

Основи проектування та створення гетероепітаксіальних структур перовскітних матеріалів для приладобудування

Основы проектирования и создания гетероэпитаксиальных структур перовскитных материалов для приборостроения

Fundamentals of design and creation of heteroepitaxial structures of perovskite materials for instrument

1. Номер державної реєстрації – № 0114U000562,
2. Науковий керівник (вчений ступінь, звання).

д.т.н., проф. Воронов С.О., д.т.н., проф. Воронов С.А., prof. Voronov S.A.

3. Суть розробки, основні результати. (укр.)

Отримано концентраційні залежності поляризованих спектрів комбінаційного розсіювання світла (КРС) для плівок титанату свинцю-кальцію $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ (PCT), визначено, що при заміщенні Pb на Ca загальний характер спектрів не змінюється і навіть при $x=0,45$ спектри КРС відповідають тетрагональній сегнетоелектричній фазі, що реалізується в чистому PCT. Виявлено, що компонента м'якої моди $A1(TO)$ у плівці титанату свинцю-лантана $Pb_{0,9}La_{0,1}TiO_3$ (PLT) має частоту 280 см^{-1} і суттєво зсувається в бік низьких частот при зростанні вмісту La. При цьому зростає взаємодія цієї моди з низькочастотною модою 180 см^{-1} , частота якої знижується всього на 10 см^{-1} при $x = 0,45$. З отриманих спектрів КРС керамік і плівок твердих розчинів PLT можна зробити висновок, що заміщення Pb на La робить істотний вплив на зв'язок Ti-O.

Виявлено, що дислокаційний механізм релаксації напруги відбувається в області титанату свинцю-кальцію, що має контакт з підкладкою на товщині біля $1,3\text{ нм}$. За допомогою електронної дифракції була визначена разорієнтація плівки і підкладки в напрямку, перпендикулярному площині плівки, яка становить від $0,5^\circ$ до $1,0^\circ$, що знаходиться в межах помилки визначення та узгоджується з даними рентгеноструктурного аналізу.

Установлено зв'язки між умовами кристалізації плівок та їх структурними і деформаційними характеристиками. Знайдено узагальнений енергетичний параметр, що характеризує всю сукупність елементарних процесів: наплення та переносу частинок матеріалу через плазму ВЧ-розряду, їх конденсації на підкладці. Розроблено методику кількісного визначення узагальненого енергетичного параметра, встановлені області його зміни, які відповідають якісним та кількісним змінам механізму формування плівок.

Розроблено методику визначення внутрішніх параметрів, вперше дозволила звести багатопараметричну задачу умов отримання складних оксидів, до аналізу фазової діаграми, що не тільки істотно спростило отримання плівок із заданими властивостями, але й відкрило можливості для створення нової технології. Отримана методика визначення внутрішніх параметрів гетероепітаксіальних шарів, спростило отримання плівок із заданими властивостями.

Розроблено метод побудови ВАХ розряду за даними оптичної емісійної спектроскопії який дозволяє: однозначно встановлювати ідентичні параметри розряду при використанні різних за складом мішеней або при зміні конфігурації електродів розпилювальних пристроїв; провести розділення різних типів ВЧ-розряду за внутрішніми параметрами; при оптимізації умов вирощування плівок коректно враховувати роль плазмових процесів в загальному процесі їх росту.

Отримано температурну залежність параметрів елементарної комірки плівок з PCT і PLT на підкладці з оксиду магнію, орієнтованої паралельно кристалографічній осі Z (001), на

якій нанесено шар платини Pt/MgO, були отримані гетероепітаксійні структури зазначених вище матеріалів.

Отримано температурні залежності поляризованих спектрів КРС плівок титанату свинцю-лантану. При підвищенні температури інтенсивність всіх поляризованих мод знижується, а частота м'якої моди $E(TO)$, підвищується від 60 см^{-1} при кімнатній температурі до 72 см^{-1} при 368 К .

Виявлено, що в гетероепітаксійних плівках титанату свинцю-лантану PLT отриманих на підкладці Pt/MgO, що орієнтована паралельно до кристалографічної осі $Z(001)$, виникають двовимірні напруги, які призводять до утворення 180° -градусної c -доменної структури в тетрагональній фазі, яка відіграє важливу роль при низькотемпературних фазових переходах.

(рос.)

Получены зависимости от концентрации свинца и кальция спектров комбинационного рассеяния света (КРС) для пленок титаната свинца-кальция $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ (PCT), определено, что при замещении Pb на Ca общий характер спектров не меняется и даже при $x=0,45$ спектры КРС соответствуют тетрагональной сегнетоэлектрической фазе, которая реализуется в чистом PCT. Выявлено, что компонента мягкой моды $A_1(TO)$ в пленке титаната свинца-лантана $Pb_{0,9}La_{0,1}TiO_3$ (PLT) имеет частоту 280 см^{-1} и существенно сдвигается в сторону низких частот при росте содержания La. При этом возрастает взаимодействие этой моды с низкочастотной модой 180 см^{-1} , частота которой снижается всего на 10 см^{-1} при $x = 0,45$. Из полученных спектров КРС керамик и пленок твердых растворов PLT можно сделать вывод, что замещение Pb на La оказывает существенное влияние на связь Ti-O.

Установлено, что дислокационный механизм релаксации напряжения происходит в области титаната свинца-кальция, имеющего контакт с подложкой при толщине переходного слоя около $1,3\text{ нм}$. С помощью электронной дифракции была определена разориентация пленки и подложки в направлении, перпендикулярном плоскости пленки, которая составляет от $0,5^\circ$ до $1,0^\circ$, что находится в пределах ошибки определения и согласуется с данными рентгеноструктурного анализа.

Установлено связь между условиями кристаллизации пленок и их структурными и деформационными характеристиками. Найден обобщенный энергетический параметр, характеризующий всю совокупность элементарных процессов: напыления и переноса частиц материала через плазму ВЧ-разряда, их конденсации на подложке. Разработана методика количественного определения обобщенного энергетического параметра, определены области его изменения, которые соответствуют качественным и количественным изменениям механизма формирования пленок. Разработана методика определения внутренних параметров, которая позволила свести многопараметрическую задачу получения сложных окислов, к анализу фазовой диаграммы, что существенно упростило получение пленок с заданными свойствами, и открыло возможности для создания новой технологии. Полученная методика определения внутренних параметров гетероепитаксиальных слоев, упростит получение пленок с заданными свойствами.

Разработан метод построения ВАХ разряда по данным оптической эмиссионной спектроскопии, который позволяет однозначно установить идентичные параметры разряда при использовании различных по составу мишеней или при изменении конфигурации электродов распылительных устройств. Провести разделение различных типов ВЧ-разряда по внутренним параметрам, при оптимизации условий выращивания пленок корректно учитывать роль плазменных процессов в общем процессе их роста.

Получена температурная зависимость параметров элементарной ячейки пленок PCT и PLT на подложке из оксида магния, ориентированной параллельно кристаллографической оси $Z(001)$, на которую нанесен слой платини Pt/MgO, были получены гетероепитаксиальные структуры этих материалов. Получены температурные зависимости поляризованных спектров КРС пленок титаната свинца-лантана. Замечено, что при

повышении температуры интенсивность всех полярных мод снижается, а частота мягкой моды E(TO), повышается от 60 см^{-1} при комнатной температуре и до 72 см^{-1} при 368 К.

Обнаружено, что в гетероэпитаксиальных пленках титаната свинца-лантана PLT полученных на подложке Pt/MgO, ориентированной параллельно кристаллографической оси Z(001), возникают двумерные напряжения, которые приводят к образованию 180-градусной c-доменной структуры в тетрагональной фазе, которая играет важную роль при низкотемпературных фазовых переходах.

(англ.)

The dependence of the concentration of lead and calcium Raman spectra (RS) films of lead titanate-calcium $\text{Pb}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ (PCT), it is determined that the substitution of Pb Ca on the general nature of the spectra does not change even when $x = 0.45$ Raman spectra correspond to tetragonal ferroelectric phase, which is implemented in pure PCT. It was revealed that the soft mode component A1(TO) in the film-lanthanum titanate lead $\text{Pb}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{TiO}_3$ (PLT) has a frequency of 280 см^{-1} and significantly shifted to lower frequencies with an increase in the content of La. This increases the interaction of the modes with low frequency 180 см^{-1} mode, the frequency of which is reduced by only 10 см^{-1} for $x = 0.45$. The obtained Raman spectra of ceramics and films of PLT can be concluded that the substitution of Pb for La has a significant impact on the bond Ti-O.

It is found that the stress relaxation mechanism dislocation occurs in the calcium-lead titanate having contact with the substrate when the thickness of the transition layer is about 1.3 nm. Using electron diffraction was determined and the film substrate disorientation in the direction perpendicular to the film plane, that is from $0,5^\circ$ to $1,0^\circ$, that is within the error, and consistent with the data of X-ray analysis.

The connection between the conditions, of the crystallization, of the films and their structural, and deformation characteristics. Found generalized energy parameter characterizing the totality of elementary processes: spraying and transfer of the material particles through the plasma HF discharge, their condensation on the substrate. A method for the quantitative determination of the generalized power parameter identifies areas of change that correspond to the qualitative and quantitative changes in the mechanism of formation of the films. A method for determining the internal parameters, which allowed to reduce the problem of obtaining multiparameter complex oxides, a phase diagram analysis, which greatly simplified the preparation of films with desired properties, and opened the way for the creation of the new technology. The resulting method of determining the internal parameters heteroepitaxy layers simplify the preparation of films with desired properties.

The method of construction according to the CVC discharge optical emission spectroscopy, which allows to establish unequivocally identical discharge parameters by using different compositions of target or changing the configuration of the electrodes of the spray device. Carry out the separation of different types of high-frequency discharge for internal parameters, while optimizing the film growing conditions properly take into account the role of plasma processes in the overall process of their growth.

The temperature dependence of the unit cell parameters PCT and PLT films on a substrate made of magnesium oxide oriented parallel to the crystallographic axis Z(001) on which a layer of Pt/MgO platinum were obtained heteroepitaxy structures of these materials. The temperature dependence, of the polarized Raman spectra, of the films, of lanthanum titanate-lead. It is noticed that with increasing temperature, the intensity of all polar modes decreases, and the frequency of the soft mode E(TO) is increased from 60 см^{-1} at room temperature and up to 72 см^{-1} at 368 K.

It revealed that the heteroepitaxy films of lead lanthanum titanate on a substrate obtained PLT Pt/MgO, oriented parallel to the crystallographic axis Z(001), there are two-dimensional stresses that lead to the formation of 180-degree c-domain structure in the tetragonal phase, which plays an important role in the low-temperature phase transitions.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Розроблена методика визначення внутрішніх параметрів вперше дозволила звести багатопараметричну задачу умов отримання складних оксидів, до аналізу фазової діаграми, що не тільки істотно спростило отримання плівок із заданими властивостями, але й відкрило можливості для створення нової технології. Отримано тонкі шари складних оксидів $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$, $Pb_{1-x}La_xTiO_3$, що мають кути розорієнтації блоків менше 0,03 рад, коефіцієнт якості, що визначає сегнетоелектричні та піроелектричні властивості матеріалів складає від $1,32 \times 10^{-10}$ до $1,4 \times 10^{-10}$ (Кл·м/Дж).

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності може бути визначено після виконання таких етапів роботи як прикладна НДР, ДКР.

Застосування розроблених методик, технологій дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість виробів з приладів НВЧ діапазону за рахунок: підвищення на 35-50% коефіцієнта використання матеріалу в процесах нанесення тонких шарів активних діелектриків; зменшити в 4-6 разів габаритні розміри, заощаджувати енергію живлення приладів в 2-3 рази.

7. Потенційні користувачі.

Підприємства приладобудування та зв'язку, НДКІ «Елвіт» м.Львів, НДІ «Оріон» м.Київ.

Отримані результати мають практичне значення в таких галузях науки та промисловості: приладобудування, електроніка, оптоелектроніка, нанотехнології. Використання сегнетоелектричних гетероструктур є доцільним: в електронно-керованих пристроях надвисокочастотного діапазону; у мікроелектромеханічних пристроях; в надшвидких аналогових модуляторах інтегральної оптики; в матричних перетворювачах інфрачервоного випромінювання.

8. Стан готовності розробки

Розроблена технічна документація, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати НДР після закінчення буде використовуватись в спільних роботах в НДКІ «Елвіт» м.Львів.

10. Форма участі інвестора.

Форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті 95%.

11. Обсяг інвестицій.

Необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США складає 3,65 млн.

12. Мета інвестицій.

Підготовка виробництва та придбання обладнання.

13. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

Фізико-технічний інститут НТУУ «КПІ», лабораторія оптичних методів реєстрації інформації, кафедри прикладної фізики, тел.204-83-82,204-80-79, e-mail: s.muravov@kpi.ua; s.voronov@kpi.ua

14. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Навчальні посібники:

1. Богорош О.Т., Крамар В.М., Шайко-Шайковський О.Г. / Локальні методи дослідження, /, [Текст] : навчальний посібник – Видавничий дім «Родовід», Чернівці, 2016, - 172 с., наклад 300 прим.

2. Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Деревянчук О.В.«Термо-і томографія» [Текст] : навчальний посібник – Видавництво «ТОВ Поліграф сервіс», Чернівці, - 2016, с.60., наклад 350 прим.

3. Богорош О.Т., Воронов С.А. Котовський В.Й. Матеріали і речовини Частина 2, [Текст] : навчальний посібник. Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, НТУУ КПІ, 2015, – 272 с.

4. Богорош О.Т., Воронов С.А. Котовський В.Й. Матеріали і речовини Частина 3, [Текст] : навчальний посібник. Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, НТУУ КПІ, 2016, – 187 с.

5. Богорош О. Т. Нові речовини. Частина 1. Від традиційних до нових матеріалів [Текст] : навчальний посібник / О. Т. Богорош, С. О. Воронов, В. Й. Котовський, Н. О. Гордійко. – Київ : НТУУ «КПІ», Видавництво ПП «Мастер принт», Київ, 2015. 2015. – 517 с.

6. Богорош О. Т. Нові речовини. Частина 2. Від традиційних до нових матеріалів [Текст] : навчальний посібник / О. Т. Богорош, С. О. Воронов, В. Й. Котовський, Н. О. Гордійко. – Київ : НТУУ «КПІ», Видавництво ПП «Мастер принт», Київ, 2015. 2015. – 517 с.

7. О.Т. Богорош, С.О. Воронов, В.Й. Котовський, Частина 3. Нано-та біоматеріали з унікальними властивостями [Текст] / навчальний посібник – Київ : НТУУ «КПІ», Видавництво ПП «Мастер принт», Київ, 2016. – 187 с.

8. Богорош О.Т., Воронов С.О., Крамар В.М., Шайко-Шайковський О.Г., Частина 1, «Від традиційних до нових матеріалів» [Текст] : навчальний посібник / Видавництво ЧНУ, 2015. – 396 с., наклад 100 прим.

9. Богорош О.Т., Воронов С.О., Крамар В.М., Шайко-Шайковський О.Г., «П'єзо-та сегнетоматеріали» Частина 2, [Текст] : навчальний посібник – Видавництво ЧНУ, 2016. – 367 с., наклад 100 прим.

10. Богорош О.Т., Воронов С.О., Крамар В.М., Шайко-Шайковський О.Г., «Наноматеріали» Частина 3, [Текст] : навчальний посібник – Видавництво ЧНУ, 2016. – 399 с., наклад 100 прим.

Словники:

1. «Прикладна фізика», українсько-російсько-англійський тлумачний словник, Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Маїк В.З., Ясінський М.Ф., Видавництво Ураїнської друкарської академії, Львів, 2015. Том 1, А-Ж, - 584 с., - наклад 300 прим. ISBN 978-966-322-435-0

2. Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Маїк В.З., Ясінський М.Ф., «Прикладна фізика», українсько-російсько-англійський тлумачний словник. Видавництво Ураїнської друкарської академії, Львів, 2015. Том 2, З – Н, - 664 с.; - наклад 300 прим. ISBN 978-966-322-435-0

3. «Прикладна фізика», українсько-російсько-англійський тлумачний словник, Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Маїк В.З., Ясінський М.Ф., Видавництво Ураїнської друкарської академії, Львів, 2015. Том – 3, О-Р.-608 с. - наклад 300 прим. ISBN 978-966-322-435-0

4. «Прикладна фізика», українсько-російсько-англійський тлумачний словник, Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Маїк В.З., Ясінський М.Ф., Видавництво Ураїнської друкарської академії, Львів, 2015. Том – 4, С -Я, - 1024 с. - наклад 300 прим. ISBN 978-966-322-435-0

5. Богорош А.Т., Воронов С.А., Шайко-Шайковський А.Г., Шпилевський Э.М. /Толковый словарь физических терминов //Минский национальный университет Белоруссии, 2015, - 2500 с. (5 томов).

Статті:

1. Bogorosh, A.T., Voronov S.A., Niazi, S.C., Hashemabadi, S.H., Razi, M.M., «CFD simulation of acoustic cavitation in a crude oil upgrading sonoreactor and prediction of collapse temperature and pressure of a cavitation bubble» Chemical Engineering Research and Design Radarweg 29, volume 92, issue 1, year 2014, p.p. 166 – 173. 1043 NX, Holand.

2. O.Bogorosh, I.Oleksyuk, J.Shalapko “Method of Computer-Aided Optimization Location of Fixing Elements on Plate Body to Undergo Rotational Forces” Mechanika w medycynie, №12, Uniwersytet Rzeszowski, Poland, Rzeszow, 2014, p.p. 5 – 7.

3. O.Bogorosh, O.Shaiko, V.Kramar, I.Oleksyuk, J.Shalapko, Metoda wspomaganej komputerowo lokalizacji elementow ciała utwierdzonych na plytee bedacych pod działaniem sil obrotowych Mechanika w medycynie, №12, Uniwersytet Rzeszowski, Poland, Rzeszow, 2014, pp.227-232.

4. Bogorosh Alexander, Voronov Sergey, «Technologies for monitoring, forecasting and control properties of the sediments in the energy equipment and pipelines of different purposes» The Petroleum Institute PO Box 2533, Sas Al Nakheel Campus. UAE, 2014, - 390 p.

5. Богорош А.Т. / Физико-химическая информатика в нанотехнологиях / Сб. «Исследования в области прикладных наук –2016», Изд. ИПИ, «Новые поступления», 27.01.2016, Израиль http://ipi-science.net/articles_new.aspx ; <http://ipi-science.net>

6. Богорош А.Т., Воронов С.А., Шайко-Шайковский А.Г., Марченко К.В. /Обзор применения акустической эмиссии для выявления микро-и нанодфектов Сб. «Технологические основы повышения надежности и качества изделий», 2016. -№ 1(13).- с.47 – 57.

7. Богорош А.Т. / Лавины дислокаций и выбросы напряжения в платах радиоинженерного оборудования / Журнал «Приборы и методы измерений» Выпуск №1 (6)/2016. –с.7-12.

8. Bogorosh A., Visniakov N., Novickij., Bubulis A. / Dislocation avalanches and strain strain bursts in the boards of radio-engineering equipment / Методы измерений, контроля, диагностики, №1/7. 2016. – С.79 – 85. Vilnius Gediminas Teshnical University, Litviania

9. A.Bogorosh, A.Shayko-Shaykovky, A.Bubulis, H.Visniakov A.Sheshov / Simulation of vibration and ways to improve the design of multistage designs // London, Британский журнал прикладных наук и технологий, 2015, Том 10 [Выпуск 2] DOI: 10,9734 / VJAST / 2015/17790 Impact Factor (0.327)

10. Числові методи. Наближені обчислення. Обчислення значень функцій. Наближене розв'язання систем лінійних та нелінійних рівнянь. Інтерполяція [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів навчального напрямку 6.040204 «Прикладна фізика» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Н. О. Гордійко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,20 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 135 с. – Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/13535>.

11. Математичне моделювання фізичних процесів та прикладні програми Matlab + toolboxes [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів навчального напрямку 6.040204 «Прикладна фізика» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Н. О. Гордійко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,18 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 126 с. – Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/13534>.

12. Вплив електричних режимів височастотного розряду на формування гетероструктур перовськітних матеріалів [Текст] / С.О.Воронов, О.Т.Богорош , С.О.Мурахов, Н.О.Гордійко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: технічні науки. –№3. – 2015. – с.65–72

13. Дослідження тонких плівок сегнетоелектриків на кремнієвій підкладці [Текст] / С.О.Воронов, О.Т.Богорош, С.О.Мурахов, Н.О.Гордійко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: приладобудування. – 2015, – вип.50(2) с.88-97
Матеріали та тези конференцій :

1. Bogorosh, S.Voronov, Monitoring and diagnosis of complex systems ferroelectric films 2014 International Conference on Advanced Materials & Sports Equipment Design (AMSED 2014) will be held on September 21-23, 2014, Singapore.

2. А.Т.Богорош, Диагностика методами акустической эмиссии разрушения наноразмерных частиц композитных материалов, Научно-практическая Интернет-конференция «Всероссийская научно-практическая виртуальная конференция с международным участием» 2014, Нанотехнология в теории и практике, <http://www.paxgrid.ru/registration/activation>

3. A. Bogorosh, S.Voronov, A.Yudin, N. Višniakov, A. Bubulis, Dislocation avalanches and strain bursts in the boards of electronic equipment The 2014 International Conference on Mechatronics and Control Engineering (ICMCE 2014), Hong Kong Industrial Technology Research Centre 09.28-29, 2014 p.p.51- 54.

4. A. Bogorosh, S.Voronov, Monitoring and diagnosis of complex systems ferroelectric films 2014 International Conference on Advanced Materials & Sports Equipment Design (AMSED 2014) will be held on September 21-23, 2014, Singapore.

5. A. Bogorosh, S.Voronov, A.Yudin, N. Višniakov, A. Bubulis, Dislocation avalanches and strain bursts in the boards of electronic equipment The 2014 International Conference on Mechatronics and Control Engineering (ICMCE 2014), Hong Kong Industrial Technology Research Centre 09.28-29, 2014 p.p.51- 54.

6. Alexander Bogorosh, Voronov Sergey, Shaiko-Shaikovskii Alexander /Physical and chemical information, forecasting and managing properties of scale, polycrystals, corrosion / The 2nd International Conference on Materials Science and Engineering Technology, MSET 2016, Ei and ISTEP Index, April 25-26, 2016, Shanghai, China, international journal "Advanced Materials Research", which will be indexed by Ei Compendex, ISI (CPCI, ISTEP), p.111-120.

<http://www.icmset.org/2015/submission>

7. Богорош А.Т. Марченко Е.В. Шпилевский Э.М., Шайко-Шайковский А.Г /Свойства и возможные применения фуллеренсодержащих материалов/. Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 11 апр. 2016, часть 2, Харьков, 2015, Научно-информационный центр «Знание», с.108-112.

8. Богорош О.Т., Марченко Е.В. /Історія розвитку термінології нанотехнологій. / XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». Секція «Актуальні питання сучасної фізики», Київ, КПІ, 2015. – с.5

9. Статистичний аналіз та моделювання за допомогою Statistics Toolbox [Текст] / Н.О. Гордійко, Т.В.Томашевська // Зб. наук.праць за матеріалами XII Міжнародної наукової інтернет-конференції «Актуальні проблеми сучасної науки» (15–17 жовтня 2015). – К., 2015. – с.49–61.

10. Alexander Bogorosh, Voronov Sergey, Shaiko-Shaikovskii Alexander, Physical and chemical information, forecasting and managing properties of scale, polycrystals, corrosion The 2nd International Conference on Materials Science and Engineering Technology, MSET 2015 Ei and ISTEP Index, April 25-26, 2015, Shanghai, China, international journal "Advanced Materials Research", which will be indexed by Ei Compendex, ISI (CPCI, ISTEP), p.111-120.

<http://www.icmset.org/2015/submission>

Захищено:

Захищено дисертацію 26.09.2014р., на здобуття звання кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 «Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій», назва: «Андронні струмені в непружних ер-взаємодіях на детекторі Zens», аспірант Аушев Є.В., науковий керівник проф. Богорош О.Т.

16. Ключові слова до розробки: тонки шари плівок титанату свинцю-кальцію, гетероструктури на основі перовськітних матеріалів, ВЧ-розпилення.