

УДК 655.335

Умерова С.О., Дуліна І.О., Рагуля А.В.

Інститут проблем матеріалознавства

Національної академії наук України ім. І.М. Францевича, м. Київ

ТРАФАРЕТНИЙ ДРУК ПАСТ НА ОСНОВІ НАНОПОРОШКУ BaTiO₃

Дана стаття присвячена особливостям трафаретного друку паст на основі нанопорошку BaTiO₃. Встановлено, що товщина одержаних відтисків визначається вмістом нанопорошку, при цьому збільшення концентрації твердої фази з 10 до 22,56 мас. % приводило до зовищення відтисків з 1,56 до 3,18 мкм. Оптимальними реологічними властивостями були встановлені: ступінь тиксотропності паст на рівні від 6 – 0,9 МПа·с, ефективна в'язкість 30 – 60 Па·с за швидкості зсуву $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$ та 1 – 4 Па·с за швидкості здійснення процесу трафаретного друку. Оптимальний тиск ракелю становить 0,0897 МПа.

Данная статья раскрывает особенности трафаретной печати паст на основе нанопорошка BaTiO₃. Установлено, что толщина полученных отпечатков определяется содержанием нанопорошка, при этом повышение концентрации твердой фазы с 10 до 22,56 мас. % приводило к увеличению толщины отпечатков с 1,56 до 3,18 мкм. Оптимальными реологическими свойствами исследуемых паст были определены степень тиксотропности – 0,9 МПа·с, значения эффективной вязкости 30 – 60 Па·с при $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$ и 1 – 4 Па·с во время трафаретной печати. Оптимальное давление ракеля было установлено на уровне 0,0897 МПа.

This article is about the features of screen printing of the pastes based on BaTiO₃ nanopowder. It was found, that prints thickness depends on nanopowder content: here, increasing of solid phase content from 10 to 22.56 wt. % led to prints thickening from 1.56 to 3.18 μm . The optimal rheological behavior of investigated pastes were found to be: thixotropy degree about 0.6 – 0.9 МПа·s and effective viscosity values about 30 – 60 Pa·s at $\dot{\gamma} = 0.1 \text{ s}^{-1}$ and 1 – 4 Pa·s at shear rate of screen printing process. The optimal squeegee pressure was established about 0.0897 MPa.

Вступ

Розвиток сучасної друкованої мікроелектроніки передбачає зменшення габаритних розмірів пристроїв із одночасним підвищенням експлуатаційних властивостей. У

технології багат шарових керамічних конденсаторів підвищення ємності конденсатору можна досягти шляхом зменшення товщини шарів діелектрику, збільшенням кількості електродів, їх активної площі та підвищенням діелектричної проникності діелектрику. Паста на основі нанопорошку BaTiO_3 є вихідним матеріалом для формування керамічних шарів у виробництві багат шарових керамічних конденсаторів [1-3]. Одним із найпоширеніших промислових методів виготовлення шарів є метод трафаретного друку, перевагами якого є прецизійність, швидкість, низька вартість та який дає змогу одержувати шари високої густини [4] завтовшки від 100 нм до 100 мкм [5] із довільною геометрією та високою роздільною здатністю тонких ліній (менш ніж 100 мкм) [6]. Трафаретний друк паст здійснюється шляхом її продавлювання крізь отвори трафарету за допомогою ракелю і формування відтиску на підкладці. Виходячи з цього, якість одержаних відтисків сильно залежить від в'язкості та реологічних властивостей паст.

Відомо, що промислові паста для трафаретного друку на основі мікронних та субмікронних порошоків повинні бути тиксотропними системами, які розріджуються під час зсуву [7 – 9]. З цією метою прийнято використовувати терпінеол [10, 11] та його похідні [12, 13] у якості органічного розчинника і полімер етилцелюлозу як органічне в'язуче [14, 15] через їх здатність утворювати тиксотропні системи із суспензіями різних частинок функціональних матеріалів [16]. Проте додавання нанорозмірних порошоків у якості твердої фази з метою стоншення відтисків значно ускладнює реологію паст. Зокрема, наші попередні дослідження присвячені розробці оптимальних складів паст показали, що за певних концентрацій нанопорошку BaTiO_3 із розміром частинок 20 – 25 нм паста проявляють аномальне зростання ефективної в'язкості та реопексні властивості, що є досить нетиповим для подібних систем [17].

Якість трафаретного друку визначається середньою товщиною відтиску, однорідністю товщини, розподільною здатністю тонких ліній та кількістю отворів трафарету [4]. До факторів, що впливають на трафаретний друк включають: принтер, трафарет, ракель, параметри процесу та реологію паста [4, 6, 17, 18]. Реологічні властивості паста безпосередньо впливають на трафаретний друк. Вони визначаються розміром частинок твердої паста, розподілом частинок за розміром та зміною в'язкості під час друку [17, 18]. З однієї сторони, після заповнення отворів трафарету, паста має утримуватись на трафареті, з іншої – під час руху ракелю величина в'язкості паста має зменшуватись, щоб паста могла витекти крізь отвори. Окрім того, низька в'язкість на цьому етапі призводить до більшої гладкості поверхні після відділення трафарету [6, 9, 20]. В'язкісні характеристики паста впливають на зовнішній вигляд відтисків: так зубці за периметром рисунку можуть вказувати на занадто високу в'язкість паста, відбитки сітки

на поверхні свідчать про високу межу текучості пасти, а розмазування рисунку – про надлишок ПАР у пасті [20].

У свою чергу, такі технологічні параметри трафаретного друку як тиск ракелю, швидкості заповнення та друку, відстань між підкладкою та трафаретом, впливають на товщину плівки. Збільшення відстані між трафаретом і підкладкою та тиску ракелю призводять до збільшення товщини шару, а збільшення швидкості друку – до зменшення товщини шару. Занадто високе значення тиску ракелю викликає появу зубців за периметром та відбитків сітки на поверхні відтисків [20].

Враховуючи те, що основними чинниками, що впливають на процес трафаретного друку є в'язкісно-реологічні характеристики пасти та параметри трафаретного друку, дана стаття присвячена встановленню впливу реології паст на основі нанопорошку BaTiO_3 на їх здатність до трафаретного друку та визначенню оптимальних режимів здійснення процесу друку.

Експериментальна частина

Для приготування діелектричних паст для трафаретного друку використовували нанорозмірний порошок BaTiO_3 з розміром частинок 20 – 25 нм, отриманий методом неізотермічного розкладання титанілоксалату барію (рис. 1). У якості органічного розчинника для приготування паст використовували терпінеол (суміш ізомерів α - та β -терпінеолу) (Merck GmbH); як полімерне в'язуче – етилцелюлозу 100 сР (Merck GmbH) – етиловий ефір целюлози з вмістом етоксильних груп 48 %.

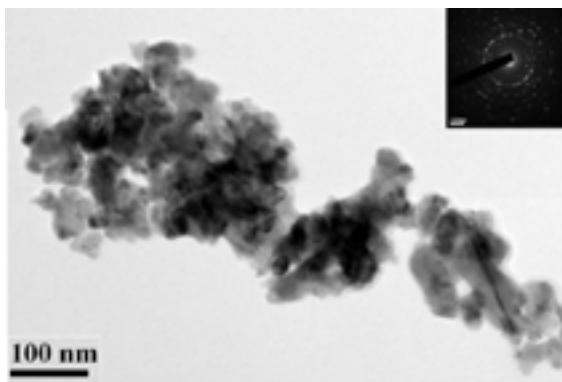


Рис. 1. Нанопорошок BaTiO_3

Приготування паст проводилось у два етапи. На першому етапі здійснювалась дезагрегація частинок порошку шляхом розтирання у розчиннику терпінеолі протягом 60 хвилин у планетарному монотліні «Pulverisette 6» фірми Fritsch за швидкості обертання барабану 450 об./хв.; паралельно із цим готували органічне в'язуче шляхом розчинення полімеру ЕЦ у терпінеолі із використанням магнітної мішалки RCT basic safety control (ІКА) за швидкості обертання 1000 об./хв. На другому етапі до суспензії BaTiO_3 додавали

необхідну кількість органічного в'язучого та продовжували гомогенізацію суспензії протягом 60 хв. у планетарному мономлині «Pulverisette 6» фірми Fritsch за швидкості обертання барабану 450 об./хв.

З метою встановлення впливу реології паст на їх здатність до друку, усі шість досліджуваних паст були надруковані на полімерну плівку розмірами 10x10 см крізь нейлоновий трафарет з числом меш 158 та рисунком 2x1,5 мм за допомогою прецизійного трафаретного принтеру MPS-485 фірми AMI. Тиск ракелю змінювали у межах 0,079 – 0,0965 МПа, швидкості друку та заповнювання трафарету – 0,007 – 0,107 м/с; відстань між підкладкою та трафаретом складала 3,5 мм. Візуальна оцінка зовнішнього вигляду відтиску відносно маски трафарету проводилась за допомогою оптичного мікроскопу 58-04000 фірми Bresser.

Обговорення результатів

Склад та реологічні властивості діелектричних паст на основі нанопорошку BaTiO_3 наведено у таблиці 1. Усі досліджувані пасти проявляли переважно псевдопластичний характер течі. Так для паст П1, П2, П4 та П6 була характерною наявність тиксотропії, однак для паст П5 та П3 спостерігалось проявлення реопексного характеру течії на певних проміжках швидкостей зсуву, причому, паста П5 виявилась реопексною у більшій мірі ніж П3 (табл. 1). Збільшення вмісту твердої фази зі збереженням концентрації в'язучого призводило до збільшення в'язкості паст як за градієнту швидкості зсуву, близького до стану спокою ($0,1 \text{ c}^{-1}$), так і за градієнту, близькому до режиму здійснення трафаретного друку (500 c^{-1}) (табл. 1 П1, П2 та П4, П5). Зменшення вмісту в'язучого, зазвичай, викликало зменшення в'язкості паст на усьому проміжку значень градієнтів швидкості зсуву та значення межі текучості паст (табл. 1 П1, П4 та П6), проте спостерігалось таке співвідношення твердої фази та етилцелюлози у пасті, для якого значення в'язкості набувало максимального значення (табл. 1 П3) [17].

Таблиця 1.

Склад та реологічні властивості паст на основі нанопорошку BaTiO_3

Паста	Склад, мас. %			Ефективна в'язкість η , Па·с		Ступінь тиксотропності T , МПа/с	Межа текучості, Па	Межа міцності, Па	Ступінь Дилатансії D , від.од.	Початок петлі гістерезису, Па
	BaTiO_3	ЕЦ 100 EP	Герпінеол	$0,1 \text{ c}^{-1}$	500 c^{-1}					
П1	10	3	87	37,5	2,11	0,058	589,27	741	0,00	51,71
П2	12,5	3	84,5	408	5,01	0,005	357,81	592,1	3,48	277
П3	16,57	2,31	81,12	2780	5,94	-0,011*	765,91	784,7	9,62	576,1
П4	15,07	1,99	82,94	425	0,52	0,08627	461,9	517,4	0,85	26,23
П5	18,06	1,91	80,03	1140	0,87	-0,018*	325,8	531,5	8,62	198
П6	22,56	1,83	75,6	55,2	0,69	0,07438	331,43	509,1	0,00	26,31

*Примітка: величина за модулем відповідає ступеню реопексії

На рисунку 2 наведено графіки залежності якості трафаретного друку (кількості відтисків відповідної геометрії (рис. 3)) паст на основі нанопорошку ВаТіО₃ від тиску ракелю. Зовнішній вигляд відтисків паст П1, П2, П3, П4, П5 та П6, залежно від тиску ракелю наведено, на рис. 4. У таблиці 2 наведено ефективні в'язкості паст за режиму трафаретного друку (значення градієнту швидкості зсуву за режиму трафаретного друку розраховані за методикою, описаною у роботі [21]).

Як видно з рисунку 2, якість трафаретного друку визначається не лише ефективною в'язкістю пасти за градієнту швидкості зсуву, який відповідає проведенню процесу друку, а взаємодією цього параметру зі ступенем тиксотропності пасти та ефективною в'язкістю пасти за градієнту швидкості зсуву 0,1 с⁻¹. На рисунку 5 показано, що збільшення ефективної в'язкості пасти за $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$ спричиняло значне погіршення якості друку. Найкраща якість друку спостерігалася для П6 та П1, які були достатньо близькими за значеннями в'язкості (за $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$) та ступеня тиксотропності (табл. 1), проте нижча ефективна в'язкість П6 під час трафаретного друку (табл. 2) забезпечувала кращу відтворюваність відтисків під час друку та вищу якість друку на усьому проміжку значень тиску ракелю. Найкраща передача рисунку трафарету для обох паст спостерігалася для значень тиску ракелю 0,0827 – 0,093 МПа. Зміщення оптимального тиску ракелю, за якого спостерігалася найвища якість друку, для П1 у менші значення порівняно з П6 (0,0827 МПа для П1 проти 0,086 МПа для П6) вказує на те, що оптимальне значення тиску ракелю залежить від ефективної в'язкості пасти за $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$, зменшення якої спричиняє зниження значення оптимального тиску ракелю під час друку. За менших та більших значень тиску ракелю поява «зубців» за периметром відтисків була пов'язана з неповним заповненням отворів у трафареті внаслідок недостатнього тиску ракелю відносно натягу трафарету та надлишкового тиску ракелю відповідно. Цей процес супроводжувався зменшенням питомої площі відтиску та довжини сходинки відтиску (рис. 6), які набували максимальних значень за оптимальних тисків ракелю.

Таблиця 2.

В'язкості паст на основі нанопорошку ВаТіО₃ за градієнтів швидкості зсуву, що відповідають здійсненню режиму трафаретного друку

Паста	Градієнт швидкості зсуву, с ⁻¹	Ефективна в'язкість, Па·с
П1	315,00	1,970
П2	364,03	6,810
П3	473,41	1,690
П4	397,21	0,952
П5	486,14	0,839
П6	463,41	0,604

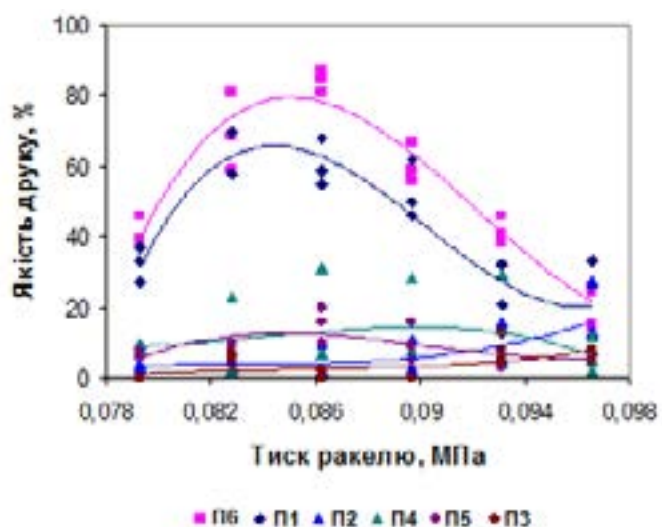


Рис. 2. Залежність якості друку паст на основі нанопорошку ВаТіО₃ від тиску ракелю

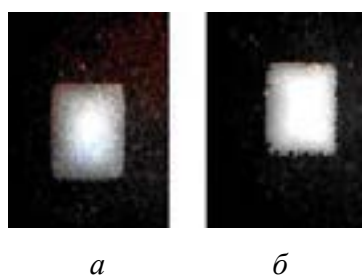
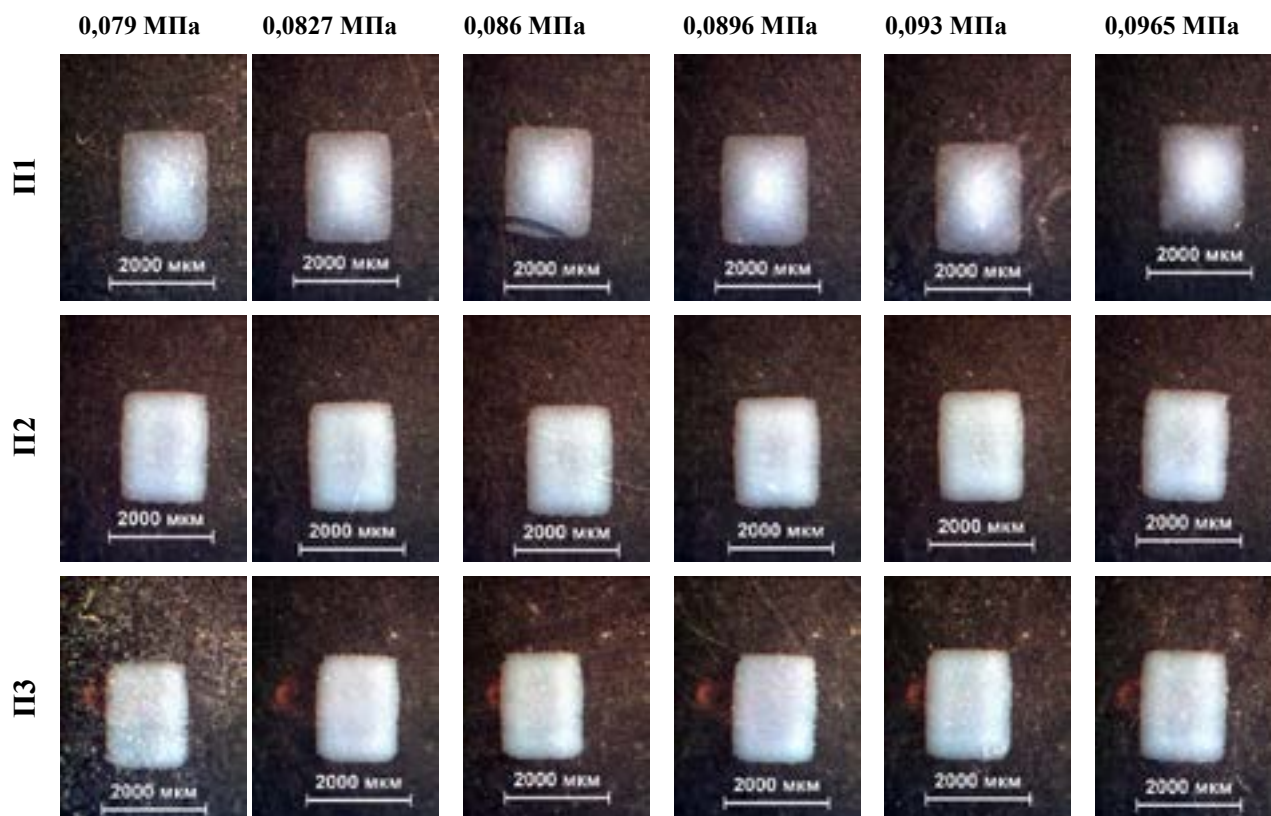


Рис. 3. Зовнішній вигляд відтисків «вдалої» (а) та «невдалої» (б) геометрії



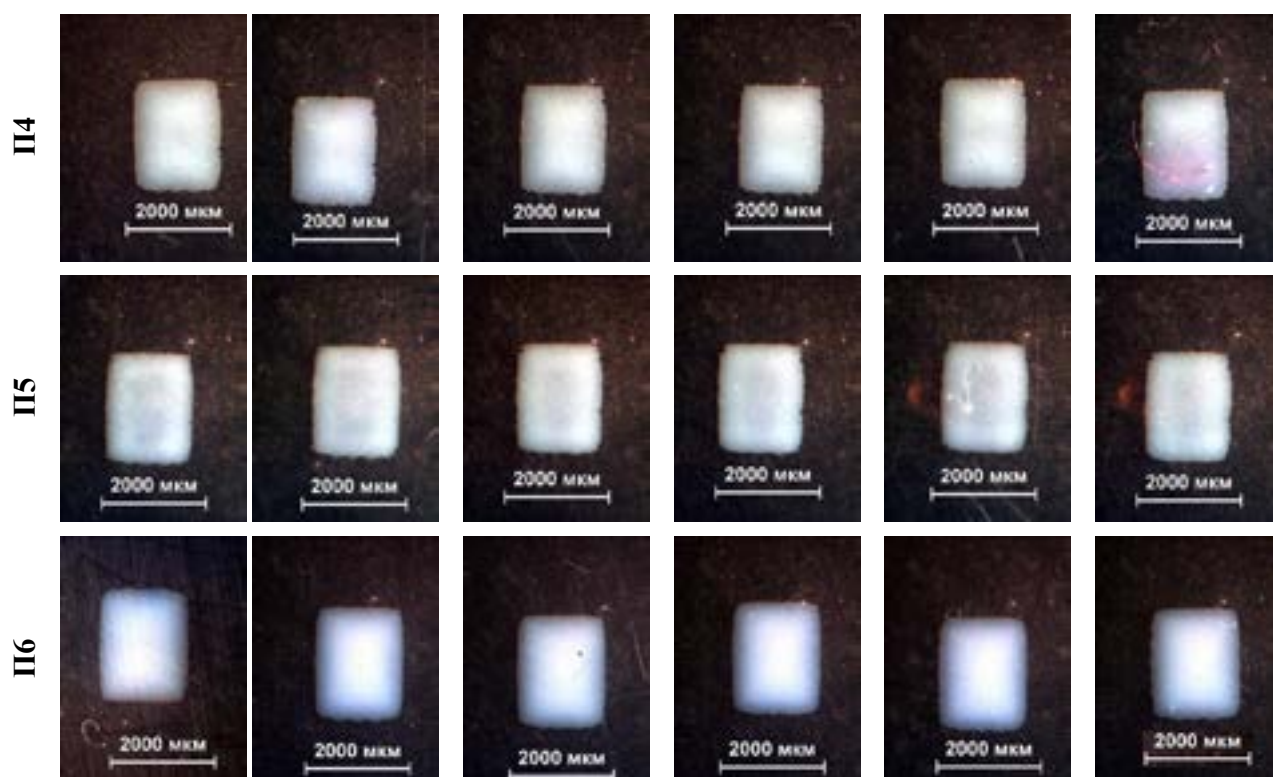


Рис. 4. Зовнішній вигляд відтисків паст на основі нанопорошку BaTiO_3 за різних значень тиску ракелю

Для інших паст якість друку була дуже низькою, до того ж відтворюваність якості друку та зовнішнього вигляду відтисків (поява «зубців» за периметром відтисків) свідчила про надлишкову в'язкість паст. Найкращим чином з паст П2, П4, П5 та П3 друкувалася П2, проте з огляду на графік залежності якості трафаретного друку від тиску ракелю, оптимальне значення тиску ракелю для цієї пасті лежить далеко за межами 0,0965 МПа. Це може бути пов'язано з високим значенням ефективної в'язкості пасті за $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ с}^{-1}$. Зменшення питомої площі відтисків цієї пасті під час збільшення тиску ракелю супроводжувалося збільшенням довжини сходинки, що, скоріше за все, було пов'язане з тим, що збільшення тиску ракелю викликало додаткове розрідження пасті, яке не дозволяло пасті розтектися але збільшувало змочування підкладки пастою.

З наведених залежностей впливу тиску ракелю на товщину отриманих відтисків діелектричних паст (рис. 3.12) видно, що відтиски на основі тиксотропних паст П6 та П4 (рис. 3.12 а, г) із зростанням тиску ракелю зменшують свою товщину, середнє значення якої становить 3,3 і 2,2 мкм відповідно. Для відтисків на основі тиксотропних паст П1 та П2 (рис. 3.12 б, в) немає яскраво вираженої залежності товщини від тиску ракелю, середнє значення якої відповідно становить 1,7 і 2,1 мкм.

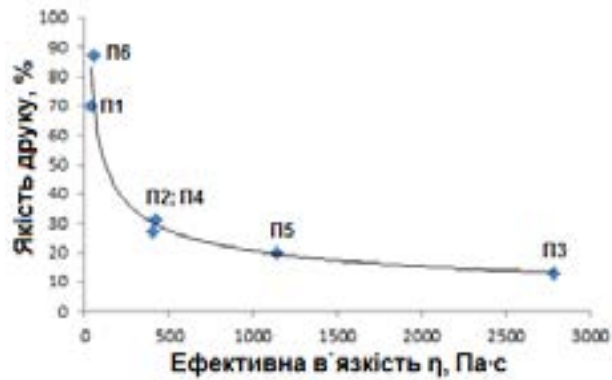


Рис. 5. Вплив в'язкості діелектричних паст у стані спокою на основі нанопорошку BaTiO_3 на якість друку

Враховуючи подібність кривих течії зазначених паст [17] та близькість значень ефективної в'язкості та градієнтів швидкості зсуву під час друку, можна очікувати, що характер зміни товщини відтиску зі збільшенням тиску ракелю визначається взаємодією частинок твердої фази та молекул етилцелюлози у пасті. Так для реопексних паст П5 та П3 збільшення товщини відтисків цілком узгоджується з явищем реопексії: на стадії заповнення трафарету деформації зсуву викликають загущення пасти, яке не дозволяє їй розтектися підкладкою на стадії друку, тим самим викликаючи збільшення товщини відтиску, зменшення довжини сходинки та погіршення якості передачі рисунку. Для паст П6 та П4 характерне утворення достатньо жорстких структурованих систем, які не дозволяють шару пасти текти та витягуватись під дією напруження.

Для П6 формування такої структури викликане недостатнім вмістом в'язучого, а для П4 – формуванням високоструктурованої системи (ступінь тиксотропності 2,028 МПа/с). У цьому випадку, структура під час друку легко руйнується (чому відповідають низькі значення межі міцності для цих паст), а товщина «відірваного» шару пасти визначається товщиною шару, що може потрапити під ракель, і, відповідно, зменшується зі збільшенням тиску ракелю. Натомість для паст П1 та П2 високий вміст в'язучого підвищує міцність та еластичність системи, тому товщина шару залежатиме лише від вмісту твердої фази у пасті.

Варто зазначити, що не дивлячись на те, що зміна товщини шару під час збільшення тиску ракелю залежить від реологічних властивостей пасти, усереднене значення товщини для усіх паст напряму визначається лише вмістом твердої фази (рис. 8), причому зменшення вмісту твердої фази спричиняє стоншення відтисків. А отже, саме вміст твердої фази в пасті головним чином визначає об'єм пасти, що може потрапити у комірку сітки.

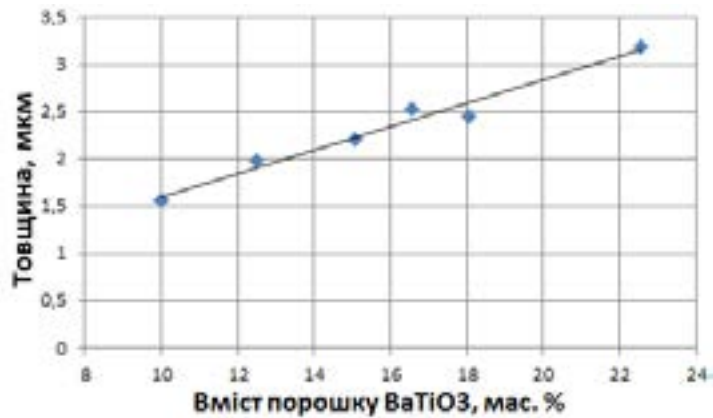
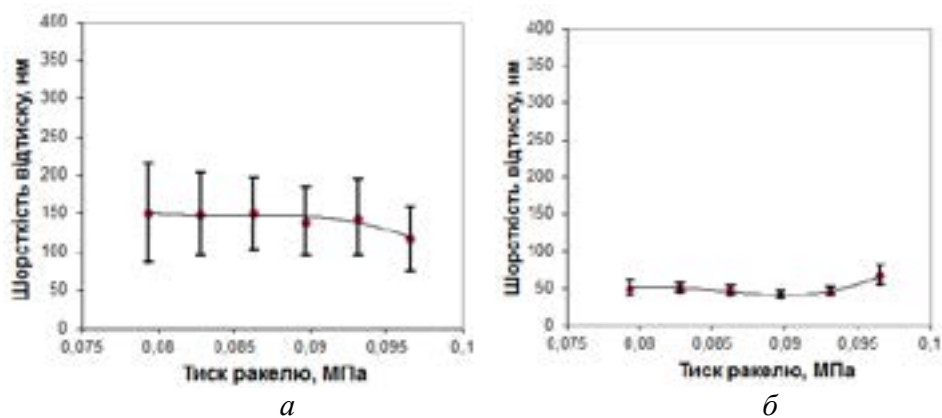


Рис. 8. Вплив вмісту твердої фази паст на основі нанопорошку BaTiO₃ на товщину відтисків

Вплив тиску ракелю на шорсткість (параметр Ra) поверхні відтисків паст на основі нанопорошку BaTiO₃, має подібний характер, що й на товщину відтисків (рис. 9). Для пари реопексних паст П5 та П3 спостерігається збільшення шорсткості поверхні, середнє значення якої становить ~190 нм. Значення Ra змінюється у досить широких межах довірчого інтервалу. Тиксотропні пасти П6 та П4 проявляють спадну залежність, середнє значення параметру шорсткості дорівнює ~ 140 та 100 нм. В свою чергу, шорсткість поверхні відтисків паст П1 та П2 не залежить від зміни тиску ракелю. До того ж, зміна параметру відбувається у досить вузьких межах, особливо це спостерігається для пасти П1 (рис. 9, б). Причому саме для цих паст значення параметру Ra є мінімальним та становить ~ 55 та 90 нм відповідно. Швидше за все зміни параметру шорсткості Ra під час збільшення тиску ракелю викликані тими ж причинами, що й зміна товщини.



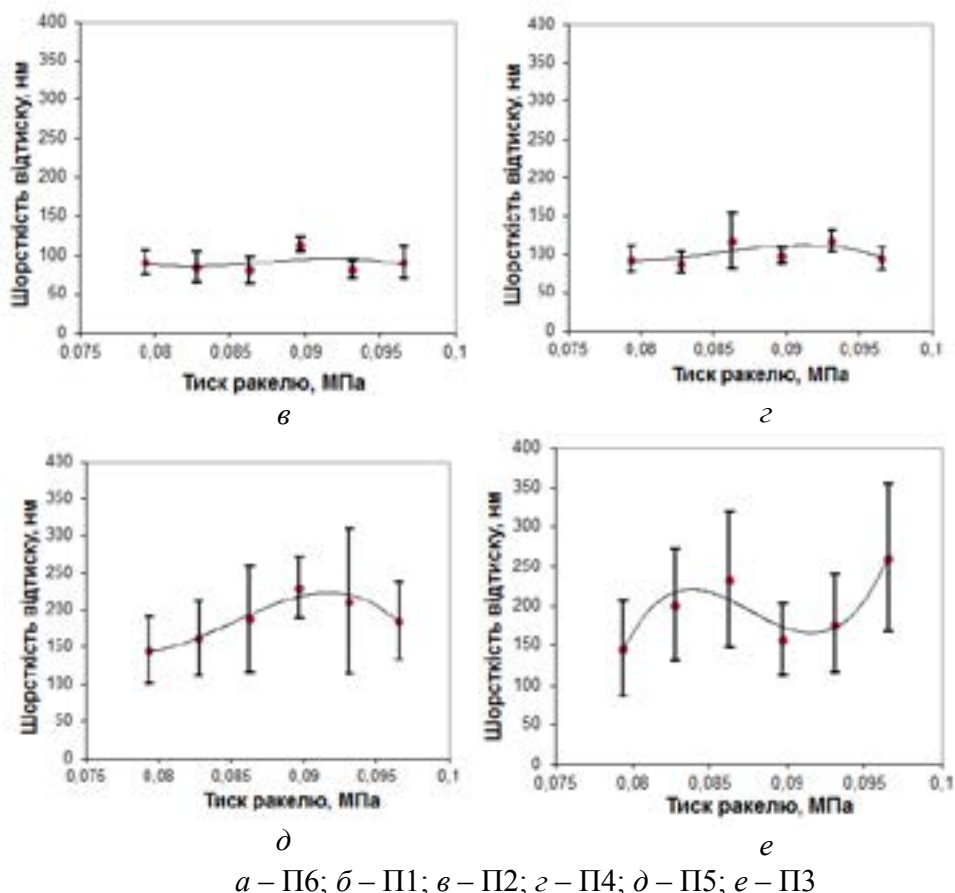


Рис. 9. Вплив тиску ракелю на шорсткість поверхні відтисків паст на основі BaTiO_3

Висновки

У роботі досліджено вплив складу, в'язкісно-реологічних характеристики паст та параметрів трафаретного друку на товщину і шорсткість отриманих плівок.

Визначено, що в'язкісно-реологічні властивості паст цілком визначаються співвідношенням порошок-в'язуче у пасті та впливають на якість передачі рисунку і шорсткість плівок. Товщина плівок залежить від вмісту порошку у пасті. Так, збільшення вмісту порошку у пасті викликає формування високоструктурованих систем, які, з одного боку, не дозволяють повністю зруйнуватися агломератам порошку під час приготування пасти і тому плівки на їх основі характеризуються завищеними значеннями параметрів шорсткості, а з іншого – такі системи руйнуються, а не течуть і не дозволяють отримувати відтиски з відповідною передачею рисунку трафарету. Збільшення вмісту BaTiO_3 в пастах з 10 до 22,56 мас.% призводить до потовщення плівок з 1,56 до 3,18 мкм.

Оптимальними в'язкісно-реологічними властивостями паст на основі нанопорошків титанату барію для здійснення процесу трафаретного друку є ефективні в'язкості за $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ c}^{-1}$ та режиму друку 30 – 60 та 1 – 4 Па·с відповідно та ступінь тиксотропності 0,6 – 0,9 МПа·с. Збільшення та зменшення ефективної в'язкості відносно оптимальних значень призводить до збільшення шорсткості плівок, окрім того для завищених значень в'язкості не відбувається

відповідна передача рисунку трафарету. Збільшення ступеню тиксотропності знижує придатність пасти до друку, зменшення – для паст на основі нанопорошків титанату барію свідчить про формування жорсткої структурованої системи. Варто зазначити, що визначені оптимальні реологічні властивості паст можуть змінюватись зі зміною складу твердої фази, що пов'язано зі специфікою формування структури системи порошок-в'язуче.

Оптимальним параметром проведення процесу трафаретного друку визначено тиск ракелю 0,0897 МПа.

Перелік посилань

1. Stojanovic B.D., Foschini C.R., Pavlovic V.B. et al. Barium titanate screen-printed thick films / B.D. Stojanovic, C.R. Foschini, V.B. Pavlovic, V.M. Pavlovic, V. Pejovic, J.A. Valera // *Ceram. Int.* – 2002. – Vol. 28 - P. 293 – 298.
2. Kishi H., Mizuno Y., Chazono H. Base-metal electrode-multilayer ceramic capacitors: past, present and future perspectives / H. Kishi, Y. Mizuno, H. Chazono // *Jpn. J. Appl. Phys.* – 2003. – Vol. 42 - P. 1–15.
3. Pan M.J., Randall C.A. A Brief Introduction to Ceramic Capacitors / M.J. Pan, C.A. Randall // *IEEE Electrical Insulation Magazine.* – 2010. – Vol. 26. – P. 44 – 50.
4. Pan J., Tonkay G.L., Quintero A. Screen printing process design of experiments for fine line printing of thick film ceramic substrates / J. Pan, G.L. Tonkay, A. Quintero // *International Symposium on Microelectronics: Conf., 1998, San Diego, CA, USA: Proc. of conf. November 1–4 - 1998.* – 264 p.
5. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N. MEMS Mechanical Sensors. - Boston–London: Artech House, Inc. - 2004. - 282 p.
6. Aegerter M.A., Mennig M. Sol-gel technologies for glass producers and users. - New York: Springer. - 2004. – 493 p.
7. Phair J. Rheological analysis of concentrated zirconia pastes with ethyl cellulose for screen printing SOFC electrolyte films / J. Phair // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2008. – Vol. 91 – P. 2130 – 2137.
8. Lin H.W., Chang C.P., Hwu W.H., Ger M.D. The rheological behaviors of screen-printing pastes / H.W. Lin, C.P. Chang, W.H. Hwu, M.D. Ger // *J. Mater. Process. Technol.* – 2008. – Vol. 197. – P. 284 – 291.
9. Vijatovic M.M., Bobic J.D., Stojanovic B.D., Malic B. Barium titanate thick films prepared by screen printing technique / M.M. Vijatovic, J.D. Bobic, B.D. Stojanovic, B. Malic // *Process. Appl. Ceram.* – 2010. – Vol. 4 – P. 53 – 58.
10. Wagiran R., Wan Zaki W.S., Mohd Noor S.D.B. et al. Characterization of screen printed BaTiO₃ thick film humidity sensor / R. Wagiran, W.S. Wan Zaki, S.D.B. Mohd Noor, A.Y. Shaari, I. Ahmad // *Int. J. Eng. Technol.* – 2005. – Vol. 2 – P. 22 – 26.

11. Chen Y., Gong S.P., Li H., Wang F.J. et al. Ni-BaTiO₃ interface phenomenon of Co-fired PTCR by aqueous tape casting / Y. Chen, S.P. Gong, H. Li, F.J. Wang, S.J. Yu, L.F. Xu // J. Nonferr. Metal. Soc. – 2007. – Vol. 17 – P. 1391-1395.
12. Pat. 2002/0189402 A1 US. Int. CI.B22F 9/22. Nickel powder dispersion.method of producing nickel powder dispersion and method of producing conductive paste / T. Ito(JP). H. Takatori (JP). – Appl. No. 09/937.689; filed 28.09.2001; publicised 19.12.2002. 12 p.
13. Pat. 2007/0108419 A1 US.Int. CI.H05K 3/00 (2006.01).H01B 1/12 (2006.01).Conductive paste for an electrode layer of a multi-layered ceramic electronic component and a method for manufacturing a multi-layered unit for a multi-layered ceramic electronic component / S. Satou. T. Nomura (JP); assignee TDK Corporation (JP). – Appl. No. 10/580.991; filed 24.11.2004; publicised 17.06.2007. 21 p.
14. Pat. 6.454.830 B1 US.Int. CI.B22F 1/00.Nickel powder for multilayer ceramic capacitors / T. Ito (JP). H. Takatori (JP); assignee Toho Titanium Co.. Ltd. (JP). – Appl. No. 09/786.032; filed 09.04.2001; publicised 24.09.2002. 8 p.
15. Pat. 2010/0208410 A1 US.Int. CI.H01G 4/008 (2006.01).C22C 19/03 (2006.01).B22F 9/16 (2006.01).H01B 1/02 (2006.01). Nickel powder or alloy powder. having nickel as main component. method for manufacturing the powder. conductive paste and laminated ceramic capacitor / I. Okada (JP). K. Koyama (JP). – Appl. No. 12/678.684; filed 09.07.2008; publicised 19.08.2010. 10 p.
16. Pat. 2009/0032780 A1 US.Int. CI.H01B 1/02 (2006.01). Nickel paste / T. Suglyama (JP); assignee Noritake Co..Limited (JP). – Appl. No. 12/219.828; filed 29.07.2008; publicised 05.12.2009. 9 p.
17. Умерова С.О., Дуліна І.О., Рагуля А.В Особливості реології в'язких паст на основі нанопорошку ВаТіО₃ / С.О. Умерова, І.О. Дуліна, А.В. Рагуля // Наноструктурное материаловедение. - 2013. – № 2. – С. 3 – 11.
18. Красов В.Г., Петраускас Г.Б., Чернозубов Ю.С. Толсто пленочная технология в СВЧ микроэлектронике. – М.: Радио и связь, 1985. – 168 с.
19. Tsai T.-N. Modeling and optimization of stencil printing operations: A comparison study / T.-N. Tsai // Comp. Ind. Eng. – 2008. – Vol. 54. – P. 374-389.
20. Топфер, М. Микроэлектроника толстых пленок. Технология, конструирование, применение / М. Топфер; перевод с англ. Т.Д. Шермегора. – М.: Мир, 1973. – 260 с.
21. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии / Пер. с англ. И.А. Лавыгина; Под ред. В.Г. Куличихина. – М.: КолосС. – 2003. – 312 с.