

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу СУСЛОВА Олександра Миколайовича “Синтез, структура та властивості об’ємних та плівкових нелінійних матеріалів на основі сегнетоелектриків зі структурою перовськіту:  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ ,  $BaTi_{1-x}Zr_xO_3$  та  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$ ”, представлену на здобуття вченого ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.01 – неорганічна хімія

Важливою проблемою сучасної радіоелектронної техніки є розробка нових ефективних діелектричних матеріалів для використання в радіочастотному та НВЧ діапазоні. Вимогами до них є висока діелектрична проникність, стабільність параметрів при підвищених температурах та низькі діелектричні втрати. В той же час, важливою властивістю є нелінійність залежності діелектричної проникності від прикладеної напруги, що дозволяє керувати властивостями діелектрика. Як показав проведений автором літературний огляд, це корисне поєднання сукупності параметрів практично досягти дуже важко. Саме тому робота О.М.Суслова, присвячена синтезу та дослідженню об’ємних та плівкових нелінійних сегнетоелектриків зі структурою перовськіту на основі титанатів, цирконатів, танталатів барію, стронцію та аргентуму, є безумовно актуальною. Отримані в ній результати мають як загальнонаукове значення для розвитку хімії твердих оксидних матеріалів, так і прикладне для застосування в радіо та НВЧ техніці.

Дисертаційна робота Суслова О.М. відноситься до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Нові матеріали». Вона виконана у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт відділу хімії твердого тіла Інституту загальної та неорганічної хімії НАН України “Розроблення дослідно-промислових технологій виготовлення нових діелектричних нелінійних та НВЧ матеріалів на основі наноструктурованих оксидних систем” 00110U006063 (2010-2014); “Синтез, структурні особливості і властивості нових герероструктур на основі складних оксидних систем” 0110U004515 (2010-2014), «Багатофункціональні сегнетоелектричні матеріали на основі  $Ag(Nb,Ta)O_3$ » 0113U005308 (2013-2014), «Мікрохвильові нелінійні матеріали, композити та пристрої – 984091» 0112U004930 (2012-2013).

Автор кваліфіковано провів літературний пошук, вдосконалив та розвинув методи синтезу (як традиційні керамічні, так і «м’які») та методи отримання плівок, виконав великий обсяг експериментальних досліджень. В результаті одержано значний об’єм інформації по трьох типах твердих оксидних розчинів зі структурою перовськіту:  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ ,  $BaTi_{1-x}Zr_xO_3$  та  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$ , який наведений у дисертаційній роботі. Дисертація викладена на 163 сторінках тексту, що містить 14 таблиць та 91 рисунок, список

визначено мету, завдання та предмет дослідження. Розділ 1 присвячений аналізу літератури і формулюванню висновків щодо напрямків необхідних досліджень, які з нього випливають. В розділі 2 описані методи синтезу та експериментальні методики фізико-хімічних досліджень, використаних у роботі - термічний, хімічний, рентгенофазовий аналіз, електронна мікроскопія (SEM і TEM), ІЧ-спектроскопія, спектроскопія ЯМР, резонансні методи вимірювання електрофізичних характеристик. Власне експериментальні результати представлені в розділах 3, 4, 5, що присвячені, відповідно, вивченню властивостей кожного із твердих розчинів, вибраних в якості об'єктів дослідження, а саме титанатів стронцію-барію  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ , титанатів-цирконатів барію  $BaTi_{1-x}Zr_xO_3$  та ніобатів-танталатів аргентуму  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$ .

На мій погляд, численні експерименти проведено на доволі високому рівні. Одержані результати є цілком достовірними завдяки використанню взаємодоповнюючих сучасних методів.

Серед головних результатів, що мають наукову новизну, слід відмітити такі:

- Запропонований механізм фазових перетворень при синтезі твердих розчинів  $BaTi_{1-x}Zr_xO_3$  та  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$ . Вперше показаний вплив магнієвмісних оксидних домішок при синтезі  $BaTi_{1-x}Zr_xO_3$  та позитивна роль домішок ортотитанату та борату цинку при синтезі  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$ , що дає можливість уникнути використання кисневої атмосфери при отриманні керамічного матеріалу.
- Зроблений значний внесок в удосконалення методів синтезу, зокрема, запропоновано використання золь-гель синтезу, який дозволяє, на відміну від традиційного керамічного, отримувати однорідні матеріали в одну стадію за невисоких температур 600 – 650°C.
- Вперше запропоновано використовувати різке нагрівання (термоудар) при утворенні плівок, що значно покращує адгезію плівки до підкладки.
- Нарешті, вперше досліджені електрофізичні властивості плівкових матеріалів на основі  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  в НВЧ діапазоні і виявлений високий рівень термостабільності електрофізичних параметрів.

Вказані результати є науковим внеском автора в хімію твердих неорганічних оксидів. З цих наукових результатів випливає також висновок про великі можливості прикладного застосування розроблених матеріалів при створенні технічних пристроїв для застосування у радіочастотному та НВЧ зв'язку, оскільки методи їх отримання доволі дешеві, а

Практична значимість та наукова новизна згаданих результатів підтверджена 8 публікаціями у фахових наукових журналах та 8 доповідями на конференціях різних рівнів.

Сказане вище дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота О.М.Суслова є цілісним науковим дослідженням, що розширює наші уявлення про закономірності процесів отримання твердих розчинів зі структурою перовськіту та їх властивості. З практичної точки зору, одержані дані є важливими для створення діелектричних матеріалів з метою їх використання в техніці радіо та НВЧ зв'язку. Достовірність одержаних результатів не викликає сумнівів.

В той же час, по роботі можна висловити і деякі зауваження:

1. На рис.3.17 (стор.80) та 4.27 (стор.113) порівнюються властивості плівкових та об'ємних матеріалів, які отримані при різних частотах, відповідно, 14 ГГц та 1 МГц. Чи коректне таке порівняння?
2. На стор.87 наведена схема реакцій, що відбуваються при твердофазному синтезі твердих розчинів  $\text{BaTi}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_3$  (реакції 4.1 – 4.5), що відбуваються в температурному інтервалі 800 – 1200°C. Не зрозуміло, чому автор не розглядає можливості прямої реакції утворення метацирконату барію (4.7), що також має відбуватися у цьому інтервалі. Взагалі, на мій погляд, подібного роду схеми, отримані на основі даних термічного аналізу, бажано було б підтвердити термодинамічними розрахунками, порівнявши температурні залежності зміни енергії Гіббса.
3. Схема реакцій синтезу  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  (стор.118) також викликає запитання. Як можуть відбуватися реакції 5.5, 5.5 (600-700°C), якщо  $\text{Ag}_2\text{O}$  розкладається за суттєво нижчих температур?
4. Рис. 4.13 на стор.99 не зрозумілий. Якщо це розподіл за розмірами, то площа під кривою повинна дорівнювати 100%.
5. В тексті зустрічаються помилки. Зокрема, позиції 3 і 4 на схемі рис.2.3 (стор.54), очевидно, переплутані; нумерація кривих рис.3.16 (стор.78) невірна; залежності  $v, \gamma$  на рис 4.20 (стор.105) не позначені в підписі; є помилки в підписі до рис.4.26 і табл..4.6.
6. Є помилки і в авторефераті: стор.5 – зміст розділу 3; стор.7 – підпис до рис.4; стор.9 – посилання на табл..3.

Наведені вище зауваження не впливають на загальну високу оцінку роботи в цілому і не знижують достовірності одержаних результатів.

в достатній мірі опубліковані у фахових виданнях та апробовані на конференціях різних рівнів, включаючи міжнародні. Текст автореферату повністю відображає найбільш вагомі результати дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Олександра Миколайовича Суслова повністю відповідає вимогам ДАК України до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присвоєння наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.01 – неорганічна хімія.

Результати роботи можуть бути використані в технологіях виробництва діелектричних нелінійних матеріалів для використання у засобах зв'язку.

Завідувач кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, доктор хімічних наук, професор



Андрійко О.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
Хіміко-технологічний факультет

Підпис: Андрійко О.О. засвідчую

Інспектор: Л. Коваленко  
«05» 10 2016 р.