АНОТАЦІЯ

Бабич Б. Б. Оптично селективні елементи на основі нанокомпозитних структур. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка (Автоматизація та приладобудування) – виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти та науки України, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розробці оптично селективних елементів з заданими спектральними характеристиками на основі нанокомпозитних структур з врахуванням особливостей мікроструктури та оптичних характеристик нанорозмірних компонент. У роботі проведено комплексні дослідження спектральних залежностей оптичних параметрів нанорозмірних компонент та композитних структур на їх основі.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну, показано практичне значення отриманих результатів, вказаний зв’язок роботи з науковими програмами, темами. Представлено інформацію про апробацію та публікацію результатів досліджень за темою дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану розробки, досліджень, застосування оптично селективних елементів, показано наявність ряду проблем:

- не вивчений аспект впливу мікроструктури нанорозмірних компонент композитних структур на їх оптичні параметри;
- не досліджено вплив на спектральні характеристики проміжних нанорозмірних композитних шарів, які виникають при формуванні шаруватих оптично селективних структур;
- необхідність дослідження електромагнітного відгуку нанорозмірних компонент на електромагнітний вплив для достовірного прогнозування

оптичних характеристик оптично селективних елементів, які формуються на їх основі;

- відсутність достовірних обчислювальних алгоритмів оцінки оптичних параметрів нанокомпозитних структур;
- розробка та проектування найбільш прийнятних для масового промислового виробництва оптично селективних елементів.

На основі аналізу вказаних проблем поставлено мету та завдання дисертаційних досліджень.

У другому розділі проаналізовано переваги розрахунку оптичних характеристик шаруватих структур матричним методом послідовного нарощування шарів, представлені основі співвідношення та обмеження його застосування.

Показано, що точна спектрофотометрична система рівнянь феноменологічної теорії в випадку нанорозмірних плівок є математично некоректною. В якості регуляризаційного обчислювального методу її розв'язку використано метод безперервного диференціального спуску.

Запропоновано обчислювальний алгоритм на основі матричного методу послідовного нарощування шарів для розробки оптично селективних елементів у вигляді багатошарових покриттів та визначення оптичних параметрів нанорозмірних шарів багатошарової структури за відомими параметрами відгуку структури на електромагнітний вплив.

Третій розділ присвячено дослідженню нанорозмірних шарів срібла на підкладках SiO_2, виготовлених методом вакуумного осадження. Встановлено особливості їх спектральних залежностей коефіцієнтів пропускання та відбивання в інтервалі $\lambda = 0{,}3 \div 2$ мкм. Визначено значення оптичних параметрів нанорозмірних шарів металів на основі результатів спектрофотометричних досліджень експериментальних зразків.

Встановлено апроксимаційні співвідношення дійсної та уявної частин комплексної діелектричної проникності нанорозмірних плівок срібла з товщинами від 1 до 35 нм в спектральному діапазоні довжин хвиль $\lambda = 0{,}3 \div$

2 мкм, які застосовано в якості вхідних даних рефлекторних шарів срібла при моделюванні оптично селективних елементів.

У четвертому розділі визначено значення ефективної комплексної діелектричної проникності нанокомпозитних шарів з діелектричною компонентою (Al_2O_3, SiO_2, Cr_2O_3) та металевою нанорозмірною фазою хрому в спектральному діапазоні $\lambda = 0,3 \div 2$ мкм з врахуванням оптичних параметрів їх компонент.

Встановлено особливості спектральної зміни дійсної та уявної частини комплексної ефективної діелектричної проникності досліджуваних нанокомпозитів зі значеннями фактору заповнення металевої фази хрому від 0,15 до 0,54, що враховано при розробці оптично селективних елементів.

Встановлено апроксимаційні залежності комплексної ефективної діелектричної проникності нанорозмірних композитних шарів Cr/Al_2O_3, Cr/SiO_2, Cr/Cr_2O_3 в спектральному діапазоні $\lambda = 0,3 \div 2$ мкм, які використано для моделювання та дослідження впливу композитних нанорозмірних шарів на спектральні характеристики оптично селективних елементів.

П'ятий розділ присвячено визначенню спектральних характеристик коефіцієнтів відбивання та пропускання елементів на основі рефлекторних шарів срібла, міді та досліджених нанокомпозитів. Досліджено залежності коефіцієнтів пропускання та відбивання селективних елементів від структурних параметрів композитних шарів на основі нанорозмірних включень хрому. Показано спектральне зміщення значень критичної довжини хвилі електромагнітного випромінювання на 0,4 мкм при зміні структурних параметрів нанорозмірних компонент, що дозволяє керувати профілем спектральної залежності оптично селективних елементів.

Запропоновано оптично селективні елементи, прозорі у видимому діапазоні спектру, які відрізняються від відомих аналогів тим, що замість багатошарових діелектричних структур, використано металодіелектричний композит.

Наведено основні інтегральні параметри запропонованих оптично селективних елементів. Надано рекомендації щодо їх використання в якості

енергоефективних елементів. Запропоновано критерії ефективності оптичних елементів на основі нанокомпозитних структур з енергозберігаючими властивостями, що дозволяє проводити оптимізацію їх спектральних характеристик на забезпечення максимальної ефективності з точки зору енергозбереження.

Вказано перспективи застосування сформованих оптично селективних елементів та проведено їх порівняння з існуючими аналогами.

В роботі вперше одержанні наступні результати:

– Визначено оптичні параметри нанорозмірних шарів срібла на основі результатів спектрофотометричних досліджень експериментальних зразків срібла на підкладках SiO_2, виготовлених методом вакуумного осадження. Встановлено апроксимаційні співвідношення дійсної та уявної частин комплексної діелектричної проникності нанорозмірних плівок срібла з товщинами від 1 до 35 нм в спектральному діапазоні довжин хвиль λ = 0,3 ÷ 2 мкм, які застосовано в якості вхідних даних рефлекторних шарів срібла при моделюванні оптично селективних елементів.

– Розраховано значення комплексної ефективної діелектричної проникності нанокомпозитних шарів з металевою нанорозмірною фазою хрому при значеннях фактору заповнення 0,15 ÷ 0,54 та матеріалів діелектричної компоненти (Al_2O_3, SiO_2, Cr_2O_3). Розроблено апроксимаційні співвідношення комплексної ефективної діелектричної проникності нанорозмірних композитних шарів Cr/Al_2O_3, Cr/SiO_2, Cr/Cr_2O_3 в спектральному діапазоні λ = 0,3 ÷ 2 мкм, які необхідні для розрахунку оптично спектральних характеристик при проектуванні селективних елементів на основі нанокомпозитних структур.

– Досліджено залежності коефіцієнтів пропускання та відбивання селективних елементів від структурних параметрів композитних шарів на основі нанорозмірних включень хрому. Показано спектральне зміщення значень критичної довжини хвилі електромагнітного випромінювання на 0,4 мкм при зміні структурних параметрів нанорозмірних компонент, що дозволяє керувати профілем спектральної залежності оптично селективних елементів.

– Запропоновано оптично селективні елементи, прозорі у видимому діапазоні спектру, які відрізняються від відомих аналогів тим, що замість багатошарових діелектричних структур, використано нанокомпозит. Показано, що запропоновані елементи на основі таких структур, відзначаються можливістю забезпечення заданої оптичної селективності.

Одержані результати можуть бути використані для вирішення висвітлених в роботі проблем, пов’язаних з розробкою оптично селективних елементів на основі нанокомпозитних структур.

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі кафедри мікроелектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», а саме використовуються в лекційних і практичних заняттях з дисциплін «Твердотільна електроніка», «Технологічні основи електроніки», «Технологія напівпровідникових приладів та інтегральних схем», «Елементний і структурний аналіз», а також під час виконання кваліфікаційних робіт студентів кафедри.

Ключові слова: оптична селективність, нанорозмірні шари, енергозберігаючі технології, спектрофотометричні дослідження, оптичні параметри.

ABSTRACT

Babych B. B. Optically selective elements based on nanocomposite structures. – Qualified scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, specialty 153 – Micro- and nanosystem technology (Automation and instrumentation) – completed at the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the development of optically selective elements with given spectral characteristics on the basis of nanocomposite structures taking into account the peculiarities of the microstructure and optical characteristics of nanosized components. The complex researches of spectral dependences of optical parameters of nanosized components and composite structures on their basis are carried out in the work.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of research, identifies scientific novelty, shows the practical significance of the results, and indicates the relationship of work with scientific programs, topics. Information on approbation and publication of research results on the topic of the dissertation is presented.

The first chapter analyzes the current state of development, research, application of optically selective elements, shows the presence of a number of problems:

- aspect of the influence of the microstructure of nanosized components of composite structures on their optical parameters has not been studied;
- influence on the spectral characteristics of intermediate nanosized composite layers, which arise during the formation of layered optically selective structures, has not been studied;
- need for study of the electromagnetic response of nanosized components to electromagnetic effects for reliable prediction of the optical characteristics of optically selective elements that are formed on their basis;

- lack of reliable computational algorithms for estimating the optical parameters of nanocomposite structures;
- development and design of the most acceptable for mass industrial production optically selective elements.

Based on the analysis of these problems, the purpose and objectives of dissertation studies are set.

The second chapter analyzes the advantages of calculating the optical characteristics of layered structures by the matrix method of sequential building of layers, presents the basis of ratio and limitations of its application.

It is shown that the exact spectrophotometric system of equations of phenomenological theory in the case of nanosized films is mathematically incorrect. The method of continuous differential descent is used as a regularization computational method of its solution.

A computational algorithm based on the matrix method of sequential building of layers for the development of optically selective elements in the form of multilayer coatings and determination of optical parameters of nanosized layers of multilayer structure by known parameters of structure response to electromagnetic influence is proposed.

The third chapter is devoted to the study of nanosized layers of silver on SiO_2 substrates manufactured by vacuum deposition. The peculiarities of their spectral dependences of transmission and reflection coefficients in the interval $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are established. The values of optical parameters of nanosized metal layers are determined on the basis of the results of spectrophotometric studies of experimental samples.

Approximation dependences of real and imaginary parts of complex dielectric constant of nanosized silver films with thicknesses from 1 to 35 nm in the spectral wavelength range $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are established, which are used as input data of reflective layers of silver in modeling of optically selective elements.

In the fourth chapter, the values of effective complex dielectric constant of nanocomposite layers with dielectric component (Al_2O_3, SiO_2, Cr_2O_3) and metal

nanosized chromium phase in the spectral range $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are determined taking into account the optical parameters of their components.

The peculiarities of spectral change of real and imaginary part of the complex effective dielectric constant of investigated nanocomposites with values of filling factor of metal phase of chromium from 0.15 to 0.54 are established, which is taken into account during development of optically selective elements.

Approximation dependences of complex effective dielectric constant of nanosized composite layers Cr/Al2O3, Cr/SiO2, Cr/Cr2O3 in the spectral range $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are established, which are used for modeling and research of influence of composite nanosized layers on spectral characteristics of optically selective elements.

The fifth chapter is devoted to the determination of the spectral characteristics of the reflection and transmission coefficients of elements based on the reflex layer (Ag, Cu) and the studied nanocomposites. The dependences of the transmission and reflection coefficients of selective elements on the structural parameters of composite layers based on nanosized chromium inclusions have been studied. The spectral shift of the values of the critical wavelength of electromagnetic radiation by 0.4 μm when changing the structural parameters of nanosized components is shown, which allows to control the profile of the spectral dependence of optically selective elements.

Optically selective elements transparent in the visible range of the spectrum which differ from the known analogues in that instead of multilayer dielectric structures is used metal-dielectric composite are proposed.

The main integral parameters of the proposed optically selective elements are presented. Recommendations for their use as energy efficient elements are given. Criteria for the efficiency of optical elements based on nanocomposite structures with energy-saving properties are proposed, which allows to optimize their spectral characteristics to ensure maximum efficiency in terms of energy saving.

Prospects of application of the formed optically selective elements are specified and their comparison with existing analogues is carried out.

In the work for the first time the following results were obtained:

– The optical parameters of nanosized silver layers were determined on the basis of the results of spectrophotometric studies of experimental silver samples on

SiO_2 substrates manufactured by vacuum deposition. Approximation dependences of real and imaginary parts of complex dielectric constant of nanosized silver films with thicknesses from 1 to 35 nm in the spectral wavelength range $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are established, which are used as input data of reflective layers of silver in modeling of optically selective elements.

– The values of complex effective dielectric constant of nanocomposite layers with metal nanosized chromium phase at values of filling factor $0.15 \div 0.54$ and materials of dielectric component (Al_2O_3, SiO_2, Cr_2O_3) are determined. Approximation dependences of complex effective dielectric constant of nanosized composite layers Cr/Al_2O_3, Cr/SiO_2, Cr/Cr_2O_3 in the spectral range $\lambda = 0.3 \div 2$ μm are developed, which are necessary for calculation of optical spectral characteristics in the designing selective elements based on nanocomposite structures.

– The dependences of the transmission and reflection coefficients of selective elements on the structural parameters of composite layers based on nanosized chromium inclusions have been studied. The spectral shift of the values of the critical wavelength of electromagnetic radiation by 0.4 μm when changing the structural parameters of nanosized components is shown, which allows to control the profile of the spectral dependence of optically selective elements.

– Optically selective elements transparent in the visible range of the spectrum which differ from the known analogues in that instead of multilayer dielectric structures is used metal-dielectric composite are proposed. It is shown that the proposed elements on the basis of such structures are marked by the possibility of providing a given optical selectivity.

The obtained results can be used to solve the problems covered in the work related to the development of optically selective elements based on nanocomposite structures.

Results of dissertation work are used in the educational process of the Microelectronics department of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", namely used in lectures and practical classes in the disciplines "Solid state electronics", "Technology of semiconductor devices and

integrated circuits", "Elemental and structural analysis", as well as during the qualification works of students of the department.

Keywords: optical selectivity, nanosized layers, energy-saving technologies, spectrophotometric studies, optical parameters.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Machulianskyi, Oleksandr, **Bohdan Babych**, and Viktor Machulianskyi. "Determination of the efficiency factors of the absorption and scattering of nickel nanoparticles." *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska* 8.1 (2018): 4-7.

   (INDEX COPERNICUS, GOOGLE SCHOLAR, опубліковано у періодичному науковому виданні іншої держави, що входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та Європейського Союзу)

   (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

2. Мачулянський, О. В., **Б. Б. Бабич**, В. О. Мачулянський, та Н. П. Тарасовська. "Моделювання наноструктурних металодіелектричних систем для використання в якості оптичних фільтрів." *Вісник Херсонського національного технічного університету* 1.3(58) (2016): 371-375.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, НАЦІОНАЛЬНА БІБЛІОТЕКА ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО, GOOGLE SCHOLAR, РИНЦ)

   (Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм розрахунку)

3. Мачулянський, А. В., **Б. Б. Бабыч**, и В. А. Мачулянський. "Математическое моделирование многофункциональных покрытий." *Вісник Херсонського національного технічного університету* 1.3(62) (2017): 192-196.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, НАЦІОНАЛЬНА БІБЛІОТЕКА ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО, GOOGLE SCHOLAR, РИНЦ)

   (Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок параметрів просвітлюючих покриттів)

4. Machulianskyi, O. V., **B. B. Babych**, and V. O. Machulianskyi. "Modeling of an electromagnetic response of single-layer nanocomposite coatings." *Visnyk of Kherson National Technical University* 1.3(66) (2018): 104-108.

(ФАХОВЕ ВИДАННЯ, НАЦІОНАЛЬНА БІБЛІОТЕКА ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО, GOOGLE SCHOLAR, РИНЦ)

(Особистий внесок здобувача: проведено числове моделювання спектрів відбивання та пропускання композитів та аналіз отриманих результатів)

5. Machulianskyi, O. V., **B. B. Babych**, and V. O. Machulianskyi. "Approximation models of functional systems with nanocomposite components." *Visnyk of Kherson National Technical University* 3.2(69) (2019): 145-150.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, НАЦІОНАЛЬНА БІБЛІОТЕКА ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО, GOOGLE SCHOLAR, РИНЦ)

   (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

6. Machulansky, A., and **B. Babych**. "Selective energy-saving metal-dielectric nanocomposite coatings based on copper." *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Радіофізика та електроніка* 1/2.21/22 (2014): 74-78.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, GOOGLE SCHOLAR)

   (Особистий внесок здобувача: розрахунок параметрів теплових фільтрів в інфрачервоному діапазоні)

7. Machulansky, A., and **B. Babych**. "Dielectric-metal composites with dispersed inclusions of cooper for microwave range devices." *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Радіофізика та електроніка* 1.23 (2015): 55-57.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, GOOGLE SCHOLAR)

   (Особистий внесок здобувача: проведено числове моделювання ефективної діелектричної проникності нанокомпозитних матеріалів)

8. Machulianskyi, O., **B. Babych**, and V. Machulianskyi. "Optical filters on the basis of composite nanodimensional structures." *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Радіофізика та електроніка* 1.25 (2017): 34-37.

   (ФАХОВЕ ВИДАННЯ, GOOGLE SCHOLAR)

(Особистий внесок здобувача: розрахунок параметрів теплових фільтрів в інфрачервоному діапазоні)

9. Borisova, A., A. Machulyansky, M. Rodionov, Y. Yakimenko, and **B. Babych**. *Properties of aluminum oxynitride films prepared by reactive magnetron sputtering*, Proceedings of the IEEE 34th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 16-19 April 2014.
(SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)
(Особистий внесок здобувача: дослідження оптичних властивостей діелектричних плівок)

10. Borisova, A., A. Machulyansky, M. Rodionov, V. Verbitskiy, Y. Yakimenko, and **B. Babych**. *Energy-efficient optically transparent coating based on a metal-dielectric composites*, Proceedings of the IEEE 35th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 21-24 April 2015.
(SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)
(Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок параметрів просвітлюючих покриттів)

11. Borisova, A., **B. Babych**, A. Machulyansky, V. Verbitskiy, and Y. Yakimenko. *Dimensional dependencies of optical parameters of nanodimensional metal particles*, Proceedings of the IEEE 36th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 19-21 April 2016.
(SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)
(Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

12. **Babych, B.**, A. Borisova, A. Machulyansky, V. Machulyansky, M. Rodionov, and Y. Yakimenko. *Film coatings that are transparent in the visible spectral region with shielding properties in the microwave range*, Proceedings of the IEEE 37th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 18-20 April 2017.
(SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)

(Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок параметрів просвітлюючих покриттів)

13. **Babych, B.**, O. Borisova, O. Machulianskyi, M. Rodionov, V. Verbitskiy, and V. Machulianskyi; Y. Yakymenko. *Investigation of the structure and optical properties of thin copper films*, Proceedings of the IEEE 38th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 24-26 April 2018.

    (SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)

    (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

14. **Babych, B.**, O. Borisova, O. Machulianskyi, M. Rodionov, D. Koroliouk, V. Machulianskyi, and Y. Yakymenko. *Applications of metal-dielectric nanocomposite structures in information systems*, Proceedings of the IEEE 38th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 24-26 April 2018.

    (SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)

    (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

15. **Babych, B.**, Y. Yakymenko, M. Rodionov, O. Machulianskyi, and V. Seker. *Infrared spectra of metal-dielectric nanostructured phosphate class complexes*, Proceedings of the IEEE 39th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology", Kyiv, 16-18 April 2019.

    (SCOPUS, WEB OF SCIENCE, GOOGLE SCHOLAR)

    (Особистий внесок здобувача: дослідження оптичних властивостей діелектричних плівок)

16. **Babych, B.** *Magnetic Granular Materials*, Innovations in Science and Technology: proceeding of the XI International R&D Students Conference, Kyiv, 28 November 2013.

17. Мачулянський, О. В., та **Б. Б. Бабич**. *Оптичні характеристики нанодисперсних металодіелектричних плівок*, Матеріали 8-ї науково-

практичної конференції "Перспективні напрямки сучасної електроніки", Київ, 14-15 травня 2014 р.

(Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

18. Секер, В. П., и **Б. Б. Бабыч**. *Спектры поглощения и отражения нанокомпозитных структур на основе серебра*, Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених “ЕЛЕКТРОНІКА-2017” (ELCONF), Київ, 25-27 квітня 2017 р.

    (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

19. Machulyansky, A., and **B. Babych**. *Energy-saving nanocomposite coverings on the basis of copper*, Proceedings of the 10th International Conference "Electronics and applied physics", Kyiv, 22-25 October 2014.

    (Особистий внесок здобувача: розрахунок параметрів теплових фільтрів в інфрачервоному діапазоні)

20. Machulyansky, A., and **B. Babych**. *Dielectric-metal composites with dispersed inclusions of copper for microwave applications*, Proceedings of the 11th International Conference "Electronics and applied physics", Kyiv, 21-24 October 2015.

    (Особистий внесок здобувача: розраховано електричні параметри нанокомпозитних елементів)

21. Machulyansky, A., **B. Babych**, and V. Machulyansky. *Cutting filters based on composite nanoscale structure*, Proceedings of the 12th International Conference "Electronics and applied physics", Kyiv, 19-21 October 2016.

    (Особистий внесок здобувача: проведено числове моделювання ефективної діелектричної проникності нанокомпозитних матеріалів)

22. Machulyansky, A., **B. Babych**, and V. Machulyansky. *Optical filters on the basis of composite systems with nanodimensional inclusions of metals*, Proceedings of the 13th International Conference "Electronics and applied physics", Kyiv, 24-27 October 2017.

(Особистий внесок здобувача: розрахунок параметрів теплових фільтрів в інфрачервоному діапазоні)

23. Machulianskyi, O., **B. Babych**, and V. Machulianskyi. *Application of evolutionary algorithm for modeling and optimization of selective systems*, Proceedings of the 14th International Conference "Electronics and applied physics", Kyiv, 23-26 October 2018.

    (Особистий внесок здобувача: проведено оптимізацію параметрів селективних елементів та аналіз отриманих результатів)

24. Борисова, О. В., **Б. Б. Бабич**, В. Г. Вербицький, О. В. Мачулянський, и В. О. Смілик. *Енергозберігаючі нанокомпозитні покриття на основі нікелю*, Матеріали 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки", Чернівці, 23-25 жовтня 2014 р.

    (Особистий внесок здобувача: розрахунок параметрів теплових фільтрів в інфрачервоному діапазоні)

25. Мачулянський, О. В., **Б. Б. Бабич**, та В. О. Мачулянський. *Електродинамічне моделювання композитів на основі діелектричної матриці з включеннями феромагнітних металів*, Матеріали 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Фізико-технологічні проблеми передавання, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах", Чернівці, 3-5 листопада 2016 р.

    (Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм розрахунку)

26. Мачулянський, О. В., **Б. Б. Бабич**, та В. О. Мачулянський. *Визначення факторів ефективності поглинання та розсіювання наночастинок нікелю*, Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції I Міжнародний симпозіум "Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях", Чернівці, 9-11 листопада 2017 р.

    (Особистий внесок здобувача: розраховано оптичні параметри нанорозмірних плівок металів)

27. Мачулянський, О. В., **Б. Б. Бабич**, та В. О. Мачулянський. *Селективні властивості нанокомпозитних металодіелектричних структур в оптичному діапазоні*, Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах", Чернівці, 8-10 листопада, 2018.

    (Особистий внесок здобувача: розраховано електричні параметри нанокомпозитних елементів)

28. Мачулянский, А. В., **Б. Б. Бабыч**, и В. А. Мачулянський. *Математическое моделирование многофункциональных покрытий*, Матеріали 18-ї Міжнародної конференції з математичного моделювання, Херсон, 18-22 вересня 2017 р.

    (Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок параметрів просвітлюючих покриттів)

29. Machulianskyi, O. V., **B. B. Babych**, and V. O. Machulianskyi. *Modeling of an electromagnetic response of single-layer nanocomposite coatings*, Materials of 19th international conference of mathematical modelling is dedicated to 250 anniversary from the birthday Jean-Baptiste Joseph Fourier, Kherson, 17-21 September 2018.

    (Особистий внесок здобувача: проведено числове моделювання спектрів відбивання та пропускання композитів та аналіз отриманих результатів)

30. Machulianskyi O. V., **B. B. Babych**, and V. O. Machulianskyi. *Approximation models of functional systems with nanocomposite components*, *Materials of 20th international conference of mathematical modelling*, Kherson, 16-20 September 2019.

    (Особистий внесок здобувача: розраховано електричні параметри нанокомпозитних елементів)

31. Machulyansky, A., **B. Babych**, and V. Machulyansky. *Modelling of electromagnetic parameters of two-dimensional nanostructural system taking into account statistics of distribution of nanoparticles on the sizes*, Матеріали

9-ї Міжнародної наукової конференції "Функциональная база наноэлектроники", Одеса, 18-23 вересня 2017.

(Особистий внесок здобувача: розраховано електричні параметри нанокомпозитних елементів)

32. Мачулянський, О. В., **Б. Б. Бабич**, та В. П. Секер. *Просвітлюючі покриття на основі наноструктурних металодіелектричних композитів*, Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка", Кременчук, 17-19 травня 2018 р.

(Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок параметрів просвітлюючих покриттів)