p ; ..cm

ISBN: 978-603-04-0865-8

1- Liquid crystals I-Title

530 dc 1443/7127

L.D. no. 1443/7127
ISBN: 978-603-04-0865-8

Summary

This Book is a thesis submitted for the degree of doctor of philosophy (PhD) on Novel Liquid Crystals with Bulky Terminal Groups for Ferroelectric Displays in Nanotechnology in the University of Hull, UK.

The field of liquid crystals has become the focus of extensive research over the last century in terms of the design, synthesis and evaluation of novel materials, and the development of high technology applications, particularly displays. Virtually all current liquid crystal displays are based on the nematic phase, however, ferroelectric liquid crystal displays based on the chiral smectic C phase offers many advantages such as faster switching, higher resolution and contrast, bistability and wider angles of view. Although ferroelectric microdisplays are a commercial success, the technology is currently severely limited in their applicability because of problems in aligning the molecules in the ideal so-called bookshelf configuration. A wide range of novel materials has been designed, synthesized and evaluated. The main feature of the molecular design is the inclusion of a bulky group as part of a terminal chain, designed to cause a phase separation and preclude layer shrinkage on formation of the smectic C phase, and hence generate the desired bookshelf alignment. The synthesis was affected most efficiently using a range of synthetic methods, in particular low temperature lithiations and Suzuki coupling reactions. The materials were evaluated for structure and purity, and for mesomorphic and physical properties. The majority of the novel materials exhibit the smectic C phase over a wide temperature range, some compounds generate solely the smectic C phase whereas other additionally show the smectic A and nematic phases, and these results helps to establish patterns of how the mesomorphism relates to the structure of the bulky terminal group. Selected novel compounds were mixed with an established ferroelectric host mixture (KCHM211) to generate a range of novel ferroelectric host mixtures, which were doped with an established chiral dopant (BE8OF2N) to generate a range of novel ferroelectric mixtures, which were evaluated for their ferroelectric properties, namely tilt angle and spontaneous polarization. The results in terms of synthesis, mesomorphism and ferroelectric properties are discussed comparatively between novel compounds and known compounds.

Contents

1- Introduction .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.1 Historical Aspects of Liquid Crystals .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.1.1 Early Discoveries.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.1.2 Early Classification .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.1.3 Theories and Early Applications .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.2 Types of Liquid Crystals.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.2.1 Thermotropic and Lyotropic Liquid Crystals.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.2.2 Types of Thermotropic Liquid Crystals .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.3 Chirality in Liquid Crystal Phases .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.3.1 Chiral Nematic Phase (N*).....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.3.2 Chiral Smectic C Phase (SmC*).....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.4 Basic Structural Features of Calamitic Thermotropic LCs خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.4.1 Core Units.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.4.2 Terminal Groups.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.4.3 Lateral Substituents .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.5 Physical Properties of Liquid Crystals .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.5.1 Viscosity.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.5.2 Optical Anisotropy (Birefringence).....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.5.3 Dielectric Anisotropy .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.5.4 Elastic Constants .....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.6 Identification and Characterization of Liquid Crystals.... خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.6.1 Polarized Optical Microscopy (POM).....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
1.6.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

1.6.3 X-ray Diffraction89 ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.7 Display Applications of Liquid Crystals ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.7.1 Display using the Nematic Phase ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.7.2 Ferroelectric Displays ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.8 Physical properties of ferroelectric liquid crystalline material17, 52 . **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.9 Ferroelectric Liquid Crystal Materials ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.9.1 The “All-Chiral” Approach ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.9.2 Host Materials ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.9.3 Chiral Dopants ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

1.10 References ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

2- Aims and objectives ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

2.1 Aims of this Research ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

2.2 References ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3- Experimental ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1 Techniques and Methods of Analyses ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.1 Purification of Materials ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.2 Structural Analysis and Purity ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.3 1H and 13C Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR) **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.4 Mass Spectrometry (MS) ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.5 Thin Layer Chromatography (TLC) ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.6 Rotary Evaporator ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.7 Elemental Analysis (EA) ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.8 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.9 Polarising Optical Microscopy (POM) ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.1.10 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.2 Experiment abbreviation .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.3 Synthetic Schemes .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.4 Experimental Procedures .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

3.5 References .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

4- Experimental Discussion .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

4.2 References .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5- Results and Discussions .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.1 Difluoroterphenyl Compounds (with three benzene rings) **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.1.1 Transition Temperatures (○C)for 2,3 difluoroterphenyls (compounds 28, 29 and 42) .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.1.2 Transition Temperatures (○C) for 2,3-difluoroterphenyls (compounds 36, 37, 44, 56, 82 and 87) .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.1.3 Transition Temperatures (○C) for 2,3-difluoroterphenyls (compounds 20, 21, 39 and 73) .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.2 Cyclohexylbiphenyl Compounds (with the ortho difluorophenyl unit)..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.3 Cyclohexylterphenyl Compounds (with the ortho difluorophenyl unit)..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.4 Difluoroquarterphenyl Compounds .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.5 Mixture Studies on Compounds having a Bulky end group .. **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.6 Electro-Optical Studies of Bulky end Groups in a Standard Mixture. **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.6.1 Experimental Techniques .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

Many of the novel compounds prepared were mixed with standard ferroelectric mixture (KCHM211) and chiral dopant to determine the magnitude of their tilt

angle and spontaneous polarisation (Ps) as a temperature function. The tilt angle and spontaneous polarisation (Ps) measurements were carried out in 5 μm cells filled by capillary action as shown below. The cells used were coated with an antiparallel-rubbed polyimide alignment layer. .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.6.2 Procedure for Measuring Ps Values .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.6.3 Tilt Angle Measurements .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.6.4 Tilt Angle and Ps Measurements for compounds 20mix1*, 20mix2*, 36mix1*, 36mix2*, 39mix1*, 42mix1*, 44mix1*, 59mix1*, 60mix1* and 87mix1*.....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

5.7 References.....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

6- Conclusion.....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

6.1 References.....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

Liquid Crystals/ Chemistry & Physics

Novel Liquid Crystals with Bulky Terminal Groups for Ferroelectric Displays in Nanotechnology

Ferroelectric liquid crystal displays switch 1000 times faster than conventional liquid crystal displays, and offer much higher resolution, and hence are suitable for microdisplay applications. Novel liquid crystals will be synthesized, with the broad aims of enhancing switching speeds and improving the alignment of the molecules in the display.

Dr/ Rami Pashameah