

УДК 66.091:648.18

Г.М. Прокоф'єва, Т.В. Сударушкіна,  
К.Ю. Савічева, В.Ю. Сребродольський

## ТЕХНІЧНІ МИЙНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГЕЛІОСИСТЕМ

### Вступ

Одна з найважливіших галузей народного господарства – енергетика, яка забезпечує вдосконалення технологічних процесів і є основою формування промислових комплексів. Перспективним напрямком у розвитку енергетичної галузі є зменшення забруднень навколишнього середовища, викидів вуглекислого та сірчистого газів. Вирішення цієї проблеми можна досягти широким впровадженням альтернативних джерел енергії, зокрема геліосистем, яке значною мірою залежить від вдосконалення виробництва кремнієвих пластин сонячних батарей та ефективності їх очищення від забруднень [1, 2].

У процесі виробництва кремнієвих пластин нарізанням забруднюються їх поверхні внаслідок відкладення завислих частинок продуктів різання в циркулюючих змащувально-охолоджувальних рідинах, налипання клейкових речовин, епоксидних смол, а також ймовірності повторних відкладань із середовища розчинених домішкових інгредієнтів. Це призводить до погіршення якості кремнієвих пластин, а отже, й до зниження енергетичних показників виробленої енергії. Таким чином, ефективність очищення промислових виробів належить до перспективних напрямків інтенсифікації технологічного процесу виготовлення кремнієвих злитків і пластин, що широко використовується в геліотехнології, напівпровідниковій та комп'ютерній технологіях. У вирішенні цих завдань заслугове на увагу розробка ефективних технічних мийних засобів (ТМЗ) для очищення пластин геліосистем після їх виготовлення.

### Постановка задачі

Мета даного дослідження – встановлення можливості модифікування технічних мийних композицій серії “КПІ-ТНВ”, у складі яких широко використовуються поверхнево-активні речовини (ПАР). Особливостями властивостей ПАР є концентрування на поверхні розділу фаз з орієнтацією гідрофобною групою до олій-

но-жирового компонента системи, а гідрофільною – до води, що значно зменшує поверхневий натяг і забезпечує добре змочування матеріалу та перехід забруднень у розчин. Значна увага приділяється поверхнево-активним речовинам – поліфункційним інгредієнтам ТМЗ, які забезпечують його мийні, знежирювальні, флотувальні, стабілізуювальні, диспергувальні властивості, а також проявляють якості антистатиків та інгібіторів корозії [3]. Тому ефективність ТМЗ значною мірою визначається правильно підібраними ПАР. На особливу увагу заслуговують ПАР, що недавно з'явилися на ринку хімічної продукції України, серед яких – поверхнево-активна речовина марки CF-10.

### Теоретична частина

Очищення поверхні кремнієвих пластин – це процес видалення сторонніх забруднень із поверхні до необхідного рівня чистоти [3]. Залежно від виду виробів і забруднень, типу мийного обладнання та його продуктивності застосовуються різні способи очищення техніки: механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, хіміко-термічні та ін. [3].

Підготовці поверхні до очищення передують встановлення характеру і ступеня забруднення, що і визначає спосіб очищення, мийні засоби та розчинники, методи оцінки чистоти.

Кремній, а також різноманітні функціональні матеріали і сполуки на його основі, в тому числі й пористий кремній (ПК), є найбільш перспективними для створення фотоелектричних перетворювачів завдяки їх відносно невеликій вартості та оптимальності функціональних властивостей [4–6]. ПК характеризується надзвичайно специфічними морфологічними особливостями, а процес його формування є багатофакторним. Існує ряд теорій, які описують різноманітні аспекти формування ПК, розглядають локалізацію носіїв на “дні” пори в процесі росту [7], вплив на інтенсивність росту пори дифузії дірок [8], хімічної активації поверхні [9], межі розподілу між ПК і підкладкою [2, 10]. До того ж слід зазначити, що до чистоти кремнієвих пластин для сонячних батарей ставляться підвищені вимоги.

У праці [10] досліджено вплив комбінованої ультразвукової обробки на мікроструктуру поверхні кристалів кремнію. Експериментально встановлено, що ультразвукова обробка кристалів кремнію в режимі очищення поверхні від забруднень призводить до зниження густини

мікрodefектів у кристалах та зміни їх поверхневого мікрорельєфу. Використання дії ультразвукових коливань на рідке середовище, що зумовлює розвиток миттєвих місцевих тисків або розріджень, спричиняє активізацію руйнування поверхні забруднень. Під час ультразвукової обробки досягається досить повне видалення забруднень із деталей складних форм та з важкодоступних місць, з яких видалити відкладення механічним або хімічним методом дуже нелегко. Таким чином, ультразвукова обробка кремнієвих пластин є досить дієвою.

Перспективним у вдосконаленні діючих способів очищення є введення в існуючі фізико-хімічні способи очищення ефективних технічних мийних засобів.

Технічні мийні засоби – багатокомпонентні суміші хімічних речовин, які виконують певні функції в складному механізмі очищення і характеризуються комплексом властивостей, необхідних для задоволення вимог технологій виробництва, чистоти техніки та охорони навколишнього середовища.

Вибір конкретних ТМЗ, кількість у них поверхнево-активних речовин залежать від їх хімічної природи і складу, режиму використання, характеру забруднень та інших факторів [3].

Неіоногенна поверхнево-активна речовина марки CF-10 становить практичний інтерес через свої поліфункціональні властивості: одночасно емульгуючі та диспергуючі. Тому для визначення можливості введення її в склад ТМЗ необхідно було встановити її відношення до інгредієнтів забруднень кремнієвих пластин та злитків, серед яких важливе місце належить Fe (III), що може викликати повторне відкладення на поверхнях.



Рис. 1. Залежність оптичної густини від довжини хвилі для системи Fe (III)-CF-10

Спектрофотометричне дослідження залежностей світлопоглинання від довжини хвилі в системі Fe (III)-CF-10, що проводилося в ультрафіолетовій та видимих областях спектра,

показало наявність широкої смуги світлопоглинання при  $\lambda = 250\text{--}280$  нм (рис. 1).

Введення до розчину  $[\text{Fe (III)}] = 10^{-4}$  % різних надлишків CF-10 призвело до збільшення інтенсивності смуги світлопоглинання і зміщення її в область довгих хвиль, що свідчить про можливий ступеневий процес утворення комплексних сполук.

Для визначення концентраційних умов найповнішого зв'язування Fe (III) в комплексні сполуки становить інтерес дослідження залежності світлопоглинання  $A = f([\text{CF-10}])$ . Результати досліджень (рис. 2) свідчать про повне зв'язування іонів Fe (III) в комплексні сполуки при 100-кратному надлишку ліганду.

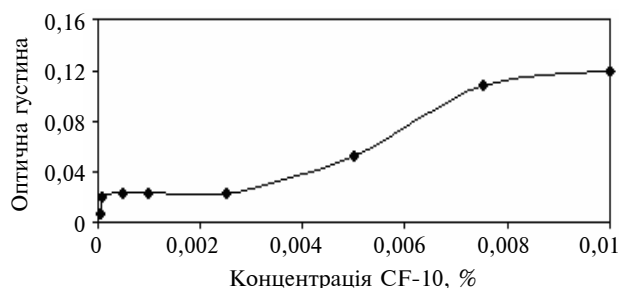


Рис. 2. Залежність оптичної густини від концентрації CF-10 для системи Fe (III)-CF-10 при  $[\text{Fe (III)}] = 1 \cdot 10^{-4}$  %,  $\lambda = 270$  нм

Математична обробка результатів залежності  $A = f([\text{CF-10}])$  методом обмеженого логарифмування дала можливість за тангенсом кута нахилу графічної залежності  $\lg(A/(A_0 - A)) = f(\lg[\text{CF-10}])$  [11] встановити кількість координативаних груп лігандів. Одержані дані свідчать, що процес взаємодії характеризується утворенням комплексів із співвідношенням Fe (III):CF-10 = 1:1 при малих концентраціях ПАР та можливістю утворення комплексів складу Fe (III):CF-10 = 1:2 при значних надлишках ліганду (рис. 3).

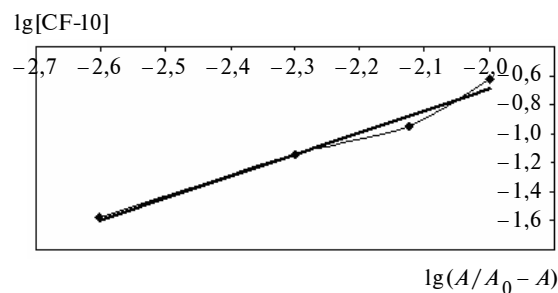


Рис. 3. Визначення складу комплексних сполук у системі Fe (III)-CF-10

Таблиця. Константи нестійкості комплексних сполук

[CF-10]	A	[FeLig]	[Fe]	[Lig]	$K_1$	[Lig]*	[Fe]*	$K_2$
0,0025	0,035	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$9,74 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$	$9,38 \cdot 10^{-2}$	$2,49 \cdot 10^{-3}$	$9,74 \cdot 10^{-5}$	$2,34 \cdot 10^{-4}$
0,0050	0,090	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$9,33 \cdot 10^{-5}$	$4,99 \cdot 10^{-3}$	$6,99 \cdot 10^{-2}$	$4,98 \cdot 10^{-3}$	$9,33 \cdot 10^{-5}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$
0,0075	0,135	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$9,00 \cdot 10^{-5}$	$7,49 \cdot 10^{-3}$	$6,74 \cdot 10^{-2}$	$7,48 \cdot 10^{-3}$	$9,00 \cdot 10^{-5}$	$5,04 \cdot 10^{-4}$
0,0100	0,260	$1,93 \cdot 10^{-5}$	$8,07 \cdot 10^{-5}$	$9,98 \cdot 10^{-3}$	$4,18 \cdot 10^{-2}$	$9,96 \cdot 10^{-3}$	$8,07 \cdot 10^{-5}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$
0,0500	1,350	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0	$4,99 \cdot 10^{-2}$	0	$4,98 \cdot 10^{-2}$	0	0

\* – комплексоутворення за другим ступенем.

Результати із встановлення складу утворених комплексних сполук у системі Fe (III)–CF-10 добре корелюють з їх розрахованими константами нестійкості в припущенні утворення простих комплексних сполук ( $K_1$ ) та комплексних сполук, що утворюються при високих надлишках CF-10 ( $K_2$ ) (таблиця).

Одним із найважливіших показників мийного засобу є піноутворення, яке характеризує його флотувальні властивості. Для встановлення піноутворювальної здатності CF-10 становило інтерес дослідити залежність висоти піни від часу. При концентраціях [CF-10] =  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$  і  $1 \cdot 10^{-3}$  % піна майже не утворюється (2, 3, 3,5 і 5 мм, відповідно) та відразу розпадається. Але при вищих концентраціях утворюється більша та досить стійка піна. Залежність  $h = f(t)$  для системи Fe (III)–CF-10 при концентраціях поверхнево-активної речовини  $1 \cdot 10^{-2}$  і  $5 \cdot 10^{-2}$  % показано на рис. 4.

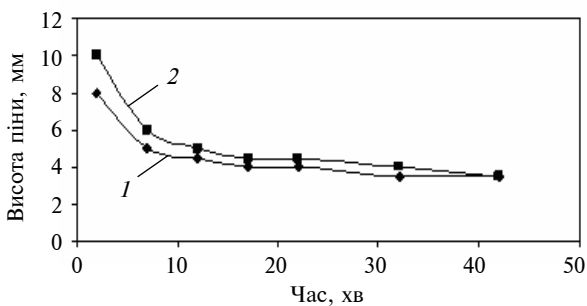


Рис. 4. Час розпаду піни для розчинів CF-10: 1 – [CF-10] =  $1 \cdot 10^{-5}$  %; 2 – [CF-10] =  $5 \cdot 10^{-5}$  %

З метою визначення корозійної активності ПАР CF-10 у складі ТМЗ було проведено дослідження швидкості корозії металу в розчині ПАР на зразках сталі марки Ст3 методом поляризаційного опору. Залежність значення поляризаційного опору від часу зображено на рис. 5.

Розрахунок швидкості корозії сталі в розчині CF-10 –  $2,13 \cdot 10^{-4}$  мм/рік, що свідчить про його антикорозійну дію і можливість збільшення ефективності ТМЗ при внесенні в них CF-10.

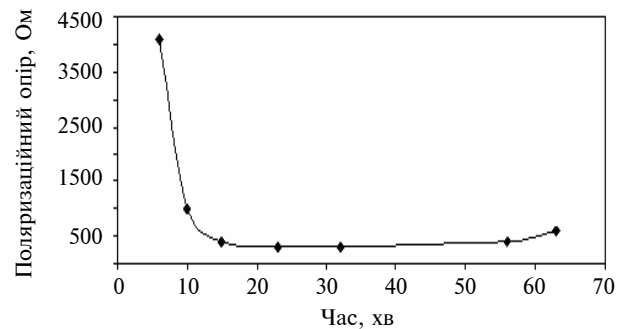


Рис. 5. Залежність поляризаційного опору розчину CF-10 від часу

Результати експериментальних досліджень покладено в основу розробленого модифікованого ТМЗ, дія якого випробувана з позитивним результатом при очищенні кремнієвих пластин – основи геліосистем.

## Висновки

Проведені фізико-хімічні дослідження показали можливість модифікації технічних мийних засобів серії "КПІ-ТНВ" введенням неіоногенної поверхнево-активної речовини CF-10. Ступеневе утворення розчинних комплексних сполук у системі Fe (III) (як переважного інгредієнта забруднень)–CF-10 сприяє попередженню повторних відкладень на поверхнях кремнієвих пластин, збільшуючи таким чином якість їх очищення. Досліджені мийні і антикорозійні властивості CF-10 засвідчили поліфункціональність дії модифікатора, що в подальшому дасть змогу вивести із складу технічних мийних засобів серії "КПІ-ТНВ" біологічно жорсткі поверхнево-активні речовини.

Г.Н. Прокофьева, Т.В. Сударушкина,  
Е.Ю. Савичева, В.Ю. Сребродольский

ТЕХНИЧЕСКИЕ МОЮЩИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ  
ОЧИСТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЛИОСИСТЕМ

Показана возможность введения в состав технических моющих средств поверхностно-активного вещества CF-10. Проведено исследование взаимодействия в системе CF-10 с Fe (III) как ингредиентом загрязнений, что может вызвать повторное отложение на поверхности. Определены коррозионная активность и пенообразующая способность CF-10.

G.M. Prokofyeva, T.V. Sudarushkina,  
K.Yu. Savicheva, V.Yu. Srebrodolskiy

TECHNICAL DETERGENTS FOR CLEANING HE-  
LIOSYSTEM ELEMENTS

This study demonstrates the possibility of introducing CF-10 surfactant into the technical detergent. We do the research into CF-10 - Ferrum (III) as a pollution ingredient interaction that can cause re-deposition on the surface. Finally, we determine the corrosion activity and foaming ability of CF-10.

1. *Максина Т.Я.* Очистка поверхности кремниевых пластин от органических и неорганических примесей. – К.: Химия. – 1990.
2. *Ерохов В.Ю., Дружинин А.А.* Кремний мультипористой структуры для фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* – 2009. – № 3. – С. 21–23.
3. *Бедрик Б.Г., Чулков П.А., Калашиников С.И.* Растворители и составы для очистки машин и механизмов. – М.: Химия, 1989. – 176 с.
4. *Kazmerski L., Photovoltaics L.* A review of cell and module technologies // *Renewable and Sustainable Energy Revivis.* – 1997. – 1. – P. 71–170.
5. *Coppede N., Tocoli T., Nardi M. et al.* Nano hybrid material synthesis by supersonic beam codeposition for solar cells application // *First Int. Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials.* – Tours (France), 2009. – P. 27.
6. *Lei Y., Pascal J.L., Zitoun D.* Novel synthetic route to porous silicon carbide // *Ibid.* – P. 7.
7. *Beale M.I.J., Benjamin J.D., Uren M.J. et al.* An experimental and theoretical study of the formation and microstructure of porous silicon // *J. Cryst. Growth.* – 1985. – 73. – P. 622–636.
8. *Smith R.L., Collins S.D.* Porous silicon formation mechanisms // *J. Appl. Phys.* – 1992. – 71.
9. *Takashi Unagami.* Formation mechanism of porous silicon layer by anodization in HF solution // *J. Electrochem. Soc.* – 1980. – 127. – P. 476.
10. *Dubina V.* Formation mechanism of porous silicon layers obtained by anodization of monocrystalline n-type silicon in HF solutions // *Surface Science.* – 1992. – 274, N 1. – P. 82–92.
11. *Булатов М.И., Калинин И.П.* Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. – 5-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1986. – 432 с.

Рекомендована Радою  
хіміко-технологічного факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
31 травня 2010 року