

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0425U000398

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-12-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сідак Василь Михайлович

2. Vasyl M. Sidak

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2691-1836

Вид дисертації: кандидат наук

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 01.04.07

Назва наукової спеціальності: Фізика твердого тіла

Галузь / галузі знань: Не застосовується

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 16-01-2026

Спеціальність за освітою: фізика твердого тіла

Місце роботи здобувача: Дніпровський ліцей №120 Дніпровської міської ради

Код за ЄДРПОУ: 26458794

Місцезнаходження: вул. Академіка Янгеля, Дніпро, Дніпровський р-н., 49089, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** Д 08.051.02

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Код за ЄДРПОУ:** 02066747

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Дніпро, Дніпровський р-н., 49045, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Код за ЄДРПОУ:** 02066747

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Дніпро, Дніпровський р-н., 49045, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.19.35, 29.19.04, 29.19.11

**Тема дисертації:**

1. Релаксаційні явища та структурні дефекти у кристалах натрій-бісмутового титанату
2. Relaxation Phenomena and Structural Defects in Sodium Bismuth Titanate Crystals

**Реферат:**

1. Дослідження електричних та оптичних властивостей дозволило визначити механізми релаксаційних явищ і встановити природу дефектів решітки у кристалах натрій-бісмутового титанату  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  (NBT) і твердих розчинах  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$ - $\text{BaTiO}_3$ . Інтенсивну діелектричну аномалію пов'язано з процесами об'ємно-зарядової поляризації на границях полярних нанобластей поблизу переходу з тетрагональної парафази до ромбоєдричної сегнетофази. Електропровідність кристалів NBT має змішаний іонно-електронний характер. Процеси електричної поляризації й перенесення заряду обумовлені рухом ва-кансій кисню й міграцією електронів по регулярних іонах титану. Оптичне поглинання та фотолюмінесценція визначаються електронними переходами в іоннах  $\text{Ti}^{3+}$ , розташованих у спотворених кисневих октаедрах. Термічна обробка дозволяє керувати електричними та оптичними властивостями. Отримані дані поглиблюють уявлення про зв'язок між дефектною структурою та фізичними властивостями кристалів NBT,

що дозволяє оптимізувати їх характеристики для практичного застосування.

2. The performed study addresses the critical need for environmentally benign functional materials. The central focus of the work is to understand the profound impact of proper defects on the material's functional properties. Sodium-bismuth titanate  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  (NBT) and its solid solutions  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$  (NBT-BT) are considered as the promising eco-friendly candidates for replacing lead-based  $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$  ceramics in piezoelectrics. Study of NBT and NBT-BT electrical and optical properties made it possible to establish the mechanisms of relaxation phenomena and identify the nature of proper lattice defects. To achieve this, the temperature-frequency dependences of dielectric permittivity, electrical conductivity and impedance, alongside optical absorption and photoluminescence spectra were analyzed in NBT and NBT-BT single crystals and ceramics. A key methodological approach was the use of heat treatment in both air and vacuum to control the concentration of proper defects and establish a direct link between the defect structure and the observed physical properties. For the first time, it has been demonstrated that the intense dielectric anomaly observed near 700 K in NBT and NBT-BT crystals is related to space-charge polarization at the boundaries of polar nanoregions near the transition from the tetragonal paraelectric phase to the rhombohedral ferroelectric one. The pivotal role of oxygen vacancies (VO) in this process was unequivocally proven: the anomaly was significantly suppressed by annealing in air and substantially enhanced after annealing in vacuum. A novel model was proposed to describe this relaxation anomaly, which, unlike standard models, additionally accounts for the thermal decay of polarizing entities. The model combines the Cole-Cole formalism with a corresponding kinetic equation and allows for a quantitative description of the experimental observations. This approach accurately predicts the dependence of the dielectric permittivity temperature and frequency behavior on experimental conditions. The electrical conductivity of NBT crystals was found to be of mixed ion-electron type. In as-grown single crystals, the sample's bulk exhibits mixed conductivity, while in the near-surface layer ionic transport dominates. The latter is attributed to the movement of oxygen vacancies, while the electronic component is associated with electron hopping through regular titanium ions ( $\text{Ti}^{3+}$ ). It was demonstrated that the dominant charge transport mechanism can be controlled via thermal treatment. Annealing in air effectively "heals" oxygen vacancies, suppressing the ionic component and transitioning the material to a state with predominantly electronic conductivity. It was established that the optical absorption and photoluminescence in NBT crystal are governed by electronic transitions within  $\text{Ti}^{3+}$  ions. Two distinct types of optically active centers were identified:  $\text{Ti}^{3+}$  ions within trigonally distorted oxygen octahedra and associated complexes ( $\text{Ti}^{3+}\text{-VO}$ ) within tetragonally distorted octahedra. A direct correlation between the material's optical response and its dielectric properties was found, confirming their common origin in the defect subsystem. The results obtained in the dissertation deepen the understanding of the intrinsic defects nature and the mechanisms governing the "defect structure – physical properties" relationship in NBT-based materials. The developed approaches for controlling the defect structure via thermal treatment provide a practical pathway to optimize the key electrical and optical properties of these materials for their application in modern functional devices.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Новий напрямок у науці і техніці

**Публікації:**

- 1. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S. A., Suchanicz J. Thermal treatment and dielectric properties of Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> single crystal // *Ferroelectrics*. 2014. Vol. 462, no. 1. P. 140–144. DOI: 10.1080/00150193.2014.891411
- 2. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S.A., Tuluka A.Yu., Suchanicz J. Impedance spectra of as-grown and heat treated Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> crystals // *Acta Physica Polonica A*. 2018. Vol. 133, no. 4. P. 816–818. DOI: 10.12693/APhysPolA.133.816
- 3. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Dielectric relaxation and the dipole defects in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> single crystal // *Applied Nanoscience (Switzerland)*. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 775–780. DOI: 10.1007/s13204-021-01712-y
- 4. SIDAK V.M., Trubitsyn M.P. Dielectric anomaly and space charge polarization in single crystals of Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> and Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> – BaTiO<sub>3</sub>. // *Nanostructured Surfaces, Nanocomposites and Nanomaterials, and Their Applications*. / eds. O. Fesenko, L. Yatsenko. Cham: Springer, 2023. (Springer Proceedings in Physics; vol. 296). P. 365–382. DOI: 10.1007/978-3-031-42704-6\_26
- 5. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Panchenko T. V. Dielectric relaxation induced by oxygen vacancies in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> ceramics // *Condensed Matter Physics*. 2022. Vol. 25, no. 4. Art. 43705. P. 1–10. DOI: 10.5488/CMP.25.43705
- 6. Panchenko T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. et al. Heat treatment effect on optical absorption and photoluminescence in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> crystals // *Ukrainian Journal of Physical Optics*. 2025. Vol. 26, iss. 4. Art. 04001. P. 1–12. DOI: 10.3116/16091833/Ukr.J.Phys.Opt.2025.04001
- 7. Duda V. M., Kruzina T. V., Popov S. O., Rutskyi O. S., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Impedance relaxation in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> ceramics // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Фізика, радіоелектроніка*. 2015. Т. 23, № 1. С. 100–103
- 8. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S.A., Suchanicz J. Mechanisms of electroconductivity in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> single crystals // *Вісник Харківського національного університету. Серія: Фізика*. 2015. Вип. 23. С. 120–123
- 9. Kruzina T. V., Panchenko T. V., SIDAK V. M., Popov S. A., Shchetinkin V. S. Electrical and optical properties of heat treated Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> crystals // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Фізика, радіоелектроніка*. 2016. Т. 24, № 1. С. 106–109
- 10. SIDAK V. M., Tuluk A. Yu., Trubitsyn M. P., Kruzina T. V. Electrical properties of 0.87 Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub>-0.13BaTiO<sub>3</sub> single crystals // *Вісник Харківського національного університету. Серія: Фізика*. 2017. Вип. 27. С. 44–48
- 11. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Kruzina T. V., Tuluk A. Yu. Impedance spectra of single crystalline 0.87Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub>-0.13BaTiO<sub>3</sub> solid solutions // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Фізика, радіоелектроніка*. 2017. Т. 25, № 1. С. 75–78
- 12. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Dipole defect decay and dielectric relaxation in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> single crystal // *Journal of Physics and Electronics*. 2020. Vol. 28, no. 2. P. 87–90
- 13. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S.A., Suchanicz J. Thermal treatment and dielectric properties of Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> single crystal // 13th International Meeting on Ferroelectricity (IMF-13) : abstract book, Krakow, Poland, Sept. 2–6, 2013. Krakow, 2013. P. 367
- 14. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S.A., Suchanicz J. Low Frequency Dielectric Relaxation in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> Single Crystal // 2014 Joint IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics (ISAF/PFM) : proceedings, University Park, PA, USA, May 12–16, 2014. University Park : IEEE, 2014
- 15. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S. A., Suchanicz J. Electrically and optically active defects in Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> crystals // *Functional Materials and Nanotechnologies (FM&NT-2015) : book of abstracts*, Vilnius, Lithuania, Oct. 5–8, 2015. Vilnius, 2015. P. 169
- 16. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Structural Defects and Electrical Properties of Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> Crystal // *International Young Scientists Forum on Applied Physics (YSF-2015): proceedings*, Dnipropetrovsk, 2015. Dnipropetrovsk IEEE, 2015. DOI: 10.1109/YSF.2015.7334239

- 17. Крузіна Т. В., Дуда В. М., СІДАК В. М., Трубіцин М.П., Попов С.О., Суханіч Я. Механізми електропровідності монокристалів і кераміки  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  // Фізичні явища в твердих тілах : матеріали XII Міжнародної конференції, Харків, Україна, 1–4 грудня 2015 р. Харків, 2015. С. 171
- 18. Крузіна Т. В., Дуда В. М., СІДАК В. М., Трубіцин М.П., Попов С.О., Суханіч Я. Спектри імпедансу монокристалів і кераміки  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  // VII Українська наукова конференція з фізики напівпровідників : тези доповідей, Дніпро, Україна, 26–30 вересня 2016 р. Дніпро, 2016. С. 443–444
- 19. Kruzina T. V., SIDAK V. M., Trubitsyn M. P., Popov S. A., Tuluk A. Yu., Suchanicz J. The electric properties of  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  and  $0.87 \text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3 - 0.13\text{BaTiO}_3$  single crystals // International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and applications (OMEE-2017) : abstract book, Lviv, Ukraine, May 29–June 2, 2017. Lviv, 2017. P. 62
- 20. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Non-Debye dielectric relaxation in  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  crystal // VIII International Conference “Nanotechnologies and Nanomaterials” (NANO-2020) : book of abstracts, Lviv, Ukraine, Aug. 26–27, 2020. Lviv, 2020. P. 160
- 21. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Anomalous dielectric relaxation in  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  // IX International Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2021) : book of abstracts, Lviv, Ukraine, Aug. 25–27, 2021. Lviv, 2021. P. 148
- 22. СІДАК В. М., Трубіцин М. П., Панченко Т. В., Крузіна Т. В.  $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  crystal dielectric and optical properties induced by the structural defects // X Міжнародний науковий семінар «Властивості сегнетоелектричних і суперіонних систем»: тези доповідей, Ужгород, 26–27 жовтня 2021 р. Ужгород, 2021. С. 45
- 23. SIDAK V. M., Trubitsyn M. P. Space-charge polarization phenomena in single crystal and ceramics of bismuth sodium titanate // X International Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2022): book of abstracts, Lviv, Ukraine, Aug. 25–27, 2022. Lviv, 2022. P. 160

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези; аналітичні матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Трубіцин Михайло Павлович

2. Mikhailo P. Trubitsyn

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7993-7733

**Додаткова інформація:**

;;<https://www.webofscience.com/wos/author/record/934808>;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003296498>

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Код за ЄДРПОУ:** 02066747

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Дніпро, Дніпровський р-н., 49045, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Грабар Олександр Олексійович

2. Alexander A. Grabar

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2551-7036

**Додаткова інформація:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003675910>

**Повне найменування юридичної особи:** Державний вищий навчальний заклад "Ужгородський національний університет"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070832

**Місцезнаходження:** вул. Підгірна, Ужгород, Ужгородський р-н., 88000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Філоненко Наталія Юріївна

2. Nataliia Y. Filonenko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1219-348X

**Додаткова інформація:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602449305>

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський державний медичний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02010681

**Місцезнаходження:** вул. Володимира Вернадського, Дніпро, Дніпровський р-н., 49044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство охорони здоров'я України

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Трубіцин Михайло Павлович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Коваленко Олександр Володимирович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Колбунов Вадим Радиславович

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна