

основі літературних даних [див., наприклад 4] процес утворення гідрогелю желатину поділяють на три стадії. Перша стадія відбувається при охолодженні до 40°C. На цій стадії відбувається об'єднання ланцюгів в потрібну спіраль внаслідок конфірмаційного переходу «клубок-спіраль». На другій стадії відбувається утворення структури так названих «зшитих» мікрогелів. На третій стадії – завершальній утворюється просторова сітка. Для характеристики першої стадії використовуються, як наведено в літературі (див., наприклад [4]) експериментальні методи, на основі поляриметричних досліджень. Одним із параметрів, що можуть характеризувати другу стадію був визначений параметр P_{gel} - частка макромолекул, що формують сітку желатинового гідрогелю. Відповідно до роботи [2] він може бути визначений за формулою

$$P_{gel}(t) = P_{gel}^{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (1)$$

де t - час, P_{gel}^{∞} - гранична величина $P_{gel}(t)$ при $t \rightarrow \infty$, τ - тривалість другої стадії. Як правило, ця величина пов'язана із концентрацією розчину, будовою макромолекули і т.д. В даній статті ми пропонуємо експериментальну методику для визначення проміжку параметру τ - часового інтервалу утворення структури «зшитих» мікрогелів.

Експериментальна методика

Для визначення часового інтервалу τ утворення структури «зшитих» мікрогелів була використана методика, що пов'язана із дослідженням кінетики випаровування краплин. Слід зазначити, що питання про визначення часових інтервалів, впродовж яких відбуваються конформаційні переходи в біополімерних структурах також розглядається і в інших роботах [див. наприклад 5,6]

Головна ідея застосування цього методу полягає в тому, що гелю розглядається як пористий матеріал, що містить каркас сітки та молекули рідини (води), які знаходяться в рівновазі з каркасом [3]. При такій умові випаровування відбуватись не буде.

Пропонований експериментальний метод [7,] заснований на вивченні процесів, що протікають у системі, яка представляє собою краплю, що випаровується. Як відомо (див., наприклад [8]), процес випаровування протікає внаслідок того, що з поверхні рідинних систем вилітає частина молекул, утворюючи над рідиною пар. Для виходу з такої системи молекули, що випаровуються повинні володіти достатньою енергією, щоб подолати сили тяжіння з боку молекул, що залишились. Ці сили визначаються складом рідинної системи. Розглянемо два типи рідинних систем. Перша буде складатися з частинок одного сорту «О». Друга буде представляти собою розчин, що складається з молекул розчинника «О» і розчиненого речовини «Р». Тоді в першому випадку взаємодія між частинками буде визначатися взаємодією «О-О», а в другому взаємодією «О-О», «О-Р» і «Р-Р». Таким чином в рідинних системах, у тому числі і в системі «вода – желатин», процес випаровування буде визначатися не тільки взаємодією молекул розчинника між собою, але також як взаємодією «молекула розчинника-молекула розчиненої речовини», так і взаємодіями тільки між молекулами розчиненої речовини. Взаємодія молекул желатину між собою і спонукає утворення каркасу сітки.

Для дослідження кінетики формування гелю методом краплі, що випаровується, використовувалася експериментальна установка, схема якої наведена на рис. 1.

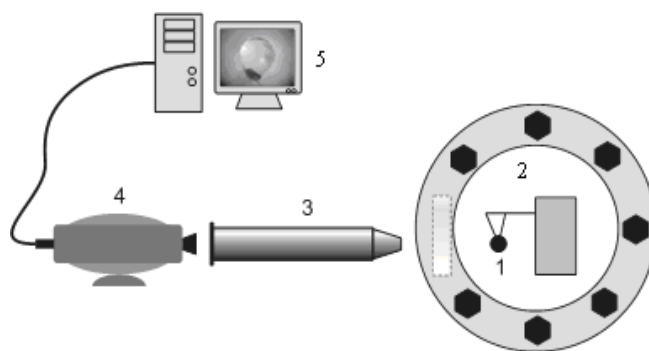


Рис. 1. Схема експериментальної установки для вимірювання швидкості випаровування крапель рідин [7].

Краплина водного розчину желатину з концентрацією 5% підвішується на підвісі (1) що розташований у герметичній камері (2). Це дозволяє контролювати склад газового середовища, в якому відбувається випаровування, його тиск та температуру. За допомогою веб-камери (3), обладнаної модифікованою оптичною системою (4) через фіксовані інтервали часу (30 с) отримуються фотографії краплини. Подальша обробка отриманих зображень здійснюється за допомогою програми Matlab з використанням комп'ютера (5). На основі одержаних даних розраховується площа краплини в певний момент часу. На рис.2 зображено зовнішній вигляд установки для дослідження випаровування крапель рідини. На рис.3 зображено краплю на підвісі в процесі проведення експерименту.

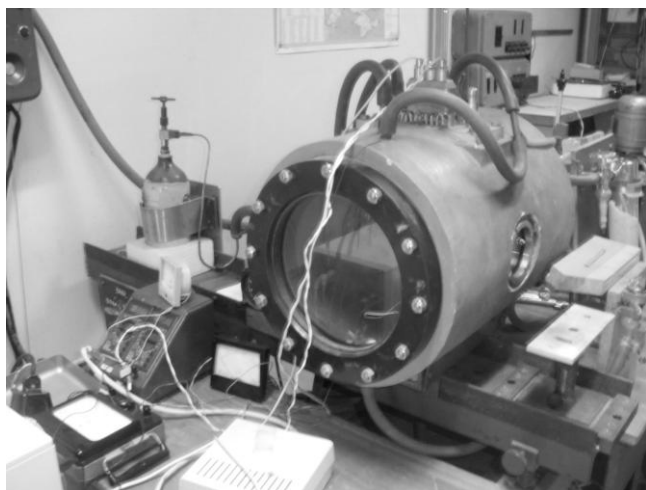


Рис. 2. Зовнішній вигляд установки для дослідження випаровування крапель рідини.



Рис. 3. Зображення краплі на підвісі в процесі проведення експерименту.

Результати експерименту та їх обговорення

В результаті експерименту було отримані часові залежності зміни діаметру краплини. Був введений безрозмірний коефіцієнт ξ , що характеризував відношення діаметру краплі d_t в будь-який момент часу до діаметру краплі в початковий момент часу d_0 . На рис.2 наведено часову залежність параметру ξ в процесі формування желатинового гідрогелю. Як було зазначено у вступі у відповідності з моделлю про сітчасту систему потрійних ланцюгів, що перебуває в рівновазі з розташованими в ній молекулами води [3] нас буде цікавити часовий інтервал, в якому випаровування відбуватись не буде. Саме цей часовий інтервал, на нашу думку, буде відповідати другій стадії формування гідрогелю – стадії утворення структури «зшитих» мікрогелів. Слід зазначити, що реєстрація розмірів краплини відповідала 5 хвилині з моменту приготування розчину желатини.

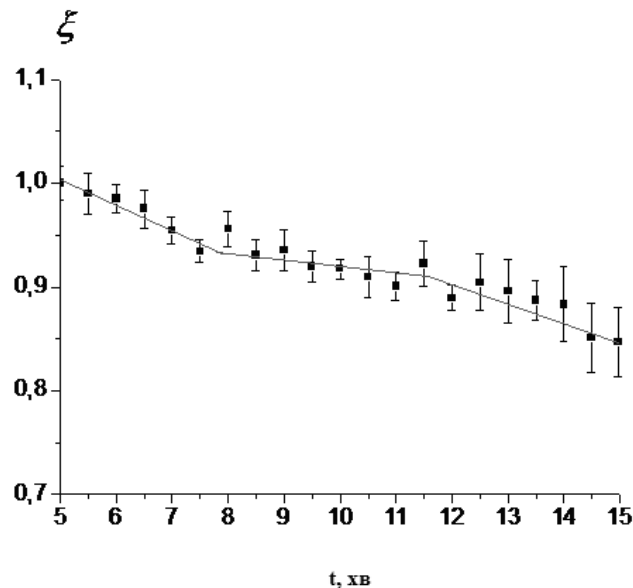


Рис. 2. Часова залежність коефіцієнта ξ .

З рис.2 видно, що в часовому інтервалі 8- 11 хвилин (враховуючи похибки) змін у розмірах краплі практично не відбувається. Саме в цьому інтервалі часу відбувається зшивка окремих структур мікрогелів та перерозподіл молекул води між ланцюгами

желатину. Починаючи з 11 хвилини, відбувається випаровування молекул розчинника з поверхні краплі та початок наростання твердої зневодненої фази (висихання гелю).

Висновки

В статті запропоновано експериментальну методику для визначення часового інтервалу другої стадії формування гідрогелю желатину.

Зазначена методика апробована для 5 % водного розчину желатину. Початковий момент формування сітки відповідав 8 хвилинам з моменту приготування розчину. Тривалість другої стадії склала 3 хвилини. Пропоновану методику можна, на наш погляд, використовувати при розробці методів стійкості гелів від висихання.

Список використаних джерел

1. Bigi A. Relationship between triple-helix content and mechanical properties of gelatin films/ A. Bigi, K. Panzavolta, K. Rubini // *Biomaterials*.-2004.- 25.-P. 5675-5680.
2. Forte A.E. Modelling and experimental characterisation of the rate dependent fracture properties of gelatine gels/ A.E. Forte, F.D'Amico, M.N. Charalambides et al.// *Food Hydrocolloids*.-2015.- 46.-P.180-190.
3. Zabashta Yu.F. Method for the Study of Properties of Collagen-Type Peptides Used in Modern Medical Technology/ Yu.F.Zabashta, V.E.Orel, L.Yu.Vergun, *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv Series: Physics & Mathematics*.-2014.-3.-P. 255-258.
4. Izmailova V. Gelation-Containing Multicomponent Blends/V.Izmailova, M.Derkach, M.Sakvarelidze// *Polymer Science, Ser.C*.-2004.-46(1).-P.73-92.
5. Herna'ndez Cifre J. G. Kinetic aspects of the coil-stretch transition of polymer chains in dilute solution under extensional flow / J. G. Herna'ndez Cifre, J. Garcı'a de la Torre//*Journal of Chemical Physics*.-2001.-115(20).-P.9578-9584.
6. Collin M. The folding mechanism of collagen-like model peptides explored through detailed molecular simulations/M.Collin// *Protein Science*.- 2006.-15.-P.2166-2177.
7. Verbinska G. Water and nitrobenzene droplets evaporation under ultraviolet irradiation / G.Verbinska, A.Brytan, T. Cleshchonok// *Physics of aerodisperse systems*.-2010.-47.-P.49-58.
8. Fuks N.A. *Evaporation and droplet growth in gaseous media* / N.A.Fuks.- . Pergamon Press , 1959.-72p.

References

1. BIGI, A., PANZAVOLTA, K. & RUBINI, K. (2004) Relationship between triple-helix content and mechanical properties of gelatin films. *Biomaterials*. 25. p.5675-5680.
2. FORTE, A.E., D'AMICO, F., CHARALAMBIDES, M.N. (2015) Modelling and experimental characterisation of the rate dependent fracture properties of gelatine gels. *Food Hydrocolloids*. 46. p.180-190.
3. ZABASHTA, Yu., OREL, V., VERGUN L. (2014) Method for the Study of Properties of Collagen-Type Peptides Used in Modern Medical Technology. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv Series: Physics & Mathematics*. 3. p.255-258.
4. IZMAILOVA, V., DERKACH, M., SAKVARELIDZE, M. (2004) Gelation-Containing Multicomponent Blends. *Polymer Science, Ser.C*. 46(1). p.73-92.
5. HERNANDEZ CIFRE, J. G., GARCIA DE LA TORRE, J. (2001) Kinetic aspects of the coil-stretch transition of polymer chains in dilute solution under extensional flow. *Journal of Chemical Physics*. 115(20).p.9578-9584.
6. COLLIN, M. (2006) The folding mechanism of collagen-like model peptides explored through detailed molecular simulations. *Protein Science*. 15.p.2166-2177.
7. VERBINSKA, G., BRYTAN, A., CLESHCHONOK, T. (2010) Water and nitrobenzene droplets evaporation under ultraviolet irradiation. *Physics of aerodisperse systems*. 47.p.49-58.
8. FUKS, N. A. (1959) *Evaporation and droplet growth in gaseous media*. Pergamon Press.

Надійшла до редколегії 16.03.18

УДК 539.211: 539.25

Вергун Л.Ю.¹, к.ф.-м.н., н.с.,
Свечнікова О.С.², к.ф.-м.н., с.н.с.,
Бобровнік С.Р.³, студ.

Методика обробки експериментальних даних при дослідженні структури епітаксialного шару

^{1,2,3}Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, 01601, м. Київ, вул.
Володимирська 64/13,
e-mail: verlen73@ukr.net

L.Yu.Vergun¹, PhD, Sci. Res.,
O.S.Svechnikova², PhD, Sen. Sci. Res.,
S.R.Bobrovnik³, Stud.

Method of processing experimental data for researching of the structure of the epitaxial layer

^{1,2,3}Taras Shevchenko National University of Kyiv,
01601, Kyiv, Volodymyrska st. 64/13,
e-mail: verlen73@ukr.net

Запропоновано методику обробки експериментальних даних, отриманих за допомогою атомно-силового мікроскопу, при дослідженні структури епітаксialного шару. Суть цієї методики полягає в тому, що поверхня описується за допомогою традиційної континуальної моделі, згідно з якою вертикальне зміщення точок поверхні від площини описується випадковим полем. Проведено апробацію запропонованої методики шляхом обробки експериментальних даних, які характеризують поверхню плівки, що утворилась внаслідок затвердіння 40% водного розчину глюкози на шліфованій скляній підкладці. Для досліджуваної системи визначено усереднений рельєф поверхні.

Ключові слова: епітаксія, атомно-силова мікроскопія, рельєф поверхні

The method of processing experimental data of an atomic-force microscope at the investigation of the structure of the epitaxial layer is proposed. In this method the surface is described by using a traditional continuum model. According to such model the vertical displacement of the points of the surface from the area is described by a random field. The histogram of the distribution of relief on the film surface is analyzed. The displacement distribution functions on histograms are considered as the sum of two functions. These functions correspond to the slow and rapid dependence of the coordinate, which is perpendicular to the surface. An approbation of the proposed method was performed by processing experimental data that characterizes the surface of the film. This film formed as a result of hardening of 40% aqueous glucose solution on a polished glass substrate. The smoothed histograms of displacement distribution are constructed for the studied system. The smoothed histograms contain the maximums. These maximums correspond to the heights of the ledge of the relief of surface. These values are defined with an error is the magnitude of the amplitude of the rapidly fluctuating function. The averaged relief of the investigated surface is constructed according to the obtained data.

Key Words: epitaxy, atomic force microscopy, surface relief

Статтю представив академік НАН України, д.ф.-м.н., проф. Булавін Л.А.

Вступ

Як відомо, епітаксією прийнято називати направлений ріст кристалів однієї речовини на підкладці іншої [див, напр. 1]. Дослідженням щодо механізмів епітаксialного росту на поверхні підкладки присвячена значна кількість теоретичних та експериментальних робіт [2-4]. Однак, на даний час одним із актуальних питань є створення моделі для дослідження орієнтації епітаксialного шару щодо поверхні

підкладки [5]. В даній статті пропонується методика обробки результатів, отриманих методом атомно-силової мікроскопії щодо структури поверхні епітаксialного шару, утвореного на твердій підкладці.

Суть запропонованої методики

Поверхню епітаксialного шару в нашому дослідженні будемо описувати, використовуючи традиційну континуальну модель, згідно з якою