ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКАННЯ СВІТЛА В КОМІРКАХ З СУСПЕНЗІЯМИ НАНОЧАСТИНОК PIGMENT RED 176 В ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

М. І. Лосяк^{1, а}, О. Г. Булуй², Ю. І. Курйоз², В. Г. Назаренко²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Фізико-технічний інститут ² Інститут фізики НАН України

Анотація

Давно відомі оптичні ефекти, наприклад двопроменезаломлення і електричний дихроїзм, які пов'язані з орієнтацією частинок під дією зовнішнього поля і мають свої витоки в анізотропії молекул досліджуваного середовища. Метою нашої роботи було дослідження оптичних властивостей ізотропної суспензії наночастинок барвника Pigment Red 176 (PR 176) в додекані при прикладанні зовнішнього електричного поля. Вперше властивості пропускання світла при проходженні крізь комірку із суспензією PR 176 для концентрацій вище 15 вагових процентів (рідкокристалічна фаза) було досліджено в роботі Станнаріуса і Єрьоміна в 2011 році.

Орієнтаційний вплив електричного поля на пропускання світла зразками досліджувався при спостереженні за зміною дихроїзму суспензії в залежності від величини прикладеного електричного поля. Зразки (комірки) заповнювались суспензією із концентрацією барвника PR 176 в додекані 5 та 10 вагових процентів (ізотропна фаза). За відсутності зовнішнього поля частинки пігменту розміщуються хаотично і зразок розсіює падаюче світло. Після увімкнення поля частинки орієнтуються вздовж напрямку поля і інтенсивність світла, що проходить крізь зразок, збільшується. Після вимкнення напруги наночастинки пігменту повертаються до попереднього ізотропного стану. У результаті були отримані залежності величини інтенсивності світла, що пройшло крізь комірку, від часу прикладання електричного поля, які дають підставу говорити про надшвидкі(мікросекунди) часи ввімкнення.

Ключові слова: суспензія, Pigment Red 176, дихроїзм

Вступ

У 1875 році Дж. Керром було встановлено, що в електричному полі деякі ізотропні речовини стають оптично анізотропними, що проявляється у виникненні двопроменезаломлення [1]. Лармор припустив, що подвійне променезаломлення є наслідком орієнтації анізотропних молекул або частинок в ізотропному середовищі [1]. З моменту свого відкриття ефект був використаний в безлічі пристроїв, з яких найбільш відомим є електрооптичний затвор, який використовується для вимірювання швидкості світла, високошвидкісної зйомки, модуляції інтенсивності оптичних пучків в лазерних пристроях [1]. Теорія даної концепції була сформульована Ланжевеном для полярних і Борном для неполярних молекул [2].

Хаотичне розташування анізотропних молекул обумовлює макроскопічну ізотропність середовища за відсутності поля. Зовнішнє електричне поле індукує в молекулі дипольний момент, який пропорційний полю, але не збігається з ним по напрямку через анізотропію поляризації молекули. Крім того, багато молекул мають власний дипольний момент, величина і орієнтація якого залежать від хімічної будови молекули. При взаємодії постійного поля з індукованим диполем виникає момент сил, який прагне повернути молекулу так, щоб напрямок її максимальної поляризованості співпав з напрямком поля. Орієнтуюча дія поля і дезорієнтуюча дія теплового руху молекул призводять до встановлення певної орієнтації молекул, що визначає анізотропію оптичних властивостей середовища [3].

Коли імпульс припиняється орієнтована система релаксує до первісної, випадкової орієнтації. Цей процес релаксації, як правило, можна описати експоненціальним законом. У роботі з двопроменезаломленням скла Керр отримав час релаксації порядку секунд [2]. У 1900 році було визначено, що зникнення (релаксація) електричного двопроменезаломлення рідин відбувається менш ніж за 10⁻⁸ секунд [2].

Є декілька оптичних ефектів, окрім подвійного променезаломлення, які пов'язані з орієнтацією частинок під дією електричного поля. У відповідь на імпульсне застосування поля спостерігаються зміни в інтенсивності розсіювання, флуктуації розсіяного світла, поглинання, флуоресценція та лінійний дихроїзм. Усі вони мають свої витоки в анізотропії молекул досліджуваного середовища [1]. Лінійний електричний дихроїзм спостерігається в мікрокристалічних і колоїдних суспензіях. Молекула може краще поглинати світло, яке поляризовано паралельно одній з осей молекули, ніж іншій. Такі суспензії

^alosyakm@gmail.com



Рис. 1. а) Хімічна формула Pigment Red 176; b) спектр поглинання; c) SEM фото частинок пігменту

мають різні коефіцієнти поглинання для складових світлових коливань, які паралельні та перпендикулярні до напрямку зовнішнього електричного поля [2].

Метою роботи є дослідження суспензії наночастинок барвника Pigment Red 176 в додекані в присутності поверхнево активної речовини (ПАР) для концентрацій менших 15 wt%, коли рідкокристалічна фаза відсутня. Вперше властивості пропускання світла при проходженні крізь комірку із суспензією наночастинок Pigment Red 176 було досліджено в роботі Станнеріуса і Єрьоміна в 2011 році [4]. Авторами вивчалась рідкокристалічна фаза сумішей цих наночастинок, а саме концентрації вищі за 15 wt%. Суміш представляє нематичний рідкий кристал за невеликої об'ємної частки пігменту в суспензії і демонструє сильний оптичний і електричний відгук на зовнішнє електричне поле.

1. Матеріали та обладнання

Нами були дослідженні частинки Pigment Red 176 $(C_{32}H_{24}N_6O_5)$, які було суспендовано в неполярному розчиннику додекані за присутності поверхнево активної речовини (ПАР). Використовувались концентрації пігменту нижче 15 wt%, за якої була відсутня рідкокристалічна фаза.

Як видно із SEM фотографії частинок пігменту (рис. 1.с), вони мають еліптичну форму та середню довжину $219 \pm 99,5$ нм. Із форми спектру поглинання (рис. 1.b) видно, що є два піки поглинання, які відповідають довжині хвилі ультрафіолетового випромінювання та видимого зеленого світла.

Властивості Pigment Red 176 вивчались за допомогою т.з. комірок для виготовлення яких використовуються дві паралельні скляні пластини, внутрішні поверхні яких покриті ITO (indium tin oxide), який використовується як прозорий електрод (рис. 2). Товщина кювети фіксується сферичними скляними кульками і складає 20 мкм. Зразки заповнювались суспензією за рахунок капілярності. Поле, яке прикладалось до комірок, було перпендикулярне підкладкам. Таким чином відбувалась переорієнтація пігменту в комірці в полярній площині ("out in-plane"випадок).

Для вимірювання дихроїзму розсіяння суспензії PR 176 була складена наступна схема (рис. 3). В яко-



Рис. 2. а) Схематичне зображення комірки; b) фотографія зразка



Рис. 3. Схема установки

сті джерела випромінювання використовується Не-Ne лазер із робочою довжиною хвилі 632, 8 нм. Перед коміркою розміщується поляризатор так, що промінь був поляризований перпендикулярно до напрямку зовнішнього електричного поля. Світло, після проходження через зразок, потрапляло на фотоприймач. Отриманий сигнал передавався на комп'ютер.

Для керування інтенсивністю світла до комірки прикладається напруга прямокутної форми з частотою 1 або 10 кГц. За відсутності зовнішнього поля частинки пігменту розміщуються хаотично і зразок розсіює падаюче світло. Після його увімкнення частинки орієнтуються довшою віссю вздовж напрямку поля і інтенсивність світла, що проходить через зразок, збільшується. Після вимкнення напруги частинки пігменту повертаються до попереднього стану.

За одну секунду вимірюються 100 000 точок. Поле вмикається через 0, 1 секунди від початку виміру і прикладається протягом 0, 5 секунди. У результаті ми отримуємо залежність інтенсивності світла, що пройшло крізь комірку, від часу.

2. Експериментальні результати

Орієнтаційний вплив зовнішнього електричного поля досліджувалось за зміною дихроїзму суспензії в залежності від величини прикладеного поля. Комірки заповнювались суспензією із концентрацією пігменту PR 176 в додекані 1, 5 та 10 вагових процентів. Частота прикладеного електричного поля складала 1 кГц та 10 кГц.

Контраст пропускання розраховувався за наступною формулою:

$$k = ((I_{max} - I_{min})/I_{max}) * 100\%$$

Були отримані залежності контрасту від прикладеної напруги для частоти зовнішнього електричного поля 10 к Γ ц і 10 wt% концентрації пігменту (рис. 4.а). Помітно, що контраст зростає із збільшенням на-



Рис. 4. Залежності контрасту від часу для різних значень напруги а) концентрація 10 wt%; b) концентрація 5 wt%



Рис. 5. Залежність контрасту від концентрації для 90 В і 10 кГц

пруги, а після певного значення напруги контраст

практично не змінюється. Аналогічно були виміряні і побудовані залежності контрасту від прикладеної напруги для 5 wt% концентрації PR 176 в додекані (рис. 4.b).

Помітно, що контраст пропускання спадає із зменшенням концентрації суспензії. Як видно з (рис. 5) найкраще ефект орієнтації частинок в зовнішньому полі проявляється для 10 wt% концентрації.

Через складність заповнення комірок, концентрація більше 10 wt% не досліджується, так як розчин буде гелем, а після 15 wt% рідким кристалом.

Висновки

Було досліджено дихроїзм в суспензіях з наночастинками Pigment Red 176 в електричних полях. Із залежності контрасту від прикладеної напруги встановлено, що ступенем орієнтації частинок можна керувати змінюючи величину прикладеного електричного поля.

Встановлено, що оптимальними умовами для дослідження явища дихроїзму є зовнішнє електричне поле із частотою 10 кГц і суспензія із 10 wt% концентрацією. Поле з такою частотою дозволяє зменшити вплив гідродинамічних ефектів, а для концентрації 10 wt% явище дихроїзму проявляється краще ніж для суспензій із меншими концентраціями. Через складність заповнення комірок (велика в'язкість) і появу рідкокристалічної фази концентрації вище 10 wt% не досліджувались.

Перелік використаних джерел

- Barry R. Jennings. Proceedings of the Conference on Electro-Optic and Dielectric Studies on Macromolecules and Colloids. — 1978. — P. vii, viii.
- Sonja Krause. Proceedings of a NATO Advanced Study Institute on Molecular Electro-optics. 1980. — Vol. 64. — P. 10, 11, 15.
- В. Волькенштейн М. Молекулярная оптика. М., 1951. — С. 410–412, 460.
- Switching of electrically responsive, light-sensitive, colloidal suspension of anisotropic pigment particles / A. Eremin, R. Stannarius, S. Klein et al. — 2011.