

УДК 66.091:648.18

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

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНІЧНІ МИЙНІ ЗАСОБИ**

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

**Вступ**

Стрімкий розвиток інформаційних технологій і засобів зв'язку, широкомасштабне впровадження мікропроцесорної електроніки в промислові апарати та побутову техніку, гостра потреба у використанні сонячної енергії зумовили необхідність створення нових типів напівпровідників і збільшення об'ємів виробництва існуючих напівпровідникових матеріалів.

Серед усіх напівпровідників особливе місце посідає кремній, що зумовлено не лише його специфічними фізико-технічними властивостями, а й поширенням у природі. Вміст силіцію в земній корі становить 26 %, відповідно, він займає друге місце за поширенням у природі, випереджуючи багато промислових металів.

Великим споживачем кремнію є сонячна енергетика, оскільки цей матеріал має оптимальні властивості для промислового виробництва фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) і на їх основі – сонячних батарей наземного та космічного застосування. Сонячні батареї зарекомендували себе як надійні, екологічно чисті енергетичні системи, які можуть конкурувати з традиційними джерелами електричної енергії.

Внаслідок постійного збільшення використання кремнію в електроніці, сонячній енергетиці його виробництво істотно збільшується. В 2020 р. загальний обсяг випуску полікремнію прогнозується на рівні 200 тис. т/рік, а обсяг кремнію для електронної промисловості – 46 тис. т/рік, тобто 23 % від загальної кількості виробленого кремнію [1].

При виготовленні кремнієвих пластин різанням кремнієвих злитків металевим дротом джерелами забруднення є змашувально-охолоджувальна рідина, клейкі смоли, продукти корозії дроту [2]. Тому актуальною є необхідність розроблення екологічно безпечних технічних мийних засобів (ТМЗ) поліфункційної дії, які б ефективно очищували технологічні поверхні

від органічних сполук, повністю зв'язували іони металів і запобігали повторному забрудненню, вміщували поверхнево-активні речовини (ПАР), що біологічно розкладаються, і антикорозійні інгредієнти.

**Постановка задачі**

Метою дослідження є встановлення можливості модифікування технічних мийних композицій серії "КПІ-ТНР" [3] за рахунок заміни в них біологічно жорстких ПАР (ОП-7, ОП-10) на екологічно безпечні поверхнево-активні речовини серії алкілполіглюкозидів поліфункційної дії, що забезпечує виведення з ТМЗ фосфатвмісних інгредієнтів для очистки кремнієвих пластин геліоколекторів.

**Дослідження властивостей мийних композицій на основі неіоногенної ПАР алкілполіглюкозиду – BG-10**

При встановленні можливості використання екологічно безпечної неіоногенної ПАР BG-10 як основного компонента в мийній композиції використано сучасні фізико-хімічні методи досліджень: спектрофотометрію, ІЧ-спектроскопію, визначення швидкості корозії методом поляризаційного опору, визначення здатності піноутворення [4].

Унаслідок корозії сталюого ріжучого дроту забруднення містять значну кількість іонів заліза, що може призвести до повторного забруднення кремнієвих пластин, тому теоретичний і практичний інтерес викликало виявлення взаємодії Fe (III) з алкілполіглюкозидами (розглядалася неіоногенна ПАР BG-10). Для виявлення концентраційних умов найповнішого зв'язування іонів заліза (III) в розчиненні комплексні сполуки було досліджено залежність світлопоглинання від довжини хвилі  $A=f(\lambda)$  розчинів  $Fe^{3+}$ –BG-10 при різних вмістах BG-10 (рис. 1).

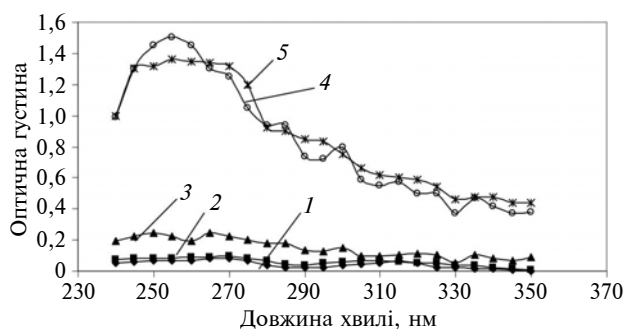


Рис. 1. Залежність світлопоглинання від довжини хвилі при різному вмісті BG-10 в системі Fe(III)–BG-10,  $[Fe(III)] = 1 \cdot 10^{-5} \% = \text{const}$ : 1 –  $[BG-10] = 5 \cdot 10^{-5} \%$ ; 2 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-4} \%$ ; 3 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-3} \%$ ; 4 –  $[BG-10] = 5 \cdot 10^{-2} \%$ ; 5 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-1} \%$

Порівняльний аналіз одержаних спектрів світлопоглинання при зростаючому надлишку ПАР відносно Fe(III) вказує на утворення залежностей з двома смугами світлопоглинання при малих надлишках BG-10, які при збільшенні концентрації BG-10 вироджуються в одну чітко виражену смугу при  $\lambda = 255$  нм. Таке явище, можливо, пов'язане зі ступеневим процесом комплексоутворення: при низьких концентраціях BG-10 утворюється переважно проста сполука, а при високих надлишках ліганду – більш складна.

Математична обробка результатів залежності  $A = f([BG-10])$  при  $\lambda = 255$  нм для системи Fe(III)–BG-10 за методом обмеженого логарифмування Бента–Френча дала змогу визначити склад комплексних сполук [4]. Кількість координованих груп лігандів розраховували по тангенсу кута нахилу залежності  $\lg(A/(A_0 - A)) = f([BG-10])$  (рис. 2). Процес взаємодії характеризується утворенням комплексних сполук зі співвідношенням Fe(III):BG-10 = 1:1 при малих надлишках BG-10 і 1:2 – при великих.

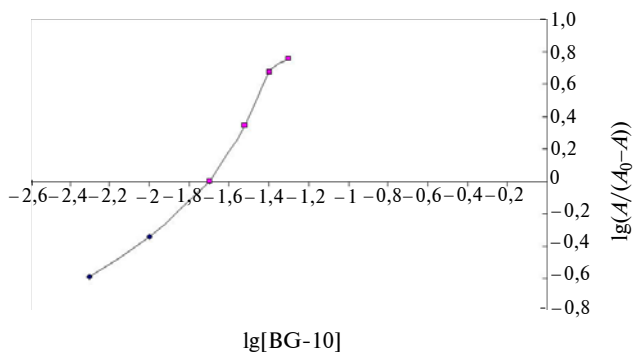


Рис. 2. Залежність  $\lg(A/(A_0 - A)) = f([BG-10])$  для системи Fe(III)–BG-10

Результати ІЧ-спектроскопічних досліджень синтезованих моделей у системі Fe(III)–BG-10 вказують на процес комплексоутворення, що характеризується зміною груп смуг світлопропускання:  $-\text{CH}_2-$  при  $\nu = 1690$ – $1000 \text{ cm}^{-1}$ ; різке посилення смуги при  $\nu = 1690 \text{ cm}^{-1}$  і зміщення її положення відносно  $\nu = 1725 \text{ cm}^{-1}$ . Поява смуги світлопропускання з  $\nu = 760 \text{ cm}^{-1}$ , яка відповідає групі  $-(\text{CH}_2)_n-\text{O}-$ , вказує на можливість участі в процесі комплексоутворення гідратованих йонів феруму. Різке збільшення і звуження широкої смуги світлопропускання при  $\nu = 3400$ – $3200 \text{ cm}^{-1}$  підтверджує активізацію процесів полімеризації ПАР BG-10 при високих її вмістах.

Оскільки клейкі речовини, за допомогою яких злиток прикріплюється на підкладку, мають органічне походження, для збільшення ефективності мийної композиції доцільним було введення розчинника моноетаноламіну (МЕА) [5].

Дослідженню взаємодії Fe(III) з BG-10 за наявності МЕА передувало встановлення поведінки Fe(III) у системі Fe(III)–МЕА спектрофотометричним методом. Одержані спектри світлопоглинання чистого моноетаноламіну за наявності Fe(III) свідчать про зв'язування молекул моноетаноламіну з йонами заліза.

Характер одержаних залежностей  $A = f(\lambda)$  при різних надлишках МЕА відносно Fe(III) свідчить, що зі збільшенням концентрації моноетаноламіну полоса світлопоглинання зміщується в довгохвильову область, що, ймовірно, пов'язано зі ступеневим процесом комплексоутворення (рис. 3).

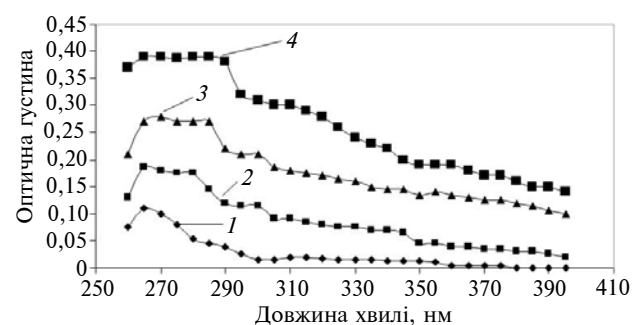


Рис. 3. Залежність світлопоглинання від вмісту МЕА для системи Fe(III)–BG-10–МЕА при  $[Fe(III)] = 1 \cdot 10^{-5} \% = \text{const}$ ;  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-2} \% = \text{const}$ : 1 –  $[MEA] = 1 \cdot 10^{-5} \%$ ; 2 –  $[MEA] = 1 \cdot 10^{-4} \%$ ; 3 –  $[MEA] = 1 \cdot 10^{-3} \%$ ; 4 –  $[MEA] = 1 \cdot 10^{-2} \%$

Математична інтерпретація залежності  $A = f([MEA])$  за наявності ПАР BG-10 з опти-

мальним її вмістом свідчить про утворення однієї комплексної сполуки зі співвідношенням Fe (III):BG-10:MEA = 1:1:1 (рис. 4).

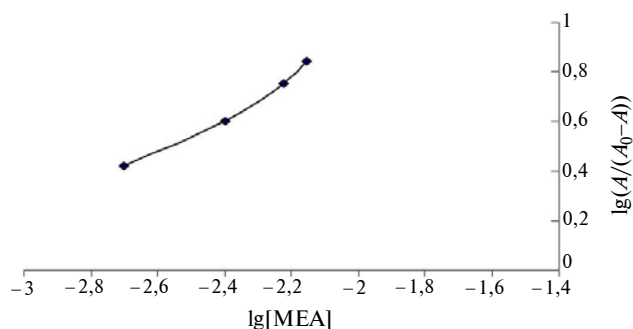


Рис. 4. Залежність  $\lg(A/(A_0-A)) = f(\lg[MEA])$  для системи Fe (III)–BG-10–MEA

До визначальних характеристик ТМЗ належать також їхня корозійна активність, здатність до піноутворення та розклад піни. Наявність у MEA аміногрупи сприяє тому, що в складі ТМЗ моноетаноламін може виконувати роль інгібітора корозії. Тому інтерес викликало проведення досліджень корозійної активності системи з вмістом MEA. Одержані результати вимірювання поляризаційного опору в системі BG-10–MEA на сталених електродах (Ст3) та розрахунку швидкості корозії, яка становить  $1,87 \cdot 10^{-5}$  мм/рік, свідчать про високу антикорозійну стійкість цієї системи. Слід зазначити, що як антикорозійний інгредієнт у більшості ТМЗ використовуються фосфати лужних металів, які хоч і збільшують мийні властивості ТМЗ, але негативно впливають на флору й фауну навколишнього середовища. Таким чином, введення моноетаноламіну сприяє виведенню фосфатів і зменшує солеміст ТМЗ.

Важливою характеристикою мийних засобів є їх флотувальна здатність, яка забезпечує винос диспергованих частинок забруднень із зони промивки і значною мірою залежить від піноутворення та стійкості піни в часі. Дослідження піноутворення в системі Fe (III)–MEA показало, що висота і стійкість піни збільшуються зі збільшенням концентрації MEA (рис. 5) і піна має необхідну стійкість протягом часу промивки кремнієвих пластин.

Одним із методів видалення з поверхні жирів і мінеральних речовин є емульгування їх поверхнево-активними речовинами. Завдяки утворенню емульсій частинки забруднень залишаються в розчині і не осідають на поверхню. В базовому ТМЗ “КПІ-ТНР” як ПАВ з емульгуючими властивостями використовували лейкол (Leik).

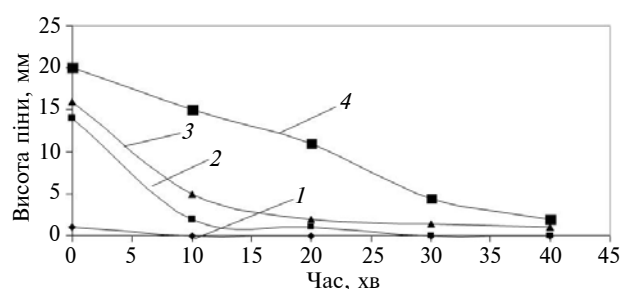


Рис. 5. Залежність висоти піни від часу для системи Fe (III)–MEA при різному вмісті MEA; [Fe (III)] =  $1 \cdot 10^{-5}$  % = const; [BG-10] =  $1 \cdot 10^{-2}$  % = const: 1 – [MEA] =  $1 \cdot 10^{-5}$  %; 2 – [MEA] =  $1 \cdot 10^{-4}$  %; 3 – [MEA] =  $1 \cdot 10^{-3}$  %; 4 – [MEA] =  $1 \cdot 10^{-2}$  %

Модифікація ТМЗ “КПІ-ТНР” введенням до його складу замість ПАВ ОП-7 (ОП-10) неіоногенної ПАВ BG-10, що при високому вмісті ([BG-10]  $\geq 10^{-2}$  %) сприяє утворенню ефективної піни, може призвести до зменшення вмісту лейколону в оптимальному складі ТМЗ “КПІ-ТНР” за наявності BG-10.

Дослідження системи Fe (III)–Leik–BG-10 різними фізико-хімічними методами при сталому вмісті лейколону та змінній концентрації BG-10 показали, що повне зв'язування BG-10 в комплексну сполуку відбувається при нижчих концентраціях. Для встановлення механізму взаємодії в досліджуваних системах комплексні сполуки було одержано у твердому вигляді та досліджено ІЧ-спектроскопічним методом. Порівняльний аналіз смуг світлопропускання ІЧ-спектрів синтезованих комплексних сполук у системі Fe (III)–Leik–BG-10 також вказує на участь гідратованих груп заліза  $-(CH_2)_n-O-$  при  $\nu = 640 \text{ cm}^{-1}$ . Зміна інтенсивності смуг фенольної групи спостерігається при  $\nu = 1640-1200 \text{ cm}^{-1}$ . Як і у випадку подвійної системи, при синтезі потрійних твердих комплексних сполук відбувається процес комплексоутворення, який характеризується звуженням і зміщенням смуги світлопропускання при  $\nu = 3400-3200 \text{ cm}^{-1}$ .

Експериментальні дані свідчать про зміну структури піни в часі: спостерігається утворення густої насиченої піни знизу та рихлої зверху з подальшим звуженням суцільної частини. Найбільше піноутворення спостерігалось при зростанні вмісту BG-10 в системі, при цьому збільшувався час напіврозпаду піни, що сприяє збільшенню флотажного ефекту (рис. 6).

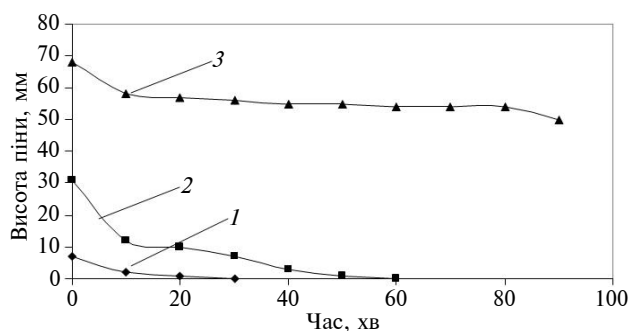


Рис. 6. Залежність висоти піни від часу для системи Fe(III)-Leik-BG-10 при  $[Fe(III)] = 1 \cdot 10^{-5} \% = \text{const}$ ;  $[Leik] = 1 \cdot 10^{-2} \% = \text{const}$ : 1 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-3} \%$ ; 2 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-2} \%$ ; 3 –  $[BG-10] = 1 \cdot 10^{-1} \%$

Одержані результати експериментальних досліджень покладено в основу розроблення поліфункційного екологічно безпечного ТМЗ, який з позитивними результатами пройшов промислові випробування. Подальшому вдосконаленню досліджених модифікованих ТМЗ

значною мірою сприятиме використання як модифікаторів ефективних імпортозамісуювальних інгредієнтів.

### Висновки

Фізико-хімічне дослідження систем Fe(III)-BG-10, Fe(III)-BG-10-MEA, Fe(III)-BG-10-MEA-Leik показало доцільність заміни біологічно жорстких ПАР (ОП-7, ОП-10) на екологічно безпечну ПАР – BG-10 та одночасного зменшення вмісту лейканолу. Встановлена швидкість корозії ( $1,87 \cdot 10^{-5}$  мм/рік) підтвердила антикорозійні властивості BG-10. Одержані результати покладено в основу розроблення екологічно безпечних ТМЗ, які було випробувано при очистці елементів сонячних колекторів з позитивними результатами, що дало змогу рекомендувати модифіковані ТМЗ до виробництва та розширити дослідження з використанням модифікаторів вітчизняного виробництва.

1. *Іванов В.М., Трубицын Ю.В.* Современные тенденции развития промышленности полукристаллического полупроводникового кремния // Науковий вісник КУЕІТУ. – 2009. – № 1. – С. 30–35.
2. *Достанко А.П., Василевич В.П., Кайдов О.Л.* Тенденции и перспективы развития технологии производства полукристаллического кремния для фотоэлектрических преобразователей // Доклады БГУИР. – 2005. – № 1. – С. 73–80.
3. *Прокоф'єва Г.М., Сударушкіна Т.В.* Технічні мийні засоби для очищення елементів геліосистем // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2010. – № 3. – С. 124–127.
4. *Бабко А.К., Пилипенко А.Т., Пятницький І.В.* Фізико-хімічні методи аналізу. – М.: Высшая шк., 1968. – 336 с.
5. *Максина Т.Я.* Очистка поверхности кремниевых пластин от органических и неорганических примесей. – К.: Химия, 1990.
6. *Coppede N., Toccoli 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.

Рекомендована Радою  
хіміко-технологічного факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
16 лютого 2011 року