

OTDK DOLGOZAT

2025

Elektronedvesítés ferroelektromos nematikus folyadékkristályokkal



ELTE

Székely Kadosa Koppány

ELTE Fizika BSc, 3. év

szekely.kadosa@gmail.com

Témavezető:

Salamon Péter

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont

salamon.peter@wigner.hun-ren.hu

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
1.1. A folyadékkristályok szerkezete	2
1.1.1. Nem poláros folyadékkristályok	3
1.1.2. Poláros folyadékkristályok	4
1.2. Elektronedvesítés	7
2. Motiváció	8
3. Használt anyagok, eszközök és módszerek	9
3.1. Anyagok	9
3.2. Mintakészítés	10
3.3. Elektronedvesítés mérése	11
3.4. Képfeldolgozási módszerek	12
4. Eredmények	14
4.1. RM734	15
4.1.1. Ferroelektromos nematikus fázis	15
4.1.2. Nematikus fázis	16
4.1.3. Ferroelektromos nematikus és nematikus fázisok összehason- lítása	18
4.1.4. Kontaktszög	20
4.2. 8OCB	20
4.2.1. Nematikus fázis	20
4.2.2. Kontaktszög	24
4.3. DIO	24
4.3.1. Ferroelektromos nematikus fázis	24
4.3.2. Nematikus fázis	28
4.3.3. Kontaktszög	30
5. Összefoglalás	30
6. Saját eredmények	31
Hivatkozások	32

1. Bevezetés

A folyadékkristályokat elterjedten használjuk a mindennapi életben telefonok, laptopok és TV-k kijelzőjében. [1] Sikerességük annak köszönhető, hogy jelentős előnyeik vannak más technológiákkal (pl. a katódsugárcsőves, vagy a plazmaképernyőkkel) szemben: vékonyabbak, könnyebbek, kevesebb energiát használnak és ma már olcsóbbak is. [2]

1.1. A folyadékkristályok szerkezete

A folyadékkristályok olyan anyagok, amelyek többnyire megnyúlt, rúd alakú szerves molekulákból álló kristályok megolvadásakor jönnek létre, és amelyek mechanikai tulajdonságai a hétköznapi folyadékokéra emlékeztetnek, míg optikai, elektromos és más tulajdonságaik a kristályokra jellemző irányfüggést (anizotrópiát) mutatnak. Termotrop folyadékkristályok esetén a különböző fázisok csak egy adott hőmérséklet-tartományon állnak fenn, további melegítés hatására, egy jól definiált hőmérsékleten az anyag átalakul izotrop folyadékká.

A rúd alakú molekulákból álló folyadékkristályok több csoportba oszthatóak, de az mindegyikben közös, hogy bennük a molekulák hossz tengelyei egy kitüntetett irány, a direktor körül fluktuálnak. [1] A direktor egy olyan speciális egységvektor, amelyik megegyezik a -1 -szerezésével, azaz invariáns a 180° -os forgatásra nézve, ami nem azt jelenti, hogy a molekulák tükröszimmetrikusak, csak azt, hogy a két beállítás valószínűsége egyforma. [3] Ugyanakkor a folyadékkristályokban - ellentétben a szilárd kristályos állapottal - a molekulák tömegközéppontjai nem alkotnak háromdimenziós rácsot. Az egyes folyadékkristály fázisok közötti különbségeket többnyire csak a tömegközéppontok rendezettségének mértékében fennálló eltérések adják. [1]

Mivel jelen dolgozat témája a ferroelektromos nematikus folyadékkristályokra korlátozódik, a későbbiekben csak az ehhez kapcsolódó fázisokat fogom bemutatni.

1.1.1. Nem poláros folyadékkristályok

a) *Nematikus folyadékkristályok*

Ezek a fajta folyadékkristályok állnak a legközelebb a közönséges folyadékokhoz. Ebben az állapotban a tömegközéppontok elrendeződése véletlenszerű, a molekuláknak csak az iránya rendezett, az anyag a direktor körül hengerszimmetriát mutat (ez az 1. ábrán is látható, a nematikus folyadékkristályokat a táblázat N-nel jelöli). A nematikus folyadékkristályok, az izotrop és newtoni folyadékokhoz hasonlóan, semmilyen irányú nyírással szemben nem tanúsítanak rugalmas ellenállást. A nematikus elnevezés ezeknél a folyadékkristályoknál onnan származik, hogy gyakran jellegzetes fonalak figyelhetők meg bennük, a görög "nema" szó, pedig fonalat jelent. [1]

b) *Szmeztikus folyadékkristályok*

Ebbe a csoportba olyan folyadékkristály fázisok tartoznak, amelyekben a molekulák már nem csak irány szerint rendezettek, hanem a tömegközéppontjaik párhuzamos síkokban helyezkednek el, amelyek egymáshoz képest szabadon tudnak mozogni. Az elnevezésük onnan származik, hogy ezek az anyagok sok tekintetben úgy viselkednek, mint a szappanok vizes oldata, a "smegma" görög szó pedig szappant jelent.

Az 1. ábrán látható módon, a szmeztikus folyadékkristályoknak több típusa is van. Egyrészt a molekulák hossztengeleének átlagos iránya, a $\mathbf{d}$ direktor, nem mindig párhuzamos a szmeztikus réteg $\mathbf{n}$ normálisával. Másrészt egy rétegen belül a molekulák tömegközéppontjai elhelyezkedhetnek rendezetlenül vagy rendezetten is, sőt a molekulák hossztengele körüli forgás is erősen gátoltta válhat.

A továbbiak szempontjából lényeges szerepe van a szmeztikus C (S_C) fázisnak. Az ilyen szerkezettel rendelkező anyag makroszkopikus tulajdonságai nem változnak a réteg normálisa és a direktor által meghatározott síkra való tükrözéskor és az erre a síkra merőleges tengely körüli 180° -os forgatáskor, mert ezek a szimmetriaműveletek a szerkezetet önmagába viszik át. [1]

	Fázis	Direktorral párhuzamos metszet	Direktorra merőleges metszet	Megjegyzés
RENDEZETTSÉG ↓	N			3D folyadék, egytengelyű
	S _A			2D folyadék, merőleges, egytengelyű
	S _C			2D folyadék, dőlt, kéttengelyű
	S _B			hexagonális, merőleges, egytengelyű
	S _I			hexagonális, dőlt, kéttengelyű
	S _E			2D kristály, halszállás, merőleges, egytengelyű
	S _G			pszeudo, halszállás, dőlt, kéttengelyű

1. ábra. A különböző folyadékkristály fázisok szerkezete
[1]

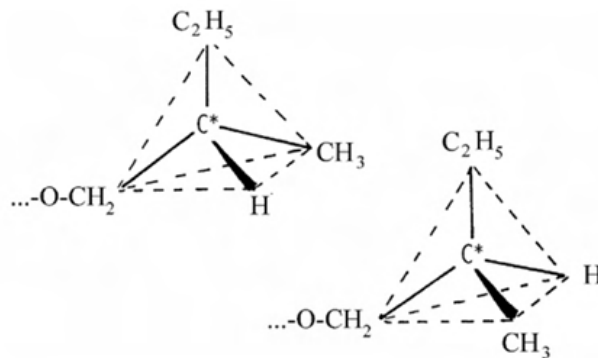
1.1.2. Poláros folyadékkristályok

a) Királis szmektikus C* folyadékkristályok

A poláros folyadékkristályok klasszikus példája a királis szmektikus C* (S_C^*) fázis, mely spontán elektromos polarizációval rendelkezik, tehát ferroelektromos. Az ilyen anyagok molekulái királisak, vagy királis molekulákkal adalékoltak. A fázis megértéséhez a következőkben bevezetjük a kiralitás fogalmát.

Egy molekula királis, ha megkülönböztethető egy tükörképétől. A kiralitás legtöbbször úgy valósul meg, hogy egy tetraéderes kötésben lévő szénatomhoz mind a négy kötési irányban különböző atomok illetve atomcsoportok kapcsolódnak. Ezek a molekulák nem tükörszimmetrikusak, létezik "balos" illetve "jobbos" módosu-

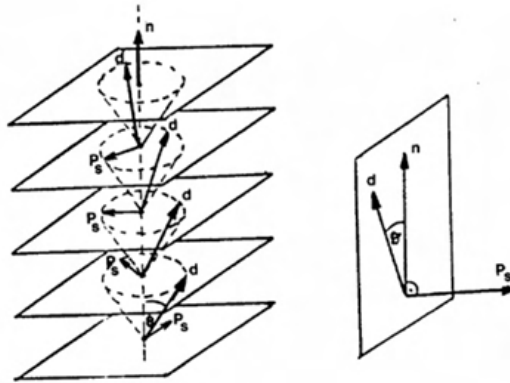
latuk is, amelyek egymásba nem alakulhatnak át (2. ábra). A csak jobbos vagy csak balos molekulákból álló anyag optikailag aktív, így elforgatja a rajta átmenő polarizált fény polarizációs síkját. [1]



2. ábra. Egy királis atomcsoport két lehetséges térszerkezete [1]

A királis molekulákat tartalmazó anyagok is rendelkezhetnek folyadékkristály fázissal, viszont a megjelenésükben lényeges különbségek lehetnek. A királis folyadékkristályokban ugyanis csavarszerkezet alakul ki, azaz a direktor egy adott irány mentén haladva periodikusan körbe forog.

A csavarszerkezetre figyelemmel az S_C fázis királis változatát csavart szmektikus C (S_C^*) folyadékkristálynak nevezik. Az S_C^* fázisban a csavartengely egybeesik a rétegnormálissal, így a direktor egy kúpfelületen forog körbe (3. ábra). [1]



3. ábra. Csavarszerkezet a csavart szmektikus C (S_C^*)
folyadékkristályokban [1]

A tükörszimmetria hiánya miatt az S_C^* anyagok csak egy szimmetriaművelettel szemben invariánsak, ez pedig az $\mathbf{n} \times \mathbf{d}$ tengely körüli 180° -os forgatás. Ez a forgatás az esetleges tengelyirányú dipólmomentumokat helyben hagyja, így az S_C^* anyagok rendelkezhetnek spontán polarizációval, amit a következőképpen határozhatunk meg:

$$\mathbf{P}_S = P_S \frac{1}{\sin \theta} \mathbf{n} \times \mathbf{d}$$

P_S előjeles mennyiség, abszolútértéke a $(0-1000) \cdot 10^{-5}$ C/m²-es tartományba esik. A csavart szmektikus C folyadékkristályok emiatt a spontán polarizáció miatt ferroelektromosak. [1]

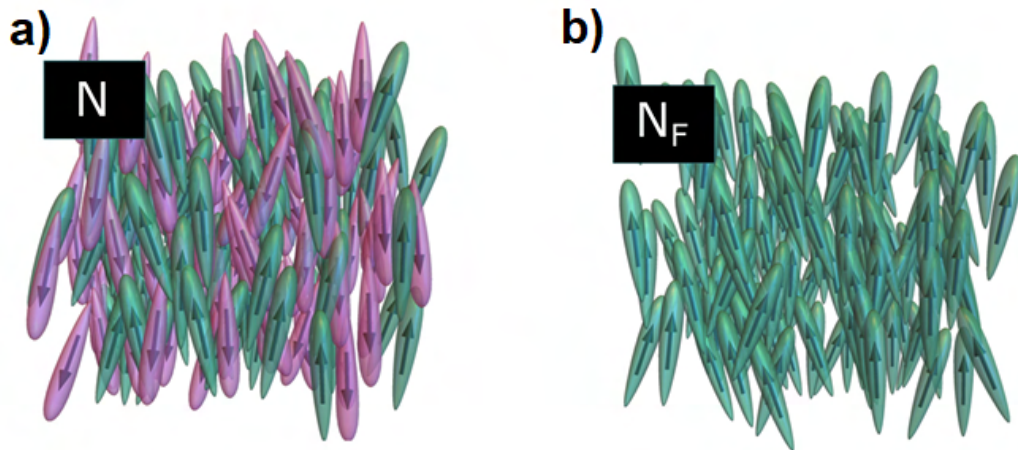
A szmektikus folyadékkristályokat általában, így az S_C^* -ot is kétdimenziós folyadékoknak szokták nevezni, amiatt, hogy az alkotó molekulák mobilitása a szmektikus rétegeken belül jelentős, míg a rétegek közti átjárás, és a rétegek deformációja gátolt. [4] Ebből következően ezek az anyagok gélszerűek, viszkozitásuk nagy.

b) Ferroelektromos nematikus folyadékkristályok

A ferroelektromos nematikus fázist 2017-ben fedezték fel, bár Born már több, mint 100 évvel ezelőtt megjósolta a létezését [5][6][7], különlegessége pedig abban rejlik, hogy spontán elektromos polarizációval rendelkezik, amellet, hogy alacsony viszkozitású, "háromdimenziós" folyadék, ellentétben az előző szekcióban bemutatott S_C^* -gal. A ferroelektromos nematikus folyadékkristályok nem királisak és óriási

effektív permittivitással jellemezhetőek, ami az anyag különlegesen nagy mértékű érzékenységet mutatja az elektromos mezőkre. [7]

A spontán elektromos polarizáció a ferroelektromos nematikus folyadékkristályok esetén onnan ered, hogy ebben a fázisban megszűnik a hagyományos nematikus inverziós (vagy fej-láb) szimmetria, így a molekulák hossz tengelyei irányában a molekuláris dipólmomentumok nem átlagolódnak ki, hanem összeadódnak, spontán polarizációt eredményezve (4. ábra). [7]



4. ábra. A molekulák és a nyíllal jelölt dipólmomentumaik eloszlása a nematikus (a) és a ferroelektromos nematikus (b) fázisban [7]

1.2. Elektronedvesítés

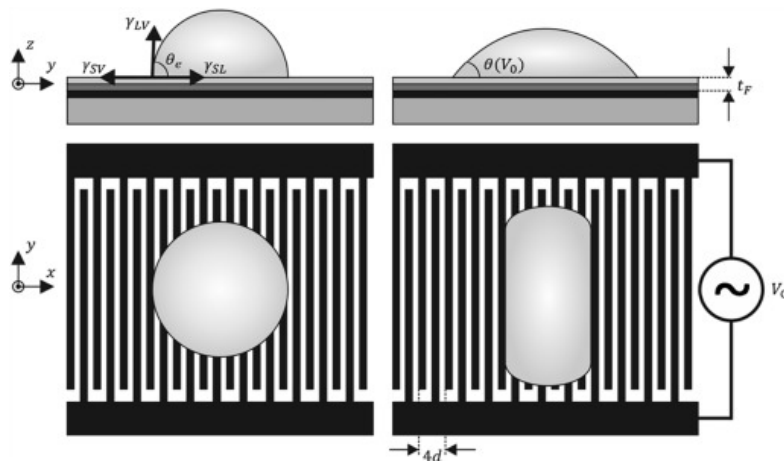
A folyadék-dielektroforézis egy fizikai jelenség, amelyben erő hat egy dielektromos folyadékban lévő dipólusra, inhomogén elektromos mezőben. Amikor a jelenséget létrehozó elektródák érintkeznek a folyadékkal, a folyadék-dielektroforézis lokalizálttá válik a határfelületen, és ilyenkor képes megváltoztatni a határfelület energiaegyensúlyát. Ha a határfelület szilárd-folyadék határfelület, akkor a felület nedvesítési tulajdonságai módosulnak, és ezt nevezzük elektronedvesítésnek. [8]

Ez a gyakorlatban a folyadék szétterülésének, illetve a kontaktszögnek a megváltozásában nyilvánul meg. A kontaktszög (az 5. ábrán θ -val jelzett szög) a folyadék-gáz és a szilárd-folyadék felületek által bezárt szög, melyet jelen esetben a módosított Young-egyenlettel jellemezhetünk [8]:

$$\cos(\theta(U)) = \cos(\theta_0) + \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_L - \varepsilon_V)}{2 \cdot \gamma_{LV} \cdot \delta} U^2 \quad (1)$$

ahol U a feszültség, θ_0 a nulla feszültségnél mért kontaktszög, ε_0 a vákuum

permittivitása, ε_L és ε_V a folyadék és a külső közeg (levegő) relatív permittivitása, γ_{LV} a felületi feszültség, δ az elektromos mező penetrációs mélysége.



5. ábra. Elektronedvesítéses kísérlet a feszültség bekapcsolása előtt és után [8]

2. Motiváció

A ferroelektromos nematikus folyadékkristályok elektronedvesítési tulajdonságainak vizsgálata azért érdekes, mert ezen anyagok óriási permittivitása arra utal, hogy minden egyéb anyaghoz képest alacsonyabb feszültség hatására is a folyadékfelszín nagyobb deformációja, terítése hozható létre. A munkám célja ennek a hipotézisnek az ellenőrzése volt.

Az elektronedvesítés jelensége egy újfajta lehetőséget ad az elektromos folyadéktranszportra ("digitális mikrofluidika"), melynek során egy folyadék alatti elektródarendszerrel a folyadék alakja, helyzete befolyásolható [8]. A ferroelektromos nematikus folyadékkristályok használata miatt az ilyen eszközök feszültségigénye jelentősen lecsökkenhet, ami új távlatokat nyithat az ilyen alkalmazásokban.

Az elektronedvesítés alkalmazásának egy másik lehetősége a folyadékcseppek elektromosan hangolható fókusztávolságú lencseként történő használata. Mivel a sík felületen ülő folyadékkristály cseppek plano-konvex lencseként is felfoghatóak, így amikor a feszültség változtatásával változtatjuk az alakjukat, a fókusztávolságukat is tudjuk hangolni, ami a jövőben lehetővé teheti olyan kamerák kifejlesztését, amik mechanikai alkatrészek nélkül lesznek képesek fókuszálni vagy zoomolni.

Ehhez a kísérleti eszközhöz tartozik egy Canon EOS 450D kamera és egy Ques-tar QM100 nagy munkatávolságú objektív, amikkel a cseppek oldalnézeti képeit rögzítettem a kontaktszögek meghatározásához. Ehhez továbbá egy fényforrást is használtam a jobb láthatóság érdekében.

A szubsztrátot egy fűtött mintaasztalra helyeztem, mivel szobahőmérsékleten ezek az anyagok nem folyékonyak, hanem szilárd kristályokat alkotnak.

Az anyagok szubsztrátra helyezése során egy nagyobb porszemről levettem egy kisebbet, amit óvatosan a szubsztrátra helyeztem, hogy szép kör alakú cseppeket kapjak.

3.3. Elektronedvesítés mérése

Az oldalnézeti képek elkészítése után egy Zeiss Axio A1-es polarizációs mikroszkóp-ba helyeztem a mintákat a szubsztrátokkal együtt, amiknek a segítségével szinusz jelalakú váltófeszültséget kapcsoltam a folyadékkristályokra: $\tilde{U}(t) = \sqrt{2} U \sin(2\pi ft)$, ahol U a jel rms amplitúdója, f a frekvencia és t az idő.



8. ábra. Zeiss mikroszkóp

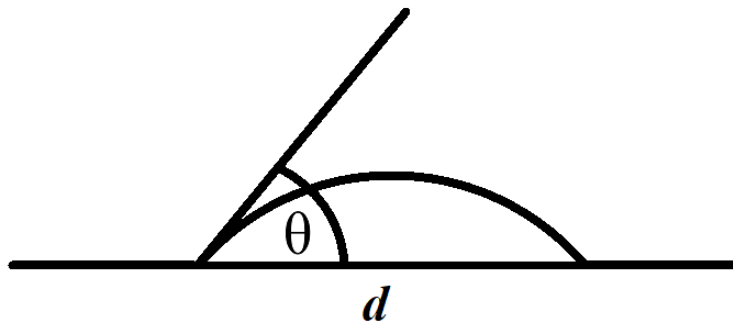
Ezután a cseppekről felülnézeti képeket készítettem a feszültség függvényében.

3.4. Képfeldolgozási módszerek

A képek feldolgozására saját programot írtam python-ban, amelyben az opencv programcsomag segítségével a képeket beolvastam, szürkeárnyalatossá konvertáltam, majd pedig egy küszöbintenzitás beállításával binárisra konvertáltam. Ezután meghatároztam a képen lévő alakzatok kontúrjait, és meghatároztam a kontúrok által körbezárt területeket, amiből megkaptam a cseppek alapterületét. Az éppen vizsgált cseppeket a beolvasás után körbevágtam, és úgy hajtottam végre rajtuk a többi lépést.

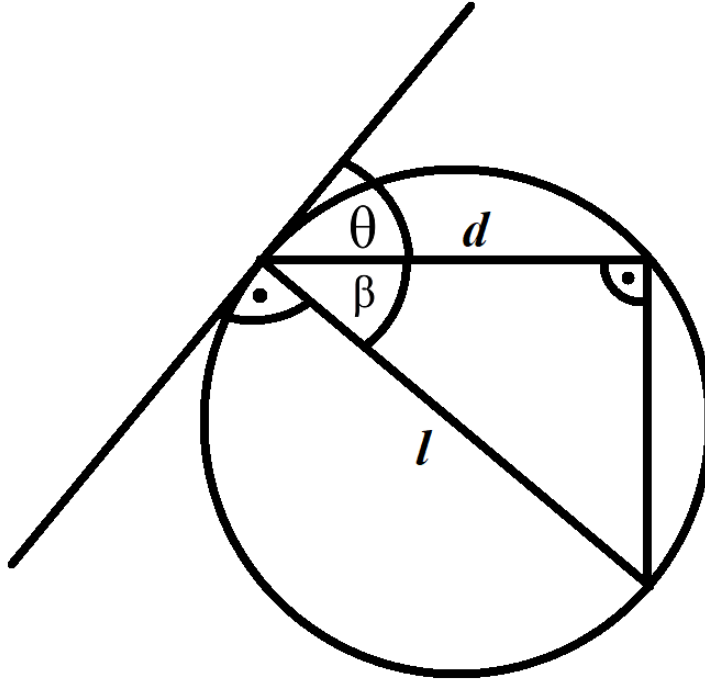
Az opencv-vel továbbá a cseppek kezdeti átmérőjét is meghatároztam, amit fel is tüntettem az ábrákon. Az átmérőkből emellett a kezdeti alapterületet is kiszámoltam, és összevetettem a program által a kontúrból számított értékekkel, a különböző módszerekkel pedig minden esetben nagyjából azonos méretű alapterületeket kaptam.

Emellett a kezdeti kontaktszögeket is az opencv segítségével határoztam meg. Minden általam használt anyagról készítettem oldalnézeti képet a mérés elején, melyek a következő módon néztek ki:



9. ábra. Csepp oldalnézeti képe, ahol θ a kontaktszög, d pedig a csepp átmérője

Ezekre a képekre berajzolva a cseppek oldalnézeti képére ráilleszthető köröket már meg tudtam határozni a képekből a kontaktszögeket a következő módon:

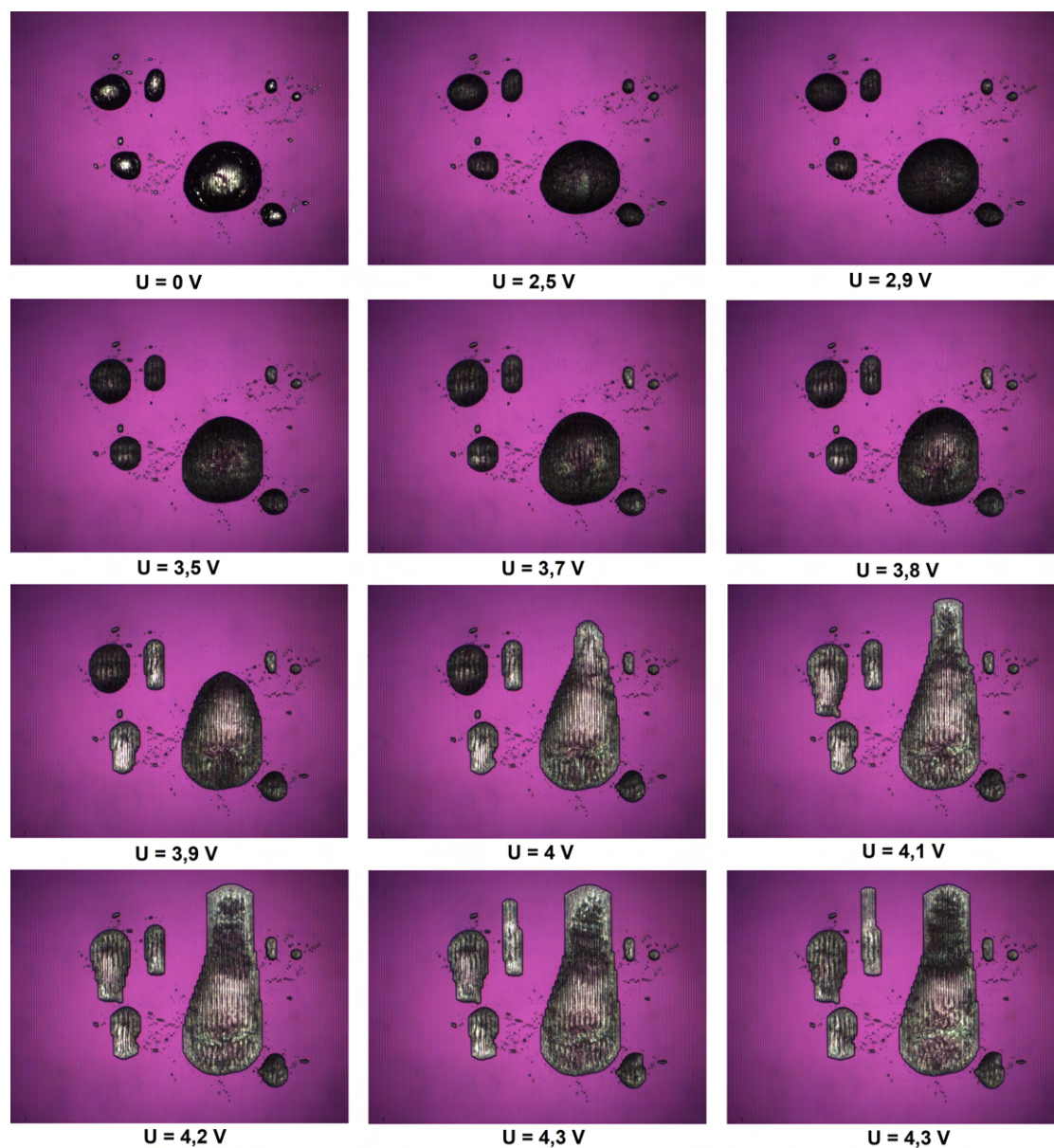


10. ábra. Csepp oldalnézeti képe, ahol θ a kontaktszög, d a csepp átmérője, l pedig a berajzolt kör átmérője

A 10. ábrán jól látszik, hogy $\theta = 90^\circ - \beta$, továbbá az is meghatározható, hogy $\beta = \arccos(d/l)$, amiből a kontaktszög: $\theta = 90^\circ - \arccos(d/l)$.

4. Eredmények

A 11. ábrán az RM734 anyag ferroelektromos nematikus fázisának mikroszkópos felvételei láthatóak. A képsorozaton jól látszik, hogy hogyan növekszik a csepp alapterülete a feszültség hatására.

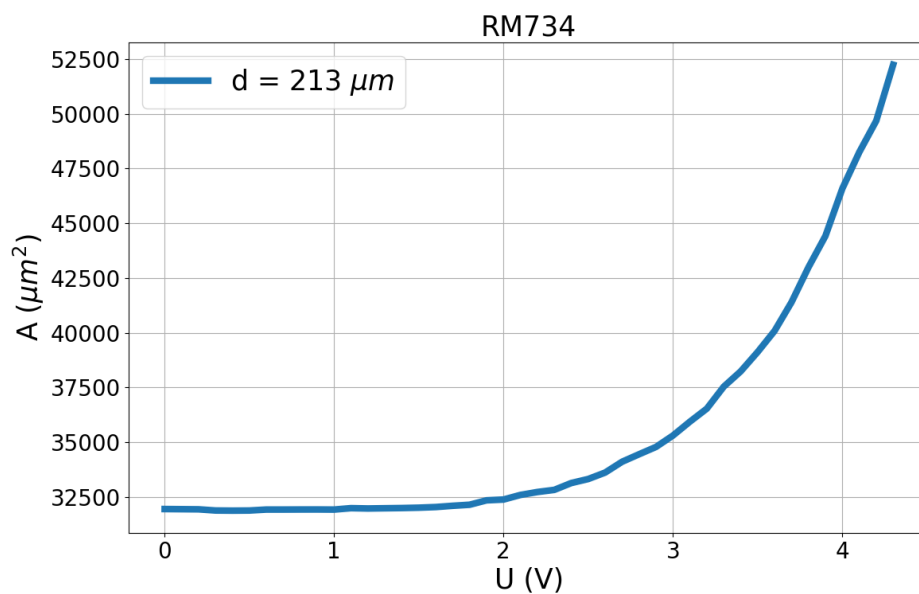


11. ábra. Képsorozat az RM734 anyag ferroelektromos nematikus fázisának mikroszkópos felvételeiről, 125 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett (a képek valós mérete: 2,04 mm × 2,73 mm)

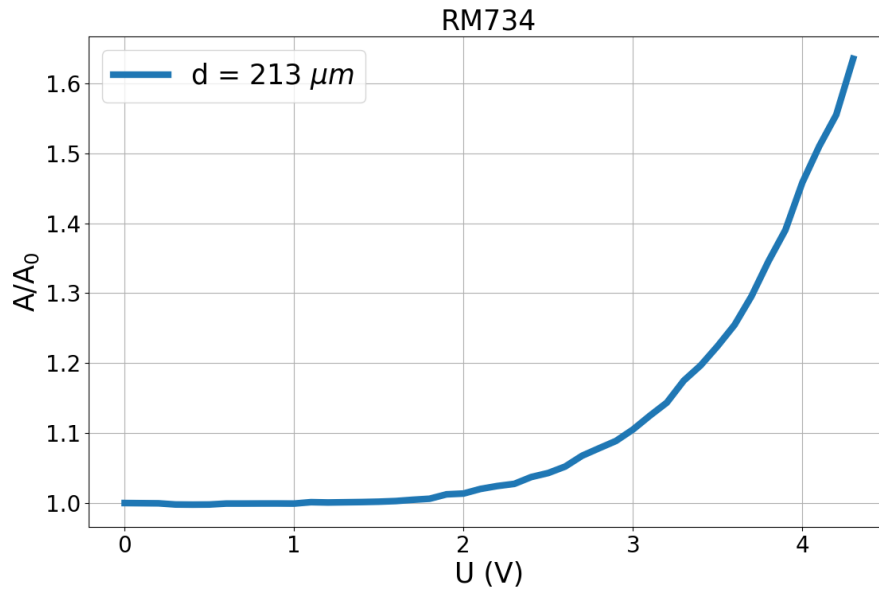
4.1. RM734

4.1.1. Ferroelektromos nematikus fázis

A 12. és a 13. ábrán az RM734 anyag alapterülete, illetve normált alapterülete látható a feszültség függvényében, ferroelektromos nematikus fázisban.



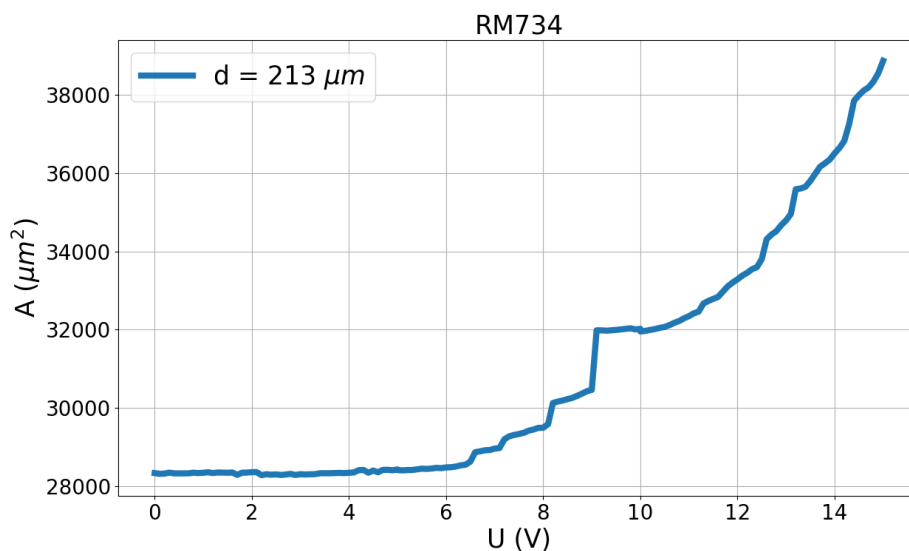
12. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 125 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban



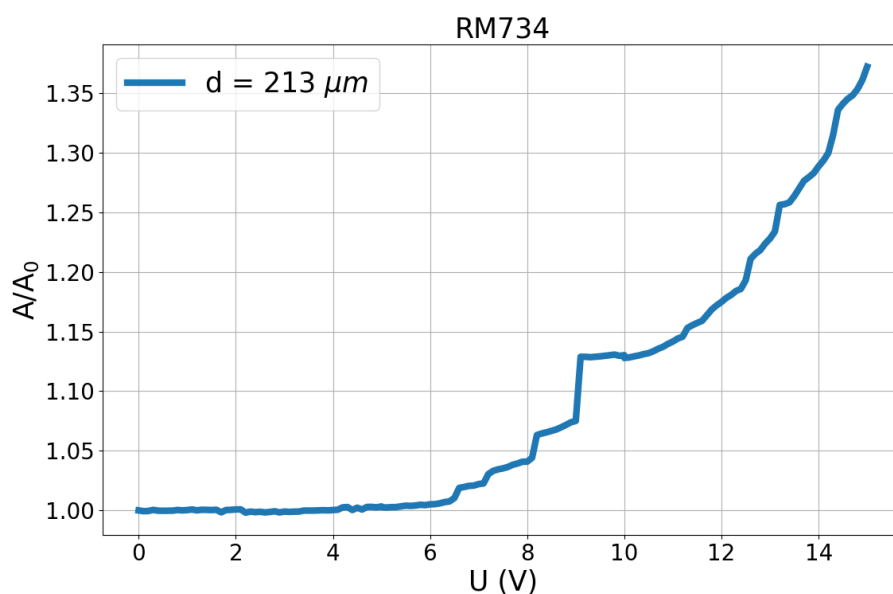
13. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 125 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban

4.1.2. Nematikus fázis

A 14. és a 15. ábrán az RM734 anyag alapterülete, illetve normált alapterülete látható a feszültség függvényében, nematikus fázisban.



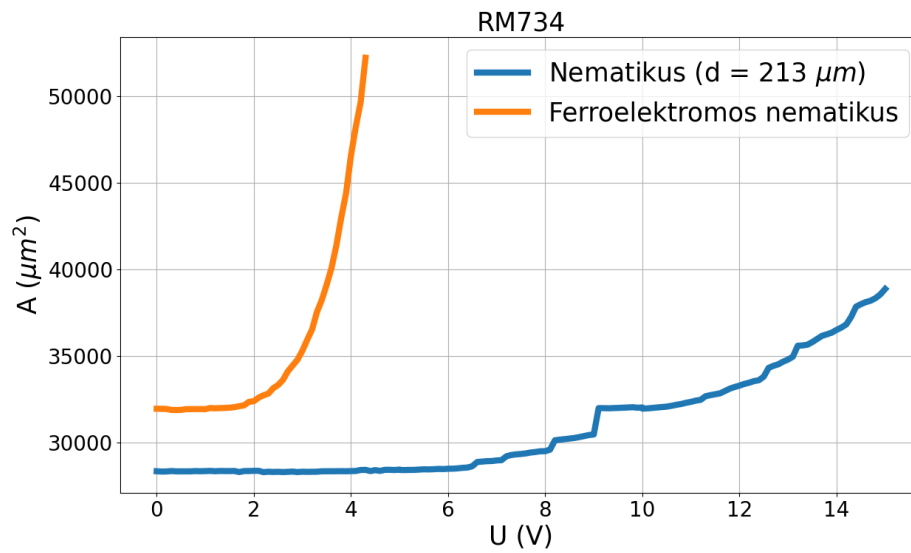
14. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 150 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban



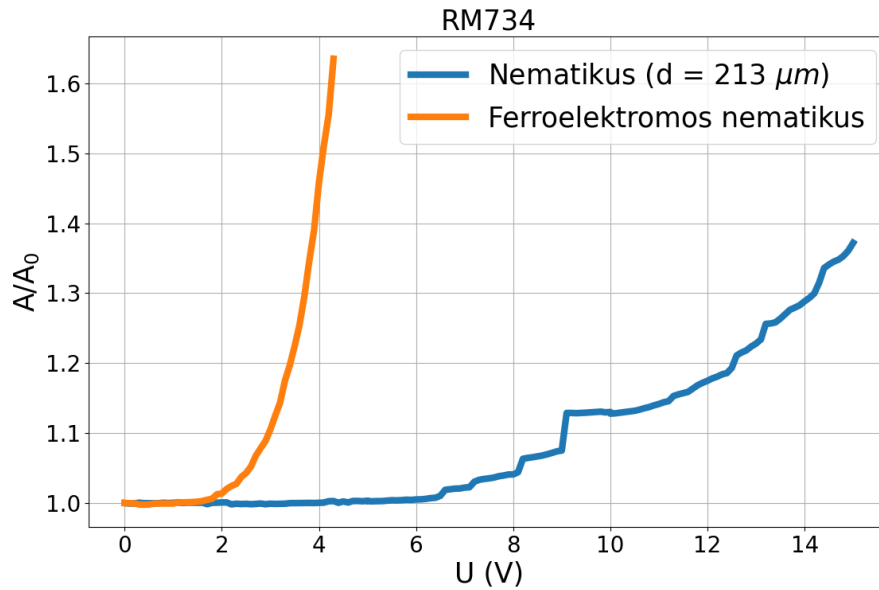
15. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 150 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

4.1.3. Ferroelektromos nematikus és nematikus fázisok összehasonlítása

A 16. és a 17. ábrán az RM734 anyag alapterülete, illetve normált alapterülete látható a feszültség függvényében, ferroelektromos nematikus és nematikus fázisban.



16. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, a ferroelektromos nematikus fázis esetén 125 °C-on, a nematikus fázis esetén 150 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett



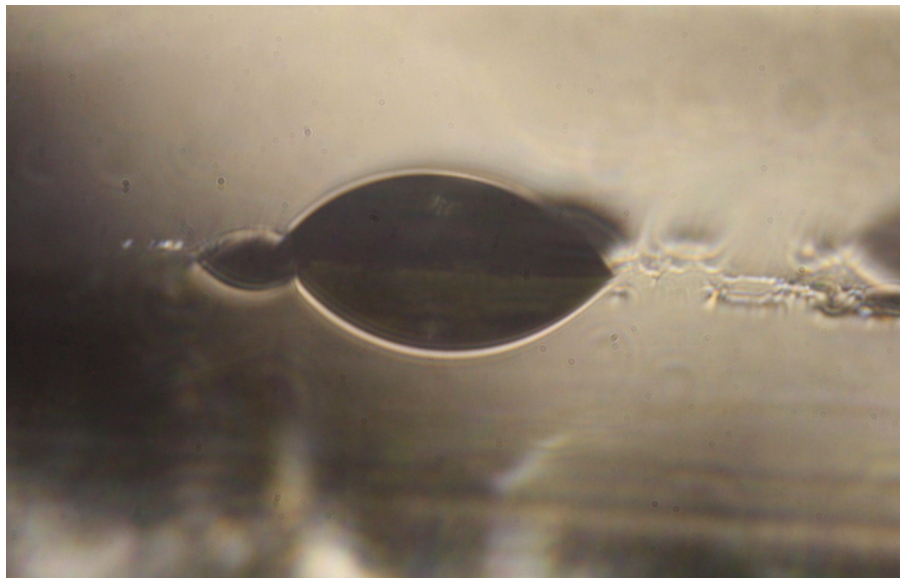
17. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében az RM734 anyag esetén, d kezdeti átmérővel, a ferroelektromos nematikus fázis esetén 125 °C-on, a nematikus fázis esetén 150 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett

A 16. és 17. ábrán jól látszódik, hogy a ferroelektromos nematikus fázis mennyivel erősebben reagál az elektromos mezőre a klasszikus nematikushoz képest.

A nematikus fázisban 9 V környékén történik egy nagyobb ugrás a területben, ott a csepp hirtelen megnyúlt az elektródákkal párhuzamosan.

4.1.4. Kontaktszög

A 18. ábrán látható az RM734 csepp oldalnézeti képe.



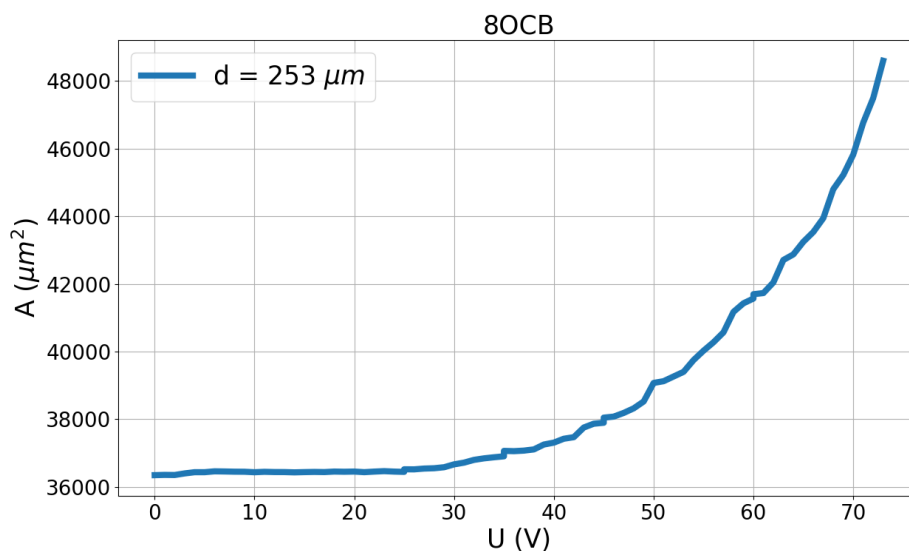
18. ábra. RM734 csepp oldalnézetben (a kép valós mérete: 0,29 mm $\times$ 0,46 mm)

Az RM734 anyag kontaktszögére $54,5^\circ$ adódott.

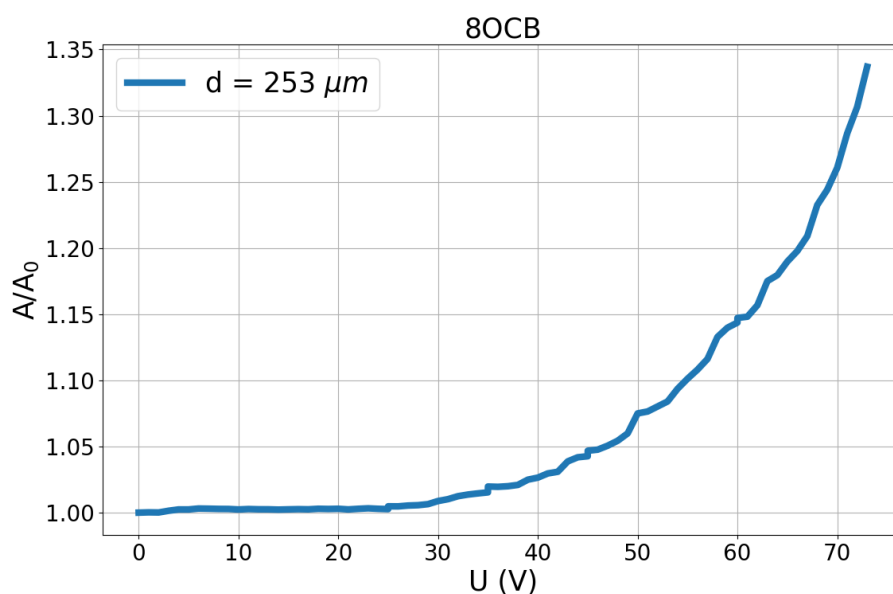
4.2. 8OCB

4.2.1. Nematikus fázis

A 19. és a 20. ábrán a 8OCB anyag alapterülete, illetve normált alapterülete látható a feszültség függvényében, nematikus fázisban.

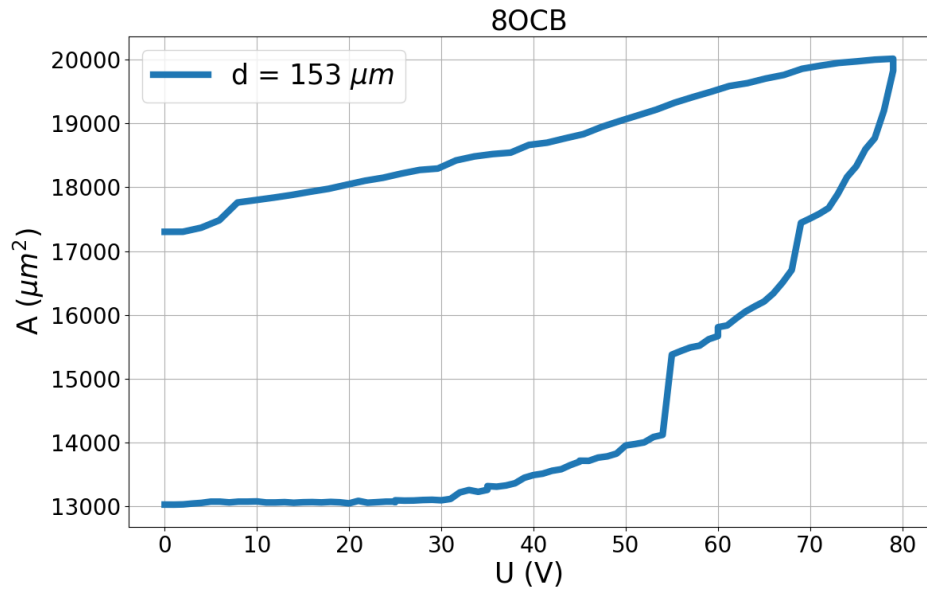


19. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében a 8OCB anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 70 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

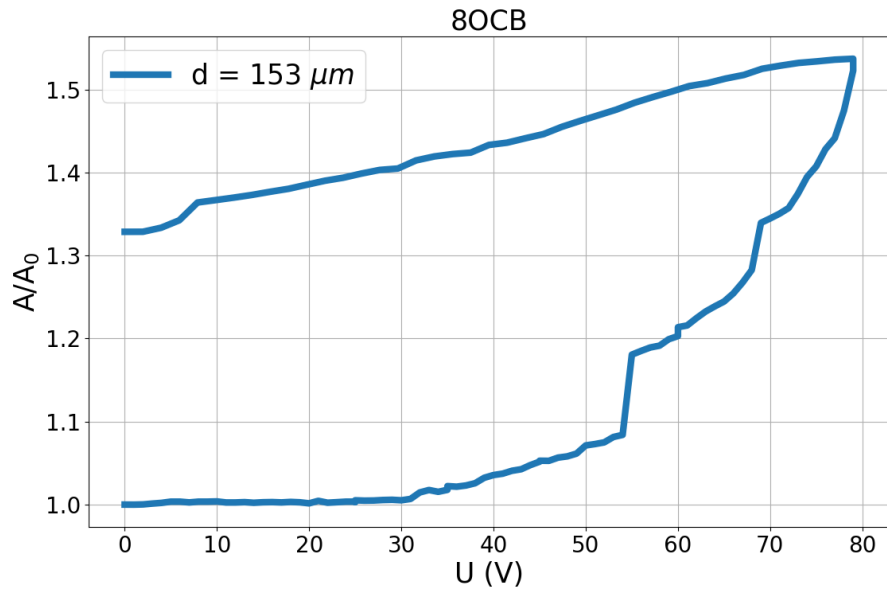


20. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében a 8OCB anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 70 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

A 8OCB anyagnál végeztem egy olyan mérést is, ahol a feszültséget felnöveltem 79 V-ra, majd onnan visszacsökkentettem 0 V-ra. Ezt a mérést a 21. és 22. ábra mutatja be.



21. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében a 8OCB anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 70 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

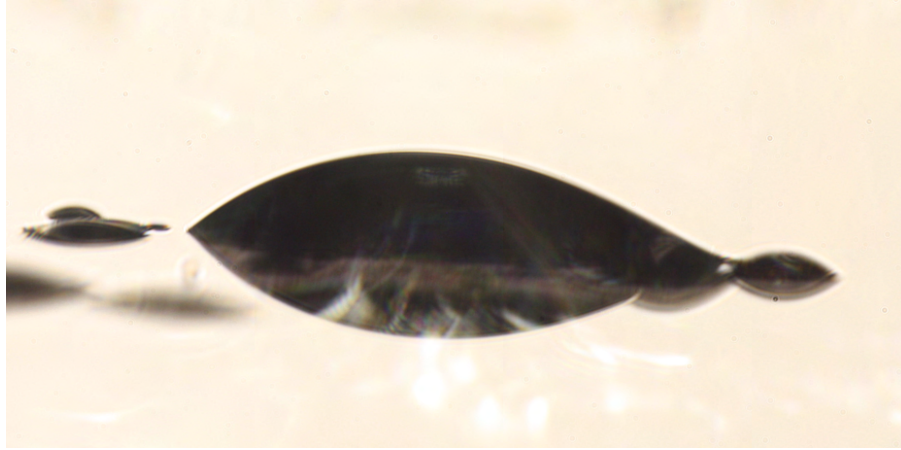


22. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében a 8OCB anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 70 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

A 21. és a 22. ábrán látható, hogy a csepp alapterülete 55 V körül ugrik egyet. A csepp széle ott éppen átugrik egy elektródát, és ez okozza a hirtelen területnövekedést.

4.2.2. Kontaktszög

A 23. ábrán látható a 8OCB csepp oldalnézeti képe.



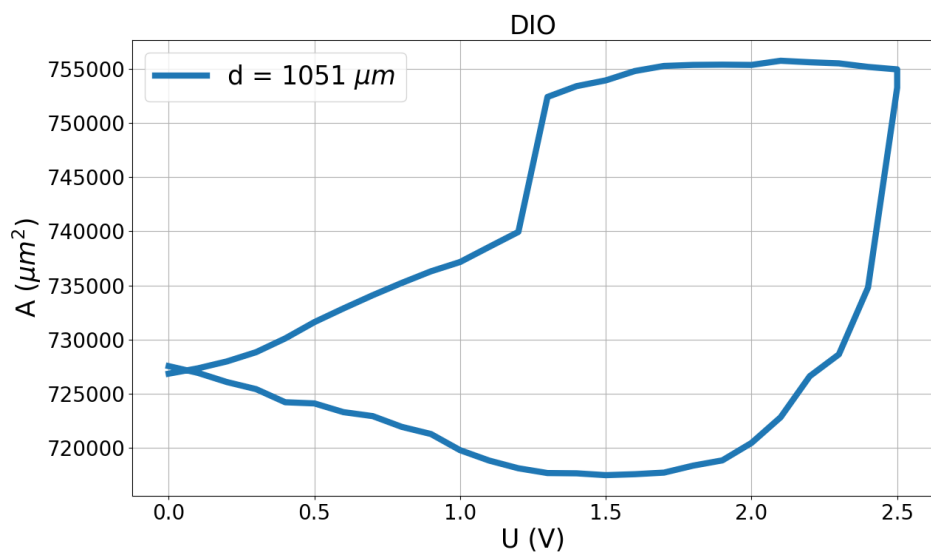
23. ábra. 8OCB csepp oldalnézetben (a kép valós mérete: 0,31 mm $\times$ 0,63 mm)

A 8OCB anyag kontaktszögére $43,2^\circ$ adódott.

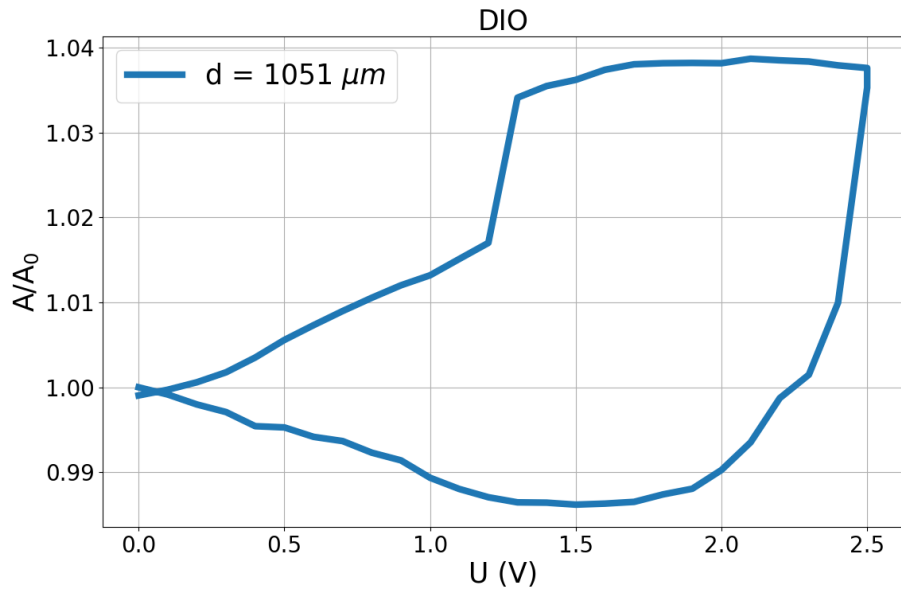
4.3. DIO

4.3.1. Ferroelektromos nematikus fázis

A DIO anyagon először egy olyan mérést végeztem, ahol a feszültséget felnőveltem 2,5 V-ra, majd onnan visszacsökkentettem 0 V-ra. Ezt a mérést a 24. és 25. ábra mutatja be, ahol jól látszik, hogy a feszültség növelésekor illetve csökkentésekor más az A terület U -függése, ami jelentős hiszterézist mutat.

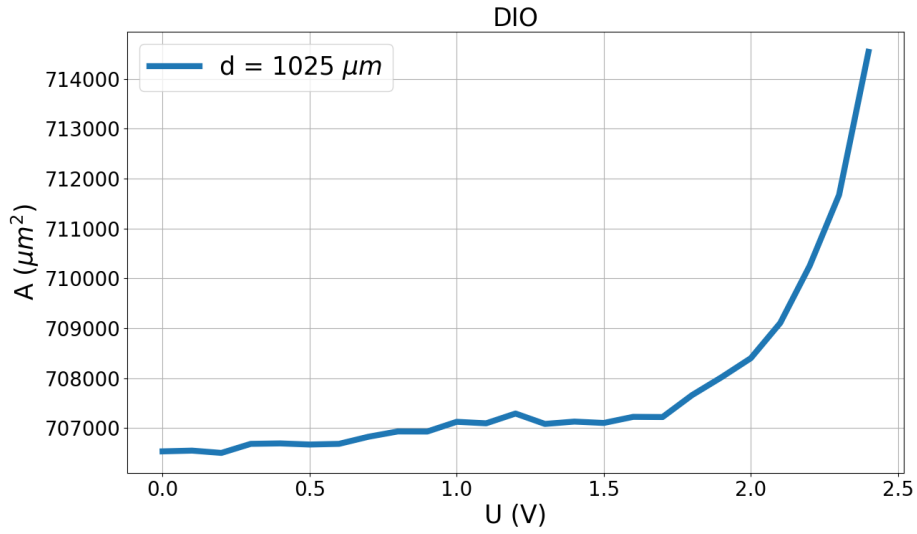


24. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, $60\text{ }^\circ\text{C}$ -on, 1 kHz -es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban

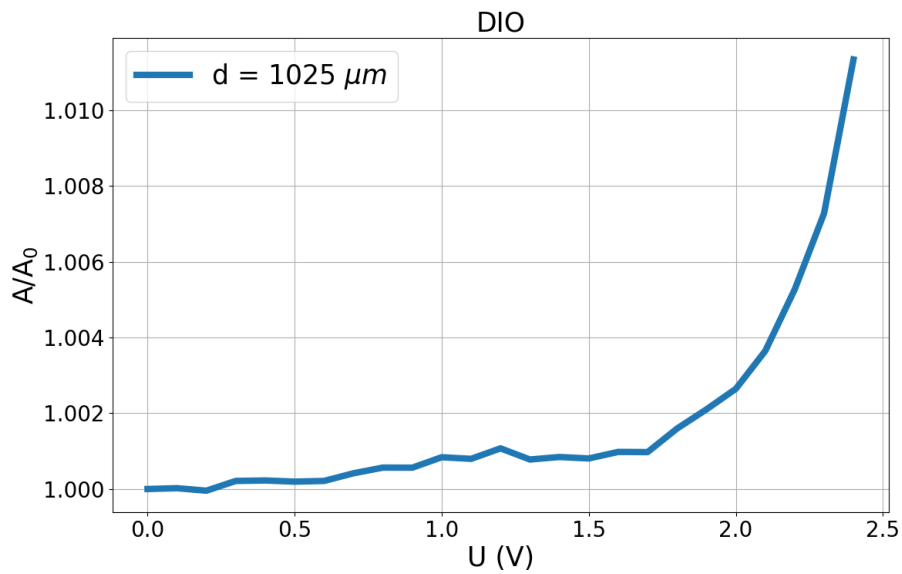


25. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, $60\text{ }^\circ\text{C}$ -on, 1 kHz -es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban

Majd mivel ezután a csepp nagyjából visszaállt a kiindulási méretére, újra elvégeztem rajta a mérést, ekkor azonban már $3,5\text{ V}$ -ig vittem fel a feszültséget. Ebben az esetben viszont a csepp már annyira megnőtt, hogy összeolvadt pár másik mellette lévő cseppel is, ami miatt a mérés azon szakaszait levágtam az ábráról. Ezt a mérést a 26. és 27. ábra mutatja be.



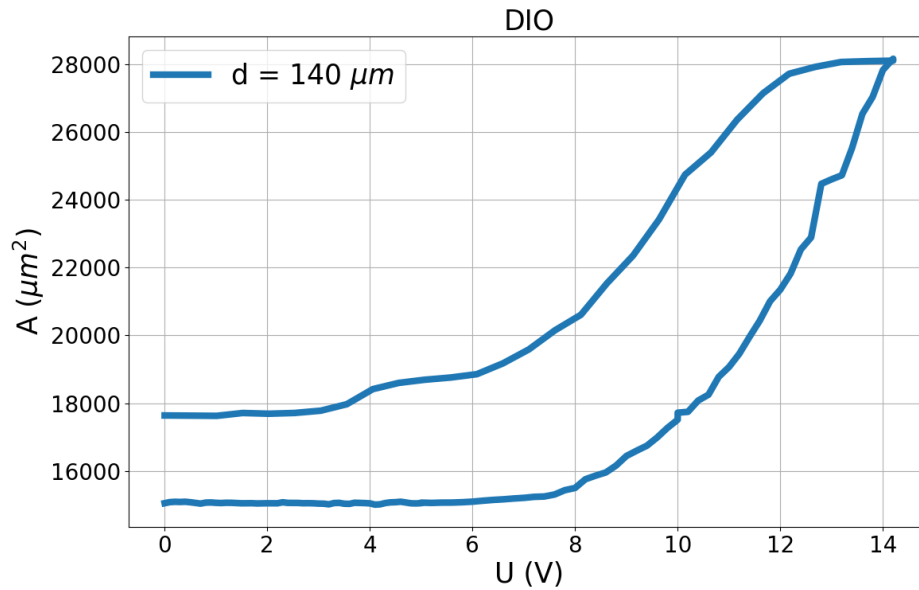
26. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 60 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban



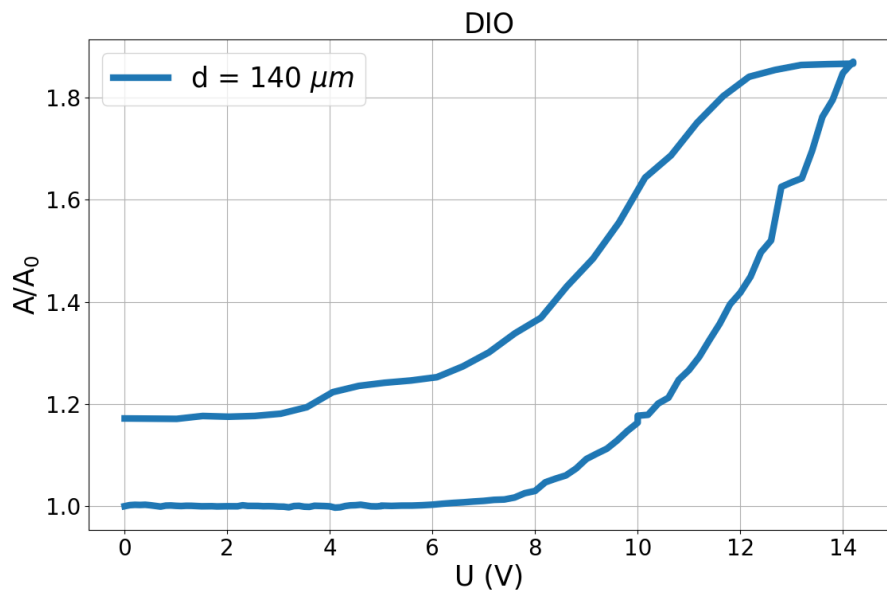
27. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 60 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, ferroelektromos nematikus fázisban

4.3.2. Nematikus fázis

A nematikus fázisban is olyan mérést végeztem, ahol a feszültséget felnőveltem 14,2 V-ra, majd onnan visszacsökkentettem 0 V-ra. Ezt a mérést a 28. és 29. ábra mutatja be. Itt is jól megfigyelhető a csepp alapterület feszültségfüggésének hiszterézise.



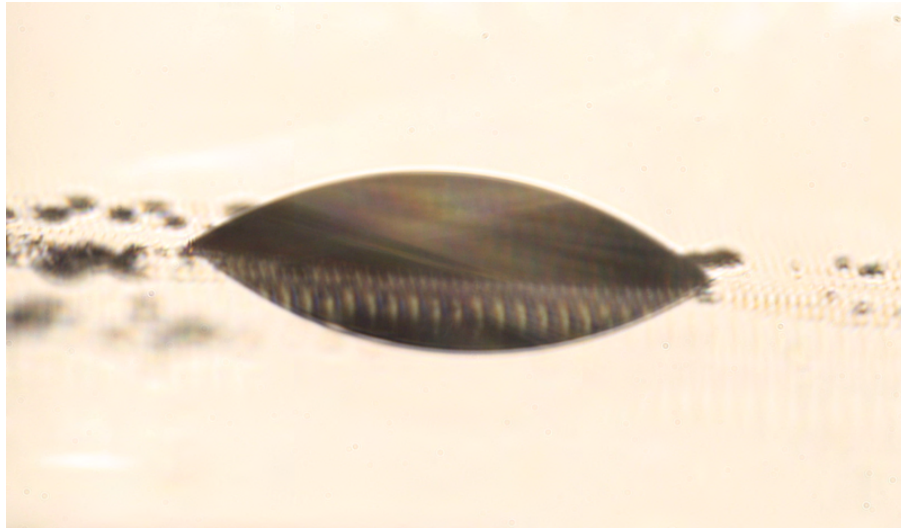
28. ábra. A csepp alapterülete (A) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 100 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban



29. ábra. A csepp normált alapterülete (A/A_0) a feszültség (U) függvényében a DIO anyag esetén, d kezdeti átmérővel, 100 °C-on, 1 kHz-es frekvenciájú váltakozó feszültség mellett, nematikus fázisban

4.3.3. Kontaktszög

A 30. ábrán látható a DIO csepp oldalnézeti képe.



30. ábra. DIO csepp oldalnézetben (a kép valós mérete: $0,32 \text{ mm} \times 0,54 \text{ mm}$)

A DIO anyag kontaktszögére $36,1^\circ$ adódott.

5. Összefoglalás

A méréseim során a ferroelektromos nematikus folyadékkristályok elektronedvesítési tulajdonságait vizsgáltam.

Azt a feltételezést, miszerint ezen anyagok óriási permittivitásuk miatt minden egyéb anyaghoz képest erősebben reagálnak alacsonyabb feszültségekre is, igazolták a méréseim, ami új lehetőségeket nyit többféle gyakorlati alkalmazás szempontjából is, és jelentősen lecsökkenthetik különböző, folyadékkristályok alkalmazására alkalmas eszközök feszültségigényét.

A következő lépés az effektív kontaktszög feszültségfüggésének meghatározása lesz, illetve annak kikísérletezése, hogy miként lehetne megoldani, hogy ezeknek az anyagoknak az elektronedvesítéses kísérleteiben minimalizáljuk a hiszterézist.

Az elektronedvesítéses kísérletek továbbá a dielektromos állandó meghatározására is egy új módszert jelentenek a módosított Young-egyenleten keresztül.

6. Saját eredmények

- Azt a feltételezést, miszerint a ferroelektromos nematikus folyadékkristályok óriási permittivitásuk miatt minden egyéb anyaghoz képest erősebben reagálnak alacsonyabb feszültségekre is, igazolták a méréseim.
- A mintakészítés során a szubsztrátnak használt fésűs felületi elektródákkal ellátott üveglapokra a csatlakozó vezetékeket ultrahangos forrasztással felforrasztottam.
- A szubsztrátot fűtött mintaasztalra helyeztem, amire egyrészt azért volt szükség, hogy a folyadékkristályokat megolvasszam, másrészt pedig, hogy az adott folyadékkristály fázis kialakulásához megfelelő hőmérsékletre melegítsem a szubsztrátra helyezett anyagokat.
- A Zeiss Axio A1-es polarizációs mikroszkóp alatt készített képek feldolgozására saját programot írtam python-ban, amelyben az opencv programcsomag segítségével a képeket beolvastam, szürkeárnyalatossá konvertáltam, majd pedig egy küszöbintenzitás beállításával binárisra konvertáltam. Ezután meghatároztam a képen lévő alakzatok kontúrjait, és meghatároztam a kontúrok által körbezárt területeket, amiből megkaptam a cseppek alapterületét. Az éppen vizsgált cseppeket a beolvasás után körbevágtam, és úgy hajtottam végre rajtuk a többi lépést.
- Az opencv-vel a cseppek kezdeti átmérőjét is meghatároztam, amit fel is tüntettem az ábrákon. Az átmérőkből emellett a kezdeti alapterületet is kiszámoltam, és összevetettem a program által a kontúrból számított értékekkel, a különböző módszerekkel pedig minden esetben nagyjából azonos méretű alapterületeket kaptam.
- Az opencv-vel továbbá a folyadékkristály cseppek kezdeti kontaktszögeit is meghatároztam.
- Az összes általam vizsgált anyag feszültség-alapterület, és feszültség-normált alapterület függvénye a saját méréseimnek az eredménye.

Hivatkozások

- [1] Folyadékkristályok vizsgálata (laborjegyzet), HUN-REN Wigner FK, SZFI, Komplex Folyadékok Osztály (2024)
- [2] Koltai János, Folyadékkristályok és folyadékkristály kijelzők laborjegyzet, ELTE (2013)
- [3] P. de Gennes and J. Prost, The Physics of Liquid Crystals. Clarendon Press, Oxford (1993)
- [4] A. Jakli and A. Saupe, One- and two-dimensional fluids, Taylor and Francis, New York (2009)
- [5] Crystals That Flow: Classic Papers from the History of Liquid Crystals, edited by T. J. Sluckin, D. A. Dunmur, and H. Stegemeyer (CRC Press, Boca Raton, 2004)
- [6] M. Born, Über anisotrope Flüssigkeiten. Versuch einer Theorie der flüssigen Kristalle und des elektrischen Kerr-Effekts in Flüssigkeiten. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. 30, 614–650 (1916)
- [7] Nerea Sebastián, Martin Čopič, Alenka Mertelj, Ferroelectric nematic liquid-crystalline phases, Physical Review E 106, 021001 (2022)
- [8] A.M.J. Edwards, C.V. Brown, M.I. Newton, G. McHale, Dielectrowetting: The past, present and future, Current Opinion in Colloid and Interface Science 36, 28–36 (2018)
- [9] Kayako Hori, Minako Kurosaki, Haiping Wu, Koichi Itoh, Two crystal forms of $C_{21}H_{25}NO$, Acta Crystallographica C52, 1751-1754 (1996)