

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова

Цикл наукових праць  
на здобуття щорічної премії Президента України  
для молодих вчених

**УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУРНИХ  
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ  
ТЕРМОФОТОЕМІСІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ**

1. **АНИКЕСВ Віталій Вікторович** - кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України.

2. **СИДОРЧЕНКО Ігор Михайлович** - молодший науковий співробітник Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України.

РЕФЕРАТ

Київ - 2019

**Актуальність теми.** Актуальним напрямком в області розробки ефективних термоелектричних матеріалів є створення наноструктур у вигляді квантових точок, нановусів, надкомірок і об'ємних нанокомпозитів. Перспектива застосування наноструктур ґрунтується на використанні виявлених в них унікальних фізичних ефектів і явищ, таких як розмірне квантування, тунелювання носіїв заряду, розсіювання фононів на поверхні наноструктур, що важливо для підвищення термоелектричної добротності, а в подальшому може бути використано для створення ефективних перетворювачів теплової енергії в електричну. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вивчення багат шарових вуглецевих нанотрубок (БВНТ), які мають унікальну анізотропію властивостей.

Багат шарові нанотрубки складаються з декількох одношарових трубок, концентрично вставлених одна в іншу. Їх типовий діаметр 10–40 нм. Вони вже не є одновимірними провідниками. Через взаємодії між окремими вкладеними одна в одну трубками електричний струм протікає переважно в шарі зовнішньої трубки. Електронні властивості нанотрубки, такі як концентрація і рухливість носіїв, ширина забороненої зони, провідність та ін., визначаються її геометрією, основними параметрами якої є діаметр і хіральність. Тим самим нанотрубки представляють клас мініатюрних об'єктів зі змінними електронними характеристиками. Подібні об'єкти розглядаються в якості можливих елементів майбутньої наноелектроніки.

Хоча з моменту відкриття вуглецевих нанотрубок (ВНТ) пройшло вже близько 25 років, але досі залишається багато не розкритих питань. Зокрема, якщо електронні властивості поодинокі одношарові нанотрубки відомі, то для масиву БВНТ цей напрямок залишається менш дослідженим: не встановлений ступінь залежності параметрів електронної структури від дефектності, не визначені механізми впливу високотемпературного відпалу та опромінення високоенергетичними частинками на електричні та термоелектричні властивості.

Добре відомо, що властивості полімерних композитів у значній мірі залежать від розподілу нанонаповнювача. Перспективність використання вуглецевих нанотрубок, як наповнювача для створення композитів, перш за все, зумовлена високим значенням співвідношення довжина/діаметр, яке для ВНТ

може сягати 100–1000, за рахунок чого встановлюється контакт між окремими нанотрубками при їх невеликій концентрації. Електропровідність композитів «полімер з вуглецевими нанотрубками» залежить від багатьох факторів, зокрема, від типу ВНТ та їх параметрів електронної структури, типу полімерної матриці та умов формування композиту.

Квантово-механічна природа ВНТ обумовлює безінерційність носіїв заряду вздовж їхньої вісі, а тунельний механізм виходу електрона в сильних електричних полях не потребує значних енергетичних витрат, на відмінну від класичної (високотемпературної) термоелектронної емісії. Тому саме такі матеріали та їх композити пропонується використовувати в якості низькотемпературних («холодних») катодів для фото-, термоемісійного перетворення концентрованої сонячної енергії в електричну.

Крім того, нанотрубки мають високу радіаційну стійкість, в порівнянні з напівпровідниками, і в зв'язку з цим з'являється інтерес щодо їх використання в якості польових емітерів у вакуумній мікро- і наноелектроніці. Перехід вакуумних приладів в наноелектронну область, тобто область нанорозмірних структур, в яких відстані є набагато меншими довжини вільного пробігу електронів при атмосферному тиску. З цього випливає, що створення автоелектронних емітерів на базі нанотрубок відкриває прямий шлях до синтезу наноелектронних «вакуумних» систем без відкачування повітря з робочої області.

Всебічне дослідження взаємозв'язку між структурою, розподілом компонентів, у т.ч. провідної фази, параметрами формування систем полімер/вуглецеві нанотрубки та їх властивостями є необхідним і дуже важливим, оскільки дає можливість цілеспрямовано змінювати електронні характеристики композитів в широких межах.

**Мета і завдання дослідження:** мета даного циклу робіт полягає у виявленні впливу структурних дефектів, газових домішок та контакту з полімерами  $nC_3H_6$  (поліпропілен)  $nCH_2=CHCl$  (полівінілхлорид) на параметри електронної структури, термоелектричні властивості ВНТ і характеристики прямого фототермоемісійного перетворювача (ФТЕП); в розробці фізичних принципів низькотемпературного перетворення концентрованої сонячної енергії в електричну за участю квантово-розмірних 1D і 2D структур при робочих

температурах  $< 600$  °C в умовах фотоелектронної емісії з поверхні наноструктур, збудження та іонізації плазмоутворюючих газів у камері ФТЕП для забезпечення оптимальних режимів роботи.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні наукові завдання:

- високотемпературне очищення зразків від газових домішок;
- дослідження особливостей будови, проведення термічного очищення та аналіз складу газових домішок;
- визначення параметрів електронної структури масиву БВНТ та їх композитів з полімерами;
- встановлення закономірності впливу ступеня дефектності на параметри електронної структури та термоелектричні властивості;
- моделювання процесів емісійного перетворення концентрованої сонячної енергії (КСЕ) в електричну за рахунок використання лазерного випромінювання (ЛВ) в якості джерела тепла;
- визначення впливу роботи виходу домішок на термо- та фотоемісійні показники сплавів та порошкових композитів;
- дослідження особливостей протікання процесів фототермоемісійного перетворення на розроблених зразках під дією концентрованого сонячного випромінювання (КСВ).

**Об'єкт дослідження** – сплави Al з Li, Ce, Sc; багат шарові вуглецеві нанотрубки (БВНТ), у вигляді масиву; композити БВНТ з полімерами: поліпропілен - БВНТ та полівінілхлорид – БВНТ; композити БВНТ з металами: ВНТ та  $\text{LaNi}_5$ , ВНТ з Cu та Cs, тощо, а також у якості еталонних зразків використовувались: Al(99%), Mo(100), одношарові вуглецеві нанотрубки (ОВНТ), терморозширений графіт (ТРГ), реакторний графіт (РГ) та аморфний вуглець (АВ).

**Предмет дослідження** – параметри електронної структури; механізми впливу високотемпературної десорбції в умовах вакууму та опромінення високоенергетичними електронами на ступінь дефектності структури; електропровідність та термоелектричні властивості, а також термо- та фотоемісійні характеристики нановуглецевих систем та композитів на їх основі.

**Методи дослідження** – Експериментальні дослідження проводились з

використанням трансмісійної електронної мікроскопії, вакуумного стенду призначеного для високотемпературного відпалу, мас-спектрометричного аналізу, електронно-позитронної спектроскопії (в виконанні кутового розподілу анігіляційних фотонів (КРАФ)), термо-ЕРС, YAG: Nd<sub>3+</sub> лазера для дослідження лазерностимульованої термоелектронної емісії та ін.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

В даному циклі наукових праць вперше отримано наступний ряд оригінальних результатів:

- виявлено, що в діелектричній матриці композитів на основі поліпропілену та полівінілхлориду з БВНТ, останні є найбільш ефективними центрами захоплення позитронів, тобто мають акцепторні властивості;
- встановлено кореляційну залежність між радіусом локалізації  $\pi$ -електронів і ймовірністю анігіляції позитронів з електронами провідності, яка свідчить, що зі збільшенням радіуса локалізації  $\pi$ -електронів збільшується концентрація електронів провідності в багат шарових вуглецевих нанотрубках;
- визначено параметри електронної структури масиву БВНТ та їх композитів з полімерами;
- виявлено, що введення БВНТ в полімер призводить до збільшення ступеня кристалічності аморфно-кристалічної структури полімерної матриці та сприяє її впорядкуванню;
- встановлено, що в опромінених високоенергетичними електронами БВНТ після відпалу відбувається зниження електропровідності та збільшення термо-ЕРС, що обумовлено утворенням радіаційних дефектів акцепторного типу, які сприяють зменшенню концентрації електронів провідності;
- встановлено механізми впливу відпалу та механічної деформації на термоелектричні властивості масивів БВНТ; деформація масиву БВНТ призводить до зменшення значень коефіцієнту термо-ЕРС, що пояснюється зменшенням ефекту захоплення дірок фононами при переорієнтації ВНТ в переважно перпендикулярному напрямку потоку фононів;
- виявлено, що для досліджуваних масивів БВНТ знак коефіцієнту Зеебека додатний, що вказує на переважно дірковий вклад в електропровідність, котрий

з'являється при зсуві рівня Фермі в валентну зону в результаті локалізації частини  $\pi$ -електронів на структурних ростових дефектах та атомах кисню;

- встановлено, що додавання до матеріалу матриці, навіть незначної концентрації компонентів з меншою роботою виходу значно покращує термоемісійні властивості сплавів, а зростання струму емісії при зменшенні роботи виходу легуючих елементів описується рівнянням Річардсона–Дешмана для термоелектронної емісії;

- енергія лазерного імпульсу ( $E$ ), при якій починається електронна емісія, приймає менше значення для композиту ВНТ з  $\text{LaNi}_5$ , ніж значення  $E$  для чистих ВНТ і  $\text{LaNi}_5$ ; вуглецеві нанотрубки є більш ефективними емітерами електронів, ніж традиційні катоди з важкоплавких металів (з робочими температурами біля 2000 К), що відкриває перспективи створення низькотемпературних емітерів (з робочими температурами менше 600 °С).

- виявлено, що для композитів ВНТ з металами ( $\text{LaNi}_5$  та Cs) емісійний струм суттєво зростає, наприклад, при малих енергіях лазерного імпульсу (0,1 Дж), що важливо для фототермоемісійного перетворення концентрованої сонячної енергії в електричну, для вуглецевих нанотрубок емісійний струм дорівнює 0,2 А/см<sup>2</sup>, а при додаванні мікрочастинок  $\text{LaNi}_5$  емісійний струм зростає майже до 5 А/см<sup>2</sup>. У випадку додавання цезію, який має роботу виходу 1,881 еВ, струм зростає до 13 А/см<sup>2</sup> в імпульсі;

- показано, що температура нагріву катоду сонячним випромінюванням, при якій починається емісія електронів для електропровідного фторопласту з нанотрубками складає біля 300 °С, що значно нижче, ніж для чистих нанотрубок (500 °С); зниженню робочої температури сприяє інжекція розігрітих електромагнітним полем та фотозбуджених електронів провідності з нанотрубки на більш високий енергетичний рівень (в зону провідності) діелектрика; якщо цей рівень знаходиться нижче рівня вакууму, то робота виходу електрона з дна зони провідності діелектрика буде меншою, ніж робота виходу електрона з нанотрубки у вакуум;

- отримано знакозмінну електронну емісію з поверхні орієнтованих щільноупакованих ВНТ на Ni-підкладці під дією лазерного випромінювання: при  $E < 0,3$  Дж електрони емітують з поверхні катода, а при  $E > 0,74$  Дж емісія

переважно відбувається з поверхні аноду через випаровування нанотрубок з поверхні катода, що призводить до появи наноструктурної вуглецевої плівки на аноді, яка обумовлює ефективну емісію електронів і збільшення коефіцієнту відбиття випромінювання катода.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати, отримані в даному циклі робіт, дозволяють вирішувати задачі сертифікації масивів вуглецевих наноструктурних матеріалів та їх композитів, визначення та контролю їх дефектності, а відповідно, і параметрів електронної структури, механізмів впливу цих параметрів на електрофізичні властивості (електропровідність та термо-ЕРС), а також розробляти на основі таких наноматеріалів нові низькотемпературні катоди для ефективних термофотоемісійних перетворювачів енергії.

Цикл наукових праць включає 15 статей, з яких 13 опубліковано у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Web of Science та/або Scopus. За результатами роботи зроблено 22 доповіді на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Загальний індекс цитування складає 7, h-індекс = 2 (згідно бази даних Scopus).

Автори циклу робіт:

науковий співробітник Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України,

к. ф.-м. н.

В.В. Анікеєв

молодший науковий співробітник

Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України

І.М. Сидорченко

## Перелік публікацій, що входять до циклу робіт

«Унікальні властивості наноструктурних матеріалів для низькотемпературних термофотоємисійних перетворювачів енергії»

### Статті

1. Лісунова Ю.О. Механічні властивості одношарових вуглецевих нанотрубок у радіальному напрямку/ Ю.О. Лісунова, М.М. Нищенко, **І.М. Сидорченко** // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии.- 2006.- Т.4, №6.- с.1073 – 1079;
2. Нищенко М.М. Емісійні властивості вуглецевих наноструктурних матеріалів/ Нищенко М.М., Патока В.І., Шевченко М.Я., А.Г. Дубовий, **Анікеев В.В.**// Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. - Т. 30, №7. - С. 913 – 923.
3. Нищенко М.М. Позитронная спектроскопия композитов поливинилхлорид - углеродные нанотрубки / Нищенко М.М., Цапко Е.А., **Аникеев В.В.**// Металлофизика и новейшие технологии. – 2009. - Т. 31, №8. - С. 1051 – 1060.
4. Нищенко М.М. ”Захоплення“ позитронів вуглецевими нанотрубками в композиті на основі поліпропілена/Нищенко М.М., **Анікеев В.В.**, Цапко Є.А., Приходько Г.П., Семенцов Ю.І. // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2009. - Т. 7, №3. – С. 769 – 776.
5. **Сидорченко І.М.**, Нищенко М.М., Шевченко М.Я., Ткаченко В.Г., Кондрашов О.І. Лазерно-стимульована електронна емісія з поверхні стопів алюмінію // Металлофизика та новітні технології.- 2010.- Т.32, №5.- с. 581-589;
6. М.М. Nischenko Laser-stimulated emission of electrons from carbon nanostructures formed at laser evaporation of oriented carbon nanotubes / М.М. Nischenko, N.A. Shevchenko, D.V. Schur, V.A. Bogolepov, A.G. Dubovoi, **І.М. Sidorchenko**//Inorganic Materials: Applied Research. – October 2010, V. 1, Issue 4. – pp. 276-278.
7. Нищенко М.М. Лазерно-стимулированная эмиссия электронов из углеродных наноструктур, образовавшихся при лазерном испарении ориентированных углеродных нанотрубок/ Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Щур Д.В., Боголепов В.А., Дубовой А.Г., **Сидорченко И. М.** // Перспективные материалы - 2010.- №3.- с. 7-10;
8. **Аникеев В.В.** Влияние деформации и отжига на термо-ЭДС углеродных нанотрубок/**Аникеев В.В.**, Нищенко М.М., Цапко Е.А., Архипов Е.И., Шевченко Н.А., Патока В.И., Приходько Г.П.// Металлофизика и новейшие технологии. –

2011. - Т. 33, №10. - С. 1315 – 1322.

9. **Сидорченко И.М.**, Формирование эффективных эмиттеров электронов при лазерном испарении ориентированных углеродных нанотрубок/ **Сидорченко И.М.**, Щур Д.В., Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Боголепов В.А., Дубовой А.Г.// Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. - 2012.- Т.10, Вып. 1.- с.169 – 177;

10. **Аникеев В.В.** Электрические и упругие свойства массива углеродных нанотрубок после облучения высокоэнергетичными электронами /**В.В. Аникеев**, Б.В. Ковальчук, В.М. Лазоренко, Г.Ю. Михайлова, М.М. Нищенко, В.Н. Пименов, **И.М. Сидорченко**, Ю.Ф. Суская, В.И. Товтин // Перспективные материалы. – 2013. - №11. – С. 22-28.

11. **Аникеев В.В.** Влияние электронного облучения на образование и залечивание дефектов в углеродных нанотрубок / **В.В. Аникеев**, Б.В. Ковальчук, В.М. Лазоренко, Г.Ю. Михайлова, М.М. Нищенко, В.Н. Пименов, Г.П. Приходько, С.И. Садыхов, В.И. Товтин // Перспективные материалы. – 2015. - №11. – С. 26-34.

12. **Anikeev V. V.** Electrical and elastic properties of an array of carbon nanotubes after irradiation by high-energy electrons / **V. V. Anikeev**, B. V. Koval'chuk, V. M. Lazorenko, G. Yu. Mikhailova, M. M. Nishchenko, V. N. Pimenov, **I. M. Sidorchenko**, Yu. F. Suskaya, V. I. Tovtin // Inorganic Materials: Applied Research. – March 2014, V. 5, Issue 2. – pp 138–142.

13. **Anikeyev V. V.** Effect of electron irradiation on the formation and healing of defects in carbon nanotubes / **V. V. Anikeyev**, B. V. Kovalchuk, V. M. Lazorenko, G. Yu. Mikhailova, M. M. Nishchenko, V. N. Pimenov, G. P. Prikhodko, S. I. O. Sadykhov, V. I. Tovtin // Inorganic Materials: Applied Research. – March 2016, V. 7, Issue 2. – pp 204–209.

14. Н.Ю. Михайлова Electronic properties of defects carbon nanotubes / Н.Ю. Михайлова, М.М. Нисченко, Г.П. Приходько, **В.В. Аникеев**, В.Ю. Кода // Part of the Springer Proceedings in Physics , Nanooptics, Nanophotonics, Nanostructures and Their Applications, V. 210, pp 175-182.

15. Нищенко М.М. Термоэлектрические свойства массива углеродных нанотрубок при одноосном сжатии после отжига / М.М. Нищенко, Г.Ю. Михайлова, Б.В. Ковальчук, **И.М. Сидорченко**, **В.В. Аникеев**, Н.А. Шевченко //

### Матеріали конференцій

1. **Сидорченко І.М.** Лазерно-стимулирована емісія  $\text{LaNi}_5$  с наноструктурами на поверхності/ І.М. Сидорченко, М.М. Нищенко // Матеріали VI міжнародної конференції студентів та молодих учених „Політ”.- Київ.-2006 р.- С. 173;
2. Нищенко М.М. Емісійні властивості вуглецевих наноструктурних матеріалів / Нищенко М.М., Патока В.І., Шевченко М.А., Дубовий А.Г., **Анікеев В.В.** // Збірник тез Міжнародної конференції «НАНОРОЗМІРНІ СИСТЕМИ. БУДОВА-ВЛАСТИВОСТІ-ТЕХНОЛОГІЇ-2007», 21-23 листопада 2007 р., м. Київ, Україна.– К.: 2007. – С. 215
3. Нищенко М.М. Електричні та емісійні властивості вуглецевих наноструктурних матеріалів в умовах газового розряду. / Нищенко М.М., Патока В.І., Шевченко М.Я., Дубовий А.Г., **Анікеев В.В.**// Збірник тез II Міжнародної конференції студентів та аспірантів. «До високих технологій на основі новітніх фізико – матеріалознавчих досліджень», 11-13 грудня 2007., м. Київ, Україна.– К.: 2007. – С. 114-115.
4. **Анікеев В.В.** Захват позитронов углеродными нанотрубками в композите на основе полипропилена / Анікеев В.В., Цапко Е.А., Нищенко М.М., Приходько Г.П., Семенцов Ю.И. // Збірник тез Всеукраїнської конференції молодих вчених “Сучасне матеріалознавство, матеріали та технології”, 12-14 листопада 2008 р., м. Київ, Україна.– К.: 2007. – С. 153.
5. **Сидорченко І.М.** Кондрашов Лазерно-стимулирована електронна емісія с поверхності сплавів алюмінія и нанокомпозитов, содержащих углеродные нанотрубки/ І.М. Сидорченко, М.М. Нищенко, В.Г. Ткаченко, О.И. // Всеукраїнська конференція молодих вчених СММТ-2008 / Тези конференції.- Київ, 2008.- С. 214;
6. **Сидорченко І.М.** Лазерно-стимулирована емісія в алюмінії легированном Sc, Ce и Li // VIII міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених „Політ” / Збірник тез.- Т. 2.- Київ, 2008.- С. 101;
7. **Сидорченко І.М.** Лазерно-стимульована емісія з матеріалів, що містять

вуглецеві нанотрубки // IX міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених „Політ” / Збірник тез.-Київ, 2009.- С. 97;

8. Нищенко М.М. Лазерно-стимулированная эмиссия электронов из углеродных наноструктур, образовавшихся при лазерном испарении ориентированных углеродных нанотрубок/ Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Щур Д.В., Боголепов В.А., Дубовой А.Г., **Сидорченко И. М.** // XI International Conference ICHMS'2009.- Kiev:АНЕУ.-2009.- с.1155-1156;

9. **Аникеев В.В.** Эмиссионные и термоэлектрические свойства углеродных нанотрубок / В.В.Аникеев, Е.И. Архипов, М.М. Нищенко, Н.А. Шевченко, Д.В. Щур, В.А. Боголепов, А.Г. Дубовой // Тезисы II Международной научной конференции. Наноструктурные материалы – 2010: Беларусь – Россия – Украина. 5. – 22 октября 2010 г., г. Киев, Украина. – К.: 2010. – С. 35.

11. **Аникеев В.В.** Влияние деформации и отжига на термо-ЭДС углеродных нанотрубок / В.В.Аникеев, М.М. Нищенко, Е.А. Цапко, Е.И. Архипов, Н.А. Шевченко, В.И. Патока, Д.В. Щур, В.А. Боголепов, А.Г. Дубовой, Г.П. Приходько // Тезисы II Международной научной конференции. Наноструктурные материалы – 2010: Беларусь – Россия – Украина. 19 – 22 октября 2010 г., г. Киев, Украина. – К.: 2010. – С. 36.

10. Архипов Е.И. Эффект памяти зарядового и энергетического состояний поверхности композита фторопласт – углеродные нанотрубки / Е.И. Архипов, М.М. Нищенко, Н.А. Шевченко, **В.В.Аникеев** // Тезисы II Международной научной конференции. Наноструктурные материалы – 2010: Беларусь – Россия – Украина. 19 – 22 октября 2010 г., г. Киев, Украина. – К.: 2010. – С. 302.

11. **Сидорченко И.М.** Эмиссионные свойства нанодисперсного вольфрама, полученного электрическим взрывом проводников/ Сидорченко И.М., Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Крышук Т.В., Кордубан А.М. // НАНО-2010: Тезисы II Междунар. науч. конф.- Киев, 2010.- С. 821;

12. **Сидорченко И.М.** Формирование эффективных эмиттеров электронов при лазерном испарении ориентированных углеродных нанотрубок/ Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Щур Д.В., Боголепов В.А., Дубовой А.Г. // НАНО-2010: Тезисы II Междунар. науч. конф.- Киев, 2010.- С. 519;

13. Шевченко Н.А. Катоды с углеродными нанотрубками для эмиссионного

преобразования солнечной энергии в электрическую / Н.А. Шевченко, М.М. Нищенко, Е.А. Цапко, **В.В.Аникеев**, Г.А. Фролов, А.А. Фролов, А.П. Рубан, Л.Л. Сартинская, Г.П. Приходько // Тезисы II Международной научной конференции. Наноструктурные материалы – 2010: Беларусь – Россия – Украина. 19 – 22 октября 2010 г., г. Киев, Украина. – К.: 2010. – С. 529.

14. **Сидоченко И.М.** Эмиссионные характеристики тонкопленочных углеродных покрытий, полученных при лазерном испарении ориентированных углеродных нанотрубок/ Сидоченко И.М., Нищенко М.М., Шевченко Н.А., Щур Д.В., Боголепов В.А., Дубовой А.Г. // СММТ-2011: Тези II Всеукр. конф. молодих вчених.- Київ, 2011.- С.201.

15. **Сидорченко И.М.** Эмиссионное преобразование солнечной энергии в электрическую с использованием наноструктурных катодов/ Сидорченко И.М., М.М. Нищенко, Н.А. Шевченко, Г.А. Фролов, Л.Л. Сартинская // Матеріали всеукраїнської наукової конференції “АПТЕПФ”.– Тернопіль: ТНТУ, 2012.- с.12-14;

16. Нищенко М.М. Фізичні явища і ефекти в багаточарових вуглецевих нанотрубках і можливості їх застосування/ М.М. Нищенко, М.Я. Шевченко, **И.М. Сидорченко**, Е.А. Цапко, Г.Ю. Михайлова // Матеріали всеукраїнської наукової конференції “АПТЕПФ”.– Тернопіль: ТНТУ, 2012.- с.15-17;

17. Михайлова Г.Ю. Вплив деформації на електроємність та електропровідність масиву вуглецевих нанотрубок/ Г.Ю. Михайлова, В.Ю. Московка, **И.М. Сидорченко** // Наукоємні Технології: матеріали науково-технічної конференції студентів та молодих учених.- К.: НАУ, 2012.- С.113;

18. Михайлова Г.Ю. Влияние радиационного облучения на термо-ЭДС и электропроводность массива многослойных углеродных нанотрубок / Г.Ю. Михайлова, М.М. Нищенко, **И.М. Сидорченко**, **В.В. Аникеев**, Б.В. Ковальчук, В.М. Лазоренко, В.Н. Пименов, Ю.Ф. Суская, В.И. Товтин, Д.Э. Азнакаева, В.Н. Поршин, Г.П. Приходько // Сборник научных трудов VI Международной научной конференции "Функциональная база нанoeлектроники", Харьков-Крым. - 2013.-С. 32-35.

19. **Аникеев В.В.** Электрические и упругие свойства массива углеродных нанотрубок после облучения высокоэнергичными электронами / В.В. Аникеев,

Б.В. Ковальчук, В.М. Лазоренко // Тезисы IV Международной научной конференции «Наноразмерные системы: строение, свойства, технологии», 19-22 ноября 2013 г., г. Киев, Украина. – К.: 2013. – С. 359.

20. Ковальчук Б.В. Влияние облучения высокоэнергетическими электронами с энергией 2 МэВ на электропроводность и коэффициент Зеебека массива УНТ / Б.В. Ковальчук, Ю.Ф. Суская, Г.Ю., Михайлова, **В.В. Анікеєв** // Тезисы IV Международной научной конференции «Наноразмерные системы: строение, свойства, технологии», 19-22 ноября 2013 г., г. Киев, Украина. – К.: 2013. – С. 330.

21. Н.Yu. Mykhailova Electronic properties of defects carbon nanotubes / Н.Yu. Mykhailova, М.М. Nischenko, G.P. Prikhodko, **V.V. Anikeev** // International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2017), 23-26 August 2017. –Chernivtsi, Ukraine, pp 57.

22. Михайлова Г. Ю. Влияние  $\gamma$ - облучения на коэрцитивную силу многослойных углеродных нанотрубок / Г. Ю. Михайлова, М. М. Нищенко, В. Н. Порошин, Г. П. Приходько, **И. М. Сидорченко**, А. Д. Шевченко, Н. А. Шевченко // 5-ый Международный форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ-2014. Сборник научных трудов: материалы форума в 4-х томах. Том IV. Конференция «Функциональная база нанoeлектроники», Украина, г.Харьков, 14-17 октября 2014. – С. 82-85.

Автори:

н.с., к. ф.-м. н.

В.В. Анікеєв

м.н.с.

І.М. Сидорченко

Підписи н.с. Анікеєва В.В. та м.н.с. Сидорченко І.М. засвідчую:

Учений секретар Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України

к.ф.-м.н.

Є.В. Кочелаб