**Звіт про науково-дослідну роботу: „Кінетичні закономірності ущільнення і структуроутворення ансамблів наночастинок в процесах колоїдного формування під впливом зовнішніх полів”**

**Мета роботи** - полягає у вивченні фізико-хімічних основ синтезу нанопорошківоксидних сполук та їх самоорганізації в процесі електрофоретичного осадження, плівкового лиття та трафаретного друку.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2015 р.

закінчення IV кв. 2017 р.

**Керівник роботи**: Рагуля Андрій Володимирович, д.т.н., чл.-кор. НАНУ, (Email: ragulya@ipms.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

В роботі вперше показано, що регулюючи розмір молекули полімеру шляхом проведення його пластифікації можна керувати інтенсивністю і повнотою проходження процесів флокуляції і відповідно розмірами структурних елементів у зсувному потоці під конкретний літографічний метод колоїдного формування. Показано, що для формування плівок нанокристалічного BaTiO3 методом трафаретного друку із товщиною менше 1 мкм та шорсткістю поверхні співрозмірною із розміром однієї наночастинки, пасти повинні проявляти «реопексний - тиксотропний» характер течії і мати ступінь реопексії 1,5 > Р > 0,5 кПа/с та ступінь тиксотропності Т ≥ 1,5 кПа/с. Встановлено, що з метою формування сирих плівок на основі нанодисперсних порошків BaTiO3 з товщиною близько 300 нм та з шорсткістю Ra = 24 нм методом плівкового лиття доцільно використовувати псевдопластичні суспензії, що загущуються під час зсуву на початковому етапі деформування.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Результати проведених досліджень можуть бути використані у літографічних методах виробництва при розробці технології формування таких багатошарових нанокомпозитів, як багатошарові керамічні конденсатори, елементи сонячних батарей, твердооксидні паливні комірки.

Дані про реєстрацію роботи: № РК №0115U002109

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження.** Нанопорошки титанату барію таNi/NiO,суспензіїтитанату барію, пасти для трафаретного друку на основі нанодисперсних порошків ВаТіО3 та Ni/NiO, керамічні плівки, плівки з надрукованими електродами, спечені двошарові об’єкти «провідник - діелектрик».

**Мета роботи** полягає у вивченні фізико-хімічних основ синтезу нанопорошківоксидних сполук та їх самоорганізації в процесі електрофоретичного осадження, плівкового лиття та трафаретного друку.

**Методи дослідження** –ротаційна віскозиметрія,рентгено-фазовий аналіз,АСМ, СЕМ, СЕМ ВР, ТЕМ ВР та ТЕМ за методом двоступеневих реплік, оптична мікроскопія, оптична профілометрія, термогравіметрія, низькотемпературна адсорбція азоту.

Розроблено методологію трафаретного друку двошарових об’єктів «провідник

* діелектрик» на основі нанопорошків BaTiO3 та Ni/NiO із товщиною діелектричного шару 0,7 – 0,8 мкм та шорсткістю поверхні 20 – 25 нм і плівкового лиття сирих плівок на основі нанодисперсних порошків легованого титанату барію з товщиною близько 300 нм та з шорсткістю поверхні Ra=0.024 мкм. Встановлено,

що усі зразки характеризувались збереженням форми та суцільності з чіткою межею розділу між двома функціональними шарами. Виявлено, що відбулось зростання наночастинок BaTiO3 у рихлі агрегати із чіткими межами розділу. Діапазон розмірів зерен складав 50 – 200 нм за основної складової 100 – 200 нм. **Ключові слова**: НАНОПОРОШКИ, ТРАФАРЕТНИЙ ДРУК, ПЛІВКОВЕ ЛИТТЯ, ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНЕ ОСАДЖЕННЯ, СУСПЕНЗІЇ, РЕОЛОГІЯ, ПЛІВКИ.

**Публікації**

Умерова С.О., Дуліна І.О., Рагуля А.В. Вплив пластифікації на реологічні властивості розчинів полімеру // Український хімічний журнал. – Т. 81, № 1/2. – 2015. - С. 62 – 68

ий наноструктурных материалов в ИПМ НАН Украины, Минск: Беларуская наука. – 2015. – С.93-107.

Dulina, T. Lobunets, L. Klochkov, A. Ragulya Obtaining of Ni/NiO nanopowder from aqua solutions of Ni(CH3COO)2 ammonia complexes // Nanoscale Research Letters. 2015. № 10. Р. 1-17.

Kyrpal R, Dulina I., Ragulya A. Effect of BaTiO3 Nanopowder Concentration on Rheological Behaviour of Ceramic Inkjet Inks // Journal of Physics: Conference Series. 2015. № 602. P. 1-5.

Ivanchenko S.E., Dulina I.O., Umerova S.O. A.G. Nikulin and A.V. Ragulya Formulation and Rheology of Tape Casting Suspensions Based on BaTiO3 Nanopowders // Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites, and Surface Studies: Springer - 2015. P. 193-202.

M. Zagorny, A. Zhygotsky, A. Ivanchuk, O. Kuzma (НТУУ КПИ), A. Pozniy, A. Ragulya. Barium titanate nanoparticles self-organization from PVB-ethanol suspensions // Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research, №2, 2015, p. 547-555.

Saide O. Umerova, Iryna O. Dulina, Andrey V. Ragulya Rheology of plasticized polymer solutions. – Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials. - Vol. 67, No. 4. – 2015. – P. 119–125.

Умерова, С.О., Дуліна І.О., А.В. Рагуля Трафаретний друк паст на основі нанопорошку ВаТіО3 / // Керамика: наука и жизнь. – 2016. - Т. 31, № 2. – С. 31 – 41.

Умерова С.О. Дуліна І.О, Д.І. Барановський, А.В. Рагуля Особливості формування шаруватих нанокомпозитів типу «метал - діелектрик» методом трафаретного друку  // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – Т. 33, № 4. – С. 13 – 27.

Іванченко С.Е, С.О. Умерова, І.О. Дуліна, Д.І. Барановський, А.В. Рагуля Реологічні властивості та плівкоутворююча здатність полімерних суспензіій на основі нанопорошку ВaТiО3 / С.Е. Іванченко, // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – Т. 33, № 4 С. 28 – 39.

Іванченко С.Е., С.О. Умерова, А.Г. Нікулін, Д.І. Барановський, А.В. Рагуля / Отримання тонких суцільних керамічних плівок на основі нанопорошку ВaТiО3 методом плівкового лиття // С.Е. Іванченко, // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – Т. 33, № 4 С. 40 – 49.

Д. І. Барановський, А. В. Кузьмов (відділ 41), М. Б. Штерн «Дослідження втрати стійкості при спіканні багатошарових систем внаслідок агломерації нанодисперсних порошків», Наукові нотатки ЛНТУ Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»), – Луцьк, 28-32. – 2016. . - С.28-32.

Д. І. Барановський, А. В. Кузьмов (відділ 41), М. Б. Штерн «Комп&apos;ютерне моделювання зонального уособлення в шарі Ni при спіканні багатошарових керамічних конденсаторів» Інститут Проблем Матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України. Збірник праць №18 "Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении" – Київ – 85-92 стор., – 2016.

Umerova, S., I. Dulina, A. Ragulya, T. Konstantinova (Дон. ФТІ), V. Glazunova (Дон. ФТІ) Rheology of plasticized screen printing pastes based on BaTiO3 nanopowder // Applied Rheology. – 2016. - Vol. 3, No. 3. – P. 1 – 9.

Коваленко О.А., Рагуля А.В. «Особливості допування нанодисперсного порошку титанату барію з метою отримання сегнетоелектриків-релаксорів з розмитим фазовим переходом» Керамика: наука и жизнь 1 (2017): 12-23.

Умерова, С.О., Рагуля, А.В. «Магнітоелектричні нанокомпозити із полімерною матрицею як перспективний напрямок розвитку сучасного матеріалознавства» Кераміка: наука та життя. 3(36), 2017: 15-19.

Дуліна І.О., Рагуля А.В. Вивчення будови комплексних сполук у системі Ni(CH3COO)2—NH3—H2O методами ІЧ- та КР-спектроскопії. // Український хімічний журнал. - 2017. № 9. 18 c.

Загорный М.Н. Нанодисперсные порошки как наполнители фотоактивных композитов (Обзор). Порошковая металлургия. – 2017. – N3-4. – C. 13 – 36.

Umerova, S., Ragulya, A. “Shear Thickening of BaTiO3 Nanoparticles-Filled Non-Newtonian Polymer Suspensions" Rheol: open access. (2017): 1:105.

Umerova, S., Ragulya, A. "Coexistence of Rheopexy and Dilatancy in Polymer Suspensions Filled with Ceramic Nanoparticles" Rheol: open access. (2017): 1: e102.